

Cilt / Volume: 10, Sayı / Issue: 3

Eylül / September, 2020

ISSN 2146-0574

E-ISSN 2536-4618

FBED / JIST

Uluslararası Hakemli Dergi / International Peer Reviewed Journal

**İĞDIR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ DERGİSİ**

**JOURNAL OF THE INSTITUTE
OF SCIENCE AND
TECHNOLOGY**



FBED / JIST

IĞDIR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

Journal of the Institute
of Science and Technology

<http://dergipark.gov.tr/jist>



Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
Kısaltılmış Başlık: Iğdır Üniv. Fen Bil. Enst. Der.

Journal of the Institute of Science and Technology
Abbreviated Title: J. Inst. Sci. and Tech.

Uluslararası Hakemli Dergi / International Peer Reviewed Journal

Basılı ISSN: 2146-0574

Elektronik ISSN: 2536-4618

Veri Tabanı / Indexed by

TR Dizin, EBSCO, ROAD, Open Access Library (oalib), COSMOS IF, Sobiad, Google Scholar, Türkiye Atıf Dizini, International Institute of Organized Researches, Sindex, CrossRef, Eurasian Scientific Journal Index, CiteFactor, International Scientific Indexing, CAB Abstract

Sahibi / Owner

Prof. Dr. Mehmet Hakkı ALMA
Rektör / Rector

Sorumlu Müdür / Director

Prof. Dr. Murat Ali KARAVELİOĞLU / Prof. Dr. Murat Ali KARAVELİOĞLU
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü / Graduate Education Institute Director

Baş Editör / Editor in Chief

Doç. Dr. Süleyman TEMEL / Assoc. Prof. Dr. Süleyman TEMEL

Yardımcı Editörler / Associate Editors

Prof. Dr. Bilal KESKİN / Prof. Dr. Bilal KESKİN
Doç.Dr. Adem KOÇYİĞİT / Assoc. Prof. Dr. Adem KOÇYİĞİT
Dr. Öğr. Üyesi Ersin GÜLSOY / Assist. Prof. Dr. Ersin GÜLSOY
Dr. Öğr. Üyesi Ümit YILDIKO / Assist. Prof. Dr. Ümit YILDIKO

Danışma Kurulu/ Advisory Board

Prof.Dr. Kağan KÖKTEN / *Field Crop*, Bingol University, Agricultural, Bingol, Turkey
Prof.Dr. Abdulmecit TÜRÜT/ *Physics*, İstanbul Medeniyet University, İstanbul, Turkey
Prof.Dr. Muhammad SARWAR, *Animal Science*, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan
Prof.Dr. Vaqif ABBASOV, *Chemistry*, Neft Kimya Prosesleri Institutu, Azerbaijan
Prof.Dr. Şükrü BEYDEMİR, *Biochemistry*, Anadolu University, Eskisehir, Turkey
Prof.Dr. Salih DOĞAN, *Zoology*, Erzincan Binali Yıldırım University, Erzincan, Turkey
Doç.Dr. Özkan AKSAKAL, *Botanical*, Ataturk University, Erzurum, Turkey
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet POLAT, *Horticulture*, Isparta University, Isparta, Turkey
Dr.Snezana ANDJELKOVIC, *Forage Crops*, Institute Za Krmno Bilje, Krusevac, Republic of Serbia

Tasarım / Design

Prof. Dr. Bilal KESKİN
Dr.Öğr.Üyesi. Barış EREN
Arş.Gör. Hasan Kaan KÜÇÜKERDEM

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

Mail address: fbed@igdir.edu.tr

ULUSAL EDİTÖRLER KURULU
NATIONAL EDITORIAL BOARD

- Doç. Dr. Beyhan KİBAR, Bahçe Bitkileri
Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu, Türkiye
- Prof. Dr. Ferhat MURATOĞLU, Bahçe Bitkileri
Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu, Türkiye
- Dr. Öğr. Üyesi Ersin GÜLSOY, Bahçe Bitkileri
İğdır Üniversitesi, İğdır, Türkiye
- Dr. Öğr. Üyesi Gültekin İŞİK, Bilgisayar Mühendisliği
İğdır Üniversitesi, İğdır, Türkiye
- Prof. Dr. Ahmet ULUDAĞ, Bitki Koruma
Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye
- Doç. Dr. Celalettin GÖZÜAÇIK, Bitki Koruma
İğdır Üniversitesi, İğdır, Türkiye
- Dr. Öğr. Üyesi Tuba GENÇ KESİMCİ, Bitki Koruma
İğdır Üniversitesi, İğdır, Türkiye
- Dr. Öğr. Üyesi Ramazan GÜRBÜZ, Bitki Koruma
İğdır Üniversitesi, İğdır, Türkiye
- Prof. Dr. Ümit İNCEKARA, Biyoloji
Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye
- Dr. Öğr. Üyesi Emel DIRAZ YILDIRIM, Biyoloji
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üni. K. Maraş, Türkiye
- Doç. Dr. Hakan KİBAR, Biyosistem
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu, Türkiye
- Doç. Dr. Sefa ALTIKAT, Biyosistem,
İğdır Üniversitesi, İğdır, Türkiye
- Dr. Öğr. Üyesi Züleyha BİNGÜL, Çevre Mühendisliği
İğdır Üniversitesi, İğdır, Türkiye
- Dr. Öğr. Üyesi Sinan KUL, Çevre Mühendisliği
Bayburt Üniversitesi, Bayburt, Türkiye
- Doç. Dr. Adem KOÇYİĞİT, Elektrik-Elekt. Müh.
İğdır Üniversitesi, İğdır, Türkiye
- Dr. Öğr. Üyesi Kenan ÇİÇEK, Elektrik-Elekt. Müh.
İğdır Üniversitesi, İğdır, Türkiye
- Dr. Öğr. Üyesi Agah Oktay ERTAY, Elektrik-Elekt. Müh.
Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Erzincan, Türkiye
- Dr. Öğr. Üyesi Seda TÜRK, Endüstri Mühendisliği
İğdır Üniversitesi, İğdır, Türkiye
- Dr. Öğr. Üyesi Hamid YILMAZ, Endüstri Mühendisliği
Bayburt Üniversitesi, Bayburt, Türkiye
- Doç. Dr. Ferdi AKMAN, Fizik
Bingöl Üniversitesi, Bingöl, Türkiye
- Doç. Dr. İkrım ORAK, Fizik
Bingöl Üniversitesi, Bingöl, Türkiye
- Dr. Öğr. Üyesi Abdulkemil KARABULUT, Fizik
Sinop Üniversitesi, Sinop, Türkiye
- Prof. Dr. Ahmet ERDOĞAN, Gıda Mühendisliği
Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye
- Prof. Dr. İhsan Güngör ŞAT, Gıda Mühendisliği
Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye
- Dr. Öğr. Üye. Mubin KOYUNCU, Gıda Mühendisliği
İğdır Üniversitesi, İğdır, Türkiye
- Prof. Dr. İlker KAZAZ, İnşaat Mühendisliği
Erzurum Teknik Üniversitesi, Erzurum, Türkiye
- Doç. Dr. Muhammed Yasin ÇODUR, İnşaat Müh.,
Erzurum Teknik Üniversitesi, Erzurum, Türkiye
- Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Alperen ÖZDEMİR, İnşaat Müh.
İğdır Üniversitesi, İğdır, Türkiye
- Dr. Öğr. Üyesi Fikret TÜRKAN, Kimya,
İğdır Üniversitesi, İğdır, Türkiye
- Dr. Öğr. Üyesi Zeynep Şilan TURHAN IRAK, Kimya,
İğdır Üniversitesi, İğdır, Türkiye
- Dr. Öğr. Üyesi Ümit YILDIKO, Kimya
Kafkas Üniversitesi, Kars, Türkiye
- Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Harbi ÇALIMLI
İğdır Üniversitesi, İğdır, Türkiye
- Dr. Öğr. Üyesi Uğur GÜLLER, Kimya
İğdır Üniversitesi, İğdır, Türkiye
- Doç. Dr. Mahir UZUN, Makine Mühendisliği
İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye
- Dr. Öğr. Üyesi Mustafa HAMAMCI, Makine Mühendisliği
İğdır Üniversitesi, İğdır, Türkiye
- Prof. Dr. İsa YILDIRIM, Matematik
Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye
- Dr. Öğr. Üyesi Gökçe DİLEK KÜÇÜK, Matematik
İğdır Üniversitesi, İğdır, Türkiye
- Dr. Öğr. Üyesi Lokman BİLEN, Matematik
İğdır Üniversitesi, İğdır, Türkiye
- Prof. Dr. Ahmet ADIGÜZEL, Moleküler Biyoloji ve Genetik
Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye
- Dr. Öğr. Üyesi Kaan HÜRKAN, Moleküler Biy. ve Genetik
İğdır Üniversitesi, İğdır, Türkiye
- Dr. Öğr. Üyesi Can Ali AĞCA, Moleküler Biy. ve Genetik
Bingöl Üniversitesi, Bingöl, Türkiye
- Prof. Dr. Mehmet Hakkı ALMA, Orman Endüstri Müh.
İğdır Üniversitesi, İğdır, Türkiye
- Prof. Dr. Ahmet Tuğrul POLAT, Peyzaj Mimarlığı,
Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye
- Prof. Dr. Murat ZENGİN, Peyzaj Mimarlığı
Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye
- Prof. Dr. Deniz ÇOBAN, Su Ürünleri
Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın, Türkiye
- Doç. Dr. İlknur MERİÇ TURGUT, Su Ürünleri
Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye
- Doç. Dr. Yakup Erdal ERTÜRK, Tarım Ekonomisi
İğdır Üniversitesi, İğdır, Türkiye
- Dr. Öğr. Üyesi Tuba Pekkirbizli ZEMESTANİ, Tarım Ekonomisi
Bozok Üniversitesi, Yozgat, Türkiye
- Prof. Dr. Burhan KARA, Tarla Bitkileri
Isparta Üniversitesi, Isparta, Türkiye
- Prof. Dr. Bilal KESKİN, Tarla Bitkileri
İğdır Üniversitesi, İğdır, Türkiye
- Doç. Dr. Süleyman TEMEL, Tarla Bitkileri
İğdır Üniversitesi, İğdır, Türkiye
- Doç. Dr. Adem GÜNEŞ, Top. Bilimi ve Bitki Bes.
Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye
- Dr. Öğr. Üyesi Serdar SARI, Top. Bilimi ve Bitki Bes.
İğdır Üniversitesi, İğdır, Türkiye
- Dr. Öğr. Üyesi İsa YILMAZ, Zootekni,
Muş Alparslan Üniversitesi, Muş, Türkiye
- Dr. Öğr. Üyesi Ali İhsan ATALAY
İğdır Üniversitesi, İğdır, Türkiye

ULUSLARARASI EDİTÖRLER KURULU
INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

Prof. Dr. Muhammad HANIF, Mathematic
Lahore Üniversitesi, Lahore, Pakistan
Prof. Dr. Muhammad SARWAR, Animal Science
University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan
Prof. Dr. Tan YANWEN, Economics
South China Agricultural University, Guangzhou, China
Prof. Dr. Abdul WAHID, Department of Botany
University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan
Prof. Dr. Zafar IQBAL, Veterinary Science
University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan
Prof. Dr. Khalid JAVED, Dep. of Livestock Prod.
University of Vet. & Animal Sciences, Lahore, Pakistan
Prof. Dr. Guang Jie ZHAO, Forestry,
Beijing Forestry University, China
Prof. Dr. Vaqif ABBASOV, Chemistry,
Neft Kimya Prosesleri Institutu, Azerbaycan
Prof. Dr. Emanuele BOSELLI, Food Science and Technology
Free University of Bozen, Bolzano, Italy
Prof. Dr. Lenka KOURIMSKA, Food and Nutrition,
Czech Uni. of Life Sciences Prague, Suchdol, Czech Republic

Assist. Prof. Dr. Christina BENEKI, Dep. of Bus. Admin.
Tech. Educ. Inst. of Ionian Islands, Cephalonia, Greece
Dr. Abdul WAHEED, Animal Science
Bahauddin Zakariya University, Multan, Pakistan
Dr. Snezana ANDJELKOVIC, Forage Crops
Institute for Forage Crops(IFC), Krusevac, Republic of Serbia
Dr. Ferhat ABBAS, Vet- Animal Science, CASVAB
University of Balochistan, Balochistan, Pakistan
Dr. Naveen KUMAR, Horticulture
University of Florida, Florida, USA

DİL EDİTÖRLERİ
LANGUAGE CONSULTANTS

Dr. Öğr. Üyesi Didem ERDEL,
İğdır Üniversitesi, İğdır, Türkiye
Uzm. Handan YILDIZ,
Milli Eğitim Müdürlüğü, İğdır, Türkiye
Öğr. Gör. Talha YILDIZ,
İğdır Üniversitesi, İğdır, Türkiye

BU SAYININ HAKEM LİSTESİ
REFEREE LIST IN THIS ISSUE

Prof. Dr. Ahmet EŞİTKEN, Bahçe Bitkileri
Prof. Dr. Ali Fırat ÇABALAR, İnşaat Mühendisliği
Prof. Dr. Arzu GÖRMEZ, Bitki Koruma
Prof. Dr. Bilal KESKİN, Tarla Bitkileri
Prof. Dr. Celal YÜCEL, Tarla Bitkileri
Prof. Dr. Cengiz SANCAK, tarla Bitkileri
Prof. Dr. Cengiz YILDIZ, Makine Mühendisliği
Prof. Dr. Dilber Esra YILDIZ, Fizik
Prof. Dr. Enise AYYILDIZ, Fizik
Prof. Dr. Erdoğan ÖZTÜRK, Tarla Bitkileri
Prof. Dr. Faruk TOKLU, Tarla Bitkileri
Prof. Dr. Fikret YAŞAR, Bahçe Bitkileri
Prof. Dr. Hakan GEREN, Tarla Bitkileri
Prof. Dr. Hamit AKBULUT, Makine Mühendisliği
Prof. Dr. İlhami GÜLÇİN, Kimya
Prof. Dr. İşik SEZEN, Peyzaj Mimarlığı
Prof. Dr. Kağan KÖKTEN, Tarla Bitkileri
Prof. Dr. Kazım MAVİ, Bahçe Bitkileri
Prof. Dr. Levent EFİL, Bitki Koruma
Prof. Dr. Mahmut Murat ASLAN, Bitki Koruma
Prof. Dr. Mehmet Ali GÜNGÖR, Matematik
Prof. Dr. Mehmet BOZOĞLU, Tarım Ekonomisi
Prof. Dr. Mehmet Rifat ULUSOY, Bitki Koruma
Prof. Dr. Mehmet Salih AĞIRTAŞ, Kimya
Prof. Dr. Mehmet TOPAY, Peyzaj Mühendisliği
Prof. Dr. Mehmet YILMAZ, İstatistik
Prof. Dr. Melek MASAL, Matematik
Prof. Dr. Muharrem KAYA, Tarla Bitkileri
Prof. Dr. Mustafa ŞAHİN, Zootekni
Doç. Dr. Hakan EYGÜ, Ekonometri
Doç. Dr. Hakan YALÇINER, İnşaat Mühendisliği

Prof. Dr. Mustafa TAN, Tarla Bitkileri
Prof. Dr. Orhan ERMAN, Biyoloji
Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU, Orman Mühendisliği
Prof. Dr. Serpil ŞAKİROĞLU, Fizik
Prof. Dr. Sezai ERCİSLİ, bahçe Bitkileri
Prof. Dr. Sükrü KARATAŞ, Fizik
Prof. Dr. Şenay BULUT, Matematik
Prof. Dr. Taşkın POLAT, Tarla Bitkileri
Prof. Dr. Turgay ŞİŞMAN, Biyoloji
Prof. Dr. Tülay CENGİZ TAŞLI, Peyzaj Mimarlığı
Prof. Dr. Ugur BAŞARAN, tarla Bitkileri
Prof. Dr. Ulvi ŞEKER, Makine Mühendisliği
Prof. Dr. Yahya BULUT, Peyzaj Mimarlığı
Prof. Dr. Yaşar NUHOĞLU, Çevre Mühendisliği
Prof. Dr. Zakir TAŞ, Makine Mühendisliği
Doç. Dr. Alper SEZER, İnşaat Mühendisliği
Doç. Dr. Arif UZUN, Makine Mühendisliği
Doç. Dr. Ayhan HORUZ, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme
Doç. Dr. Aysun ÇELİK ÇANGA, Peyzaj Mimarlığı
Doç. Dr. Burcu TUNCER, Bahçe Bitkileri
Doç. Dr. Çetin MUTLU, Bitki Koruma
Doç. Dr. Erdem GÜLÜMSER, Tarla Bitkileri
Doç. Dr. Fatih TOSUNOĞLU, İnşaat Mühendisliği
Doç. Dr. Fatma Handan GİRAY, tarım Ekonomisi
Doç. Dr. Ferhat KIZILGEÇİ, Tarla Bitkileri
Doç. Dr. Ferit ÇAKIR, İnşaat Mühendisliği
Doç. Dr. Gülnur ŞAFFAK ATALAY, Matematik
Doç. Dr. Güven TURGUT, Fizik
Doç. Dr. Harun ASLAN, Su Ürünleri
Doç. Dr. Harun ÖZER, Bahçe Bitkileri
Doç. Dr. Zafer CEYLAN, Su Ürünleri

- Doç.Dr. Hüseyin GÜNGÖR, Tarla Bitkileri
Doç.Dr. Hüseyin Suha AKSOY
Doç.Dr. Kamuran DİLSİZ, Fizik
Doç.Dr. Mahmut KAPLAN, Tarla Bitkileri
Doç.Dr. Mahmut KARA, Ekonometri
Doç.Dr. Mehmet Ali ÖZÇELİK, Elektrik-Elektronik Müh.
Doç.Dr. Mehmet KARACA, Biyoloji
Doç.Dr. Murat AKTEN, Peyzaj Mimarlığı
Doç.Dr. Nimet KARA, Tarla Bitkileri
Doç.Dr. Pervin YEŞİL, Peyzaj Mimarlığı
Doç.Dr. Sefa AKBULUT, Orman Mühendisliği
Doç.Dr. Serkan ISLAK, Makine Mühendisliği
Doç.Dr. Sevda TÜRKİŞ, Biyoloji
Doç.Dr. Sibel PAŞALI ATMACA, Matematik
Doç.Dr. Tamer ERYİĞİT, Tarla Bitkileri
Doç.Dr. Tugay AYAŞAN, Zootekni
Doç.Dr. Tuğba ONGUN SEVİNDİK, Biyoloji
Doç.Dr. Veysel ÇOMAKLI, Kimya
Doç.Dr. Yusuf DOĞAN, Tarla Bitkileri
Dr. Konstantin ZHUKOVSKY, Fizik
Dr.Öğr.Üyesi Yavuz YÜKSEL, Gıda Mühendisliği
Dr.Öğr.Üyesi Fatma EKMEKYAPAR TORUN, Çevre Müh.
Dr.Öğr.Üyesi Fatma BAYRAKÇEKEN NİŞANCI, Kimya
Dr.Öğr.Üyesi Abdullah EREN, Tarla Bitkileri
Dr.Öğr.Üyesi Abdullah Taner BİŞGİN, Kimya
Dr.Öğr.Üyesi Abdülmelik ARAS, Kimya
Dr.Öğr.Üyesi Afsun SUCAYEV, Chemistry
Dr.Öğr.Üyesi Ahmet ÇİFCİ, Elektrik-Elektronik Müh.
Dr.Öğr.Üyesi Ahmet Turan TEKEŞ, Kimya
Dr.Öğr.Üyesi Altuğ KARABEY, Makine Mühendisliği
Dr.Öğr.Üyesi Aşkın BİRGÜL, Çevre Mühendisliği
Dr.Öğr.Üyesi Aydın ÇITLAK, Makine Mühendisliği
Dr.Öğr.Üyesi Aykut ÖZGÜR, Kimya
Dr.Öğr.Üyesi Bedrettin SAVAŞ, Kimya
Dr.Öğr.Üyesi Bilal NİŞANCI, Kimya
Dr.Öğr.Üyesi Burak URAZEL, Elektrik-Elektronik Müh.
Dr.Öğr.Üyesi Burcu Begüm KENANOĞLU, Bahçe Bitkileri
Dr.Öğr.Üyesi Bünyamin ÖZGERİŞ, Kimya
Dr.Öğr.Üyesi Canan GÜLMEZ, Kimya
Dr.Öğr.Üyesi Cihangir UYGUN, Biyoloji
Dr.Öğr.Üyesi Deniz ULUKUŞ, Biyoloji
Dr.Öğr.Üyesi Doğan ARSLAN, Tarla Bitkileri
Dr.Öğr.Üyesi Egemen FOTO, Biyoloji
Dr.Öğr.Üyesi Emine AŞKAN, Tarım Ekonomisi
Dr.Öğr.Üyesi Emrah KAYA, Zootekni
Dr.Öğr.Üyesi Erdem IŞIK, Makine Mühendisliği
Dr.Öğr.Üyesi Faraz AFŞARİ, Makine Mühendisliği
Dr.Öğr.Üyesi Faruk MARAŞLIOĞLU, Biyoloji
Dr.Öğr.Üyesi Yusuf GÜREFE, Matematik
Dr.Öğr.Üyesi Zeynep AYDOĞAN, Biyoloji
Dr.Öğr.Üyesi Zeynep ERGÜL ÜLGER, Biyoloji
Dr.Öğr.Üyesi.Harun YAKA, Makine Mühendisliği
Dr.Öğr.Üyesi Hakan ADA, Makine Mühendisliği
Dr.Öğr.Üyesi Yeliz DEMİR, Kimya
Dr.Öğr.Üyesi Hamdi ÖZAKTAN, Tarla Bitkileri
Dr.Öğr.Üyesi Hasan ARISOY, Tarım Ekonomisi
Dr.Öğr.Üyesi Hüccet VURAL, Peyzaj Mimarlığı
Dr.Öğr.Üyesi Hülya DURUR, Matematik
Dr.Öğr.Üyesi Hülya GÜLTEKİN ÇİTİL, Matematik
Dr.Öğr.Üyesi İbrahim CENGİZ, Çevre Mühendisliği
Dr.Öğr.Üyesi İbrahim HOSAFLIOĞLU, Tarla Bitkileri
Dr.Öğr.Üyesi Levent DOĞANKAYA, Su Ürünleri
Dr.Öğr.Üyesi Mahire BAYRAMOĞLU AKKOYUN
Dr.Öğr.Üyesi Mehmet AKKAŞ, Makine Mühendisliği
Dr.Öğr.Üyesi Mehmet Kadir ERDOĞAN, Biyoloji
Dr.Öğr.Üyesi Mehmet Macit ERTUŞ, Tarla Bitkileri
Dr.Öğr.Üyesi Mehmet Nuri ATALAR, Kimya
Dr.Öğr.Üyesi Mehmet Salih NAS, Kimya
Dr.Öğr.Üyesi Mehmet Veysel ÇAKIR, Makine Mühendisliği
Dr.Öğr.Üyesi Mehmet YEŞİLBUDAK, Elektrik-Elektronik Müh.
Dr.Öğr.Üyesi Melahat GÖKTAŞ, Kimya
Dr.Öğr.Üyesi Melih KUNCAN, Elektrik-Elektronik Müh.
Dr.Öğr.Üyesi Mesut IŞIK, Kimya
Dr.Öğr.Üyesi Mine KÖKTÜRK, Su Ürünleri
Dr.Öğr.Üyesi Muhammet Raci AYDIN, Makine Mühendisliği
Dr.Öğr.Üyesi Muhittin KULAK, Biyoloji
Dr.Öğr.Üyesi Mustafa Ali DOKUYUCU, Matematik
Dr.Öğr.Üyesi Onur AKYILDIRIM, Kimya
Dr.Öğr.Üyesi Ömer Faruk ÇAPAR
Dr.Öğr.Üyesi Saed MOGHİMİ, İnşaat Mühendisliği
Dr.Öğr.Üyesi Seçil ERDEN TAYHAN, Biyomühendislik
Dr.Öğr.Üyesi Sedef İLK, Biyoloji
Dr.Öğr.Üyesi Selçuk EŞSİZ, Kimya
Dr.Öğr.Üyesi Serhat Berat EFE, Elektrik-Elektronik Müh.
Dr.Öğr.Üyesi Süleyman ŞENYURT, Matematik
Dr.Öğr.Üyesi Sümeyye GÜR MAZLUM, Matematik
Dr.Öğr.Üyesi Şadiye ÇAKMAK, Fizik
Dr.Öğr.Üyesi Şahset İRDEMEZ, Çevre Mühendisliği
Dr.Öğr.Üyesi Şakir İŞLEYEN, Ekonometri
Dr.Öğr.Üyesi Şenol BAYRAKTAR, Makine Mühendisliği
Dr.Öğr.Üyesi Şeyda FİKİRDEŞİCİ ERGEN, Biyoloji
Dr.Öğr.Üyesi Tarkan AYAZ, Bitki Koruma
Dr.Öğr.Üyesi Tuba EROĞLU AZAK, İnşaat Mühendisliği
Dr.Öğr.Üyesi Ulvi Erhan EROL, Peyzaj Mühendisliği
Dr.Öğr.Üyesi Ümit YILDIKO, Kimya
Dr.Öğr.Üyesi Üsâme DEMİR, Makine Mühendisliği
Dr.Öğr.Üyesi Yakup ÇIKILI, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme
Dr.Öğr.Üyesi Yakup Onur KOCA, Tarla Bitkileri
Dr.Öğr.Üyesi Yalçın KALKAN, Fizik
Arş.Gör.Dr. Ayşeğül TÜRK BAYDIR, Kimya
Arş.Gör.Dr. Zuhâl ALIM, Kimya
Arş.Gör.Dr. Elanur ADAR, Çevre Mühendisliği
Arş.Gör.Dr. Faik Sertel SEÇER, Su Ürünleri
Arş.Gör.Dr. Ayşe Merve ŞENOL, Kimya
Arş.Gör.Dr. Fatma ZİLİFDAR, Biyoloji
Arş.Gör.Dr. Pınar BULUT, Fizik

İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (FBED)

YAYIN İLKELERİ

1. FBED, Uluslararası hakemli bir dergi olup yılda dört kez yayınlanır. Dergimiz herhangi bir ücret talep etmemektedir. Makalelerin tümüne açık erişimle ulaşılabilir ve tam metin olarak indirilebilir.
2. Dergiye gönderilebilecek makale konuları Bahçe bitkileri, Bilgisayar mühendisliği, Bitki koruma, Biyoloji, Biyosistem mühendisliği, Çevre mühendisliği, Elektrik elektronik mühendisliği, Endüstri mühendisliği, Fizik, Gıda mühendisliği, İnşaat mühendisliği, Kimya, Makina mühendisliği, Matematik, Moleküler biyoloji ve genetik, Orman mühendisliği, Peyzaj mimarlığı, Su ürünleri, Tarım ekonomisi, Tarla bitkileri, Toprak bilimi ve bitki besleme ve Zootečni'dir. Dergide orijinal araştırma makalesi, derleme, teknik not yayımlanabilir.
3. Tüm yazılar iki profesyonel hakem tarafından değerlendirilir, Editör ve Yayın Kurulu tarafından incelenir.
4. FBED Türkçe ve İngilizce dillerinde yazılmış orijinal araştırma makalesi, teknik not ve derleme (toplam yayınların %20) yayınlamaktadır.
5. Yayımlanması istenilen eserlerin herhangi bir yerde yayımlanmamış veya yayımlanmak üzere herhangi bir dergiye gönderilmemiş olması zorunludur.
6. Dergiye yayımlanmak üzere gönderilen eserlerle birlikte Telif Hakkı Devir Sözleşmesi de tüm yazarlarca (farklı adreslerde bulunan yazarlar forma ait tüm bilgileri doldurarak ayrıca imzalamak suretiyle gönderebilirler) imzalanarak gönderilmelidir.
7. Eserlerin tüm sorumluluğu yazarlarına aittir.
8. Aynı sayıda ilk isim olarak bir yazarın en çok iki makalesi basılır.
9. Eserler bilim etiği ilkelerine uygun olarak hazırlanmalı, gerekliyse Etik Kurul Raporu'nun bir kopyası eklenmelidir.
10. Herhangi bir sorunuz için lütfen fbed@igdir.edu.tr adresine başvurun.

Journal of the Institute of Science and Technology (JIST)

PUBLISHING POLICIES

1. JIST is International Peer Reviewed Journal and published four times a year. Our journal does not charge any fees. All of the articles are accessible by open access and can be downloaded in full text.
2. The articles that can be sent to the journal are Horticulture, Computer engineering, Plant protection, Biology, Biosystem engineering, Environment engineering, Electrical-electronic engineering, Industrial engineering, Physics, Food engineering, Civil engineering, Chemistry, Mechanical engineering, Mathematics, Molecular biology and genetic, Forestry engineering, Landscape architecture, Fisheries, Agricultural economy, Field crops, soil science and plant nutrition and animal science.
3. All the manuscripts submitted to our journal are peer reviewed by two professional referees, Editor in Chief, and Editorial Board.
4. JIST intends to publish original research papers, technical notes, and reviews (20% of total papers) written in Turkish and English languages.
5. Manuscripts and communications are accepted on the understanding that these have not been published nor are being considered for publication elsewhere.
6. All the authors should submit their manuscript with transfer form of copyright for potential publication. The transfer form of Copyright should be signed by all authors.
7. All the authors will be responsible contextually for contents of their manuscripts.
8. Only two manuscripts of each author as first author can be published in same issue of JIST.
9. Manuscripts should be prepared in accordance with scientific ethic rules. When required, ethical committee reports with the related documents should be submitted to JIST.
10. Please contact for any question to fbed@igdir.edu.tr

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Bahçe Bitkileri / Horticulture

Araştırma Makalesi / Research Article

Tuz Stresi ve Geri Kazanım Sürecinde Biberin (*Capsicum annuum* L.) Bitki Gelişimi ve İyon Alımındaki Değişimler
Changes in Pepper (*Capsicum annuum* L.) Plant Growth and Ion Uptake in Salt Stress and Recovery Process
Hacı Yusuf KADAN, Özlem ÜZAL

1476

Araştırma Makalesi / Research Article

Seed Vigour Evaluation of Rocket (*Eruca sativa* Mill.) Seed Lots
Eren OZDEN, Nurcan MEMIS, Zeynep GOKDAS, Elif CATIKKAS, Ibrahim DEMİR

1486

Bitki Koruma / Plant Protection

Araştırma Makalesi / Research Article

Diyarbakır İli Odonata Faunası
Odonata Fauna of Diyarbakır Province
Derya DEMİR AYDIN, Halil BOLU

1494

Araştırma Makalesi / Research Article

Farklı Bakteri Uygulamalarının Domates (*Solanum lycopersicum* L.) Bitki Gelişimi Üzerine Etkileri
Effects of Different Bacteria Applications on Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Plant Growth
Badel UYSAL ŞAHİN, Mesude Figen DÖNMEZ

1507

Derleme Makalesi / Review Article

Fasulye Tohum Böceği *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleoptera: Chrysomelidae)'un Önemi, Biyolojisi, Zararı ve Mücadelesi
Importance, Biology, Damage and Management of Bean Weevil *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleoptera: Chrysomelidae)
Kübra ŞEN, Abdurrahman Sami KOCA, Gülay KAÇAR

1518

Biyoloji / Biology

Araştırma Makalesi / Research Article

Removal Modeling of Encapsulated *L.minor* by Alginate Microspheres
Esra Üçüncü TUNCA, Hasan TÜRE

1528

Araştırma Makalesi / Research Article

Tahtalı, Davuldere ve Çayırköy Göletlerinin (Kocaeli) Algleri ve Su Kaliteleri Üzerine Bir Çalışma
A Study On Algae And Water Qualities Of Tahtalı, Davuldere And Çayırköy Ponds (Kocaeli)
Arzu MORKOYUNLU YÜCE, Murat AKTAŞ

1539

Araştırma Makalesi / Research Article

Türkiye Akar Faunasının Yeni Bir Üyesi: *Molothrognathus bahariensis* Ueckermann ve Khanjani (Acari: Caligonellidae)
A New Record for the Acarofauna of Turkey: *Molothrognathus bahariensis* Ueckermann and Khanjani (Acari: Caligonellidae)
Salih DOĞAN, Sibel DOĞAN

1551

Araştırma Makalesi / Research Article

Measurement of Heavy Metals/Metalloids Levels with Using Dytiscidae (Coleoptera) Species, Collected from Six Different Cities of Turkey
Türkiye'deki Altı Farklı Şehrin Ağır Metal/Metalloid Seviyesinin Dytiscidae (Coleoptera) Türleri Kullanılarak Ölçümü
Zeynep AYDOĞAN, Ümit İNCEKARA, Ali GÜROL, Mustafa Cemal DARILMAZ

1559

Araştırma Makalesi / Research Article

Farklı Dozlarda Ekzojen Gonadotropin Uygulamasının Serotonin ve Melatonin Düzeylerine Etkisi
Effect of Different Doses of Exogenous Gonadotropin Administration on Serotonin and Melatonin Levels
İsmail SARI, Erkan GÜMÜŞ, Esmâ ÖZMEN, İnanet GÜNTÜK, Serpil ERŞAN, Gönül ŞEYDA SEYDEL

1566

Araştırma Makalesi / Research Article

Yamanlar ve Manisa (Spil) Dağlarındaki *Prunus cocomilia* var. *puberula* ile *Prunus cocomilia* var. *cocomilia* Taksonlarının Ekoloji ve Morfolojilerinin İncelenmesi
Investigation of The Ecology and Morphology of *Prunus cocomilia* var. *cocomilia* and *Prunus cocomilia* var. *puberula* taxa in the Yamanlar and Manisa (Spil) Mountains
Funda SEMENDEROĞLU, Adnan SEMENDEROĞLU, Ahmet Serdar AYTAÇ

1576

Araştırma Makalesi / Research Article

Bilecik Florasına Katkılar
Contributions to the Flora of Bilecik
Derviş ÖZTÜRK, Atila OCAK

1590

Çevre Mühendisliği / Environmental Engineering

Araştırma Makalesi / Research Article

Zeytin Karasuyunun İleri Oksidasyon Prosesleri İle Arıtımının İncelenmesi
Investigation of Olive Mill Wastewater Treatment with Advanced Oxidation Processes
Fatma Ekmekyapar TORUN, İbrahim CENGİZ, Sinan KUL

1597

Araştırma Makalesi / Research Article

İlkokul Çevresinde Gürültü Kirliliğinin Belirlenmesi: Bursa İli Örneği
Determination of Noise Pollution around Primary School: Bursa Case Study
Melike YALILI KILIÇ, Sümeyye ADALI

1607

Araştırma Makalesi / Research Article

Şehir Kaynaklı Sera Gazı Emisyonunun Belirlenmesi: Kocaeli İli Örneği
Determination of City-Based Greenhouse Gas Emissions: The Case Study of Kocaeli Province
Çağla ATMACA¹, Orhan SEVİMOĞLU

1616

Elektrik Elektronik Mühendisliği / Electrical Electronic Engineering

Araştırma Makalesi / Research Article

LabVIEW ve Mikro-denetleyici Tabanlı Sıcaklık Kontrol Sistemi Tasarımı
Designing Temperature Control System based on LabVIEW and Microcontroller
Said Mahmut ÇINAR, Murat FİDAN, Mustafa DEMİRCİ, İsmail YABANOVA

1628

Araştırma Makalesi / Research Article

Kapalı Otopark Aydınlatmasında Floresan ve LED Lambanın Enerji Verimliliği Açısından Karşılaştırılması
Comparison of Fluorescent Lamp and LED Lamp in Terms of Energy Efficiency in Parking Garage Lighting
Behçet KOCAMAN

1640

Araştırma Makalesi / Research Article

T Kaotik Sisteminin Geri Besleme ile Kontrolü
Feedback Control of the T Chaotic System
Selçuk EMİROĞLU, Yılmaz UYAROĞLU

1649

Fizik / Physics

Araştırma Makalesi / Research Article

High Harmonic Generation in Ar and N₂ Gas Mixture Using Ultrashort High Power Laser System
Muhammed SAYRAÇ

1659

Araştırma Makalesi / Research Article

Electric Field Effect on Excited State Binding Energy and Self-Polarization of a Hydrogenic Impurity in a Spherical Quantum Dot
Ali İhsan MESE

1666

Araştırma Makalesi / Research Article

Two Dimensional Modeling of Au/n-GaN Schottky Device
Au/n-GaN Schottky Aygıtının İki Boyutlu Modellenmesi
Bengül METİN, Neşe KAVASOĞLU, Abdulkadir Sertap KAVASOĞLU

1674

Araştırma Makalesi / Research Article

Spin 1 Spinor Construction with Clifford Algebra and Dirac Spin 1/2 Spinors
Murat AN

1683

Gıda Mühendisliği / Food Engineering

Araştırma Makalesi / Research Article

Bazı Tahıl ve Tahıl Benzeri Unların Yenilebilir Film ve Kaplama Potansiyellerinin Belirlenmesi
Determination of Edible Film and Coating Potentials of Some Cereal and Pseudocereal Flours
Ali Mücahit KARAHAN, Raciye MERAL, Osman KILINÇEKER

1692

İnşaat Mühendisliği / Civil Engineering

Araştırma Makalesi / Research Article

Kuru Kumlarda Dane Çapı Dağılımının İçsel Sürtünme Açısına Etkisinin Kesme Kutusu Deneyleri ile Belirlenmesi
Determination of the Effect of Grain Size Distribution on the Internal Friction Angle in Dry Sands by Direct Shear Test
Eyyüb KARAKAN, Zelay EBREN

1702

İnşaat Mühendisliği / Civil Engineering

Araştırma Makalesi / Research Article

Geri Dönüştürülmüş Beton Agregasının Düşük Plastisiteli Bir Kilin Mekanik Özelliklerine Etkisi
Effect of Recycled Concrete Aggregate (RCA) on Mechanical Properties of a Low Plasticity Clay
Gamze BİLGEN

1714

Araştırma Makalesi / Research Article

26 Eylül 2019 Silivri Açıkları (Marmara Denizi) Depreminin Kuvvetli Yer Hareketi Verilerinin Değerlendirilmesi
Evaluation of Strong Ground Motion Records of September 26, 2019 Offshore Silivri (Marmara Sea) Earthquake
Abdullah Can ZÜLFİKAR, Senem TEKİN, Seyhan Okuyan AKCAN, Methiye Gündoğdu GÖK

1720

Araştırma Makalesi / Research Article

Discharge coefficient equation to calculate the leakage from pipe networks
Ömer EKMEKÇİOĞLU, Eyyup Ensar BAŞAKIN, Mehmet ÖZGER

1737

Kimya / Chemistry, Kimya Mühendisliği / Chemical Engineering

Araştırma Makalesi / Research Article

An Application of Polydopamine-dip Coating as a Gentle Surface Modification Process for Cryogel Disks
Gözde ÖZBEK, Orhan GEZİCİ, Mevlüt BAYRAKCI

1747

Araştırma Makalesi / Research Article

Synthesis and Characterization of Poly(ϵ -caprolactone-*b*-Styrene) Block Copolymer by Ring-Opening Polymerization and Reversible Addition-Fragmentation Chain Transfer Polymerization
Bedrettin SAVAŞ, Temel ÖZTÜRK

1759

Araştırma Makalesi / Research Article

Synthesis and Spectroscopic Properties of Optical Probe Based on Schiff Base with Biological Application
Mevlüt BAYRAKCI*, Bahar YILMAZ

1767

Araştırma Makalesi / Research Article

Kanserli ve Sağlıklı Larenks Dokularında ICP-MS Yöntemi ile Eser Elementler Analizi
Trace Elements Analysis in Cancer and Healthy Larynx Tissues by ICP-MS Method
Ömer Faruk KOÇAK, Mevlüt ALBAYRAK, Fatma Betül ÖZGERİŞ

1779

Araştırma Makalesi / Research Article

Lophanthus turcicus'un Antioksidan Özellikleri, C Vitamini, İz element ve Mineral Düzeylerinin Belirlenmesi
Determination of Antioxidant Properties, Vitamin C, Trace Elements and Mineral Levels of *Lophanthus turcicus*
Ahmet BAKIR, Suat EKİN, Mehmet FIRAT

1786

Araştırma Makalesi / Research Article

Spectroscopic Comparison of 4-Isopropyl-N, N-Bis (4-Azidophenyl) Aniline molecule (IPAPA): DFT and MEP Analysis
4-İzopropil-N, N-Bis (4-Azidofenil) Anilin molekülünün (IPAPA) Spektroskopik Karşılaştırması: DFT ve MEP Analizi
Ertugrul CİFTÇİ, Ahmet Cagri ATA, Ümit YILDIKO, İsmail ÇAKMAK

1799

Araştırma Makalesi / Research Article

The Evaluation of Inhibition Effects of Antibiotics on the Sheep Stomach Carbonic Anhydrase I and II Isozymes
Namık KILINÇ, Şükrü BEYDEMİR

1811

Araştırma Makalesi / Research Article

Vortex-assisted ionic liquid-based dispersive liquid-liquid micro-extraction and spectrofluorometric determination of Rhodamine B in anti-freeze, lipstick, liquid soap, matches and red pencil core
Abdullah Taner BİŞGİN

1820

Araştırma Makalesi / Research Article

İnsan Serum Paraoksonaz-1 (hPON1) Üzerine Bendamustin İnhibisyon Etkisi
Inhibitory Effects of Bendamustine on Human Serum Paraoxonase-1 (hPON1)
Hakan SÖYÜT, Yakup ULUTAŞ, Ekrem KÖKSAL

1833

Araştırma Makalesi / Research Article

Süstitüe Fenetilaminlerin Bazı Simetrik ve Asimetrik Üre Türevlerinin Sentezi
Synthesis of Some Symmetrical and Non-Symmetrical Urea Derivatives of Substituted Phenethylamines
Bünyamin ÖZGERİŞ

1839

Araştırma Makalesi / Research Article

The Determination of Inhibition Effect of Extracts of *Thymbra sintonisii* Bornm. et Aznav. Subsp on Angiotensin Converting Enzyme
Tuğba GÜR, Fatih KARAHAN, Zehra BAŞ, Vedat TÜRKOĞLU

1848

1471

Kimya / Chemistry, Kimya Mühendisliği / Chemical Engineering

Araştırma Makalesi / Research Article

Antioxidant Potential and Tyrosinase Inhibitory Properties of Quebecol as Natural Phenolic Compound
Doğal Fenolik Bileşik Olarak Quebecol'un Antioksidan Potansiyeli ve Tirozinaz İnhibitör Özellikleri
Parham TASLIMI

1857

Araştırma Makalesi / Research Article

Preparation of Metal Complexes of 4,5-Dichlorophthalic Acid As Nanoscale and Electronic Properties
Nano-Ölçekli Olarak 4,5-Diklorofthalik Asit Metal Komplekslerinin Hazırlanması ve Elektronik Özellikler
Mehmet Salih KESKİN, Ümit YILDIKO, Derya GÜNGÖRDÜ SOLĞUN, Mehmet Salih AĞIRTAŞ

1865

Araştırma Makalesi / Research Article

Amfiprotik ve Dipolar Aprotik Çözücülerde 3-(4-Aril) Propiyonik Asit Türevlerinin Asitlik Kuvvetleri
The Acidity Strengths of 3-(4-Aryl) Propionic Acid Derivatives in Amphiprotic and Dipolar Aprotic Solvents
Zafer OCAK

1876

Araştırma Makalesi / Research Article

Adsorption of Aniline from Aqueous System by Highly Fluorinated Polymers of Intrinsic Microporosity (PIM-2)
Bekir SATILMIŞ

1886

Makina Mühendisliği / Mechanical Engineering

Araştırma Makalesi / Research Article

Panel Konumu ve Açısının Fotovoltaik Panel Karakteristiği Üzerine Etkisi
Effect Of Panel Position And Angle On Photovoltaic Panel Characteristics
Kadir GELİŞ, Eda Feyza AKYÜREK, Mehmet YOLADI

1899

Araştırma Makalesi / Research Article

Optimization of the Effect of Cutting Parameters on the Cutting Force in the Gradual Turning Process by Taguchi Method
Oğur İYENEN, Abidin ŞAHİNOĞLU, Mustafa ÖZDEMİR, Volkan YILMAZ

1909

Araştırma Makalesi / Research Article

The Effect of Fill Rate on Mechanical Properties of PLA Printed Samples
Arslan KAPTAN, Fuat KARTAL

1919

Araştırma Makalesi / Research Article

İHA Kanatlarında Kullanılan Cam ve Karbon Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Yapısal Performanslarının Sayısal Simülasyonlar ile İncelenmesi
Investigation of Structural Performances of Composite Materials Reinforced by Glass and Carbon Fibers Used on Unmanned Aerial Vehicles Using Numerical Simulations
Ahmet Mesut ÖZTÜRK, Ömer GÜNDOĞDU

1928

Araştırma Makalesi / Research Article

Helisel İç Borulu Isı Değiştiricilerde Isı Transferi ve Basınç Düşümü Analizinin Deneysel Olarak İncelenmesi
Analysis of Heat Transfer and Pressure Drop in Vertical Heat Exchangers with Helical Inner Pipe
Tarkan KOCA, Aykut ZEDELİ

1943

Matematik / Mathematics

Araştırma Makalesi / Research Article

Analysis of The Dynamics of The Classical Epidemic Model with Beta Distributed Random Components
Klasik Salgın Hastalık Modeli Dinamiklerinin Beta Dağılımına Sahip Rastgele Bileşenlerle İncelenmesi
Tulay KESEMEN, Mehmet MERDAN, Zafer BEKIRYAZICI

1956

Araştırma Makalesi / Research Article

Salkowski Eğrisinin Birim Darboux Vektörünün Sabban Çatısından Elde Edilen Smarandache Eğrileri
Smarandache Curves According to Sabban Frame Generated by the Spherical Indicatrix Curves of the Unit Darboux Vector of Salkowski Curve
Melek UZUN, Süleyman ŞENYURT

1966

Araştırma Makalesi / Research Article

Ortak Bertrand-B İsogeodezik Eğriye Sahip Yüzey Aileleri
Surface Family With A Common Bertrand-B Isogeodesic Curve
Kebire Hilal AYYACI, Gülnur ŞAFFAK ATALAY

1975

Matematik / Mathematics

Araştırma Makalesi / Research Article

M-Estimations of Shape and Scale Parameters by Order Statistics in Least Informative Distributions on q-deformed logarithm
Mehmet Niyazi ÇANKAYA

1984

Araştırma Makalesi / Research Article

3-Boyutlu Minkowski Uzayında Bishop Çatısına Göre Sabit Eğrilikli Null Olmayan Regle Yüzeyle
Non-null Ruled Surfaces with Constant Curvatures According to Bishop Frame in Minkowski 3-space
Cansu Nevcihan TEKİN, İsmail AYDEMİR

1997

Araştırma Makalesi / Research Article

Analysis of the Solutions of the Equation Modeled in the Field of Nonlinear Sciences
Tolga AKTÜRK, Maşure Kübra DİKİCİ

2009

Moleküler Biyoloji ve Genetik / Molecular Biology and Genetic

Araştırma Makalesi / Research Article

Antiproliferative and Antimicrobial Effects of Tris(2-hydroxyethyl)ammonium-Based Protic Ionic Liquids with Some Fatty Acids
Hüseyin AKBAŞ, Aşlı YILDIRIM, Şeyma MENEVŞE, Nazan GÖKŞEN

2021

Orman Mühendisliği / Forestry Engineering

Araştırma Makalesi / Research Article

Seed Morphology of Some Selected Species of Fabaceae, Polygonaceae, Primulaceae, Violaceae, Rosaceae and Phyllanthaceae
Fabaceae, Polygonaceae, Primulaceae, Violaceae, Rosaceae ve Phyllanthaceae Familyalarına Ait Bazı Taksonların Tohum
Morfolojileri
Seyran PALABAŞ UZUN, Alper UZUN, Eda ALICI

2028

Peyzaj Mimarlığı / Landscape Architecture

Araştırma Makalesi / Research Article

Arazi Sanatı Sanal Uygulaması ile Farkındalık Yaratma: Burdur Gölü Örneği
To Raise Awareness with Land Art Virtual Application: The Case Study of Burdur Lake, Turkey
Hatice YILDIRIM, Hüseyin Samet AŞIKKUTLU, Latif Gürkan KAYA

2037

Derleme Makalesi / Review Article

21. Yüzyılda Çin'in Sürdürülebilirlik Paradigması: Ekolojik Medeniyet
China's Sustainability Paradigm in the 21st Century: Ecological Civilization
Ayser İLHAN, Tendü Hilal GÖKTUĞ

2047

Araştırma Makalesi / Research Article

İstanbul Çırpıcı Kent Parkı'nın Engelli Kullanımı Açısından Değerlendirilmesi
Evaluation of Istanbul Çırpıcı City Park in Terms of Disabled Use
Özüm TÜRCAN İMRAN, Tuğba KİPER

2062

Araştırma Makalesi / Research Article

Kültürel Peyzaj Planlaması Kapsamında Tarihi Çevrelere Yönelik Kentsel Tasarım Önerileri: Tarihi İspir Kalesi ve İspir Evleri
Urban Design Proposals for Historical Environments within the Scope of Cultural Landscape Planning: Historical İspir Castle and
İspir Houses
Zeynep KARABUDAK ERTEM, Hilal TURGUT

2076

Su Ürünleri / Fisheries

Araştırma Makalesi / Research Article

Ağır Metal Varlığında *Vimba vimba* Bireylerindeki Genotoksik Hasarın Tespiti
Determination of Genotoxic Damage for *Vimba vimba* in the Presence of Heavy Metals
Seda KONTAŞ, Derya BOSTANCI

2090

Araştırma Makalesi / Research Article

Erzurum İlinde Eğitim Durumlarının ve Gelir Düzeylerinin Su Ürünleri Tüketimine Etkisi
The Effect of Educational Status and Income Levels on Seafood Consumption in Erzurum
Gökhan ARSLAN, Ümit AVCIOĞLU

2101

Tarım Ekonomisi / Agricultural Economy

Araştırma Makalesi / Research Article

Students' Milk Consumption Patterns at Erzincan Binali Yıldırım University
Hediye KUMBASAROĞLU, Tuğba EREM KAYA

2114

Tarım Ekonomisi / Agricultural Economy

Araştırma Makalesi / Research Article

Sebze Tohumu Dış Ticaret Rekabet Düzeyinin Porter'in Elmas Modeliyle Analizi: Antalya İli Örneği
Analysis of Competition Power of Vegetable Seed Foreign Trade using Porter's Diamond Model: The Case of Antalya Province
Abdülkadir FİLİZ, Cengiz SAYIN

2126

Tarla Bitkileri / Field Crops

Araştırma Makalesi / Research Article

Farklı Karışım Oranları ve Biçim Dönemlerinin Yem Bezelyesi ile Arpa Karışımlarının Ot Verim Performansına Etkileri
The Effects of Different Mixture Ratio and Harvest Stage on Forage Yield Performance of Field Pea and Barley Mixtures
Seyithan SEYDOŞOĞLU

2136

Araştırma Makalesi / Research Article

Bazı Yağlık Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) Çeşitlerinin Önemli Kalite Özelliklerinin Tespiti Üzerine Bir Araştırma
A Research on Determination of Important Quality Properties of Some Oilseed Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Cultivars
Ali Rahmi KAYA, Tamer ERYİĞİT

2143

Araştırma Makalesi / Research Article

Mısırdaki Bazı Özelliklerin Genetik Analizi
Genetic Analysis of Some Traits in Maize
Şekip ERDAL, Rahime CENGİZ, Ahmet ÖZTÜRK, Mehmet PAMUKÇU, Cüneyt DİNÇER, Bülent CENGİZ, Marvin Paul SCOTT

2153

Araştırma Makalesi / Research Article

Humik Asit Baklada (*Vicia faba* L.) Tuz (NaCl) Stresinin Azaltılması Üzerine Etkisi
Effect of Humic Acid on Reducing Salt (NaCl) Stress in Broad Bean (*Vicia faba* L.)
Murat TUNÇTÜRK, Rüveyde TUNÇTÜRK, Erol ORAL, İshak BARAN

2168

Araştırma Makalesi / Research Article

Farklı Depolama Ortamı ve Sıcaklıkların Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Tohumlarında Çimlenme ve Sürme Oranı Üzerine Etkisi
Effect of Different Storage Media and Temperatures on The Germination and Emergence Rate of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Seeds
Hakan GEREN, Yaşar Tuncer KAVUT

2180

Araştırma Makalesi / Research Article

Bazı Yemlik Pancar (*Beta vulgaris* var. *rapacea*) Çeşitlerinin Yumru Verimi ve Kalite Özellikleri
Tuber Yield and Quality Properties of Some Fodder Beet (*Beta vulgaris* var. *rapacea*) Varieties
Ayşe Merve ÖZDEMİR, Kağan KÖKTEN

2191

Araştırma Makalesi / Research Article

Dallı Darı (*Panicum virgatum*)'nın Kurşun, Kadmiyum, Krom Toleransı ve Akümülyasyon Potansiyelinin Belirlenmesi
Determination of Switchgrass (*Panicum Virgatum*)'s Lead, Cadmium, Crom Tolerance And Accumulation Potential
İdris ALACABEY, Şeyda ZORER ÇELEBİ

2199

Araştırma Makalesi / Research Article

Farklı Dozlarda Fosfor ve Zeolit Uygulamasının Yoncanın Kuru Madde Verimi ve Bazı Özelliklerine Etkileri
Effects of Phosphorus and Zeolite Application at Different Doses on Yield and Some Properties of Alfalfa
Kambiz KHARAZMİ, Mustafa TAN

2207

Araştırma Makalesi / Research Article

Serin iklim yeşil alan bitkilerinin Samsun koşullarında uyum, kalite ve devamlılık özellikleri
Harmony, quality and continuity characteristics of cool season turf grasses in Samsun conditions
Sedat ARSLAN, İlknur AYAN, Zeki ACAR

2216

Araştırma Makalesi / Research Article

Ekim Zamanları ve Bor Uygulamalarının Çörekotu (*Nigella sativa* L.) Bitkisinin Agronomik ve Kalite Özellikleri Üzerine Etkileri
Effects of Sowing Times and Boron Applications on Agronomic and Quality Properties of Black Cumin (*Nigella sativa* L.)
Erman BEYZİ, Şafak KARER

2227

Araştırma Makalesi / Research Article

Bazı Anason (*Pimpinella anisum* L.) ve Tatlı Rezene (*Foeniculum vulgare* Mill. var. *dulce*) Populasyonlarının Uçucu Yağ Bileşenlerinin Belirlenmesi
Determination of Essential Oil Components of Some Anise (*Pimpinella anisum* L.) and Sweet Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill. var. *dulce*) Populations
Hülya DOĞAN

2235

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme / Soil Science and Plant Nutrition

Araştırma Makalesi / Research Article

Combined Iodine, Iron and Zinc Biofortification of Tomato Fruit
Özge ŞAHİN

2242

Zootekni / Animal Science

Araştırma Makalesi / Research Article

Doğu Anadolu Bölgesi İllerine ait Hayvan Varlıklarının Basit Uyum Analizi ile İncelenmesi
Examination of Animal Assets of Eastern Anatolia Region Provinces with Simple Correspondence Analysis
Yıldırım DEMİR

2252

Araştırma Makalesi / Research Article

The Effects of Common Vetch Grain (*Vicia Sativa*) on Some Blood, Rumen Parameters and Rumen Protozoa in Lambs
Cemal BUDAĞ, Evrim TAŞ

2260

Tuz Stresi ve Geri Kazanım Sürecinde Biberin (*Capsicum annuum* L.) Bitki Gelişimi ve İyon Alımındaki Değişimler

Hacı Yusuf KADAN¹, Özlem ÜZAL^{2*}

ÖZET: Çalışmada; tuz stresi altında (geçici stres dönemi) ve geri kazanım sürecinde (geçici stres sonrası süreç) çarliston ve acı çiçek biber bitkisindeki metabolik olayların nasıl etkilendiğini açıklığa kavuşturmak ve hangi uyum mekanizmaları geliştirdiğini anlamak amaçlanmıştır. Pomza ortamında çimlendirilen 2 gerçek yapraklı fideler, su kültürüne alınmış, 4-5 yapraklı dönemde fidelere tuz uygulamalarına başlanmıştır. Tuz uygulanmadan önce (0. gün) bitki örnekleri alınarak, tuz uygulanacak fideler için besin çözeltisine 50 mM NaCl eklenmiştir. Tuz uygulamasının 10. ve 20. gününde örnek alma işlemi yapılmıştır. Daha sonra tuz uygulaması kesilip, bitkiler tuz eklenmeden Hogland besin çözeltisinde yetiştirilmeye devam edilerek bitkiler geri kazanım dönemine (geçici tuz stresi sonrası tuz uygulanmayan süreç) alınmıştır. Bu süreçte ise örnek alma işlemi 10. ve 20. günde olmak üzere iki kez yapılmıştır. Bitkilerin, temel bazı büyüme parametreleri yaprak sayısı, yaprak ağırlığı, kök ağırlığı, gövde ağırlığı, bitki boyu, ilk çiçeklenme ile yaprak kısımlarında, Na, K, Ca, Cl içerikleri belirlenmiştir. Yapılan fiziksel ölçüm ve analizler sonucunda, her iki biber çeşidinde de tuz stresinin bitki gelişim parametreleri üzerine olumsuz etkisinin olduğu görülmüştür. Çarliston biber çeşidinin bitki gelişimlerini geri kazanım sürecinin 20. gününde stres metabolizmasından kurtulup normal gelişim metabolizmasına geçebilmiştir. Acı çiçek biber çeşidi ise metabolik aktiviteyi kontrol altında tutabilmek için bitki büyümesini sınırlandırarak bitkiyi kontrol edebilecek seviyede tutmuştur. Tuzluluğun bitkilerin erken çiçeklenmesi üzerine etkisine bakıldığında, yapılan gözlemlerde çarliston biber çeşidinde ilk çiçeklenmenin tuz uygulamasının 23. gününde olduğu görülmüştür. Yapılan biyokimyasal analizler sonucunda da bitkiler üzerindeki tuz stresinin olumsuz etkisinin geri kazanım sürecinin 20. gününde azaldığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biber, *Capsicum annuum* L., Geri kazanım, Tuz stresi

Changes in Pepper (*Capsicum annuum* L.) Plant Growth and Ion Uptake in Salt Stress and Recovery Process

ABSTRACT: In this study, it is aimed to clarify how the metabolic events in the plant and pepper plant are affected under salt stress and recovery process, and which adaptation mechanisms are developed. Seedlings germinated in pumice environment and 2 true leaf seedlings were taken into water culture, and salt applications were started to be applied to seedlings in the period of 4-5 leaves. Before salt application (0. day) plant samples were taken, 50 mM NaCl was added to nutrient solution for seedlings to be applied salt. Sampling was performed on the 10th and 20th days of the salt application period and recovery period. Some basic growth parameters of plants are number of leaves, leaf weight, root weight, root length, stem weight, plant height, first flowering, in leaf Na, K, Ca, Cl contents were performed. As a result of the measurements and analyzes, it was observed that salt stress had a negative effect on plant growth parameters in both pepper cultivars. Carliston pepper cultivar was able to recover the plant growth on the 20th day of the recovery process (post-stress process), while the hot pepper cultivar was able to control the plant growth by limiting the plant growth in order to control the metabolic activity. When the effect of salinity on the early flowering of plants was observed, it was observed that the first flowering of the charliston pepper cultivar was on the 23rd day of salt application. As a result of the biochemical analysis, it was determined that the negative effect of salt stress on the plants decreased on the 20th day of the recovery process.

Key words: *Capsicum annuum* L., Pepper, Recovery, Salt stress

¹Hacı Yusuf KADAN (Orcid ID: 0000-0003-1701-6378), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van Türkiye

²Özlem ÜZAL (Orcid ID: 0000-0002-1538-820X), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Özlem ÜZAL, e-mail: ozlemuzal@yyu.edu.tr

* Bu çalışma Hacı Yusuf KADAN'ın Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

Geliş tarihi / Received: 16-03-2020

Kabul tarihi / Accepted: 12-05-2020

GİRİŞ

Bitkilerde birçok metabolik olayı olumsuz etkileyen, bilhassa kültür bitkilerinde ürün kalitesi ve verimi düşüren abiyotik faktörlerden biri olan tuz stresi, açıkta ve örtü altı yetiştiricilikte önemli payı olan biber bitkisini olumsuz etkilemektedir. Tuzluluk örtü altı yetiştiricilik alanlarında, açıkta yetiştiricilikten çok daha etkin olmaktadır. Topraksız sistemlerde dahi düşük kaliteli su kullanımı tuzluluk açısından sorunlara neden olmaktadır (Oztekin ve Tuzel, 2011). Tuzluluk genel olarak; bitkinin yaprak sayısı ve alanında azalma; bitkinin boyunun küçülmesi, dokular ve organların farklılaşması ve büyümesini baskılaması, kök ve gövde ağırlığının dengelenememesi sonucunda daha zayıf kök sistemi oluşmasıyla kendisini göstererek büyümede yavaşlamaya sebep olur. Aynı zamanda tuzluluk, bitki yaş ve kuru ağırlığında meydana gelen azalmalar, klorofil içeriğinde azalmalar, meyve kalitesinde düşüş ve buna bağlı olarak verimde oluşacak aksaklıklarla da etkisini göstermektedir (Yu ve ark., 2012). Bitkilerde tuz stresi büyümenin azalmasına, fotosentez hızının yavaşlamasına, reaktif oksijen türlerinin artmasına, su potansiyelinin azalmasına, iyon dengesizliğine ve stomaların kapanmasına yol açmaktadır (Bartels ve Sunkar 2005; Mahajan ve ark., 2008).

Biber (*Capsicum annuum* L.) tuza orta derecede hassas bir bitki türüdür. Biber bitkisinde verimde oluşacak azalmaların 1.0-1.5 dS/m tuzlulukta başlayacağı, EC=3.4 dS/m düzeyinde ise verimde yaklaşık %50 kadar azalmanın olduğu bildirilmektedir (Ayers, 1977). Bu olumsuz şartlardan dolayı ürün ve kalite kayıpları da ciddi boyutlara ulaşabilmektedir. Ancak bu olumsuzlukları ortadan kaldırmanın en etkin yolu da tuzluluğa toleranslı bitki tür ve çeşitlerini geliştirmek ve tuzluluğun olumsuz etkilerini giderici uygulamalar yapmaktır. Ancak toleranslı tür ve çeşitleri geliştirebilmek için önce bitkinin stres mekanizmasını çok iyi aydınlatmak gerekmektedir.

Yapılan bu çalışmada tatlı meyvelere sahip çarliston ve acı meyveleri olan acı çiçek biber çeşidinde tuz stresi altında meydana gelen zararlanmaların ve geri kazanım süresinde meydana gelen iyileşmelerin belirlenerek, farklılıkların morfolojik ve fizyolojik parametreler yardımıyla ortaya konulması amaçlanmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Çarliston (*Capsicum annuum* L./tatlı) ve Acı çiçek (*Capsicum frutescens* L./acı) biber çeşitlerinin kullanıldığı çalışma, normal atmosferin sağlandığı iklim odasında ($25\pm 1^\circ\text{C}$ sıcaklık, %70 nem, 16/8 saat aydınlık/karanlık) ve su kültüründe yürütülmüştür.

Biber tohumları, pomza ve torf doldurulmuş alt yüzeyi delinen 40x25x5 cm boyutlarındaki plastik çimlendirme kaplarına ekilmiştir. Çeşme suyu ile sulanmıştır. Çimlendirme kapları, $25\pm 1^\circ\text{C}$ sıcaklık %70 neme sahip iklim odasına yerleştirilerek, tohumlar çimleninceye kadar gerektiğinde sulanmıştır. Fidelerin kotiledon yaprakları yatay duruma geldiğinde Hoagland besin çözeltisiyle (Hoagland ve Arnon, 1938) sulanmıştır. Bu ortamda 2 gerçek yaprakları oluşan biber fideleri su kültürüne alınmıştır. Fidler küçük sünger sarılarak içinde besin çözeltisi bulunan 25x25x18 cm ebatlarındaki plastik küvetler üzerindeki delikli tablalara yerleştirilmiştir. Havalandırma işlemi, akvaryum pompası yardımıyla yapılmıştır. Deneme tesadüf parselleri deneme deseninde; 3 tekerrürlü ve tekerrürde 15 bitki olarak kurulmuştur.

Fidler 4-5 gerçek yaprağa sahip oluncaya kadar büyütülüp daha sonra tuz uygulamalarına başlanmıştır. Tuz uygulanmadan önce bitki örnekleri alınarak, tuz uygulanacak fideler için besin çözeltisine 50 mM tuz konsantrasyonunu sağlayacak oranda NaCl eklenmiştir. Her hafta çözeltilerin tazelenirken, tuz aynı konsantrasyonda tutularak uygulanmıştır. Örnek alma işlemi tuz uygulamasının 10. ve 20. gününde yapılmış, daha sonra tuz uygulaması kesilerek, bitkiler, içinde tuz olmayan Hoagland besin çözeltisinde yetiştirilmeye devam edilmiştir. Böylece bitkiler geri kazanım sürecine alınmıştır. Tuz

uygulanması kesildikten sonraki geri kazanım sürecinde ise örnek alma işlemi 10. ve 20. günde olmak üzere iki defada yapılmıştır. Bitkilerin, temel bazı büyüme parametrelerinden yaprak sayısı (adet), yaprak ağırlığı (g), kök ağırlığı (g), gövde ağırlığı (g), bitki boyu (cm), ilk çiçeklenme tarihleri tespit edilmiş ve yapraktaki Na, K, Ca, Cl içerikleri incelenmiştir.

Mineral element analizleri

İyon analizleri için derin dondurucuda saklanan yaprak örneklerinden 200 mg tartılarak, yaş yakma metoduna göre; üzerine 10 ml 0.1 N HNO₃ (Nitrik asit) ilave edilerek bir hafta kapaklı plastik kutularda oda sıcaklığında karanlık ortamda bekletilmiş, bu sürenin sonunda örnekler çalkalayıcıda 24 saat süreyle çalkalanmıştır. Na, K, Ca içerikleri ise, Kacar (1994)'e göre Atomik Absorbsiyon cihazında okunmuştur. Cl⁻ iyonu ise gümüş iyonları ile kolorimetrik amperometrik titrasyon yoluyla analiz yapan kloridometre (Buchler–Cotlove chloridometer) kullanılarak ölçülmüştür. Bu ölçümler sonunda, yaş yaprak örneğindeki iyon miktarı µg mg taze ağırlık olarak belirlenmiştir (Taleisnik ve ark., 1997).

İstatistik analizi

Elde edilen veriler değerlendirilmesi için Statgraphics istatistik analiz paket programında varyans analizi ile istatistiksel olarak önemli bulunan deneme konuları Duncan testi (P≤0.05) ile gruplandırılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bitki Gelişimiyle İlgili Ölçümler

Kök Ağırlığı

Çarliston biber çeşidinin uygulama döneminde tuz uygulanan bitkilerin kök ağırlıklarının önemli oranda arttığı fakat geri kazanım dönemi 10. gününde kök ağırlıklarında önemli ölçüde azalışın olduğu, geri kazanım sürecinin 20. gününde ise bitkilerin kök ağırlıklarında artışların istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir. Acı çiçek biber çeşidinde ise tuz uygulanan bitkilerin kök ağırlıklarının gerek tuz uygulama döneminde ve gerekse geri kazanım döneminde önemli ölçüde arttığı dikkati çekmektedir. Aynı biber çeşidinde tuz uygulama döneminin 10. ve 20. gününde kontrol ve tuz uygulaması yapılan bitkilerin kök ağırlıkları bakımından önemli istatistiksel farklılıkların olduğu belirlenmiştir. Uygulama dönemi 20. Gününde kontrol bitkilerinde 20.99 g olan kök ağırlığı, tuz uygulanan bitkilerde 13.82 g olarak belirlenmiştir. Geri kazanım sürecinin 20. gününde istatistiksel farklılığın önemli olduğu belirlenmiştir. Geri kazanım döneminin 20. gününde kontrol bitkilerinde kök ağırlığı 23.68 g iken tuz uygulanan bitkilerde kök ağırlığı 19.35 g seviyesine düşmüştür (Çizelge 1).

Çizelge 1. Tuz uygulaması öncesi (0.gün), tuz uygulama dönemi ve geri kazanım sürecinde belirlenen kök ağırlıkları (g)

DÖNEM	PERİYOT	ÇARLİSTON		P DEĞERİ	ACI ÇİÇEK		P DEĞERİ
		KONTROL	NaCl		KONTROL	NaCl	
UYGULAMA ÖNCESİ	0.GÜN	1.33±0.12 E	1.33±0.12 D	-	1.04±0.29 E	1.04±0.29 E	-
UYGULAMA DÖNEMİ	10. GÜN	6.23±1.85 D a	3.99±0.3 C a	0.1065	4.92±0.52 D a	2.23±0.03 D b	0.0009
	20. GÜN	9.20±0.15 C a	10.85±2.6 B a	0.3414	20.99±1.22 C a	13.82±0.11 C b	0.0005
GERİ KAZANIM SÜRECİ	10. GÜN	13.23±0.55 B a	6.18±0.73 C a	0.0002	27.97±0.85 A a	17.44±1.37 B a	0.0003
	20. GÜN	24.66±0.95 A a	19.5±0.36 A b	0.0009	23.68±1.84 B a	19.35±0.29 A b	0.0158
P DEĞERİ		0.000	0.000	-	0.000	0.000	-

Aynı sütunda aynı büyük harfi alan ortalamalar arasındaki fark P≤0.05'e göre önemsizdir. Aynı satırda aynı çeşidin aynı küçük harfi alan ortalamalar arasındaki fark P≤0.05'e göre önemsizdir.

Gövde Ağırlığı

Çarliston biber çeşidinin tuz uygulanan bitkilerinde geri kazanım dönemi 10. ve 20. gününde bitkilerin gövde ağırlıklarında artışların olduğu belirlenmiştir. Acı çiçek biber çeşidinde tuz uygulanan bitkilerin gövde ağırlıklarının gerek tuz uygulama döneminde ve gerekse geri kazanım döneminde

önemli ölçüde arttığı dikkati çekmektedir. Her iki biber çeşidi için uygulamalar karşılaştırıldığında, gerek tuz uygulamasının 10. ve 20. gününde ve de gerekse geri kazanım sürecinin 10. ve 20. gününde kontrol bitkileri ile tuz uygulaması yapılan bitkilerin gövde ağırlıklarında farklılık istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge 2).

Çizelge 2. Tuz uygulaması öncesi (0.gün), tuz uygulama dönemi ve geri kazanım sürecinde belirlenen gövde ağırlıkları (g)

DÖNEM	PERİYOT	ÇARLİSTON		P DEĞERİ	ACI ÇİÇEK		P DEĞERİ
		KONTROL	NaCl		KONTROL	NaCl	
UYGULAMA ÖNCESİ	0.GÜN	0.767±0.002 E	0.767±0.0 E	-	0.39±0.09 D	0.39±0.0 D	-
UYGULAMA DÖNEMİ	10. GÜN	2.75±0.75 D a	2.31±0.23 D a	0.3869	1.02±0.19 D a	0.89±0.1 D a	0.3841
	20. GÜN	7.04±0.15 C a	5.17±0.24 C b	0.0003	4.27±0.03 C a	4.27±0.0 C a	0.8416
GERİ KAZANIM SÜRECİ	10. GÜN	18.95±0.45 B a	13.35±1.31 B b	0.0021	9.58±0.19 B a	7.77±0.3 B b	0.0013
	20. GÜN	25.55±1.35 A a	25.85±1.22 A a	0.7916	14.53±0.81 A a	9.36±1,5 A b	0.0070
P DEĞERİ		0.0000	0.0000	-	0.0000	0.0000	-

Aynı sütunda aynı büyük harfi alan ortalamalar arasındaki fark $P \leq 0.05$ 'e göre önemsizdir. Aynı satırda aynı çeşidin aynı küçük harfi alan ortalamalar arasındaki fark $P \leq 0.05$ 'e göre önemsizdir.

Yaprak Ağırlığı

Çarliston biber çeşidinin tuz uygulanan bitkilerinde geri kazanım dönemi 10. ve 20. gününde yaprak ağırlıklarında önemli ölçüde artışın olduğu belirlenmiştir. Acı çiçek biber çeşidinde tuz uygulanan bitkilerin yaprak ağırlıklarının gerek tuz uygulama döneminde ve gerekse geri kazanım döneminde önemli ölçüde arttığı dikkati çekmektedir. Uygulamalar karşılaştırıldığında, çarliston biber çeşidinde tuz uygulamasının 10. gününde kontrol bitkileri ile tuz uygulaması yapılan bitkilerin yaprak ağırlıklarındaki farklılıklar istatistiki olarak önemli olmadığı bulunmuştur fakat tuz uygulamasının 20. gününde bitkilerin yaprak ağırlıklarındaki farklılıklar istatistiki olarak önemli olduğu tespit edilmiştir. Kontrol bitkilerinde 24.28 g olan yaprak ağırlığı, tuz uygulanan bitkilerde 18.67 g olarak belirlenmiştir. Aynı biber çeşidinin geri kazanım süreci 10. ve 20. gününde yaprak ağırlıklarında önemli değişimin olduğu belirlenmiştir. Acı biber çeşidinde ise tuz uygulama döneminin 10. ve 20. gününde kontrol ve tuz uygulaması yaprak ağırlıkları bakımından önemli istatistiksel farklılıkların olduğu belirlenmiştir. Kontrol bitkilerinde 23.62 g olan yaprak ağırlığı, tuz uygulanan bitkilerde 17.35 g olarak belirlenmiştir. Geri kazanım sürecinin 10. ve 20. gününde yaprak ağırlığı bakımından önemli istatistiksel farklılıkların olduğu belirlenmiştir. Her iki biber çeşidinin yaprak ağırlıklarının özellikle geri kazanımın 20. Gününde dikkat çekici bir şekilde arttığı görülmüştür (Çizelge 3).

Çizelge 3. Tuz uygulaması öncesi (0.gün), tuz uygulama dönemi ve geri kazanım sürecinde belirlenen yaprak ağırlıkları (g)

DÖNEM	PERİYOT	ÇARLİSTON		P DEĞERİ	ACI ÇİÇEK		P DEĞERİ
		KONTROL	NaCl		KONTROL	NaCl	
UYGULAMA ÖNCESİ	0.GÜN	4.09±0.02 E	4.09±0.02 E	-	3.18±0.07 D	3.18±0.07 C	-
UYGULAMA DÖNEMİ	10. GÜN	15.37±3.76 D a	9.80±0.96 D a	0.0679	6.62±0.01 C a	4.71±0.08 C b	0.0000
	20. GÜN	24.28±1.93 C a	18.67±1.4 C b	0.0159	23.62±1.62 B a	17.35±0.54 B b	0.0031
GERİ KAZANIM SÜRECİ	10. GÜN	48.78±0.44 B a	26.52±0.7 B b	0.0000	41.98±1.42 A a	17.36±1.7 B b	0.0000
	20. GÜN	59.77±0.89 A a	42.94±4.9 A b	0.0044	40.94±2.61 A a	23.95±1.5 A b	0.0006
P DEĞERİ		0.0000	0.0000	-	0.0000	0.0000	-

Aynı sütunda aynı büyük harfi alan ortalamalar arasındaki fark $P \leq 0.05$ 'e göre önemsizdir. Aynı satırda aynı çeşidin aynı küçük harfi alan ortalamalar arasındaki fark $P \leq 0.05$ 'e göre önemsizdir.

Yaprak Sayısı

Her iki biber çeşidinin tuz uygulanan bitkilerinde gerek tuz uygulama döneminde ve gerekse geri kazanım döneminde bitkilerin yaprak sayısının arttığı belirlenmiştir. Bu artışın özellikle geri kazanım döneminin ikinci periyodunda anlamlı olduğu dikkati çekmektedir (Çizelge 4).

Uygulamalar karşılaştırıldığında, çarliston biber çeşidinde tuz uygulamasının 10. ve 20. gününde kontrol bitkileri ile tuz uygulaması yapılan bitkilerin yaprak sayısındaki farklılıklar istatistiki olarak önemli olmadığı bulunmuştur. Aynı biber çeşidi geri kazanım sürecinin 10. gününde yaprak sayısı

bakımından istatistiki olarak farklılıklar önemli bulunmuştur fakat 20. gününde ise yaprak sayısında istatistiksel farklılıkların olmadığı belirlenmiştir. Acı biber çeşidinde ise tuz uygulama döneminin 10. ve 20. gününde kontrol ve tuz uygulaması yaprak sayıları bakımından önemli istatistiksel farklılıkların olmadığı belirlenmiştir. Geri kazanım sürecinin 10. gününde yaprak sayısı bakımından önemli istatistiksel farklılıkların olduğu görülürken, geri kazanımın 20. gününde ise farklılıkların istatistiksel olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4. Tuz uygulaması öncesi (0.gün), tuz uygulama dönemi ve geri kazanım sürecinde belirlenen yaprak sayıları (adet)

DÖNEM	PERİYOT	ÇARLİSTON		P DEĞERİ	ACI ÇİÇEK		P DEĞERİ
		KONTROL	NaCl		KONTROL	NaCl	
UYGULAMA ÖNCESİ	0.GÜN	7.67±0.58 E	7.67±0.58 D	-	8.67±0.58 E	8.67±0.58 D	-
UYGULAMA DÖNEMİ	10. GÜN	11.33±0.58 D a	10.67±1.1 D a	0.4216	13.33±0.58 D a	10.67±1.5 D b	0.0474
	20. GÜN	17.33±0.58 C a	17.33±0.5 C a	1.0000	23.33±2.52 C a	25.0±1.0 C a	0.3465
GERİ KAZANIM SÜRECİ	10. GÜN	33.33±1.53 B a	28.0±2.0 B b	0.0214	44.0±3.61 B a	31.0±4.0 B b	0.0139
	20. GÜN	53.0±3.0 A a	45.67±5.13 A a	0.0994	63.0±3.0 A a	61.67±1.5 A a	0.5304
P DEĞERİ		0.0000	0.0000	-	0.0000	0.0000	-

Aynı sütunda aynı büyük harfi alan ortalamalar arasındaki fark $P \leq 0.05$ 'e göre önemsizdir. Aynı satırda aynı çeşidin aynı küçük harfi alan ortalamalar arasındaki fark $P \leq 0.05$ 'e göre önemsizdir.

Bitki Boyu

Uygulamalar karşılaştırıldığında, çarliston biber çeşidi tuz uygulamasının 20. gününde kontrol bitkileri ile tuz uygulanan bitkiler arasında bitki boyları bakımından farklılıkların önemli olduğu dikkati çekmektedir. Kontrol bitkilerinde 19.80 cm olan bitki boyu, tuz uygulanan bitkilerde 16.65 cm olarak belirlenmiştir. Aynı biber çeşidinin geri kazanım süreci 10. gününde, bitki boylarında istatistiksel anlamda farklılıkların olduğu, geri kazanımın 20. gününde ise bitki boylarında önemli farklılıkların olmadığı belirlenmiştir. Acı biber çeşidinde ise tuz uygulama döneminin 20. gününde kontrol ile tuz uygulaması arasında bitki boyları bakımından istatistiksel farklılıklar önemli bulunmuştur. Kontrol bitkilerinde 17.00 cm olan bitki boyu, tuz uygulanan bitkilerde 14.80 cm olarak belirlenmiştir. Geri kazanım sürecinin 10. ve 20. gününde bitki boyu bakımından istatistiksel olarak farklılıkların önemli olduğu tespit edilmiştir. Kontrol bitkilerinde bitki boyu 23.67 cm iken tuz uygulanan bitkilerde ise bu değer 18.75 cm' ye düşmüştür (Çizelge 5).

Çizelge 5. Tuz uygulaması öncesi (0.gün), tuz uygulama dönemi ve geri kazanım sürecinde belirlenen bitki boyları (cm)

DÖNEM	PERİYOT	ÇARLİSTON		P DEĞERİ	ACI ÇİÇEK		P DEĞERİ
		KONTROL	NaCl		KONTROL	NaCl	
UYGULAMA ÖNCESİ	0.GÜN	10.75±1.0 E	10.75±1.0 E	-	9.0±3.0 E	9.0±3.0 E	-
UYGULAMA DÖNEMİ	10. GÜN	16.25±2.5 D a	14.75±3.2 D a	0.2946	14.0±1.0 D a	11.75±3.06 D a	0.5122
	20. GÜN	19.80±2.2 C a	16.65±0.2 C b	0.002	17.0±3.0 C b	14.80±1.0 AB a	0.0016
GERİ KAZANIM SÜRECİ	10. GÜN	24.25±0.58 B a	19.75±1.5 B b	0.0335	22.50±1.53 B a	16.50±1.5 B b	0.0036
	20. GÜN	27.00±1.53 A a	24.75±4.1 A a	0.2254	23.67±1.53 A a	18.75±2.0 A b	0.0101
P DEĞERİ		0.0000	0.0000	-	0.0000	0.0003	-

Aynı sütunda aynı büyük harfi alan ortalamalar arasındaki fark $P \leq 0.05$ 'e göre önemsizdir. Aynı satırda aynı çeşidin aynı küçük harfi alan ortalamalar arasındaki fark $P \leq 0.05$ 'e göre önemsizdir.

NaCl, su potansiyelini azaltmakta ve hücredeki iyon dengesini bozarak bitki gelişimini olumsuz etkilemektedir. Irshad ve ark., (2002), tuz stresi altındaki bitkilerde köklerin su alma yeteneklerinde önemli azalmalar meydana geldiğini, kök gelişimi ve gövde uzamasında gerilemenin olduğunu bildirmiştir. Stres altındaki bitkilerin gövde çapları ve boylarının kontrole göre küçük kaldığı, yaprak alanı ve generatif evreye geçişte çiçeklenme ve meyve verimini de olumsuz etkilediği bildirilmiştir. Benzer şekilde Akdoğan ve Özkan (2000), fide dikimi, çiçeklenme ve meyve oluşumu dönemlerinde maruz kalınan su stresinin artan tuzluluk değerlerinde, kök ve gövde kuru madde miktarı ve ürün miktarında azalmaya neden olduğunu bildirmiştir. Romero-Aranda ve ark., (2001), Çiçek ve Çakırlar (2002), Yaşar (2003), Lacerda ve ark., (2005), Cavalcanti ve ark., (2007); Yaşar ve ark., (2007), Üzal

(2009), Şevgin Zirek (2017) ve Öztaş (2018) tuz stresi altındaki bitkilerin gelişiminin olumsuz etkilendiğini rapor etmişlerdir. Çalışmamızda her iki biber çeşidinde de tuz stresinin bitki gelişim parametreleri üzerine olumsuz etkisinin olduğu görülmüştür. Geri kazanım sürecine geçildiğinde ise özellikle çarliston biber çeşidinde geri kazanımın 20. gününde kontrole en yakın değerlerin kök uzunluğu, bitki boyu, gövde ağırlığı, gövde kalınlığı ve yaprak sayısı gibi gelişim parametrelerinde ölçüldüğü belirlenmiştir. Geri kazanım sürecinde stres ortamı olmadığından dolayı bitkiler generatif fazdan vegetatif faza geçmiş bu nedenle bitki gelişimlerinde iyileşmelerin olduğu görülmüştür.

İlk Çiçeklenme

İlk çiçeklenme çarliston biber çeşidinde tuz uygulama döneminin 23. gününde gerçekleşmiştir. Geri kazanım sürecine geçildiğinde çiçeklenmenin görülmediği belirlenmiştir. Çalışma süresince acı çiçek biber çeşidinde çiçeklenme gözlenmemiştir. Acı çiçek biber çeşidinin stres ortamında gelişimini yavaşlattığı ancak tuzun olumsuz etkisini gösteren nekrozların görülmediği ve bitkinin daha canlı olduğu görülmüştür. Ancak buna karşın Çarliston biber çeşidinin gelişim ve büyüme parametrelerinde tuzdan daha fazla etkilendiği ve nekrozların olduğu görülmüştür. Bundan dolayı da bitki generatif gelişmeye yönelerek erken çiçeklenmeye başlamıştır. Geri kazanım sürecinde ise stres ortamı olmadığından dolayı bitkiler generatif fazdan vegetatif faza geçmiş ve bu dönemde çiçeklenme olmamıştır. Acı çiçek biber çeşidinde ise stres eşik değerinin daha yüksek olduğu görülmüş ve bitkilerde strese bağlı erken çiçeklenme görülmemiştir. Shannon ve Grieve (1999)'e göre tuzluluğun bütün etkileri olumsuz olmamaktadır. Ürün üzerinde, kalite ve hastalıklara dirençte, olumlu etkilerinin olduğu bildirilmiştir. Ispanakta düşükten orta dereceye kadar olan tuzlulukta üründe artış olmakta, havuçta şeker oranı artmakta, patatesten tuzluluk arttıkça nişasta oranı azalmakta, düşük tuzlulukta lahanada başları daha sıkı olmakta, tuz yoğunluğu arttırıldıkça kerevizin kolayca etkilendiği ve iç kararmasına karşı daha dirençli olduğu rapor edilmiştir. Yaptığımız çalışmada da tuzluluğun bitkilerin erken çiçeklenmesi üzerine etkisine bakıldığında, yapılan gözlemlerde çarliston biber çeşidinde ilk çiçeklenmenin tuz uygulamasının 20. gününde olduğu belirlenmiştir.

İyon miktarı ölçümleri

Yapraklardaki Na iyonu miktarında meydana gelen değişimler

Çarliston biber çeşidinin tuz uygulanan bitkilerinde özellikle uygulama döneminin 20. gününde Na miktarlarında yükselişin olduğu fakat bunun istatistiksel olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir ve geri kazanımın 10. ve 20. gününde ise sodyum miktarlarındaki farklılığın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Acı çiçek biber çeşidinin tuz uygulanan bitkilerinde sodyum miktarlarında yükselişin uygulama döneminin 20. gününde olduğu fakat bunun istatistiksel olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir. Acı biber çeşidinde istatistiksel olarak en önemli farklılık geri kazanım döneminde tespit edilmiştir. Uygulamalar karşılaştırıldığında, çarliston biber çeşidi tuz uygulamasının 20. gününde kontrol bitkileri ile tuz uygulaması yapılan bitkilerin yapraklarındaki sodyum miktarları istatistiki olarak önemli bulunmuştur. Fakat geri kazanım döneminde sodyum miktarları bakımından istatistiksel farklılıkların önemli olmadığı dikkati çekmektedir. Acı biber çeşidinde uygulamalar karşılaştırıldığında sodyum miktarlarında istatistiksel olarak en önemli farklılığın uygulama dönemi ve geri kazanım döneminin 20. gününde olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 6).

Yapraklardaki K iyonu miktarında meydana gelen değişimler

Çarliston biber çeşidinin tuz uygulanan bitkilerinde özellikle uygulama döneminin 10. gününde potasyum miktarlarında düşüşün olduğu, bunun istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ve geri kazanımın 10. ve 20. gününde ise potasyum miktarlarındaki istatistiksel farklılık devam etmiştir.

Acı çiçek biber çeşidinin tuz uygulanan bitkilerinde potasyum miktarlarında önemli düşüşlerin olduğu tespit edilmiştir. Acı biber çeşidinde potasyum kapsamı bakımından istatistiksel olarak en önemli farklılık uygulama döneminin 10. gününde tespit edilmiştir. Uygulamalar karşılaştırıldığında, çarliston biber çeşidi tuz uygulaması ve geri kazanım dönemlerindeki kontrol bitkileri ile tuz uygulaması yapılan bitkilerin yapraklarındaki potasyum kapsamı istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Acı biber çeşidinde uygulamalar arası karşılaştırılma yapıldığında potasyum miktarlarında istatistiksel olarak farklılıklar uygulama döneminin 10. ve 20. gününde ve geri kazanımın 10. gününde olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 7).

Çizelge 6. Tuz uygulaması öncesi (0.gün), tuz uygulama dönemi ve geri kazanım sürecinde periyodik olarak alınan yapraklarında ölçülen sodyum miktarı

DÖNEM	PERİYOT	ÇARLİSTON		P DEĞERİ	ACI ÇİÇEK		P DEĞERİ
		KONTROL	NaCl		KONTROL	NaCl	
UYGULAMA ÖNCESİ	0.GÜN	0.65±0.28 AB	0.65±0.28 AB	-	1.30±0.55 A	1.30±0.55 C	-
UYGULAMA DÖNEMİ	10. GÜN	1.39±0.80 A a	3.10±0.89 B a	0.0690	1.74±0.72 A a	3.38±1.00 B a	0.0832
	20. GÜN	0.84±0.36 AB b	6.08±1.64 A a	0.0058	1.41±0.90 A b	11.15±3.00 A a	0.0058
GERİ KAZANIM SÜRECİ	10. GÜN	0.67±0.33 AB a	2.09±0.88 BC a	0.0594	2.24±1.09 A a	1.23±0.54 C a	0.1297
	20. GÜN	0.42±0.38 B a	1.02±1.09 C a	0.4220	2.20±0.11 A b	1.75±0.62 BC a	0.0002
P DEĞERİ		0.2109	0.0006	-	0.4555	0.0000	-

Aynı sütunda aynı büyük harfi alan ortalamalar arasındaki fark $P \leq 0.05$ 'e göre önemsizdir. Aynı satırda aynı çeşidin aynı küçük harfi alan ortalamalar arasındaki fark $P \leq 0.05$ 'e göre önemsizdir.

Çizelge 7. Tuz uygulaması öncesi (0.gün), tuz uygulama dönemi ve geri kazanım sürecinde periyodik olarak alınan yapraklarında ölçülen potasyum miktarı

DÖNEM	PERİYOT	ÇARLİSTON		P DEĞERİ	ACI ÇİÇEK		P DEĞERİ
		KONTROL	NaCl		KONTROL	NaCl	
UYGULAMA ÖNCESİ	0.GÜN	98.71±14.25 A	98.71±14.25 A	-	91.09±2.52 A	91.09±2.52 A	-
UYGULAMA DÖNEMİ	10. GÜN	89.89±5.18 AB a	81.25±9.67 BC a	0.2443	80.07±8.28 B a	69.24±6.72 C b	0.3841
	20. GÜN	78.74±4.94 B a	71.60±0.01 C a	0.0996	92.67±6.83 A a	53.63±2.15 D b	0.0007
GERİ KAZANIM SÜRECİ	10. GÜN	79.22±6.29 B a	90.05±2.79 AB a	0.0529	85.49±4.49 AB a	64.13±4.53 C b	0.0044
	20. GÜN	75.86±5.14 B a	77.18±7.17 BC a	0.8083	79.94±5.16 B a	79.93±8.63 B a	0.9987
P DEĞERİ		0.0282	0.0211	-	0.0633	0.0001	-

Aynı sütunda aynı büyük harfi alan ortalamalar arasındaki fark $P \leq 0.05$ 'e göre önemsizdir. Aynı satırda aynı çeşidin aynı küçük harfi alan ortalamalar arasındaki fark $P \leq 0.05$ 'e göre önemsizdir.

Yapraklardaki Ca iyonu miktarında meydana gelen değişimler

Çarliston biber çeşidinin tuz uygulanan bitkilerinde özellikle uygulama döneminin 10.gününde Ca kapsamında düşüşlerin olduğu fakat bunun istatistiksel olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir. Uygulama döneminin 20. gününde ise kalsiyum kapsamı en yüksek değeri (14.85) almıştır ve istatistiksel farklılığın önemli olduğu belirlenmiştir. Acı çiçek biber çeşidinin tuz uygulanan bitkilerinde kalsiyum miktarlarında önemli düşüşlerin olduğu tespit edilmiştir. Acı biber çeşidinde Ca miktarında istatistiksel olarak en önemli farklılık uygulama döneminin 10. gününde tespit edilmiştir fakat bu istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Uygulamalar karşılaştırıldığında, çarliston biber çeşidi tuz uygulaması ve geri kazanım dönemi boyunca kontrol bitkileri ile tuz uygulaması yapılan bitkilerin yapraklarındaki kalsiyum miktarları arasında istatistiksel farklılık önemsiz bulunmuştur. Acı biber çeşidinde uygulamalar arası karşılaştırılma yapıldığında kalsiyum miktarlarında istatistiksel olarak önemli farklılıkların olmadığı tespit edilmiştir (Çizelge 8).

Yapraklardaki Cl iyonu miktarında meydana gelen değişimler

Çarliston biber çeşidinin NaCl grubunda klor miktarlarında dönemler boyunca düşüşlerin olduğu bu düşüşlerin uygulama döneminde istatistiki olarak önemsiz olduğu fakat geri kazanımın 10. ve 20. gününde istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir. Acı çiçek biber çeşidinin uygulama döneminde tuz uygulanan bitkilerinde klor miktarlarında en önemli yükselişin olduğu ve bu yükselişlerin

istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir. Acı biber çeşidinin geri kazanım dönemlerindeki klor miktarları bakımından istatistiksel olarak farklılık önemsiz bulunmuştur. Uygulamalar karşılaştırıldığında, çarliston biber çeşidi tuz uygulamasının 10. ve 20. gününde ayrıca geri kazanım döneminin 10. gününde kontrol bitkileri ile tuz uygulaması yapılan bitkilerin yapraklarında ki klor miktarları istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Fakat geri kazanım döneminin 20. gününde ki klor miktarları istatistiksel olarak önemli olmadığı dikkati çekmektedir. Acı biber çeşidinde uygulamalar karşılaştırılma yapıldığında klor miktarlarında istatistiksel olarak en önemli farklılığın uygulama dönemi ve geri kazanım dönemde olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 9).

Çizelge 8. Tuz uygulaması öncesi (0.gün), tuz uygulama dönemi ve geri kazanım sürecinde periyodik olarak alınan yapraklarında ölçülen kalsiyum miktarı

DÖNEM	PERİYOT	ÇARLİSTON		P DEĞERİ	ACI ÇİÇEK		P DEĞERİ
		KONTROL	NaCl		KONTROL	NaCl	
UYGULAMA ÖNCESİ	0.GÜN	4.90±0.18 B	4.90±0.18 B	0.0627	4.86±0.24 B	4.86±0.24 B	0.0786
UYGULAMA DÖNEMİ	10. GÜN	6.82±1.52 AB a	4.57±0.02 C a	0.1979	5.76±1.57 B a	3.98±1.04 B a	0.7238
	20. GÜN	9.37±2.67 A a	14.85±5.5 B a	0.7345	10.96±2.20 A a	10.28±2.1 A a	0.5344
GERİ KAZANIM SÜRECİ	10. GÜN	9.54±2.20 A a	8.93±1.89 BC a	0.1818	10.50±1.69 A a	9.25±2.69 A a	0.2801
	20. GÜN	9.16±0.91 A a	10.57±1.19 AB a	0.0011	14.43±3.48 A a	11.67±1.5 A a	0.0017
P DEĞERİ		0.0322	0.0044	-	0.0013	0.0011	-

Aynı sütunda aynı büyük harfi alan ortalamalar arasındaki fark $P \leq 0.05$ 'e göre önemsizdir. Aynı satırda aynı çeşidin aynı küçük harfi alan ortalamalar arasındaki fark $P \leq 0.05$ 'e göre önemsizdir.

Çizelge 9. Tuz uygulaması öncesi (0.gün), tuz uygulama dönemi ve geri kazanım sürecinde periyodik olarak alınan yapraklarında ölçülen klor miktarı

DÖNEM	PERİYOT	ÇARLİSTON		P DEĞERİ	ACI ÇİÇEK		P DEĞERİ
		KONTROL	NaCl		KONTROL	NaCl	
UYGULAMA ÖNCESİ	0.GÜN	0.36±1.10 A	0.36±1.10 D	-	0.3±0.05 AB	0.3±0.05 D	-
TUZ UYGULAMA DÖNEMİ	10. GÜN	0.31±0.03 A b	1.58±0.18 A a	0.0003	0.43±0.14 A b	1.65±0.3 B a	0.0024
	20. GÜN	0.41±0.08 A b	1.45±0.17 AB a	0.0007	0.2±0.06 B b	3.1±0.07 A a	0.0000
GERİ KAZANIM SÜRECİ	10. GÜN	0.27±0.11 A b	1.25±1.12 C a	0.0005	0.26±0.2 B b	0.77±0.2 C a	0.0116
	20. GÜN	0.37±0.07 A a	0.5±0.22 D a	0.3862	0.27±0.06 B b	0.77±0.27 C a	0.0354
P DEĞERİ		0.3317	0.0000	-	0.0433	0.0000	-

Aynı sütunda aynı büyük harfi alan ortalamalar arasındaki fark $P \leq 0.05$ 'e göre önemsizdir. Aynı satırda aynı çeşidin aynı küçük harfi alan ortalamalar arasındaki fark $P \leq 0.05$ 'e göre önemsizdir.

Tuz stresi altındaki bitkilerin kök bölgesinde Na konsantrasyonunun artmasıyla yaprak ve köklerde Na miktarı artarken, Ca ve K miktarları düşmektedir. Ghoulam ve ark., (2002) şeker pancarında, Lacerda ve ark., (2005) sorgumda, Essa, (2002) soyada; Yakıt ve Tuna (2006) mısırdaki benzer sonuçlar rapor etmişlerdir. Yaptığımız çalışmada da tuz uygulama dönemine özellikle K miktarlarının düştüğü, geri kazanım sürecinde ise K miktarlarında artışın olduğu belirlenmiştir. Tuz uygulama döneminde potasyumun sodyum ile rekabetinden dolayı bitkilerdeki potasyum miktarı azalmıştır. Geri kazanım sürecinde ise ortamda sodyum olmadığından dolayı potasyum alımı ve bitkideki birikimi artmıştır. Bununla birlikte bitkinin toprak üstü kısmına Na^+ gidişini engelleyebilen ve seçici olarak yüksek oranlarda K^+ , Ca^{+2} gönderen genotiplerin tuz zararına karşı daha dayanıklı olduğu Yaşar (2003), Yaşar ve ark. (2006), Yaşar (2007) tarafından da bildirilmektedir. Yine elde ettiğimiz sonuçlara göre tuz stresi uygulandığı dönemde bitkilerin yapraklarında Na^+ , Cl^- miktarları artarken geri kazanım sürecinde bu miktarlar önemli ölçüde düşmüştür. Bu verileri destekler nitelikte farklı bitki türlerinde yapılan çalışmalarda da (Ahmad ve Wyn Jones, 1979; Alarcón ve ark., 1993; Pardossi ve ark., 1998) tuz stresi sonrası geri kazanım sürecinde bitkilerin yapraklarında Na^+ , Cl^- konsantrasyonlarında düşüşlerin olduğu belirtilmiştir. Ayrıca Lacerda ve ark., (2005) sorgumda tuz stresi sürecinde yapraklarda Na^+ , Cl^- miktarları ile Na^+/Ca^{+2} ve Na^+/K^+ oranlarının arttığını, geri kazanım sürecinde ise yapraklarda Na^+ , Cl^- miktarları ile Na^+/Ca^{+2} ve Na^+/K^+ oranlarının düştüğünü tespit etmiştir.

SONUÇ

Çalışmamızda her iki biber çeşidinde de tuz stresinin bitki gelişim parametreleri üzerine olumsuz etkisinin olduğu görülmüştür. Charleston biber çeşidinin bitki gelişimlerini geri kazanım sürecinin 20. gününde toparlayabildiği söylenebilir. Bu veriler göz önüne alındığında tuz stresinden her iki biber çeşidinin de etkilendiği fakat geri kazanım sürecinde charleston biber çeşidinde daha önce iyileşmelerin olduğu dikkati çekmektedir. Acı çiçek biber çeşidi ise bitki metabolik aktiviteyi kontrol altında tutabilmek için bitki büyümesini sınırlandırarak bitkiyi kontrol edebilecek seviyede tutmuştur. Ayrıca tuz stresinin oluşumunda etkili olan Na ve Cl iyonlarının bitki yapraklarında geri kazanımın ikinci periyodunda azaldığı ve geri kazanım döneminde Ca ve K iyonlarında oluşan iyileşmelerde önemli bir payının olduğu söylenebilir. Bütün bunlar değerlendirildiğinde de bitkilerin stres sonrası geri kazanım sürecinde iyileşme döneminde metabolik aktiviteyi artırarak sürdürdüğü söylenebilir.

TEŞEKKÜR

Bu makale Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından desteklenen (Proje no: FYL-2018-7594) yüksek lisans tezinden üretilmiştir. Destekleri için teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Ahmad N, Wyn Jones RG, 1979. Glycinebetaine, proline and inorganic ion levels in barley seedlings following transient stress. *Plant Science Letter*, 15: 231–237.
- Akdoğan S, Özkan İ, 2000. Gelişmenin değişik dönemlerinde uygulanan su noksanlığı geriliminin biber bitkisi (*Capsicum annuum* L.)'nin tuza duyarlılığı üzerine etkisi, *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 6(3): 1-8.
- Alarcon JJ, S'anchez-Blanco MJ, Bolar'ın MC, Torrecillas A, 1993. Water relation and osmotic adjustment in *Lycopersicon esculentum* and *L. pinnelli* during short-term of salt exposure and recovery. *Physiology Plant*, 89: 441–447.
- Ayers RS, 1977. Quality of water for irrigation, *J. Irr. Drainage Div. American Society Civil Engineers*, 103:135-154.
- Bartels D, Sunkar R, 2005. Drought and salt tolerance in plants, *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24: 23–58.
- Cavalcanti FR, Lima JPMS, Ferreira-Silva SL, Viégas RA, Silveira JAG, 2007. Roots and leaves display contrasting oxidative response during salt stress and recovery in cowpea. *Journal of plant physiology*, 164(5): 591-600.
- Çiçek N, Çakırlar H, 2002. The effect of salinity on some physiological parameters in two maize cultivars, *Bulg. Journal Plant Physiology*, 28 (1-2): 66-74.
- Essa TA, 2002. Effect of salinity stress on growth and nutrient composition of three soybean (*Glycine max* L. Merrill) cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 188(2): 86-93.
- Ghoulam C, Foursy A, Fores K, 2002. Effects of Salt Stress on Growth Inorganic ions and Proline Accumulation in Relation to Osmotic Adjustment in Five Sugar Beet Cultivars, *Enviromental and Experimental Botany*, 47: 39-50.
- Hoagland DR, Arnon DI, 1938. The water culture method for growing plants without soil. *California Agricultural Experiment Station Circulation*, 347, 32
- Irshad M, Yamamoto S, Eneji AE, Endo T, Hona T, 2002. Urea and Manure Effect on Growth and Mineral Contents of Maize Under Saline Conditions. *Journal Plant Nutrition*, 25(1): 189- 200.

- Kacar B, 1994. Toprak Analizleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Eğitim, Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları:3, Ankara, 703s
- Lacerda CF, Cambraia J, Oliva MA, Ruiz HA, 2005. Changes in growth and in solute concentrations in sorghum leaves and roots during salt stress recovery. *Environmental and Experimental Botany*, 54(1): 69-76.
- Mahajan S, Pveey GK, Tuteja N, 2008. Calcium- and salt-stress signaling in plants: shedding light on SOS pathway, *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 471(2): 146–158.
- Oztekin GB, Tuzel Y, 2011. Salinity response of some tomato rootstocks at seedling stage. *African Journal of Agricultural Research*, 6(20): 4726-4735.
- Öztaş Ö, 2018. Tuz Stresi Altındaki Biber Bitkisine Potasyum Uygulamalarının Etkisinin Araştırılması. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Pardossi A, Malorgio F, Oriolo D, Gucci R, Serra G, Tognoni F, 1998. Water relations and osmotic adjustment in *Apium graveolens* during long-term NaCl stress and subsequent relief. *Physiology Plant* 102, 369–376.
- Romero-Aranda R,T. Soria J. Cuartero, 2001. Tomato plant-water uptake and plantwater relationships under saline growth conditions. *Plant Science*, 160:265- 272.
- Shannon MC, Grieve CM, 1999. Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Horticulturae*, 78: 5-38.
- Şevgin Zirek, N, 2017. Biber Bitkisinde Tuz stresi Üzerine Magnezyumun Etkileri. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Taleisnik E, Peyran G, Arias C, 1997. Respose of Chlorisgayana Cultivars to Salinity. 1. Germination and Early Vegetatif Growth. *Tropical Grassland*, 31: 232-240.
- Üzal Ö, 2009. Tuz Stresi Altında Yetiştirilen Bazı Çilek Çeşitlerinde Jasmonik Asitin Bitki Gelişimi ve Antioksidant Enzim Aktiviteleri Üzerine Etkisi. (Doktora Tezi). Yüzüncü Yıl Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Yakıt S, Tuna AL, 2006. Tuz stresi altındaki mısır bitkisinde (*Zea mays* L.) stres parametreleri üzerine Ca, Mg ve K'nın etkileri. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(1): 59-67.
- Yaşar F, 2003. Tuz Stresi Altındaki Patlıcan Genotiplerinde Bazı Antioksidant Enzim Aktivitelerinin in vitro ve in vivo Olarak İncelenmesi. (doktora tezi basılmamış). Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Yaşar F, Ellialtıoğlu S, Kusvuran S, 2006. Ion and Lipid Peroxide Content in Sensitive and Tolerant Eggplant Callus Cultured Under Salt Stress. *European Journal Horticultural Science*, 71 (4): 169-172.
- Yasar F, 2007. Effects of salt stres on ion and lipid peroxidation content in green beans genotypes. *Asian Journal of Chemistry*, 19(2): 1165-1169.
- Yaşar F, Ellialtıoğlu Ş, Ozpay T, Üzal Ö, 2007. Karpuz (*Citrillus lanatus*) Genotiplerinde, Tuz Stresinden Kaynaklanan Oksidatif Zararlanmanın Zamana Göre Değişimi ve Skala İle İlişkisinin Belirlenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12: 59-64.
- Yu S, Wang W, Wang B, 2012. Recent progress of salinity tolerance research in plants, *Russian Journal of Genetics*, 48 (5): 497-505.

Seed Vigour Evaluation of Rocket (*Eruca sativa* Mill.) Seed Lots

Eren OZDEN^{1*}, Nurcan MEMİŞ², Zeynep GOKDAS², Elif CATIKKAS³, İbrahim DEMİR²

ABSTRACT: The work was carried out to test the seed vigour test to correlate seedling emergence potential of rocket seed lots in the field conditions. Standard laboratory germination percentages of the 12 seed lots were ranged between 87 and 93%. Radicle emergence (2 mm) percentages after 18 (RE18h), 24 (RE24h), 36 (RE36h) and 48 (RE48h) during standard germination test, accelerated ageing test (AA, 45 °C, 100% RH, 24h, 48h), electrical conductivity (20 °C, 40 ml, 50 seeds) of 8h, 16h and 24h readings were used as vigour tests. Seeds were sown in two occasions in the field and vigour test results were correlated with seedling emergence percentages. Even though all seed vigour tests were significantly correlated with emergence at various levels EC24h and RE24h showed the highest correlation ($p < 0.001$) with seedling emergence percentages in both sowing times. Correlation values were 0.824 and 0.844 in EC24h, 0.860 and 0.874 in RE24h. The lowest correlations were seen in standard laboratory germination test as 0.640 and 0.654 ($p < 0.05$). Results indicated that EC24h and RE24h are practical and fast vigour tests that can be related to seedling emergence potential in rocket seed lots.

Keywords: Accelerated ageing test, electrical conductivity test, *Eruca sativa*, Radicle emergence test, Vigour test

¹Eren ÖZDEN (Orcid ID: 0000-0001-7507-9815), Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Iğdir University, Iğdir, Turkey

²Nurcan MEMİŞ (Orcid ID: 0000-0002-8767-1186), Zeynep GÖKDAŞ (Orcid ID: 0000-0003-0788-1771), İbrahim DEMİR (Orcid ID: 0000-0003-4515-0689), Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Ankara University, Ankara, Turkey

³Elif ÇATIKKAŞ (Orcid ID: 0000-0002-0661-0219), Department of Medicinal and Aromatic Plants, Ermenek Vocational School, Karamanoglu Mehmet Bey University, Karaman, Turkey

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Eren ÖZDEN, e-mail: eren.ozden@igdir.edu.tr

INTRODUCTION

Sowing a vigorous seeds leads to rapid and uniform germination and optimal stand establishment resulting in rapid growth and yield (Marcos-Filho, 2015). Seed laboratory germination test is crucial part of seed quality but not always indicates the emergence percentages of any seed lot under adverse sowing conditions. Seed vigor is the part of the seed quality which determines the potential rapid and uniform emergence under a wide range of sowing conditions (Finch-Savage et al., 2010; ISTA 2017). Seed lots having high germination, but poor emergence are referred to as low vigour seeds, whereas those giving good emergence are termed high vigour seeds. Vigour tests have been proposed over many years. Tests that have been validated through the ISTA are electrical conductivity, accelerated ageing, controlled deterioration, radicle emergence and Tetrazolium staining (Powell and Mavi, 2016; ISTA, 2017). The controlled deterioration (CD) (Basak et al., 2006) and accelerated ageing (AA) (Hampton and TeKrony, 1995) tests have been successfully used to rank and predict relative field emergence potential of seed lots in various crops. Electrical conductivity test based on measuring of seed soak. Radicle emergence is rather recent vigour test that related to seedling emergence potential at various environmental conditions in a wide range of sowing conditions (Matthews and Powell, 2011; Demir et al., 2019; Ozden et al., 2019). Rocket is a leafy cool season vegetable crop. Germination of Rocket seed can be sporadic, but you should see most of the seeds germinating within a timeframe of 7 to 21 days. Rocket seed oil has a hypocholesterolemic effect; this may be due to the high percentage of unsaturated fatty acid (oleic 15.1%, alpha linolenic acid 11.11%, linoleic acid 8.3%) (Abd El-Hamid, 1999). It is produced by seeds and sown in different times of the year in various environmental conditions in the Mediterranean region. Discriminating fast and well emerged seed lots has a value for predicting not only for estimation of stand establishment but also yield. Because yield in leafy vegetable species based on plant size which is under influenced by the emergence percentages and rate after sowing. The objective of the present research was to evaluate the accelerated ageing (AA), Radicle emergence (RE) and electrical conductivity (EC) tests in rocket seeds, seeking to associate (i.e. predict) results with relative seedling emergence potential of seed lots in field sowing conditions.

MATERIALS AND METHODS

Twelve rocket (same cultivar) seed lots (*Eruca sativa* Mill.) were obtained from seed companies in 2017. Upon receipt, the seed moisture content was determined (ISTA, 2017) and packets were stored at 5 °C until use. Germination tests were carried out at 20 °C in incubators, for which 50 seeds of each lot were placed between paper towels (Filtrak, Germany) (20 cm x 20 cm), wetted with 10 ml of distilled water. The germination tests were conducted with four replicates of 50 seeds in the dark. Rolled paper towels were placed in plastic bags to prevent water loss. At the final count, 7 days after the commencement of the test, the seedlings were classified as either normal (healthy and well-developed plants) (ISTA, 2017). Normal seedling percentages in the final count were considered as standard germination (SG).

RE (radicle emergence, 2 mm) was calculated in frequent counts of radicle emergence after 18, 24, 36 and 48 hour during germination test. These counting times were determined in preliminary tests. Subsequently daily counts were carried out until 7 days. At the final count, 7 days after the commencement of the test, the seedlings were classified as either normal or abnormal (ISTA, 2017). Normal seedling percentages in the final count were considered as standard germination (SG).

For the accelerated aging test (AA), forty ml of distilled water was added to each plastic aging box (11x11x4 cm) and 200 seeds were placed on a monolayer cheese cloth placed on the wire mesh tray (10x10x3 cm) inside the box (Hampton and TeKrony, 1995). Seeds were aged at 45 °C for 24 and 48 h.

Seeds were dried on laboratory bench for about 3 hours. The standard germination test, four replicates of 50 seeds was then conducted, using normal seedling development for assessment (ISTA, 2017).

In electrical conductivity measurements, two replicates of 50 seeds of were weighed and soaked in 40 ml distilled water for 24 h at 20 °C in the dark. EC was measured at 8, 16 and 24 h in rocket seeds. The electrical conductivity of seed soak water was measured using a conductivity meter (Schott-Gerate GmbH, Hofheim) and expressed as $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$.

For the field emergence test (FE), seeds (four replicates of 100 seeds / lot) were sown 2 cm deep in the experimental field of the Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Ankara/Turkey, on 20 September 2017 (1. sowing) and 9 October in 2017 (2. sowing). The soil was a sandy loam (pH: 7.57, N: 0.09, P₂O₅: 5.5%, K: 0.16%, Na: 0.41%, Ca: 6.7%, organic matter: 1.1%). Daily minimum and maximum soil temperatures were recorded throughout both sowings and varied between 7 and 29 °C. The number of seedlings emerged assessed to have occurred when the cotyledons had unfolded above the surface was counted daily until 30 days after sowing.

Statistical analysis was conducted using the Statistical Package for Social Sciences (SPSS) by using analyses of variance. Mean separation was made at the 5% level by the Duncan multiple range test. Correlation coefficients (r) of vigor tests with seedling emergence performance in controlled room and field conditions were also calculated.

RESULTS AND DISCUSSION

The germination of seeds purchased from retailers ranged from 87 to 93% normal seedling percentages. Seven lots out of 12 ranged above 90%, 5 lies between 87 and 90%. All seed lots were above the required standard germination percentage level (75%) in commerce.

Radicle emergence counts were ranged between 23 and 89% at RE18h, 39 and 93% at RE24h, 67 and 94% at RE36h, 75 and 95% at RE48h (Table 1). Lot 1 was significantly different than the rest of the lots in the first three counts ($p < 0.05$). This lot reached to 89% RE value within 18 hours of germination. The weakest lots (Lots 11 and 12) had 23 and 26% RE values in 18 hours. The large differences in RE18h among the lots indicate that the germination time as an indicator of seed vigor varies among the lots.

Table 1. Standard germination (normal germination), radicle emergence percentages of 18, 24, 36 and 48 hours after germination, of 12 commercially available rocket seed lots. Means with different letters in the same column denote significant difference at 5% level.

Seed lot	Radicle Emergence (RE) %				
	Standard germination test (SG)	RE18h	RE24h	RE36h	RE48h
1	93 a	89 a	93 a	94 a	95 a
2	91 abc	68 b	86 b	91 b	94 ab
3	93 a	59 c	79 c	90 b	91 c
4	91 abc	46 d	79 c	89 b	92 bc
5	92 ab	43 e	72 d	83 c	88 d
6	90 bcd	39 f	79 c	84 c	92 bc
7	88 de	38 f	62 f	80 d	83 f
8	89 cde	48 d	66 e	82 cd	86 e
9	87 e	34 g	59 g	82 cd	83 f
10	90 bcd	27 h	49 h	73 e	80 g
11	88 de	23 i	39 i	71 e	78 h
12	88 de	26 h	48 h	67 f	75 i
Range	87-93	23-89	39-93	67-94	75-95

When seed lots were subjected to accelerated ageing (AA) at 45 °C for 24h and 48h normal seedling germination fell. The extent of the fall was greater at 48h than 24h and varied among the lots (Table 2). Naturally longer ageing period extends the ageing level and decreased the potential normal germination percentages in all seed lots. But the differences among the lots in response to ageing are indicative of vigour differences resulting from prior ageing of seeds before the test. Fast decline in normal germination percentages after AA in lots 9 and 12 illustrated that these lots are of low vigourous.

Electrical conductivity readings ranged between 131 and 236 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ at 8 h (EC8h), 154 and 307 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ at 16h, 206 and 387 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ at 24h (Table 2). EC values gradually increased by the extending soaking time. However, high vigorous lots like lot 1 leached less than those low vigorous ones such as lots 11 and 12. EC value changed from 131 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ at 8 h to 206 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ at 24h in lot 1, these values were from 236 to 387 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ in lot 12. The differences between two readings were 75 and 151 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ in lots 1 and 12, respectively.

Table 2. Changes in AA test (AA24 and AA48h), EC after 8 (EC8h), 16 (EC16), 24 hours (EC24h) in 12 rocket seed lots. Means with different letters in the same column denote significant difference at 5% level.

Seed lot	AA24h	AA48h	EC8h	EC16h	EC24h
1	90 a	76 a	131 a	154 a	206 a
2	87 bc	70 c	135 a	177 bc	218 b
3	86 bc	73 b	139 a	165 ab	222 bc
4	88 ab	70 c	133 a	184 c	233 cd
5	85 c	73 b	140 a	183 c	238 de
6	81 d	62 de	175 b	207 d	250 e
7	79 d	60 e	190 c	239 ef	244 de
8	75 e	64 d	206 d	250 fg	272 f
9	69 f	56 f	198 cd	235 e	273 f
10	63 h	56 f	203 cd	270 h	367 h
11	67 fg	50 g	212 d	260 gh	327 g
12	65 gh	49 g	236 e	307 i	387 i
Range	63-90	49-76	131-235	154-306	206-387

Seedling emergence percentages in the field sowings were ranged between 60 and 89% in the first, 56 and 81% in the second sowing (Table 3). The highest and significantly different ($p < 0.05$) emergence compared to the rest of the lots in both sowings were shown by lot 1 as 89 and 81%. The lowest values were shown by lot 12 as 60 and 56%. Values of emergence percentages were quite similar between the sowing times. The largest difference was observed in lot 1 as 8% in favor of first sowing. In the rest of the lots differences in emergence percentages of first and second sowings were varied among the lots.

Correlation coefficients between seed vigour tests and field emergence in two sowings indicated several close associations (Table 4). The strongest correlations were obtained in EC24h and RE24h. Both vigour tests correlated seedling emergence percentages in two sowings as $p = 0.001$ level. The correlations in remaining seed vigour tests were relatively lower levels (Table 4). The lowest correlation level was observed in standard germination test (SG) with $p < 0.05$.

Table 3. Changes in field emergence percentages in two sowings of 12 rocket seed lots. Means with different letters in the same column denote significant difference at 5% level.

Seed lot	Field Emergence (%)	
	1. Sowing	2. Sowing
1	89 a	81 a
2	83 b	80 ab
3	77 d	78 bc
4	75 d	79 ab
5	76 d	71 de
6	82 bc	79 ab
7	80 c	76 c
8	67 f	72 d
9	69 ef	69 e
10	70 e	71 de
11	64 g	60 f
12	60 h	56 g
Range	60-89	56-81

Table 4. Correlation coefficients calculated for MGT, AA24h and 48h (Accelerated ageing) tests. electrical conductivity after 8h (EC8h), 16h (EC16h), 24h (EC24h), radicle emergence after 18 (RE18h), 24 (RE24h), 36h (RE36h), and 48h (EC48h) and standard laboratory germination (SG) as estimation of seedling emergence percentages of field emergence and controlled room conditions in rocket seed lots.

Seed Vigour Test	Field Emergence		Total		
	1. Sowing	2. Sowing	*	**	***
MGT	-0.818**	-0.877***		1	1
AA24h	0.822**	0.813**		2	0
AA48h	0.770**	0.811**		2	
EC8h	-0.798**	-0.806**		2	
EC16h	-0.830***	-0.820**		1	1
EC24h	-0.824***	-0.844***			2
RE18h	0.779**	0.725**		2	
RE24h	0.860***	0.874***			2
RE36h	0.828***	0.898***			2
RE48h	0.855***	0.908***			2
SG	0.654*	0.640*	2		

*: p<0.05, **: p<0.01, ***: p<0.001

The close correlations between EC24h, RE24h, SG and field emergence in two sowing times are well illustrated for 12 seed lots in figure 1. The variation in the field emergence percentages of twelve lots accounted for by regression and electrical conductivity readings after 24h were 67% ($R^2=0.67$) in the first and 71% ($R^2=0.71$) in the second sowing. These values were slightly higher in RE24h as 74% ($R^2=0.74$) and 76% ($R^2=0.76$), respectively. R^2 values for SG and field emergence was much lower. They were 0.42 and 0.41 in the first and second sowings, respectively.

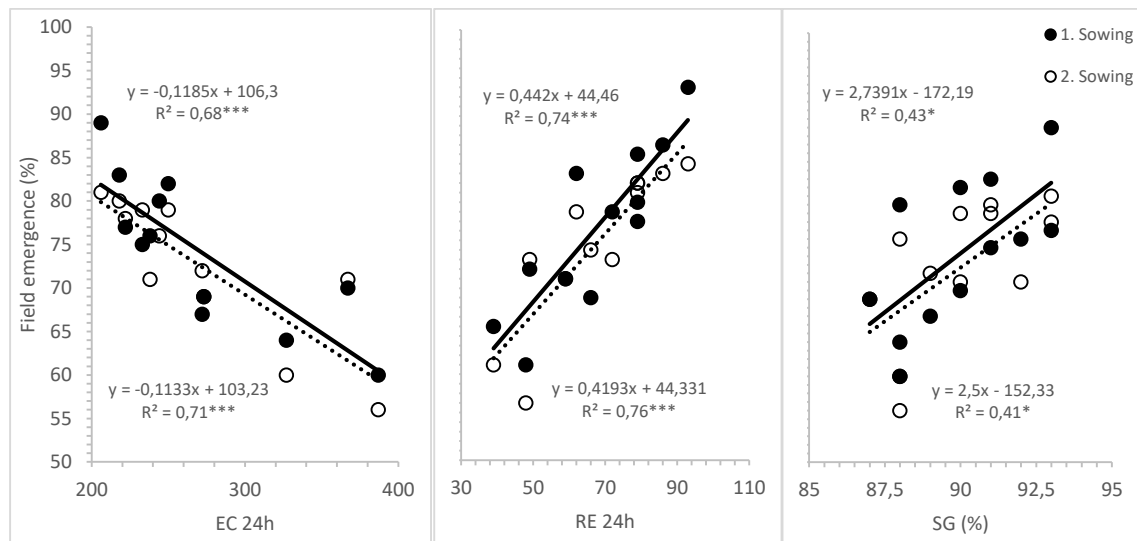


Figure 1. Relationship between electrical conductivity of 24 h (EC24h), radicle emergence of 24h (RE24h) and SG with field emergence in two sowings, of 1. (●) and 2. sowing (○) of 12 rocket seed lots. Significance: *: 0.05, **: 0.01, ***:0.001

The results of the present work indicated that electrical conductivity readings or radicle emergence percentages just after 24 hours were highly correlated to seedling emergence in two field sowing times ($p < 0.001$, $r = 0.824-0.874$) in rocket seed lots. Seed vigour is considered as potential seedling emergence/stand establishment in the field or transplant modules particularly when the sowing environments are unoptimum or wide environmental ranges. TeKrony (2003) constituted the vigour as 'seed vigor is the sum of all those properties which determine the potential for rapid uniform emergence and development of normal seedlings under a wide range of field conditions'. Our results agreed with this definition since both vigour tests were correlated with seedling emergence in two different sowing times which possess different environments (Table 4). The possible persistence of the effects of seed vigor throughout the plant development cycle beyond the emergence persisting until yield is not valid for all species. The effect of seed vigor on yield in leafy vegetable species such as rocket is likely to occur. Rocket needs just 35-40 days of harvest period. It is well established finding that earlier emergence is the one of the main influence of vigor and fast germinators produce larger seedlings (Demir et al., 2008) during vegetative growth stage. The fast emergence and early covering the surface of the soil (better stand establishment) may also help to combat the weeds invasion in the field. Earlier emergence may also help seeds overcome soil diseases attack during the germination period. Because the longer the seeds remain ungerminated in the soil is the more likely to get attacked by soil diseases or pests. Attack by diseases and hindering seed emergence in the soil may be promoted by imbibitional chilling injury (Bedi and Basra, 1993).

Mc Donald (1999) described the ideal seed vigor tests as repeatable, fast and uniformly applicable amongst the laboratories. In this work we found the most optimum seed vigor tests as electrical conductivity and radicle emergence measured after 24 hours. In both tests results can be obtained within a day. EC test has been used in legumes and indicates membrane integrity which influenced by seed deterioration. It was used to identify the differences in vigour as reflected in field emergence in commercial seed lots of soybean, beans and chickpea (Powell et al., 1986; Khajeh-Hosseini and Razazadeh, 2011; Usha and Dadlani, 2015; Ozden et al., 2019). Aside from legumes EC test was used as a predictor of seedling emergence in the field such as radish (Mavi et al., 2014; Demir et al., 2019). Our results agreed in these findings that EC was highly related to seedling emergence. The highest

correlation was found in EC24 h which is better than EC 16h and EC8h. In an earlier work, on EC measurements just after 2 hours was found to be an indicator of seed vigour in chickpea (Khajeh-Hosseini and Rezazadeh, 2011). In our work even though earlier EC measurements were also found significant ($p < 0.001$), EC24h gave higher correlations than earlier readings ($p < 0.001$, $r = 0.824-0.844$). That shows that longer time of soaking does help to discriminate the lots in better way due to the wider range of conductivity values. In that sense our results agreed with 24h of soaking time of suggestion for legumes by ISTA (2017). However, great majority of solutes more than 50 % leaked in an early hours of soaking, the first 8 hours, which indicates membrane damage (Table 2). While differences in EC readings of the lots in earlier times (8 hours) identified the same differences among the lots in later times (24 h). For example, the lowest leakage was observed in lot 1 as $131 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ after 8 hours corresponding value was $206 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ which was the lowest of all lots after 24 h (Table 2).

RE test has been found applicable to predict seedling emergence in various crops (Matthews and Powell, 2011). RE is validated as a vigour test to indicate field emergence in maize and oilseed rape (ISTA, 2017), radish (Powell and Mavi, 2016), forage species (Lv et al., 2016), cress (Demir et al., 2019), bean (Ozden et al., 2019). Slower germination and lower RE values were also associated with seed ageing during storage (Ozden et al., 2017). In an earlier work (Matthews and Khajeh-Hosseini, 2007) the time from start of imbibition and radicle emergence in early stage of germination (lag period) is determined by the ageing level of the seed. They described that lag period as the time needed for repair of previously sustained deterioration as a results of ageing. Evidence of occurrence of ageing and repair hypothesis has been discussed with a comparison of various seeds (Powell and Matthews, 2012).

CONCLUSION

As a conclusion the rate of radicle emergence percentages and electrical conductivity readings offer succesful possibility to gain vigour potential of rocket seed lots in relation to seedling emergence. Both tests are uncomplicated, easy, rapid, particularly convenient for small number of seed lots in small laboratories. Further work is needed wider potential of these approaches to predict the potential seedling emergence of seed lots in different specis.

REFERENCES

- Abd El-Hamid SR, 1999. Biochemical studies on some untraditional plant oils. M.Sc. Thesis. Biochemistry department. Faculty of Sciences. Ain-Shams University, pp 40.
- Basak O, Demir I, Mavi K, Matthews S, 2006. Controlled deterioration test for predicting seedling emergence and longevity of pepper (*Capsicum annuum* L.) seed lots. Seed Science and Technology, 34: 723-734.
- Bedi S, Basra AS, 1993. Chilling injury in germinating seeds: basic mechanisms and agricultural implications. Seed Science Research, 3: 219-229.
- Demir I, Ermis S, Mavi K, Matthews S, 2008. Mean germination time of pepper seed lots (*Capsicum annuum*) predicts size and uniformity of seedlings in germination tests and transplant modules. Seed Science and Technology, 36: 21-30.
- Demir I, Kenanoglu BB, Ozden E, 2019. Seed Vigour Tests to Estimate Seedling Emergence in Cress (*Lepidium sativum* L.) Seed Lots. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 47(3): 881-886.
- Finch-Savage W, Clay HA, Lynn JR, Morris K, 2010. Towards a genetic understanding of seed vigour in small seeded crops using natural variaotaion in *Brassica oleracea*. Plant Science, 179: 582-589.

- Hampton, JG, Tekrony DM, 1995. Handbook of Vigor Test Methods, International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland.
- ISTA, 2017. International Rules for Seed Testing, International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland.
- Khajeh-Hosseini M, Rezazadeh M, 2011. The electrical conductivity of soak-water of chickpea seeds provides a quick test indicative of field emergence. *Seed Science and Technology*, 39: 692-696.
- Lv YY, Wang YR, Powell AA, 2016. Frequent individual counts of radicle emergence and mean just germination time predict seed vigour of *Avena sativa* and *Elymus nutans*. *Seed Science and Technology*, 44: 189-198.
- Marcos-Filho M, 2015. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspectives. *Scientia Agricola*, 72: 363-374.
- Matthews S, Powell AA, 2011. Towards automated single counts of radicle emergence to predict seed and seedling vigour. *Seed Testing International*, 142: 44-48.409.
- Matthews S, Khajeh-Hosseini M, 2007. Length of the lag period of germination and metabolic repair explain vigour differences in seed lots of maize (*Zea mays* L.). *Seed Science and Technology*, 35: 200-212.
- Mavi K, Mavi F, Demir I, Matthews S, 2014. Electrical conductivity of seed soak water predicts seedling emergence and seed storage potential in commercial seed lots of radish. *Seed Science and Technology*, 42: 76-86.
- McDonald MB, 1999. Seed deterioration: physiology, repair and assessment. *Seed Science and Technology*, 27: 177-237.
- Ozden E, Memis N, Kapcak D, Durmus E, Ozdamar C, Ozdemir M, Demir I, 2017. Electrical conductivity relates seed germination in cress. 2nd International Balkan Agriculture Congress, Tekirdag, Turkey, May 16-18, 2017, pp. 476-481.
- Ozden E, Memis N, Gokdas Z, Catikkas E, Demir I, 2019. Evaluation of Seed Vigour in White Coat French Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Seed Lots Under Waterlogged or Field Capacity Conditions. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(4): 1860-1865.
- Powell AA, Oliveira M De A, Matthews S, 1986. Seed vigor in cultivars of dwarf French bean (*Phaseolus vulgaris*) in relation to the colour of the testa. *Journal of Agricultural Science*, 106: 419-425.
- Powell AA, Matthews S, 2012. Seed aging/repair hypothesis leads to new testing methods. *Seed Technology*, 34: 15-25.
- Powell AA, Mavi K, 2016. Application of the radicle emergence test to radish (*Raphanus sativus*) seed. In *Method Validation Reports 2016*, pp. 65-72, International Seed Testing Association, Bassersdorf. *Method-Validation-Reports-for-Rules*.
- Usha TS, Dadlani M, 2015. Evaluation of seed vigor in soybean (*Glycine max*). *Legume Research*, 38(3): 308-312.

Diyarbakır İli Odonata FaunasıDerya DEMİR AYDIN¹, Halil BOLU²

ÖZET: Bu çalışma, Diyarbakır (Bağlar, Kayapınar, Sur ve Yenişehir ilçeleri) ilinde 2017 yılının Mayıs, Haziran, Temmuz ile Ağustos aylarında yapılmıştır. Yapılan sörvey çalışmaları sonucunda Odonata takımına bağlı 261 örnek toplanmıştır. Odonata takımına bağlı 3 familyaya ait 7 tür saptanmıştır. Bu türler; Libellulidae familyasından; *Brachythemis fuscopalliata* (Selys, 1887), *Crocothemis erythraea* (Brullé, 1832), *Orthetrum albistylum* (Selys, 1848), *O. brunneum* (Fonscolombe, 1837), *O. coerulescens* (Fabricius, 1798), Platycnemididae familyasından; *Platycnemis dealbata* Klug, 1863 ve Coenagrionidae familyasından; *Ischnura elegans* (Vander Linden, 1820)'dır. Çalışmada belirlenen 7 türden 6'sının Diyarbakır böcek faunası için ilk kayıt niteliğinde olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Diyarbakır, Odonata, fauna, Türkiye.

Odonata Fauna of Diyarbakır Province

ABSTRACT: This study was conducted in Diyarbakır (Bağlar, Kayapınar, Sur and Yenişehir districts) province in May, June, July and August of 2017. As a result of the survey studies, 261 samples belonging to the Odonata order were collected.. Seven species belonging to 3 families belonging to Odonata order were determined. These species are; Libellulidae; *Brachythemis fuscopalliata* (Selys, 1887), *Crocothemis erythraea* (Brullé, 1832), *Orthetrum albistylum* (Selys, 1848), *O. brunneum* (Fonscolombe, 1837), *O. coerulescens* (Fabricius, 1798), Platycnemididae; *Platycnemis dealbata* Klug, 1863 and Coenagrionidae; *Ischnura elegans* (Vander Linden, 1820). Six of the 7 species identified in the study are the first records for the Diyarbakır insect fauna.

Keywords: Diyarbakır, Odonata, fauna, Turkey.

¹ Derya DEMİR AYDIN (Orcid ID: 0000-0001-6899-1021), Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Diyarbakır, Türkiye

² Halil BOLU (Orcid ID: 0000-0001-5488-0056), Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Diyarbakır, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Halil BOLU, e-mail: besni@dicle.edu.tr

GİRİŞ

Biyolojik zenginlik, ekosistem, bir biyom veya Dünya'da bulunan yaşam formlarının zenginliğidir. İnsanların hayatlarını devam ettirebilmeleri için temiz su, hava, verimli topraklar, besin ve diğer gereksinimlerinin karşılandığı bir çevre olmalıdır. Yaşam için olması gereken koşullar, çevrenin cansız etkenleri ile bakteri, protista, mantar, bitki ve hayvanlar tarafından karşılanır. İnsanların temel ihtiyaçlarını karşılanmasında bir etken olan canlı kaynakların temeli biyolojik zenginliktir. Yeryüzünde bulunan hayvan türlerinin yaklaşık dörtte üçünü böcekler oluşturmaktadır. 1.000.000 üzerinde tür şimdiye kadar tanımlanmış olmakla birlikte hala eklenmemiş türler bulunmaktadır. Kutuplardan okyanuslara kadar hemen her ekosistemde hayatta kalmayı başaramışlardır.

Odonatlar bioçeşitlilik çalışmalarında oldukça değerli böceklerdendir (Vick, 2002; Wahizatul-Afzan ve ark., 2006). Dünyada 6500 tür ve 600 cinsi içeren Odonata takımının (Vick, 2002), ülkemiz de 34 cins ve 76 türü (Demirsoy, 1982), daha sonra yapılan araştırmalarda ise (Kalkman ve ark., 2003) 105 türü olduğu belirlenmiştir. Tahminlere göre hala 1000 ile 1500 yeni Odonata türü tanımlanmayı beklemektedir. Bu yeni türlerin keşfedilmesiyle beraber Dünyada bulunan Odonata sayısının 7000'e yaklaşması beklenmektedir (Kalkman ve ark., 2006).

Türkiye'de yapılan çalışmalarda çeşitli bölgelerin Odonata takımına ait türler saptanarak bunlarla ilgili olarak sistematik, ekolojik ve biyolojik bilgiler verilmiştir. Bu çalışmaların konuyla ilgili olanları aşağıda tarihsel sıra halinde sunulmuştur.

Ardıç ve Uygun (1996), Doğu Akdeniz Bölgesi Odonata faunasının belirlenmesi amacıyla yürüttükleri bu çalışmada 8 familyaya bağlı 26 cins ve bu cinslere ait 43 tür tespit etmişlerdir.

Salur ve Kıyak (2000), Kayseri ilinde Kızılırmak havzasında 1998 yılında Mayıs-Ağustos ayları boyunca 13 farklı alanda topladıkları 246 Zygoptera örneğini faunistik ve sistematik olarak değerlendirmişlerdir. Hacet ve Aktaş (2004), 1991-1999 yılları arasında Türkiye-Trakya Odonata faunası için 86 lokaliteden toplanan örneklerle dayanarak tartışmışlardır. Salur ve Özaraç (2004), Kırşehir ili Çiçekdağı'ndan topladıkları Odonata takımına dahil 74 tür belirlemişlerdir. Salur ve Kıyak (2006), Doğu Akdeniz Bölgesi'nde bulunan Adana, Hatay, Kahramanmaraş, Mersin ve Osmaniye'de Odonata türleri toplamışlardır. 9 familyaya ait 52 tür ve 25 alttür teşhis etmişlerdir. Salur ve Kıyak (2007), Güneybatı Anadolu'da bulunan Antalya, Aydın, Burdur, Denizli, Isparta ile Muğla illerinden topladıkları Anisoptera ve Zygoptera örneklerini faunistik açıdan değerlendirmişlerdir. Miroğlu ve Kartal (2008), Kurupelit, Samsun'daki sulak ve ırmak etraflarından Odonata takımına ait 387 örneği toplamışlardır. Bu örneklerin 9 familyaya bağlı 17 cinse ait 27 tür olduğunu tespit etmişlerdir. Pisciã ve Popescu-Mirceni (2008), Batı Türkiye'de gerçekleştirilen "Grigore Antipa" Ulusal Doğa Tarihi Müzesi tarafından yapılan keşif gezilerinde toplanan 258 Odonata örneğinin bir listesini sunmuşlardır. Toplamda, dokuz familyaya bağlı 27 Odonata türünü tanımlamışlardır. Ayrıca bu 27 tür için bazı dağılım verilerini sunmuşlardır.

Hacet ve Aktaş (2009), Güney Marmara Bölgesi'nde bulunan Çanakkale ile Yalova'da 17 tür ve alttür belirlemişlerdir. Özgökçe ile Ayten (2009), Van ve yöresinde Zygoptera alt takımına ait, 2 familya, 5 cins ve 7 tür, Anisoptera alt takımına dahil 2 familya ile 5 cins ve 11 tür belirlemişlerdir. Hacet (2010), 1996-1997- 2001-2005 ve 2009 yılları arasında topladığı 11 türün uçuş dönemleri ile ilgili yeni veriler sunmuştur. Belirlenen türler arasında *Anax ephippiger* (Burmeister), Şubat ayında Türkiye'de bugüne kadar kaydedilen ilk tür olduğunu tespit etmiştir. Kazancı (2010), Doğu ve Güneydoğu Anadolu Odonata faunası üzerine 1981 ve 1984 tarihleri arasında araştırmalar yürütmüştür. Bu araştırmalar sonucunda 18 tür, 12 cins ve 8 familya kaydetmiştir. Akkuş (2012), Çekerek (Yozgat)'de yaptığı sörveylerde topladığı 461 adet Odonata örneğini toplamış ve bu örneklerin 6 familya dahil, 11 cinse ait 16 tür olduğunu

belirlemiştir. Salur ve ark. (2012), Karadeniz Bölgesi'nin orta kesimindeki Tokat ilinden topladıkları odonata örneklerini faunistik açıdan değerlendirmişlerdir. Tokat ilinde 8 familyaya ait 30 türün dağılımını tespit etmişlerdir. Salur ve ark. (2012), Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan Tunceli ilinin Pülümür ilçesinden 470 örnek toplamışlardır.

Salur ve ark. (2014), Çorum ilinin Osmançık ilçesinde Gölbel Gölü'ndeki Odonata türlerinin belirlenmesi ve bunların dağılımının belirlenmesi amacıyla yaptıkları çalışmalarda ekler yaparak fauna hakkında bilgi vermişlerdir. Suludere (2014), Çorum'da Odonata takımı türlerinin yayılışları hakkında bilgi vermiştir. Topladığı larvaların teşhisi sonucunda, bunların 7 familyaya bağlı 13 cinse ait 15 tür olduğunu tespit etmiştir. Çetiner (2015), Ankara-Bey pazarı'nda farklı dönemlerde yaptığı arazi çalışmaları sonucunda Odonata takımına bağlı 9 familya ve 18 cinse ait 24 tür ve 3 alttür belirlemiştir. Holtacı (2015), Aydın-Afyon'da yaptığı sörvey çalışmasında topladığı 35 ergin Odonata örneğini değerlendirmiştir. Kırpık ve İskender (2015), Kars merkez ve ilçelerinde çeşitli su birikintileri, sazlıklar ve çeşitli alanlarda yaşayan 156 adet Odonata örneğini toplamışlardır.

Telli (2015), Yedigöller Milli Parkı'nda yaptığı sörvey çalışmasında 13 farklı alandan topladığı 203 adet Odonata nimf örneklerini değerlendirmiştir. Değerlendirme sonucunda bunların Odonata takımının 7 familyasına bağlı 12 cinsinin 13 tür grubu taksonuna ait olduklarını tespit etmiştir.

Odonata takımındaki ergin bireylerin besin kaynaklarından biri de zararlı böcekler olduğundan tarım için faydalıdırlar. Larvaları da sivrisinek larvalarını yedikleri için insan sağlığı açısından önemlidir. Ayrıca suların kirlilik derecelerini saptamada indikatör olarak kullanılabilirler. Temiz suları tercih eden Odonatalar yaşadıkları sulardaki kimyasal değişimlere karşı hassastır. Bu nedenlerden dolayı Odonatalar hakkındaki çalışmalar önemlidir. Diyarbakır ilinde Odonata takımına ait türlerin yayılışı hakkında herhangi güncel bir kayıt bulunmamaktadır. Bu çalışma ile Diyarbakır ilinde Odonata takımı hakkında fikir sağlayacak veriler elde edilmiştir. Sadece tek bir tür üzerine değil, genel bir çalışma olması sebebi ile güncel bir çalışma ortaya çıkarılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

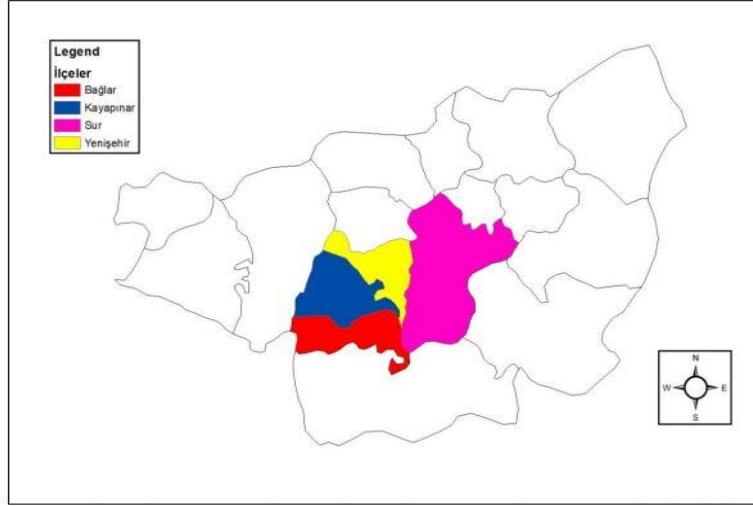
Materyal

Çalışmanın ana materyalini, Diyarbakır ili ve ilçelerinde dere kenarları, sulama kanalları, göl, bataklık gibi sulak alanlarda, çalılık ve otsu bitkilerin bulunduğu alanlardaki Odonata türleri oluşturmuştur. Ayrıca çalışmada tül atrap, petri kapları, değişik ebatlarda öldürme kavanozları vb kullanılmıştır. Çalışmalar doğa ve laboratuvar çalışmaları şeklinde yürütülmüştür. Diyarbakır ili ve ilçelerinde sulak alanlarda bulunan otsu bitkilerin bulunduğu alanlardaki Odonata türlerini, yayılış alanlarını ve yoğunluklarını belirlemek amacıyla 2017 yılında sörveyler yapılmıştır.

Yöntem

A) Sörvey çalışmaları

Çalışmanın sörvey planı ilin ulaşım durumu ve coğrafik özellikleri dikkate alınarak; Diyarbakır ilinin Bağlar, Kayapınar, Sur ve Yenişehir ilçeleri şeklinde oluşmuştur. Bu ilçelerde bulunan sulak alanlara 2017 yılında ilkbahar-Yaz aylarında haftada 1 olmak üzere sörveyler yapılmıştır. Sulak alanlarda rastgele örnekleme alanları seçilmiştir. Bu alanlardaki çalılık, otsu bitkiler üzerindeki örnekler alınmıştır. Atrap kullanılarak yakalanan örnekler içerisinde etil asetat bulunan öldürme kavanozlarında öldürüldükten sonra, içerisinde kurutma kağıdı bulunan petri kaplarına konularak laboratuvara getirilmiştir. Toplanan örneklerin habitatına ilişkin ekolojik bilgiler, örnek sayıları, GPS koordinatları, yakalandığı tarihler ve toplama alanı ile ilgili lokalite bilgileri arazi defterine kaydedilmiştir. Bu bilgiler il-ilçe adı varsa köy adı ve toplama yerinin ismini içermektedir. Ayrıca örnekleme tarihi ve GPS koordinat bilgileri de alınmıştır.



Şekil 1. Diyarbakır ili sörvey alanları

B) Laboratuvar Çalışmaları

Laboratuvara getirilen örnekler germe tahtalarında gerilmiş ve oda sıcaklığında yaklaşık 1 hafta bekletilerek kurutulmuştur. Kurutulan Odonata örnekleri, morfolojik özellikleri dikkate alınarak familya ve cins düzeyinde sınıflandırılmıştır. Hazırlanan bu örnekler teşhis için ilgili konu uzmanı Geert De Knijf'e (Research Institute for Nature and Forest, Belgium·Brussels) gönderilmiştir. Germe işlemi yapılmayan diğer örnekler petri kapları içerisinde koleksiyon kutularına alınmıştır. Koleksiyon kutularında saklanan örnekler zarar görmemesi için ilaçlanmıştır.

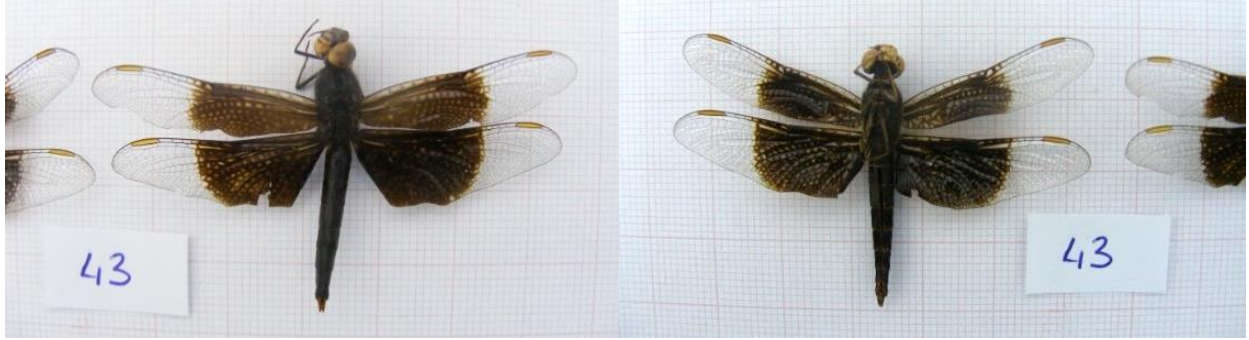
BULGULAR VE TARTIŞMA

Diyarbakır ve İlçelerinden Toplanan Odonata Takımına Ait Türler

2017 yılı İlkbahar-Yaz mevsimlerinde Diyarbakır ve ilçelerine metoda uygun olarak sulak alanlarda yapılan arazi çalışmaları sonucunda 172' si erkek ve 89' u dişi olmak üzere toplam 261 örnek toplanmıştır. Toplanan bu örneklerden Odonata Takımına ait 7 adet tür belirlenmiştir (Çizelge 1). Bu türlerin 5'i Anisoptera alttakımına, 2'si ise Zygoptera alttakımına bağlıdır. Kesin tür teşhisi yapılamayan cins düzeyinde 3 örnek ve familya düzeyinde 32 örnek tespit edilmiştir.

Çizelge 1. Diyarbakır İli Odonata takımına ait türler ve dağılımı

Alttakım: Anisoptera	
Suborder: Anisoptera	
Familya: Libellulidae	
Family: Libellulidae	
Türler <i>Species</i>	Dağılımı <i>Distribution</i>
<i>Brachythemis fuscopalliata</i> (Selys, 1887)	Kayapınar, Sur
<i>Crocothemis erythraea</i> (Brullé, 1832)	Bağlar, Kayapınar, Sur
<i>Orthetrum albistylum</i> (Selys, 1848)	Kayapınar, Sur
<i>Orthetrum brunneum</i> (Fonscolombe, 1837)	Kayapınar, Sur
<i>Orthetrum coerulescens</i> (Fabricius 1798)	Sur
Alttakım: Zygoptera	
Suborder: Zygoptera	
Familya: Platycnemididae	
Family: Platycnemididae	
<i>Platycnemis dealbata</i> Klug, 1863	Kayapınar, Sur
Familya: Coenagrionidae	
Family: Coenagrionidae	
<i>Ischnura elegans</i> (Vander Linden, 1820)	Bağlar, Kayapınar, Sur

Libellulidae Familyası*Brachythemis fuscopalliata* (Selys, 1887)**Sinonim:** *Trithemis fuscopalliata* Selys, 1887**Habitat ve Fenoloji:** Bu türün ergin bireylerine Temmuz ve Ağustos aylarında suyun üzerinde uçarken rastlanılmıştır.**Şekil 2.** *Brachythemis fuscopalliata* dorsalden ve ventralden görünüşü (Orijinal resim)**Dünya'daki Dağılımı:** İran, Kıbrıs, Irak, Suriye (Kalkman, 2006).**Türkiye'deki Dağılımı:** Hatay (Dumont ve ark., 1988); Antalya (Salur ve Kıyak, 2007).**İncelenen Materyal:** Diyarbakır, Kayapınar, Devegeçidi Barajı 1 ♂, N: 38° 05' 74" E: 40° 07' 56" 09.07.2017; Kayapınar, Devegeçidi Barajı 2 ♂♂, N: 38° 05' 69" E: 40° 07' 47" ; 1 ♂ N: 38° 05' 43" E: 40° 07' 22" ; 3 ♂♂ N: 38° 05' 88" E: 40° 07' 56" 06.08.2017; Sur, Dicle Nehri 2 ♂♂, N: 37° 50' 24" E: 40° 16' 32" 27.08.2017. Toplam: 9 ♂♂.

Bu tür Diyarbakır böcek faunası için ilk kayıt niteliğindedir.

Crocothemis erythraea (Brullé, 1832)**Sinonim:** *Libellula victoria* Fourcroy, 1785; *Libellula nuhra* Villiers, 1789; *Libellula ferrugiens* Van Der Linden, 1825; *Libellula erythraea* Brulle 1832; *Libellula coccinea* Charpentier, 1840; *Libellula inquinata* Rambur, 1842.**Tanımı:** Bu türün erkek bireyleri parlak kırmızı renkte ve arka kanatların kaide kısımlarının tabanında küçük sarı lekeler vardır. Ayrıca kanatların ön kenarlarındaki damarlar kırmızıdır. Dişi bireylerinde ise sarı-kahverengi renkte ve göğüs kafesinin üstünde belirgin bir soluk şerit bulunur. Abdomen hem erkek bireylerde hem de dişi bireylerde belirgin olarak basık ve arkaya doğru hafif daralmaktadır. Erkek bireylerde vücut uzunluğu 39-45 mm, ön kanat uzunluğu 29.98 mm, arka kanat uzunluğu ise 28.31 mm'dir. Dişi bireylerde vücut uzunluğu 37-40 mm, ön kanat uzunluğu 29.62 mm arka kanat uzunluğu ise 28.12 mm kadardır. Abdomen uzunluğu erkeklerde 24.44 mm, dişilerde ise 23.10 mm'dir.**Şekil 3.** *Crocothemis erythraea* dorsalden ve ventralden görünüşü (Orijinal resim)



Şekil 4. *Crocothemis erythraea* (♂) lateralden görünüşü (Orijinal resim)

Habitat ve Fenoloji: Bu türün erginlerine Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında nehir üzerinde ve etrafında uçarken ve çalılıklar üzerinde dinlenirken rastlanılmıştır.

Dünya'daki Dağılımı: Akdeniz, Ortadoğu, Batı ve Orta Asya ve Madagaskar (Steinmann, 1997). Bulgaristan, Kıbrıs, Gürcistan, Ermenistan, Azerbaycan (Kalkman, 2006), Albania, Austria, Balearic Is., Belgium, Corsica, Croatia, Germany, Hungary, Italian mainland, Greek mainland, French mainland, Czech Republic, Kriti (Crete), Luxembourg, Malta, Poland, Portuguese mainland, Romania, Sardinia, Sicily, Slovakia, Slovenia, South European Russia, Spanish mainland, Switzerland, The Netherlands, Ukraine, Vóreion Aiyáion (North Aegean Is.), Yugoslavia (Anonymous, 2019).

Türkiye'deki Dağılımı: Adana, Şanlıurfa (Dumont ve ark., 1988); Adana, Hatay, Mersin (Ardıç ve Uygun, 1996); Edirne, Kırklareli, Tekirdağ, İstanbul, Çanakkale (Hacet ve Aktaş, 2004); Kırşehir (Salur ve Öz Saraç, 2004); Adana, Hatay, Kahramanmaraş, Mersin, Osmaniye (Salur ve Kıyak, 2006); Antalya, Aydın, Burdur, Denizli, Isparta, Muğla (Salur ve Kıyak, 2007); Çorum (Salur ve Mesci, 2007); Antalya, Karaman, Muğla (Pisica ve Popescu-Mirceni, 2008); Samsun (Miroğlu ve Kartal, 2008); Çanakkale, Yalova (Hacet ve Aktaş, 2009); Düzce, Karabük, Kastamonu, Sinop (Hacet, 2009); Burdur, Isparta (Okur, 2012); Muğla, Antalya (Kalkman ve ark., 2012); Tokat (Salur ve ark., 2012); Yozgat (Akkuş, 2012); Çorum (Salur ve ark., 2014); Çorum (Suludere, 2014); Ankara (Çetiner, 2015).

İncelenen Materyal: Diyarbakır, Sur, Ongözlü Köprü 1 ♀, N: 37° 53' 92" E: 40° 13' 44" , 11.06.2017; Sur, Ongözlü Köprü 1 ♀, N: 37° 53' 94" E: 40° 14' 30" , 18.06.2017; Kayapınar, Devegeçidi Barajı 1 ♀, N: 38° 05' 53" E: 40° 07' 20" 02.07.2017; Sur, Dicle Nehri 1 ♀, 1 ♂ N: 37° 91' 73" , E: 40° 25 ' 15" 16.07.2017; Sur, Çarıklı Köyü 1♀, 3 ♂♂ , N: 37° 84' 62" E: 40° 23' 30" , 23.07.2017; Bağlar, Ağaçgeçit Köyü 1 ♀, N: 37° 51' 25" E: 40° 10' 12" , 13.08.2017; Sur, Dicle Nehri 1 ♂, N: 37° 50' 24" E: 40° 16' 32" 27.08.2017. Toplam: 6 ♀♀, 5 ♂♂.

Bu tür Diyarbakır böcek faunası için ilk yukayıt niteliğindedir.

Orthetrum albistylum (Selys, 1848)

Sinonim: *Libellula albistylum* (Sélys, 1848)



Şekil 5. *Orthetrum albistylum* (♀) dorsalden ve lateralden görünüşü (Orijinal resim)

Habitat ve Fenoloji: Bu türün ergin bireylerine Haziran-Ağustos ayları arasında suyun üzerinde ve çevresinde uçarken, su kenarındaki çalılıkların üzerinde dinlenirken rastlanılmıştır.

Dünya'daki Dağılımı: Yunanistan, Bulgaristan, Gürcistan, Ermenistan, Azerbaycan, İran (Kalkman, 2006). Albania, Austria, Croatia, Czech Republic, French mainland, Germany, Greek mainland, Hungary, Italian mainland, Kriti (Crete), Macedonia, Yugoslav Republic, Moldova, Republic of, Poland, Romania, Slovakia, Slovenia, South European Russia, Switzerland, Ukraine, Yugoslavia (Anonymous, 2019).

Türkiye'deki Dağılımı: Edirne, Tekirdağ, Kırklareli, İstanbul, Çanakkale (Hacet ve Aktaş, 2004); Aydın, Isparta (Salur ve Kıyak, 2007); Çanakkale, Kırklareli (Pisica ve Popescu-Mirceni, 2008), Samsun (Miroğlu ve Kartal, 2008), Düzce (Hacet, 2009); Van (Ayten ve Özgökçe, 2009); Edirne (Hacet, 2010); Çorum (Salur ve ark., 2014); Tokat (Salur ve ark., 2012).

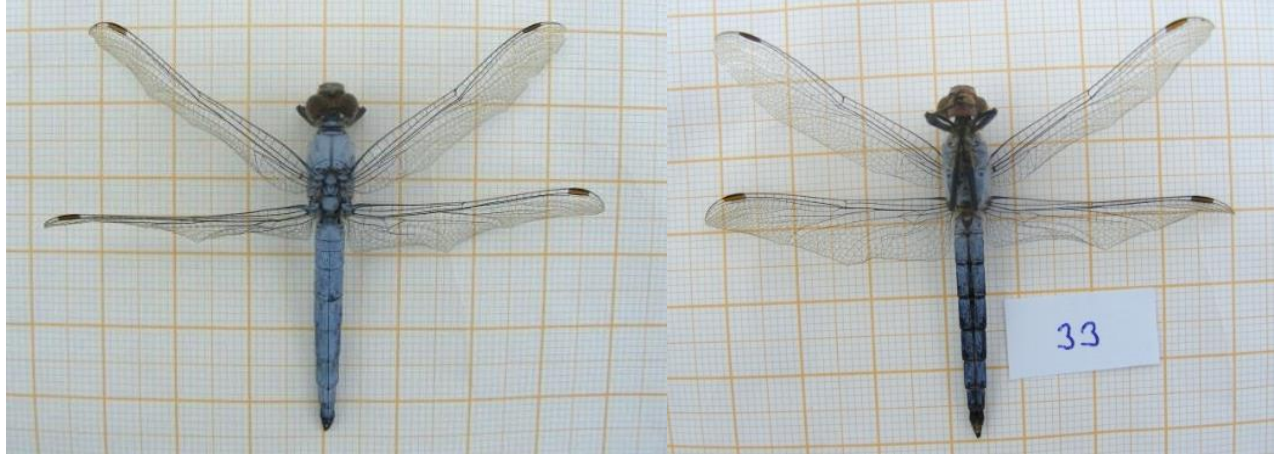
İncelenen Materyal: Diyarbakır, Sur, Dicle Nehri 1 ♀, N:37° 91' 45" E: 40° 24' 89" 04.06.2017; Sur, Ongözlü Köprü 1 ♀, N:37° 53' 92" E: 40° 13' 44" 18.06.2017; Sur, Ongözlü Köprü 1 ♀, 1♂, N:37° 53' 92" E: 40° 13' 44" 27.06.2017; Kayapınar, Devegeçidi Barajı 1 ♀, 1 ♂, N: 38° 05' 53" E: 40° 07' 20" 02.07.2017; Kayapınar, Devegeçidi Barajı 1 ♀, N: 38° 05' 57" E: 40° 07' 43" 09.07.2017; Sur, Çarıklı Köyü 1 ♀, N: 37° 84' 62" E: 40° 23' 30" 23.07.2017. Toplam: 6 ♀♀, 2 ♂♂.

Bu tür Diyarbakır böcek faunası için yeni kayıt niteliğindedir.

Orthetrum brunneum (Fonscolombe, 1837)

Sinonim: *Libellula brunnea* Fonscolombe, 1837.

Tanımı: Toraks ve abdomen erkek bireylerde soluk mavi, dişi bireylerde ise sarımsı kahverengi veya grimsi kahverengidir. Genç erkekler kahverengimsidir. Abdomen nispeten düzleşir ve ince bir orta siyah çizgi ve her segmentte farklı noktalar gösterir. Abdomendeki orta çizgi dişilerde daha belirgin ve daha koyu renktedir. Abdomenin ucu dişi bireylerde daha sivridir. Erkek bireylerde abdomen biraz basıktır. Vücut uzunluğu erkeklerde 44-47 mm; ön kanat uzunluğu 34.68 mm, arka kanat uzunluğu 33.18 mm'dir. Dişi bireylerde ise vücut uzunluğu 43-45 mm; ön kanat uzunluğu 34.25 mm, arka kanat uzunluğu 32.61 mm kadardır. Abdomen uzunluğu erkeklerde 28.76 mm, dişilerde ise 28.44 mm'dir. Kanat açıklığı 66-70 mm'ye kadar ulaşır.



Şekil 6. *Orthetrum brunneum* (♂) dorsalden ve ventralden görünüşü (Orijinal resim)

Habitat ve Fenoloji: Bu türe ait bireylere Haziran ortasından Ağustos ayının sonlarına kadar nehirlerin hemen yakınında veya üzerinde, güneşli havalarda durgun ve sığ suların yakınında uçarken karşılaşılmıştır.

Dünya'daki Dağılımı: Rusya ve İspanya, batının ortası ve Asya Minör (Steinmann, 1997); Yunanistan, Bulgaristan, Gürcistan, Ermenistan, Azerbaycan, İran, Kıbrıs, Irak, Suriye (Kalkman, 2006); Albania, Austria, Balearic Is., Belgium, Corsica, Croatia, Czech Republic, Dodekánisos (Dodecanese Is.), French mainland, Germany, Greek mainland, Hungary, Italian mainland, Kiklâdes (Cyclades Is.), Kriti (Crete), Luxembourg, Macedonia, Yugoslav Republic, Malta, Moldova, Republic of, Poland, Portuguese mainland, Romania, Sardinia, Sicily, Slovakia, Slovenia, South European Russia, Spanish mainland, Switzerland, The Netherlands, Ukraine, Vóreion Aiyáion (North Aegean Is.), Yugoslavia (Anonymous, 2019).

Türkiye'deki Dağılımı: Adana, Hatay, Kahramanmaraş, Şanlıurfa (Dumont ve ark., 1988); Adana, Mersin (Ardıç ve Uygun, 1996); Edirne, Kırklareli, Tekirdağ, İstanbul, Çanakkale (Hacet ve Aktaç, 2004); (Salur ve Öz Saraç, 2004); Adana, Hatay, Kahramanmaraş, Osmaniye (Salur ve Kıyak, 2006); Antalya, Aydın, Burdur, Denizli, Isparta, Muğla (Salur ve Kıyak, 2007); Çorum (Salur ve Mesci, 2007); Çanakkale, Denizli, İzmir (Pisica ve Popescu-Mirceni, 2008); Samsun (Miroğlu ve Kartal, 2008); Ankara, Bartın, Çankırı, Düzce, Karabük, Kastamonu, Sinop (Hacet, 2009); Çanakkale, Yalova (Hacet ve Aktaç, 2009); Van (Ayten ve Özgökçe, 2009); Aydın (Holtacı, 2010); Hakkari (Kazancı, 2010); Burdur (Okur, 2012); Tokat (Salur ve ark., 2012); Tunceli (Salur ve ark., 2012); Kırşehir Yozgat (Akkuş, 2012); Çorum (Salur ve ark., 2014); Çorum (Suludere, 2014); Ankara (Çetiner, 2015); Aydın (Holtacı, 2015).

İncelenen Materyal: Diyarbakır, Kayapınar, Devegeçidi Barajı 1 ♀, N: 38° 05' 53" E: 40° 07' 20" 02.07.2017; Kayapınar, Devegeçidi Barajı 1 ♂, N: 38° 05' 65" E: 40° 07' 42" , 1 ♂ N: 38° 05' 65" E: 40° 07' 20" 09.07.2017; Sur, Dicle Nehri 1 ♂, N: 37° 91' 73" E: 40° 25' 15" 16.07.2017. Toplam: 1 ♀, 3 ♂♂. Bu tür Diyarbakır böcek faunası için ilk kayıt niteliğindedir.

Orthetrum coerulescens (Fabricius, 1798)

Sinonim: *Libellula donovani* Leach, 1815; *Libellula dubia* Rambur, 1842; *Libellula olympia* Fonscolombe, 1837; *Libellula opalina* Charpentier, 1825; *Orthetrum helena* Buchholtz, 1954; *Orthetrum ramburii* Sélys, 1848.

Tanımı: Bu türe ait bireylerde vücut uzunluğu 40-44 mm arasında bir uzunluğa sahiptir. Erkek bireylerde vücut uzunluğu 42 mm'dir. Kanat uzunluğu ise 30 mm uzunluğundadır. Abdomen uzunluğu

23-38 mm, açılmış arka kanat genişliği ise 28-33 mm'dir. Abdomenleri oldukça ince bir yapıdadır ve uç kısmı küttür. Toraksın ön tarafında, çoğunlukla belirgin iki soluk sarı çizgi bulunmaktadır. Erkek bireylerde bu çizgilerin rengi yaşla birlikte kaybolur. Genç erkek bireyler sarı-kahverengidir. Kanatlar saydamdır. Dişi bireylerde abdomen, sarımsı kahverengidir ve çeşitli kesimlerin bağlantılarına küçük enine çizgiler bulunur.



Şekil 7. *Orthetrum coerulescens* dorsalden görünüşü (Orijinal resim)



Şekil 1. *Orthetrum coerulescens* lateralden görünüşü (Orijinal resim)

Habitat ve Fenoloji: Bu türe ait bireylere Haziran- Ağustos aylarında nehir kenarlarında, küçük su birikintilerinde, ıslak arazilerde uçarken rastlanılmıştır. Ayrıca bu türler küçük boylu bitkiler ve çalılıklar üzerinde, nadir de olsa yerde dinlenirken görülmüştür.

Dünya'daki Dağılımı: Yunanistan, Bulgaristan, Gürcistan, Ermenistan, Azerbaycan, İran, Kıbrıs, Irak, Suriye (Kalkman, 2006); Albania, Austria, Balearic Is., Belgium, Britain I., Channel Is., Corsica, Croatia, Czech Republic, Danish mainland, Dodekánisos (Dodecanese Is.), Estonia, Finland, French mainland, Germany, Hungary, Ireland, Italian mainland, Kikládés (Cyclades Is.), Kriti (Crete), Liechtenstein, Lithuania, Luxembourg, Macedonia, Yugoslav Republic, Norwegian mainland, Poland, Portuguese mainland, Romania, Sicily, Slovakia, Slovenia, Spanish mainland, Sweden, Switzerland, The Netherlands, Ukraine, Vóreion Aiyáion (North Aegean Is.), Yugoslavia (Anonymous, 2019).

Türkiye'deki Dağılımı: Adana (Ardıç ve Uygun, 1996); Bartın, Çankırı, Düzce, Karabük, Kastamonu (Hacet, 2009); Ankara (Çetiner, 2015).

İncelenen Materyal: Diyarbakır, Sur, Dicle Nehri 3 ♀♀, 1 ♂, N: 37° 91' 18" E: 40° 25' 68" 16.07.2017; Sur, Dicle Nehri 3 ♀♀, N: 37° 91' 73" E: 40° 25' 17" 23.07.2017. Toplam: 6 ♀♀, 1 ♂.

Bu tür Diyarbakır böcek faunası için yeni kayıt niteliğindedir.

Coenagrionidae Familyası

Ischnura elegans (Vander Linden, 1820)

Sinonim: *Agrion pupilla* Hansemann, 1825; *Agrion tuberculatum* Charpentier, 1825; *Agrion rufescens* Stephens, 1835; *Ischnura lamellata* Kolbe, 1885.

Tanımı: Vücut uzunluğu 30-34 mm; abdomen uzunluğu 22-29 mm ve arka kanat uzunluğu 14-21 mm'dir. Erkekleri bronz-siyah renkli olup, baş, thoraks ve abdomen kaidesi ile ucu belirgin gök mavisi renktedir. Pterostigma'sı iki renklidir. Genç erkekler yeşil renktedir. Genç dişilerin thorakları açık mor renktedir. Olgunlaşmayla birlikte kahve veya soluk yeşil renge sahip olurlar.



Şekil 9. *Ischnura elegans* erkek (üst) ve dişi (alt) bireyleri (Orijinal resim)

Habitat ve Fenoloji: Bu türün ergin bireylerine özellikle Nisan ve Ekim ayları arasında durgun sularda çok fazla rastlanılmıştır. Akıntılı suların çevresinde uçarken de görülmüştür. Bu türe ait bireyler tuzluluğa biraz toleranslı olmakla beraber bataklık yosunu içeren bataklıklar gibi asidik habitatlardan kaçınırlar.

Dünya'daki Dağılımı: Bulgaristan, İran, Ermenistan (Kalkman, 2006).

Türkiye'deki Dağılımı: Adana, Adıyaman, Diyarbakır, Gaziantep, Hatay, Kahramanmaraş, Sivas, Şanlıurfa (Dumont ve ark., 1988); Adana, Antakya, Mersin (Tarsus, Silifke) (Ardıç ve Uygun, 1996); Kayseri (Salur ve Kıyak, 2000); Muğla, Antalya (Kalkman ve ark., 2004); Çorum (Salur ve Mesci 2007); Antalya, Burdur, Çanakkale, Denizli, İzmir, Karaman, Kırklareli, Muğla (Pisica ve Popescu-Mirceni, 2008); Çanakkale (Hacet ve Aktaç, 2009); Van (Ayten ve Özgökçe, 2009); Ankara, Bolu, Çankırı, Düzce, Karabük, Kastamonu (Hacet, 2009), Edirne (Hacet, 2010), Yozgat (Akkuş, 2012).

İncelenen Materyal: Diyarbakır, Kayapınar, Devegeçidi Barajı 3 ♂♂, N: 38° 06' 12" E: 40° 07' 15" 09.07.2017; Sur, Dicle Nehri 1 ♂, N: 37° 91' 73" E: 40° 25' 15" 16.07. 2017; Sur, Çarıklı Köyü 2 ♂♂ N: 37° 84' 48" E: 40° 22' 36" 23.07.2017; Sur, Bağlıvar 1 ♀, 1 ♂, N: 37° 87' 33" E: 40° 23' 25" 30.07.2017; Kayapınar, Devegeçidi Barajı 25 ♂♂, N:38° 05' 53" E: 40° 07' 20" 06.08.2017; Bağlar, Ağaçeçit Köyü 1 ♂, N: 37° 51' 64" E: 40° 11' 16", 10 ♂♂ 1 ♀, N: 37° 51' 88" E: 40° 11' 08" 13.08.2017; Toplam: 2 ♀♀, 43 ♂♂.

Platynemididae Familyası

Platynemis dealbata (Selys in Selys & Hagen, 1850)

Sinonim: *Platynemis oedipus* Akramowski, 1948; *Agrion dealbata* Klug, 1849.



Şekil 2. *Platycnemis dealbata* (♀) lateralinden görünüşü (Orijinal resim)



Şekil 11. *Platycnemis dealbata*, erkek (üstteki) ve dişi (alttaki) bireyleri (Orijinal resim)

Habitat ve Fenoloji: Bu türün ergin bireyelerine Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında çalılıkların üzerinde dinlenirken, su kenarlarında uçarken rastlanılmıştır.

Dünya'daki Dağılımı: Gürcistan, Ermenistan, Azerbaycan, İran, Irak, Suriye, Lübnan (Kalkman, 2006).

Türkiye'deki Dağılımı: Adana, Hatay, Kahramanmaraş, Osmaniye (Salur ve Kıyak, 2006), Hakkari (Kazancı, 2010).

İnlenen Materyal: Diyarbakır, Sur, Dicle Nehri 8 ♂♂, 3 ♀♀, N: 37° 92' 33" E: 40° 24' 23" 04.06.2017; Sur, Ongözlü Köprü 2 ♀♀, N: 37° 53' 92" E: 40° 13' 44" 11.06.2017; Sur, Ongözlü Köprü 3 ♀♀, N: 37° 51' 92" E: 40° 13' 44" 18.06.2017; Kayapınar, Devegeçidi Barajı, 2 ♂♂, 1 ♀, N: 38° 05' 53" E: 40° 07' 20" , 15 ♂♂ 24 ♀♀, N: 38° 05' 69" E: 40° 07' 47" 02.07.2017; Kayapınar, Devegeçidi Barajı, 3 ♀♀ N: 38° 05' 43" E: 40° 07' 22" 09.08.2017. Toplam: 40 ♀♀, 37 ♂♂.

Bu tür Diyarbakır böcek faunası için ilk yukayıt niteliğindedir.

SONUÇ

Diyarbakır ilinde 2017 yılında Mayıs-Ağustos ayları arasında Odonata türlerini ve yayılışlarını belirlemek amacıyla yapılan sörvey çalışmaları sonucunda toplanan 261 Odonata örneği değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirme sonunda örneklerin, 3 familyaya ait 5 cins ve bu cinslere ait 7 tür tespit edilmiştir. Belirlenen bu türlerden 6 tanesi Diyarbakır böcek faunası için ilk kayıt niteliğindedir. Bu türlerden Zygoptera alttakımına bağlı Platycnemididae Familyasına ait olan *Platycnemis dealbata* (Selys in Selys & Hagen, 1850), Coenagrionidae Familyasına ait olan *Ischnura*

elegans (Vander Linden, 1820)' dir. Anisoptera alttakımına bağlı Libellulidae Familyasına ait olanlar ise; *Brachythemis fuscopalliata* (Selys, 1887), *Crocothemis erythraea* (Brullé, 1832), *Orthetrum albistylum* (Selys, 1848), *Orthetrum brunneum* (Fonscolombe, 1837), *Orthetrum coerulescens* (Fabricius 1798)' dir.

Brachythemis fuscopalliata türüne ait 9 ergin birey toplanmıştır. Bu türün bireylerine en fazla Temmuz ve Ağustos aylarında rastlanılmıştır. *Crocothemis erythraea* türüne ait 11 ergin birey toplanmıştır. Bu türün bireyleri en fazla Temmuz ayında en az ise Haziran ayında toplanmıştır. *Orthetrum albistylum* türüne ait 8 ergin birey toplanmıştır. Bu türün bireyleri en fazla Haziran ve Temmuz aylarında görülmüştür. *Orthetrum brunneum* türüne ait 4 ergin birey toplanmıştır. Bu türün bireylerine sadece Temmuz ayında rastlanılmıştır. *Orthetrum coerulescens* türüne ait 7 ergin birey toplanmıştır. Bu türün bireyleri sadece Temmuz ayında görülmüştür. *Ischnura elegans* türüne ait 45 ergin birey toplanmıştır. Bu türün bireylerine en fazla Ağustos ayında rastlanılmıştır. *Platycnemis dealbata* türüne ait 77 ergin birey toplanmıştır. Bu bireylere en fazla Haziran ayında en az ise Ağustos ayında rastlanılmıştır.

Ülkemizde hızla gelişen sanayileşme ile birlikte doğal çevre olumsuz yönde etkilenmektedir. Bu durum hava kirliliğinin, su kirliliğinin artmasına neden olmakta ve doğadaki canlı hayatını ve çeşitliliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Doğadaki bu canlıların popülasyon yoğunluklarının ve çeşitliliğinin bilinmesi çevre kirliliğine karşı alınacak önlemlerin tespiti için önemlidir. Odonatalar bioçeşitlilik çalışmalarında ideal ve çok önemli böcek gruplarından. Bu nedenle fauna tespiti çalışmaları önem teşkil etmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmadaki örneklerin Teşhisini yapan Sayın, Geert De Knijf'e (Research Institute for Nature and Forest, Belgium·Brussels) ve çalışmaya mali kaynak desteğinde bulunan DÜBAP yetkililerine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Akkuş AH, 2012. Yozgat İli Çekerek İlçesi Ve Civarının Odonata Faunası ve Ekolojisinin Araştırılması, Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (Basılmış).
- Anonymous, 2019. Fauna Europaea. <https://fauna-eu.org> (update: 18.06.2019).
- Ardıç A, Uygun N, 1996. Doğu Akdeniz Bölgesi Odonata Faunasının Saptanması, Türkiye 3. Entomoloji Kongresi, (415-422 ss). 24-28 Eylül, Ankara.
- Çetiner Ö, 2015. Beypazarı (Ankara) Odonatları. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (Basılmış).
- Demirsoy A, 1982. Türkiye Faunası Odonata, TUBİTAK, 4 (8): IX+154.
- Dumont HJ, Demirsoy A, Mertens J, 1988. Odonata from South-East Anatolia (Turkey) Collected in Spring. *Notulae Odonatologicae*, 3(2): 17-36.
- Hacet N, Aktaş N, 2004. Considerations on the Odonate Fauna of Turkish Thrace, with some Taxonomic notes. *Odonatologica*, 33 (3): 253-270.
- Hacet N, Aktaş N, 2009. Contribution to the knowledge of Odonata fauna of Southern Marmara Region of Turkey, *Türkiye Entomoloji Dergisi*, 33 (3): 171-178.
- Hacet N, 2009. Odonata of the Western Black Sea Region of Turkey, With Taxonomic Notes and Species List of the Region. *Odonatologica*, 38 (4): 293-306.
- Hacet N, 2010. Notes on Flight Periods and Distributions of some Dragonflies in Turkey. *Munis Entomology & Zoology*, 5 (1): 158-162.
- Holtacı A, 2015. Afyon ve Aydın İllerinden Toplanan Odonata Larvalarının Faunası. Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (Basılmış).

- Kalkman VJ, Wasscher M, Van Pelt GJ, 2003. An annotated checklist of the Odonata of Turkey. *Odonatologica*, 32: 215-236.
- Kalkman VJ, Kop A, Van Pelt GJ, Wasscher M, 2004. The dragonflies of the surroundings of Lake Köyceğiz and the River Eşen, Muğla province, SW Turkey (Odonata). *Libellula*, Supplement 5: 39-63.
- Kalkman VJ, 2006. Key to the Dragonflies of Turkey, Including Species Known from Greece, Bulgaria, Lebanon, Syria, the Transcaucasus and Iran. *Brachytron*, 10: 3-82.
- Kalkman VJ, Van Pelt GJ, 2006. New records of rare or uncommon dragonflies in Turkey (Odonata). *Brachytron*, 10 (1): 154-162.
- Kalkman VJ, Kleukers RMJC, Tiago Tavare J, 2012. First well documented records of *Orthetrum trinacria* for Greece and Turkey (Odonata: Libellulida). *Libellula*, 31: 89-96.
- Kazancı N, 2010. Contribution to the Knowledge of Odonata (Insecta) Fauna of Turkey. Eastern and Southeastern Anatolia. *Review of Hydrobiology*, 3 (1): 1-11.
- Kırpık, MA, İskender A, 2015. Kars Platosu Odonata (Insecta) Faunasının Belirlenmesi. *Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(2), 54-65.
- Miroğlu A, Kartal V, 2008. Additional Notes on the Odonata Fauna of Kurupelit Samsun, Turkey. *Turkish Journal Zoology*, 32 (1): 33-41.
- Okur Y, 2012. Burdur ve Isparta İllerinden Yaşayan Odonata Larvalarının Yayılışı ve Ekolojisi. Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Salur A, Kıyak S, 2000. On the Systematic and Faunistic Studies Of Anisoptera Species (Insecta: Odonata) of Kizilirmak River Basin (Kayseri Province). *Journal of the Institute of Science and Technology of Gazi University*, 13 (3): 829-841.
- Salur A, Kıyak S, 2006. Additional Records for the Odonata Fauna of South Mediterranean Region of Turkey. *Munis Entomology & Zoology*, 1 (2): 239-252.
- Salur A, Kıyak S, 2007. Additional Records for the Odonata Fauna of South-Western Anatolia – Part 1: Anisoptera. *Munis Entomology & Zoology*, 2 (1): 63-78.
- Salur A, Mesci S, 2007. Additional Records for the Odonata Fauna of Çorum Province (Turkey). *Munis Entomology & Zoology*, 2 (1): 169-170.
- Salur A, Öz Saraç Ö, 2004. Additional notes on the Odonata Fauna of Çiçekdağı (Kırşehir), Turkey. *Gazi Üniversitesi Journal of Science*, 17 (1): 11-19.
- Salur A, Doğan Ö, Yağız Y, 2012. Odonata Fauna of Pülümür (Turkey: Tunceli prov.). *Munis Entomology & Zoology*, 7 (1): 359-362.
- Salur A, Miroğlu A, Okçu B, 2012. Odonata Fauna of Tokat Province (Turkey). *Munis Entomology & Zoology*, 7 (1): 339-343.
- Salur A, Başgöz N, Telli MA, 2014. Faunistic Study on Odonata (Insecta) of Gölbel Lake, Northern Turkey. *Munis Entomology & Zoology*, 9 (2): 950-951.
- Steinmann H, 1997. *World Catalogue of Odonata*. Vol. 2 Anisoptera, New York: Das Tierreich Band 111: 636 p.
- Suludere S, 2014. Çorum İlinde Yaşayan Bazı Odonata Larvalarının Yayılışı ve Ekolojisi. Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Telli S, 2015. Yedigöller Milli Parkı'nda Yaşayan Odonata Larvalarının Faunası. Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Vick GS, 2002. Preliminary biodiversity assessment of odonate fauna of the Takamanda Forest Reserve, Cameroon. *IDF- Report 4*, 1-10.
- Wahizatul-Afzan A, Julia J, Amirudin A, 2006. Diversity and Distribution of Dragonflies (Insecta: Odonata) in Sekayu Recreational Forest, Terengganu. *Journal of Sustainability Science and Management*, 1(2): 97-106.

Farklı Bakteri Uygulamalarının Domates (*Solanum lycopersicum* L.) Bitki Gelişimi Üzerine Etkileri

Badel UYSAL ŞAHİN¹, Mesude Figen DÖNMEZ^{1*}

ÖZET: Bu çalışma, 2015 yılında İğdir ili volkanik, kumlu ve tuzlu topraklarından elde edilen 25 PGPR straininin domates (*Solanum lycopersicum* L.) bitkisinin gelişimine etkisini değerlendirmek amacıyla yürütülmüştür. İzole edilen bakterilerin tanısı Mikrobiyal Tanılama Sistemi (MIS) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Azot fikse etme ve fosfat çözme özellikleri belirlenen strainlerin domates gelişimine etkisi gübre ve kontrol uygulamaları ile kıyaslanmış, ortalama ana kök uzunluğu, ortalama yan kök uzunluğu, bitki yüksekliği, gövde çapı ve dal sayısı parametreleri incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda; *Bacillus atrophaeus*, *Bacillus gordonae*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus sphaericus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus thuringiensis kurstakii*, *Bacillus viscosus*, *Brevibacillus centrosporus*, *Brevibacillus choshinensis*, *Chryseomonas luteola*, *Microbacterium lacticum*, *Micrococcus luteus*, *Micrococcus lylaei*, *Pseudomonas balearica*, *Pseudomonas pseudoalcaligenes*, *Pseudomonas putida*, *Sphingobacterium faecium*, *Sphingomonas paucimobilis*, *Staphylococcus cohnii cohnii*, *Staphylococcus gallinarum* ve *Virgibacillus pantothenicus* olmak üzere 14 tür tanımlanmıştır. Bakteri uygulamalarının ele alınan parametreleri gübre ve hiç uygulama yapılmayan kontrol bitkilere kıyasla önemli düzeyde arttırdığı ve en yüksek etkinin *Bacillus* spp. türlerinde olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: PGPR, domates, toprak, İğdir, *Solanum lycopersicum* L.

Effects of Different Bacteria Applications on Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Plant Growth

ABSTRACT: This study was conducted to determine the effects of the 25 PGPR strains, which were isolated from the salty, sandy and volcanic soils in İğdir province, together with fertilizers and control applications on tomato seedlings in the year 2015. Tested bacteria were identified on the basis of the fatty acid types and their percentages of the strains using Microbial Identification System (MIS) computer software program. The effects of the bacterial strains, whose nitrogen fixation and phosphate solubilization properties were determined, on the growth of tomato seedlings were examined by comparing with fertilizers and control applications. Plant yield components i.e. the average length of main root, average length of lateral roots, plant height, stem diameter, leaves numbers were examined. Bacteria isolated as a result of the study; they were identified as *Bacillus atrophaeus*, *Bacillus gordonae*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus sphaericus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus thuringiensis kurstaki*, *Bacillus viscosus*, *Brevibacillus centrosporus*, *Brevibacillus choshinensis*, *Chryseomonas luteola*, *Microbacterium lacticum*, *Micrococcus luteus*, *Micrococcus lylaei*, *Pseudomonas balearica*, *Pseudomonas pseudoalcaligenes*, *Pseudomonas putida*, *Sphingobacterium faecium*, *Sphingomonas paucimobilis*, *Staphylococcus cohnii cohnii*, *Staphylococcus gallinarum*, *Virgibacillus pantothenicus*. It has been determined that bacteria applications significantly increase the examined parameters compared to fertilizer and control plants and the highest effect was in *Bacillus* spp.

Keywords: PGPR, tomato, soil, İğdir, *Solanum lycopersicum* L.

¹ Badel UYSAL ŞAHİN (Orcid ID: 0000-0003-4061-769X), Mesude Figen DÖNMEZ (Orcid ID: 0000-0002-7992-8252), İğdir Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, İğdir, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Mesude Figen DÖNMEZ, e-mail: mesude.figen.donmez@igdir.edu.tr

GİRİŞ

Sebzecilik, ülkemiz tarımsal üretimi içinde önemli bir yere sahiptir. *Solanaceae* familyasının *Lycopersicum* cinsine bağlı tek yıllık bir bitki olan domates dünyada olduğu gibi ülkemizde de en çok üretilip tüketilen sebzelerin başında gelmektedir. Ülkemizde 2018 yılı itibariyle yaklaşık 8 milyon (8 206 680) dekar alanda 30 032 827 ton sebze üretilmiştir. Türkiye’de toplam sebze üretim miktarının % 40’lık kısmını domates oluşturmaktadır (Anonim, 2018). Domates çeşitli mineral ve vitaminleri içermesi ile önemli bir besin maddesi kaynağıdır ve bu yönüyle gıda sanayiinde de çok çeşitli kullanım alanlarına sahiptir (Keskin ve Gül 2004).

Artan dünya nüfusu ile birlikte tarım alanlarını genişletme imkânlarının sınırlı olması, birim alandan elde edilen ürün miktarının artırılmasını gerekli kılmaktadır (Midmore, 1993). Bitkisel üretim sisteminde mevcut hastalık ve zararlılarla mücadele etmek ve verimi artırabilmek için bilinçsiz ve gelişmiş gübre ve pestisit kullanımı birçok çevresel riski beraberinde getirmektedir. Dünyanın pek çok bölgesinde, potansiyel kirleticiler olan endüstriyel gübre ve pestisit kullanımının azaltılması amacıyla alternatif, çevre dostu uygulama arayışlarına girilmiştir. Bu amaç doğrultusunda hem verim hem de kaliteyi arttırmak amacıyla bitki büyümesini teşvik eden rizobakterilerin biyolojik gübre olarak kullanımı yaygınlaşmıştır (Burdman ve ark., 2000). Bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler genellikle bitkilerin rizosferinde veya bitki dokularının çevresinde gelişen, bitki büyümesini teşvik eden PGPR’lar olarak adlandırılan bakteri türleridir (Almaghrabi ve ark., 2013). PGPR’ların bitkilere direkt etkileri, azot fiksasyonu, fosfat çözme, demirin bitkiler tarafından kullanılabilirliğinin artırılması (biyofertilizasyon) ve / veya indol-3-asetik asit (IAA), gibberellinler ve sitokininler gibi fitohormonların üretimi ile besin maddelerinin alımını artırması, indirekt etkileri ise temel olarak mikrobiyal antagonizm, rekabet veya uyarılmış sistemik direnci (ISR) arttırarak bitki hastalıklarının görülme sıklığını bastırarak, selüloz, kitinaz gibi litik enzimlerin sentezlenmesini teşvik ederek bitki patojenlerinin çoğalmasını engellemek, hidrosiyamik asit (HCN) üreterek bitki kök yüzeylerini kolonize eden ve bitki büyümesini baskılayabilen yabancı otların gelişimini baskılamak, bazen eser miktarda bulunan besin için bitki patojeni ile rekabet ederek patojenin gelişimini baskılamak şeklindedir (Verhagen ve ark., 2004; Podile ve Kishore, 2006; Glick ve ark., 2007; Zeller ve ark., 2007; McMillan, 2007; Sharma ve ark., 2009; Vaikuntapu, 2014; Kundan ve ark., 2015; Widnyana, 2018).

Birçok pazarlanabilir biyo+gübre, temel olarak bitki gelişimine yararlı etki gösteren bitki gelişimini teşvik edici rizobakterilere dayanmaktadır ve bu genellikle konukçu bitkinin besin kullanılabilirliğinin artırılması ile ilgilidir (Vessey, 2003; Almaghrabi ve ark., 2013). PGPR’ların bitki büyümesini ve gelişimini iyileştirmedeki etkisiyle ve aynı zamanda biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı bitki toleransını artırması göz önüne alındığında, sentetik gübrelere alternatif PGPR kullanımı sürdürülebilir tarım için çevre dostu uygulamaların geliştirilmesine yardımcı olacaktır.

Bu çalışmada, Iğdır ilindeki volkanik, kumlu ve tuzlu topraklardan elde edilen 25 potansiyel PGPR straininin, ülkemizde sofralarımızdan eksik olmayan ve ekonomik açıdan önemli bir paya sahip en önemli sebze türü olan domates bitkisi üzerindeki gelişim parametrelerine etkisi değerlendirilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Antalya Agrotek Tohum firmasından temin edilen M-7111 domates (*Solanum lycopersicum* L.) çeşidi, NPK (Kompoze Gübre (Toros Tarım)) ve Iğdır ili volkanik, kumlu ve tuzlu topraklardan izole edilen bakteriyel strainler çalışmanın materyalini oluşturmaktadır.

Yöntem

Bakteri İzolasyonu ve Tanısı

PGPR strainlerin izolasyonu Iğdır iline ait farklı lokasyonlardan alınan volkanik, kumlu ve tuzlu topraklardan elde edilen örneklerden gerçekleştirilmiştir. Örnekleme toprak örneği alınan alanı temsil edecek şekilde yapılmış olup, örnekler laboratuvara getirilene kadar soğuk ortamda tutulmuştur. Laboratuvar koşullarında toprak örnekleri kurutularak 0.1 mm'lik toprak eleğinden geçirilmiştir. Elenmiş toprak örneklerinden 5 gr alınarak içerisinde 20 ml steril saf su bulunan test tüplerine aktarılmış ve oda sıcaklığında 30 dakika çalkalanmıştır. Çalkalama işleminden sonra süspansiyondan 1 ml alınarak içerisinde 9 ml steril saf su bulunan tüplerde dilüsyonlar hazırlanmıştır. 10^4 ve 10^5 dilüsyonlardan 80 µl alınarak 3 tekerrürlü olarak Nutrient Agar (NA) besiyerlerine ekimleri yapılmıştır. 26 °C'de 7 gün süre ile petrilerdeki koloni gelişimleri incelenerek saflaştırma yapılmıştır (de Freitas ve ark., 1997). Saf bakteri strainlerine ait 24 h'lik kültürlerden bir öze dolusu alınmış, içerisinde 500 µl % 30'luk gliserol ve 500 µl LB bulunan steril eppendorf tüplere aktararak homojenizasyonu sağlanmış ve stok kültürleri oluşturularak denemede kullanılmak üzere -80 °C'de muhafaza edilmiştir. Saflaştırılan bakteriyel strainlerden yağ asit metil ester ekstraksiyonu (FAME), izolasyonu, saflaştırılması ve tanısı bilgisayar kontrollü gaz kromatografi sisteminin standart protokolü kullanılarak yapılmıştır (Paisley, 1995). Referans kültür olarak MFD 149 *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* (MIS tanılama yüzdesi 91) kullanılmıştır.

PGPR'ların Azot Fiksasyon ve Fosfat Çözme Özelliklerinin Belirlenmesi

Bakterilerin azot fiksasyon özellikleri, 24-48 saatlik bakteri kültürlerinin N-Free Solid Malate-Sucrose besiyerine ekimleri yapıldıktan sonra 26 °C'de 7 günlük inkübasyon sonrası gelişimine göre pozitif, negatif, kuvvetli pozitif ve zayıf pozitif olarak değerlendirilmiştir.

Bakterilerin fosfatı indirgeme özellikleri tüplerde hazırlanan NBRIP (National Botanical Research Institute's phosphate growth medium) sıvı besi yeri kullanılarak belirlenmiştir. Besiyerindeki renk değişimi 15 gün boyunca gözlemlenmiş ve renk açılması temel alınarak strainler pozitif, negatif, kuvvetli pozitif ve zayıf pozitif olarak değerlendirilmiştir (de Freitas ve ark., 1997).

Bitki Materyali Büyüme Koşulları ve İnokulasyon

Azot fiksasyon ve fosfat çözme yetenekleri olduğu tespit edilen ve -80 °C'de muhafaza edilen bakteri strainleri NA besi ortamına ekilerek 26 °C'de 24 h inkübe edilmiştir. Gelişen bakteri kültüründen 1 öze dolusu alınarak içerisinde Nutrient Broth olan erlen mayerlere transfer edilmiştir. Kontamine edilen besiyerleri 26 °C'de 140 rpm'de çalkalayıcıda 1 gece gelişmeye bırakılmıştır. Hazırlanan bakteri solüsyonlarının konsantrasyonu steril saf su ile 10^8 cfu/ml'ye ayarlanmıştır. Dezenfekte edilen domates tohumları bakteri inokulumu içerisinde 2 h süreyle bekletilmiştir. Bakterilerin tohuma yapışması için sukroz kullanılmıştır. Her bir bakteri straini ile inokule edilen domates tohumları viyollere ekilerek bitki büyüme kabininde çimlenmeye bırakılmıştır. Bakteri uygulamalarının yapılmış olduğu domates tohumları çimlenme sonrası içerisinde steril torf, toprak ve kum (1:1:1) karışımı olan 47 x 39 cm çaplı saksılara şaşırtılmıştır.

Ayrıca sadece NPK gübre uygulaması ve hiç uygulama yapılmayan kontrol bitki grupları oluşturulmuştur.

Gübre Uygulaması

Gübre uygulaması Toros Gübre'den temin edilen NPK 15.15.15 saksı başına 4 gr olacak şekilde bitkilerin saksılara şaşırtılması sırasında uygulanmıştır.

Bitki Gelişim Parametrelerinin İncelenmesi

Fideler yaklaşık olarak 45 günlük döneme geldiğinde her bir bakteri, gübre uygulaması ve hiç uygulama yapılmayan kontrol grupları üzerinde ana kök uzunluğu, yan kök uzunluğu, bitki yüksekliği, gövde çapı ve yaprak sayısı parametreleri ile ilgili ölçümler yapılmıştır.

İstatistiksel Analiz

Çalışma, tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Üzerinde durulan özellikler bakımından tanıtıcı istatistikler ortalama ve standart hata olarak ifade edilmiştir. Bu özellikler bakımından uygulamaları (bakteriyel strainler, gübre, kontrol) karşılaştırmada tek yönlü varyans analizi (One way ANOVA) kullanılmıştır. Varyans analizini takiben önemli farklılıkların belirlenmesinde Tukey çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır. Hesaplamalarda istatistik önemlilik düzeyi % 5 olarak alınmış ve hesaplamalar için MINITAB (ver:19) istatistiki paket programı kullanılmıştır (Düzgüneş ve ark., 1987).

BULGULAR VE TARTIŞMA

İğdir ili volkanik, tuzlu ve kumlu topraklardan izole edilen ve saflaştırılan 25 farklı bakteri straini, yağ asit metil esterleri profillerine göre Microbial Identification System (MIS) kullanılarak 9 farklı cinse (*Bacillus*, *Brevibacillus*, *Chryseomonas*, *Kocuria*, *Pseudomonas*, *Microbacterium*, *Micrococcus*, *Sphingomonas*, *Staphylococcus*, ve sp.) ait 14 potansiyel PGPR strain (*Bacillus atrophaeus*, *Bacillus gordonae*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus-thuringiensis kurstakii*, *Bacillus subtilis*, *Brevibacillus hoshinensis*, *Chryseomonas uteola*, *Kocuria osea*, *Microbacterium lacticum*, *Micrococcus lylae*, *Micrococcus luteus*, *Pseudomonas putida*, *Staphylococcus gallinarum*, *Sphingomonas paucimobilis*) tanılanmıştır. Tanılanan bakterilerin azot fiksetme ve fosfat çözme yetenekleri test edilmiştir. Test sonuçlarına göre HK23 nolu strain dışında tüm strainlerin azot fiksetme, 16 adet strainin de fosfat çözme yeteneklerinin bulunduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 1. Denemede kullanılan strainlerin tanı sonuçları ve bazı özellikleri

Strain No*	Bakterilerin MIS (Mikrobiyal Tanı Sistemi) Tanı Sonuçları	Benzerlik İndeksi	Azot Fikse Etme	Fosfat Çözme
1	HV1 <i>Micrococcus luteus</i>	0.75	K (+)**	K (+)
2	HV5 <i>Staphylococcus gallinarum</i>	0.72	K (+)	K (+)
3	HV6 <i>Kocuria osea</i>	0.40	K (+)	(-)
4	HV7 <i>Bacillus atrophaeus</i>	0.59	K (+)	(-)
5	HV8 <i>Bacillus atrophaeus</i>	0.59	K (+)	(-)
6	HV10 <i>Bacillus megaterium</i>	0.67	K (+)	(-)
7	HV11 <i>Bacillus atrophaeus</i>	0.67	K (+)	Z (+)**
8	HV13 <i>Bacillus</i> spp.	0.53	K (+)	K (+)
9	HV15 <i>Bacillus subtilis</i>	0.77	K (+)	(-)
10	HV19 <i>Sphingomonas paucimobilis</i>	0.76	K (+)	(+)
11	HV21 <i>Bacillus thuringiensis kurstakii</i>	0.70	K (+)	Z (+)
12	HV22 <i>Micrococcus lylae</i>	0.73	K (+)	(-)
13	HV24 <i>Pseudomonas putida</i>	0.52	K (+)	(+)
14	HV26 <i>Bacillus-thuringiensis kurstakii</i>	0.61	(+)	(+)
15	HK5 <i>Bacillus megaterium</i>	0.83	K (+)	K (+)
16	HK10 <i>Bacillus gordonae</i>	0.37	K (+)	(-)
17	HK12 <i>Bacillus megaterium</i>	0.93	K (+)	K (+)
18	HK23 <i>Bacillus gordonae</i>	0.39	(-)	(+)
19	HK26 <i>Bacillus thuringiensis kurstakii</i>	0.83	K (+)	K (+)
20	HK29 <i>Bacillus atrophaeus</i>	0.86	K (+)	K (+)
21	HK34 <i>Bacillus</i> spp.	0.80	K (+)	Z (+)
22	HT4 <i>Bacillus atrophaeus</i>	0.79	K (+)	K (+)
23	HT7 <i>Brevibacillus hoshinensis</i>	0.65	K (+)	(-)
24	HT8 <i>Chryseomonas uteola</i>	0.40	K (+)	K (+)
25	HT14 <i>Microbacterium lacticum</i>	0.53	(+)	Z (+)

* HT; tuzlu, HV; volkanik, HK; kumlu topraklardan izole edilen strainler

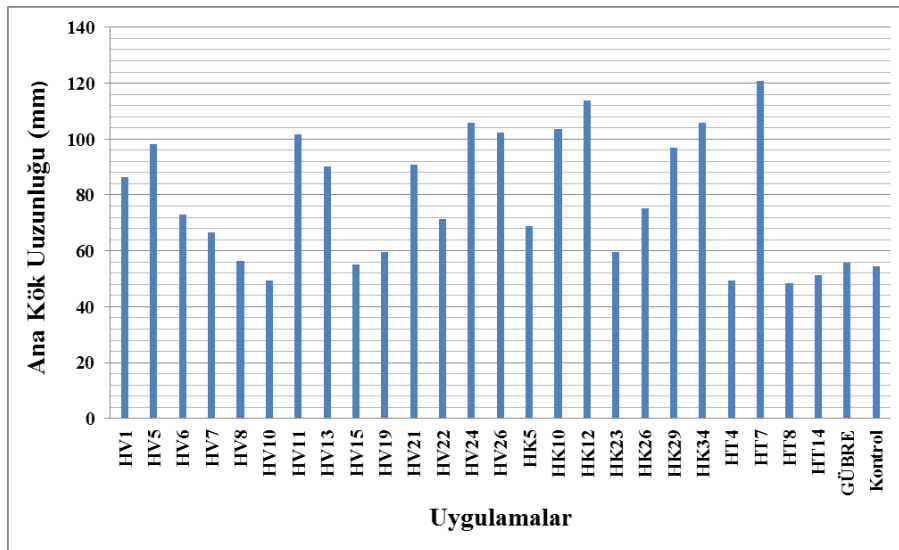
** K(+); kuvvetli pozitif, Z(+); Zayıf pozitif

PGPR strainlerinin tanı sonuçları ve azot fikse etme ve fosfat çözme özellikleri Çizelge 1’de verilmektedir.

2015 yılında yürütülen bu çalışmada bakteri etkinliği ele alınan parametrelere göre değişiklik göstermiştir. Bakteri uygulamalarının domates fidelerinde bitki gelişimiyle ilgili bazı parametrelere etkisi Çizelge 2 ve Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5’de verilmektedir.

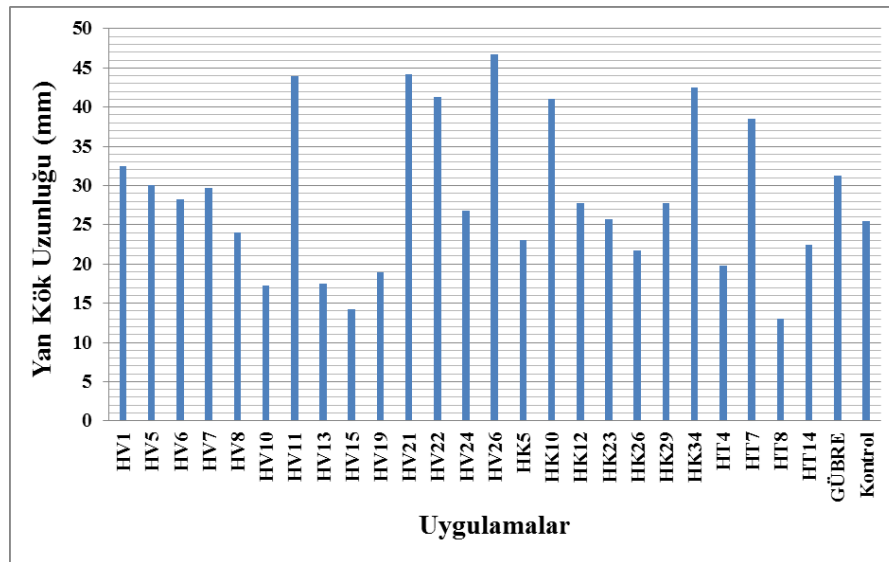
Çizelge 2. Bakteri uygulamalarının domates fidelerinde bitki gelişimiyle ilgili bazı parametrelere etkisi

Strain No	Ana Kök Uzunluğu (mm)	Yan Kök Uzunluğu (mm)	Gövde Uzunluğu (cm)	Gövde Kalınlığı (mm)	Dal Sayısı (adet)	
1	HV1	86.3 ± 19.2 ab	32.50 ± 2.50 ag	24.00 ± 2.48 ab	4.20 ± 0.39 ac	6.50 ± 0.29 ac
2	HV5	98.1 ± 20.4 ab	30.00 ± 7.74 ag	28.25 ± 3.20 ab	4.93 ± 0.56 ac	6.00 ± 0.41 ad
3	HV6	73.1 ± 21.3 ab	28.25 ± 6.56 ag	18.50 ± 2.60 ac	4.31 ± 0.39 ac	5.50 ± 0.29 ad
4	HV7	66.6 ± 10.6 ab	29.75 ± 3.79 ag	21.50 ± 1.89 ab	4.60 ± 0.21 ac	6.50 ± 0.29 ac
5	HV8	56.4 ± 16.4 ab	24.00 ± 1.83 ah	28.25 ± 1.60 ab	4.44 ± 0.30 ac	6.50 ± 0.29 ac
6	HV10	49.30 ± 9.26 ab	17.25 ± 3.68 eh	29.25 ± 5.56 ab	4.15 ± 0.35 ac	4.75 ± 0.63 ce
7	HV11	101.7 ± 16.1 ab	44.00 ± 5.52 ac	21.00 ± 5.40 ac	4.75 ± 0.54 ac	5.75 ± 0.48 ad
8	HV13	90.32 ± 8.36 ab	17.50 ± 1.44 eh	29.50 ± 0.87 ab	4.94 ± 0.27 ac	5.50 ± 0.29 ad
9	HV15	55.0 ± 21.2 ab	14.25 ± 2.95 fh	18.50 ± 3.28 ac	3.58 ± 0.80 bc	5.00 ± 0.41 be
10	HV19	59.7 ± 10.4 ab	19.00 ± 5.02 dh	20.00 ± 3.87 ac	4.10 ± 0.07 ac	4.50 ± 0.65 de
11	HV21	90.97 ± 7.05 ab	44.25 ± 6.24 ab	27.00 ± 2.12 ab	4.95 ± 0.25 ac	7.00 ± 0.00 a
12	HV22	71.5 ± 12.7 ab	41.25 ± 3.12 ac	16.00 ± 4.14 bc	4.12 ± 0.30 ac	5.75 ± 0.48 ad
13	HV24	105.7 ± 22.4 ab	26.75 ± 1.18 ah	31.00 ± 2.12 ab	5.12 ± 0.32 ac	6.00 ± 0.41 ad
14	HV26	102.3 ± 27.8 ab	46.75 ± 9.00 a	25.50 ± 1.55 ab	4.51 ± 0.23 ac	6.00 ± 0.00 ad
15	HK5	68.86 ± 6.19 ab	23.00 ± 4.26 ah	33.00 ± 1.22 a	5.77 ± 0.20 a	6.50 ± 0.29 ac
16	HK10	103.8 ± 20.4 ab	41.00 ± 7.70 ac	25.00 ± 2.20 ab	4.59 ± 0.34 ac	6.50 ± 0.29 ac
17	HK12	113.9 ± 43.2 ab	27.75 ± 2.63 ag	33.50 ± 1.94 a	5.75 ± 0.22 a	5.75 ± 0.25 ad
18	HK23	59.68 ± 6.41 ab	25.75 ± 2.39 ah	21.50 ± 2.96 ab	4.84 ± 0.43 ac	5.50 ± 0.29 ad
19	HK26	75.2 ± 18.9 ab	21.75 ± 4.09 bh	23.25 ± 2.25 ab	4.24 ± 0.32 ac	6.25 ± 0.25 ad
20	HK29	96.9 ± 21.8 ab	27.75 ± 3.57 ag	24.25 ± 1.65 ab	5.08 ± 0.57 ac	6.25 ± 0.25 ad
21	HK34	105.7 ± 12.2 ab	42.50 ± 2.06 ad	27.25 ± 2.14 ab	5.46 ± 0.14 ab	6.75 ± 0.25 ab
22	HT4	49.5 ± 10.7 ab	19.75 ± 3.68 ch	21.50 ± 4.77 ab	4.38 ± 0.36 ac	4.75 ± 0.63 ce
23	HT7	120.7 ± 18.9 a	38.50 ± 4.52 af	31.25 ± 1.11 a	4.97 ± 0.19 ac	7.00 ± 0.00 a
24	HT8	48.5 ± 15.0 ab	13.00 ± 3.46 gh	20.75 ± 3.64 ac	4.43 ± 0.56 ac	4.75 ± 0.25 ce
25	HT14	51.18 ± 5.75 ab	22.50 ± 4.27 ah	24.75 ± 1.25 ab	5.18 ± 0.48 ab	5.25 ± 0.25 ae
26	GÜBRE	55.75 ± 3.21 ab	31.25 ± 2.17 ag	27.00 ± 1.35 ab	4.45 ± 0.16 ac	4.75 ± 0.25 ce
27	KONTROL	54.62 ± 4.19 ab	25.50 ± 5.39 ah	28.52 ± 0.65 ab	4.49 ± 0.28 ac	4.75 ± 0.25 ce



Şekil 1. Uygulamaların domates bitkisi ana kök uzunluğuna etkisi

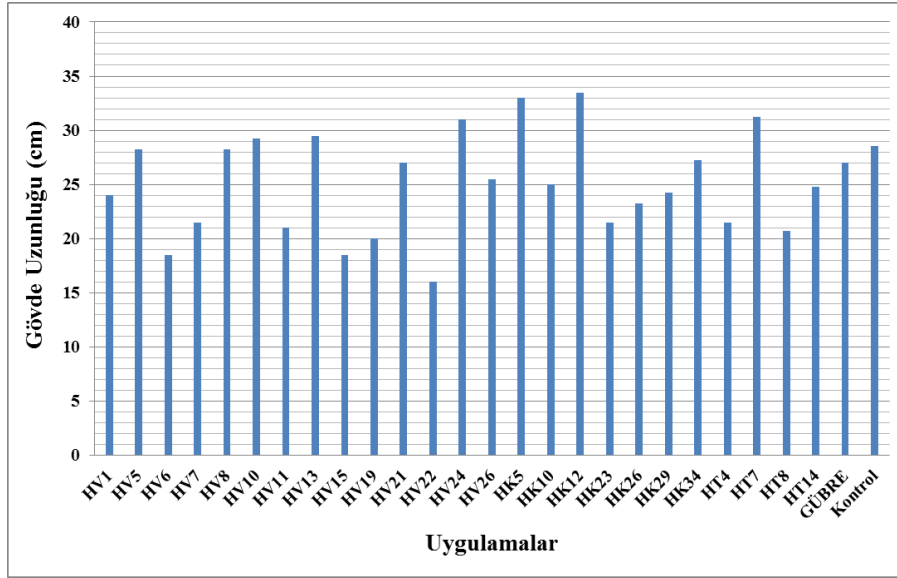
Çizelge 2 ve Şekil 1 incelendiğinde HV1, HV6, HV7, HV11, HV13, HV21, HV22, HV24, HV26, HK5, HK10, HK12, HK26, HK29, HK34 nolu strainler istatistiksel olarak gübre ve kontrol uygulamaları ile aynı grupta yer almalarına karşın gübre ve kontrol uygulamalarına göre daha yüksek ana kök uzunluğu oluşumu sağladıkları tespit edilmiştir. HT7 nolu strainin gübre ve kontrol uygulamalarına kıyasla domates fide ana kök uzunluğunu istatistiksel olarak önemli düzeyde arttırdığı tespit edilmiştir. Ana kök uzunluğunda artış olmasını sağlayan bakterilerin tamamının azot fiksetme kabiliyetleri bulunmaktadır. Gübre ve kontrol uygulamalarında ana kök uzunluğu sırasıyla 55.75 ve 54.62 mm olarak belirlenmiştir. En yüksek ana kök uzunluğu 120.7 mm ile *Brevibacillus hoshinensis* (HT7) ile muamele edilen bitkilerde saptanmıştır. *Brevibacillus hoshinensis* bakterisinin fosfat çözme yeteneği bulunmazken azot fiksetme kabiliyeti kuvvetli pozitif olarak belirlenmiştir. Kök gelişiminde fosfor önemli olmasına rağmen tek unsur olarak rol oynamamaktadır. Nitekim Garcia ve ark. (2004) PGPR'lar tarafından üretilen fitohormonların, köklerde büyümeyi teşvik ettiğini bildirmişlerdir. Ashrafuzzaman ve ark. (2009) ise çeltik bitkisinde PGPR strainlerinin fide kök boyunu önemli ölçüde arttırdığını bildirmişlerdir. Walia ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada çeşitli *Bacillus* türlerinin (*B. subtilis*, *B. vallismortis*, *B. amyloliquefaciens*) domates fidesi üzerine etkisi incelenmiş *B. subtilis* CKT1 straininin kök uzunluğunu % 21.12 arttırdığı tespit edilmiştir. Ahirwar ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada *P. fluorescens* SS5 strainin domateste kök uzunluğunu arttıran en iyi bakteri olduğu bulunmuştur. *P. fluorescens*'in fosfatı çözdüğü, IAA, HCN ve siderofor ürettiği belirlenmiştir. Ayrıca *P. fluorescens* SS5 straininin rizosferdeki doğal bakteri popoulasyonunu olumsuz yönde etkilemediği tespit edilmiştir. Vaikuntapu ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada domatesten izole edilen *Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Bacillus* ve *Enterobacter* cinslerine ait bakterilerin IAA, siderofor ürettiği ve ACC deaminaz aktivitesine sahip olduğu ve domates tohumlarının bakterizasyonu ile bitki gelişimini arttırdığı belirlenmiştir.



Şekil 2. Uygulamaların domates bitkisi yan kök uzunluğuna etkisi

Çizelge 2 ve Şekil 2 incelendiğinde hiç uygulama yapılmayan kontrol bitkilerine kıyasla HV1, HV5, HV7 nolu strainlerin, gübre ve hiç uygulama yapılmayan kontrol bitkilerine kıyasla HV11, HV21, HV22, HV26, HK10, HK34 ve HT7 nolu strainlerin yan kök uzunluğunu önemli düzeyde arttırdığı belirlenmiştir. HV26 nolu strainin 46.75 mm ile gübre ve kontrol uygulamalarına kıyasla en yüksek yan kök uzunluğunu sağladığı tespit edilmiştir. HV26 nolu straini takiben en yüksek yan kök uzunluğu 44.25 mm ile HV21 ve 44.00 mm ile HV11 nolu strainin uygulanması sonucunda tespit edilmiştir. Tanı

sonuçlarına göre HV26 ve HV21 *Bacillus-thuringiensis kurstakii* HV11 nolu strainin ise *Bacillus atrophaeus* olduğu tespit edilmiştir. Fide şaşırtıldıktan sonra kazık kök gelişimi durmakta ve yan kökler gelişmeye başlamaktadır. Domates bitkisinde yan kök gelişimi bitki besin alımı açısından avantaj sağlamaktadır. Fideler şaşırtıldıktan sonra kazık kök gelişimi durmakta ve yan kökler gelişmeye başlamaktadır. Yan kök gelişimi ise bitki besin alımının artmasını sağlamaktadır. Bu yönüyle bakteri uygulamaları bitki için elverişli besin miktarı alımını yükseltecek ve bitki gelişimini arttıracaktır.

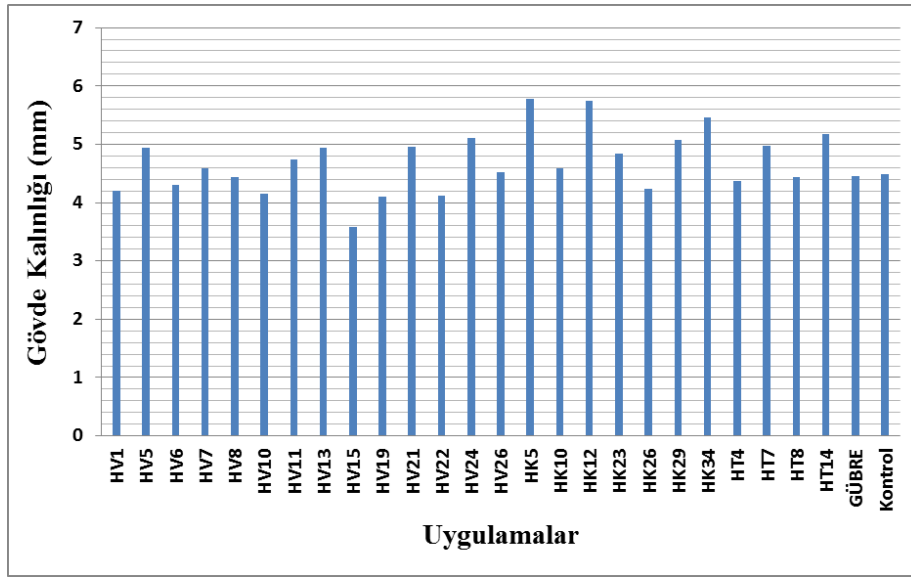


Şekil 3. Uygulamaların domates gövde uzunluğuna etkisi

Çizelge 2 ve Şekil 3 incelendiğinde gübre uygulamalarına kıyasla HV5, HV8, HV10, HV13, HV24, HK5, HK12 ve HT7 nolu strainlerin, hiç uygulama yapılmayan kontrol grupları ve gübre uygulamalarına kıyasla HV10, HV13, HV24, HK5, HK12 ve HT7 nolu strainlerin gövde uzunluğunu önemli düzeyde arttırdığı tespit edilmiştir. HK5 ve HK12 nolu strainler *Bacillus megaterium* olarak tanımlanmıştır ve % 22'lik bir artışla gövde uzunluğuna en iyi etkiyi gösteren bakteri strainleri olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda her iki straininde azot fiksetme ve fosfat çözme yeteneklerinin K(+) olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada da 45 günlük domates bitkilerinde en yüksek bitki boyu HK5 ve HK12 uygulamaları sonrasında sırasıyla 33.00 ve 33.50 cm olarak tespit edilmiştir. Ortíz-Castro ve ark. (2008) *Bacillus megaterium* olarak tanıladıkları bir strainin *A. thaliana* ve *P. vulgaris* fidelerinin büyümesini desteklediğini bildirmişlerdir. Gholami ve ark. 2009 yılında yapmış oldukları çalışmada PGPR strainlerinin mısır bitki boyunu arttırdığını bildirmişlerdir. Abdel-Monaim ve ark. 2012 tarafından yapılan çalışmada domates bitkisine *Bacillus cereus* (BCM8), *B. megaterium* (BMM5) uygulamaları sonucu kontrol bitkilere kıyasla bitki boyunda artış olduğunu bildirmişlerdir. Almaghrabi ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada *P. putida*, *P. fluorescens*, *Serratia marcescens*, *B. amyloliquefaciens*, *B. subtilis* ve *B. cereus* olmak üzere 6 PGPR strainin domates gelişimine etkisi araştırılmıştır. Bitki boyu *S. marcescens* inokulasyonu sonrası 52.66 cm, *P. fluorescens* uygulaması sonrasında 50.66 cm olarak belirlenmiştir. *P. putida* ve *P. amyloliquefaciens* uygulamaları sonucunda ise bitki boyu 48 cm olarak tespit edilmiştir.

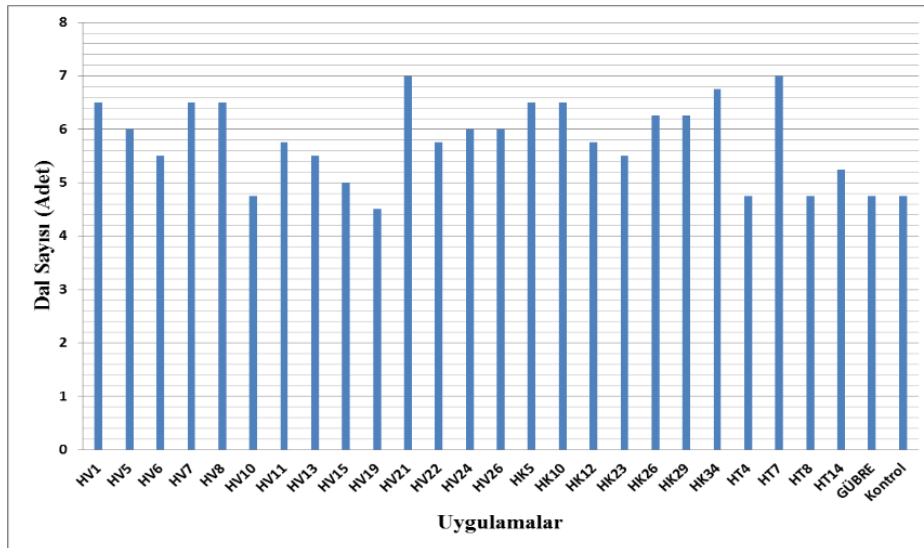
Yapılan bütün uygulamaların kontrol grubundaki bitkilere kıyasla olumlu yönde belirgin farklılıklar oluşturduğu görülmüştür. Maina ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada *B. subtilis*, *P. fluorescens*, *B. megaterium* ve *Azotobacter chroococcum* strainlerinin kombinasyonlarının kontrole göre bitki boyunu, yaprak-dal-meyve sayısını arttırdığı belirlenmiştir. Kumar ve ark. 2014 tarafından yapılan çalışmada tek başına *B. megaterium* uygulamasının kontrol bitkilere kıyasla buğday bitki boyunu % 12.3

oranında arttırdığını bildirmişlerdir. Walia ve ark. (2014) tarafından *B. subtilis* CKT1 strainin bitki boyunu % 5.222 oranında arttırdığı tespit edilmiştir.



Şekil 4. Uygulamaların domates bitkisi gövde kalınlığına etkisi

Çizelge 2 ve Şekil 4 incelendiğinde HK5, HK12, HK34 ve HT7 nolu strainlerin domates bitkisi gövde kalınlığını istatistiksel olarak önemli düzeyde arttırmıştır. HV5, HV13, HV21, HV24, HK23, HK29, ve HT14 nolu strainlerin gübre ve hiç uygulama yapılmayan kontrol bitkileri ile aynı istatistiksel grupta bulunduğu ancak sayısal olarak gövde kalınlığını arttırdığı saptanmıştır. Moustaine ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmaya göre *Bacillus* cinsine ait bakterilerin, domates bitkisi gövde kalınlığı üzerinde gelişimi uyarıcı etkisini ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada da HK5, HK12, HK34 ve HK7 nolu strainler sırasıyla *Bacillus megaterium*, *Bacillus* spp., *Brevibacillus hoshinensis* olarak tanımlanmıştır.



Şekil 5. Uygulamaların domates bitkisi dal sayısına etkisi

Çizelge 2 ve Şekil 5 incelendiğinde HV1, HV5, HV6, HV7, HV8, HV11, HV13, HV21, HV22, HV24, HV26, HK5, HK10, HK12, HK23, HK26, HK29, HK34, HT8 ve HT14 nolu strainlerin domates bitkisinin dal sayısını önemli düzeyde arttırdığı bulunmuştur. Kloepper ve ark. (1993) PGPR'nin fitohormonu sentezleyerek, çeşitli aşamalarda bitki büyümesini teşvik ettiğini bildirmişlerdir. Mena-

Violante ve ark. (2007)'na göre bitki büyümesini destekleyen PGPR *Bacillus subtilis* BEB-1Sbs (BS13) uygulamalarının domatesta verimi hiç uygulama yapılmayan kontrol gruplarına göre arttırdığı bildirilmiştir. Vaikuntapu ve ark. (2014) domates bitkisinin farklı kısımlarından ve toprak alanlarından izole edilen 74 farklı bakteri straini içinden *Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Bacillus* ve *Enterobacter* olarak tanımlanan bakterilerin domates büyüme ve gelişimini olumlu yönde etkilediğini bildirmişlerdir. Yapılan bu çalışmada da buna paralel olarak domates fide ana kök uzunluğu, yan kök uzunluğu, gövde kalınlığı ve dal sayısı verim unsurlarını olumlu etkileyen PGPR bakterilerin çoğunluğu *Bacillus* türleri olarak tanımlanmış olup, etki ele alınan parametrelere göre değişmekle birlikte en yüksek değerler *Bacillus* cinsine ait türlerde tespit edilmiştir. *Bacillus*, *Pseudomonas* ve *Enterobacter* rizobakteri strainlerinin majör kök kolonizeleri olduğu ve bitki gelişimini arttırdıkları çeşitli çalışmalarla ortaya konulmuştur. Bu bakteri strainlerinin antibiyotik, siderofor ve indol asetik asit üretimi, yer ve besin için rekabet, proteaz gibi patojene ait enzimlerin inaktivasyonu, kök gelişimini artırması ve dayanıklılık teşviki gibi mekanizmalarla bitki gelişiminde rol aldıkları belirlenmiştir. PGPR kullanımı bakterilerin sahip olduğu çeşitli mekanizmalar yoluyla bitki büyümesini ve gelişimini teşvik etmektedir. PGPR'ların fitohormonların üretimi, zararlı organizmaların baskılanması, fosfat çözünürlüğünün aktivasyonu ve mineral besin alımının teşvik edilmesi gibi birkaç mekanizma ile teşvik ettiği düşünülmektedir (Almaghrabi ve ark., 2013).

SONUÇ

Iğdır ili volkanik, tuzlu ve kumlu topraklardan izole edilen ve saflaştırılan 25 bakteri straini *Micrococcus luteus*, *Staphylococcus gallinarum*, *Kocuria osea*, *Bacillus atrophaeus*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus subtilis*, *Sphingomonas paucimobilis*, *Micrococcus lylae*, *Pseudomonas putida*, *Bacillus-thuringiensis kurstakii*, *Bacillus gordonae*, *Bacillus gordonae*, *Brevibacillus hoshinensis*, *Chryseomonas uteola*, *Microbacterium lacticum* olarak tanımlanmıştır.

Tanımlanan bakterilerin domates tohumlarına inokulasyonu sonrası gelişen bitkilerde ana kök uzunluğu, yan kök uzunluğu, gövde uzunluğu, gövde kalınlığı ve dal sayısı gibi verim unsurlarını önemli düzeyde arttığı tespit edilmiştir.

Bu sonuçlar; test edilen bakterilerin domates bitkisi verim unsurları üzerinde olumlu etkileri olduğunu, domates verim unsurlarını arttırabileceğini, organik tarımda sentetik gübrelere alternatif olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Böylece başarılı bulunan mikroorganizmaların kullanımı ile besin elementlerinin doğal döngü içerisinde tekrar toprağa ve daha sonrasında ise bitkilere kazandırılması sağlanacak ve tarımsal kimyasallara daha az bağımlı kalınacaktır.

KAYNAKLAR

- Abdel-Monaim MF, Abdel-Gaid MA, El-Morsy MEMA, 2012. Efficacy of rhizobacteria and humic acid for controlling Fusarium wilt disease and improvement of plant growth, quantitative and qualitative parameters in tomato. *International Journal of Phytopathology*, 1(1), 39-48.
- Ahirwar NK, Gupta G, Singh V, Rawley RK, Ramana S, 2015. Influence on growth and fruit yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants by inoculation with *Pseudomonas fluorescense* (SS5): Possible role of plant growth promotion. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci*, 4(2), 720-730.
- Anonim, 2018. TÜİK-Türkiye İstatistik Kurumu. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr> (Erişim Tarihi: 15.08.2019).
- Almaghrabi OA, Massoud SI, Abdelmoneim TS, 2013. Influence of inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on tomato plant growth and nematode reproduction under greenhouse conditions. *Saudi journal of biological sciences*, 20(1), 57-61.

- Ashrafuzzaman M, Hossen FA, Ismail MR, Hoque A, Islam MZ, Shahidullah SM, Meon S, 2009. Efficiency of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) for the enhancement of rice growth. *African Journal of Biotechnology*, 8(7).
- Burdman S, Jurkevitch E, Okon Y, 2000. Recent advances in the use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in agriculture. *Microbial interactions in agriculture and forestry (Volume II)*, 229-250.
- De Freitas JR, Banerjee MR, Germida JJ, 1997. Phosphate-solubilizing rhizobacteria enhance the growth and yield but not phosphorus uptake of canola (*Brassica napus* L). *Biol Fertil Soils*, 24, 358-364.
- Düzgüneş O, Kesici T, Kavuncu O, Gürbüz, F, 1987. Araştırma ve deneme metodları (İstatistik Metodları-II), Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 1021, 295.
- Garcia JAL, Probanza A, Ramos B, Palomino M, Mañero FJG, 2004. Effect of inoculation of *Bacillus licheniformis* on tomato and pepper. *Agronomie*, 24, 169–176.
- Glick BR, Cheng Z, Czarny J, Duan J, 2007. Promotion of plant growth by ACC deaminase-producing soil bacteria. In *New perspectives and approaches in plant growth-promoting Rhizobacteria research*. Springer, 329-339.
- Gholami A, Shahsavani S, Nezarat S, 2009. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maize. *Int J Biol Life Sci*, 1(1), 35-40.
- Keskin G, Gül U, 2004. Domates. *Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü Bakış Dergisi*, Say: 5.
- Kloepper, J.W. (1993). Plant growth-promoting rhizobacteria as biological control agents, *Applications in Agricultural and Environmental Management*. F. B. Metting, Jr., ed. Marcel Dekker Inc., New York, USA. *Soil Microbial Ecology*, 255-274.
- Kundan R, Pant G, Jadon N, Agrawal PK, 2015. Plant growth promoting rhizobacteria: mechanism and current prospective. *J Fertil Pestic*, 6(2), 9.
- Kumar A, Maurya BR, Raghuwanshi R, 2014. Isolation and characterization of PGPR and their effect on growth, yield and nutrient content in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 3(4), 121-128.
- Maina CC, Shivaprakash MK, Devi TS, 2013. Establishment of Tomato Seedlings Raised in the Substrate Enriched Consortia of Biocontrol Agents and PGPRs. *Editorial Committee*, 47(1), 6-10.
- Mena-Violante HG, Olalde-Portugal V, 2007. Alteration of tomato fruit quality by root inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): *Bacillus subtilis* BEB-13bs. *Scientia Horticulturae*, 113(1), 103-106.
- McMillan S, 2007. Promoting growth with PGPR. *The Canadian Organic Grower*. Soil Foodweb Canada Ltd. Soil Biology Lab. & Learning Centre, 3-34.
- Midmore DJ, 1993. Agronomic modification of resource use and intercrop productivity. *Field Crops Research*, 34(3-4), 357-380.
- Moustaine M, Elkahkahi R, Benbouazza A, Benkirane R, Achbani EH, 2017. Effect of plant growth promoting rhizobacterial (PGPR) inoculation on growth in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and characterization for direct PGP abilities in Morocco. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 2(2).
- Ortiz-Castro R, Valencia-Cantero E, López-Bucio J, 2008. Plant growth promotion by *Bacillus megaterium* involves cytokinin signaling. *Plant signaling & behavior*, 3(4), 263-265.
- Paisley R, 1995. MIS whole cell fatty acid analysis by gas chromatography. MIDI, Inc., Newark, DE, 5.
- Podile AR, Kishore GK, 2006. Plant-associated bacteria. In: Gnanamanickam SS (ed) *Plant growth promoting rhizobacteria*. Springer, Amsterdam, pp 195-230.

- Sharma MVRK, Saharan K, Prakash A, 2009. Application of fluorescent pseudomonads inoculant formulation on *Vigna mungo* through field trials. *Int J Bio Life Sci*, 1, 1-4.
- Vaikuntapu PR, Dutta S, Samudrala RB, Rao VR, Kalam S, Podile AR, 2014. Preferential promotion of *Lycopersicon esculentum* (Tomato) growth by plant growth promoting bacteria associated with tomato. *Indian Journal of Microbiology*, 54(4), 403-412.
- Vessey JK, 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil*, 255, 571-586.
- Verhagen BW, Glazebrook J, Zhu T, Chang HS, Van Loon LC, Pieterse CM, 2004. The transcriptome of rhizobacteria-induced systemic resistance in *Arabidopsis*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 17(8), 895-908.
- Walia A., Mehta P, Chauhan A, Shirkot CK, 2014. Effect of *Bacillus subtilis* strain CKT1 as inoculum on growth of tomato seedlings under net house conditions. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 84(1), 145-155.
- Widnyana IK, 2018. PGPR (Plant Growth Promoting Rizobacteria) Benefits in Spurring Germination, Growth and Increase the Yield of Tomato Plants. In *Recent Advances in Tomato Breeding and Production*, IntechOpen, 17-25.
- Zeller SL, Brandl H, Schmid B, 2007. Host-plant selectivity of rhizobacteria in a crop/weed model system. *PLoS One*, 2(9), 846.

Fasulye Tohum Böceği *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleoptera: Chrysomelidae)'un Önemi, Biyolojisi, Zararı ve Mücadelesi

Kübra ŞEN¹, Abdurrahman Sami KOCA^{1*}, Gülay KAÇAR¹

ÖZET: Fasulye tohum böceği, *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae), başta fasulye olmak üzere nohut, mürdümük ve börülcede zarara neden olan bir türdür. *Acanthoscelides obtectus* birden çok döl verebilme özelliğinden dolayı hem arazide hem de depoda ciddi problemlere neden olmaktadır. Zararının beslenmesi sonucu baklagillerin besin değeri düşmekte, tohumda çimlenme, kalite ve ağırlık kayıplarına neden olmasının yanı sıra taneyi beslenme artıkları ve dışkılarıyla kirletmektedir. *Acanthoscelides obtectus* iç ve dış piyasada önemli yeri olan baklagillerin pazar değerini de büyük oranda düşürmektedir. Bu nedenle, *A. obtectus* ile mücadele depo ve tarlada titizlikle yürütülmelidir. Zararlıyla mücadelede öncelikle kültürel önlemlere dikkat edilmelidir ve bu amaç için sertifikalı tohum kullanılmalı, zarar görülen tarlalarda geç ekim yapılmalıdır. Hasat geciktirilmemeli, hasat sonrası kalan bitki artıklar derine gömülmeli veya yakılmalıdır. Kimyasal mücadelesinde bitkisel ekstraktlar (ökaliptus yağı ekstraktı ve tesbih ağacı bitkisinin metanol ekstraktı vb.) kullanılmasına öncelik verilmelidir. Baklagil ekimi yapılan tarlalarda zararlıyla mücadele faydalı böceklerin varlığı göz önünde bulundurularak ilaçlama yapılmalıdır.

Anahtar Kelimeler: *Acanthoscelides obtectus*, Baklagil, Depo, Mücadelesi, Zararı

Importance, Biology, Damage and Management of Bean Weevil *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleoptera: Chrysomelidae)

ABSTRACT: The bean weevil, *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae) is pest species which damages especially beans, and chickpea, coriander and cowpea. *Acanthoscelides obtectus* causes serious problems both in the field and the storage due to its multiple generations. Its causes the decreasing of legumes nutrient value, germination and quality problems and weight loss, addition to making dirty because of its rotting food and feces. It reduces the market value of legumes in the internal and external trades. For these reasons, the management of *A. obtectus* must be carefully carried out in the storage and the field. The control of *A. obtectus* was primarily regarded to apply the cultural measurement. For this aim, the certified seed and late planting should be applied in the damaged areas because of the pest. The harvesting should not be delayed, and then the lost harvest should be deeply buried or burned. Plant extracts (the extract of eucalyptus oil extract and rosemary tree etc.) should be primarily used as the chemical control. The applications were done for the control of pest as considering the presence of beneficial insects in the leguminous fields.

Keywords: *Acanthoscelides obtectus*, Beans, Storage, Damage, Management

¹Kübra ŞEN (Orcid ID: 0000-0002-2834-2120), Abdurrahman Sami KOCA (Orcid ID: 0000-0002-7657-5615), Gülay KAÇAR (Orcid ID: 0000-0001-9800-8286), Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Bolu, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Abdurrahman Sami KOCA, a.samikoca@yahoo.com.tr

Geliş tarihi / Received: 18-03-2020

Kabul tarihi / Accepted: 12-05-2020

GİRİŞ

Fasulye tohum böceği *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleoptera: Chrysomelidae), tropik ve subtropik bölgelerde fasulye (*Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae))'nin önemli bir zararlısıdır (Njoroge ve ark., 2017). Anavatanı Güney Amerika olan Fasulye tohum böceği, geniş bir konukçu dizisine sahiptir ve önemli ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Fasulye tohum böceği hem tarlada ve hem de depoda yaşamını devam ettirebilmesi ve aynı zamanda yayılma alanının çok geniş olması nedeniyle yüksek zarar yapma potansiyeline sahip olduğu kaydedilmiştir (Özdem, 1997). İklim koşullarına göre değişmekle birlikte, zararlının genellikle Mayıs ayının ilk haftasında tarlada görülmeye ve yaklaşık bir ay sonra da kapsüllerin kurumaya başladığı dönemde zarar yapmaya başladığı bildirilmiştir (Aslan ve ark., 2014).

Depo ve tarla zararlısı olan *A. obtectus*, üründe önemli kayıplara neden olmaktadır. *A. obtectus*'un larvaları tarlada bitkinin kotiledon yapraklarında ve taneye girerek beslenmekte ve hasattan sonra ise ürünle depoya taşınarak, ergin olana kadar tanelerin embriyosunda beslenmeye devam etmektedir. Taneden çıkan erginler, depoda yeni döller vererek zararını devam ettirirler. Ergin ve larvaları baklagillerde bir tanede çok sayıda delik oluşturması ve yıl içerisinde 4-5 döl vermesi nedeniyle ekonomik kayıplara yol açtığı bildirilmiştir (Atak, 1975). *A. obtectus*, tanenin içerisinde beslenirken düzensiz ve yuvarlak şekillerde delikler oluşturarak tanenin kalitesini düşürmekle birlikte, dışkısı ve vücut artıklarıyla da ürünleri kirletmekte ve tohumun çimlenme gücünü kaybetmesine neden olmaktadır. Bu nedenle ürünün besin değerini yitirmesine sebep olmakta ve hatta zarar görmüş taneler hayvan yemi ve gübre olarak bile kullanılamamaktadır. Zararlının tanelerde kalite ve ağırlık kayıpları sonucu pazar değerinin düşmesine neden olduğu da bildirilmiştir (Aslan ve ark., 2014).

Tarlada baklagillerin yetiştirme döneminde *A. obtectus* ve *Bruchus* spp. (Coleoptera: Chrysomelidae) ile etkili bir mücadele programı uygulanmadığı takdirde nitelik ve nicelik bakımından ürün kayıplarına neden olmaktadır. Bu türlerin mücadelesini başarılı bir şekilde yürütebilmek için zararlıların tanımının ve yaşayışlarının çok iyi bilinmesi gerekmektedir (Erdoğan, 2006).

Acanthoscelides obtectus'un Konukçuları

Fasulye tohum böceği'nin konukçuları baklagiller olup, esas zararını özellikle fasulye olmak üzere börülce, nohut ve mürdümükte yapmaktadır (Güvenç ve Güngör, 1996). Fasulye, taze ve kurutulmuş olarak da tüketilebilen bir bitkidir. Anavatanı Güney Amerika olan fasulye, 16. yüzyılda Avrupa'ya yayılmış, tarımı giderek artmış ve dünyanın her yerinde yetiştirilmeye başlanmıştır. Fasulyenin ülkemize ne şekilde getirildiği konusunda kayıt bulunmamaktadır (Anonim, 2008). Fasulyenin sahip olduğu bileşikler kandaki kolesterol seviyesini düzenlemekte, kalp hastalıkları, felç ve bazı kanser türlerinin özellikle kolon kanserinin oluşumunu azaltmakta, kilo kontrolüne yardımcı olmasıyla yaşam kalitesinin iyileştirilmesinde oldukça etkili olduğu bildirilmektedir (Eşiyok, 2016).

Dünyada son beş yıl içerisinde, toplam fasulye ekilen alanlar yıldan yıla artış göstermiştir. En fazla fasulye ekilen alan 2017 yılında 36 458 894 dekar olup, toplam üretim miktarı da yıldan yıla toplam ekilen alan gibi artış göstermiştir. En çok fasulye üretim miktarı ise 2017 yılında 31 405 912 ton olarak gerçekleşmiştir. Fasulye verim bakımından ise bazı yıllar çok az bir artış veya yükselme görülse de belirgin bir değişiklik olmadığı, en yüksek verimin ise 2015 yılında 8963 kg dekar⁻¹ olarak kaydedilmiştir (Anonim, 2018a, Çizelge 1).

TÜİK verilerine bakıldığında; 2014-2018 verileri dikkate alındığında, fasulye ekilen alanlar, bazı yıllar çok az bir artış gösterse bile genel olarak azalma göstermektedir. Fasulye üretim miktarlarına bakıldığında, ekilen alanın azalmasına karşın genel olarak üretim miktarlarında kayda değer bir azalma görülmemektedir. Fasulye verim bakımından yıldan yıla artışını sürdürmüş olmasına karşın 2018'de azalma görülmüştür. Türkiye'de son beş yıl içerisinde en fazla fasulye ekilen alan 2015 yılında 935 840

dekar'dır. En çok üretim miktarı 2017 yılında 239 000 ton, en yüksek verim ise 2017 yılında olup 266 kg dekar⁻¹ olarak kaydedilmiştir (Anonim, 2018b, Çizelge 2).

Çizelge 1. Dünyada son beş yıldaki fasulye üretimi (Anonim, 2018a)

Yıllar	Ekilen Alan (Dekar)	Üretim Miktarı (Ton)	Verim (Kg Dekar ⁻¹)
2013	29 337 937	24 939 529	8 501
2014	30 337 984	26 798 315	8 833
2015	30 808 219	27 613 113	8 963
2016	34 188 775	28 783 645	8 419
2017	36 458 894	31 405 912	8 614

Çizelge 2. Türkiye'de son beş yıldaki fasulye üretimi (Anonim, 2018b)

Yıllar	Ekilen Alan (Dekar)	Üretim Miktarı (Ton)	Verim (Kg Dekar ⁻¹)
2014	911 103	215 000	236
2015	935 840	235 000	251
2016	898 197	235 000	262
2017	897 221	239 000	266
2018	848 045	220 000	259

Anavatanı bilinmeyen börülcenin (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) Afrika orijinli olduğu düşünülmektedir. Börülce ülkemizde yetiştirilmeye başlandıktan sonra ülke geneline yayılmıştır. Taze börülcede %80-85 su, %15-20 kuru madde bulunmaktadır. Kuru maddenin %20-30'nun proteinden oluştuğu bildirilmiştir (Anonim, 2013). Börülce hem taze hem de kuru olarak sofralarımızda yer bulmuştur. Taze tanelerde yüksek diyet lifi, potasyum ve çinko içerdiğinden, börülce yemekleri iyi besin kaynaklarıdır ve sağlıklı bir diyet için katkı sağlamaktadır. Kuru börülce ise yüksek diyet lifi içeriğiyle bağırsak fonksiyonunu düzenlemekte ve sindirim problemlerine karşı bir çözüm oluşturmaktadır (Kır ve ark., 2017).

Çizelge 3'e bakıldığında; Türkiye'de 2014-2018 yılları arasında börülce bitkisinin genel olarak ekilen alanı ve üretim miktarı 2014 yılından itibaren 2016 yılına kadar azalmış, 2016'daki artışı yine 2018'e kadar bir azalma izlemiştir. Börülce veriminde ise yıldan yıla ekilen alan ve üretim miktarının aksine bazı yıllar azalsa da artış görülmektedir. Türkiye'de son beş yıl içerisinde en fazla ekilen börülce alanı 2014 yılında 19 408 dekar'dır. En çok üretim miktarı 2014 yılında 2 006 ton, en yüksek verim ise 2017 yılında olup 107 kg dekar⁻¹ olarak kaydedilmiştir (Anonim, 2019a, Çizelge 3).

Çizelge 3. Türkiye'de son beş yıldaki börülce üretimi (Anonim, 2019a)

Yıllar	Ekilen Alan (Dekar)	Üretim Miktarı (Ton)	Verim (Kg Dekar ⁻¹)
2014	19 408	2 006	103
2015	16 000	1 609	101
2016	18 079	1 860	103
2017	14 129	1 511	107
2018	13 553	1 443	106

Nohutun (*Cicer arietinum* L.) anavatanı olarak Türkiye'nin Güneydoğu Bölgesi olduğu bilinmektedir. Kaynaklara bakıldığında söz konusu bölgede yaklaşık 7 000-7 500 yıl öncesinde nohut yetiştirilmekte olduğu görülmektedir. Günümüzde, ülkemiz de dahil olmak üzere Dünya'nın birçok ülkesinde nohut tarımı yapılmaktadır ve insan beslenmesinde önemli bir besin kaynağı olarak karşımıza

çıkılmaktadır. Nohutun tohum içeriklerine bakıldığında %20-25 protein, %40-60 karbonhidrat, %4.5-5.5 yağ, fosfor ve kalsiyum ihtiva etmektedir. Dünyada üretimi gerçekleştirilen nohutun neredeyse tamamı farklı şekillerde gıda olarak tüketilmektedir. Nohutun, köklerindeki nodüllerin havanın serbest azotunu bağlayabilmesi nedeniyle de iyi bir münavebe bitkisi olduğu bilinmektedir (Babaoğlu, 2003). Ayrıca nohut proteini, çocukların gelişmesinde önemli olan başta histidine aminoasidi olmak üzere leucine, isoleucine, lycine, cystine ve phenilalanine aminoasit miktarları anne sütünden fazla, methionin, tryptophane ve valin aminoasit seviyeleri anne sütüne yakın bir değer olduğu kaydedilmiştir (Kırnak ve ark., 2017).

Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) istatistiklerine bakıldığında genel olarak Dünya'da, Türkiye'de olduğu gibi 2014 yılına kadar nohut ekilen alanlarda ve üretim miktarında artış gözlemlenmiş fakat sonrasında 2015 yılında ekilen alan ve üretim miktarı azalmış, 2015 yılından sonra yine artarak devam etmiştir. Nohut veriminde ise yıldan yıla az miktarda artış ve azalmalar meydana gelmiş fakat bariz bir değişiklik olmamıştır. Dünyada son beş yıl içinde en fazla nohut ekilen alanı 2017 yılında 14 564 399 dekar ve en çok üretim miktarı 2017 yılında 14 776 827 ton, en çok verim miktarı ise 2013 yılında olup 10 549 kg dekar⁻¹ olarak kaydedilmiştir (Anonim, 2019b, Çizelge 4).

Çizelge 4. Dünyada son beş yıldaki nohut üretimi (Anonim, 2019b)

Yıllar	Ekilen Alan (Dekar)	Üretim Miktarı (Ton)	Verim (Kg Dekar ⁻¹)
2013	12 574 263	13 265 033	10 549
2014	13 839 703	13 356 715	9 651
2015	11 932 067	11 002 836	9 221
2016	12 648 651	11 267 985	8 908
2017	14 564 399	14 776 827	10 146

Türkiye nohut üretimi 2014-2018 yılları verilerine bakıldığında; nohut ekilen alanda ve nohut üretim miktarında, 2018 yılında kayda değer bir artış görülmüştür. Nohut verimi bakımından, yıldan yıla çok fazla değişiklik görülmemiştir. Türkiye'de son beş yıl içerisinde en fazla nohut ekim alanı 2018 yılında 5 144 159 dekar ve en çok üretim miktarı 2018 yılında 630 000 ton, en çok verim miktarı ise 2015 yılında olup 128 kg dekar⁻¹ olarak kaydedilmiştir (Anonim, 2019c, Çizelge 5).

Çizelge 5. Türkiye'de son beş yıldaki nohut üretimi (Anonim, 2019c)

Yıllar	Ekilen Alan (Dekar)	Üretim Miktarı (Ton)	Verim (Kg Dekar ⁻¹)
2014	3 885 175	450 000	116
2015	3 593 042	460 000	128
2016	3 595 289	455 000	127
2017	3 953 099	470 000	119
2018	5 144 159	630 000	122

Mürdümük çeşitlerinin ülkemizin her bölgesinde doğal olarak yetiştiği bilinmektedir. Mürdümük çeşitlerinin yayılışının çoğunlukla Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri'nde olduğu bildirilmektedir. Ancak son yıllarda yapılan çalışmalara bakıldığında, mürdümük türlerinin Samsun ve Orta Karadeniz kıyı ve iç kesimlerinde önemli oranda yayılış gösterdiği tespit edilmiştir (Kılınç ve Özen, 1988a; Kılınç ve Özen, 1988b; Kutbay ve ark., 1995; Acar ve ark., 2001). Ülkemizde çok dar alanlarda ve sınırlı miktarlarda tarımının yapıldığı görülen nohut mürdümüğü (*Lathyrus cicera*) ve yaygın mürdümüğünün (*L. sativus* L.) yem bitkisi olarak değerlendirilmesinin yanı sıra tohumlarının insan beslenmesinde kullanıldığı belirtilmiştir (Genç ve Şahin, 2001). Mürdümük bitkisi ve varyeteleri genel olarak, hayvan

beslemesinde kuru ot, yeşil ot ve tane yem olarak, toprak yapısının iyileştirilmesinde yeşil gübre bitkisi olarak ve insan beslenmesinde yemeklik tane baklagil veya sebze olarak kullanılmak üzere yetiştirilmektedir (Demirbağ ve ark., 2008).

Türkiye mürdümük istatistiklerine bakıldığında 2014 yılından itibaren ekilen alanda ve üretim miktarında bariz bir azalma görülmektedir. Mürdümük veriminde yıllara göre genel olarak bir değişiklik görülmemektedir. Türkiye de son beş yıl içerisinde en fazla mürdümük ekilen alan 2014 yılında 12 725 dekar'dır. En çok üretim miktarı 2014 yılında 1 291 ton, en çok verim miktarı 2017 yılında olup 100 kg dekar⁻¹ olarak kaydedilmiştir (Anonim, 2019d, Çizelge 6).

Çizelge 6. Türkiye’de son beş yıldaki mürdümük üretimi (Anonim, 2019d)

Yıllar	Ekilen Alan (Dekar)	Üretim Miktarı (Ton)	Verim (Kg Dekar ⁻¹)
2014	12 725	1 291	101
2015	11 605	1 202	104
2016	10 535	1 075	102
2017	9 555	1 005	105
2018	8 600	860	100

Acanthoscelides obtectus'un Yayılışı

Acanthoscelides obtectus tüm Avrupa, Asya, Kuzey-Güney Amerika, Afrika, Avustralya, Seylan, Antiller, Azor ve Kanarya adalarına yayıldığı kaydedilmiştir (Atak, 1975). *Acanthoscelides obtectus*'un Bulgaristan, Ermenistan, Arnavutluk, Suriye, Hindistan, Lübnan, Yugoslavya, Fransa, Amerika, Yunanistan, İsrail ve Türkiye’de de yaygın olduğu bildirilmiştir (Borowiec, 1987). Türkiye’de Adapazarı Tohum Islah İstasyonu’na ait ambarlardaki bulaşık fasulyelerde örneklerin teşhis edilmesi sonucu *A. obtectus*'un varlığı ilk defa 1940 yılında belirlenmiştir (Lodos, 1998). Bu tür Türkiye’de fasulye ekiminin yapıldığı her yerde görülmektedir (Decelle ve Lodos, 1989). Atak (1975) ve Keyder ve ark. (1973), Marmara Bölgesi’nde İstanbul, Sakarya, Bolu, Bilecik, Tekirdağ, Kırıkkale, Bursa ve Edirne illerinde yaygın olduğunu bildirmişlerdir. Kalkan (1972) ise Orta Anadolu Bölgesi’nde bulunduğunu bildirmiştir. *Acanthoscelides obtectus*'un tarlada fasulyedeki kayıpları %70-90’a ulaştığı alanları yüksek zarar ve %40’a kadar olan alanları düşük zarar görülen alanlar olarak tanımlanmıştır (Berim, 2007).

Acanthoscelides obtectus'un Mücadele Yöntemleri

Acanthoscelides obtectus ile mücadelede öncelikle hastalık ve zararlılara dayanıklı, yüksek verimli çeşitler ıslah edilmeli, sertifikalı tohum kullanımının yaygınlaşması gerektiği bildirilmiştir (Gülümser, 2016). Aksaray, Konya, Çankırı, Kırıkkale, Kırşehir, Niğde, Kayseri, Yozgat, Karaman, Ankara ve Sivas illerinde çiftçilerin fasulye tarımında karşılaştığı sorunları belirlemek ve uygun çözüm önerilerini geliştirmek amacıyla yapılan çalışmada bölgeye iyi uyum sağlamış, yüksek verimli ve bölgede görülen zararlılara karşı dayanıklı çeşitlere ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, bu ıslah çalışmalarında yerel popülasyonların önemli olduğu kaydedilmiştir (Varankaya ve Ceyhan, 2012). *Acanthoscelides obtectus*'a karşı dayanıklı çeşit kullanımı, ekim zamanını geciktirme, hasat ve harmanı geciktirmeme, bitki artıklarının derine gömülmesi gibi kültürel önlemlerin ve insektisitlerin kullanıldığı kimyasal uygulamalarla mücadele edilebileceği belirtilmiştir. Kimyasal mücadelenin tarlada başlayıp bitkiler çiçeklendikten sonra 10-12 gün arayla 2-3 defa yapılması gerektiği ve depoların temizlenmesi ve boş depoların ilaçlamasına dikkat edilmesi gerektiği bildirmişlerdir (Düzdemir ve Yanar, 2008). *Acanthoscelides obtectus*'un Türkiye’de yaygın olarak yetiştirilen 13 fasulye genotipinin tohum testa kalınlığı ve biyokimyasal özelliklerine etkisi ile biyolojik parametreleri incelenmiştir. Bu çalışmada,

Akdağ, Akman-98, Noyanbey-98 ve Kırıkkale fasulye genotiplerinin *A. obtectus*'a daha dirençli olduğu tespit edilmiş ve Türkiye'de ekimi önerilmiştir (Azizoğlu, 2018). Zararlıyla mücadelede, baklagillerin önceden temizlenmiş, ilaçlanmış, pencerelerine kafes telleri takılmış ambarlara çuvallar içinde alınmasına özen gösterilmesi gerektiği, hasat sonrası tarlada kalan artıkların derine gömülmesi veya yakılması, sertifikalı tohumluk kullanılması ve bulaşık ürün, çuval veya malzemelerin konulmaması gerektiği bildirilmiştir (Erdoğan, 2006). *A. obtectus*'un fasulye tanesinde oluşturduğu delik sayısının çimlenme hızına, çimlenme gücüne, sürme hızı ve sürme gücüne, fide boyu ve fide kuru ağırlığına etkilerini belirlemek amacıyla kontrolsüz şartlarda perlit ortamda yapılan çalışmada, tanedeki delik sayısının biyolojik değerlere ve fide özelliklerine önemli oranda etkili olduğu belirlenmiştir. Zararlıının sağlam tanelere göre 1 adet delikli tanenin çimlenme gücünde %10.9 ve sürme gücünde %17.8 ve 6 adetten fazla delikli tanenin çimlenme gücünde %87 ve sürme gücünde %91.6 oranında azalma tespit edilmiştir. Ayrıca, tanedeki delik sayısının incelenen özelliklere etkisinin çeşitlere göre farklı olduğu, özellikle delik sayısındaki artış iri taneli çeşitlerde daha az değer kaybına neden olurken küçük taneli çeşitlerde şiddetli kayıplara yol açtığı bildirilmiştir (Akdağ, 1996).

Stamopoulos (1991) selvi, acı badem ve okaliptüs bitkilerini uçucu yağ formunda *A. obtectus*'a karşı buhar halinde test edilmesi sonucu, bu formların böceği uzaklaştırıcı bir etkisi olduğunu bildirmiştir. Ayrıca, okaliptüsün büyük oranda zararlıının yumurta çıkışını azalttığı ve larva ölümünü arttırmış olduğunu bildirilmiştir. *A. obtectus*'a karşı tek başına uygulanan esansiyel yağlar, depolanmış tahıl zararlılarının iyi bir kontrol seviyesini sağlamasına rağmen, yüksek uçuculukları sebebiyle çok dengesiz oldukları, ayrıca tohumları yerken tatsız olabilecek kalıcı bir koku bırakabildiği bildirilmiştir (Pierrard, 1986). Pemonge ve ark. (1997), *A. obtectus*'a karşı çemen otundan elde edilen ekstraktları kullanmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda kullanılan ekstraktın *A. obtectus*'un yüksek oranda ölümüne, yumurtlama ve larva gelişiminin yavaşlamasına ve yaşam süresinin azalmasına neden olduğunu belirlemişlerdir. Bazı bitkisel preparat ve ekstraktların *A. obtectus* üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla Tokat ilinde yürütülen çalışmada Azadirachtin 10 g L⁻¹ (500 ml 100L⁻¹), ticari *Eucalyptus globulus* Labill. (Ökaliptus) yağı (%1.25'lik) ve *Melia azedarach* L. (Tebih ağacı) (%1.25'lik) bitkisinin metanol ekstraktı kullanıldığında *Eucalyptus* yağı ve Azadirachtinin, Cypermethrin ile aynı seviyede etki gösterdiğini bildirmişlerdir. Bunun sonucunda *A. obtectus* kontrolünde bitki ekstraktları ve Azadirachtinin entegre mücadele programlarında sentetik pestisitlerin kullanımının azaltılması amacıyla kullanılabilirliği kaydedilmiştir (Yanar ve Düzdemir, 2012). Benzer şekilde Selimoğlu ve ark. (2015) beş farklı uçucu yağın *A. obtectus* üzerindeki fumigant etkilerini incelemiş ve en yüksek toksisiteye Rezene (*Foeniculum vulgare* Mill.), bunu takiben ise Karabaş kekiği (*Thymbra spicata* L.) ve Karabaşotu (*Lavandula stoechas* L.) bitkisinden elde edilen ekstraktların neden olduğunu tespit etmişlerdir. Rezene bileşiklerinin *A. obtectus* mücadelesinde kullanma potansiyeli olduğu kaydedilmiştir. Çetin ve ark. (2015) ise *Rosmarinus officinalis* L. ve *Salvia fruticosa* Mill. uçucu yağlarının 24 saat maruz bırakma süresinde %100 ölüm meydana getirdiğini *Laurus nobilis* L., *Artemisia dracunculoides* L. ve *Mentha aquatica* L. uçucu yağlarında ise %90 üzerinde ölüme neden olduğunu bildirmişlerdir.

Ülkemizde fasulye tohum böceğine karşı kimyasal mücadelede kullanılan ruhsatlı ilaçların aktif maddesi ve tavsiye edilen ruhsatlı bitki koruma ürünleri (BKÜ), grubu ve dozları Çizelge 7'de verilmiştir.

Kimyasal mücadele yöntemlerin uzun süreli kullanımı başta direnç olmak üzere kullanıcıya toksisitesi ve çevreye zararı gibi birçok soruna neden olmaktadır. Bu nedenle memelilere düşük oranda zehirli, çevreye zararsız ve maliyet olarak kârlı olan alternatiflerin acilen değerlendirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bakımdan son yıllarda fiziksel mücadele teknikleri içerisinde diyatom toprağı gibi

inert tozlara olan ilgi artmıştır. Depo zararlısı böceklerin (Fasulye tohum böceği, Börülce tohum böceği, Khapra, Mısır biti, Buğday biti vb.) kimyasal mücadelesinde kullanılan ilaçlarda olduğu gibi diyatom topraklarından hızlı bir şekilde etkilenmesi, diyatomun uygulanan ürünlerden daha kolay uzaklaştırılması ve herhangi bir kalıntıya sebep olmaması, memelilere ve çevreye düşük toksisiteye sahip olmasından dolayı zararlılara karşı farklı ülkelerde ve ülkemizde de bu konuda araştırmalar yapılmıştır (Mewis ve Ulrichs, 2001; Akbar ve ark., 2004; Arnaud ve ark., 2005; Ertürk, 2014; Şen, 2016; Alkan ve ark., 2019; Kılıç ve Mutlu, 2020).

Çizelge 7. Fasulye tohum böceğine karşı depolarda kullanılan ruhsatlı etken maddeler (Anonim, 2019e)

Aktif Madde	Grubu	Kullanılacak miktar (doz)
%57 Aluminium phosphide	Fumigant	1 Poşet (34 g) 11 m ⁻³
%57 Aluminium phosphide	Fumigant	1 Poşet (34 g) 11 m ⁻³
%57 Aluminium phosphide	Fumigant	1-3 Ad. Tablet (3-9 g) m ⁻³
%57 Aluminium phosphide	Fumigant	1 Poşet (34 g) 11 m ⁻³

Fasulye yetiştirilen alanlarda faydalı böceklerden olan Coccinellidae, Tachinidae familyalarına ait bireyler ile *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae) gibi faydalı böceklerin belirli yoğunlukta olduğu bildirilmiştir. Bu nedenle yapılacak kimyasal mücadelede faydalı türler dikkate alınarak mücadele yapılması gerektiği kaydedilmiştir (Kaplan ve ark., 2018).

Zararlılarla mücadelede çevreye daha az zarar veren yöntemlerin kullanılması gerektiği ve pestisitlerin kullanımına ihtiyaç duyulduğunda ise pestisitlerin etiketlerinde belirtilen dozlarda kullanılmasının sürdürülebilir tarım açısından fayda sağlayacağı belirtilmiştir (Direk ve ark., 2002).

SONUÇ

Dünya’da ve Türkiye’de oldukça yaygın olan *A. obtectus*, başta fasulye olmak üzere bakliyat ürünlerinin önemli bir zararlısıdır. *A. obtectus* ergin ve larvaları baklagillerin tanelerinin besin değerini düşürmekle birlikte tanelerin çimlenme gücünü azaltmakta, dışkısı ile kirletmekte ve tarlada verdiği zararı depoda da devam ettirmektedirler. Bu zararlı, baklagillerin ekonomik anlamda değerini de yüksek oranda azaltmaktadır. Erginlerin üreme kabiliyetleri yüksek olduğu için, çok sayıda döl vermesi sonucu ortaya çıkan bireyler, delinmiş ve içinin büyük bir kısmı yenmiş ve besin değerini yitirmiş olan tanelerin meydana gelmesine neden olmaktadır. Ülkemiz için önemli bir zararlı olan *A. obtectus* ile mücadele titizlikle yürütülmelidir. Zararlıyla mücadelede öncelikle sertifikalı, temiz tohumluk ve dayanıklı çeşitler tercih edilmelidir. Yoğun zarar görülmüş tarlalarda geç ekim yapılmalı ve hasat ile harman geciktirilmemelidir. Hasat sonrası tarlada kalan artıklar derine gömülmeli veya yakılmalıdır. Depoya zararlıyla bulaşık ürün, çuval, malzeme getirilmemelidir. Tarladaki ürün ilaçlanarak, pencerelerine kafes telleri takılmış ambarlara yerleştirilmelidir. *A. obtectus* ile mücadelede pestisit kullanımını en aza indirmek, doğaya ve diğer canlılara zarar vermemek amacıyla Ökalyptus yağı ve Tesbih ağacı bitkilerinin metanol ekstraktı ve diyatom toprağı gibi kalıntıya sebep olmayan, memelilere ve çevreye düşük toksisiteye sahip inert tozlar kullanılabilir. Zararlıyla mücadelede kullanılacak kimyasalların ise çevre dostu olmasına ve doğal düşmanlara zarar vermemesine dikkat edilmelidir.

KAYNAKLAR

- Acar Z, Ayan İ, Gülser C, 2001. Some Morphological and Nutritional Properties of Legumes under Natural Conditions. Pakistan Journal of Biological Sciences. 4: 11, 1312-1315.
- Akbar W, Lord JC, Nechols JR, Howard RW, 2004. Diatomaceous Earth Increases the Efficacy of *Beauveria bassiana* against *Tribolium castaneum* Larvae and Increases Conidia Attachment. Journal of Economic Entomology. 97(2): 273-280.

- Akdağ C, 1996. Kuru Fasulye Çeşitlerinde Tohum Böceği (*Acanthoscelides obtectus* Say) Zararının Biyolojik Değere ve Fide Gelişmesine Etkileri. Tarım Bilimleri Dergisi, 2(1): 7-11.
- Alkan M, Erturk S, Firat TA, Ciftci E, 2019. Study of Insecticidal and Behavioral Effects and Some Characteristic of Native Diatomaceous Earth against the Bean Weevil, *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera: Chrysomelidae). Fresenius Environmental Bulletin. 28(4): 2916-2922.
- Anonim, 2008. Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Bahçecilik, Fasulye Yetiştiriciliği. www.foodelphi.com (Erişim Tarihi: 25 Şubat 2019).
- Anonim, 2013. Tarım Teknolojileri, Yemeklik Dane Baklagiller Yetiştiriciliği (Fasulye ve Börülce). www.studylibtr.com (Erişim Tarihi: 08.05.2019).
- Anonim, 2018a. Food and Agriculture Organization of the United Nations, www.fao.org (Erişim Tarihi: 10.04.2019).
- Anonim, 2018b. Bitkisel Üretim İstatistikleri Veri Tabanı. tuik.gov.tr (Erişim Tarihi: 25.02.2019).
- Anonim, 2019a. Bitkisel Üretim İstatistikleri Veri Tabanı. tuik.gov.tr (Erişim Tarihi: 25.02.2019).
- Anonim, 2019b. Bitkisel Üretim İstatistikleri Veri Tabanı. tuik.gov.tr (Erişim Tarihi: 25.02.2019).
- Anonim, 2019c. Bitkisel Üretim İstatistikleri Veri Tabanı. tuik.gov.tr (Erişim Tarihi: 25.02.2019).
- Anonim, 2019d. Bitkisel Üretim İstatistikleri Veri Tabanı. tuik.gov.tr (Erişim Tarihi: 25.02.2019).
- Anonim, 2019e. Bitki Koruma Ürünleri. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü Bitki Koruma Ürünleri Daire Başkanlığı, Tavsiye Arama, *Acanthoscelides obtectus*, bku.tarim.gov.tr (Erişim Tarihi: 09.03.2019).
- Arnaud L, Lan HTT, Brostaux Y, Haubruge E, 2005. Efficacy of Diatomaceous Earth Formulations Admixed with Grain Against Populations of *Tribolium castaneum*. Journal of Stored Products Research, 41(2): 121-130
- Atak ED, 1975. Fasulye Tohum Böceği (*Acanthoscelides obtectus* Say)'nin Biyo-ökolojisi ve Mücadelesi Üzerinde Araştırmalar. T.C. Tarım Bakanlığı Zirai Mücadele ve Zirai Karantina Genel Müdürlüğü Araştırma Eserleri Serisi, İhtisas Tezi, 64 s.
- Azizoğlu U, 2018. Biochemical Properties of Turkish Common Beans and Their Resistance Against Bean Weevil *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera: Bruchidae). Arthropod-Plant Interactions, 12(2): 283-290.
- Babaoğlu M, 2003. Nohut ve Tarımı. hayrabolutb.org.tr (Erişim Tarihi: 06.03.2019).
- Berim MN, Saulich MI, 2007. Area of Distribution and Damage of *Acanthoscelides obtectus* Say. www.agroatlas.ru. (Erişim Tarihi: 10.04.2019).
- Borowiec L, 1987. The Genera of Seed Beetles (Coleoptera, Bruchidae). Polskie Pismo Entomologiczne, 57(1).
- Çetin H, Uysal M, Şahbaz A, Alaoğlu Ö, Akgül A, Özcan MM, 2015. Tıbbi ve Aromatik Bitki Uçucu Yağlarının Fasulye Tohum Böceği [*Acanthoscelides obtectus* Say (Coleoptera: Chrysomelidae)] Erginlerine Fumigant Etkileri. Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi, 1(1): 6-11.
- Decelle J, Lodos N, 1989. Contribution to the Study of Legume Weevils of Turkey (Coleoptera: Bruchidae), Bull. Ann. Soc. R. Ent. 125: 163-212.
- Demirbağ N, Kendir H, Assim M, 2008. Yaygın Mürdümük (*Lathyrus sativus* L.)'te Adventif Sürgün Rejenerasyonu. Tarım Bilimleri Dergisi, Cilt 14: 297.
- Direk M, Bayramoğlu Z, Paksoy M, 2002. Konya İlinde Fasulye Üretiminde Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri. Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 16(30): 27.
- Düzdemir O, Yanar D, 2008. Tarla Koşullarında Fasulye Tohum Böceğine (*Acanthoscelides obtectus* (Say.)) Karşı Kullanılan Farklı Bazı Bitki Ekstrakt ve Preparatların Fasulyede Bitkide Tane Verimi Üzerine Olan Etkisi. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 1: 51-54.

- Erdoğan P, 2006. Sebze ve Yem Bitkilerinde Görülen Zararlılar ve Mücadele Yöntemleri. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 15(1-2): 1-10.
- Ertürk S, 2014. Farklı Diyatom Toprağı Formülasyonlarının Depolanmış Çeltikte Zararlı Böceklerin Etkinliği Üzerinde Araştırmalar. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmış).
- Eşiyok D, 2016. Fitokimyasallar, Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.). www.dunyagida.com.tr. (Erişim Tarihi: 12.03.2019).
- Genç H, Şahin A, 2001. Batı Akdeniz ve Güney Ege Bölgesinde Yetişen Bazı *Lathyrus* L. Türleri Üzerinde Sitotaksonomik Araştırmalar. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5(1): 98-112.
- Gülümser A, 2016. Dünyada ve Türkiye’de Yemlik Dane Baklagillerin Durumu. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 25 (Özel sayı-1): 298.
- Güvenç İ, Güngör F, 1996. Türkiye’de Tescilli Fasulye Çeşitlerine Ait Tohumların Fiziksel Özellikleri ve Besin Bileşimleri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 27(4): 524.
- Kalkan M, 1972. Orta Anadolu Bölgesinde Bakliyata Zarar Veren Baklagil Tohum Böceklerinin Tür, Yayılış ve Zarar Oranları Üzerinde Araştırmalar. Ziraat Mücadele Araştırma Yıllığı, 6: 64.
- Kaplan E, Bal SS, Ayçiçek M, 2018. Bingöl İlinde Yetiştirilen Bazı Fasulye (*Phaseolus vulgaris*) Çeşitlerinde Tespit Edilen Böcek Populasyonları ve *Acanthoscelides obtectus*'a Tepkileri. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 27(1): 53.
- Keyder S, Bağcıoğlu E, Mene G, 1973. Marmara Bölgesinde Börülce Tohum Böceği (*Callosobruchus maculatus* F., Col. Bruchidae, Bruchinae)'nin Yayılışı, Biyolojisi ve Mücadelesi. Ziraat Mücadele Araştırma Yıllığı 7: 58-59.
- Kılıç A, Mutlu Ç, 2020. Yerli Bazı Diyatom Topraklarının Laboratuvar Koşullarında Khapra, *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae), Larvalarına Karşı Biyolojik Etkinliği. Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi, 6(1), 44-54.
- Kılınç M, Özen F, 1988a. A5 ve A6 Karelerinden Yeni Floristik Kayıtlar, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Dergisi, 1(2): 75-88.
- Kılınç M, Özen F, 1988b. Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kurupelit Kampus Alanı ve Çevresinin Florası. OMÜ. Fen Dergisi. 1, 2: 97-121
- Kır A, Tan A, Adanacıoğlu N, Karabak S, Aysar Güzelsoy N, 2017. Türkiye’de Yeterince Tüketilmeyen Geleneksel Ürün: Börülce [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] Yerel Çeşitleri, Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi, 28(2): 62-68.
- Kırnak H, Varol İS, İrik HA, Özaktan H, 2017. Nohut Bitkisinde Farklı Gelişim Dönemlerinde Uygulanan Ek Sulamanın Ham Protein, Ham Yağ ve Ham Kül İçeriğine Etkisi. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 6: 169-176.
- Kutbay HG, Kılınç M, Karaer F, 1995. Nebyan Dağı (Samsun/Bafra) Florası. Turk. J. of Botany. 19: 345- 371.
- Lodos N, 1998. Türkiye Entomolojisi VI (Genel, Uygulamalı ve Faunistik), Yardımcı Ders Kitabı (I. Baskı), Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları, 529: 300.
- Mewis I, Ulrichs C, 2001. Action of Amorphous Diatomaceous Earth against Different Stages of the Stored Product Pests *Tribolium confusum*, *Tenebrio molitor*, *Sitophilus granarius* and *Plodia interpunctella*. Journal of Stored Products Research. 37(2): 153-164.
- Njoroge AW, Affognon H, Mutungi C, Richter U, Hensel O, Rohde B, Mankin RW, 2017. Bioacoustics of *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) on *Phaseolus vulgaris* (Fabaceae). Florida Entomologist, 100(1): 109-115.

- Özdem A, 1997. Eskişehir İlinde Fasulye Tohumböceği [*Acanthoscelides obtectus* (Say) (Col.:Bruchidae)]'nin Biyolojisi Üzerinde Araştırmalar. Bitki Koruma Bülteni, 37(3-4): 111-118.
- Pemonge J, Pascual-Villalobos MJ, Regnault-Roger C, 1997. Effects of Material and Extracts of *Trigonella foenum-graecum* L. against the Stored Product Pests *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) and *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae). Journal of Stored Products Research, 33(3): 209-217.
- Pierrard G, 1986. Control of the Cowpea Weevil *Callosobruchus maculatus*, at the Farmer Level in Senegal. International Journal of Pest Management, 32(3), 197-200.
- Selimoğlu T, Gökçe A, Yanar D, 2015. Bazı Bitki Uçucu Yağlarının *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae) Üzerindeki Fumigant Toksisiteleri. Türkiye Entomoloji Dergisi, 39(1), 109-118.
- Stamopoulos DC, 1991. Effects of Four Essential Oil Vapours on the Oviposition and Fecundity of *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae): Laboratory Evaluation. Journal of Stored Products Research, 27(4), 199-203.
- Şen R, 2016. Seçilmiş Yerel Diyatomit Toprakların Depolanmış Tahıl Zararlılarına Karşı İnsektisidal Etkinliği Üzerine Abiyotik Faktörlerin Etkisi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Varankaya S, Ceylan E, 2012. Orta Anadolu Bölgesinde Fasulye Tarımında Karşılaşılan Problemler ve Çözüm Önerileri. Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi, 26(1): 15-26.
- Yanar D, Düzdemir O, 2012. Bazı Bitki Ekstraktlarının ve Bitkisel Preparatların Fasulye Tohum Böceğine (*Acanthoscelides obtectus* (Say.)) Olan Etkisi. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 1: 36-40.

Removal Modeling of Encapsulated *L.minor* by Alginate MicrospheresEsra Üçüncü TUNCA^{1*}, Hasan TÜRE²

ABSTRACT: The aim of the study was to model the efficiency of different sorbents (*Lemna minor* (*L*), alginate microspheres (*A*) and encapsulated *L.minor* (capsA+L)) on the removal of malachite green dye(MG) by using regression analysis. One other purpose was to specify the effects of encapsulation on the removal process. Linear and cubic estimation models were constructed and it was seen that R² values of cubic models were higher (0.988-1.0). It was observed that group (*A*) was less successful on MG removal compared to other groups (*L>capsA+L>A*). Encapsulation increased the removal capacity of microspheres but still did not attain the efficiency of (*L*) group that was (70.22-85.69%).

Keywords: Alginate microsphere, encapsulation, malachite green, removal, regression

¹Esra Üçüncü Tunca (Orcid ID: 0000-0002-9024-8477), Muğla Sıtkı Koçman University, Faculty of Engineering, 48000, Kötekli, Muğla, Turkey

²Hasan Türe (Orcid ID: 0000-0003-4883-0751), Ordu University, Department of Marine Sciences and Technology Engineering, 52400 Fatsa, Ordu, Turkey

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Esra Üçüncü Tunca, e-mail: esra.ucuncu@gmail.com

INTRODUCTION

Concentration amounts of contaminants such as dye, nanoparticles and heavy metals, rapidly increase in environment due to enhance in industry and hence become a threat for environment. Plenty of toxic dye are discharged into aqueous medium and cause, directly or indirectly, serious health problems on organisms (Naushad et al., 2015). In order to remove these contaminants, which are known to have serious toxic effects on organisms (Biradar et al., 2016; Clar et al., 2016; Üçüncü et al., 2014), from aqueous mediums, various methods such as chemical precipitation, ion change, nano-filtration, electrolytic reduction and membrane filtration are used (Idris et al., 2012; Zheng et al., 2016; Zhou et al., 2015). However, sometimes these methods can be very expensive (Nghah and Fatinathan, 2010) and yet insufficient (Zhou et al., 2009) for the removal of some toxic heavy metal ions. Therefore, more environment friendly, economical and efficient methods such as bioremediation, adsorption and sorption are preferred nowadays (Li et al., 2011; Naushad et al., 2015).

Adsorption method is highly suitable in removal studies since it is environmentally friendly, economical and has high adsorption efficiency in removal processes (Vu et al., 2017; Wang et al., 2016; Wu et al., 2016). For this purpose several types of adsorbents have been developed such as activated carbon, zeolites, chitosan, alginate, meso-silica (Liang et al., 2016). One of best materials used in encapsulation process is the alginate, which is a linear biopolymer (Ociński et al., 2016). The most important reasons preferring alginate in encapsulation are that nontoxicity, high biocompatibility and the crosslink ability with cations (Vu et al., 2017). Since the unsolved alginate grains own carboxyl groups, which can react with metal cations on beads, can be used as biosorbent of various heavy metals (Hong et al., 2016). Due to its high adsorption capacity for some metals, like Cu(II), Cd (II), Pb(II), Ni(II) and Hg(II), alginate has potential in removal of toxic contaminants (Dubey et al., 2016). Alginate is also can be used in adsorption of dye intensively present in wastewater (Zhu et al., 2014).

There are different types of dye one of which the basic dye, known as also cationic dye, can exhibit toxic effects even in trace amounts (Issa et al., 2014). Malachite green (MG), a cationic dye, mostly used in coloring of silk, acrylic and wool (Khan et al., 2014); can be discharged into water with textile waste. MG can also be used as antiseptic and fungicidal agent and it is considered to have carcinogenic and mutagenic effects on human being (Soni et al., 2014). Furthermore, MG is used as food additive and in food coloring and known to be highly toxic for mammalian cells (Zhou et al., 2015). For these reasons, the removal of these toxic contaminants from medium is a very important issue.

In this paper, *L.minor*, alginate microspheres and *L.minor* encapsulated in alginate microspheres were used as adsorbents for the removal of the malachite green cationic dye. The main purpose of this study is to evaluate and compare the efficiency of these adsorbents in removal of MG and construct a statistical model by regression analysis. One other aim of this study is to determine the effects (positive or negative) of encapsulation on removal efficiency (particularly for certain adsorbent and toxic contaminant).

MATERIALS AND METHODS

Preparation of Sorbents

In this study *L.minor*, an aquatic macrophyte, and microspheres, synthesized from alginate, were used. The test organism *L.minor* was provided from the culture in Faculty of Marine Sciences, Ordu University and accommodated to test medium. After washing with distilled water, *L.minor* were dried at 60 °C for 24 hours and then the dried samples were granulated (Jerold and Sivasubramanian, 2016). Sodium alginate microspheres are prepared by using ionic gelation method. In applying of this method first of all, homogenous sodium alginate solution, at a concentration of (1% wt/v), is prepared with

magnetic stirring. This solution is then dropped into the prepared calcium chloride solution (5%, w/v) by using pipette tip (1 mL). Alginate microspheres incubated for 24 hours at CaCl₂ bath and then rinsed with deionized water for three times before the experiments (Pandey et al., 2015). Obtained microspheres were dried at room temperature until constant weight.

Chemicals

Sodium alginate, used in the experiments, was provided from Sigma-Aldrich and calcium chloride (CaCl₂) was obtained from Tekkim, Turkey. For the removal experiments malachite green (molecular formula: C₅₂H₅₄N₄O₁₂; and molecular weight: 927.01 g mol⁻¹) was purchased from HIMEDIA and stock solutions (1000 mg L⁻¹) were prepared in deionized water. The prepared dye solution was filtrated and rested for 1-2 days before using in experiments.

Sorption Experiments

3 separate tests groups were composed in order to determine and compare MG removal, from aqueous medium, alginate microspheres (A), *L.minor* (L) and encapsulated *L.minor* (caps A+L):

group 1: contains only *L.minor*

group 2: contains only alginate microsphere

group 3: contains encapsulated *L.minor*

20 mg dried *L.minor* and microsphere was weighed and added to 50 mL test solution. In preliminary studies, it was decided to use 7 different concentration (0.5, 1.0, 2.5, 5.0, 10.0, 20.0 and 50 mg L⁻¹) in experiments. Each test was carried out with three repetitions. The solution mixture was equilibrated by using an automatic shaker for 24 h at 30±2°C and then filtered with a 0.45 µm filter. The initial and residual concentration of MG dye in the solution was determined by using UV–vis Spectrophotometer at 621 nm (Soni et al., 2014). The removal percentage (E%) and adsorption capacity (q_e) were determined as follows: (Zhou et al., 2015).

$$E\% = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

$$q_e = \frac{C_0 - C_1}{m} \times V \quad (2)$$

where C₀ and C₁ are initial and equilibrium concentrations of adsorbent in solution, respectively (mg L⁻¹); q_e is the adsorption capacity of the adsorbent (mg g⁻¹); m is the weight of adsorbent (g) and V denotes the volume of solution (L).

Statistical Analysis

Regression analysis was a statistical process for estimating the relationships (correlation) among variables. Estimation models of removed MG amount, depending on concentration increment, were established using regression analysis. For each of the groups (L), (A) and (caps A+L), both linear and cubic models were established separately. The calculated R² values were very large and are between 0.961-0.996 for linear models and 0.988-1.0 for cubic ones. Concentration–dependent removal efficiencies and adsorption capacities were statistically compared by non-parametric Mann-Whitney U test and statistically significant differences were interpreted. Mann-Whitney U test was preferred for the reason that the number of data was not high enough. All statistical analyzes and included graphs were obtained by using IBM SPSS 21.0 software.

RESULTS AND DISCUSSION

Assessment of Removal and Adsorption Capacity

This study evaluates the dye removal efficiencies of the aquatic macrophyte *L.minor*, synthesized alginate microspheres and encapsulated *L.minor*. In order to determine the removal efficiency percentages and adsorption capacities of tested sorbents, particular calculations were done and removal models were established.

When the removal (%) graph was examined; no removal was observed in (L) and (caps A+L) groups at 0.5 mg L⁻¹ concentration, where 20% MG removal was seen in (A) groups (Fig 1).

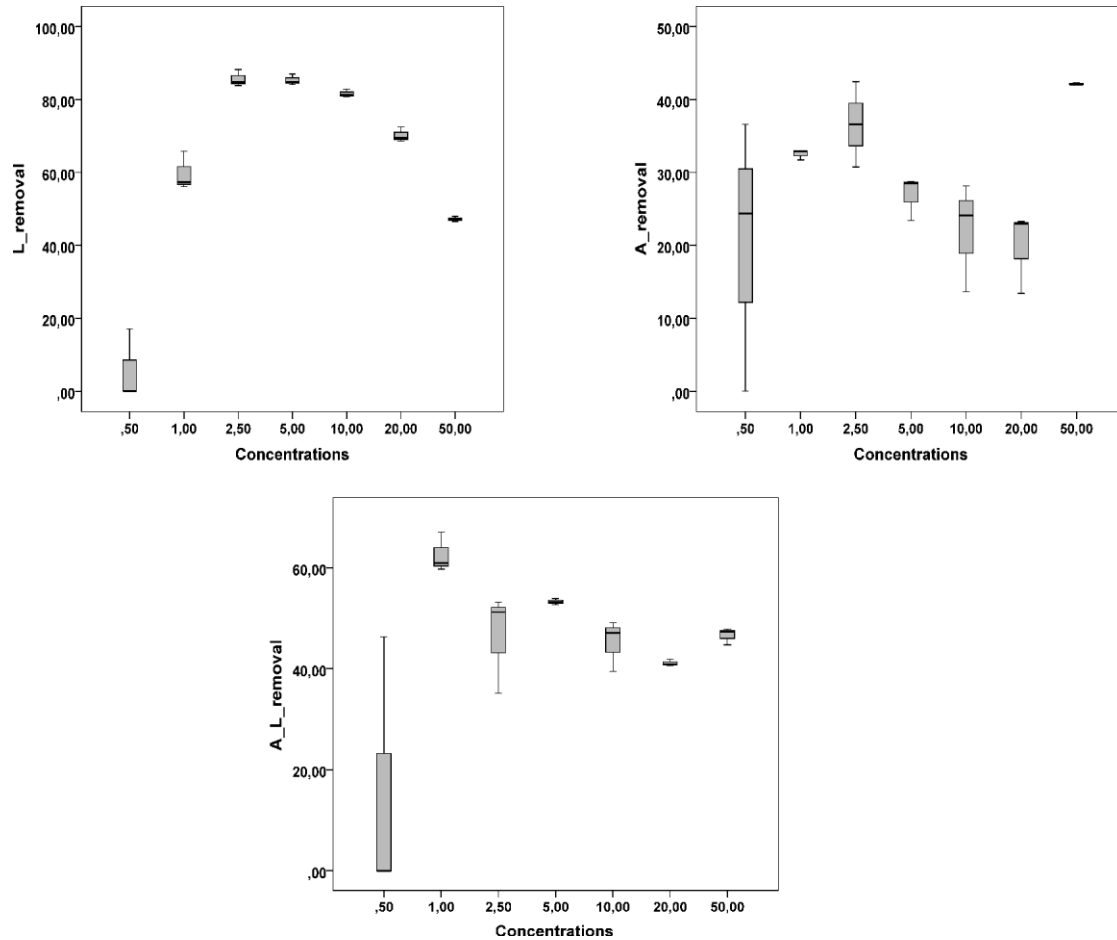


Figure 1. Concentration-dependent removal efficiencies of MG for L, A and A+L.

At all concentrations, except with the low concentrations (0.5 and 1.0 mg L⁻¹), removal efficiencies and adsorption capacities of groups were found as $L > A+L > A$ (Fig 2).

This result implies that alginate microsphere (A), alone only, is less successful in MG removal compared to other groups (L, A+L) at applied concentrations. On the other hand, impressive increase in removal efficiency of microspheres at the highest concentration (almost 2 times of the efficiency at lowest concentration) is important and give rise to thought that microspheres are more efficient in contaminant removal at high concentrations. It is known that microspheres are very successful in adsorption of some metals such as strontium (Sr II) (Hong et al. 2016), Cd²⁺, Hg²⁺, Pb²⁺ (Ding et al., 2015), Cr(VI) (Li et al., 2012), Ni (Yang et al., 2011) and Cu (II) (Zeng et al., 2015). They are also efficient in adsorption of dye (Ramalingam et al., 2015) like 2,5-dihydroxybenzoic acid (2,5-DHBA)

(Tang et al., 2015). Interaction of surface functional groups, carboxyl and hydroxyl groups on alginate beads, with target metals allows the adsorption of metal ions (Vu et al., 2017; Zheng et al., 2016). The efficiency of microspheres in adsorption depends on some factors such as amount of adsorbent (Asthana et al., 2016; Ngah and Fatinathan, 2010), amount of used alginate (Kwiatkowska-Marks and Wójcik, 2014), concentration of contaminant in medium (Zhu et al., 2014), surface of the microsphere (Wang et al., 2016), time (Idris et al., 2012) and pH (Asthana et al., 2016; Ociński et al., 2016). It is stated that increase in alginate amount in beads reduces Cd adsorption by reducing usability of active sites that are needed for adsorption of metal ions (Kwiatkowska-Marks and Wójcik, 2014). Also it is assumed that, increase in amount of adsorbent reduces removal efficiency due to decrement of interaction potentiality between heavy metals and adsorbents (Zeng et al., 2015), but there are studies in literature against this finding (Asthana et al., 2016; Ngah and Fatinathan, 2010).

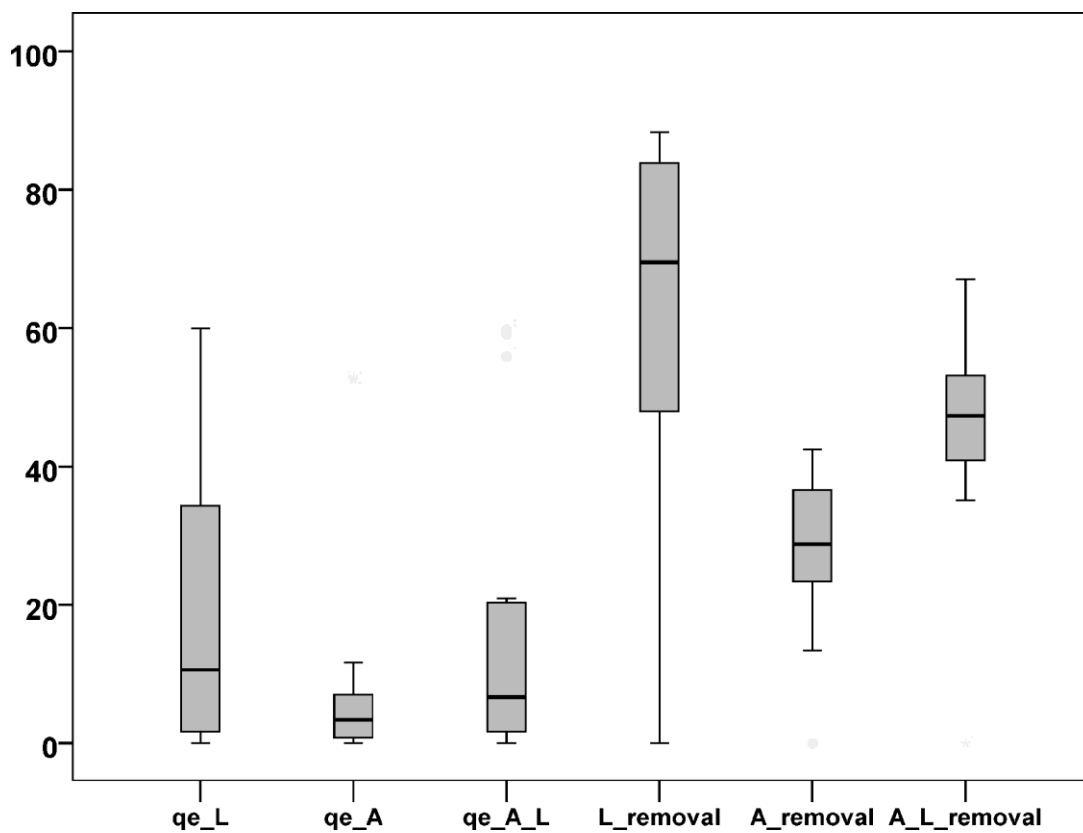


Figure 2. Comparisons of removal efficiencies and adsorption capacities (qe) for all test groups.

In this study the amount of adsorbent is fixed (0.02 g) and dye removal efficiency is evaluated depending on increasing contaminant concentration and different adsorbents. While removal ratios of microspheres are in increase/decrease trend depending on concentration increase, an impressive increase is observed at highest concentration (50 mg L⁻¹) and the adsorption capacity of microspheres regularly increased as the concentration level approached 50 mg L⁻¹. Both removal efficiency and adsorption capacities of the microspheres reached maximum at the applied highest concentration level. On the other hand, in contrast to this study, it is considered that increases in concentration level reduce the amount of absorbed contaminant due to saturation of binding sites (Soni et al., 2014).

Another adsorbent used in the study was the macrophyte *L.minor*, which is commonly preferred in removal of various contaminants from medium due to its high removal capacity (Bokhari et al., 2016; Török et al., 2015; Üçüncü et al., 2014; Üçüncü et al., 2013). *L.minor* also performed a high MG removal

efficiency, at applied concentration levels, in this study. The highest removal percentages, (70,22-85,69 %) at 2.5, 5.0, 10.0 and 20.0 mg L⁻¹ concentrations, were observed in groups containing Lemna (L). At highest concentration 50.0 mg L⁻¹; while high removal percentages of (L) groups tend to decrease, removal percentages of (A) groups approached with an impressive increase to ones of groups (A+L) and (L). In other words, the concentration level at which the removal percentages of the groups are close, and that is 50.0 mg L⁻¹. It is considered that; the increments observed in removal percentage of (L) at highest concentration are due to saturation of Lemna at increasing concentration levels. In a conducted study concerning malachite removal, at the applied lowest concentration (40 mg L⁻¹) Lemna performed the best removal efficiency with a percentage of 98% but the increases in concentration (190, 300 mg L⁻¹) reduced removal efficiency (Török et al., 2015).

It can be stated that (L) groups are more successful in MG removal compared to (A) groups. However; after a certain concentration level (over 5.0 mg L⁻¹) decreases in removal efficiency of (L) groups and impressive increases in removal percentages and adsorption capacities of (A) groups state that microspheres are more successful than Lemna at high concentrations. One other important finding is that the encapsulation of Lemna by alginate microspheres has increased adsorption capacity and removal efficiency of microspheres. Even the removal efficiency of microspheres, in which Lemna encapsulated, are almost 2 times increased compared to (A) groups, still not reached to ones containing only Lemna (L). This finding can be interpreted as follows; encapsulation of Lemna has relatively reduced interaction of Lemna with dye in medium, where actually removal efficiency of Lemna is better than microsphere due to conditions of the conducted study.

When adsorption capacities were examined it was seen that adsorption capacities were increased as the initial concentration level increases ($p < 0.05$) (Fig 3).

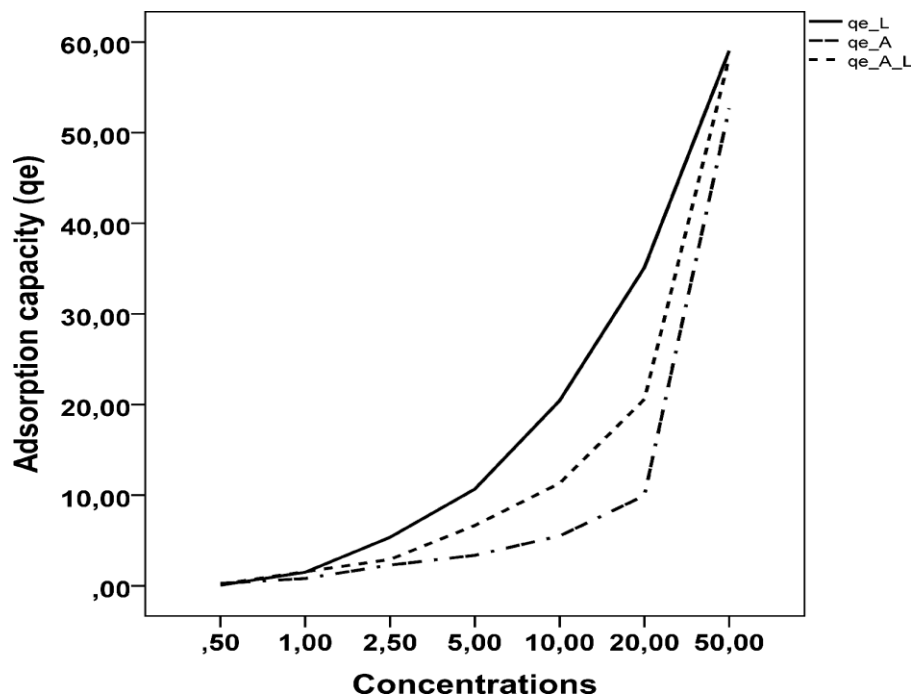


Figure 3. Concentration-dependent adsorption capacities of L, A and A+L.

This finding was supported by studies, in which Cu²⁺ adsorption by microspheres (Zheng et al., 2016) and removal of fluoride and uranium using microspheres, (Wu et al., 2016) were investigated. On the other hand, other studies (Dubey et al., 2016) indicate that increase in initial concentration decreases

adsorption capacity. In a study it was also reported that increases in initial concentration rapidly increased adsorption capacity and then reached steady-state (Wu et al., 2016). Interpreted this result as, that the increase in initial concentration has composed an impulse in mass transfer resistance among solid and liquid phases and then adsorption capacity has saturation trend (Wu et al., 2016).

In this present study it was observed that the adsorption capacities were parallel to the removal efficiencies and the smallest q_e (adsorption capacity) value was found in microspheres. In removal results, an impressive increase observed in adsorption capacities of (A) groups at the highest concentration. We believe that it was due to high contact potentiality of microsphere surfaces with increasing contaminant concentration.

While a significant difference was found in all comparisons of 0.5 mg L^{-1} and 1.0 mg L^{-1} , no statistically significant difference was found the other concentrations ($2.5, 5.0, 10.0, 20.0$ and 50 mg L^{-1}) for q_e according to MWU ($p < 0.05$). It was determined that the significant difference was found to be higher in favor of high concentrations for q_e . Removal efficiencies were similar to q_e comparisons for 0.5 mg L^{-1} . However, it was detected removal values at low concentrations were more statistically higher than the higher concentrations at 1.0 mg L^{-1} . Additionally, no difference was observed between 1.0 - 2.5 mg L^{-1} (as an exception). There was no statistically significant difference was observed in the other concentrations ($2.5, 5.0, 10.0, 20.0$ and 50 mg L^{-1}) as in q_e .

Regression Models of Removal Efficiencies

Concentration-dependent estimation models of all groups, which were exposed to 7 different concentration of MG, were established and these models were analyzed. Estimation models were in linear and cubic forms (Fig 4-5).

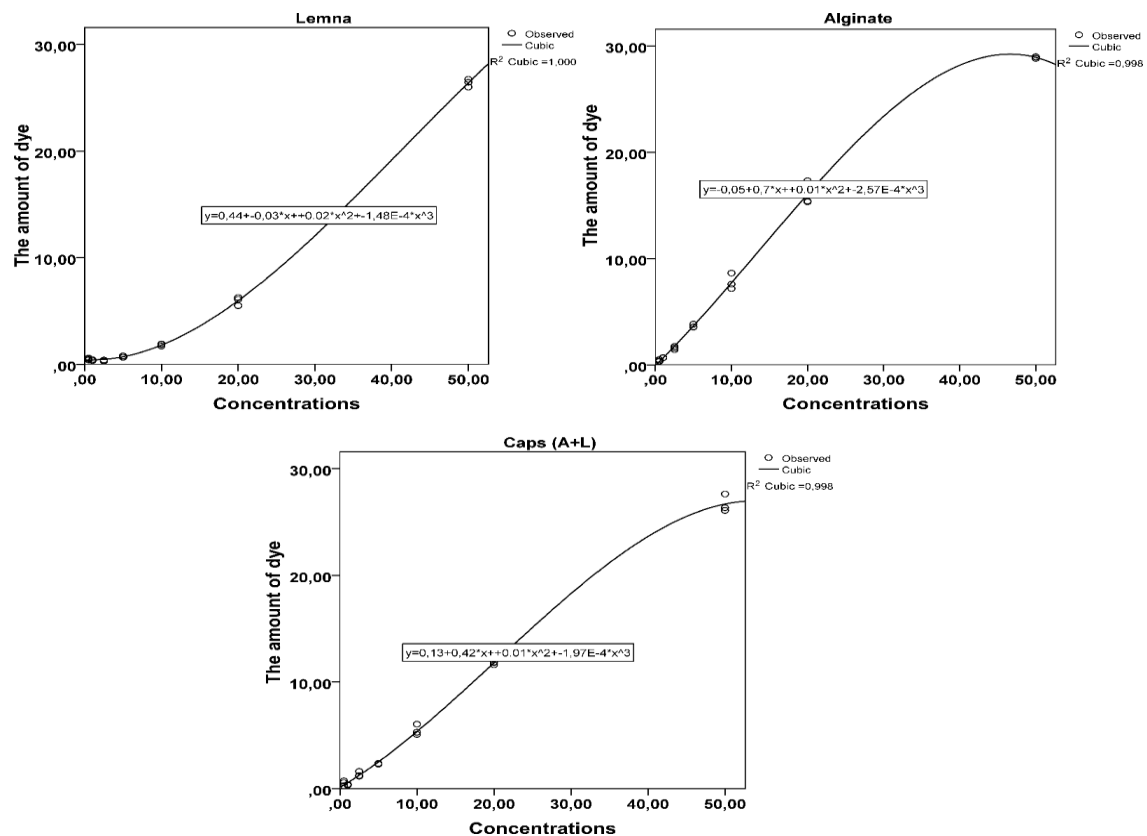


Figure 4. Cubic estimation models of concentration-dependent removal efficiencies of MG for all test groups.

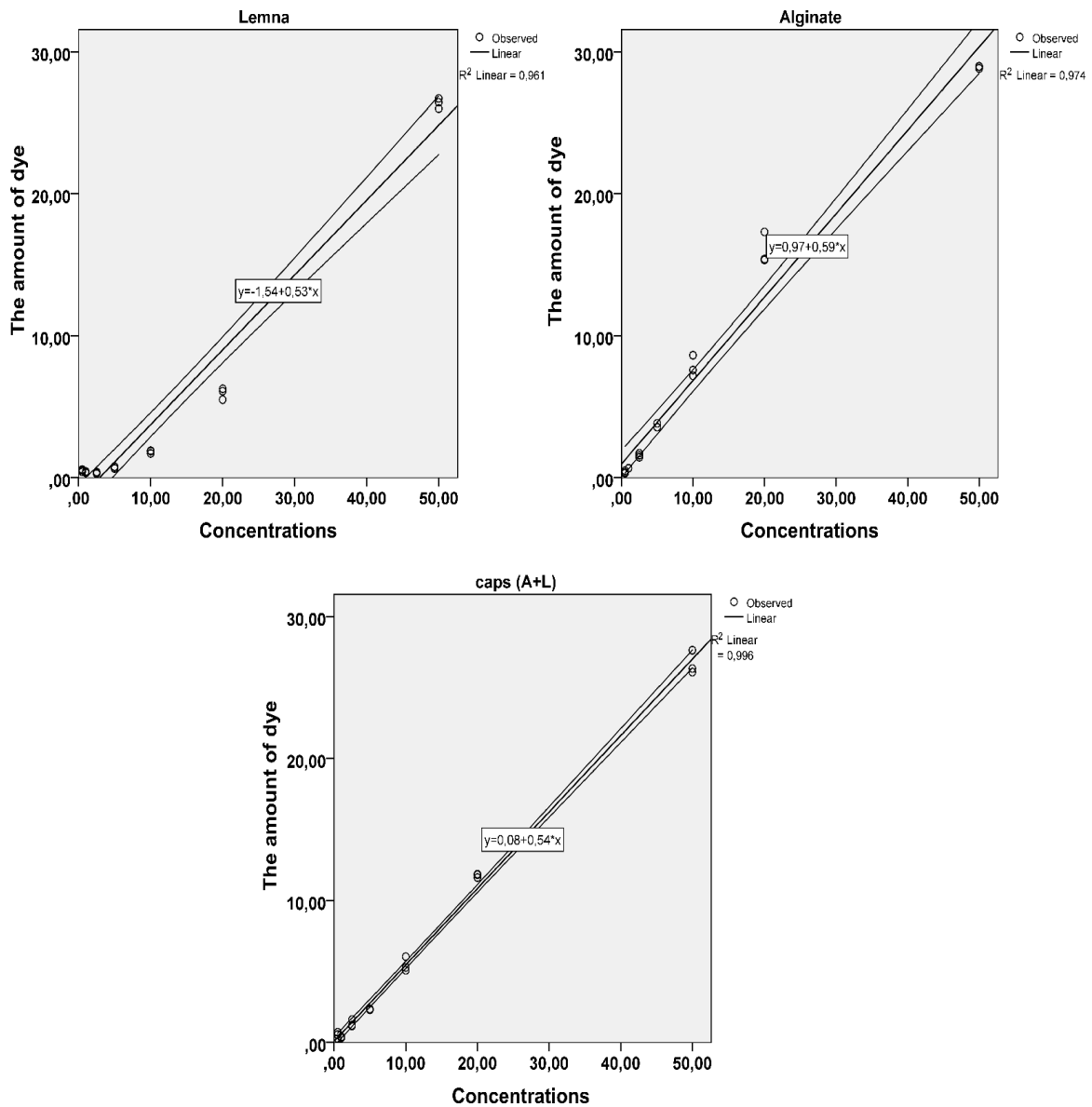


Figure 5. Linear estimation models of concentration-dependent removal efficiencies of MG for all test groups.

When regression analysis results examined it was seen that R^2 values of cubic models were higher (0.988-1.0), hence it was more appropriate for the data of this study. When regression figures were examined it was clearly seen that, the removal efficiency (%) and adsorption capacity (q_e) results of the study support regression models. In removal of MG, it can be stated that at all concentrations except with lowest and highest concentrations, (L) groups were more successful than (A) and (A+L) groups.

Furthermore regression estimation models show that in removal of MG from medium, (A) and (A+L) test groups have similar trends. No regular increases or decreases were observed in concentration dependent removal efficiency, where (A) and (A+L) groups have fluctuating trend.

CONCLUSION

In this study *L.minor*, alginate microspheres and alginate microsphere encapsulated *L.minor* were used as adsorbents in the removal process of toxic malachite green contaminant from medium. Removal efficiency models were established with regression analysis.

At all concentrations except with lowest concentrations, removal efficiency and adsorption capacities of the tested groups were ordered as $L > A+L > A$. According to this result; alginate

microsphere (A) alone only was less successful in malachite green removal compared to other groups (L, A+L) at all applied concentrations. However, serious increase in removal efficiency of microspheres at highest concentration indicated that microspheres can be more successful in contaminant removal at high concentrations. The highest removal percentages (70,22-85,69%) were observed in (L) groups. Encapsulation of *Lemna* with alginate microspheres has increased the removal efficiency of microspheres but still not reached the removal efficiency values of (L) groups. According to the regression modeling results; the R^2 values of cubic models were higher and removal efficiency (%), adsorption capacity (q_e) results support the results of regression models. In removal process of MG from medium, it was observed that (A) and (A+L) test groups have similar trends.

It was very important to develop the remediation studies, which was an effective method in removal of contaminants, with new studies and methods. This present study states that using effective (good) sorbents in encapsulation process, can give successful results in removal of contaminants such as MG.

REFERENCES

- Asthana A, Verma R, Singh AK, Susan MABH, Adhikari R, 2016. Silver Nanoparticle Entrapped Calcium-Alginate Beads for Fe(II) Removal via Adsorption. *Macromolecular Symposia*, 366(1):42-51.
- Biradar SP, Rane NR, Patil TS, Khandare RV, Govindwar SP, Pawar PK, 2016. Herbal augmentation enhances malachite green biodegradation efficacy of *Saccharomyces cerevisiae*. *Biologia*, 71(5):475-483.
- Bokhari SH, Ahmad I, Mahmood-UI-Hassan M, Mohammad A, 2016. Phytoremediation potential of *Lemna minor* L. for heavy metals. *Int. J. Phyto*, 18(1):25-32.
- Clar JG, Li X, Impellitteri CA, Bennett-Stamper C, Luxton TP, 2016. Copper nanoparticle induced cytotoxicity to nitrifying bacteria in wastewater treatment: A mechanistic copper speciation study by X-ray absorption spectroscopy. *Environmental Science and Technology*, 50(17):9105-9113.
- Ding Y, Zhu W, Xu Y, Qian X, 2015. A small molecular fluorescent sensor functionalized silica microsphere for detection and removal of mercury, cadmium, and lead ions in aqueous solutions. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 220:762-771.
- Dubey R, Bajpai J, Bajpai AK, 2016. Chitosan-alginate nanoparticles (CANPs) as potential nanosorbent for removal of Hg (II) ions. *Environ. Nanotechnol. Monit. Manag*, 6:32-44.
- Hong HJ, Ryu J, Park IS, Ryu, Chung KS, Kim BG, 2016. Investigation of the strontium (Sr(II)) adsorption of an alginate microsphere as a low-cost adsorbent for removal and recovery from seawater. *J Environ Manage*, 165:263-270.
- Idris A, Ismail NSM, Hassan N, Misran E, Ngomsik A-F, 2012. Synthesis of magnetic alginate beads based on maghemite nanoparticles for Pb(II) removal in aqueous solution. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 18(5):1582-1589.
- Issa AA, Al-Degs YS, Al-Ghouti MA, Olimat AAM, 2014. Studying competitive sorption behavior of methylene blue and malachite green using multivariate calibration. *Chemical Engineering Journal*, 240:554-564.
- Jerold M, Sivasubramanian V, 2016. Biosorption of malachite green from aqueous solution using brown marine macro algae *Sargassum swartzii*. *Desalin. Water Treat*, 1-13.
- Khan TA, Rahman R, Ali I, Khan EA, Mukhlif AA, 2014. Removal of malachite green from aqueous solution using waste pea shells as low-cost adsorbent – adsorption isotherms and dynamics. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 96(4):569-578.

- Kwiatkowska-Marks S, Wójcik M, 2014. Removal of Cadmium(II) from Aqueous Solutions by Calcium Alginate Beads. *Separation Science and Technology*, 49(14):2204-2211.
- Li C, Zhang Y, Peng J, Wu H, Li J, Zhai M, 2012. Adsorption of Cr(VI) using cellulose microsphere-based adsorbent prepared by radiation-induced grafting. *Radiation Physics and Chemistry*, 81(8):967-970.
- Li X, Li Y, Ye Z, 2011. Preparation of macroporous bead adsorbents based on poly(vinyl alcohol)/chitosan and their adsorption properties for heavy metals from aqueous solution. *Chemical Engineering Journal*, 178:60-68.
- Liang Z, Zhaob Z, Sun T, Shi W, Cui F, 2016. Adsorption of quinolone antibiotics in spherical mesoporous silica: Effects of the retained template and its alkyl chain length. *J. Hazard. Mater.*, 305:8-14.
- Naushad M, Ali Khan M, Abdullah Alothman Z, Rizwan Khan M, Kumar M, 2015. Adsorption of methylene blue on chemically modified pine nut shells in single and binary systems: isotherms, kinetics, and thermodynamic studies. *Desalin. Water Treat*, 57(34): 15848-15861.
- Ngah WS, Fatinathan S, 2010. Adsorption characterization of Pb(II) and Cu(II) ions onto chitosan-tripolyphosphate beads: Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies. *J Environ Manage*, 91(4):958-69.
- Ociński D, Jacukowicz-Sobala I, Kociołek-Balawejder E, 2016. Alginate beads containing water treatment residuals for arsenic removal from water—formation and adsorption studies. *Environ. Sci. Pollut. Res*, 1-13.
- Pandey A, Bera D, Shukla A, Ray L, 2015. Studies on Cr(VI), Pb(II) and Cu(II) adsorption–desorption using calcium alginate as biopolymer. *Chemical Speciation & Bioavailability*, 19(1):17-24.
- Ramalingam B, Khan MMR, Mondal B, Mandal AB, Das SK, 2015. Facile Synthesis of Silver Nanoparticles Decorated Magnetic-Chitosan Microsphere for Efficient Removal of Dyes and Microbial Contaminants. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 3(9):2291-2302.
- Soni A, Tiwari A, Bajpai AK, 2014. Removal of Malachite green from aqueous solution using nano-iron oxide-loaded alginate microspheres: Batch and column studies. *Research on Chemical Intermediates*, 40(3):913-930.
- Tang S, Chia GH, Lee HK, 2015. Magnetic core-shell iron(II,III) oxide@layered double oxide microspheres for removal of 2,5-dihydroxybenzoic acid from aqueous solutions. *J. Colloid Interface Sci*, 437:316-323.
- Török A, Buta E, Indolean C, Tonk S, Silaghi-Dumitrescu L, Majdik C, 2015. Biological removal of triphenylmethane dyes from aqueous solution by Lemna minor. *Acta Chimica Slovenica*, 62(2):452-461.
- Üçüncü E, Özkan AD, Kurşungöz C, Ülger ZE, Ölmez TT, Tekinay T, Ortaç B, Tunca E, 2014. Effects of laser ablated silver nanoparticles on Lemna minor. *Chemosphere*, 108:251-257.
- Üçüncü E, Tunca E, Fikirdeşici S, Özkan AD, Altındağ A, 2013. Phytoremediation of Cu, Cr and Pb mixtures by Lemna minor. *Bull Environ Contam Toxicol*, 91(5):600-604.
- Vu HC, Dwivedi AD, Le TT, Seo SH, Kim EJ, Chang YS, 2017. Magnetite graphene oxide encapsulated in alginate beads for enhanced adsorption of Cr(VI) and As(V) from aqueous solutions: Role of crosslinking metal cations in pH control. *Chemical Engineering Journal*, 307:220-229.
- Wang F, Lu X, Li XY, 2016. Selective removals of heavy metals (Pb²⁺, Cu²⁺, and Cd²⁺) from wastewater by gelation with alginate for effective metal recovery. *J. Hazard. Mater.*, 308:75-83.

- Wu L, Lin X, Zhou X, Luo X, 2016. Removal of uranium and fluorine from wastewater by double-functional microsphere adsorbent of SA/CMC loaded with calcium and aluminum. *Applied Surface Science*, 384:466-479.
- Yang F, Liu H, Qu J, Paul Chen J, 2011. Preparation and characterization of chitosan encapsulated *Sargassum* sp. biosorbent for nickel ions sorption. *Bioresour Technol*, 102(3):2821-2828.
- Zeng L, Chen Y, Zhang Q, Guo X, Peng Y, Xiao H, Chen X, Luo J, 2015. Adsorption of Cd(II), Cu(II) and Ni(II) ions by cross-linking chitosan/rectorite nano-hybrid composite microspheres. *Carbohydrate polymers*, 130:333-343.
- Zheng E, Dang Q, Liu C, Fan B, Yan J, Yu Z, Zhang H, 2016. Preparation and evaluation of adipic acid dihydrazide cross-linked carboxymethyl chitosan microspheres for copper ion adsorption. *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp*, 502:34-43.
- Zhou L, Wang Y, Liu Z, Huang Q, 2009. Characteristics of equilibrium, kinetics studies for adsorption of Hg(II), Cu(II), and Ni(II) ions by thiourea-modified magnetic chitosan microspheres. *J Hazard Mater*, 161(2-3):995-1002.
- Zhou Y, Min Y, Qiao H, Huang Q, Wang E, Ma T, 2015. Improved removal of malachite green from aqueous solution using chemically modified cellulose by anhydride. *Int J Biol Macromol*, 74:271-277.
- Zhu H, Fu Y, Jiang R, Yao J, Xiao L, Zeng G, 2014. Optimization of Copper(II) Adsorption onto Novel Magnetic Calcium Alginate/Maghemite Hydrogel Beads Using Response Surface Methodology. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53(10):4059-4066.

Tahtalı, Davuldere ve Çayırköy Göletlerinin (Kocaeli) Algleri ve Su Kaliteleri Üzerine Bir ÇalışmaArzu MORKOYUNLU YÜCE^{1*}, Murat AKTAŞ²

ÖZET: Bu çalışmada, Şubat 2018-Kasım 2018 tarihleri arasında Tahtalı, Davuldere ve Çayırköy Göletlerinin (Kocaeli) fitoplankton kompozisyonları ve bazı su kalitesi parametreleri belirlenmiştir. Alglerin, baskınlık, sıklık ve çeşitlilik indeksleri (Shannon-Weaver, Simpson, Pielou ve Margalef indeksi) tespit edilmiştir. Göletlerde yayılış gösteren fitoplankton taksonları, bu taksonların mevsimsel değişimleri incelenmiştir. Göletlerin algal florasında 26 Bacillariophyta, 10 Chlorophyta, 3 Cyanobacteria, 3 Miozoa, 8 Charophyta, 2 Ochrophyta ve 10 Euglenozoa üyesi olmak üzere toplam 62 takson tespit edilmiştir. Bu taksonlardan, *Parvodinium goslaviense* (Woloszynska) Carty ve *Jadwigia neglecta* (A.J. Schilling) Moestrup Türkiye tatlısu alg florası için yeni kayıttır. Göletlerde Bacillariophyta grubunun baskın olduğu belirlenmiştir. Tahtalı, Davuldere ve Çayırköy göletleri, yerüstü su kalitesi yönetmeliğine'ne göre değerlendirildiğinde, genel olarak I. sınıf su kalitesi özelliğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Tahtalı Göleti çevresinde yapılan tarımsal faaliyetlerden dolayı, Nitrat azotu (NO₃⁻) biraz yüksek tespit edilmiştir. Margalef indeksi'ne göre, Çayırköy Göletinin en yüksek tür zenginliğe sahip olduğu belirlenmiştir. Pielou düzenlilik indeksine göre, türler arasında birey sayılarının orta düzenli olduğu belirlenmiştir. Simpson ve Shannon-Weaver indeksine göre, dominantlığın az, tür sayısının çok olduğu belirlenmiştir. Göletler, trofik durum indeksine göre değerlendirildiğinde, göletlerin trofik durumunun orta -iyi kalite su özelliğine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alg, Gölet, Su kalitesi, İndeks

A Study On Algae And Water Qualities Of Tahtalı, Davuldere And Çayırköy Ponds (Kocaeli)

ABSTRACT: In this study, some water quality parameters and phytoplanktonic algae compositions of Tahtalı, Davuldere and Çayırköy Ponds (Kocaeli) were determined between February 2018 and November 2018. Algae distribution, dominance, frequency and diversity index (Shannon-Weaver, Simpson, Pielou and Margalef index) in ponds were calculated. Phytoplankton taxa spreading in ponds and seasonal variations of these taxa were investigated. Algal flora of ponds, consisted of 62 taxa, 26 taxa of Bacillariophyta, 10 taxa of Chlorophyta, 3 taxa of Cyanobacteria, 3 taxa of Miozoa, 8 taxa of Charophyta, 2 taxa of Ochrophyta and 10 taxa of Euglenozoa were identified. From these taxa, *Parvodinium goslaviense* (Woloszynska) Carty and *Jadwigia neglecta* (A.J.Schilling) Moestrup, are new records for Turkey. Bacillariophyta group was determined to be the dominant group in ponds. Tahtalı, Davuldere and Çayırköy ponds were evaluated according to surface water quality regulation, Found to have class I water quality characteristics. Due to agricultural activities around the Tahtalı Pond, nitrate nitrogen (NO₃⁻) was found to be slightly higher than the others. According to Margalef index Çayırköy pond was determined to have the highest species richness. According to the Pielou regularity index, the number of individuals among species was found to be moderately regular. According to Simpson and Shannon-Weaver index, the dominance was low and the number of species was high in ponds. When the ponds were evaluated according to the trophic status index, it was found that all ponds have medium-good quality water characteristics.

Keywords: Algae, Pond, Water quality, Index

¹ Arzu MORKOYUNLU YÜCE (Orcid ID: 0000-0002-3678-4930), Kocaeli Üniversitesi, Hereke Asım Kocabıyık MYO, Çevre Temizlik Hizmetleri Bölümü, Kocaeli, Türkiye

² Murat AKTAŞ (Orcid ID: 0000-0001-9649-5834), Başiskele İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü, Kocaeli, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Arzu MORKOYUNLU YÜCE, e-mail: arzu.yuce@kocaeli.edu.tr

GİRİŞ

Son yıllarda, artan çevresel etkiler ve küresel ısınma, su kaynakları üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Su kaynaklarımızın, su kalitesi özelliklerinin tespit edilmesi, iyileştirilmesi ve sürdürülebilir bir şekilde korunması büyük önem arz etmektedir. Su Çerçeve Direktifi, su kalitesinin belirlenmesinde, fiziksel ve kimyasal değişkenlerin yanı sıra sucul flora ve fauna bileşenlerinin de incelenmesi ve değerlendirilmesinin daha sağlıklı bir sonuç oluşturacağı belirtmektedir. Bu nedenle, çeşitli su kaynaklarındaki su kalitesinin belirlenmesinde biyolojik bileşenler kullanılarak da sonuç oluşturulmaktadır (Eloranta ve Sojnenen, 2002; Solak ve Acs, 2011; Çiçek ve Ertan, 2015; Sevindik ve Küçük, 2016).

Algler, organik karbon bileşiklerinin temel üreticileri olup, yaşamın temelini oluştururlar (Durgut, 2017). Besin değeri yüksek olan algler, sucul organizmalar için besin, vitamin ve iz elementlerin en önemli kaynağıdır. Algler ayrıca, fiziksel, kimyasal ve biyolojik şartları ile dinamik sistemler olan sucul ekosistemlerde değişimlere güçlü tepki vermelerinden dolayı kirlilik ve ötrofikasyon belirleyicisi olarak da işlev görmektedirler (Rawson, 1956; Trifonova, 1998; Maraşlıoğlu ve ark., 2005; Wetzel, 2001; Reynolds ve ark., 2002).

Dünyada, su kalitesi izleme çalışmalarında yaygın olarak trofik indeksler kullanılmaktadır (Kelly ve Whitton, 1995; Acs ve ark., 2004; Besse-Lototskaya ve ark., 2011). Bu çalışmalar, Türkiye’de 2000’li yıllardan sonra önem kazanmaya başlamıştır (Barlas ve ark., 2001; Solak ve Acs, 2011). Yapılan bir araştırmada, Karasu Nehri (Erzurum)’nin su kalitesini belirlerken ilk kez üç farklı indeks (TDI, SI ve IDG) kullanılmıştır (Gürbüz ve Kıvrak, 2002). OMNIDIA yazılım programı ise ilk defa Akçay’ın su kalitesinin belirlenmesinde kullanılmıştır (Solak ve ark., 2007). Batı Anadolu da yer alan bazı dere ve akarsularda yapılan bir araştırmada, trofik indeks Türkiye (TIT) değerleri ile trofik durum tespit edilmiştir (Çelekli ve ark., 2019).

Bu çalışmada, Çayırköy (Bıçkıdere), Davuldere ve Tahtalı göletlerine ait alg türleri ve su kalitesi parametreleri belirlenmiştir. Bu veriler ışığında, göletlerin trofik durumları tespit edilmiştir. Bu göletlerin ekolojik ve biyolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen ilk çalışmadır. Bu çalışma kapsamında, göletlerin mevcut durumlarının belirlenmesi, sürdürülebilir çevre yönetimi planlarında kullanılabilecek güvenilir veri tabanlarının oluşturulması hedeflenmiştir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Araştırma Alanları

Bu çalışma, Türkiye’nin Marmara Bölgesinde yer alan Kocaeli İlindeki 3 gölette (Çayırköy Göleti, Davuldere Göleti, Tahtalı Göleti) yapılmıştır. Bu göletler birbirlerine, yaklaşık 10 – 12 km. mesafe uzaklıkta olup, çevrelerinde tarımsal alanlar mevcuttur. Bu göletlerden Şubat 2018-Kasım 2018 tarihleri arasında, mevsimsel (Şubat, Nisan, Temmuz, Kasım) olarak alınan su örneklerinde yayılışları bulunan alg grupları, çeşitlilikleri, bollukları ile su kalitesini etkileyen bazı parametreler de belirlenmiştir.

Çayırköy (Bıçkıdere) Göleti

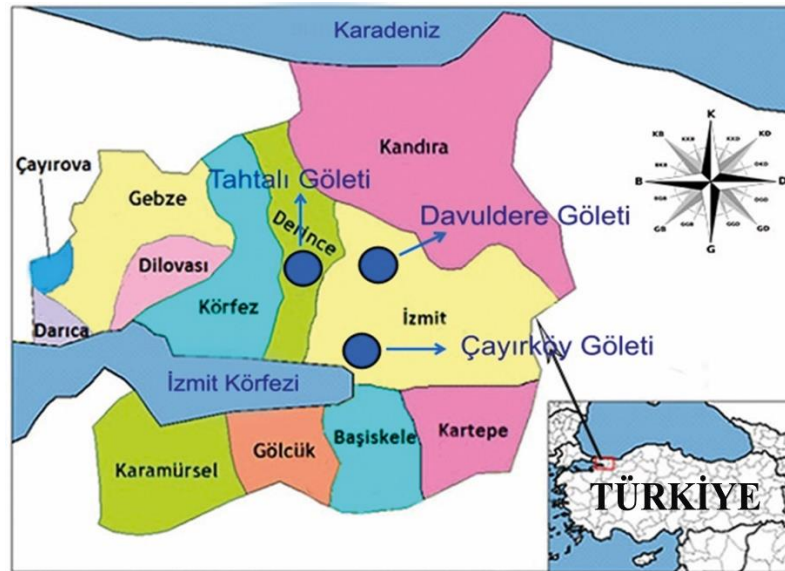
Çayırköy (Bıçkıdere) Göleti (40° 48’ 18’’ N, 29° 57’ 35’’ E), sulama ve taşkın önleme amacıyla 1977-1978 tarihleri arasında inşa edilmiştir. Homojen toprak dolgu tipindedir. Yüzölçümü 0.41 km², hacmi ise 2.39 hm³’tür. Gölün etrafı genel olarak tarla ve çayırlarla kaplıdır. Kuzey tarafı ise bataklık görünümündedir. En derin kısmı yaklaşık 20 metre olup, gölet yaklaşık 27 km²’lik bir alandan yağış sularıyla da beslenmektedir (Anonim, 2018). Göl fazla sularını güney kısmında yer alan çıkış ayağı ile tahliye etmektedir (Şekil 1).

Davuldere Göleti

Davuldere Göleti (40° 52' 37" N, 30° 3' 17" E), sulama amacıyla 1994 yılında yapılmıştır. Homojen toprak dolgu tipindedir. Yüzölçümü 0.29 km², hacmi ise 1.40 hm³'tür (Anonim, 2018). Gölün etrafı genel olarak tarla ve çayırlarla kaplıdır. En derin kısmı yaklaşık 15 metre olup, gölet yaklaşık 17 km²'lik bir alandan yağış sularıyla da beslenmektedir. Gölün fazla suları kuzey kısmında yer alan çıkış ayağı ile tahliye edilmektedir (Şekil 1).

Tahtalı Göleti

Tahtalı Göleti (40° 54' 39" K, 29° 49' 37" D), sulama amacıyla 1982 yılında yapılmış ve inşaatı tamamlanmıştır. Yüzölçümü 1.2 km², hacmi ise 7.20 hm³'tür. Gölün çevresi genel olarak tarla ve çayırlarla kaplıdır. En derin kısmı yaklaşık 28 metre olup, gölet yaklaşık 25 km²'lik bir alandan yağış sularıyla da beslenmektedir (Anonim, 2018). Gölün fazla suları batı kısmında yer alan çıkış ayağı ile tahliye edilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Araştırma bölgesi ve araştırma istasyonları

Göletlere ait Örneklerin Toplanması ve Analiz Metotları

Çayırköy (Bıçkıdere), Davuldere ve Tahtalı Göletlerine ait fiziksel ve kimyasal parametreler (O₂, pH, sıcaklık, elektriksel iletkenlik) örnek alma sırasında, göletlere ait 2 istasyon olmak üzere toplam 6 istasyonda, arazi tipi YSI marka cihazla insitu olarak ölçülmüştür. Araştırma laboratuvarına getirilen su örneklerinde sülfat, sülfid, amonyak azotu, nitrit azotu, nitrat azotu, serbest klor, potasyum, çinko, demir, bakır, ortofosfat standart metotlara göre, Shimadzu Uvmini- 1240 marka spektrofotometre kullanılarak ölçülmüştür (APHA,1995). Fitoplanktonun tür kompozisyonunu belirlemek amacıyla, her bir göletten 2 istasyon seçilmiş, toplam 6 istasyondan 1 L.'lik ağzı geniş plastik kaplar ile yüzey suyu örnekleri alınmıştır. Su örneklerinden 10 cm³'lük cam silindirlere boşaltılarak üzerlerine iki damla lügol çözültisi damlatılmıştır. Çökmeye bırakılan planktonik algler 12 saat sonra, sedimentasyon çemberi'ne aktarılarak mikroskopta, ilgili metoda göre sayılmış ve sonuçlar cm³ de bulunan organizma olarak verilmiştir (Utermöhl, 1958). Sayımlarda koloni ve ipliksi her organizma bir birey olarak kabul edilmiştir. Bacillariophyta üyelerinin, sabit preparatları için, yoğunlaştırılan su örneklerinden alınarak, 25 ml'lik beherlere 20'şer ml. konulmuştur. Beherlere 1'er ml., 1/1 oranındaki derişik H₂SO₄ ve HNO₃ karışımından ilave edilerek karışım 15-20 dakika çeker ocakta 105 °C' de kaynatılmıştır. Örneklerin

asiditesinin giderilmesi için bir hafta günde en az iki defa saf suda yıkanmıştır. Daha sonra üzerindeki su sifonlanarak dipte kalan sulu beyaz tortu saklama kaplarına konulmuştur. Entellan ortam maddesi kullanılarak daimi preparat haline getirilmiştir (Round, 1953). Tür teşhisleri konuyla ilgili kaynaklardan yararlanılarak yapılmıştır (Patrick ve Reimer, 1975; Krammer ve Lange-Bertalot, 1991a; 1991b; 1999a; 1999b; John ve ark.,2002). Teşhis edilen alg türleri, alg veri tabanlarından yararlanılarak kontrol edilmiştir (Guiry ve Guiry, 2019; Maraşlıoğlu ve Gönülol, 2019). Araştırmada, göletlerde tespit edilen alglerin, baskınlık, sıklık analizleri ve çeşitlilik indeks değerleri (Shannon-Weaver, Simpson, Pielou, Margalef indeks) belirlenmiştir (Jørgensen ve ark., 2016).

BULGULAR

Bu çalışmada, Şubat 2018-Kasım 2018 tarihleri arasında, Kocaeli İli sınırları içerisinde bulunan Tahtalı, Davuldere ve Çayırköy Göletlerinin bazı su kalitesi parametreleri mevsimsel olarak tespit edilmiştir. Araştırmada, tüm göletlere ait yapılan analizlerde, çinko, demir, bakır ve ortofosfat değerleri 0.001 mg L^{-1} 'den düşük olarak belirlendiği için çizelge 1'de verilmemiştir. Diğer su kalitesine ait bulgular çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Göletlere ait su kalitesi parametreleri

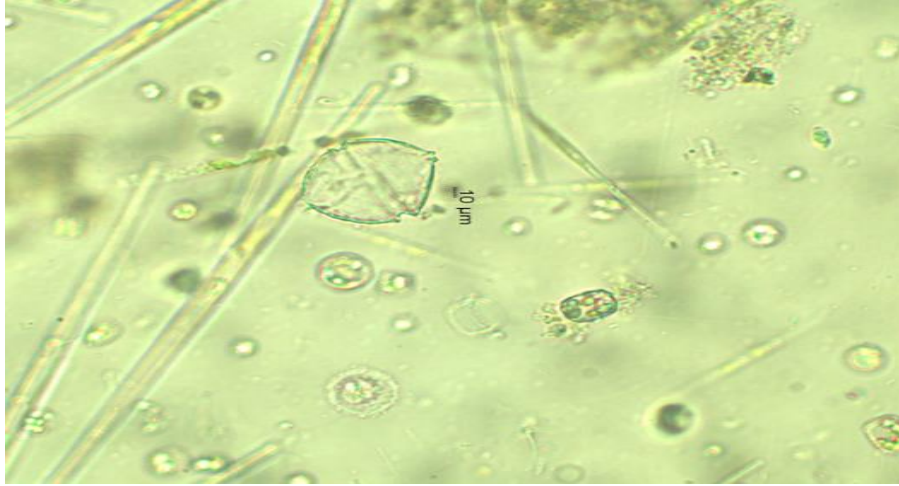
Su kalitesi parametreleri	Çayırköy Göleti	Davuldere Göleti	Tahtalı Göleti
pH	7.80 – 8.20	7.78-7.98	7.22-8.71
	7.97 ± 0.20	7.87 ± 0.820	7.95 ± 0.62
Elektriksel iletkenlik ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	400.21 – 554.22	240.32 – 345.34	350.11 – 402.23
	470.88 ± 32.78	272.91 ± 28.76	370.83 ± 22.45
Çözünmüş oksijen (mg L^{-1})	7.22 -8.12	9.23 -10.41	8.75 – 10.21
	7.80 ± 0.42	9.77 ± 0.53	9.47 ± 0.72
Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	9.00 – 21.00	8.00 – 23.00	7.00 – 22.00
	15.25 ± 5.05	15.75 ± 6.34	15.00 ± 6.48
Amonyak azotu (mg L^{-1})	0.05 – 0.08	0.04 – 0.09	0.11 -0.21
	0.06 ± 0.01	0.06 ± 0.01	0.10 ± 0.01
Nitrat azotu (mg L^{-1})	0.18 – 0.47	0.31 – 2.77	1.60 – 6.16
	0.28 ± 0.01	1.31 ± 0.06	3.36 ± 1.03
Nitrit azotu (mg L^{-1})	0.01 – 0.03	0.03 – 0.08	0.07 – 0.06
	0.02 ± 0.001	0.05 ± 0.022	0.06 ± 0.002
Sülfid (mg L^{-1})	0.01 -0.03	0.01 -0.04	0.01 -0.03
	0.02 ± 0.001	0.02 ± 0.002	0.02 ± 0.009
Potasyum (mg L^{-1})	1.65-3.09	1.43 - 4.24	1.73 – 2.78
	2.17 ± 0.65	2.83 ± 1.27	2.43 ± 0.48
Serbest klor (mg L^{-1})	0.01 -0.03	0.05 -0.17	0.01 - 0.03
	0.02 ± 0.001	0.01 ± 0.005	0.02 ± 0.001

Tahtalı, Davuldere ve Çayırköy göletleri, Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne (Anonim, 2012) göre değerlendirildiğinde, genel olarak I. sınıf su kalitesi özelliğine sahip olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 2). Tahtalı Göleti çevresinde yapılan tarımsal faaliyetlerden dolayı, Nitrat azotu (NO_3^-), diğer göletlere göre biraz yüksek tespit edilmiştir. Bu değer, kıta içi yerüstü su kaynakları kalite kriterlerine göre II. sınıfa yaklaştığı belirlenmiştir.

Çizelge 2. Kıta içi yerüstü su kaynakları kalite kriterleri

Su Kalite Parametreleri	Su Kalite Sınıfları			
	I	II	III	IV
pH	6-9	6-9	6-9	6-9
İletkenlik ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	<400	1000	3000	> 3000
Çözünmüş oksijen (mg L^{-1})	> 8	6	3	<3
Amonyum azotu (mg L^{-1})	<0,2	1	2	> 2
Nitrat azotu (mg L^{-1})	<3	10	20	> 20
Toplam fosfor (mg L^{-1})	<0,08	0,2	0,8	> 0,8

Çalışmada, tüm göletlerde, Bacillariophyta'ya ait 26, Chlorophyta'ya ait 10, Cyanobacteria'ya ait 3, Miozoa'ya ait 3, Charophyta'ya ait 8, Ochrophyta'ya ait 2 ve Euglenozoa'ya ait 10 takson olmak üzere toplam 62 takson tespit edilmiştir. Göletlerdeki türler Çizelge 3'de, Türkiye tatlısu algleri için yeni kayıt olarak belirlenen türler Şekil 2-3'de verilmiştir.



Şekil 2. *Parvodinium goslaviense* (Woloszynska)



Şekil 3. *Jadwigia neglecta* (A.J.Schilling) Moestrup

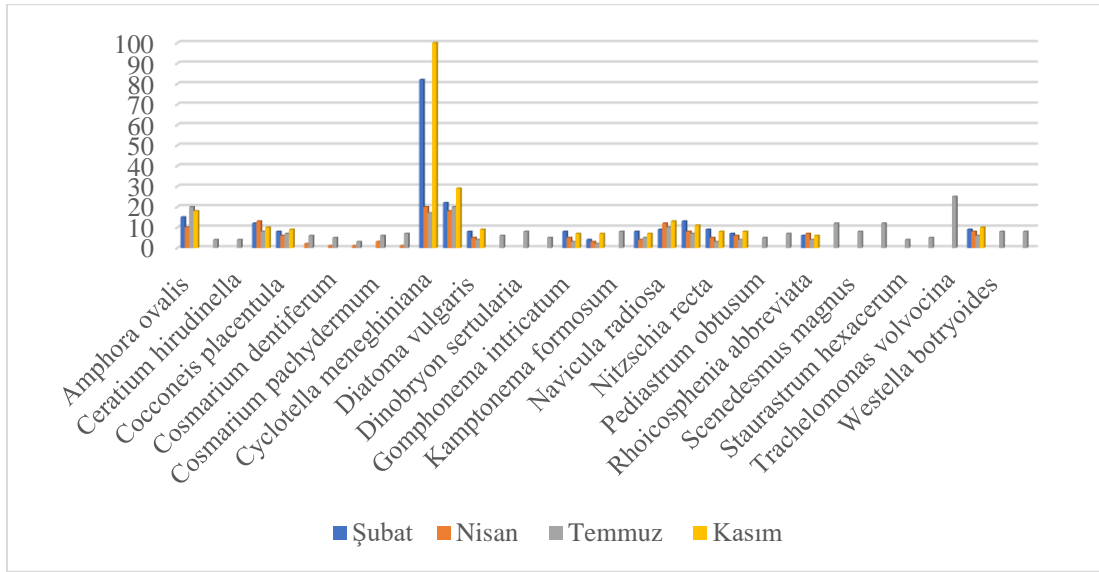
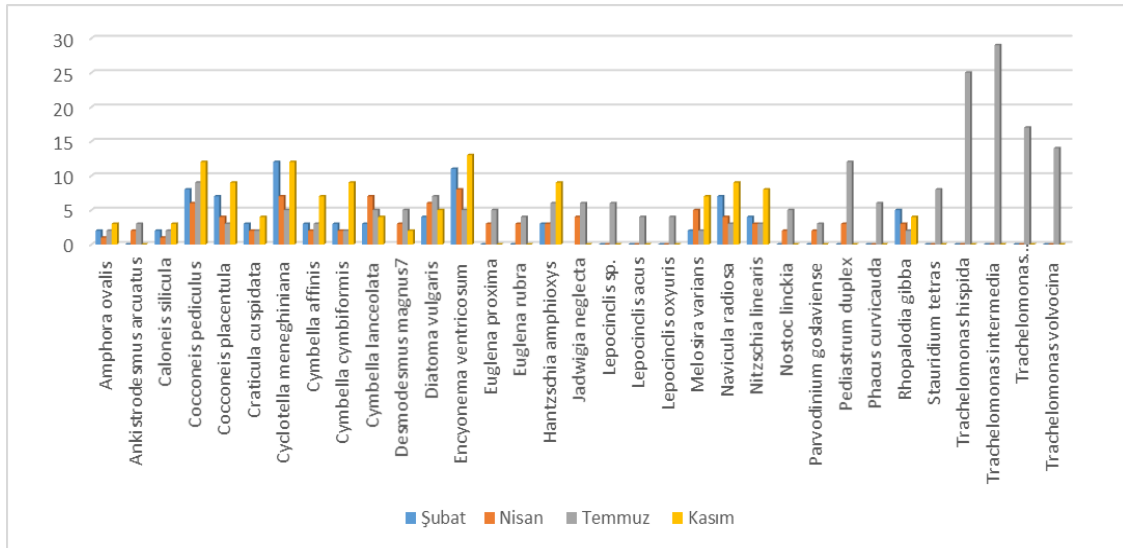
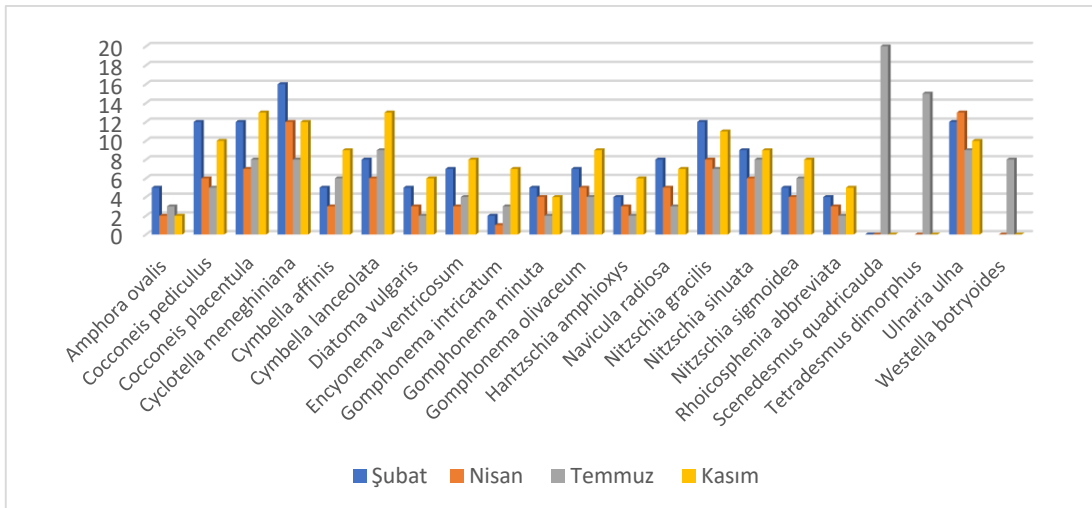
Çizelge 3. Göletlerde tespit edilen taksonlar

Taksonlar	Çayırköy	Davuldere	Tahtalı
Bacillariophyta			
<i>Amphora ovalis</i> (Kütz.) Kütz.	+	+	+
<i>Caloneis silicula</i> (Ehrb.) Cleve	-	+	-
<i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenb.	+	+	+
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenb.	+	+	+
<i>Craticula cuspidata</i> (Kütz.) D.G.Mann	-	+	-
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kütz.	+	+	+
<i>Cymbella affinis</i> Kütz.	+	+	+
<i>Cymbella cymbiformis</i> C.Agardh	-	+	-
<i>Cymbella lanceolata</i> (C.Agardh) C.Agardh	-	+	+
<i>Diatoma vulgare</i> Bory.	-	+	+
<i>Encyonema ventricosum</i> (C.Agardh) Grunow	-	+	+
<i>Epithemia sorex</i> Kütz.	+	-	-
<i>Gomphonema intricatum</i> Kütz.	+	-	+
<i>Gomphonema minuta</i> P.Fusey	-	-	+
<i>Gomphonema olivaceum</i> (Horn.) Brébisson	-	-	+
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenb.) Grunow	+	+	+
<i>Melosira varians</i> Agardh	+	+	-
<i>Navicula radiosa</i> Kütz.	+	+	+
<i>Nitzschia gracilis</i> Hantzsch	-	-	+
<i>Nitzschia linearis</i> W.Smith	+	+	-
<i>Nitzschia recta</i> Hantzsch ex Rabenhorst	+	-	-
<i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch) W.Smith	-	-	+
<i>Nitzschia sinuate</i> (Thwaites) Grunow	+	-	+
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot	+	-	+
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrb.) Otto Müller	-	+	-
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère	+	-	+
Chlorophyta			
<i>Ankistrodesmus arcuatus</i> Korshikov	+	+	-
<i>Coelastrum sphaericum</i> Nägeli	+	-	-
<i>Desmodesmus magnus</i> (Meyen) Tsarenko	+	+	-
<i>Scenedesmus arcuatus</i> (Lemm.) Lemm.	+	-	-
<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Brébisson	-	-	+
<i>Pediastrum duplex</i> Meyen	-	+	-
<i>Pediastrum obtusum</i> Lucks	+	-	-
<i>Stauridium tetras</i> (Ehrenberg) E.Hegewald	+	+	-
<i>Westella botryoides</i> (West) De Wildeman	+	-	+
<i>Tetrademus dimorphus</i> (Turpin) M.J.Wynne	-	-	+
Cyanobacteria			
<i>Kamptomena formosum</i> (Bory ex Gomont) Strunecký, Komárek & J.Smarda	+	-	-

<i>Nostoc linckia</i> Bornet ex Bornet & Flahault	+	+	-
<i>Planktothrix rubescens</i> (De Candolle ex Gomont) Anagnostidis & Komárek	+	-	-
Miozoa			
<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller) Dujardin	+	-	-
<i>Jadwigia neglecta</i> (A.J.Schilling) Moestrup	+	+	-
<i>Parvodinium goslaviense</i> (Woloszynska) Carty	-	+	-
Charophyta			
<i>Cosmarium dentiferum</i> Corda ex Nordstedt	+	-	-
<i>Cosmarium granatum</i> Brébisson ex Ralfs	+	-	-
<i>Cosmarium pachydermum</i> P.Lundell	+	-	-
<i>Cosmarium subprotumidum</i> Nordstedt	+	-	-
<i>Spirogyra</i> sp.	+	-	-
<i>Staurastrum hexacerum</i> Wittrock	+	-	-
<i>Staurastrum tetracerum</i> Ralfs ex Ralfs	+	-	-
<i>Zygnema</i> sp.	+	-	-
Ochrophyta			
<i>Dinobryon divergens</i> O.E.Imhof	+	-	-
<i>Dinobryon sertularia</i> Ehrenb.	+	-	-
Euglenozoa			
<i>Euglena rubra</i> A.D.Hardy	+	+	-
<i>Euglena proxima</i> P.A. Dangeard	-	+	-
<i>Lepocinclis</i> sp.	-	+	-
<i>Lepocinclis acus</i> (O.F.Müller) B.Marin & Melkonian	-	+	-
<i>Lepocinclis oxyuris</i> (Schmarda) B.Marin & Melkonian	-	+	-
<i>Phacus curvicauda</i> Svirenko	-	+	-
<i>Trachelomonas hispida</i> (Perty) F.Stein	-	+	-
<i>Trachelomonas intermedia</i> P.A.Dangeard	-	+	-
<i>Trachelomonas planktonica</i> var. <i>oblonga</i> Drezep.	-	+	-
<i>Trachelomonas volvocina</i> (Ehrenb.) Ehrb.	+	+	-

Göletlere ait fitoplanktonda, Bacillariophyta üyeleri her mevsim bulunmakla birlikte, Chlorophyta, Cyanobacteria, Miozoa, Charophyta, Ochrophyta ve Euglenozoa'ya ait türlerinin sıcaklığın yüksek olduğu temmuz ayında yayılışlarının bulunduğu tespit edilmiştir. Tahtalı göletinin, diğer göletlere göre yüzölçümünün ve derinliğinin büyük olması, su hareketleri ve yaklaşık 25 km²'lik bir alandan yağış sularıyla da beslenmesi nedeniyle, daha ılıman ve sığ sularda gelişme imkanı bulan türlere rastlanılmamıştır. Göletlerin fitoplanktonik organizmalarına ait mevsimsel değişimleri Şekil 4-6'da verilmiştir.

Göletlere ait türler kantitatif olarak değerlendirildiğinde, *Amphora ovalis*, *Cocconeis pediculus*, *Cocconeis placentula*, *Cyclotella meneghiniana*, *Cymbella affinis*, *Navicula radiosa* taksonları en bol ve yaygın olarak tespit edilmiştir. Davuldere Göleti'nde *Trachelomonas intermedia* yalnızca temmuz ayında bol olarak belirlenmiştir. Alglerin göletlere göre hesaplanan Margalef, Pielou, Simpson, Shannon-Weaver indeksleri Çizelge 4 'de verilmiştir.

Şekil 4. Çayırköy Göleti baskın fitoplankton türlerinin mevsimsel değişimi (org/cm⁻³)Şekil 5. Davuldere Göleti baskın fitoplankton türlerinin mevsimsel değişimi (org/cm⁻³)Şekil 6. Tahtalı Göleti baskın fitoplankton türlerinin mevsimsel değişimi (org/cm⁻³)

Algler, Margalef zenginlik indeksine göre en düşük 3.20 değer Tahtalı Göletinde, en yüksek zenginlik indeksi 530 değer ile Çayırköy Göletinde tespit edilmiştir. Pielou düzenlilik indeksine göre en düşük 0.57 değer ile Tahtalı Göleti olmuş, en yüksek 0.66 değer ile Davuldere Göleti olarak tespit edilmiştir. Simpson çeşitlilik indeksine göre en düşük çeşitlilik 0.90 değer ile Çayırköy Göletinde, en yüksek çeşitlilik 0.95 Davuldere Göletinde tespit edilmiştir. Shannon-Weaver çeşitlilik indeksine göre en düşük çeşitlilik 2.94 değer ile Tahtalı Göletinde, en yüksek çeşitlilik 3.31 değer ile Davuldere Göletinde tespit edilmiştir. Trofik durum indeks değerleri üç gölette de birbirine yakın değerlerde olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4. Göletlere ait indeks değerleri

İndeks	Kısaltma	İndeks aralığı	Çayırköy	Davuldere	Tahtalı
Margalef indeksi	(Dmg)	limitsiz	5.30	5.14	3.20
Pielou indeksi	Ep	0-1 arasında limitli	0.65	0.66	0.57
Simpson indeksi	(1/D)	0-1 arasında limitli	0.90	0.95	0.94
Shannon-Weaver indeksi	(H')	0-5 arasında limitli	2.97	3.31	2.94

TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada, Şubat 2018-Kasım 2018 tarihleri arasında Tahtalı, Davuldere ve Çayırköy Göletlerinde belirlenen 6 istasyondan örnekler alınmıştır. Göletlerin algal florasında 26 Bacillariophyta, 10 Chlorophyta, 3 Cyanobacteria, 3 Miozoa, 8 Charophyta, 2 Ochrophyta ve 10 Euglenozoa üyesi olmak üzere toplam 62 takson tespit edilmiştir. Bu taksonlardan, *Parvodinium goslaviense* (Woloszynska) Carty ve *Jadwigia neglecta* (A.J.Schilling) Moestrup Türkiye tatlısu alg florası için yeni kayıttır. Tüm göletlerde, Bacillariophyta üyelerinin tür sayısı ve türlere ait bireyler bakımından önemli alg grubunu oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu türler, ülkemiz tatlı su ekosisteminde de yer alan kozmopolit türlerdir. Göletlerin fitoplanktonunda tespit edilen *C. pediculus* ve *U. ulna* taksonları aynı zamanda bentik topluluk içinde de kaydedilmiştir. Pennales ordosu üyeleri gerçek planktonik türler olmamakla birlikte, ülkemizde bulunan birçok lentik ve lotik ekosistemlerde de tespit edilmiştir (Gönüloğlu, 1996; Aysel, 2005). Bu taksonlar dalga hareketleri, ölümler sonucu epilitik ve epifitik floradan koparak sucul sisteme karışmakta ve su örneklerinde tespit edilmektedirler. Bacillariophyta'nın tür çeşitliliği bakımından diğer sınıflara oranla baskın olduğu, Aygır ve Balıklı Gölleri, Palandöken Göleti, Keban Baraj Gölü, Uluabat Gölü, Sarıyar Baraj Gölü, Yedikır Baraj Gölü ve Badam Baraj Gölü'nde yapılan çalışmalarda da bildirilmiştir. (Şahin, 2000; Gürbüz, 2000; Pala, 2002; Karacaoğlu ve ark.,2004; Atıcı ve Obalı, 2006; Maraşlıoğlu ve Gönüloğlu,2014; Zhuzbayeva ve Atıcı,2016). Göletlere ait türler kantitatif olarak değerlendirildiğinde, *Amphora ovalis*, *Cocconeis pediculus*, *Cocconeis placentula*, *Cyclotella meneghiniana*, *Cymbella affinis*, *Navicula radiosa* taksonları en bol ve yaygın olarak tespit edilmiştir. Ülkemizde yapılan çalışmalarda, göletlere benzer olarak *Navicula*, *Cymbella* ve *Gomphonema* genuslarının diğerlerine göre daha fazla takson içerdiği tespit edilmiştir (Şahin,1992; Zhuzbayeva ve Atıcı,2016). Göletler ait bulgularda, sık olarak belirlenen *Navicula radiosa* türüne Keban Baraj Gölü ve Badam Baraj Gölü'nde de rastlanmıştır (Çetin ve Şen 1998; Zhuzbayeva ve Atıcı,2016). Lentik bir ekosistemde, fitoplanktonik organizmaların kompozisyonu, yoğunluğu ve mevsimsel yayılışları üzerinde fiziksel ve kimyasal faktörlerin etkisi büyüktür. Özellikle Chlorophyta ve Cyanobacteria, üyelerinin, sıcaklığın yüksek olduğu ve uzun fotoperiyodun bulunduğu yaz aylarında yoğunlukları fazladır (Gönüloğlu ve Arslan,1992). Bu duruma, göletlerin fitoplanktonunda da rastlanılmıştır. Göletlerin fitoplanktonuna ait veriler değerlendirildiğinde, oligo-mesotrofik sularda yayılış gösteren *Cosmarium*, *Staurastrum* taksonları ve

mesotrofik tabakalaşmış göllerin metalimniyonunu gösteren *Planktothrix rubescens* taksonu Çayırköy Göletinde yaz mevsiminde tespit edilmiştir. Bütün göletlerde, besince zengin göllerde yer alan, *Pediastrum*, *Scenedesmus* taksonları, Çayırköy göletinde ise yaz epilimniyonunda bulunan *Ceratium* taksonu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, sığ mesotrofik göllerde dipten karışan türler olarak belirtilen *Trachelomonas* taksonlarına Davuldere Göletinde yaz mevsiminde bol olarak rastlanılmıştır (Fakioğlu ve Demir, 2011). Ankara Çayı'nda yapılan bir çalışmada, *Oscillatoria tenuis*, *Pediastrum dublex*, *Cyclotella meneghiniana*, *Ulnaria ulna*, *Achnanthes lanceolata*, *Cymbella lanceolata*, *Pinnularia brebissonii*, *Rhoicosphaenia curvata*, *Gomphonema olivaceum*, *Nitzschia sigmoidea* türleri, çalışmaya ait fiziko-kimyasal veriler ve literatürler ışığında, kirliliğe adapte olmuş organizmalar olarak tespit etmişlerdir (Atıcı ve Ahıska, 2005). Çayırköy Göletinde *Cyclotella meneghiniana*'nın bol bulunduğu, diğer türlerin, göletlerde daha az sayıda bulunduğu tespit edilmiştir. Tahtalı, Davuldere ve Çayırköy göletlerine ait su örneklerindeki, fizikokimyasal parametreler Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği ve Su Kalitesi Kontrolü Yönetmeliği'ne göre değerlendirildiğinde, göletlerde belirlenen sıcaklık değerlerinin mevsimsel şartlara uygun olduğu tespit edilmiştir. Elektriksel iletkenlik değerleri, Çayırköy Göleti'nde $470.88 \mu\text{S cm}^{-1}$, Davuldere Gölet'inde $272.91 \mu\text{S cm}^{-1}$, Tahtalı Gölet'inde $370.83 \mu\text{S cm}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Elektriksel iletkenlik hem jeolojik hem de allohtonik faktörlere göre farklılık göstermektedir. Belirlenen değerlerin, doğal sularda bulunan elektriksel iletkenlik değerleriyle uyumlu olduğu belirlenmiştir. Yıllık ortalama pH değerleri, Çayırköy Göleti'nde 7.97, Davuldere Gölet'inde 7.87, Tahtalı Gölet'inde 7.95 olarak belirlenmiştir. Su Kalitesi Kontrolü Yönetmeliği'nde 1. sınıf sular için verilen değer (pH 6.5 – 8.5), bulgularımızla uyumlu olduğu tespit edilmiştir (Anonim, 2004). Ortalama oksijen değerleri sırasıyla, $7.80 \text{ (mg L}^{-1}\text{)}$, $9.77 \text{ (mg L}^{-1}\text{)}$ ve $9.47 \text{ (mg L}^{-1}\text{)}$ olarak ölçülmüştür. Bu durumun, oksijen ve sıcaklık değerlerinin, mevsimsel olarak değişimine uygun olduğu belirlenmiştir. Göletler, Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğine'ne göre değerlendirildiğinde, genel olarak I. sınıf su kalitesi özelliğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Her üç gölette de demir, bakır ve fosfat değerlerinin 0.001 mg L^{-1} den düşük olduğu, yönetmeliklerde verilen sınır değerlerin çok altında bulunduğu tespit edilmiştir. Göletlere ait su kalitesi parametrelerinin, mevsimsel olarak az çok farklılık göstermesine rağmen, göletlerin benzer su kalitesi yapısına sahip olduğu belirlenmiştir.

Araştırmada, göletlerin Margalef, Pielou, Simpson, Shannon-Weaver çeşitlilik ve trofik durum indeksleri belirlenmiştir. Margalef indeksi'ne göre Çayırköy Göletinin en yüksek tür zenginliğe sahip olduğu, Tahtalı Göletinin en düşük tür zenginliğine sahip olduğu belirlenmiştir. Pielou düzenlilik indeksine göre, göletlerin birbirine yakın değerler gösterdiği, Göletlerde, türler arasında birey sayılarının orta düzenli olduğu belirlenmiştir (Jørgensen ve ark., 2016). Simpson ve Shannon-Weaver indeksine göre, dominantlığın az, tür sayısının çok olduğu bir çeşitliliğin Davuldere Göleti'nde diğer göletlere göre (Zhuzbayeva ve Atıcı, 2016; Maraşlıoğlu ve Soylu, 2017) biraz daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Göletler, trofik durum indeksine göre değerlendirildiğinde, göletlerin trofik durumunun orta-iyi kalite su özelliğine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, çalışma yapılan göletlerin su kalitesi ve ekolojik yönleri açısından, iyi özellikte olduğu belirlenmiştir. Sucul sistemlerin sürdürülebilir yönetimi için, bu göletlerin çevresel etkenlerinin düzenli olarak kontrol edilmesi ve izlenmesi, gelecek nesiller açısından oldukça önem taşımaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Kocaeli Üniversitesi, Bilimsel araştırma proje birimi tarafından yüksek lisans tezi (2017/115) olarak desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Ács, É, Szab K, Tóth B, Kiss KT, 2004. Investigation of benthic algal communities, especially diatoms of some Hungarian streams in connection with reference conditions of the water framework directives. *Acta Bot. Hung.* 46, 255–277.
- Anonim, 2004. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. 31.12.2004 Tarih ve 25687 Sayılı Resmî Gazete, Ankara.
- Anonim, 2012. Yerüstü Su kalitesi Yönetmeliği. 31.12.2012 Tarih ve 28483 Sayılı Resmî Gazete, Ankara.
- Anonim, 2018. DSİ 1. Bölge, 15. Şube Müdürlüğü kayıtları, Kocaeli.
- APHA, 1995. Standart methods for the examination of water and wastewater, 20th ed., Washington, 1268 p.
- Atıcı T, Ahıska S, 2005. Pollution and algae of Ankara Stream. *Gazi University Journal of Science*, 18(1): 51-59.
- Atıcı T, Obalı O, 2006. Seasonal Variation of Phytoplankton and Value of Chlorophyll a in the Sarıyar Dam Reservoir (Ankara, Turkey). *Turkish Journal of Botany*, 30: 349-357.
- Aysel V, 2005. Check-list of the freshwater algae of Turkey. *Journal of the Black Sea/Mediterranean Environment*, 11 (1): 1-124.
- Besse-Lototskaya, A, Verdonschot PFM, Coste M, van de Vijver B, 2011. Evaluation of European diatom trophic indices. *Ecol. Ind.*, 11, 456–467.
- Barlas M, Mumcu F, Dirican S, Solak C N, 2001. Sarıçay (Muğla-Milas)'da yaşayan epilitik diatomların su kalitesine bağlı olarak incelenmesi. IV. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, 5-8 Ekim 2001, Muğla.
- Çelekli A, Toudjani AA, Gümüş Y, Kayhan S, Lekesiz HÖ, Çetin T, 2019. Determination of trophic weight and indicator values of diatoms in Turkish runningwaters for water quality assessment, *Turk J Bot.*43: 90-101.
- Çetin A K, Şen B, 1998. Diatoms (Bacillariophyta) in the phytoplankton of Keban reservoir and their seasonal variations. *Turkish Journal of Botany*, 22: 25-33.
- Çiçek N L, Ertan O Ö, 2015. Köprüçay Nehri (Antalya) Su Kalitesinin Epilitik Diatomlarla Belirlenmesi. *Ege J Fish Aqua Sci* 32(2): 65-78.
- Durgut Z, 2017. Poyrazlar, Küçük Akgöl ve Taşkısı Göllerinin Epilitik Diyatome Komünite Yapısı, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Fakioğlu Ö, Demir N, 2011. Göllerin Ekolojik Durumunun Değerlendirilmesinde Fitoplankton Topluluklarının Kullanılması. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 3(1): 99-106.
- Eloranta P, Sojinen J, 2002. Ecological Status of Some Finnish Rivers Evaluated Using Benthic Diatom Communities. *Journal of Applied Phycology*, 14 (1): 1-7.
- Gönüloğlu A, Arslan N, 1992. Samsun-İncesu Deresi'nin Alg Florası Üzerinde Araştırmalar. *Doğa Turkish Journal of Botany*, 16: 311-314.
- Gönüloğlu A, Öztürk M, Öztürk M, 1996. A check-list of the freshwater algae of Turkey. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fen Dergisi*, 7 (1): 8-46.
- Guiry MD, Guiry GM, 2019. AlgaeBase. World-Wide Electronic Publication, National University Of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org> (Erişim Tarihi: 16.11.2019).
- Gürbüz K, 2000. Palandöken Göleti Bentik Alg Florası Üzerinde Kalitatif ve Kantitatif Bir Araştırma. *Turkish Journal Biology* 24: 31-48.
- Gürbüz H, Kıvrak E, 2002. Use of epilithic diatom to evaluate water quality in the Karasu River of Turkey. *Journal of Environmental Biology*, 23(3): 239–246.
- John DM, Whitton BA, Brook AJ, 2002. *The Freshwater Algal Flora of the British Isles. An Identification Guide to Freshwater and Terrestrial Algae.* Cambridge University Press and Natural History Museum, Cambridge, 702 pp.
- Jørgensen S E, Xu L, Costanza R (Eds.), 2016. *Handbook of ecological indicators for assessment of ecosystem health.* CRC press.
- Karacaoğlu D, Dere Ş, Dalkıran N, 2004. A Taxonomic Study on the Phytoplankton of Lake Uluabat (Bursa), *Turkish Journal of Botany*, 28: 473-485.
- Kelly M G, Whitton BA, 1995. The trophic diatom index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. *J Appl. Phycol.*, 7, 433–444.

- Krammer K, Lange-Bertalot H, 1991a. Süßwasserflora von mitteleuropa Bacillariophyceae 3. Teil: Centrales. Fragilariaceae, Eunotiaceae. Gustav Fischer. 576s.
- Krammer K, Lange-Bertalot H, 1991b. Süßwasserflora von mitteleuropa Bacillariophyceae 4. Teil: Achnanthaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema Gesamtliteraturverzeichnis Teil 1-4. Gustav Fischer. 437s.
- Krammer K, Lange-Bertalot H, 1999a. Bacillariophyceae, 1. Teil. Naviculaceae. In Süßwasser ora von Mitteleuropa. Hiedelberg-Berlin. DE: Spectrum Akademischer Verlag.
- Krammer K, Lange-Bertalot H, 1999b. Bacillariophyceae, 2. Teil. Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In Süßwasser ora von Mitteleuropa. Hiedelberg-Berlin. DE: Spectrum Akademischer Verlag.
- Utermöhl H, 1958. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton – methodik. Mitt. int. Ver. theor. angewan. Limnol. 9: 1–38.
- Maraşlıoğlu F, Soylu E N, Gönüloğlu A, 2005. Seasonal Variation of the Phytoplankton of Lake Ladik Samsun, Turkey. Journal of Freshwater Ecology, 20 (3): 549-553.
- Maraşlıoğlu F, Gönüloğlu A. 2014. Phytoplankton Community, Functional Classification and Trophic State Indices of Yedikır Dam Lake (Amasya). Journal of Biological and Environmental Sciences, 8 (24): 133-141.
- Maraşlıoğlu F, Soylu E N, 2017. Relationship of epilithic diatom communities to environmental variables in Yedikır Dam Lake (Amasya, Turkey). Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 17 (6): 1347-1356.
- Maraşlıoğlu F, Gönüloğlu A, 2019. Turkishalgae Electronic Publication. Çorum, Turkey. <http://turkiyealgleri.hitit.edu.tr> (erişim tarihi: 15.12.2109)
- Pala G, 2002. Keban Baraj Gölü'nün Gülüskar Kesimindeki Algler ve Mevsimsel Üzerinde Kalitatif ve Kantitatif Bir Araştırma. Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Dergisi. 19: 1- 2, 41- 52, 53-61.
- Patrick R, Reimer CW, 1975. The diatoms of The United States II. Acad. Sci, Philadelphia, 213p.
- Rawson DS, 1956. Algal indicators of trophic lake types. Limnology and Oceanography, 1(1): 18-25.
- Reynolds CS, Huszar V, Kruk C, Naselli-Flores L, Melo S, 2002. Towards a Functional Classification of the Freshwater Phytoplankton. Journal of Plankton Research, 24(5): 417-428.
- Round F E, 1953. An Investigation of Two Benthic Algal Communities in Malham Tarn, Yorkshire. The Journal of Ecology, 174-197.
- Sevindik T O, Kucuk F, 2016. Benthic Diatoms as Indicators of Water Quality in the Acarlar Floodplain Forest (Northern Turkey). Feb-Fresemus Environmental Bulletin, 4013.
- Solak C N, Barlas M, Pabuççu K, 2007. Akçay'ın (Büyük Menderes-Muğla) Bacillariophyta dışındaki epilitik algleri. *Ekoloji*, 16, 62; 16-22.
- Solak C N, Acs É, 2011. Water quality monitoring in European and Turkish rivers using diatoms. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 11(2): 329-337.
- Şahin B, 1992. Trabzon Yöresi Tatlısu Diatome Florası Üzerine Bir Araştırma. Doğa Turkish Journal of Botany, 16: 104-116.
- Şahin B, 2000. Algal Flora of Lakes Aygır and Balıklı (Trabzon, Turkey), Turkish Journal of Botany, 24: 35–45
- Trifonova IS, 1998. Phytoplankton composition and biomass structure in relation to trophic gradient in some temperate and subarctic lakes of north-western Russia and the Prebaltic. Hydrobiologia, 369: 99-108.
- Wetzel R G, 2001. Limnology: lake and river ecosystems. gulf professional publishing. 1006 pp.
- Zhuzbayeva A, Atıcı T, 2016. Algae and Water Qualities of Badam Dam Reservoir (Kazakhstan). Biological Diversity and Conservation, 9(2): 34-43.

Türkiye Akar Faunasının Yeni Bir Üyesi: *Molothrognathus bahariensis* Ueckermann ve Khanjani (Acari: Caligonellidae)

Salih DOĞAN¹, Sibel DOĞAN²

ÖZET: Türkiye akar faunası için yeni kayıt olan, *Molothrognathus bahariensis* Ueckermann ve Khanjani (Acari: Caligonellidae)'in, Pülümür Vadisi'nden (Türkiye) alınan yosun örneğinde bulunan iki dişi ve bir deutonimfinin tanımı gözden geçirilmiş ve türün faz-kontrast mikroskobik görüntüleri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Raphignathoidea, yeni kayıt, Pülümür Vadisi, Türkiye.

A New Record for the Acarofauna of Turkey: *Molothrognathus bahariensis* Ueckermann and Khanjani (Acari: Caligonellidae)

ABSTRACT: *Molothrognathus bahariensis* Ueckermann and Khanjani (Acari: Caligonellidae), a new record for the Acarofauna of Turkey, is reviewed based on two females and one deutonymph specimens found in moss, Pülümür Valley (Turkey). Phase-contrast micrographs of this species are also given here.

Keywords: Raphignathoidea, new record, Pülümür Valley, Turkey.

¹ Salih DOĞAN (Orcid ID: 0000-0001-5030-0544), Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Erzincan, Türkiye

²Sibel DOĞAN (Orcid ID: 0000-0002-0644-0280), Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Erzincan, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Sibel DOĞAN, e-mail: sibel.dogan@erzincan.edu.tr

GİRİŞ

Caligonellidae Grandjean türleri; ambar, kuş yuvası, ağaç kabuğu, yosun, toprak, döküntü ve organik madde bakımından zengin ortamlarda yoğun olarak bulunur ve predatördürler (Meyer ve Ueckermann, 1989; Fan, 2000; Doğan, 2003; Ueckermann ve Khanjani, 2003; Silva ve ark., 2017; Akyol, 2018; Yamaç ve ark., 2019; Doğan ve Doğan, 2019).

Dünya'da 5 cins ve 67 tür ile temsil edilmektedir (Silva ve ark., 2017; Akyol, 2018; Amini ve ark., 2018; Doğan ve ark., 2018; Doğan ve Doğan, 2019). Cinslerin ayırımında peritremin stiloforun dorsal yüzeyindeki yerleşimi ve şekli kullanılmaktadır. *Molothrognathus* Summers ve Schlinger'de peritrem stiloforun arka kenarından çıkar ve yukarı doğru uzanır.

Molothrognathus'un dünyada 27 türü bilinmektedir. Bu cinsin üyelerine Antarktika haricinde tüm zoocoğrafik bölgelerde rastlanmaktadır. Ülkemizden şimdiye kadar 5 türü kaydedilmiştir. Bunlar; *M. crucis* Summers ve Schlinger, *M. kamili* Doğan, *M. venusta* (Khaustov ve Kuznetsov), *M. phytocolus* Meyer ve Ueckermann, *M. terrulentus* Meyer ve Ueckermann türleridir (Koç ve Ayyıldız, 1997; Doğan, 2003, 2007, 2019; Erman ve ark., 2007; Akyol ve Koç, 2012).

Faunistik bir çalışma kapsamında, Pülümür Vadisi'nden alınan yosun örneklerinin birinde Türkiye akar faunası için yeni kayıt niteliğinde olduğu belirlenen *Molothrognathus bahariensis* Ueckermann ve Khanjani'nin faz-kontrast donanımlı ışık mikroskopunda fotoğrafları çekilmiş, çeşitli organlarının ölçümleri alınmış ve tanımı gözden geçirilmiştir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Pülümür Vadisi'nden alınan yosun örneklerindeki akarların eldesi, ağartılması ve preparasyon işlemlerinde Fan ve Zhang (2005), Doğan (2006) ve Walter ve Krantz (2009) tarafından belirtilen yöntemler izlendi. Fotoğraflama işlemleri faz-kontrast donanımlı ışık mikroskopunda (Leica DM 4000B) gerçekleştirildi. Akarların ölçümleri LAS V3,8 programı yardımıyla µm cinsinden yapıldı. Metinde geçen tüm ölçümler µm cinsinden verilmiş olup, parantez içerisindeki değerler değişim aralığını, parantez önündeki değerler ise ortalamayı temsil etmektedir. Akarların vücut bölgeleri ile kıl terminolojisinde Grandjean (1944) ve Kethley (1990)'in eserlerinden yararlanıldı.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Molothrognathus bahariensis Ueckermann ve Khanjani

Dişi (Şekil 1-5)

Vücut 361 (356-365) uzunluğunda, 198 (180-216) genişliğindedir.

Gnatozoma 100 (99-101) uzunluğundadır. Subkapitulum nokta desenli olup iki çift adoral ($or_{1,2}$) ve bir çift subkapitular kıl (m) taşır. Subkapitulum kılının uzunluğu ve arasındaki mesafe şöyledir; m 48 (43-53), $m-m$ 25 (24-26). Keliser 106 (102-110), stilofor 81 (77-84) uzunluğundadır. Peritremin iki kolu stiloforun arka kenarından çıkar ve ön kenarına doğru paralel olarak uzayarak birleşir. Palp parçaları nokta desenlidir. Kılların palp parçaları üzerindeki dağılımı palp trokanterinden palp tarsusuna doğru şu şekildedir: 0, 1, 1, 3+1 tırnak, 3+1 ω +4 öpatidiyum. Palpin tibiya tırnağı tarsusu ile aynı uzunluktadır (Şekil 1-2).

Sırt örtüsü çizgilidir ve plak bulunmaz (Şekil 3). Yanlarda *sci* ile *sce* kılları arasında bir çift göz ve gözardı cisim vardır. Üç çift kupül vardır. Bu kupüllerden ilk çifti (*ia*) *sci* ile *sce* arasında, ikinci çifti (*im*) c_1 ile d_1 arasında, üçüncü çifti (*ip*) ise f_1 kılının yan tarafında bulunmaktadır. Sırt kılları düzdür. *sce*, c_2 , f_1 kılları diğer kıllara göre daha uzundur. Sırt kıllarının uzunlukları ve aralarındaki mesafeler şöyledir: *vi* 26 (25-27), *ve* 21 (18-24), *sci* 22 (21-23), *sce* 131 (130-132), c_1 22 (21-23), c_2 145 (141-148), d_1 22

(21-22), e_1 28 (27-28), f_1 123 (120-126), h_1 12 (11-13), h_2 70 (67-73), h_3 81 (74-84), $vi-vi$ 39 (38-40), $ve-ve$ 48 (44-51), $vi-ve$ 51 (49-52), $ve-sci$ 37 (34-40), $sci-sci$ 127 (118-135), $sci-sce$ 20 (18-22), $sce-sce$ 123 (115-131), c_1-c_1 50 (47-53), c_1-c_2 75 (74-75), c_2-c_2 187 (175-199), c_1-d_1 56 (52-60), d_1-d_1 46 (42-49), d_1-e_1 49 (47-50), e_1-e_1 70 (68-72), e_1-f_1 57 (48-65), f_1-f_1 41 (36-46), f_1-h_1 38 (35-40), f_1-h_2 33 (30-36), f_1-h_3 29 (26-32), h_1-h_1 47 (41-52), h_1-h_2 4 (4-4), h_2-h_2 54 (46-62), h_3-h_3 46 (41-50). Vücudun arka ucunda yer alan anal plaklar iki çift kıl ($ps_{1,2}$) taşır (Şekil 4).



Şekil 1. *Molothrognathus bahariensis* (dişi), gnatozomanın üstten görünümü.

Karın çizgili ve koksalar arası bölge subkutikular nokta desenlidir. İnterkoksalar üç çifttir ($1a$, $3a$, $4a$). Genital plaklar bir çift genital kıl (g_1) taşımaktadır (Şekil 5). İki çift aggenital kıl ($ag_{1,2}$) çizgili integüment üzerindedir. Bu kılların uzunlukları ve aralarındaki mesafeler şöyledir: $1a$ 51 (48-53), $3a$ 48 (46-50), $4a$ 35 (31-38), $1a-1a$ 47 (43-50), $3a-3a$ 73 (65-81), $4a-4a$ 28 (26-29), ag_1 34 (33-34), ag_2 25 (21-28), g_1 31 (29-32), ps_1 13 (11-14), ps_2 12 (11-12). Opistozomanın arka kesiminde, genital kılların alt yanlarında bir çift kupül (ih) vardır.

Bacak parçaları noktalıdır. Bacakların uzunlukları sırasıyla; I. bacak 289 (281-297), II. bacak 206 (199-213), III. bacak 225 (214-235), IV. bacak 247 (237-256). Bacak parçaları üzerindeki kılların dağılımı ise şöyledir; koksalar: $2+1a-1-1-1$, trokanter: $1-1-1-1$, femur: $2-2-2-2$, genu: $5(+1\kappa)-5-2-2$, tibia: $5(+1\phi+1\phi)-5-4-4$, tarsus: $16(+1\omega)-10(+1\omega)-9-9$.



Şekil 2. *Molothrognathus bahariensis* (dişi), gnatozomanın alttan görünümü.

Deutonimf (Şekil 6-8)

Vücut 305 uzunluğunda, 158 genişliğindedir.

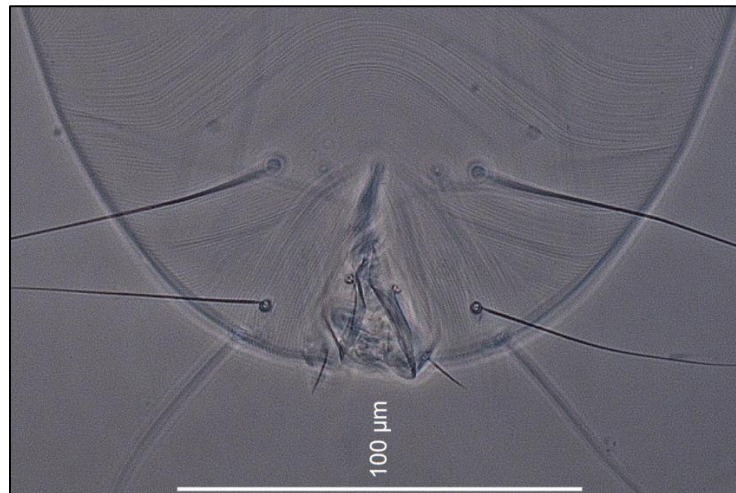
Gnatozoma 80 uzunluğundadır. Subkapitulum iki çift adoral ($or_{1,2}$) ve bir çift subkapitular kıl (m) taşır. Subkapitulum kılının uzunluğu ve arasındaki mesafe; m 31, $m-m$ 20. Keliser 81, stilofor 65 uzunluğundadır. Peritremin iki kolu stiloforun arka kenarından çıkar ve ön kenarına doğru paralel olarak uzayarak birleşir. Kılların palp parçaları üzerindeki dağılımı palp trokanterinden palp tarsusuna doğru şu şekildedir: 0, 1, 1, 3+1 tırnak, 3+1 ω +4 öpatidiyum. Tibiya tırnağı palp tarsusu ile aynı uzunluktadır.

Sırt örtüsü çizgili yapıdadır ve plak bulunmaz (Şekil 6). sci ile sce kılları arasında bir çift göz ve gözardı cisim vardır. Üç çift kupül vardır. Bu kupüllerden ilk çifti (ia) sci ile sce arasında, ikinci çifti (im) dışiden farklı konumlanmış olup d_1 'in alt yanlarında, üçüncü çifti (ip) ise f_1 kılının ön yan tarafında yer alır. Sırt kıllarının uzunlukları ve aralarındaki mesafeler şöyledir: vi 17, ve 16, sci 17, sce 104, c_1 14, c_2 116, d_1 9, e_1 18, f_1 104, h_1 8, h_2 57, h_3 60, $vi-vi$ 32, $ve-ve$ 38, $vi-ve$ 41, $ve-sci$ 30, $sci-sci$ 102, $sci-sce$ 17, $sce-sce$ 101, c_1-c_1 39, c_1-c_2 61, c_2-c_2 145, c_1-d_1 56, d_1-d_1 33, d_1-e_1 34, e_1-e_1 52, e_1-f_1 46, f_1-f_1 35, f_1-h_1 22, f_1-h_2 23, f_1-h_3 22, h_1-h_1 12, h_1-h_2 8, h_2-h_2 27, h_3-h_3 38. Anal plaklar vücudun arka uç kesiminde yer alır ve iki çift kıl ($ps_{1,2}$) taşır (Şekil 7).

Karın çizgilidir. Opistozomanın arka kesiminde bir çift kupül (ih) vardır. İnterkoksal kıllar üç çifttir ($1a$, $3a$, $4a$). Genital plak ve kılları bulunmaz (Şekil 8). İki çift aggenital kıl ($ag_{1,2}$) çizgili integüment üzerindedir. Bu kılların uzunlukları ve aralarındaki mesafeler; $1a$ 29, $3a$ 35, $4a$ 21, $1a-1a$ 38, $3a-3a$ 62, $4a-4a$ 18, ag_1 21, ag_2 20, $ps_1=ps_2$ 8.

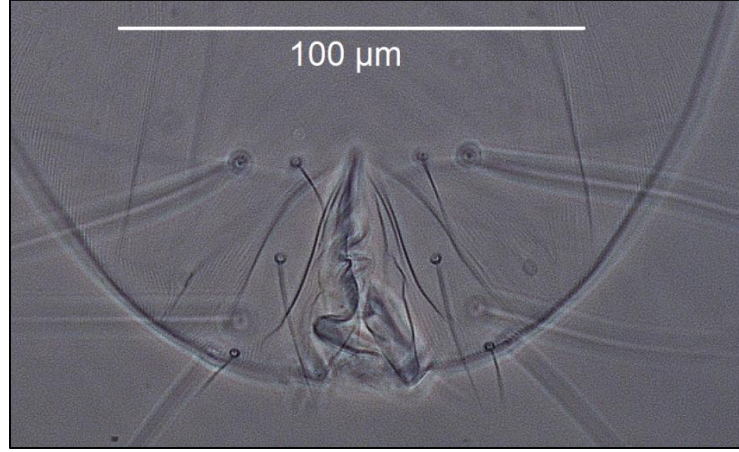


Şekil 3. *Molothrognathus bahariensis* (dişi), üstten görünüm.



Şekil 4. *Molothrognathus bahariensis* (dişi), opistozomanın üstten görünümü.

Bacak parçaları nokta desenlidir. Bacak uzunlukları sırasıyla; I. bacak 241, II. bacak 167, III. bacak 184, IV. bacak 203. Bacak parçaları üzerindeki kılların dağılımı ise şöyledir; koksa: 2+1 α -1-1-1, trokanter: 1-1-1-1, femur: 2-2-2-2, genu: 5(+1 κ)-5-2-2, tibiya: 5(+1 ϕ +1 $\phi\rho$)-5-4-4, tarsus: 16(+1 ω)-10(+1 ω)-9-9.



Şekil 5. *Molothrognathus bahariensis* (dişi), opistozomanın alttan görünümü.

İncelenen Örnekler

2♀♀, 1 deutonimf, geven (*Astragalus* sp.) altından toprak üzeri yosun, Gökçekonak köyü, Çırağan mevki, 39°24'23,3"K 39°50'37,4"D, 1434 m, 13.04.2019, toplayan Salih DOĞAN, PÜLÜMÜR VADİSİ, TUNCELİ, TÜRKİYE.



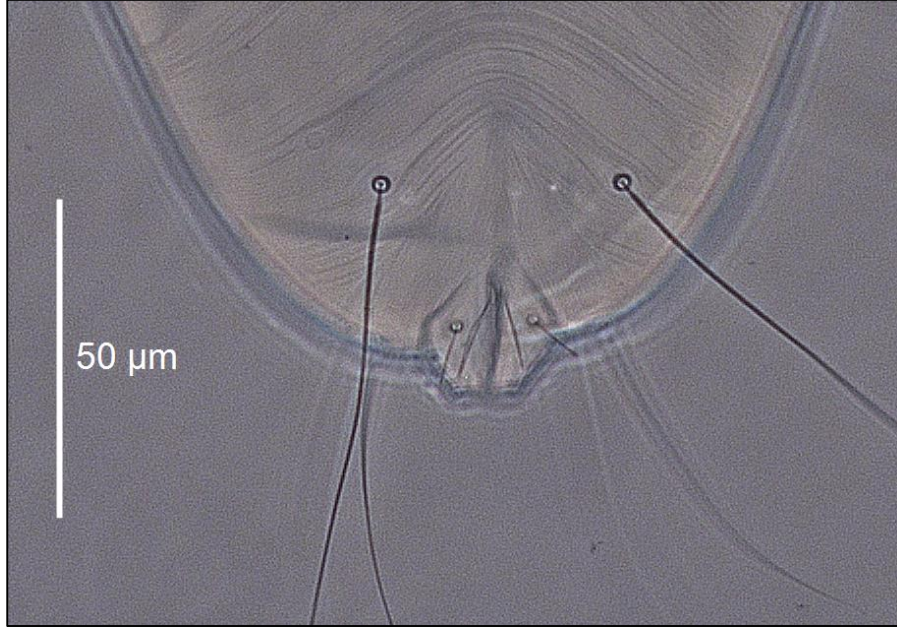
Şekil 6. *Molothrognathus bahariensis* (deutonimf), üstten görünüm.

Türün Yayılışı

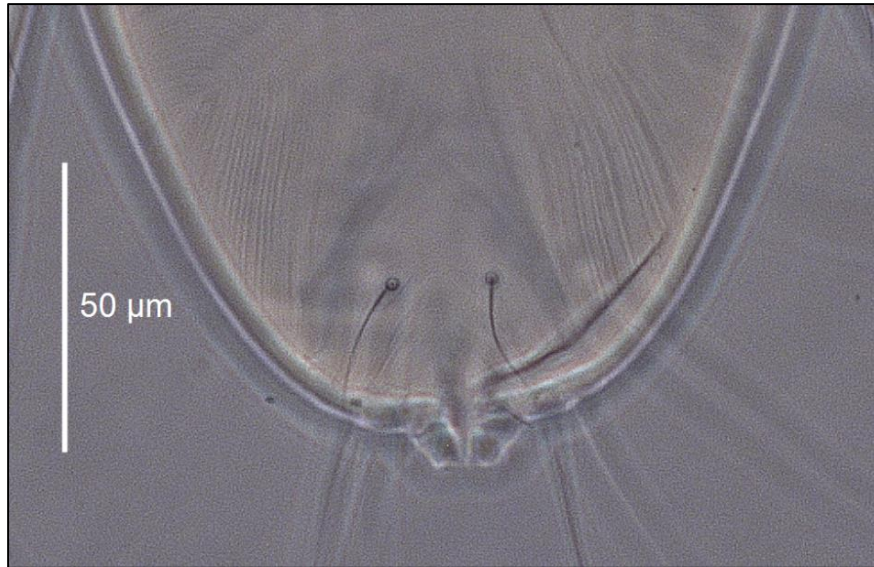
M. bahariensis türü şu ana kadar yalnızca İran'dan bilinmektedir (Ueckermann ve Khanjani, 2003). Bu çalışmayla, türün dünyadaki ikinci kaydı Türkiye'den rapor edilmektedir.

SONUÇ

Türkiye örnekleri, genel olarak tip örneklerine benzerlik gösterse de, daha küçük vücuda sahiptirler. Tip örneklerinde *sce* ile *c2* kılları yaklaşık eşit uzunlukta iken, Türkiye örneklerinde *c2*, *sce* kıllarına göre biraz daha uzundur. Aynı şekilde, tip örneklerinde *h2* ve *h3* kılları yaklaşık eşit uzunlukta iken, Türkiye örneklerinde *h3* kıllarının *h2*'den biraz daha uzun olduğu anlaşılmaktadır. İncelenen örneklerde palpin tibiya tırnağı tarsusun uzunluğu kadardır. Tip örneklerinde ise palp tırnağının tarsustan biraz daha uzun olduğu belirtilmiştir (Ueckermann ve Khanjani, 2003).



Şekil 7. *Molothrognathus bahariensis* (deutonymf), opistozomanın üstten görünümü.



Şekil 8. *Molothrognathus bahariensis* (deutonymf), opistozomanın alttan görünümü.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 118Z469 numaralı proje ile desteklenmiştir. Desteklerinden ötürü TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Akyol M, 2018. A New Species of *Caligonella* Berlese (Acari, Caligonellidae) from Turkey. *Systematic and Applied Acarology*, 23 (12): 2339-2344.
- Akyol M, Koç K, 2012. A New Species and Two New Records of the Family Caligonellidae (Acari: Raphignathoidea) From Turkey. *International Journal of Acarology*, 38 (1): 40-45.
- Amini F, Khanjani M, Khanjani M, 2018. A New Species of the Genus *Molothrognathus* Summers & Schlinger (Acari: Caligonellidae) from Kurdistan Province Iran. *Acarologia*, 58 (4): 875-880.
- Doğan S, 2003. On Caligonellid Mites from Turkey (Acari: Caligonellidae). *Archives des Sciences*, 56 (2): 63-77.
- Doğan S, 2006. Contributions to the Knowledge of the Raphignathoid Mites of Turkey (Acari, Raphignathoidea) with Description of a New Species. *International Journal of Acarology*, 32 (4): 371-375.
- Doğan S, 2007. Checklist of Raphignathoid Mites (Acari: Raphignathoidea) of Turkey. *Zootaxa*, 1454 (1): 1-26.
- Doğan S, 2019. Raphignathoidea (Acari: Trombidiformes) of Turkey: A Review of Progress on the Systematics, with an Updated Checklist. *Acarological Studies*, 1 (2): 129-151.
- Doğan S, Doğan S, 2019. New Record of an Unusual Caligonellid (Acari: Caligonellidae) Species in Turkey: *Neognathus eupalopus* Meyer & Ueckermann, with the Description of a New Species. *Systematic and Applied Acarology*, 24 (7): 1162-1176.
- Doğan S, Doğan S, Erman O, 2018. Harşit Vadisi'nin (Türkiye) Caligonellid Akarları (Acari: Raphignathoidea: Caligonellidae). *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 30 (1): 37-43.
- Erman O, Özkan M, Ayyıldız N, Doğan S, 2007. Checklist of the Mites (Arachnida: Acari) of Turkey, Second Supplement. *Zootaxa*, 1532 (1): 1-21.
- Fan Q-H, 2000. A Phylogenetic Analysis of the Family Caligonellidae (Acari: Prostigmata) with Descriptions of Two New Species. *Acta Entomologica Sinica*, 43 (4): 421-428.
- Fan Q-H, Zhang Z-Q, 2005. Raphignathoidea (Acari: Prostigmata). *Fauna of New Zealand*, 52: 1-400.
- Grandjean F, 1944. Observations Sur Les Acariens La Famille De Stigmaeidae. *Archives Des Sciences Physiques Et Naturelles*, 26: 103-131.
- Kethley J, 1990. *Acarina: Prostigmata (Actinedida)*, Soil Biology Guide, John Wiley and Sons, pp. 667-756, New York.
- Koç K, Ayyıldız N, 1997. A New Species of *Molothrognathus* Summers and Schlinger (Acari: Prostigmata: Caligonellidae) from Turkey. *Acarologia*, 38 (1): 47-50.
- Meyer MKP, Ueckermann EA, 1989. African Raphignathoidea (Acari: Prostigmata). *Entomology Memoir: Department of Agriculture and Water Supply, Republic of South Africa*, 74: 1-58.
- Silva DE, Siegert MK, Brentano AC, Nascimento JMD, Johann L, Ferla NJ, 2017. *Molothrognathus brasiliensis* sp. nov. (Acari: Caligonellidae) and the First Report of *Paraneognathus wangae* for Brazil. *Systematic and Applied Acarology*, 22 (4): 477-483.
- Ueckermann EA, Khanjani M, 2003. Iranian Caligonellidae (Acari: Prostigmata), with Descriptions of Two New Species and Redescription of *Molothrognathus fulgidus* Summers and Schlinger, with a Key to Genera and Species. *Acarologia*, 43 (3): 291-298.
- Walter DE, Krantz G, 2009. *Collecting, Rearing, and Preparing Specimens*. In: *A manual of Acarology*, Texas Tech University Press, Lubbock, pp. 83-96, Texas-USA.
- Yamaç SÇ, Doğan S, Doğan S, 2019. *Caligonella haddadi* Bagheri and Maleki (Acari, Caligonellidae): A New Member of the Acarofauna in Turkey. *Zeugma II. Uluslararası Multidisipliner Çalışmalar Kongresi*, 18-20 Ocak 2019, Gaziantep.

Measurement of Heavy Metals/Metalloids Levels with Using Dytiscidae (Coleoptera) Species, Collected from Six Different Cities of Turkey

Zeynep AYDOĞAN^{1,2*}, Ümit İNCEKARA², Ali GÜROL³, Mustafa Cemal DARILMAZ⁴

ABSTRACT: This study was performed to determine the amount of some elements concentration in bodies of the aquatic insects. The contaminants, in six different polluted and non-polluted cities of Turkey, were determined with using predaceous diving beetles. Energy Dispersive X-Ray Fluorescence (EDXRF) spectroscopy was used for determining the concentrations of heavy metals/metalloids in the total body of the insects. Sixteen elements (Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr, and Pb) were measured quantitatively in all the samples. Two elements (In, Sn) were measured below the detection limits of EDXRF. Significant heavy metals/metalloids accumulation was seen in two cities and species. Comparison of the studied bio-monitors, *Cybister lateralimarginalis* showed significantly higher elements accumulation than the other species, so it may be considered as a more suitable species for assessment of heavy metals/metalloids pollution.

Keywords: Aquatic insects, EDXRF, heavy metals/metalloids, pollution.

Türkiye'deki Altı Farklı Şehrin Ağır Metal/Metalloid Seviyesinin Dytiscidae (Coleoptera) Türleri Kullanılarak Ölçümü

ÖZET: Bu çalışma sucul böceklerin vücutlarında biriken bazı elementlerin konsantrasyonunu belirlemek için yapıldı. Türkiye'deki temiz ve kirli olan altı farklı şehirdeki inorganik bulaşanlar, predatör dalgıç böcekleri kullanılarak belirlendi. Böceklerin vücudundaki ağır metal/metalloid seviyesini belirlemede enerji ayırışlı X ışını floresan spektrometresi (EDXRF) kullanıldı. Tüm türlerde 16 element (Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr ve Pb) nicel olarak ölçüldü. İki elementin (In, Sn) EDXRF'nin algılama sınırının altında olduğu görüldü. İki şehirde ve türde belirgin olarak ağır metal/metalloid birikimi gözlemlendi. Biyogözlemde kullanılan türler karşılaştırıldığında *Cybister lateralimarginalis* türü diğer türlere göre daha fazla birikim yapması nedeniyle ağır metal/metalloid takibinde daha uygun olacağı düşünüldü.

Anahtar Kelimeler: Sucul böcek, EDXRF, ağır metal/metalloid, kirlilik.

¹ Zeynep AYDOĞAN (Orcid ID: 0000-0001-8859-2108), Narman Vocational School, Atatürk University, Narman, Erzurum, Turkey,

² Ümit İNCEKARA (Orcid ID: 0000-0002-3283-5841), Faculty of Science, Department of Biology, Atatürk University, Erzurum, Turkey,

³ Ali GÜROL (Orcid ID: 0000-0001-9494-3533), Faculty of Science, Department of Physics, Atatürk University, Erzurum, Turkey,

⁴ Mustafa Cemal DARILMAZ (Orcid ID: 0000-0003-2055-1224, mdarilmaz@yahoo.com, Faculty of Science, Department of Biology, Aksaray University, Aksaray, Turkey.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Zeynep AYDOĞAN, zeynep.aydogan@atauni.edu.tr

Geliş tarihi / Received: 13-12-2019

Kabul tarihi / Accepted: 17-04-2020

INTRODUCTION

All elements are natural components of Earth crust and distributed in different concentrations in the atmosphere, lithosphere, hydrosphere, and biosphere but vehicle exhaust, mining activities, energy production, industrial metallurgic processes, and agricultural activities are increasing these elements concentration in an environment. Anthropogenic activities are greatly responsible for the changing, availability, cycling, and concentration of elements in nature. However, elements in the environment must be at acceptable intervals. If the limit is exceeded, environmental heavy element pollution begins when element concentrations exceed the self-renewal capacity of nature. In literature there are numerous studies about heavy elements in urban areas which indicate that they are persistent, spreading widely in the environment, pose threat to natural components and human health (Aydoğan et al., 2017; Ye et al., 2018). The term "heavy metal" was searched on the Web of Science (WOS) publication in number 5 360, 64 575 and 88 173 records in the year 1970-1990, 1990-2010 and 2010-2019 respectively. That is why, it is understood that element pollutions have been intensively studied and are one of the serious ecological problem in today's world due to their toxicity.

The term "heavy metals" have been defined in several ways in the field of chemistry, physics, law, medicine, biology and ecology. Biologist including environmental scientist use the term "heavy metal" as a connotation of toxicity and below or above level of certain element's threshold can cause environmental or health problems.

To evaluate the environment by biologically is not a new phenomenon. Environmental monitoring with using biota is important to determine negative anthropogenic impact on the environment. Their presence, absence or changing numbers of insects give and idea when evaluate a certain environment. There are some mostly used and suggested organisms when surveying the environment; plants and their organs (Baldantoni et al., 2018), bivalve (Ragi et al., 2017), zooplankton (Itigilova et al., 2016), mosses (Liu et al., 2016), algae (Chu et al., 2019), fish and insects (Aydoğan et al., 2017).

With approximately 4 300 named species, Predaceous Diving Beetles or Dytiscids are one of the largest families of freshwater insect species. Both larvae and adults of these species inhabit various types of aquatic habitats and are important predators on other invertebrates and vertebrates (Miller and Bergsten, 2016; Yee, 2016). The objective of this research was to evaluate and determine the heavy element accumulation with using some Dytiscid beetles which are living different cities of Turkey.

MATERIALS AND METHODS

Study Areas and Sampling

In the present study, the accumulation of sixteen heavy metal/metalloids in some aquatic beetles (Dytiscidae) was evaluated. For this purpose, six Dytiscidae species were collected from six cities of Turkey (Aydın, Denizli, Uşak, Afyon, Kütahya, Erzincan). Samples were collected from running water, permanent and temporal aquatic habitats in places where aquatic species could be observed. The collection was made by means of a 1 mm pores sieve, and then the beetles were killed with ethyl acetate and stored in bottles until identification in the laboratory. Before identification samples were cleaned with a brush then dissected under a stereomicroscope in the laboratory. Aedeagophores of the beetles were used for identification. Six species belonging to four genera of Dytiscidae were identified. These species are as follows: *Platambus lunulatus* (Fischervon Waldheim, 1829); *Agabus biguttatus* (Olivier,

1795); *Agabus conspersus* (Marsham, 1802); *Cybister lateralimarginalis* De Geer, 1774; *Cybister tripunctatus* (Olivier, 1795); *Dytiscus marginalis* Linnaeus 1758.

Sampling point 1- *P. lunulatus* collected from Kemaliye, Çevlik River (Erzincan). There is no settlement around at the sample point. *Platambus lunulatus* collected from here.

Sampling point 2- *A. biguttatus* collected from Çardak, Değirmen creek (Denizli). This location is 49 km far from Denizli. There is a dam on the Değirmen creek, which used for irrigation.

Sampling point 3- *A. conspersus* collected from Banaz, Ahat Village (Uşak). The location has 41 km distance to Uşak. Agricultural activity and traffic are not intense.

Sampling point 4- *C. lateralimarginalis* sample collected from Eber Lake (Afyon). Eber Lake is a grade 1 natural site area and is twelfth biggest lake of Turkey. This lake was one of the important wetlands in Turkey but now it has been polluted by domestically, milk, sugar and alkaloid industry; all of which contribute to pollution at the sample point.

Sampling point 5- *C. tripunctatus* sample collected from Söke, Azap Lake (Aydın). This lake is rich in terms of biodiversity, but in the year 2007, the lake was dry up and polluted with agricultural chemicals.

Sampling point 6- Türkmen Mountain (Söğüt Plateau) is 28 km far from Kütahya. The sampling point is a stream that is near the road. There is a small village near it. Possible pollution sources are domestic, agricultural and car exhaust. *D. marginalis* collected from here.

The GPS information (coordinates, altitude) of sample locations is given in Table 1. Map of studied cities and collected species is given in the Figure 1.

Table 1. Dytiscidae samples and their station information

Station Number	Coordinates	Altitude (m)	Sample Name
1- Erzincan	39°14'47"N/38°30'07" E	866	<i>Platambus lunulatus</i>
2- Denizli	37°41'294"N/29°37'290"E	921	<i>Agabus biguttatus</i>
3- Uşak	38°39'331"N/29°46'825"E	958	<i>Agabus conspersus</i>
4- Afyon	38°36'875"N/31°09'611"E	973	<i>Cybister lateralimarginalis</i>
5- Aydın	37° 35'61"N/27° 26'28"E	40	<i>Cybister tripunctatus</i>
6- Kütahya	39°23'672"N/30°18'941"E	1 414	<i>Dytiscus marginalis</i>



Figure 1. The map of studied cities and collected species

EDXRF Analysis

Heavy element measurements were carried out using an EDXRF spectrometer. The following 16 elemental concentrations were determined by means of this process: Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr and Pb. The results of the analyses are given in Table 2. Heavy element analyses were done as described in Aydoğan et al. (2017; 2018). Firstly, the samples were dried in an oven at 80°C during 36 h, then pulverized and applied five-ton pressure to make 13 mm diameter tablets of each sample. 59.5 keV photons irradiated the insect samples which emitted by 1 Ci ^{241}Am radioactive source. The irradiation time was 43.200 s. Source/Sample distance was 35.5 mm. The measurements were carried out under vacuum. The spectral data were stored on disks, and the concentration of elements in each samples were determined by WinAXIL software (Canberra) and Win Fund software package (Canberra), which use the Fundamental Parameters Method (FPM) for quantitative analysis.

RESULTS AND DISCUSSION

Element concentrations in an area has been generally measured chemically, physically and biologically. Any kind of organisms reflects the quality of the environment where they live. In this study, elements monitoring were evaluated by biologically. Dytiscidae are distributed throughout in Turkey. In the present study six different aquatic beetles were recorded at six different cities in Turkey (Aydın, Denizli, Uşak, Afyon, Kütahya and Erzincan). According to the results heavy element concentrations of in these cities' insects show significantly variability. Heavy element content of the station 2, 3, 5 and 6 have lower degree than the other two cities' station. The recorded insects are *Platambus lunulatus*, *Agabus biguttatus*, *Agabus conspersus*, *Cybister lateralimarginalis*, *Cybister tripunctatus*, *Dytiscus marginalis*. Measured heavy element levels in the insect samples are given in Table 2. Due to the low number of insects, the study's results could not be evaluated as statistically.

Table 2. Mean heavy element concentrations in the Dytiscidae samples (ppm)

Heavy Element	<i>Dytiscus marginalis</i>	<i>Cybister lateralimarginalis</i>	<i>Cybister tripunctatus</i>	<i>Agabus biguttatus</i>	<i>Agabus conspersus</i>	<i>Platambus lunulatus</i>
Ca	0.824	329.66	1.079	0.711	1.061	50.91
Ti	0.424	84.95	0.438	0.430	0.390	13.97
V	0.313	57.37	0.459	0.264	0.290	9.458
Cr	0.262	43.17	0.285	0.201	0.223	5.630
Mn	0.293	30.09	0.275	0.161	0.234	2.912
Fe	0.217	19.50	0.226	0.120	0.134	1.695
Co	0.202	93.97	0.239	0.161	0.189	1.828
Ni	0.174	71.135	0.158	0.132	0.137	1.393
Cu	0.174	44.43	0.129	0.130	0.110	0.940
Zn	0.106	29.63	0.122	0.089	0.094	0.550
As	0.273	40.60	0.219	0.225	0.175	0.603
Se	0.077	12.22	0.057	0.055	0.049	0.148
Br	0.055	6.96	0.061	0.050	0.052	0.217
Rb	0.046	4.21	0.039	0.038	0.040	0.067
Sr	0.036	4.07	0.037	0.035	0.030	0.075
Pb	0.566	79.9	0.459	0.469	0.362	1.247

The results reflects a clear influence of heavy metal pollution in the areas. Because concentration of the sixteen elements (Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr, Pb) in all stations were measured all of the aquatic insects. Especially Ti, V, As, Br, Rb, Sr and Pb are not associated with

an organism's body mineral content and have no any biological importance. Every insects were accumulated these elements in varying concentration. This result should be due to difference in the environmental conditions and insects' life. Analyses revealed that Eber Lake, which is grade 1 natural site area and is twelfth biggest Lake of Turkey, was the most polluted with all elements except Br, Rb, Sr. Higher concentration of accumulation was measured at *C. lateralimarginalis* in sample point 4 and at *P. lunulatus* in sample point 1. It can be thought that *C. lateralimarginalis* can managed to survive even the low environmental conditions. The element concentration showed a general trend of Ca>Co>Ti>Pb>Ni>V>Cu>Cr>As>Mn>Zn>Fe>Se>Br>Rb>Sr in *C. lateralimarginalis* and Ca>Ti>V>Cr>Mn>Co>Fe>Ni>Pb>Cu>As>Zn>Pb>Br>Sr>Rb in *P. lunulatus*. There is a dam on Değirmen creek at sample point 2, and the creek is using for irrigation. Accumulation levels of the insects in this location are not high and not pose a health problem for the field. Sample point 5 has the richest biodiversity than the other locations and heavy element levels are not at high level.

When evaluate the results, possible reason for the element accumulation in *C. lateralimarginalis* and *P. lunulatus* may be related to; Ti can be found everywhere like water, soil and organisms and it is used in industry and food industry intensively. Vanadium spread to atmosphere mainly from fossil fuels. Chromium toxicity increase in aquatic organisms when temperature goes up, pH and salinity go down. Beside to metallurgical industry, Manganese mainly has been used as pesticide, fertilizer and livestock supplement. Iron is one of the most widespread elements of lithosphere and has been used in industry intensively. Source of Cobalt in the studied area might be due to fossil fuels. Nickel sources might be industrial wastes and fossil fuels. Acidity increases mobility of Ni. The high concentration of Zinc, Arsenic, Bromium and Copper in the location 4 may be attributable to agricultural activities, sugar industry and intensive vehicular traffic in the surroundings. Lead is toxic for living creature, so there is no safe limit for lead. If it is enter the human body, it accumulates in brain, liver, kidney and bone. It can be found in soil naturally but most of anthropogenic activities cause release of lead in the environment (ATSDR, 2000; Solomon, 2008; Kabata-Pendias, 2010).

As a consequence of agriculture, industry, vehicle emissions, tyre and brake abrasion, lead to principally continuous input of the element in the urban environment. Industries together with the high vehicular traffics volume roads are mainly responsible for generalized element pollution, as in the similar studies (Solomon, 2008), in the present study the highest element concentrations were found in the industrial district. Eber Lake was one of the important wetland in Turkey but now it has been polluted by domestically, milk, sugar and alkaloid industry (Aşçı et al, 2009). In sample point 1, where the human activity is limited, has heavy element concentration in terms of Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni and Pb. Atmospheric transportation, water and soil element concentrations may responsible for that element accumulation level.

In the selected locations there is no any heavy element evaluation studies that have been done before. Thus, the present study's results will serve a guideline for further sampling, and also will be a baseline for the estimation of future trends.

CONCLUSION

Aquatic insects are one of the inseparable part of the aquatic ecosystems. If there is a chemical pollution in an environment, the pollution will reach an organism from one to another in the food web, in the end to human. Therefore, protecting an environment means protect the human life. The study findings point out that in sample point 1 and 4 represent an important source of inorganic pollutants and are the most polluted stations among the studied locations. Different concentrations of heavy elements

in the insects indicate that these insects continue to live at these studied habitats even though heavily contaminated areas. In literature some organisms are thought as bio-monitor, to evaluate the environmental quality (Aşçı et al., 2009; Aydoğan et al., 2017; Baldantoni et al., 2018). It can be said that in this study, the insects (*C. lateralimarginalis*, *P. lunulatus*) tolerant to pollution and accumulate the elements at higher concentration, thus can be an appealing tool for element contamination studies.

Pollution causes major declines in biota (Yuan et al., 2018). On account of this, element accumulation degree in the examined aquatic beetles might enrich over time and pose a threat in future. In this study, the stations with low heavy metal content currently do not pose a threat to their habitat function. But, these metal contents may inclined to enrich over time.

An ecosystem consist of biotic and abiotic factors where they interact each other. Anthropogenic inputs in the sampling location does not draw a clear pollution scenario, the results only reflecting element concentration at the aquatic insects. Hence, the pollution was only evaluated by biologically. Environmental heavy element contamination studies should be assessed with the biota and their non-living surroundings. The study needs further data about evaluation of element concentration in soil, sediment and water where the insects live in. Besides, in order to derive knowledge during the time, long term sampling and measurements must be regularly done both biotic and abiotic samples. Besides, inorganic elements and also organic pollutants (organochlorine, organophosphate etc.) should be observed. In addition to measured sixteen elements, In and Sn (ppm) measured in all the insects but their concentrations were below the EDXRF detection limit.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank the anonymous reviewers for their contributions to the manuscript. We have no conflicts of interest to disclose. This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

REFERENCES

- ATSDR, 2000. Toxicological profile for manganese, www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp. (Accessed 10 May 2019)
- Aşçı F, Korcan Fıçıcı E, Konuk M, 2009. Eber ve Karamık Göllerindeki Kontaminasyonun Belirlenmesine Yeni Bir Yaklaşım. Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2 (1):1-4.
- Aydoğan Z, Şişman T, İncekara Ü, Gürol A, 2017. Heavy Metal Accumulation in Some Aquatic Insects (Coleoptera: Hydrophilidae) and Tissues of *Chondrostoma Regium* (Heckel, 1843) Relevant to Their Concentration in Water and Sediments from Karasu River, Erzurum, Turkey. Environmental Science Pollution Research, 24 (10): 9566-9574. doi.org/10.1007/s11356-017-8629-x
- Aydoğan Z, Gürol A, İncekara Ü, 2018. Heavy Element Accumulation in Aquatic Beetles of the Genus *Enochrus* (Coleoptera: Hydrophilidae) in Erzurum Province. Journal Environmental Pollution Control, 1(1): 101.
- Baldantoni D, Bellino A, Lofrano G, Libralato G, Pucci L, Carotenuto M, 2018. Biomonitoring of nutrient and toxic element concentrations in the Sarno River through aquatic plants. Ecotoxicology and Environmental Safety, 148: 520-527.
- Chu WL, Dang NL, Kok YY, Yap KSI, Phang SM, Convey P, 2019. Heavy metal pollution in Antarctica and its potential impacts on algae. Polar Science, 20: 75-83.
- Itigilova MT, Tashlykova NA, Afonina EY, 2016. Heavy metals in phyto-and zooplankton of Lake Kenon (Transbaikalia). Contemporary Problems of Ecology, 9(6): 783-789.
- Kabata-Pendias A, 2010. Trace elements in soils and plants (4th ed.). CRC press, 548 p.
- Liu C, Zhou P, Fang Y, 2016. Monitoring airborne heavy metal using mosses in the City of Xuzhou, China. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 96(5): 638-644.

- Miller KB, Bergsten J, 2016. Diving beetles of the world: Systematics and biology of the Dytiscidae. JHU Press, 336 p.
- Ragi AS, Leena PP, Cheriyan E, Nair SM, 2017. Heavy metal concentrations in some gastropods and bivalves collected from the fishing zone of South India. *Marine Pollution Bulletin*, 118(1-2): 452-458.
- Solomon F, 2008. Impacts of metals on aquatic ecosystems and human health. *Environment and Communities*, 14-19. www.mining.com (Accessed 10 May 2019)
- Ye P, Hao X, Cao Y, 2018. Analysis on Ecological Protection of Urban Wetland. *Natural Resources Conservation and Research*, 1(1): 1-7.
- Yee DA, 2016. Ecology, Systematics, and the Natural History of Predaceous Diving Beetles (Coleoptera: Dytiscidae). Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9109-0>.
- Yuan X, Jiang Y, Yan Z, 2018. On the Causes of the Decrease of Biodiversity and the Countermeasures. *Natural Resources Conservation and Research*, 1(1): 15-21.

Farklı Dozlarda Ekzojen Gonadotropin Uygulamasının Serotonin ve Melatonin Düzeylerine Etkisiİsmail SARI¹, Erkan GÜMÜŞ², Esmâ ÖZMEN¹, İnayet GÜNTÜK³, Serpil ERŞAN¹, Gönül ŞEYDA SEYDEL⁴

ÖZET: Ekzojen gonadotropinler vasıtasıyla ovaryum stimülasyonu (OS) hem üreme biyolojisi ile ilgili deneysel çalışmalarda hem de *in vitro* fertilizasyon (IVF) 'da yaygın olarak kullanılan bir uygulamadır. Fakat yapılan bazı çalışmalardan elde edilen veriler OS'nin oosit, embriyo niteliği ve embriyogenez süreçlerine çeşitli olumsuz etkilerinin olabileceğine işaret etmektedir. Dolayısıyla, OS prosedürlerinin üreme ve diğer biyolojik süreçlerle olan olası etkilerini inceleyecek kapsamlı çalışmalara ihtiyaç duyulduğu düşünülmektedir. Serotonin ve melatoninin de oosit ve embriyo niteliğinde etkileri olan önemli hormonlar olduğu belirtilmektedir. Bununla birlikte farklı dozlarda uygulanan ekzojen gonadotropin uygulamalarının bu hormonlar üzerine etkisini inceleyen herhangi bir araştırma olmadığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada farklı dozlarda ekzojen gonadotropin uygulamasının serotonin ve melatonin düzeylerine etkisini fare modelinde incelemeyi amaçladık. Çalışmamızda fareler 5, 7.5, 10 ve 12.5 I.U. Gebe Kısrak Serum Gonadotropin/ İnsan Koriyonik Gonadotropin (PMSG/hCG) uygulamak üzere 4 farklı gruba (n=6) ayrıldı. Ekzojen gonadotropinlerle muamele sonrasında melatonin ve serotoninin düzeyleri çalışma gruplarına ait plazma örneklerinde ELISA yöntemi ile tespit edildi. Melatonin düzeyleri yönünden gruplar arasında anlamlı bir fark belirlenmezken, serotonin düzeyleri yönünden gruplar arasında anlamlı bir fark olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan grup içi karşılaştırmalarda 7.5 I.U. PMSG/hCG uygulanan grupta diğer gruplara nazaran serotonin düzeyleri yönünden anlamlı bir artış olduğu saptandı. Sonuç olarak uyguladığımız ekzojen gonadotropin dozlarının melatonin düzeylerini etkilemediği ancak serotonin seviyelerini 7.5 I.U. PMSG/hCG uygulaması sonrasında diğer dozlara göre anlamlı olarak artırdığı anlaşılmaktadır. Daha yüksek ekzojen gonadotropin dozlarının bu hormonlara etkisini hayvanlarda ve insanlarda da inceleyecek ilave çalışmaların üreme biyolojisine katkı sunacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Serotonin, melatonin, gonadotropin, ovaryum stimülasyonu

Effect of Different Doses of Exogenous Gonadotropin Administration on Serotonin and Melatonin Levels

ABSTRACT: Ovarian stimulation (OS) by exogenous gonadotropins is a common technique both in experimental studies on reproductive biology and *in vitro* fertilization (IVF). However, the data obtained from some studies indicate that OS may have various negative effects on the quality of oocyte and embryo, and embryogenesis processes. Therefore, it is thought that further studies are needed to examine the possible effects of OS procedures on reproductive and other biological processes. It is reported that serotonin and melatonin are important hormones that have effects on the quality of oocyte and embryo. On the other hand, it is understood that there is no study to examine the effect of different doses of exogenous gonadotropin treatment on these hormones. Therefore, in this study, we aimed to examine the effects of different doses of exogenous gonadotropin on serotonin and melatonin levels in the mouse model. In our study, mice were divided into 4 different groups (n = 6) to treatment with 5, 7.5, 10 and 12.5 I.U. Pregnant Mare Serum Gonadotrophin/ Human Chorionic Gonadotropin (PMSG/hCG). After the treatment with exogenous gonadotropins, levels of melatonin and serotonin were determined by the ELISA method in the plasma samples of the study groups. While there was no significant difference between the groups in terms of melatonin levels, there was a significant difference between the groups in terms of serotonin levels. In intragroup comparisons, it was found that there was a significant increase in the serotonin levels in the group treated with 7.5 IU PMSG/hCG compared to other groups. In conclusion, it is understood that the exogenous gonadotropin doses, which we administered, did not affect melatonin levels but significantly increased serotonin levels after 7.5 I.U. PMSG/hCG administration compared to other doses. Additional studies to examine the effect of higher exogenous gonadotropin doses on these hormones in animals and also in humans, are thought to contribute to reproductive biology.

Key words: Serotonin, melatonin, gonadotropin, ovarian stimulation

¹ İsmail Sarı (Orcid ID: 0000-0003-3732-2102), Esmâ Özmen (Orcid ID: 0000-0003-3223-6854), Serpil Erşan (Orcid ID: 0000-0002-8968-4044), Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Temel Tıp Bilimleri Bölümü, Tıbbi Biyokimya ABD, Niğde, Türkiye

² Erkan Gümüüş (Orcid ID: 0000-0001-6432-7457), Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Temel Tıp Bilimleri Bölümü, Histoloji ve Embriyoloji ABD, Aydın, Türkiye

³ İnayet Güntük (Orcid ID: 0000-0002-8299-1359), Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde Zübeyde Hanım Sağlık Yüksekokulu, Ebelik ABD, Niğde, Türkiye

⁴ Gönül Şeyda Seydel (Orcid ID: 0000-0001-9317-0719), Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde Zübeyde Hanım Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Yaşlı Bakımı ABD, Niğde, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: İsmail Sarı, e-mail: isari@ohu.edu.tr

ETİK KURUL ONAYI / ETHICS COMMITTEE APPROVAL: Bu makale yer alan hayvan deneyi için "Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, yerel hayvan etik komitesi" tarafından Onay No: 29.12.2015-92 kararı ile Etik Kurul Onayı almıştır.

Geliş tarihi / Received: 23-03-2020

Kabul tarihi / Accepted: 01-05-2020

GİRİŞ

Tüm canlıların yaşamlarını devam ettirebilmelerini sağlayan en hayati süreç başarılı bir üremedir (Reiter ve ark., 2014b; Reiter ve ark., 2014c; Salt ve ark., 2017). Ekzojen gonadotropinlerle ovaryumda OS, fazla sayıda oosit elde etmek üzere reproduktif ve *in vitro* fertilizasyon (IVF) uygulamalarında yaygın olarak başvuru bir uygulamadır (Ertzeid ve Storeng, 2001). Bununla birlikte OS protokollerinde uygulanan gonadotropin dozları çeşitlik göstermektedir. Bazı çalışmalarda OS uygulamalarının blastomer sayısını azalttığı, preimplantasyon aşamasında embriyo morfolojisini ve kalitesini olumsuz yönde etkilediği bildirilmiştir (Group, 1998; Van der Auwera ve D'Hooghe, 2001). Ayrıca, fare ve sıçanlarda yapılan çalışmalarda, OS uygulamasını takiben artan kromozomal anormallikler tespit edilmiştir. Birçok araştırma OS'nin beraberinde getirdiği bu gibi potansiyel olumsuz etkilerde uygulanan doz seviyesinin önemli olduğuna işaret etmektedir (Baart ve ark., 2006; Goldman, 2007; Sato ve ark., 2007). Bu nedenle özellikle farklı dozlarda yapılan OS prosedürlerinin organizmaya etkilerinin incelenmesi bu alanda optimum dozun belirlenmesine ve OS'nin biyolojik süreçlere olan etkilerinin anlaşılmasına katkısı olabilir. Ayrıca bu gibi çalışmalardan elde edilecek veriler reproduktif çalışmaların ve IVF uygulamalarının başarı oranlarının artırılmasına katkı sağlayabilir.

Dişi üreme sistemi ovulasyon, hormonal ve sirkadiyen ritmi de içeren kompleks bir süreçtir. Dişilerde başarılı bir üreme döngüsü için nitelikli bir ovulasyon sürecinin başarıyla tamamlanması kritik öneme sahiptir. Melatonin de ovulasyon kalitesi üzerine olumlu etkileri olan ve geceleri pineal bezden salınan amino asit türevli bir hormondur (Boden ve ark., 2013; Yücel ve ark., 2018). Melatonin, metabolitleriyle birlikte fertilitenin düzenlenmesinde kompleks bir etkiye sahiptir (Kandemir ve ark., 2017). Melatoninin sahip olduğu antioksidan işlevlerinin eşey hücrelerinin de dâhil olduğu hücrel yapıları reaktif oksijen türlerine (ROT)'ne karşı koruyarak fertilité üzerindeki olumlu etkilerinde payı olduğu bildirilmektedir (Tamura ve ark., 2014; Yücel ve ark., 2018).

Melatonin, epifiz bezi, karaciğer, retina, ovaryum ve kan damarları tarafından sentezlenmektedir (Kierszenbaum, 2006). Biyosentezindeki öncü molekül triptofan amino asitidir. Triptofan hidroksilasyon ve dekarboksilasyon yoluyla serotonine, serotonin de daha sonra arilalkilamin N-asetiltransferaz (NAT) enzimi ile N-asetil-serotonine dönüştürülür. N-asetil-serotonin, hidroksiindol-O-metiltransferaz (HIOMT) enzimi aracılığı ile melatonin oluşturmak üzere metillenir (Ceinos ve ark., 2004). Üretilen melatonin lipofilik yapıdadır ve tüm organlara geçebilmektedir (Koçak ve Çolak, 1996; Reiter, 1993).

Melatonin sentezinin ara moleküllerinden biri serotoninidir (5-hidroksitriptamin, 5HT) (Reiter, 1993). Serotonin ovaryumlarda (Clausell ve Soliman, 1978), foliküler sıvı (Bodis ve ark., 1992), olgun oositler ve kümülüs hücrelerinde (Amireault ve Dubé, 2005) bulunur. Memeliler dâhil pek çok hayvan grubunda serotoninin üreme biyolojisi açısından temel fonksiyonu ovaryum olgunlaşmasının modülasyonudur (Nikitina ve ark., 2002; Sheng ve ark., 2005; Tanaka ve ark., 1993; Terranova ve ark., 1990). Bunun yanı sıra serotonin ana östrojen kaynağı olan foliküler hücrelerin fonksiyonel aktivitesini de etkiler (Graveleau ve ark., 2000; Koppa ve ark., 2004; Tanaka ve ark., 1993; Terranova ve ark., 1990). Üreme döngüsü sırasında ovaryumdaki serotonin konsantrasyonu değişir. Bu durum bazı patolojik süreçler ve ayrıca IVF prosedürünün başarısıyla ilişkilidir (Bodis ve ark., 1993). Sınırlı sayıdaki bazı çalışmalarda ekzojen gonadotropin uygulamasının melatonin ve serotonin düzeylerini değiştirdiğine işaret eden veriler bulunmaktadır (Bódís ve ark., 1992; Prasad ve ark., 2015). Fakat bu araştırmalarda farklı dozlardaki ekzojen gonadotropinlerin, melatonin ve serotonin düzeylerine etkisinin incelenmediği görülmüştür.

OS protokolleri için kullanılan gonadotropin dozları hem hayvan deneylerinde hem de IVF çalışmalarında değişkenlik gösterebilmektedir. Tek bir döngüde çok sayıda oosit elde edebilmek için zaman zaman IVF hastalarında veya hayvan deneyi çalışmalarında daha yüksek dozlarda ekzojen gonadotropin kullanılarak OS gerçekleştirilmektedir (Combelles ve Albertini, 2003). Reprodüktif çalışmalarda süperovülasyon protokolleri için literatürde yaygın olarak fare başına 5.0 ila 10.0 IU dozları kullanılmaktadır (Ozturk ve ark., 2016; Vaseghi ve ark., 2017; Uysal ve ark., 2018). Dolayısıyla kullanılan ekzojen gonadotropin dozları değişkenlik göstermektedir. Fakat doz farklılıklarının üreme biyolojisi ile ilgili süreçlere etkisini inceleyen araştırmalar sınırlıdır. Bu nedenle çalışmamızda düşük doz 5.0, orta doz 7.5, yüksek doz 10.0 ve aşırı doz 12.5 IU PMSG/hCG şeklinde uygulanan farklı dozlardaki ekzojen gonadotropinlerin serotonin ve melatonin seviyeleri üzerinde bir etkisi olup olmadığının incelenmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma Grupları ve Gonadotropin Stimülasyonu

Bu çalışmada OS prosedürleri ve sonrasında belirlenecek hormon analizleri için 8-10 haftalık 20-30 g ağırlığında toplam 24 adet dişi BALB/c suşu fare kullanıldı. Çalışma öncesi Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, yerel hayvan etik komitesi tarafından onay (Onay No: 29.12.2015-92) alınmış olup tüm deney protokolleri deney hayvanlarının etik prosedürleri yönergelerine uygun olarak gerçekleştirildi. Fareler 20-22 °C sıcaklık ve %50-65 bağıl nem ile standart yem ve içme suyu kullanılarak ad libitum beslendi. Farelerin 12 saat karanlık ve 12 saat aydınlık periyotları oluşturularak östrus evresine girmeleri sağlandı. Çalışma gruplarının oluşturulmasında kullanılan 24 fare Gebe Kısrak Serum Gonadotropin/ İnsan Koriyonik Gonadotropin (PMSG/hCG; Sigma, St Louis, MO, USA) dozuna bağlı olarak her birinde 6 adet deney hayvanı olacak şekilde 4 gruba ayrıldı. Dişi farelere 5 (grup I), 7.5 (grup II), 10 (grup III), 12.5 (grup IV) I.U. PMSG enjekte edildi. Bundan 48 saat sonra her bir gruba sırası ile 5, 7.5, 10, 12.5 I.U. hCG intraperitoneal enjeksiyonla uygulanarak süperovüle olmaları sağlandı. Farelerin östrus siklusları günlük vajinal smear analizi yapılarak takip edildi.

Kan Örneklerinin Toplanması

Süperovüle edilen dişi farelere 5 mg kg⁻¹ Diazepam ve 200 mg/ kg⁻¹ Ketamine enjekte edildi. Fareler anestezi altında iken, heparinize şırınga ile kalbin sol ventrikülünden yaklaşık 1.5 mL kan örnekleri alındı ve etilendiamin tetra-asetik asit içeren tüplere ilave edildi. Daha sonra bu kan örneklerinden 2000xg'de 1 dakika santrifüj edilerek plazmalar elde edildi. Her hayvana ait plazma serotonin ve melatonin düzeyleri ELISA yöntemi ile belirlenmek üzere -80 °C'de muhafaza edildi.

Serotonin ve Melatonin Ölçümü

Çalışma gruplarına ait plazma örneklerinde serotonin ve melatonin seviyeleri, enzim bağlı immünosorbent testi (ELISA) tabanlı Serotonin ve Melatonin ELISA kitleri (Shanghai Sunred Biological Technology Co., Ltd, China) kullanılarak, kit protokolleri doğrultusunda gerçekleştirildi.

İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analizler SPSS versiyon 22 (SPSS, Inc., Chicago, IL, USA) kullanılarak gerçekleştirildi. Çalışmadan elde edilen verilerin normal dağılım gösterip göstermediği Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro Wilk normallik testleri ile belirlendi. Bu testlerin sonucunda serotonin düzeylerinin normal dağılım gösterdiğinin analiz edilmesi nedeni ile tüm gruplar arasındaki karşılaştırılmasında Bir Yönlü ANOVA, melatonin düzeylerinin ise normal dağılıma uymadığının belirlenmesi sonucunda bu parametrenin karşılaştırılmasında Kruskal Wallis testi kullanıldı. Ayrıca, serotonin düzeylerinin grup içi

karşılaştırmaları Tukey t testi ile gerçekleştirildi. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p \leq 0.05$ olarak kabul edildi.

BULGULAR VE TARTIŞMA

ELISA yöntemi sonucunda elde edilen verilerin analizi ile serotonin düzeyleri yönünden çalışma grupları arasında anlamlı bir farkın olduğu belirlenirken ($p=0.001$; $p<0.05$), melatonin düzeyleri yönünden anlamlı bir fark saptanmadı ($p=0.886$; $p>0.05$). Tukey-t testi ile yapılan grup içi karşılaştırmalarda 7.5 I.U PMSG/hCG uygulanan grup II' ye ait serotonin düzeylerinin grup I ($P=0.001$), grup III ($p=0.007$) ve grup IV ($p=0.022$)'e göre anlamlı olarak daha yüksek olduğu gözlemlendi ($p<0.05$); bkz. Çizelge 1). Diğer gruplar arasında serotonin düzeyleri bakımından anlamlı bir farkın olmadığı saptandı ($p>0.05$).

Çizelge 1. Çalışma gruplarına ait plazma serotonin, melatonin düzeyleri ve istatistiksel analizi

	Grup I (n=6)	Grup II (n=6)	Grup III (n=6)	Grup IV (n=6)	p
Serotonin (pg/mL; $\bar{x} \pm S$)	12.41 \pm 1.29	23.95 \pm 5.57*	16.31 \pm 2.36	15.69 \pm 3.33	0.001*
Melatonin (pg/mL; $\bar{x} \pm S$)	16.52 \pm 2.87	15.71 \pm 0.78	15.65 \pm 1.30	15.51 \pm 1.10	> 0.05

Veriler ortalama (\bar{x}) \pm standart sapma (S) olarak verilmiştir; * $p<0.05$

Bu çalışmada, farklı dozlarda ekzojen gonadotropin (PMSG/hCG) uygulaması ile gerçekleştirilen kontrollü OS' nin plazma serotonin ve melatonin düzeylerine etkisi ilk defa incelendi.

Bilgilerimize göre farklı dozlarda ekzojen gonadotropin (PMSG/hCG) uygulamasının serotonin düzeyindeki değişimini inceleyen herhangi bir araştırma bulunmasa da, bazı çalışmalarda serotoninin ovaryum dokusunda önemli işlevlere sahip olduğu, üreme ve gametogenezde rol aldığı bildirilmiştir (Koppan ve ark., 2004; Sharker ve ark., 2020). Serotoninin *Oryzias latipes* balığına ait ovaryum dokusunda hem steroidogenez hem de oosit maturasyonu üzerinde düzenleyici işlevlere sahip olduğu (Iwamatsu ve ark., 1993), insan granuloza (Bódis ve ark., 1992) ve sığır luteal hücrelerinde progesteron üretimini stimüle ettiği gösterilmiştir (Battista ve Condon, 1986; Battista ve ark., 1987). Önceki çalışmalarda serotoninin omurgalılarda gonadotropin salgılatıcı hormon (GNRH) salınımını ve ekspresyonunu düzenlediği gösterilmiştir (Li ve Pelletier, 1995; Prasad ve ark., 2015). GNRH ise daha sonra hipofiz üzerine etki ederek ederek Follikül Uyarıcı Hormon (FSH) ve Luteinleştirici Hormon (LH) salınımını stimüle eder. Bu iki hormon ise ovaryum dokusundan steroidogenez, folikülogenez ve oogenezi gibi üreme ile ilgili önemli süreçlerin düzenlenmesinden sorumludur (Bódis ve ark., 2019). Bu bilgiler ışığında, serotoninin dolaylı yönden bu süreçlere etkisi olduğu çıkarımı yapılabilir.

Ayrıca IVF tedavisi alan kadınlarda serotoninin beyin kaynaklı nörotrofik faktör ve kisseptin ile olan etkileşimleri üzerinden üreme potansiyelini ve oosit sayısını artırdığı tespit edilmiş, serotonin ve kisseptin'in IVF başarısını olumlu yönde etkilediği gösterilmiştir (Prasad ve ark., 2015). Dahası, serotoninin doza bağlı olarak, insan granuloza hücrelerinden progesteron salınımını artırıcı bir etkisi olduğu da belirlenmiştir (Bódis ve ark., 1992). Serotoninin insan granuloza hücrelerinde gonadotropinler tarafından indüklenen steroid sekresyonuna etkisini incelemek amacıyla gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise insan granuloza hücre hatlarına serotonin, LH+serotonin ve FSH + serotonin uygulanmış ve bu uygulamayı takiben 17- β östradiol (E_2) ve progesteron salınımını anlamlı olarak artırdığı tespit edilmiştir. Serotoninin gonadotropinlerle kombine olarak uygulanmasının progesteron seviyelerinde ilave bir etki oluşturmadığı gözlenirken E_2 düzeylerinin daha fazla artmasına neden olduğu saptanmıştır (Koppan ve ark., 2004). Serotoninin, granuloza hücrelerindeki gonadotropinlerle indüklenen steroid

salınımı üzerine gözlenen bu etkileri, granuloza hücre fonksiyonlarının düzenlenmesinde önemli fonksiyonlara sahip olduğuna işaret etmektedir.

Özetle serotoninin üreme işlevlerinde kritik rollere sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle farklı dozlarda uygulanan ekzojen gonadotropinlerin serotonin düzeylerine etkisinin incelenmesi gerek OS, gerekse IVF başarısı yönünden optimum gonadotropin dozlarının belirlenmesine katkı sağlayabilir.

Araştırmamızda, farklı dozlarda ekzojen gonadotropin uygulamasını takiben serotonin düzeyleri yönünden gruplar arasında anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir. Grup içi karşılaştırmalar sonucunda 7.5 I.U. PMSG/hCG uygulanan gruba ait serotonin düzeylerinin anlamlı olarak diğer gruplardan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. 5, 10, 12.5 I.U. PMSG/hCG uygulanan gruplarda ise elde edilen serotonin düzeylerinin benzer olduğu tespit gözlenmiştir. Serotonin üreme biyolojisine olan pozitif etkileri göz önünde bulundurulduğunda 7.5 I.U. dozda PMSG/hCG ile OS işleminin olumlu etkileri olabilir. Ancak serotoninin kadın üreme döngüsünde önemli fonksiyonları olan E₂ düzeylerini artırıcı etkisi göz önüne alındığında OS sürecinde bazı olumsuz etkileri olabilir. E₂, sadece üreme ve cinsiyet fonksiyonları üzerine değil kemik gibi diğer organlar üzerine de kritik etkilere sahip bir steroid hormondur. E₂ menstrüasyonda rol almasının yanı sıra ikincil cinsiyet özelliklerinin gelişimine katkı sağlar ve endometriyal preparasyon, blastosist implantasyonu ve endometriumun progesteron tarafından implantasyona hazırlanması için de gereklidir (Vardar ve ark., 1993; Kara ve ark., 2012; Rehman ve ark., 2012) Bununla birlikte farklı E₂ seviyelerinin ovaryumda oosit sayısı ve kalitesini etkilediği bildirilmiştir (Chenette ve ark., 1990; Gelety ve Buyalos, 1995; Kondapalli ve ark., 2012). Yüksek E₂ seviyelerinin oosit ve embriyo kalitesini düşürdüğü (Tarumi ve ark., 2014; Valbuena ve ark., 2001), endometriyuma negatif etkileri üzerinden fertilize ovumun implantasyonunu engellediği bildirilmiştir (Forman ve ark., 1988). Tarafımızdan daha önce gerçekleştirilen bir araştırmada aynı dozlarda ekzojen gonadotropin uygulanan farelerde, E₂ düzeylerinin en fazla 7.5 I.U. PMSG/hCG uygulanan grupta anlamlı oranda artış gösterdiği tespit edildi (Sari ve ark., 2020). Dolayısıyla iki çalışmadan elde ettiğimiz veriler serotonin ve E₂ düzeylerinin bu gruplarda korale bir şekilde artış gösterdiğine işaret etmektedir. Yüksek E₂ düzeylerinin üreme biyolojisine olumsuz etkileri göz önüne alındığında artan serotonin düzeylerinin etkilerinin üreme biyolojisinde rol alan diğer hormon veya faktörler de dahil edilerek gonadotropin dozu bakımından detaylı araştırmalarla açığa kavuşturulması gerektiğini düşünmekteyiz.

Embriyo niteliği, oosit kalitesi, foliküler gelişim, ovulasyon, implantasyon gibi üreme sistemini yakından ilgilendiren birçok faktör oositlerin ve foliküler sıvının mikroçevresi ile yakından ilişkilidir (Reiter ve ark., 2014a). DNA, RNA, Protein gibi çeşitli makromoleküllere atak yapıp zarar verme potansiyeline sahip olan ROT' ların oositler ve foliküler sıvının mikroçevresinde artışına neden olabilecek durumların bu gibi süreçleri etkileyebileceği ileri sürülmektedir (Cooke ve ark., 2003; Williams ve Jeffrey, 2000). ROT' ların bu mikroçevrede oosit ve/veya embriyoya ait makromoleküllere de atak yaparak yapılarını etkileyebileceği, bu durumun da implantasyon ve IVF başarı oranlarını azaltabileceği iddia edilmektedir. Melatonin de antioksidan özellikleri nedeniyle ROT' ların zararlı etkilerinin azaltılmasına katkısı olan bir hormondur ve serotonin gibi ovaryumda, üreme işlevlerinde etkilidir (Agarwal ve ark., 2006; Clausell ve Soliman, 1978; Tan ve ark., 2005; Yücel ve ark., 2018). Bu nedenle oosit niteliği ve embriyo kalitesi üzerinde olumsuz etkileri olabilecek DNA ve diğer makromoleküllerde meydana gelebilecek kusurlara karşı koruyucu etkileri olabilir. Melatonin dışı üreme sistemindeki etkilerini özellikle ovulasyon süresince üretilen ROT' un neden olduğu hasar üzerinde gösterdiği bildirilmektedir (Kandemir ve ark., 2017). Nitekim yapılan bazı çalışmalarda melatoninin, oositlerin ROT' lar tarafından hasarlanma oranını ve IVF başarısını artırdığı gösterilmiştir (Espino ve ark., 2019; Reiter ve ark., 2005).

Melatoninin birçok organda sentezlenmesinin yanı sıra yapılan ölçümlerle ovaryumdaki melatonin seviyesinin dolaşımdaki melatonin seviyesinden fazla olduğu ve folikül büyüdükçe ovaryum melatonin miktarının arttığı tespit edilmiştir (Clausell ve Soliman, 1978; Yücel ve ark., 2018). Melatoninin memeli türlerinde reproduktif işlevleri hipotalamo-hipofizer-gonad aksındaki reseptör bölgelerinin aktivasyonu ile etkilediği ileri sürülmektedir (Soares ve ark., 2003). Endojen melatonin düzeylerinin pinealektomi ile azaltılmasının korpus luteum ve granuloza hücrelerinde mitotik aktivite artışıyla beraber ovaryum morfolojisinde hiperplazi ve/veya hipertrofi ile sonuçlanan değişime neden olduğu gösterilmiştir (Lewiński ve ark., 1993). Ayrıca, Schwartz ve ark. tarafından melatonin düzeylerinin sabit ışık maruziyetiyle azalmasını takiben ovaryum ağırlığı ve büyüklüğünde anlamlı bir artış saptanmıştır (Schwartz ve McCobmack, 1972).

Melatoninin ovaryum gelişimi, morfolojisi ve reproduktif sisteme olan etkileri nedeni ile çalışmamızda farklı dozlarda ekzojen gonadotropin uygulanan gruplarda plazma serotonin düzeyinin yanı sıra melatonin düzeyi de belirlendi. Fakat elde edilen bulgular sonucunda çalışma grupları arasında melatonin düzeyleri yönünden anlamlı bir fark olmadığı belirlendi. Buna göre farklı dozlarda uyguladığımız (5, 7.5, 10, 12.5 I.U. PMSG/hCG) ekzojen gonadotropinlerin, melatonin düzeylerine etkisinin benzer oranda olduğu anlaşılmaktadır. Triptofandan sentezlenen serotonin, melatonin biyosentezi sırasında başlıca ürün olduğundan 7.5 I.U. PMSG/hCG uygulanan grupta serotonin düzeyi anlamlı olarak artmasına rağmen melatonin düzeylerinin buna eşlik etmemesi ilk bakışta şaşırtıcı bir sonuçmuş gibi görünmektedir. Fakat melatonin en çok gece karanlıkta, başlıca pineal bezden salınan ve omurgalı fizyolojisinde günlük ritmi korunmuş özelliğe sahip bir hormondur. Melatonin ve serotonin biyosentezinde öncelikle triptofan hücrelerden triptofan hidroksilaz enzimi ile hidroksile edilir ve daha sonra L-aromatik amino asit dekarboksilazla dekarboksile edilerek serotonin sentezlenir. Serotonin kan-beyin bariyerini geçemediğinden N-asetil transferaz enzimi aracılığı ile asetillenerek N-asetilserotonine dönüştürülür. N-asetil serotonin pineal bez içine alınabilir ve son olarak O-metiltransferazla O-metilasyona uğratarak melatonine dönüştürülür (Lv ve ark., 2020). Pineal bezde serotonin seviyeleri gündüz gecedan daha yüksektir, buna karşılık pineal bezde N-asetilserotonin ve melatonin düzeyleri gündüz düşük ve gece yüksektir (Ganguly ve ark., 2002). Sonuç olarak pineal bez tarafından kullanılan serotonin (N-asetilserotonin) günlük serotoninin yalnızca bir kısmını oluşturmaktadır. Ayrıca melatonin düzeyini belirleyen sadece serotonin düzeyleri değil aynı zamanda sentez yolundaki enzimlerin aktivite ve/veya ekspresyon oranları da bunda etkili olabilir. Çalışmamızda uygulanan 7.5 I.U PMSG/hCG' nin de etkisi bu aşamalarda farklılık gösteriyor olabilir. Tüm bunlara ek olarak çalışmamızda deney düzeneğimizi oluştururken tüm deney gruplarından gündüz aynı saate denk gelecek şekilde kan örnekleri alınmıştır. Gece ve gündüz boyunca kan ve beyin omurilik sıvısında melatonin seviyelerinin bir ritmik düzende seyretmesi nedeni ile uyguladığımız ekzojen gonadotropinler melatonin seviyesine etkisini tam anlamıyla yansıtmayabilir. Bu deney hayvanlarından melatonin seviyelerinin pik yaptığı saatlerde kan örneği alınması ile daha farklı sonuçlar elde edilebilir. Dolayısıyla bu düşüncelerin netlik kazanması için biyosentezin tüm enzimlerini ve günlük ritmi de dikkate alacak çalışmalara ihtiyaç vardır.

SONUÇ

Sonuç olarak bu çalışmada farklı dozlarda uygulanan ekzojen gonadotropinlerin OS sürecinde melatonin ve serotonin düzeylerine etkisi ilk kez incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda uyguladığımız ekzojen gonadotropin dozlarının melatonin düzeylerini anlamlı olarak değiştirmedeği belirlenirken, serotonin seviyelerinin 7.5 I.U. PMSG/hCG uygulanan grupta anlamlı olarak daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu çalışmada uygulanan PMSG/hCG dozları, literatürde reproduktif hayvan deneyi araştırmalarında sıklıkla 5-10 I.U. aralığında kullanılması nedeniyle 5, 7.5, 10 ve yüksek doz olarak da

12.5 I.U. olacak şekilde kurgulanmıştır. IVF merkezlerinde zaman zaman daha fazla oosit elde edilmesi amacıyla bazı kadınlar farklı ve yüksek dozlarda gonadotropin uygulamalarına maruz kalmaktadır. Çalışmamızda uygulanan değerlerin dışında daha yüksek gonadotropin dozlarının bu hormonların düzeylerine etkilerinin incelenmesi eksojen gonadotropinlerin serotonin ve melatonin salınımına etkisinin anlaşılmasında ilave bilgiler sağlayabilir. Her iki hormonun da üreme biyolojisinde gerek oositler gerekse ovaryum dokusu ve embriyo üzerine dikkate değer etkileri olması nedeni ile farklı dozlarda eksojen gonadotropin uygulamalarının bu hormonlara etkilerini inceleyecek detaylı çalışmalara gereksinim duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

- Agarwal A, Gupta S, Sikka S, 2006. The Role of Free Radicals and Antioxidants in Reproduction. *Current Opinion in Obstetrics and Gynecology*, 18(3):325-332.
- Amireault P, Dubé F, 2005. Serotonin and Its Antidepressant-Sensitive Transport in Mouse Cumulus-Oocyte Complexes and Early Embryos. *Biology of reproduction*, 73(2):358-365.
- Baart EB, Martini E, van den Berg I, Macklon N, Galjaard RH, Fauser B *et al.*, 2006. Preimplantation Genetic Screening Reveals a High Incidence of Aneuploidy and Mosaicism in Embryos from Young Women Undergoing Ivf. *Human Reproduction*, 21(1):223-233.
- Battista P, Condon W, 1986. Serotonin-Induced Stimulation of Progesterone Production by Cow Luteal Cells in Vitro. *Reproduction*, 76(1):231-238.
- Battista P, Rexroad Jr C, Condon W, 1987. Mechanisms Involved in the Action of Serotonin-Induced Stimulation of Progesterone Production by Bovine Luteal Cells in Vitro. *Molecular and cellular endocrinology*, 51(1-2):145-151.
- Boden MJ, Varcoe TJ, Kennaway DJ, 2013. Circadian Regulation of Reproduction: From Gamete to Offspring. *Progress in biophysics and molecular biology*, 113(3):387-397.
- Bodis J, Bognár B, Hartmann G, Török A, Csaba I, 1992. Measurement of Noradrenaline, Dopamine and Serotonin Contents in Follicular Fluid of Human Graafian Follicles after Superovulation Treatment. *Gynecologic and obstetric investigation*, 33(3):165-167.
- Bodis J, Hartmann G, Tinneberg H-R, Török A, Hanf V, Papenfuss F *et al.*, 1993. Relationship between the Monoamine, Progesterone and Estradiol Content in Follicular Fluid of Preovulatory Graafian Follicles after Superovulation Treatment. *Gynecologic and obstetric investigation*, 35(4):232-235.
- Bódis J, Török A, Tinneberg H-R, Hanf V, Hamori M, Cledon P, 1992. Influence of Serotonin on Progesterone and Estradiol Secretion of Cultured Human Granulosa Cells. *Fertility and sterility*, 57(5):1008-1011.
- Bódis J, Sulyok E, Kőszegi T, Prémusz V, Várnagy Á, Koppán M, 2019. Serum and Follicular Fluid Levels of Serotonin, Kisspeptin, and Brain-Derived Neurotrophic Factor in Patients Undergoing in Vitro Fertilization: An Observational Study: Neurohormones in Patients Receiving Ivf. *Journal of International Medical Research*:0300060519879330.
- Ceinos R, Chansard M, Revel F, Calgari C, Miguez J, Simonneaux V, 2004. Analysis of Adrenergic Regulation of Melatonin Synthesis in Siberian Hamster Pineal Emphasizes the Role of Hiomt. *Neurosignals*, 13(6):308-317.
- Chenette PE, Sauer MV, Paulson RJ, 1990. Very high serum estradiol levels are not detrimental to clinical outcome of in vitro fertilization. *Fertil Steril*, 54(5):858-863.
- Clausell D, Soliman K, 1978. Ovarian Serotonin Content in Relation to Ovulation. *Experientia*, 34(3):410-411.

- Combelles Catherine MH, ve Albertini DF, 2003. Assessment of oocyte quality following repeated gonadotropin stimulation in the mouse." *Biology of Reproduction*, 68(3):812-21.
- Cooke MS, Evans MD, Dizdaroglu M, Lunec J, 2003. Oxidative DNA Damage: Mechanisms, Mutation, and Disease. *The FASEB Journal*, 17(10):1195-1214.
- Ertzeid G, Storeng R, 2001. The Impact of Ovarian Stimulation on Implantation and Fetal Development in Mice. *Human Reproduction*, 16(2):221-225.
- Espino J, Macedo M, Lozano G, Ortiz Á, Rodríguez C, Rodríguez AB *et al.*, 2019. Impact of Melatonin Supplementation in Women with Unexplained Infertility Undergoing Fertility Treatment. *Antioxidants*, 8(9):338.
- Forman R, Belaisch-Allart J, Fries N, Hazout A, Testart J, Frydman R, 1988. Evidence for an Adverse Effect of Elevated Serum Estradiol Concentrations on Embryo Implantation. *Fertility and sterility*, 49(1):118-122.
- Ganguly S, Coon SL, Klein DC, 2002. Control of melatonin synthesis in the mammalian pineal gland: the critical role of serotonin acetylation. *Cell and tissue research*, 309(1):127-137.
- Gelety TJ, Buyalos RP, 1995. The influence of supraphysiologic estradiol levels on human nidation. *J Assist Reprod Genet.* 12(7):406–412.
- Goldman B 2007. Reproductive Medicine: The First Cut: Nature Publishing Group.
- Graveleau C, Paust H-J, Schmidt-Grimminger D, Mukhopadhyay AK, 2000. Presence of a 5-Ht7 Receptor Positively Coupled to Adenylate Cyclase Activation in Human Granulosa-Lutein Cells. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 85(3):1277-1286.
- Group IW 1998. Art into Science: Regulation of Fertility Techniques: Islat Working Group: American Association for the Advancement of Science.
- Iwamatsu T, Toya Y, Sakai N, Terada Y, Nagata R, Nagahama Y, 1993. Effect of 5-Hydroxytryptamine on Steroidogenesis and Oocyte Maturation in Pre-Ovulatory Follicles of the Medaka *Oryzias Latipes*: (Medaka/Steroidogenesis/5-Hydroxytryptamine/Foillicle/Oocyte Maturation). *Development, growth & differentiation*, 35(6):625-630.
- Kandemir YB, Aydin C, Gorgisen G, 2017. The Effects of Melatonin on Oxidative Stress and Prevention of Primordial Follicle Loss Via Activation of Mtor Pathway in the Rat Ovary. *Cell Mol Biol(Noisy le Grand)*, 63(100-106).
- Kara M, Kutlu T, Soguglu K, Devranoglu B, Cetinkaya T. 2012. Association between serum estradiol level on the hCG administration day and IVF-ICSI outcome. *Iran J Reprod Med*, 10(1):53–58.
- Kierszenbaum AL, 2006. Histoloji Ve Hücre Biyolojisi. *Ankara, Palme Yayıncılık.*
- Koçak A, Çolak A, 1996. Melatonin Ve Santral Sinir Sistemi. *J Turgut Özal Medical Center*, 3(237-244).
- Kondapalli LA, Molinaro TA, Sammel DA, 2012. A decrease in serum estradiol levels after human chorionic gonadotrophin administration predicts significantly lower clinical pregnancy and live birth rates in vitro fertilization cycles. *Hum Reprod*, 27(9):2690–2697.
- Koppan M, Bodis J, Verzar Z, Tinneberg H-R, Torok A, 2004. Serotonin May Alter the Pattern of Gonadotropin-Induced Progesterone Release of Human Granulosa Cells in Superfusion System. *Endocrine*, 24(2):155-159.
- Lewiński A, Szymczykiewicz P, Sewerynek E, Wajs E, 1993. Effects of Pinealectomy and Melatonin Administration on Certain Indices of Ovarian Hyperplasia and/or Hypertrophy in Rats with Both Ovaries Intact or after Unilateral Ovariectomy. *Joal of pineal research*, 14(3):117-127.
- Li S, Pelletier G, 1995. Involvement of Serotonin in the Regulation of GnRh Gene Expression in the Male Rat Brain. *Neuropeptides*, 29(1):21-25.

- Lv Y, Li Y, Li J, Bian C, Qin C, Shi Q, 2020. A comparative genomics study on the molecular evolution of serotonin/melatonin biosynthesizing enzymes in vertebrates. *Frontiers in Molecular Biosciences*, 7.
- Nikitina L, Buznikov G, Galanov AY, Malchenko LA, Trubnikova OB, 2002. The Control of Oocyte Maturation in the Starfish and Amphibians by Serotonin and Its Antagonists. *International Journal of Developmental Biology*, 37(2):363-364.
- Ozturk S, Yaba-Ucar A, Sozen B, Mutlu D, Demir N, 2016. Superovulation alters embryonic poly(A)-binding protein (Epub) and poly(A)-binding protein, cytoplasmic 1 (Pabpc1) gene expression in mouse oocytes and early embryos. *ReprodFertil Dev*, 28(3):375-383.
- Prasad P, Ogawa S, Parhar I (2015). Role of Serotonin in Fish Reproduction. *Front. NeuROTci*. 9, 1e9.
- Rehman R, Hussain Z, Faraz N, 2012. Effect of estradiol levels on pregnancy outcome in obese females. *J Ayub Med Coll Abbottabad*, 24(3):3-5.
- Reiter RJ, 1993. The Melatonin Rhythm: Both a Clock and a Calendar. *Experientia*, 49(8):654-664.
- Reiter RJ, Tan DX, Maldonado MD, 2005. Melatonin as an Antioxidant: Physiology Versus Pharmacology. *Journal of pineal research*, 39(2):215-216.
- Reiter RJ, Tamura H, Tan DX, Xu X-Y, 2014a. Melatonin and the Circadian System: Contributions to Successful Female Reproduction. *Fertility and sterility*, 102(2):321-328.
- Reiter RJ, Tan D-X, Tamura H, Cruz MHC, Fuentes-Broto L, 2014b. Clinical Relevance of Melatonin in Ovarian and Placental Physiology: A Review. *Gynecological Endocrinology*, 30(2):83-89.
- Reiter RJ, Tan DX, Korkmaz A, ROTales-Corral SA, 2014c. Melatonin and Stable Circadian Rhythms Optimize Maternal, Placental and Fetal Physiology. *Human reproduction update*, 20(2):293-307.
- Salt A, Çenesiz M, Çenesiz S, 2017. Melatonin, Etkileri Ve Kullanım Alanları. *Etlik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi*, 28(1):7-12.
- Sari I, Gumus E, Taskiran AS, Sokmensuer LK, 2020. Effect of ovarian stimulation on the expression of piRNA pathway proteins. *PloS one*, Doi: 10.1371/journal.pone.0232629.
- Sato A, Otsu E, Negishi H, Utsunomiya T, Arima T, 2007. Aberrant DNA Methylation of Imprinted Loci in Superovulated Oocytes. *Human reproduction*, 22(1):26-35.
- Schwartz NB, McCobmack C, 1972. Reproduction: Gonadal Function and Its Regulation. *Annual review of physiology*, 34(1):425-472.
- Sharker MR, Sukhan ZP, Kim SC, Lee WK, Kho KH, 2020. Identification, Characterization, and Expression Analysis of a Serotonin Receptor Involved in the Reproductive Process of the Pacific Abalone, *Haliotis Discus Hannai*. *Molecular biology reports*, 47(1):555-567.
- Sheng Y, Wang L, Liu XS, Montplaisir V, Tiberi M, Baltz JM *et al.*, 2005. A Serotonin Receptor Antagonist Induces Oocyte Maturation in Both Frogs and Mice: Evidence That the Same G Protein-Coupled Receptor Is Responsible for Maintaining Meiosis Arrest in Both Species. *Journal of cellular physiology*, 202(3):777-786.
- Soares JM, Masana MI, Erşahin Ç, Dubocovich ML, 2003. Functional Melatonin Receptors in Rat Ovaries at Various Stages of the Estrous Cycle. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 306(2):694-702.
- Tamura H, Takasaki A, Taketani T, Tanabe M, Lee L, Tamura I *et al.*, 2014. Melatonin and Female Reproduction. *Journal of Obstetrics and Gynaecology Research*, 40(1):1-11.
- Tan DX, Manchester LC, Sainz RM, Mayo JC, Leon J, Hardeland R *et al.*, 2005. Interactions between Melatonin and Nicotinamide Nucleotide: NADH Preservation in Cells and in Cell-Free Systems by Melatonin. *Journal of pineal research*, 39(2):185-194.

- Tanaka E, Baba N, Toshida K, Suzuki K, 1993. Serotonin Stimulates Steroidogenesis in Rat Preovulatory Follicles: Involvement of 5-Ht₂ Receptor. *Life sciences*, 53(7):563-570.
- Tarumi W, Itoh MT, Suzuki N, 2014. Effects of 5 α -Dihydrotestosterone and 17 β -Estradiol on the Mouse Ovarian Follicle Development and Oocyte Maturation. *PloS one*, 9(6).
- Terranova P, Uilenbroek JTJ, Saville L, Horst D, Nakamura Y, 1990. Serotonin Enhances Oestradiol Production by Hamster Preovulatory Follicles in Vitro: Effects of Experimentally Induced Atresia. *Journal of endocrinology*, 125(3):433-438.
- Uysal F, Ozturk S, Akkoyunlu G, 2018. Superovulation alters DNA methyltransferase protein expression in mouse oocytes and early embryos. *J Assist Reprod Genet*, 35(3):503–513.
- Valbuena D, Martin J, de Pablo JL, Remohí J, Pellicer A, Simón C, 2001. Increasing Levels of Estradiol Are Deleterious to Embryonic Implantation Because They Directly Affect the Embryo. *Fertility and sterility*, 76(5):962-968.
- Van der Auwera I, D'Hooghe T, 2001. Superovulation of Female Mice Delays Embryonic and Fetal Development. *Human Reproduction*, 16(6):1237-1243.
- Vardar MA, Çetin T, Burgut R, Demır C, 1993. Klomifen sitrat veya HMG/HCG ile indüklenen siklularda luteal fazın değerlendirilmesi: Kısa luteal faz, luteal faz yetmezliği. *Kadın Doğum Dergisi*, 9(2): 127-131
- Vaseghi H, Mogheiseh A, Sepehrimanesh M, Kafi M, Nooranizadeh MH. Super pregnancy in a BALB/c mouse superovulated with PMSG. *Lab Anim Res.* 2017;33(3):280–282. doi:10.5625/lar.2017.33.3.280
- Williams GM, Jeffrey AM, 2000. Oxidative DNA Damage: Endogenous and Chemically Induced. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 32(3):283-292.
- Yücel GN, Kaplanođlu GT, Seymen CM, 2018. Karanlığın Mucizesi: Melatonin Ve Ovaryum Etkileşimi. *Dicle Tıp Dergisi*, 45(1):85-92.

Yamanlar ve Manisa (Spil) Dağlarındaki *Prunus cocomilia* var. *puberula* ile *Prunus cocomilia* var. *cocomilia* Taksonlarının Ekoloji ve Morfolojilerinin İncelenmesi

Funda SEMENDEROĞLU^{1*}, Adnan SEMENDEROĞLU², Ahmet Serdar AYTAÇ³

ÖZET: Ülkemizde 63 familyaya ait tür ve bazı türlerin alttür ve varyeteleri de dâhil 3649 endemik takson bulunmaktadır. Ülkemizde bulunan fitocoğrafik bölgelerde endemizm oranı oldukça yüksek olmakla birlikte, bu endemik taksonlar çoğunlukla dağlık alanlarda yayılış göstermektedir. Bu çalışmada *Rosaceae* familyasından *Prunus cocomilia* var. *cocomilia* ve *Prunus cocomilia* var. *puberula* taksonlarının Yamanlar dağı ve Manisa dağındaki benzer yükseltilerde görülen mevcut ekolojik ve morfolojik durumları karşılaştırılmıştır. Çalışılan taksonların yayılışları literatür çalışması ve yapılan arazi çalışmaları ile tespit edilmiştir. Morfolojik çalışmalarda kök ve sürgün bölgelerine ait ölçümler yapılmış, ekolojik çalışmalarda, çalışma alanlarının fiziki coğrafya özellikleri, iklim özellikleri, ana kaya, toprak özellikleri değerlendirilmiş ve toprakta yapılan fiziksel ve kimyasal analizler ile bitkide yapılan kimyasal analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak her iki taksonun literatürde belirtilen yerlerdeki varlığı ile birlikte, *Prunus cocomilia* var. *puberula*'nın Manisa dağında 530-540 m'lerden başlayıp yaklaşık zirveye (1400 -1500 m) kadar varlığı tespit edilmiştir. Gerek Yamanlar gerekse Manisa dağında yükseklerle çıkıldıkça her iki taksonda da bitki sürgün bölgelerinde küçülmeler olduğu, *Prunus cocomilia* var. *puberula*'nın gövde diken boyutlarında artış olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Prunus* taksonları, endemik, fiziki coğrafya, morfoloji, ekoloji.

Investigation of The Ecology and Morphology of *Prunus cocomilia* var. *cocomilia* and *Prunus cocomilia* var. *puberula* taxa in the Yamanlar and Manisa (Spil) Mountains

ABSTRACT: There are 3649 endemic taxa including 63 species and subspecies and varieties of some species in our country. Although the rate of endemism in the phytogeographical regions in our country is quite high, these endemic taxa are mostly distributed in mountainous areas. In this study, the current ecological and morphological conditions of the *Prunus cocomilia* var. *cocomilia* and *Prunus cocomilia* var. *puberula* taxa of the *Rosaceae* family on similar elevations on the Yamanlar Mountain and Manisa Mountain were compared. The distribution of taxa was determined by literature and field studies. In the morphological studies, measurements were made on the root and each shoot area. In the ecological studies, the physical geography characteristics, climatic characteristics, parent material and soil properties of the study areas were evaluated and the physical and chemical analyzes performed in the soil were compared with the results of chemical analysis in the plants. As a result, with the presence of both taxa in the places indicated in the literature, the presence of *Prunus cocomilia* var. *puberula* on Manisa Mountain starting from 530-540 m and approximately reaching to the peak (1400-1500 m) was determined. As the altitude increases in Manisa and Yamanlar mountain, it is determined that shrinkage in plant shoot regions and increasing in trunk thorn size on both taxa.

Key words: *Prunus* taxa, endemic, physical geography, morphology, ecology

¹ Funda SEMENDEROĞLU (Orcid ID: 0000-0003-4368-9699), Zübeyde Hanım Eğitim Kurumları, Fen Lisesi, Buca-İzmir, Türkiye

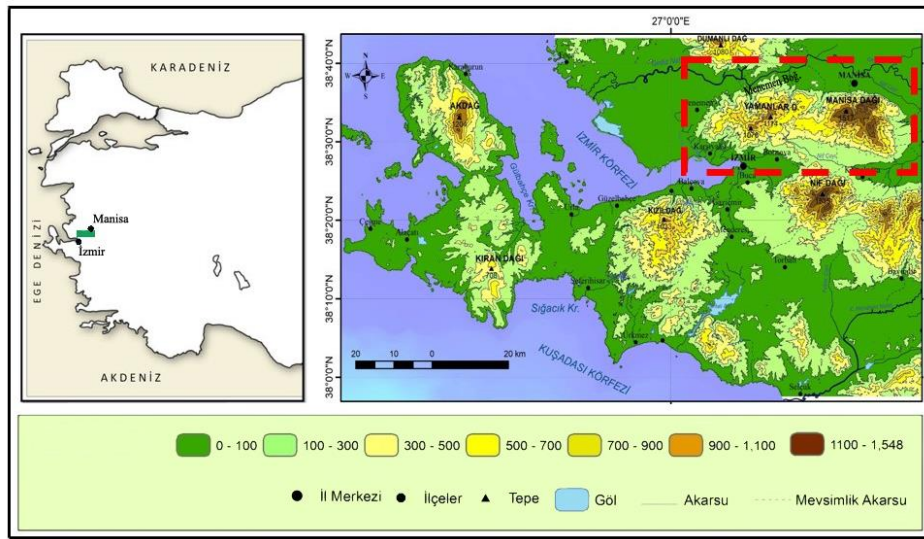
² Adnan SEMENDEROĞLU (Orcid ID: 0000-0002-6039-2270), Dokuz Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi Türkçe ve Sosyal Bilimler Eğitimi Bölümü, Coğrafya Eğitimi Anabilim Dalı, Buca-İzmir, Türkiye

³ Ahmet Serdar AYTAÇ (Orcid ID: 0000-0001-8638-038X), Harran Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Funda SEMENDEROĞLU, e-mail: semen1970@hotmail.com

GİRİŞ

Manisa (Spil) Dağı ve Yamanlar Dağı'nı kapsayan çalışma alanı, Ege Bölgesi'nin Kıyı Ege Bölümünde 38° 20' 50"/38° 38' 50" K enlemleri ile 27° 1' 35"/27° 35' 20" D boylamları arasında yer alır (Şekil 1). Çalışma alanı, Davis'in (1965-1985) kareleme yöntemine göre B1 karesinde yer alır (Şekil 4). Türkiye, İran-Turan, Avrupa-Sibirya ile Akdeniz flora bölgeleri ve bunların karşılaşma sahaları içinde yer alır. Ayrıca batıdan doğuya giderek yükselen yüzey şekillerine sahip olması, farklı jeolojik yapısı, değişik iklim tiplerini göstermesi gibi nedenlerle ülkemiz zengin bir tür çeşitliliğine sahiptir (Avcı, 1993; Semenderoğlu ve Aytacı, 2005).



Şekil 1: Yamanlar ve Manisa dağlarının lokasyon haritası

Türkiye'de endemik bitkiler üzerine yapılmış çalışmalarda, endemik bitkilerin sınıflandırılması (Özdemir ve ark., 1988; Seçmen, 1996; Kaya ve Aksakal, 2005), Türkiye'deki yayılışları (Baytop ve Demiriz, 1980; Öztürk ve ark., 1992, Seçmen, 1996; Özhatay ve ark., 2013; Şenkul ve Kaya, 2017, Özhatay ve ark., 2011), endemik taksonlar ve özellikleri (Gemici, 1981; Şık ve Gemici, 2009; Kayıkcı ve Oğur, 2012), tehlike altındaki endemik bitkiler (Ekim ve ark., 1989) gibi konular ele alınmıştır. Türkiye'de bulunan 12.000'den fazla bitki taksonunun yaklaşık 3649'unun endemik olduğu (Güner ve ark., 2012'den aktaran Şenkul ve Kaya, 2017), bununla birlikte Türkiye'nin endemik zenginliğinin, ortalama her 10 günde bir yeni bir endemik taksonun keşfiyle artış gösterdiği (Güner ve ark., 2012; Torlak ve ark., 2010) belirtilmiştir. Ülkemizdeki endemik bitkilerden 1050 takson Akdeniz fitocoğrafik bölgesinde olup (yaklaşık 1/3), bunlardan 160 takson Ege Bölgesi'ndedir (Kaya ve Aksakal, 2005). Endemik taksonlar çoğunlukla dağlık alanlarımızda yayılış göstermektedir (Kaya ve Aksakal, 2005; Şenkul ve Kaya, 2017). Çalıştığımız taksonlar *Rosaceae* familyası üyeleri olan *Prunus cocomilia* var. *cocomilia* ve *Prunus cocomilia* var. *puberula*'dır. *Rosaceae* familyasının 31 cinsinden 9'u (%29) ve doğal yayılış gösteren 245 türünden 46'sı endemiktir (%18.8) (Kaya ve Aksakal, 2005). Bununla birlikte *Prunus cocomilia* var. *puberula* taksonunun Türkiye dışında İtalya, Yunanistan, Lübnan ve Filistin'de yayılış gösterdiğinden endemikten düştüğü öne sürülmüştür (Dönmez ve Yıldırım, 2000). Çalışma alanımızdaki Yamanlar dağında hâkim bitki formasyonlarının frigana, maki, *Pinus brutia* ile dağın üst kısımlarında *Pinus nigra* ssp. olduğu, bu dağda 87 familyaya ait 715 tür bulunduğu, endemik bitkilerin mevcut floranın %4.19'unu oluşturduğu tespit edilmiştir (Gemici ve Seçmen, 1983). Manisa dağında yapılan floristik çalışmalarda ise (Duman, 1985; Hepcan, 1997) 81 familyaya ait 593 takson tespit edilmiş, 78 endemik tür bulunmuştur. Bu çalışmada endemik bitkilerden olan söz konusu taksonların

Yamanlar ve Manisa dağlarındaki benzer yükseltilerde görülen ekolojik ve morfolojik durumları karşılaştırılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Morfolojik Çalışmalarda Yöntem

Morfolojik ölçümlerin herbaryum örnekleri üzerinden yapılması gerektiğinden, morfolojik incelemeler taksonların çiçeklenme dönemi olan nisan ayında araziden uygun tekniklerle toplanan bitki kısımlarının yine uygun tekniklerle hazırlanmasıyla oluşturulan herbaryum örnekleri üzerinde yapılmıştır. Bu süreçte; bitkinin kök, gövde, yaprak, çiçek, kaliks, korolla, andrekeum, ginekeum ve meyve üzerinde çok sayıda ölçümler yapılmış, ölçümlerin aritmetik ortalama değerleri kaydedilmiştir.

Ekolojik Çalışmalarda Yöntem

Ekolojik çalışmalar için gerekli olan toprak, herbaryum örneklerinin alındığı yerlerden temin edilmiştir. Temizlenen yüzeyden 15-20 cm. derinliğe kadar inilerek toprak örnekleri alınmıştır.

Bitki-toprak ilişkisinin değerlendirilebilmesi için, toprağın bünyesi Hidrometre yöntemi ile (Bouyoucos, 1962), su tutma kapasitesi tartı yöntemi ile pH, Jackson yöntemine göre (Jackson, 1958), kireç (CaCO₃) Scheibler Kalsimetresi yöntemi ile (Nehring, 1960) ve organik madde miktarı ise yaş yakma metodu ile (Stubing, 1965) tayin edilmiştir. Toprakta ve bitkide bulunan azot, makroelementler yöntemi (Bremner ve Shaw, 1955), fosfor Bingham ve Olsen yöntemleri (Jackson, 1958) ile potasyum ve kalsiyum ise Gülçür'un yöntemi ile (Gülçür, 1974) tayin edilmiştir.

Ekolojik koşulları doğrudan etkilediğinden, çalışma sürecinde ilgili habitatların coğrafik durumu, iklim koşulları ve jeolojik yapısı incelenerek, ekolojik koşullara etkisi dikkate alınmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma Alanlarının Genel Fiziki Coğrafya Özellikleri

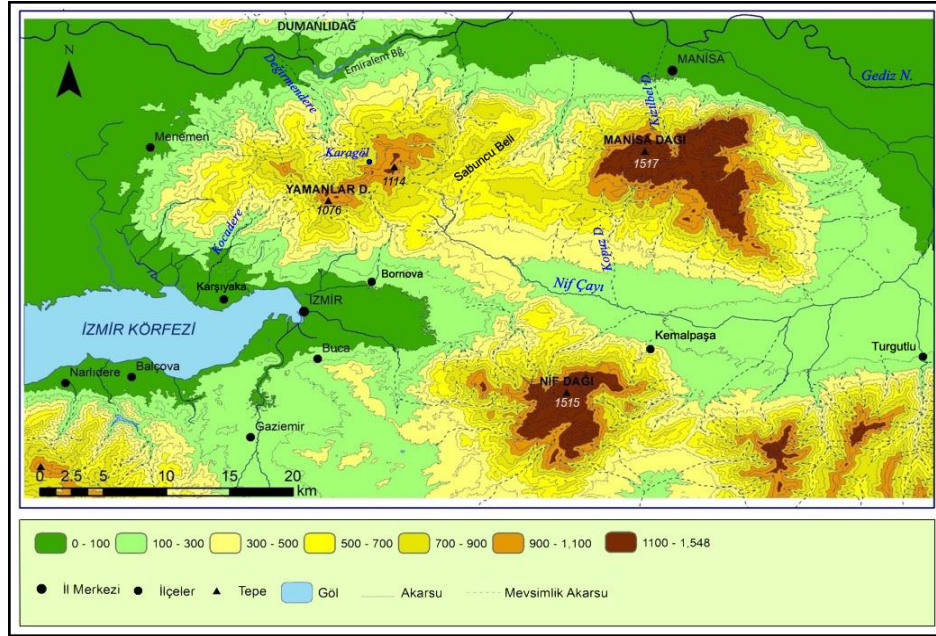
Manisa (Spil) Dağı

Manisa ve Yamanlar Dağı, Ege Bölgesi'nin, denizel etkilerin ön plana çıktığı Kıyı Ege Bölümü'nde yer alır. Orografik olarak D-B doğrultusunda tek bir dağlık kütle gibi görünen bu dağlar, daha çok neojen tortullarından oluşan Sabuncubeli eşiği (565) ile birbirinden ayrılmaktadır (Şekil 2).

Doğudaki Manisa Dağı, Alaşehir (Gediz) grabeninin batısında tektonik oluşun Ege Denizi ile bağlantısında engel oluşturarak, kuzeyde Akhisar, güneyde Kemalpaşa ovaları şeklinde çatallanmasına yol açar (Şekil 1, 2). En yüksek noktası Karadağ Tepesi (1517 m) olan Manisa Dağı, kuzey kenarlarındaki aktif Manisa fayı nedeniyle Manisa ovasından dik ve eğimli yamaçlarla aniden yükselir. Dağın jeolojik yapısı, genel olarak çamurtaşı ve kumtaşıdan oluşan matriks, bu matriks içinde spilit, radyolarit, diyabaz, ofiyolit, kireçtaşı bloklarından (olistolit) ibaret Bornova karmaşığı (Erdoğan, 1990) veya Bornova flişidir (Okay ve Siyako, 1991). Dağın kütleli görüntüsünü üst kesimlerde yer alan megablock konumundaki Mesozoyik kireçtaşları oluşturmaktadır. Manisa Dağı'nın batı, güney ve doğu kesimleri çakıltası, kumtaşı, kıltaşı, killi-kireçtaşı ve kireçtaşlarından oluşan Neojen gölsel tortullarla çevrelenmektedir (Şekil 3). Bu tortullara, 1400 metrelerdeki Atalanı mevkiinden dağın zirve kesimine doğru yüksek kesimlerde rastlanması, dağın Miyosen birikim döneminden sonra neotektonik dönemde yükselmesi ile ilgilidir. Kuzey yamaçta Çaybaşı-Kızılbel Deresi, güney yamaçta Kopuzçayı gibi akarsular mesozoyik kireçtaşları içinde derin karstik boğaz vadiler açmışlardır (Şekil 2).

Manisa (Spil) Dağı'nda yükselti, yağış ve sıcaklık şartları ile bakı koşullarının belirlediği farklı vejetasyon kuşakları ortaya çıkmıştır. Kuzey yamaçlarda 850, güney yamaçlarda 950 metrelere kadar olan kuşak, sıcaklık ve ışık istekleri yüksek, kuraklığa dayanıklı kızılçam, maki ve garig vejetasyonu ile

temsil edilen Asıl Akdeniz Vegetasyon Kuşağıdır. Bu kuşağın üzerinde, yükseltinin artması, sıcaklığın düşmesi ile beraber karaçamlarla (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana*) temsil edilen Akdeniz Dağ Kuşağına geçilir. Genel olarak 1350 metrelerden sonra, rüzgâr faktörü ve insan tahribatı nedeniyle İran-Turan elementlerinin görüldüğü, sub-alpin vejetasyon görünümü katabileceği. Bu kat daha çok antropojen karakterli bir kuşaktır (Semenderoğlu ve ark., 2005).



Şekil 2: Yamanlar ve Manisa dağları ve çevresinin yükselti basamakları haritası.

Duman, 1985'e göre, Manisa Dağı, vejetasyon tipleri bakımından üç gruba ayrılabilir. Bunlar: Maki vejetasyonu, Akdeniz orman vejetasyonu (altta kızılçam ve üstte karaçam ormanları birlikte) ve Akdeniz orman-Akdeniz dağ stebi geçiş vejetasyonlarıdır. Ayrıca antropojen etkilerle oluşan bozulmuş Akdeniz dağ stebi vejetasyonu mevcuttur. Vejetasyon tiplerine göre saptanan bitki birlikleri şunlardır: 1-Maki vejetasyonu: (*Quercetum cocciferae* (Q. *coccifera* birliği)) 2-Akdeniz orman vejetasyonu: a) *Pinetum brutiae* (*Pinus brutia* birliği) b) *Pinetum pallasianae* (*P. nigra* subsp. *pallasiana* birliği) 3-Akdeniz orman-Akdeniz dağ stebi geçiş vejetasyonu: a) *Vicietum craccae* (*Vicia cracca* subsp. *stenophylla* birliği) b) *Paeonietum peregrinae* (*Paeonia peregrina* birliği) c) *Juniperetum sabinae* (*Juniperus sabina* birliği).

Walter 1962'ye göre klimaks bir vejetasyon türü, Schwarz 1936'ya göre sekonder bir vejetasyon formasyonu olan Maki vejetasyonu, Manisa dağında hem orman altı formasyonu hem de bağımsız bir formasyon niteliğindedir. Günal (1993)'a göre 800-850 metrelere kadar yayılış gösteren maki formasyonu, Duman (1985)'a göre 1200 metrelere kadar yükselmekte, yükselti arttıkça yerini orman vejetasyonuna bırakmakta ayrıca tür kompozisyonunu oluşturan bazı elementleri kaybetmektedir. Q. *coccifera* birlikleri halinde 1050, tür olarak 1350 metrelere kadar çıkmaktadır (Duman, 1985). Erguvan (*Cercis siliquastrum*) dağın kuzey-kuzeybatı yamaçlarında birey olarak 1000 metrenin üzerine kadar, güney yamaçta ise 1350 metrelerde, karaçam ormanları alt katında dağınık olarak bulunur (Günal, 1993).

Pinus brutia birlikleri olarak 400 m' den başlayıp 850 m'ye kadar çıkmakta, yer yer *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* ormanları ile karışmaktadır. Birlik olarak *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* ormanları da 1040 m' den başlayıp 1460 m'ye kadar çıkmakta, fert olarak da antropojen sub-alpin katta bulunmaktadır (Duman, 1985). Duman, *Prunus cocomilia* var. *cocomilia* ve *Prunus divaricata* subsp. *divaricata*'nın Manisa dağındaki varlığını bildirmiş, *Prunus cocomilia* var. *puberula*'nın varlığından bahsetmemiştir.

Manisa dağında saptanan 81 familyaya ait 593 taksonun floristik elementlere göre dağılımı; 292 Akdeniz (% 49,24), 30 İran-Turan (% 5,05), 57 Avrupa-Sibirya (% 9,61), 26 Akdeniz/İran-Turan (% 4,38), 36 Akdeniz/Avrupa-Sibirya (% 6,07), 2 İran-Turan/Avrupa-Sibirya elementi (% 0,33) ve 150 adet geniş yayılışa sahip olan kozmopolit türler (% 25,29) şeklindedir (Duman, 1985).

Manisa Dağı'nda geniş alanlar kaplayan Mesozoyik kireçtaşları üzerinde ve karstik depresyon tabanlarında (dolin, uvala vb) kırmızı renkli Akdeniz toprakları yaygındır. Kızılçam ve Karaçam ormanları ile kaplı fliş formasyonu ve neojen depoları üzerinde genellikle kireçli kahverengi orman toprakları görülür. Dağın batı ve doğu kesimlerinde, killi-kireçli neojen depolarında kalsimorfik intrazonal topraklardan rendzinalara rastlanır. Fliş formasyonu üzerinde, eğimli ve bitki örtüsü tahrip edilmiş sahalarda intrazonal karakterli, A-C horizonlu sıg topraklar yaygındır. Azonal topraklar; vadi tabanlarında yer yer görülen alüvyal topraklar ve dik yamaçların önünde kolüvyal topraklar şeklindedir.

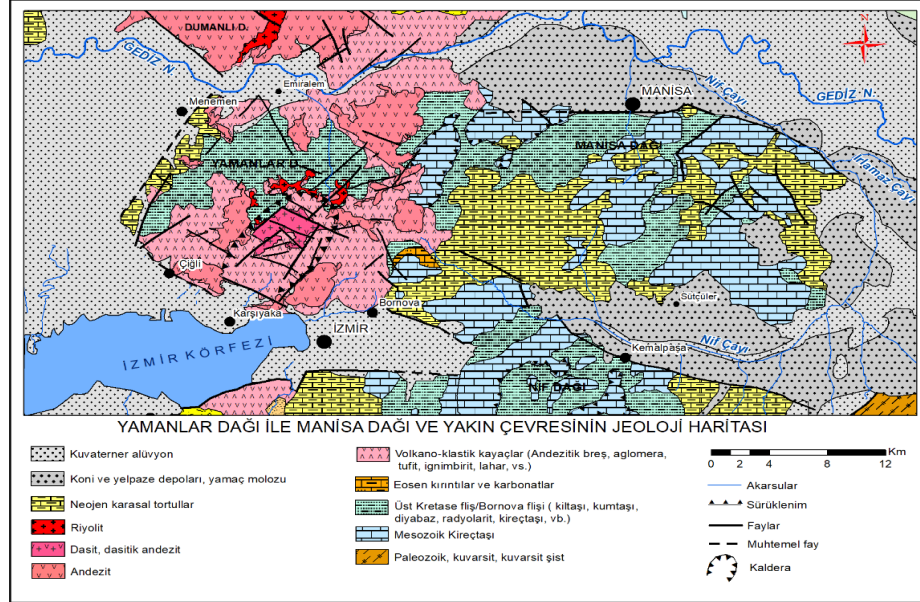
Yamanlar Dağı

Yamanlar Dağı, aşınmış eski andezitik volkan kütlesi görünümündedir. Ancak temeli Manisa Dağı gibi Bornova flişinden oluşmaktadır. Volkanitler nedeniyle Manisa Dağı'na göre karmaşık bir jeolojik yapısı vardır. Dağın merkezi kısımlarında dasit, riyo-dasit ve riyolitlerden oluşan asit karakterli volkanik kayalar bulunur (Şekil 3). Dairesel şekilli Yamanlar Dağı'nda merkezden çevreye (radyal) drenaj paterninin hâkim olduğu göze çarpar. Dağ, güneyden İzmir Körfezi, batıdan Gediz deltası ve kuzeyde Dumanlıdağ volkanik kütlesi ile çevrelenir. Gediz Nehri, Yamanlar Dağı ve kuzeyindeki volkanik Dumanlıdağ arasındaki birleştirme boğazı olan Emiralem boğazından geçerek, batıdaki Gediz deltasına açılır (Şekil 2). Erinç'e (1955) göre bu boğaz kapma boğazı tipindedir. Volkanitler daha geniş alan kaplamasına rağmen dağın orta, batı, doğu ve yer yer güney kesimleri ile derin vadilerde Bornova flişinin kırıntılı birimleri ve kireçtaşları yüzlek vermektedir. Dağın en yüksek zirveleri Karagöl'ü yay şeklinde çevreler. Bu tepeler, güneybatıdan kuzeydoğuya sırasıyla Kara Tepe (1076 m), Kazan Tepe (1048 m), Çam Tepe (1114 m), Oluk Tepe (1104.9 m)'dir. Dağın en yüksek noktası Karagöl'ün 1 km güneydoğusunda bulunan 1114 m yükseltideki Çam Tepe'dir. Neotektonik hareketlerle yükselen Yamanlar Dağı, kuzey yamaçta Değirmendere, güney yamaçta Kocadere (Örnekköy deresi) ile Yamanlar deresi ve kolları ile derin bir şekilde yarılarak, parçalanmış, dağlık bir kütle görünümü kazanmıştır (Şekil 2).

Yamanlar Dağı'nda bulunan zonal topraklar; kireçsiz kahverengi orman toprakları, kireçsiz kahverengi topraklar, kırmızımsı kahverengi ve kırmızı Akdeniz topraklarıdır. Asit karakterli kireçsiz kahverengi orman toprakları, Karagöl'ün batısında, Değirmendere'nin yukarı havzasında (Karagöl Deresi) yer alır. Üst toprak bol organik maddeli ve granüler yapılıdır. Toprağın alt seviyeleri genel olarak killi-kumlu balçık bünyelidir. Kuzey bakı ve yükselti faktörü nedenleriyle dağın en nemli ortamlarını oluşturan bu sahalarda, orman altında eğrelti otları (*Pteridium aquilinum*), kaya yüzeyleri ve ağaç gövdelerinde çeşitli liken türleri, vadilerde dişbudak (*Fraxinus* sp.) türleri ve çınarlar (*Platanus orientalis*) dikkat çeker.

Kireçsiz kahverengi topraklar, dağın daha çok batı kesimlerinde andezit, dasit, piroklastik volkanik kayalar ve fliş formasyonu üzerinde; maki, kızılçam ve karaçam vejetasyonu altında gelişmiş A, B ve C horizonlu serbest CaCO₃ içermeyen topraklardır. A horizonunda ince organik madde katı varken, alt seviyeler killi bünyeli ve çakıllıdır (Sezer, 1987). Anakayanın fiziksel ve kimyasal özelliklerini yansıtan A-C horizonlu intrazonal topraklar; kireçli kahverengi orman toprakları, rendzina ve flişler üzerinde kumlu topraklardır. Bunlardan kireçli kahverengi orman toprakları genellikle dağın merkezi, güney ve özellikle doğu yamaçlarında, fliş ve killi-kireçli neojen depoları üzerinde, kızılçamlardan oluşan kuru ormanla kaplı eğimli yamaçlarda görülür. Eğim ve erozyon nedenleriyle genellikle A-C horizonludur,

ancak bazen ince bir B horizonu içerirler. CaCO_3 miktarları % 0.10 - 4.84 ve pH değerleri 7.02-7.65 arasında değişir (Sezer, 1987). Rendzinalar çoğunlukla dağın doğu kenarlarında bulunan killi-kireçli neojen depoları üzerinde gelişmiştir. Yamanlar Dağı'nın batı kenarlarında olduğu gibi fliş formasyonu üzerinde, bitki örtüsü büyük ölçüde tahrip edilmiş yamaçlarda ortaya çıkarlar. C horizonundan ibaret azonal topraklar; vadi tabanlarındaki alüvyal topraklar ile dik yamaçlar önünde bulunan kolüvyal depolar üzerindeki kolüvyal topraklardan ibarettir.



Şekil 3: Yamanlar ve Manisa dağları ile yakın çevresinin jeoloji haritası (Karaoğlu, 2014 ve MTA 1/500.000 ölçekli İzmir Jeoloji haritası-2002'den yararlanılarak)

Yamanlar Dağı'nda asıl Akdeniz vejetasyon kuşağını oluşturan kızılçam, maki ve garig vejetasyon formasyonları, kuzey yamaçlarda 750-800, güney yamaçlarda 900-1000 metrelere kadar yükselmektedir. Başlıca karaçamlardan oluşan Akdeniz dağ kuşağı ise daha çok kuzey yamaçlarda ve 850-900 metrelerden itibaren görülmektedir (Sezer, 1987). Gemici ve Seçmen (1983)'e göre ise *Q. coccifera* nın baskın olduğu maki vejetasyonu ile kızılçam toplulukları 800 metrelere kadar yükselir. *Pinus nigra* ssp. *pallasiana* ise 800 metrelerden sonra yayılış göstermektedir. Frigana ve makinin ulaşamadığı yükseltilerde ise (yaklaşık 750 metreden sonra) bunlar yerlerini aralarında endemik *Prunus cocomilia* var. *cocomilia* ve *Prunus cocomilia* var. *puberula*'nın da olduğu çalı türlerine bırakmaktadır.

Yamanlar Dağı'nda saptanan 715 taksonun % 37.9'u Akdeniz ve Doğu Akdeniz (266 tür), % 3,63'ü Avrupa-Sibirya, % 2,93'ü kozmopolit, % 0,55'i İran-Turan elementlerinden oluşmaktadır. % 55,66'sının ise herhangi bir fitocoğrafya bölgesine ait olmadığı kabul edilmektedir (398 tür). 715 taksonun 30 tanesi (% 4,19) ise endemiktir. Çamtepe'nin kuzey yamacında, 900 metrelerde, karaçam ormanı içinde Avrupa-Sibirya elementleri olan titrek kavak (*Populus tremula* L.) ile Anadolu kestanesi (*Castanea sativa* Miller) dikkat çekici relik türlerdir (Gemici ve Seçmen, 1983).

İklim özellikleri

İnceleme alanının iklim özelliklerini farklı mevsimlerde bölgeyi etkileyen hava kütleleri ile yükselti bakı gibi fiziki coğrafya faktörleri belirlemektedir.

Yaz döneminde yalnızca tropikal hava külesinin etkisi altında kalan çalışma alanında sıcak ve kurak dönem yaşanırken, kışın tropikal ve polar hava kütlelerinin karşılaşma sahası dâhilinde kalan

bölgede yağışlar meydana gelmektedir. Yaz döneminde kuzeybatıdan esen Etezyen rüzgârları, yaz sıcaklıklarının az da olsa hafiflemesine neden olur.

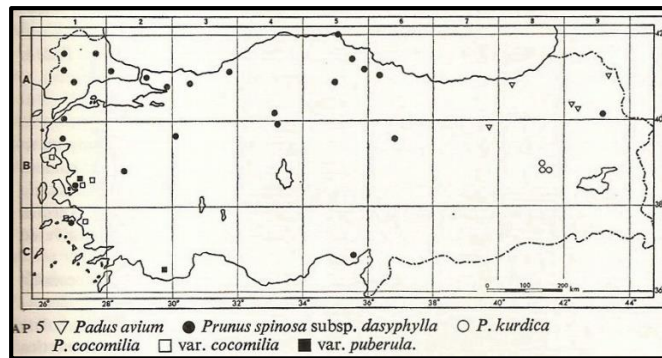
Çalışma alanında 900-1000 metre yüksekliğe kadar olan alçak kesimlerde Akdeniz iklimi, daha yüksek kesimlerde Ege Dağ kuşağının iklim özellikleri görülür.

Sahada genel olarak subtropikal sıcaklık rejimi hâkimdir (İnceleme alanı çevresindeki istasyonlarda Mayıs-Eylül arasındaki 5 ay sıcaklık 20°C'nin üzerindedir). İklim özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan istasyonlarda yıllık ortalama sıcaklık; Manisa:16.8, İzmir: 17.9'dur. Mukayese istasyonlarında ortalama sıcaklığın en düşük olduğu ay Ocak'tır. Bu dönemde bile sıcaklık 6°C'nin altına düşmez (Ocak ayı, Manisa 6.6 İzmir 8.7). Yaz döneminde en yüksek aylık ortalama sıcaklık Temmuz ayındadır (Manisa: 27.9 İzmir 28.0). Mukayese istasyonlarına göre yüksek olan inceleme alanının 1000 metreden yüksek kesimlerinde, lapse rate metoduna göre yıllık ortalama sıcaklığının 10 – 13°C; kış mevsimi ortalamalarının 0 – 3°C; yaz mevsimi ortalamalarının ise 21 – 23°C arasında değiştiği hesaplanmıştır.

Yıllık toplam yağış miktarı 700 mm civarında olup (Manisa 727 mm, İzmir 695 mm) sahada Akdeniz yağış rejimi görülür. En yağışlı mevsim kış olup yıllık toplam yağışın %50'den fazlası bu mevsimde düşer. Bahar aylarında görülen yağış miktarı birbirine oldukça yakın iken (% 22-24 civarı) en kurak mevsim yazdır (%2-3). Mukayese istasyonlarına göre yüksek olan araştırma alanında yükselti artışına bağlı yağış artışı beklenir. Bu nedenle araştırma alanının yüksek kesimlerinde yıllık toplam yağış miktarının 1000 mm'nin üzerinde olduğu hesaplanmıştır. Yükseltinin artmasıyla yüksek alanlarda yağışların da artması, bitki örtüsü ve toprak özelliklerinden izlenebilmektedir. Nitekim yüksek kesimlerde karaçam ormanları ve yıkanma nedeniyle pH'nın nispeten düşük (asidik) olduğu kahverengi orman topraklarına geçilmesi bunu doğrulamaktadır. Sahada yıl boyu esen rüzgârlar içerisinde batı sektör hâkimdir (Koçman, 1993, 1989). İnceleme alanı ve çevresinin iklimi Thortwaite iklim tasnifine göre: yarı nemli üçüncü derece mezo termal yazın su noksanı şiddetli derecede olan hafif denizel iklim (C2B'3S2b'2) olarak belirlenmiştir (Yılmaz ve Çiçek, 2016).

Çalışılan Taksonların Türkiye'deki Yayılışları

Rocaceae familyasından olan *Prunus cocomilia* var. *puberula*'nın yayılış alanlarının Anadolu'da çok lokal bölgelerde; İzmir Yamanlar Dağı (1000 m) (B1) ve Antalya Gömbe (1150 m) (C2) olduğu (Davis, 1972) ve *Prunus cocomilia* var. *cocomilia*'nın yayılış alanlarının Anadolu'da; Manisa Dağı (100-200 m) (B1), Yamanlar Dağı (700-800 m) (B1), İzmir Samsun Dağı, *Kayacık* ve *Yalt.*(ISTO 3348) (C1) ve civarındaki bazı adalarda; Lesvos Adası (700 m) ve Samos Adası (700-800 m) de (Davis, 1972) olduğu yapılan literatür çalışmalarında tespit edilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. *Prunus cocomilia* var. *cocomilia* ve *Prunus cocomilia* var. *puberula*'nın, diğer bazı türler ile birlikte Davis'in kareleme yönteminde yayılışlarını gösteren lokasyon haritası (Davis, 1972).

Morfolojik Bulgular

Prunus cocomilia var. *cocomila*'nın morfolojik özellikleri

Yaprak döken ağaçlardır. Kazık köke sahip olan *Prunus cocomilia* var. *cocomilia* endemik olup *Prunus cocomilia* var. *puberula*'dan, dallarında ve taze sürgünlerinde bulunan basık tüyler ile ayrılır. Çiçekler dal üzerinde kümeler halinde bulunur ve aktinomorf simetridir. Gövde çapı 18-20 cm olup kahverengi ve diktir (Şekil 5).

Gövde	: Odunsu, kahverengi, dik ve kalın
Yaprak	: Basit, lanseolat, petiolat ve dentat.
Çiçek Durumu	: Rasemoz
Çiçek	: Beyaz, aktinomorf, pedisellat
Kaliks	: Sepaller beş adet, ayrı ve yeşil renkli.
Korolla	: Petaller beş adet, ayrı ve beyaz renkli.
Andrekeum	: Stamenler çok sayıda (poliandrus), spiral dizilişli stamenler değişik boylarda (5.5x7 mm) ve anterler sarı renkli.
Ginekeum	: Ovaryum üst durumlu (hipogin), tek karpelli. Pistil boyu 7x9 mm.
Meyve	: Etili ve sulu drupa, yeşil renkli, parlak, düz yüzeyli, tüysüz.
Tohum	: Meyve içindeki tohum, insan ve hayvanların etkisiyle taşınır.

Çizelge 1. *Prunus cocomilia* var. *cocomilia*'ya ait morfolojik ölçümler

Özellik	Ölç.sys	İzmir-Yamanlar Dağı				Manisa (Spil) Dağı			
		Ca: 680 m		Ca: 900 m		Ca: 640 m		Ca: 1000 m	
		Mean (cm)	St.err. mean	Mean (cm)	St.err. mean	Mean (cm)	St.err. mean	Mean (cm)	St.err. mean
Gövde	5	61.4	3.57211	60	3.72827	60.5	2.40118	58	3.50547
Gövde boy	5	2.4	0.291548	2.34	0.332566	2.55	0.292115	2.40	0.314536
Yaprak en	30	1.59	0.05832	1.4166	0.04991	1.5766	0.06028	1.39	0.50101
Yaprak boy	30	2.5066	0.08346	2.2533	0.08435	2.6966	0.08292	2.1933	0.07021
Corolla en	10	7.45	0.36856	4.28	0.1618	6.90	0.34722	4.16	0.26342
Corolla boy	10	1.1067	0.05832	7.3	0.26034	1.1012	1.1650	7.15	1.1024
Calix en	10	1.81	0.16961	1.755	0.10447	1.50	1.79	1.605	1.455
Calix boy	10	2.97	0.07895	3.2	0.08165	2.62	2.911	3.10	0.07845
Andrekeum	10	5.7154	0.26112	5.8182	0.19392	5.7041	5.8052	5.8091	0.19250
Ginekeum	10	7.9	0.1453	7.7	0.21344	7.8	8.01	7.72	0.20355

Prunus cocomilia var. *cocomilia*'ya ait morfolojik ölçüm sonuçları çizelge 1'de belirtilmiştir. Morfolojik ölçümler herbaryumlar üzerinden yapılmıştır. Taksona ait örnekler İzmir Yamanlar Dağı 680 m'den ve 900 m'den, Manisa (Spil) dağı 640 m'den ve 1000 m'den toplanmıştır.

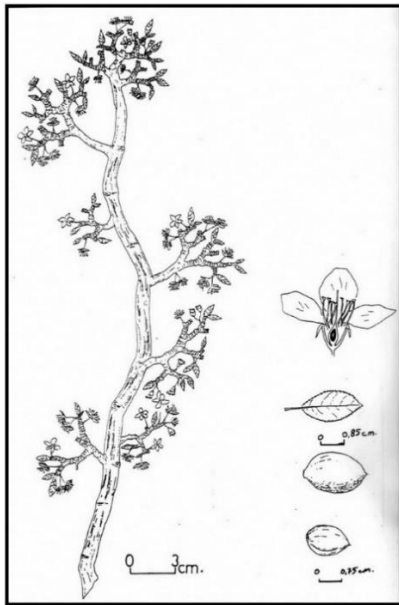
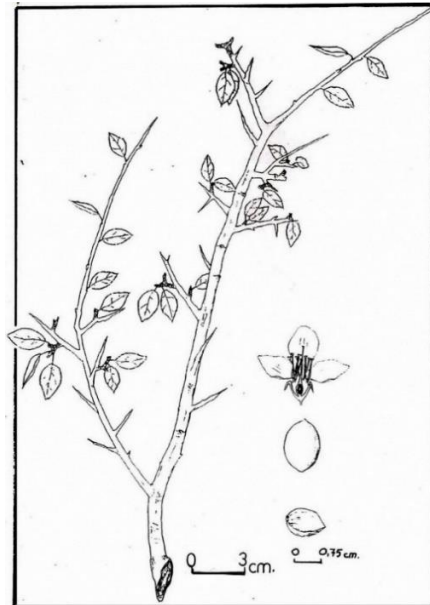
Prunus cocomilia var. *puberula*'nın morfolojik özellikleri

Kazık köklü, yaprak döken ağaçlardır. Aktinomorf simetrik çiçekler, dal üzerinde kümeler halindedir. 18-20 cm çaplı gövde, kahverengi ve diktir. *Prunus cocomilia* var. *puberula* taksonu, *Prunus cocomilia* var. *cocomilia* taksonundan karakteristik olarak gövde ile taze sürgünlerdeki dikenler ve basık tüylerin varlığı ile ayrılır (Şekil 6).

- Gövde** : Odunsu, kahverengi, dik ve kalın
Yaprak : Basit, lanseolat, petiolat ve dentat
Çiçek Durumu : Rasemoz
Çiçek : Beyaz, aktinomorf, pedisellat
Kaliks : Sepaller ayrı, beş adet ve yeşil renkli.
Korolla : Petaller beş adet, ayrı ve beyaz renkli.
Andrekeum : Stamenler çok sayıda (poliandrus), spiral dizilişli. Değişik boylarda olan stamenlerde anterler sarı renkli.
Ginekeum : Ovaryum üst durumlu (hipogin), tek karpelli. Pistil boyu 7x9 mm.
Meyve : Etlı ve sulu drupa, yeşil renkli, parlak, düz yüzeyli, tüysüz.
Tohum : Meyve içindeki tohum, insan ve hayvanların etkisiyle taşınır.

Çizelge 2. *Prunus cocomilia* var. *puberula*'ya ait morfolojik ölçümler

Özellik	Ölç.sys	İzmir-Yamanlar Dağı				Manisa (Spil) Dağı			
		Ca: 690 m		Ca: 900 m		Ca: 640 m		Ca: 1000 m	
		Mean (cm)	St.err. mean	Mean (cm)	St.err. mean	Mean (cm)	St.err. mean	Mean (cm)	St.err. mean
Gövde	5	48.3	5.1225	47.5	3.71816	49.6	2.38018	45.3	3.50677
Gövde boy	5	3.3	0.254951	3.2	0.34268	3.5	0.311245	3.2	0.322416
Yaprak en	30	1.3333	0.0781	1.0880	0.03984	1.108	0.48282	1.1133	0.55201
Yaprak boy	30	1.9867	0.10718	1.9600	0.08128	2.08	0.08012	1.6866	0.06921
Corolla en	10	7.75	0.27131	7.20	0.1624	7.90	0.25442	7.15	0.4382
Corolla boy	10	8.43	0.37773	8.00	0.25862	8.45	1.1650	8.33	1.1062
Calix en	10	2.15	0.07638	2.14	0.10532	2.18	1.812	2.10	1.561
Calix boy	10	3.2	0.11055	3.15	0.08254	3.31	1.04522	3.12	0.97924
Andrekeum	10	6.95	0.39756	6.72	0.19526	7.01	1.25761	6.62	1.24952
Ginekeum	10	8.63	0.17704	8.41	0.22352	8.85	0.57612	8.12	0.38462
Gövde diken boy	30	3.5842	0.31216	4.70	0.5960	3.936	1.24764	6.2454	1.25112

Şekil 5: *Prunus cocomilia* var. *cocomilia* morfolojik çizimiŞekil 6: *Prunus cocomilia* var. *puberula* morfolojik çizimi

Ekolojik Bulgular

Ekolojik bulgular, yapılan arazi çalışmaları ile elde edilmiştir. Bu çalışmalar sırasında, her iki taksonun bulunduğu yerlerde yayılış gösteren türlere, benzer ekolojik koşullara uyumu bakımından dikkat edilmiştir. Bu bağlamda çalışılan her iki taksonun da örneklerinin alındığı Manisa dağı 640 m. civarında; *Quercus cerris*, *Q. ithaburensis*, *Quercus infectoria*, *Amygdalus* sp., *Cercis siliquastrum*, *Fraxinus* sp., *Phillyrea latifolia*, *Rosa canina*, *Pyrus elaeagnifolia*'nın yayılış gösterdiği tespit edilmiştir. Manisa (Spil) dağı 1000 m yükseltide çalışılan taksonların yanı sıra; *Acer* sp., *Sorbus* sp. bulunduğu tespit edilmiştir. 640 m yükseltide anakaya diyabaz, radyolorit iken 1000 m. yükseltide gri kireçtaşı olduğu görülmüştür.

Yamanlar dağında *Prunus cocomilia* var. *cocomilia* örneklerinin alındığı 680 m. yükseltisi ile *Prunus cocomilia* var. *puberula* örneklerinin alındığı 690 m. yükseltisinde, bu bitkilerin yanı sıra; *Pinus brutia*, *Quercus infectoria*, *Quercus cerris*, *Phillyrea latifolia*, *Cistus* sp., *Quercus aucheri*, *Salix* sp., *Pyrus amygdaliformis*, *Crataegus monogyna* ve *Rubus* sp., türleri bulunduğu tespit edilmiştir. Bu bölgede anakaya çamurtaşı, kumtaşıdır. Ancak yakın çevrede dasitik volkanik kayalar hâkimdir. 900 m yükseltide ise çalışılan taksonlar ile birlikte; *Rubus* sp., *Quercus coccifera*, *Platanus* sp., *Pinus nigra*, *Hedera helix*, *Rosa canina*, *Asparagus officinalis*, *Pyrus amygdaliformis*, *Crataegus monogyna*, *Pteridium* sp. bulunduğu gözlenmiştir. Gemici ve Seçmen (1983) de yaptıkları çalışma ile Yamanlar dağı güney doğusunda, 800 m'de *Prunus cocomilia* var. *cocomilia* ile *Prunus cocomilia* var. *puberula*'nın varlığını ve çevresinde *Pinus nigra* ve çalı formunda bitkilerin varlığını bildirmişlerdir. Bu bölgede anakaya dasit, riyodasit, andezit - aglomeradır. Toprak analizleri çizelge 3'de ve bitki analizleri çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 3. Çalışma alanlarına ait toprak analiz çizelgesi (P.cc.cc: *Prunus cocomilia* var. *cocomilia*; P.cc.pb: *Prunus cocomilia* var. *puberula*)

	Yükskl k (m)	Kum %	Kil %	Toz %	Topra k türü	CaCO ₃ %	ECx10 ³ mhos/cm	pH	Org. mad. %	K ₂ O ppm	Ca ⁺⁺ ppm	N %	P ppm	
P. cc.cc	710	55.33	27.70	16.97	Kumlu tınlı	15.28	0.859	7.93	1.792	342	7500	0.088	4.6	
S P İ L D A Ğ I Y A M A N L R D A Ğ I	P. cc.cc	710	57.41	26.66	15.93	Kumlu Tınlı	18.80	0.266	7.88	1.542	318	7500	0.090	4.8
	P. cc.cc	710	58.28	25.62	16.10	Kumlu Tınlı	21.76	0.221	8.03	1.508	222	7000	8.058	3.6
	P.cc.pb	540	74.08	17.29	8.63	Kumlu Tınlı	1.34	0.244	7.70	2.959	234	4600	0.091	3.2
	P.cc.pb	650	80.33	10.00	9.67	Kumlu Tınlı	24.0	0.374	7.71	6.919	390	6600	0.231	12.6
	P.cc.pb	700	73.04	16.25	10.71	Kumlu Tınlı	8.24	0.205	8.09	1.958	204	6800	0.124	4.2
	P. cc.cc	890	57.40	14.16	28.44	Kumlu Tınlı	0.64	0.506	6.84	5.041	696	3800	0.193	8.8
	P. cc.cc	890	65.42	18.33	16.25	Kumlu Tınlı	0.60	0.33	6.49	1.802	528	3400	0.132	1.8
	P. cc.cc	890	67.83	16.25	15.92	Kumlu Tınlı	0.56	0.349	6.73	3.551	756	3500	0.133	5.4
	P.cc.pb	740	76.16	13.12	10.72	Kumlu Tınlı	0.64	0.350	7.11	4.888	594	4000	0.117	4.6
	P.cc.pb	850	72.57	13.88	13.55	Kumlu Tınlı	0.60	0.241	6.66	3.666	486	3600	0.114	2.0
	P.cc.pb	850	70.95	15.21	13.84	Kumlu tınlı	0.68	0.292	6.95	5.383	576	4600	0.185	5.6

Çizelge 4. Çalışılan taksonların kimyasal analiz çizelgesi. (P.cc.cc: *Prunus cocomilia* var. *cocomilia*; P.cc.pb: *Prunus cocomilia* var. *puberula*)

Bölge	Taksonlar	Yük. (m)	Ca %	Mg %	Na %	K %	P %	N %	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm
Manisa Dağı	P. cc.cc	640	2300	0.108	0.030	1.350	0.100	0.401	159	54	24	27
	P. cc.pb	640	2200	0.129	0.025	1.550	0.050	0.488	152	30	18	26
Yamanlar Dağı	P. cc.cc	680	2800	0.319	0.025	0.895	0.075	0.454	117	45	39	36
	P. cc.pb	690	2000	0.111	0.025	0.880	0.050	0.380	227	136	124	52

SONUÇ

Çalışma alanı olarak seçilen İzmir Yamanlar Dağı ve Manisa (Spil) Dağında *Prunus cocomilia* var. *cocomilia* varlıkları, literatürde belirtildiği gibi (Davis, 1972), İzmir Yamanlar Dağı (700-800 m) ve Manisa (Spil) Dağı (100-200 m)'de tespit edilmiş, ayrıca Manisa (Spil) Dağı için literatürde belirtilen yükseltilerin üzerindeki 700-800 m aralıklarında da *Prunus cocomilia* var. *cocomilia* taksonlarının varlığı belirlenmiştir.

Prunus cocomilia var. *puberula*'nın (Schneider) Browicz, yayılış alanı olarak literatürde (Davis, 1972) Yamanlar Dağı (1000 m) (B1) ve Antalya Gömbe (1150 m) (C2) belirtilmiştir. Yapılan önceki literatür çalışmalarında *Prunus cocomilia* var. *puberula*'nın Manisa (Spil) dağındaki varlığına rastlanmamış iken, yapılan arazi çalışmalarında Manisa (Spil) Dağında bu taksonun 530-540 m'lerden başlayıp yaklaşık zirveye (1400 -1500 m) kadar varlığı tespit edilmiştir (Semenderoğlu, 1997).

Prunus cocomilia var. *cocomilia*'nın Yamanlar dağına ait ölçümleri karşılaştırıldığında; 680 m'den 900 m'lere çıkıldıkça, gövde en ve boyunun az miktarda, yaprak en ve boyunun belirgin biçimde azaldığı, corolla eninin azalırken, korolla boyunun arttığı, benzer şekilde kaliks eni azalırken, kaliks boyunun arttığı, andrekeumun büyürken, ginekeumun küçüldüğü görülmektedir. *Prunus cocomilia* var. *cocomilia*'nın Manisa (Spil) dağına ait ölçümleri karşılaştırıldığında; 640 m'den 1000 m'lere çıkıldığında benzer şekilde gövde en ve boylarının, yaprak en ve boylarının azaldığı, corolla enlerinin azalırken, corolla boylarının arttığı, dolayısıyla çiçeklerinin daha büyük görüldüğü, kaliks en ve boylarının arttığı, andrekeumun büyüdüğü, ginekeumun küçüldüğü tespit edilmiştir.

Prunus cocomilia var. *cocomilia* taksonunun, Manisa (Spil) dağı ve Yamanlar dağında yükseklerle çıkıldıkça corolla ölçüleri hariç bitkinin toprak üstü bölgelerinde küçülmeler görülmekte, corolla boyutları ise artış göstermektedir. Bu durumun nedeninin, yükseklerle çıkıldıkça sıcaklığın azalması, yağışın artmasına rağmen, diğer ekolojik koşulların (günlük/mevsimlik sıcaklık farklarının ve radyasyon şiddetinin artması vb) olduğu, çiçeklerde büyüme nedeninin ise zor koşullarda bile üremeyi garanti altına almaya yönelik bir adaptasyon olduğu düşünülebilir.

Prunus cocomilia var. *puberula*'nın Yamanlar dağındaki ölçümleri karşılaştırıldığında; 690 m'den 900 m'lere çıkıldığında gövde en ve boylarının, yaprak en ve boylarının, corolla en ve boylarının, kaliks en ve boyları ile andrekeum ve ginekeum boyutlarının küçüldüğü, gövde diken boyunun arttığı tespit edilmiştir. *Prunus cocomilia* var. *puberula*'nın Manisa (Spil) dağındaki ölçümleri karşılaştırıldığında; 640 m'den 1000 m'lere çıkıldıkça gövde en ve boyunun azaldığı, yaprak eni artarken yaprak boyunun azaldığı ancak yaprak yüzeyinin ortalama 2.30 cm²'den 1.87 cm²'ye düştüğü, corolla en ve boyları ile kaliks en ve boylarının azaldığı, andrekeum ve ginekeum boyutları küçülürken, gövde diken boyunun arttığı görülmüştür.

Hem *Prunus cocomilia* var. *cocomilia* hem de *Prunus cocomilia* var. *puberula* taksonlarının gerek Manisa (Spil) dağında gerekse Yamanlar dağında yükseklerle çıkıldıkça morfolojik ölçüm değişimleri benzerdir. Yükseklerle çıkıldıkça, gövde diken boyu hariç, *Prunus cocomilia* var. *cocomilia* ve *Prunus cocomilia* var. *puberula* taksonlarının toprak üstü organ ve yapılarının (gövde boyu ve eni, yaprak boyu

ve eni -yaprak ayası yüzeyi-, Corolla boyu ve eni, calix boyu ve eni, andrekeum ve ginekeum boyları boyutları küçülmüştür. Bu durumun nedeninin, ekolojik koşulların yükseklerde değişmesi olduğu öngörülmektedir. Özellikle bitki sürgün yapılarındaki küçülmelere sıcaklığın düşmesi, radyasyon şiddetinin artmasının neden olduğu düşünülebilir ve gövde diken boyunun artması da bu durumu desteklemektedir.

Manisa (Spil) dağında Yamanlara göre P, Ca⁺⁺ yaklaşık 2 kat fazla, kireç (CaCO₃) 10 katından fazla, kum, kil ve N oranları biraz fazla iken; K, organik madde miktarları yaklaşık yarısı kadar, toz oranı biraz az, elektriksel iletkenliğe etki eden suda eriyebilir tuzların toplam konsantrasyonu (EC) biraz azdır. Manisa (Spil) dağında yağışlar biraz daha fazla olmasına rağmen toprak pH'ı nötre yakın bazik iken, Yamanlar Dağında toprak pH'ı nötre yakın asidiktir. Bu mineral kompozisyonunun oluşumunda, Manisa (Spil) dağında Bornova flişi içinde yaygın olan alkali karakterli bazik ve ultrabazik kayalar (ofiyolit, diyabaz, spilit), Yamanlar dağında ise yaygın olarak bulunan asit karakterli volkanik kayaların (riyolit, dasit, riyo-dasit) etkili olduğu düşünülmektedir. Yamanlar Dağında toprakta çözünebilir toplam tuz konsantrasyonunun daha fazla olması, örneklerin daha çok güney yamaçlardan toplanması ve yağışların daha az olması ile ilgilidir.

Genel olarak Manisa (Spil) dağından alınan toprak örneklerinde N miktarı, Yamanlara göre daha az olmasına rağmen, bitki örneklerinde N miktarı her iki bölgede de birbirine yaklaşık oranlarda çıkmıştır. Bu durum bitki için çok önemli olan N ihtiyacını bitkinin, toprağın nitrat oranı az olan yerlerinden bile yeterince karşılayabildiğini göstermektedir. Yapılan çalışmalarda bitkinin toprak azotundan en çok pH= 6-8 aralığında faydalanabildiği belirtilmiştir (Bilen ve Sezen, 1993). Çalışma alanı toprak örneklerinin kimyasal analizinde pH en düşük 6,49, en yüksek 8.09 olduğu görülmektedir. Çalışma alanlarında toprak pH'ının bitkinin toprak N'undan en ideal faydalanabilme aralığında bulunması, bitkinin toprak N'undan ideal miktarda faydalanabilmesini açıklamaktadır.

P miktarı ise Manisa (Spil) dağı *Prunus cocomilia* var. *puberula* toprak örneklerinde çok, Yamanlar dağı örneklerinde az ve *Prunus cocomilia* var. *cocomilia* örneklerinde durum tam tersi iken, Manisa (Spil) dağı *Prunus cocomilia* var. *cocomilia* bitki örneklerinde P miktarı belirgin olarak Yamanlar örneklerinden çok ve *Prunus cocomilia* var. *puberula*'nın her iki bölgedeki bitki örneklerinde de eşdeğer miktarlarda olduğu görülmüştür. Topraktaki Ca artışının, topraktaki K ve P kalitesini azalttığı, bitkinin toprak pH'ına bağlı olarak bu durumdan farklı şekillerde faydalanabildiği yapılan çalışmalarda belirtilmiştir (Bilen ve Sezen, 1993). Çalışma alanlarımızdan Manisa (Spil) dağında, Yamanlar dağına göre kireç oranının fazla olmasına rağmen K oranının düşük olması bu durumu desteklemektedir. Bununla birlikte her iki dağda da topraktaki P oranı ortalama benzer miktarlarda bulunmaktadır. P, bitkinin kök gelişimi, bitki olgunlaşması, erken tohum oluşumu, dölleme başarısı ve hastalıklara direnç artırımı sağlayan bir mineraldir. Gerek Manisa (Spil) dağından gerekse Yamanlar dağından alınan bitki örneklerinde, bitkinin topraktaki P dan ideal ve benzer oranlarda faydalanması, azalan K'dan gelişen kök sistemi ile ideal düzeyde faydalandığını ve diğer morfolojik gelişimlerini de beklenen düzeyde yapabildiğini göstermektedir.

Sonuç olarak, ana kaya ve iklimik faktörlere bağlı olarak toprakların kimyasal özellikleri ve mineral miktarları, Yamanlar ve Manisa (Spil) dağlarında farklılık gösterse de, her iki takson bu bölgelerde yeterli oranlarda toprak minerallerinden faydalanabilmekte ve morfolojik gelişimlerini ideal düzeyde sağlayabilmektedir. Yükseltiye bağlı olarak bitkilerin morfolojik özelliklerinde öne çıkan olağan değişimler olsa da, her iki taksonun çalışma alanları olan Manisa (Spil) dağı ve Yamanlar dağında kayda değer ana kaya ve toprak tercihleri gözlenmemiştir. Bu durum çalışılan taksonların ekolojik

toleranslarının yüksek olmasına ve toprak mineral kompozisyonundan optimum düzeyde faydalanabilmesine bağlanabilir.

KAYNAKLAR

- Avcı M, 1993. Türkiye'nin Flora Bölgeleri ve Anadolu Diagonali'ne Coğrafi Bir Yaklaşım. Türk Coğrafya Dergisi, (28): 225-248.
- Baytop A, Demiriz H, 1980. Rare Plants and endemics in Turkey – in Europe. İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Mecmuası. Seri B, (45): 109 –111.
- Bilen S, Sezen Y, 1993. Toprak Reaksiyonunun Bitki Besin Elementleri Elverişliliği Üzerine Etkisi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 24 (2): 156-166.
- Bouyoucos GJ, 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil, Agronomy Journal. 54 (5): 464-465.
- Bremner JM, Shaw K, 1955. Determination of ammonia and nitrate in soil. The Journal of Agricultural Science, 46 (3): 320-328.
- Davis PH, 1972. Flora of Turkey and East Aegean Island. Edinburgh University Press, Volume 4, s.46-47, Edinburgh-England.
- Davis, P.H, 1965-1985: Flora of Turkey and The East Aegean Island, vol. 1-9. Edinburgh University Press, Edinburgh.
- Dönmez AA, Yıldırım Ş, 2000. Taxonomy of the genus *Prunus* L. (Rosaceae) in Turkey. Turkish Journal of Botany, 24: 187 - 202.
- Duman H, 1985. Manisa Dağı (Spil Dağı) Milli Parkının Flora ve Vejetasyonu Üzerine Bir Çalışma, Gazı Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmamış).
- Ekim T, Koyuncu, M, Erik S, İlarlan R, 1989. Türkiye'nin Tehlike Altındaki Bazı Nadir ve Endemik Bitkileri. Türkiye Tabiatını Koruma Derneği, Yayın No: 18, Ankara.
- Erdoğan B, 1990. İzmir-Ankara Zonu'nun İzmir ile Seferihisar arasındaki bölgede stratigrafik özellikleri ve tektonik evrimi. Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, 2 (1): 1-20.
- Erinç S, 1955. Gediz ve Küçük Menderes deltalarının morfolojisi. 9. Coğrafya Meslek Haftası, 22-29 Aralık 1954, Tebliğler ve Konferanslar, İstanbul, Türk Coğrafya Kurumu Yayınları, No:2, 33-66.
- Gemici Y, 1981. İzmir Yamanlar Dağı ve Çevresinin Flora ve Vejetasyonu, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Botanik Bahçesi ve Herbaryum Merkezi, Yüksek Lisans Tezi.
- Gemici Y, Seçmen Ö, 1983. İzmir Yamanlar Dağı Florası. Doğa Bilim Dergisi A, 7 (3): 473-507.
- Gülçur F, 1974. Toprağın Fiziksel ve Kimyasal Analiz Metotları. Orman Fakültesi Yayınları, No. 201, s.128-133, Kutulmuş Matbaası, İstanbul.
- Günel N, 1993. Manisa Dağında Doğal Bitki Örtüsünün Görünümü. İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü Bülteni, 10 (10): 65-73.
- Güner A, Aslan S, Ekim T, Vural M, Babaç M.T, 2012. Türkiye Bitkileri Listesi Damarlı Bitkiler. Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi Botanik Bahçesi ve Flora Araştırma Derneği Yayını, Flora Dizisi 1, İstanbul.
- Jackson M, 1958. Soil Chemical Analysis Prentice Hall Inc. Englewood California, N.T., USA. 45-46.
- Karaoğlu Ö, 2014. Tectonic Controls on the Yamanlar Volcano and Yuntdağı Volcanic Region, Western Turkey: Implications for an Incremental Deformation, Journal of Volcanology and Geothermal Research, volüme 274, 16–33.
- Kaya Y, Aksakal Ö, 2005. Endemik Bitkilerin Dünya ve Türkiye'deki Dağılımı. Erzincan Eğitim Fakültesi Dergisi, 7 (1): 85-99.

- Kayıkçı S, Oğur E, 2012. Hatay İlinde Yayılış Gösteren Bazı Orkide Türleri Üzerine Bir İnceleme. Anadolu Journal of Aegean Agricultural Research Institute, 22 (2): 1-12.
- Koçman A, 1989. Uygulamalı Fiziki Coğrafya Çalışmaları ve İzmir-Bozdağlar Yöresi Üzerine Araştırmalar. Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayın No: 49, s. 52-61, İzmir.
- Koçman, A., 1993. İnsan Faaliyetleri ve Çevreye Etkileri Açısından Ege Ovalarının İklimi, Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayın No: 73, s.24-30, İzmir.
- Nehring K, 1960. Agricultur chemische untersuchungs methoden für Düngung und Futtermittel, Boden und Milch, Hamburg-Berlin.
- Okay Aİ, Siyako M, 1991. The new position of the İzmir-Ankara Neo-Tethyan suture between İzmir and Balıkesir. (Editör: Süleyman Turgut), Ozan Sungurlu Symposium Proceedings, pp. 333-355.
- Özhatay N, Akalın E, Güler N, Ersoy H, Yeşil Y, Demirci S, 2013. Floristic richness and conservation priority sites in the northwest of European Turkey. Phytologia Balcanica, 19 (1): 77 – 88.
- Özhatay FN, Kültür Ş, Türdal MB, 2011. Check-list of additional taxa to the supplement Flora of Turkey V. Turkish Journal of Botany, TÜBİTAK, 35: 589-624.
- Özdemir F, Pirdal M, Öztürk M, 1988. Batı Anadolu'da Yayılış Gösteren Bazı Endemiklerin Morfolojik, Anatomik ve Ekolojik Özellikleri Üzerinde Araştırmalar. Cilt 3: 141-150, IX. Ulusal Biyoloji Kongresi, 21-23 Eylül 1998, Sivas.
- Öztürk M, Pirdal M, Uysal İ, 1992. Türkiye Endemiklerinin Ekolojisi ve Önemi. Tarım ve Köy Dergisi, 74: 20-21.
- Schwarz O, 1936. Die Vegetations Verhältnisse West Anatoliens. Englers Botanische Jb.
- Seçmen Ö, 1996. Türkiye Florası. Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Tezsizler serisi No: 120
- Semenderoğlu A, Aytaç AS, Aşkın Y, Gül P, 2005. Manisa (Spil) Dağı Milli Parkı'nın Alternatif Planlama Stratejisine Yönelik Ön Araştırma. Korunan Alanlar Sempozyumu, 8-10 Eylül 2005, Isparta.
- Semenderoğlu A, Aytaç AS, 2005. Murat Dağının Vegetasyon Coğrafyası. Ulusal Coğrafya Kongresi, 29-30 Eylül 2005, İstanbul.
- Semenderoğlu F, 1997. Bazı Endemik Taksonlar Üzerinde Morfolojik, Anatomik ve Ekolojik İncelemeler, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Sezer Lİ, 1987. Manisa-Yamanlar Dağı ve Çevresinin Fiziki Coğrafyası, Ege Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Şenkul Ç, Kaya S, 2017. Türkiye Endemik Bitkilerinin Coğrafi Dağılışı. Türk Coğrafya Dergisi, 69: 109-120.
- Şık L, Gemici Y, 2009. Yunt Dağı (Manisa) Orman Vegetasyonunun Bitki Sosyolojisi Yönünden Araştırılması. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 5 (1): 75-86.
- Stubing NH, 1965. Paintings. Published by Bear Lane Gallery, Oxford, 1965.
- Torlak H, Vural M, Aytaç Z, 2010. Türkiye'nin Endemik Bitkileri. Kültür ve Turizm Bakanlığı.
- Walter H, 1962. Anadolu'nun Vegetasyon Yapısı (Çev. S.USLU). İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Yayın no: 80, İstanbul.
- Yılmaz E, Çiçek İ, 2016. Türkiye Thornthwaite İklim Sınıflandırması. Journal of Human Science, 13 (3): 3973-3994.

Bilecik Florasına KatkılarDerviş ÖZTÜRK^{1*}, Atila OCAK²

ÖZET: Bu çalışma Geçit kuşağı bölgesinin floristik özelliklerini ve vasküler bitki türlerini içermektedir. Ülkemizin biyoçeşitliliğinin belirlenmesi, bitkilerin tanınması, korunması ve bitkilerle yapılacak ilgili tüm çalışmalara katkı sağlanması amaçlanmıştır. Araştırma alanı Bilecik ve çevresini kapsamakta olup Davis'in kareleme sistemine göre A2, A3, B2 ve B3 kareleri içinde yer almaktadır. Araştırma alanı yaklaşık 280 metreden başlayıp 1300 metre yüksekliğe kadar ulaşmaktadır. Çalışma bölgesinden 2016-2019 yıllarında 3650 adet bitki örneği toplanmıştır. Toplanan bitki örnekleri herbaryum tekniklerine uygun olarak preslenip kurutulmuştur. Floristik liste APG III sistemi esas alınarak düzenlenmiştir. Toplanan materyallerin değerlendirilmesi sonucu 109 familyaya ait 552 cins, 1396 tür ve türaltı takson tesbit edilmiştir. En büyük familya Asteraceae (148 tür), ikinci Fabaceae (132 tür)'dir. En büyük cinsler ise 23 türle Astragalus L. ve 20 türle Trifolium L. dur. IUCN kategorilerine göre, 65 bitki taksonu risk altında bulunmaktadır. Risk altındaki taksonların 50'si LC, 8'i NT, 5'i, VU, 1'i CD ve 1'i CR kategorisinde bulunmaktadır. Araştırma alanındaki bitki taksonlarının fitocoğrafik bölgelere dağılımı ise şöyledir; % 9.02'si İran-Turan, % 6.94'ü Akdeniz ve % 11.1'i Avrupa-Sibirya elementidir. Çok bölgeli veya fitocoğrafik bölgesi bilinmeyenlerin oranı ise % 65.96'dır. Bu taksonlardan 90 tanesi endemik olup, bölgedeki endemizm oranı % 6.44 'dir.

Anahtar Kelimeler: APG III, Flora, Bilecik, Türkiye,

Contributions to the Flora of Bilecik

ABSTRACT: This study includes the floristic features of the Passage zone and vascular plant species. It is aimed to determine the biodiversity of our country, to recognize and protect the plants and to contribute to all studies related to plants. The research area covers Bilecik and its surroundings and is in A2, A3, B2 and B3 squares according to Davis's grid system. The research area starts from about 280 m and reaches up to 1300 m elevation. 3650 plant samples were collected from the study area in 2016-2019. Collected plant samples were pressed and dried in accordance with herbarium techniques. The floristic list is based on the APG III system. As a result of evaluating the collected materials, 552 genera, 1396 species and subspecies taxa belonging to 109 families were determined. The largest family is Asteraceae (148 species), the second is Fabaceae (132 species). The largest genera are Astragalus L. with 23 species and Trifolium L. with 20 species. According to the IUCN categories, 65 plant taxa are at risk. 50 of the taxa at risk are in LC, 8 in NT, 5 in VU, 1 in CD and 1 in CR. The distribution of plant taxa to the phytogeographic regions is as follows; 9.02% Iran-Turan, 6.94% Mediterranean and 11.1% European-Siberian elements. The rate of those who are not multi-region or whose phytogeographic region is unknown is 65.96%. 90 of these taxa are endemic and the rate of endemism in the region is 6.44%.

Key words: APG III, Flora, Bilecik, Turkey,

¹Derviş ÖZTÜRK (Orcid ID: 0000-0001-7189-7407), Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mahmudiye Atçılık Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Eskişehir, Türkiye

²Atila OCAK (Orcid ID: 0000-0003-1149-1194), Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Eskişehir, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Derviş ÖZTÜRK, e-mail: dozturk@ogu.edu.tr

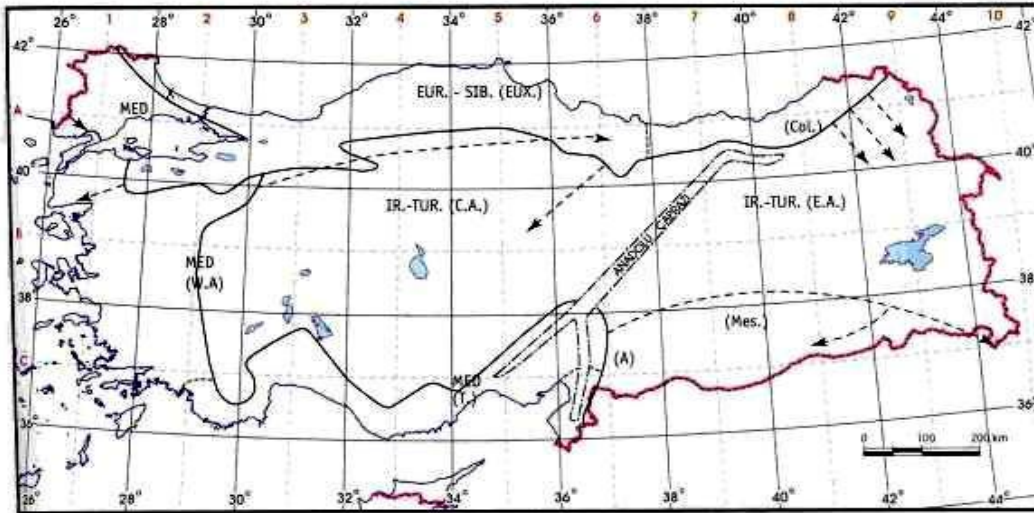
Bu çalışma tarafımızca 2018 yılında basılan BİLECİK FLORASI adlı kitabın güncellenmiş şeklidir.

GİRİŞ

Dünyanın jeolojik gelişimine bakıldığında, Türkiye yer aldığı konum nedeniyle, farklı jeolojik olayların etkisinde kalarak oluşumuna devam etmiş, gelişen bu süreçte iklimsel ve ekolojik karakterlerin yanında, topoğrafik yapısı ile birlikte zengin bir biyoçeşitliliğe kavuşmuştur (Seçmen ve Leblebici, 1996).

Türkiye'nin, Avrupa ve Asya kıtalarının birleştiği noktada bulunması ve İran-Turan, Akdeniz ve Avrupa-Sibirya gibi üç önemli fitocoğrafik bölgenin kesiştiği yer olması nedeniyle biyoçeşitliliğin oluşmasında biyoçeşitliliğin oluşmasında önemli rol oynayıp ayrıca, endemizmi yüksek ve zengin bir floristik yapı oluşturmaktadır. Türkiye'nin sahip olduğu 0-4500 metre arasında değişen yükseklik değerlerine sahip olması ülke flora ve faunasında çeşitliliklere neden olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı Türkiye, bazı taksonların gen merkezi olmuştur (Seçmen ve ark., 2004).

Topoğrafik yapının sonucu olarak ortaya çıkan Anadolu çaprazı, Türkiye'nin doğusu ile batısı arasında ekolojik farklılıklara neden olmaktadır. Ortaya farklı ve zengin bir floristik yapı çıkmaktadır. Anadolu çaprazı Davis'e göre, Gümüşhane ve Bayburt noktasından başlayıp, Osmaniye ve Kahramanmaraş üzerinden Amanoslar ve Orta Toroslar doğru iki kola ayrılan bir hat olarak belirtilmiştir. (Şekil 1.)(Çırpıcı,1983; Ekim ve ark., 2000).



Şekil 1. Türkiye'nin fitocoğrafik bölgeleri ve Anadolu çaprazı (Davis, 1965)

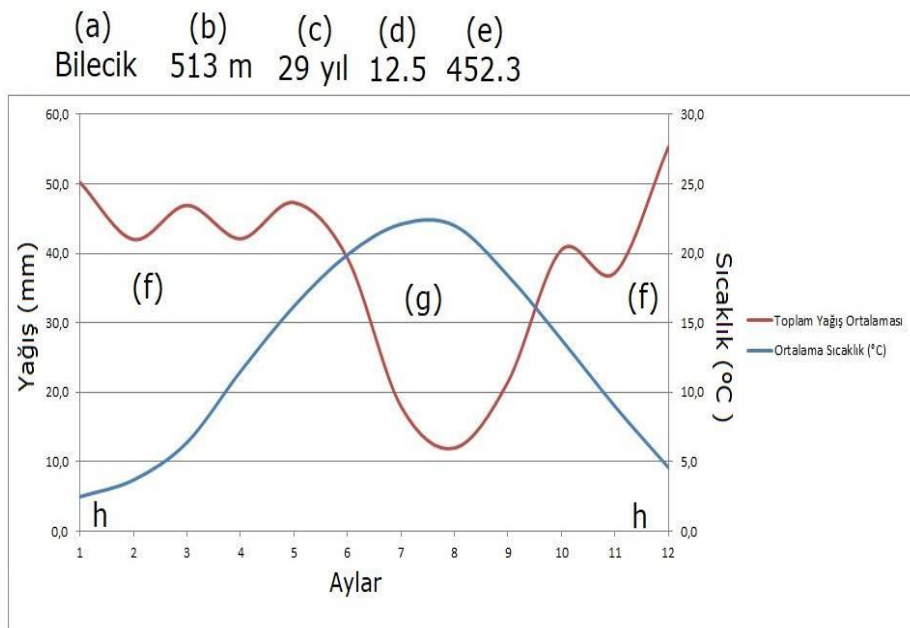
Türkiye'nin zengin florası araştırmacıların dikkatini çekmiş ve ilk çalışmalar Tournefort'un Anadolu'da yaptığı floristik amaçlı gezilerle başlamıştır. Bunun sonucunda yerli ve yabancı bir çok araştırmacı ülkemizde çalışmalar yapmıştır. Türkiye florası üzerine yapılan en önemli çalışmalardan biri Davis ve arkadaşları tarafından 1965-1985, 1988, 2000 yılları arasında yapılan çalışmalardır (Koyuncu ve ark., 2017).

Türkiye'de 167 familya, 1320 cins, 9996 tür, 263 melez tür, 1989 alttür, 867 varyete, 3649 endemik, 171 yabancı, 70 tarım ve 11466 doğal olmak üzere toplam 11707 takson bulunmaktadır (Boissier, 1867-1888; Davis, 1965-1988; Zohary, 1966; Feinbrun-Dothan, 1977; Güner, 2000; Erik ve Tarıkkahya, 2004; Güner ve ark., 2012; Boissier E, 1867-1888).

Çalışma alanı, Davis'in kareleme sistemine göre A2, A3, B2 ve B3 karelerine içerisinde yer almaktadır. Yapılan literatür araştırmalarına göre inceleme alanına en yakın floristik çalışma "Gülümbe Dağı Florası"dır. Diğer çalışmalar ise "Yırce-Bürmece-Kömürsu ve Muratdere (Bilecik-Bursa, Türkiye) Orman Serilerinin Florası", "Bilecik Florası" ve "Osmaneli (Bilecik/Türkiye) ve Çevresindeki Orkidelerin Yayılış, Tahribat Unsurları ve Risk Kategorileri Bakımından Değerlendirilmesi"dir.

Bilecik, Marmara Bölgesinin güneydoğusunda Marmara, Karadeniz, İç anadolu ve Ege Bölgelerinin kesim noktaları üzerindedir. 39° ve 40° 31' kuzey enlemleri ile 29° 43' ve 30° 41' doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Doğudan Bolu ve Eskişehir, güneyden Kütahya, batıdan Bursa, kuzeyden Sakarya illeri ile çevrilidir. Bilecik 4321 km²'lik alanı ile Türkiye'nin küçük illerinden biridir (Türe, 2001; Türe ve ark., 2007; Koyuncu ve ark., 2012; Koyuncu ve ark., 2013, Ocak ve Tokur, 2000).

Bilecik ilinin İç anadolu ve Akdeniz arasında geçit bölgesi olarak bulunması nedeniyle, su kaynakları ve farklılık gösteren topoğrafyasına paralel olarak 3 farklı iklim tipi görülmektedir. Gölpazarı, Osmaneli ve Söğüt ilçesi Marmara Bölgesi iklimi içerisinde yer alırken, Bozüyük, Pazaryeri ve Yenipazar ilçesi ise İç anadolu Bölgesi iklimi içerisinde yer almaktadır. Gölpazarı, Osmaneli ve Söğüt ilçelerinin sakarya ırmağı kıyı şeridinde mikro-klima iklim tipi görülmektedir. Bilecik ilinde yıllık yağış toplamı 450 kg/m² dolayındadır. Yağış en çok Ocak ve Mayıs aylarında düşmektedir (Şekil 2.).



Şekil 2. Bilecik ili ombro-termik (yağış-sıcaklık) diyagramı (1981 -2010), a: İstasyon adı, b: Rakım, c: Rasat süresi, d: Ortalama yıllık sıcaklık (°C), e: Ortalama yıllık yağış (mm), f: Yağışlı dönem, g: Kurak dönem, h: Muhtemel donlu aylar

MATERYAL VE YÖNTEM

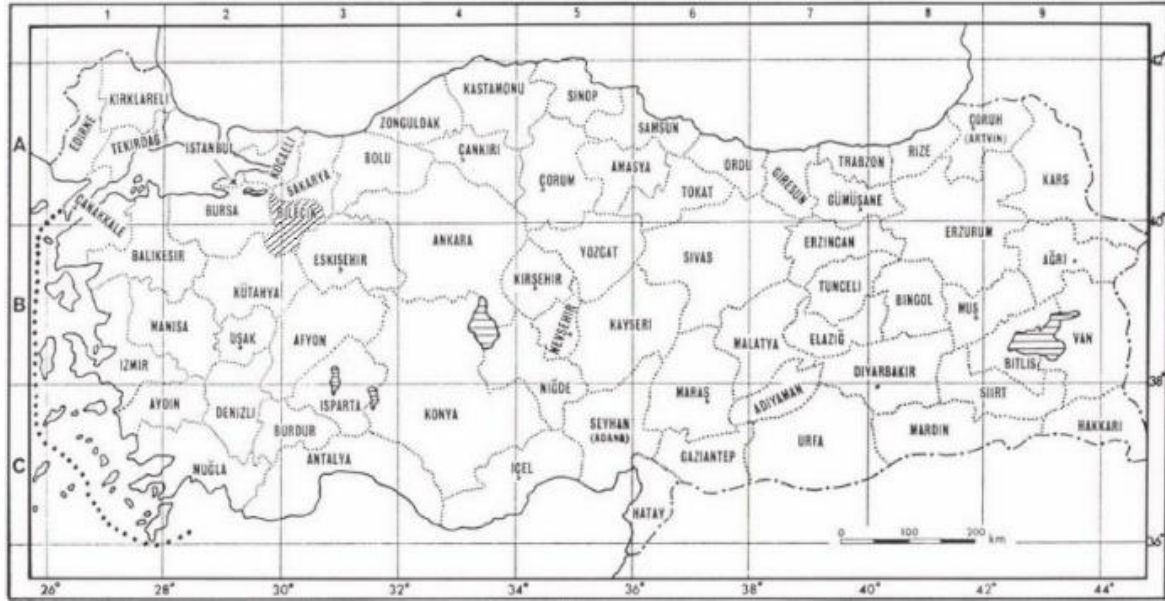
2016-2019 yılları arasında Bilecik ili ve çevresinde belirli vejetasyon dönemlerinde arazi çalışmaları gerçekleştirilmiş ve bitki örnekleri toplanmıştır. Örnekler uluslararası kurallara uygun olarak preslenip kurutulup, bitki örneklerin teşhisleri kurutulmuş herbaryum materyallerinden ve taze örneklerden yapılmıştır. Araştırma alanına yapılan arazi çalışmaları vejetasyonun başlangıç dönemleri olan mart ayının ortalarından vejetasyonun bitiş dönemi olan ekim ayı arasında yapılmıştır. Diğer aylarda ise ayda bir kez arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Toplam 61 arazi çalışması yapılarak 3650 damarlı bitki örneği toplanmıştır. Toplanan örneklerin fotoğrafları kendinden GPS'li fotoğraf makinesi ile çekilmiş ve lokaliteleri kaydedilmiştir.

Bitki örneklerinin teşhisleri için Olympus marka binoküler stereo mikroskoplar kullanılmıştır. Bitkilerin teşhislerinde Flora of Turkey and the East Aegean Islands (Davis 1965-1988) eserinden yararlanılmıştır.

Endemik ve endemik olmayan türlerin tehlike sınıflarına göre dağılımı, Türkiye Bitkileri Kırmızı Kitabı (Ekim ve ark., 2000) kullanılarak belirlenmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma sonucunda elde edilen veriler (en fazla takson içeren familyalar ve cinsler, fitocoğrafik bölge elementleri ve endemizm bakımından) araştırma alanının yakın bölgelerinde daha önce yapılmış olan floristik çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Bu araştırma kapsamında, 2016-2019 yılları arasında bölgede yapılan arazi 126 lokaliteden 3650 damarlı bitki örneği toplanmıştır. Araştırma alanının tamamı Davis'in (1965) kareleme sistemine göre A2, A3, B2 ve B3 (Şekil 3) kareleri içerisinde yer almaktadır. Toplanan bitki örneklerinin teşhisleri sonucunda 109 familyaya ait, 552 cins ve bu cinslere ait 1396 tür ve tür altı takson tespit edilmiştir.



Şekil 3. Davis (1965)'in kareleme sistemine göre araştırma alanının konum

Bu araştırmanın yapıldığı Bilecik ve çevresinde Asteraceae familyası sahip olduğu tür ve türaltı takson sayısı bakımından en zengin familyadır. Araştırma alanının yakın çevresinde yapılan diğer çalışmalarda da sahip olduğu takson sayısı bakımından ilk sırayı yine Asteraceae almaktadır (Çizelge 1). Asteraceae familyası ülkemizde en büyük familyasıdır. Bu çalışmada ikinci sırada Fabaceae familyası yer almaktadır. Bu familya Türkiye Florası'nda 2. sırada yer almaktadır. Türkiye florasında içerdiği takson sayısı bakımından Brassicaceae familyası ise çalışma alanında üçüncü sırayı almaktadır. Diğer familyaların sıralanmasına bakıldığında ise hem yakın bölgelerde yapılan floristik çalışmaların hem de Türkiye Florasının ilk 10 familyası Bilecik'te doğal yayılış gösteren familyalara ile önemli bir benzerlik göstermektedir. Bu durum, İç Anadolu Bölgesinden Marmara Bölgesine bir geçiş zonunda bulunan araştırma alanı için oldukça normal bir durumdur (Koyuncu ve ark., 2012).

Tür ve türaltı takson sayısı bakımından cinslerin sıralanmasında ise ilk sırayı 23 (%1.64) tür ve türaltı takson ile *Astragalus* almaktadır. Daha sonra sırasıyla 20 (%1.43) tür ve türaltı takson ile *Trifolium*, 19-(%1.36) tür ve türaltı takson ile *Salvia*, 17-(%1.21) tür ve türaltı takson ile *Hypericum*, 15 (%1.07) tür ve türaltı takson ile *Ranunculus* ve *Euphorbia*, 13 (%0.93) tür ve türaltı takson ile *Veronica*, *Centaurea*, 12 (%0.85) tür ve türaltı takson ile *Alyssum*, 10 (%0.71) tür ve türaltı takson ile *Campanula* ve diğerleri 1239 (%88.75) tür ve türaltı takson olarak belirlenmiştir (Çizelge 2). Yakın bölgelerde yapılan çalışmalarda da ilk 5 sırayı alan cinsler hemen hemen benzerlik göstermektedir. Türkiye florasında ve çalışmamızda *Astragalus* ilk sırayı almaktadır. Diğer araştırmalarla karşılaştırıldığında *Salvia* ilk sırayı alırken araştırma alanında *Salvia* üçüncü sırada yer almaktadır.

Çizelge 1. Tür ve türaltı takson sayısı bakımından araştırma alanındaki en zengin familyalar (Takson sayısı ve yüzde (%) olarak araştırma alanı oranı)

Sıra No	Familiya Adı	Bu Çalışma	Abbashi 2018	Kocaman ve ark. 2017	Koyuncu ve ark. 2012	Koyuncu ve ark. 2013
1	<i>Asteraceae</i>	148-10.6	69-10.62	68-12.78	88-12.64	52-11.55
2	<i>Fabaceae</i>	132-9.45	72-11.08	47-8.9	88-12.64	41-9.11
3	<i>Brassicaceae</i>	88-6.3	44-6.77	32-6.11	79-8.15	23-5.11
4	<i>Lamiaceae</i>	87-6.2	48-7.38	48-9.09	68-7.02	48-10.66
5	<i>Poaceae</i>	70-5.01	49-7.54	20-3.82	30-3.10	45-10
6	<i>Apiaceae</i>	65-4.65	20-3.08	34-6.5	58-5.99	14-3.11
7	<i>Caryophyllaceae</i>	52-3.72	23-3.54	22-4.01	42-4.33	10-2.22
8	<i>Boraginaceae</i>	49-3.51	22-3.38	22-4.01	38-3.92	17-3.77
9	<i>Rosaceae</i>	44-3.15	24-3.69	18-3.63	25-2.80	17-3.77
10	<i>Ranunculaceae</i>	40-2,86	20-3.08	18-3.44	25-2.80	13-2.88
11	Diğerleri	621-44.48	259-39.85	131-24.62	407-34.57	140-31.11
	Toplam	1396	650	532	928	450

Çizelge 2. Tür ve türaltı takson sayısı bakımından araştırma alanındaki en zengin cinsler (Takson sayısı ve yüzde (%) olarak araştırma alanı oranı)

Sıra No	Cins Adı	Bu Çalışma	Abbashi, 2018	Kocaman ve ark., 2017	Koyuncu ve ark., 2012	Koyuncu ve ark., 2013
1	<i>Astragalus</i>	23-1.64	5-0.76	6-1.13	20-2.06	3-0.66
5	<i>Trifolium</i>	20-1.43	11-1.69	6-1.13	9-0.93	8-1.77
4	<i>Salvia</i>	19-1.36	8-1.23	7-1.32	12-1.24	6-1.33
2	<i>Hypericum</i>	17-1.21	3-0.46	3-0.56	7-0.74	5-1.11
7	<i>Ranunculus</i>	15-1.07	9-1.38	5-0.93	8-0.84	2-0.44
8	<i>Euphorbia</i>	15-1.07	6-0.92	4-0.75	9-0.93	4-0.88
3	<i>Veronica</i>	13-0.93	7-1.07	5-0.93	9-0.93	3-0.66
9	<i>Centaurea</i>	13-0.93	8-1.23	7-0.94	12-1.24	6-1.33
6	<i>Alyssum</i>	12-0.85	8-1.23	6-1.13	13-1.34	6-1.33
10	<i>Campanula</i>	10-0.71	-	3-0.56	5-0.46	3-0.66
11	Diğerleri	1239-88.75	585-90	480-90.22	824-88.79	404-89.77
	Toplam	1396	650	532	928	450

Fitocoğrafik bölgesi bilinen tür ve türaltı taksondan, %9.02 tür ve türaltı takson İran-Turan fitocoğrafik bölgesi elementi, %6.9 tür ve türaltı takson Akdeniz fitocoğrafik bölgesi elementi, %11.1 tür ve türaltı takson Avrupa-Sibirya fitocoğrafik bölgesi elementi ve %65.96 tür ve türaltı takson ise çok bölgeli ya da fitocoğrafik bölgesi bilinmeyenlerdir. Konum olarak karşılaştırma yapılan çoğu çalışmalar araştırma alanıyla aynı fitocoğrafik bölgede yer almaktadır. Buna paralel olarak tüm çalışmalarda takson sayısı bakımından en zengin fitocoğrafik bölge İran-Turan elementleridir. Ocak ve Tokur (2000) çalışmasında 1. sırada Avrupa-Sibirya elementleri yer almaktadır. Akdeniz elementleri de bu çalışmada 2. sıradadır. Araştırma bölgesinde Avrupa-Sibirya elementleri 3. sıradadır. Yine aynı şekilde Koyuncu ve ark., (2012), Koyuncu ve ark. (2013) çalışmalarında da bu fitocoğrafik bölge elementleri 2. sırada yer almaktadır. Türe ve Tokur (2000) çalışmasında 1. sırada, Ocak ve Tokur (2000) çalışmasında ise 3. sırada yer almaktadır (Çizelge 3). Araştırma sonuçlarının fitocoğrafik elementler bakımından karşılaştırmasına genel olarak bakıldığında bir uyum olduğu gözlenmektedir.

Çizelge 3. Çalışma alanı ve çevresinde yapılan araştırmalara göre fitocoğrafik bölge dağılımının yüzde (%) olarak karşılaştırılması

Fitocoğrafik Bölge	Bu Çalışma (%)	Abbashi 2018 (%)	Kocaman ve ark. 2017 (%)	Koyuncu ve ark. 2012 (%)	Koyuncu ve ark. 2013 (%)
Akdeniz	6.94	16.77	12.5	14.66	13.78
Avrupa-Sibirya	11.1	12.62	10.79	11.35	10.23
İran-Turan	9.02	8.15	9.09	10.94	5.78
Çok Bölgeli veya Bilinmeyen	65.96	62.46	67.61	63.05	70.21

Çizelge 4. Çalışma alanı ve çevresinde yapılan araştırmalara göre endemiklik durumunun karşılaştırılması (Takson sayısı ve yüzde (%) olarak araştırma alanı oranı)

	Bu Çalışma	Abbahlı 2018	Kocaman ve ark. 2017	Koyuncu ve ark. 2012	Koyuncu ve ark. 2013
Endemik	90-6.44	48-7.38	49-9.19	98-10.11	46-8.42
Endemik olmayan	1306-93.56	602-92.62	483-90.81	830-89.89	404-91.58

Çizelge 5. Çalışma alanındaki tehdit altındaki bitkiler

Bitki Taksonları	Risk Kategorisi	Bitki Taksonları	Risk Kategorisi
<i>Consolida raveyi</i> (Boiss.) Schrödinger	LC	<i>Verbascum olympicum</i> Boiss.	LC
<i>C. thirkeana</i> (Boiss.) Bornm.	LC	<i>Marrubium parviflorum</i> Fisch. & Mey. subsp. <i>oligodon</i> Seybold	LC
<i>Delphinium venulosum</i> Boiss.	LC	<i>Phlomis russeliana</i> (Sims) Benth	LC
<i>Alyssum pateri</i> Nyar.	LC	<i>Salvia cyanescens</i> Boiss.&Balansa	LC
<i>Bolanthus minuartioides</i> (Jaub. et Spach) Hub.-Mor.	LC	<i>S. dichroantha</i> Stapf	LC
<i>Saponaria kotschy</i> Boiss.	LC	<i>S. wiedemannii</i> Boiss.	LC
<i>Isatis floribunda</i> Boiss. ex Bornm.	LC	<i>S. orientalis</i> L. subsp. <i>santolinoides</i>	LC
<i>Fumana paphlagonica</i> Bornm. & Janch.	LC	<i>Asperula pestalozzae</i> Boiss.	LC
<i>Linum hirsutum</i> L. subsp. <i>anatolicum</i> (Boiss.) Hayek var. <i>anatolicum</i>	LC	<i>Hyacinthella lineata</i> (Steudel) Chouard	LC
<i>L. hirsutum</i> L. subsp. <i>pseudoanatolicum</i> Davis	LC	<i>Muscari bourgaei</i> Baker	LC
<i>Hypericum aviculariifolium</i> Jaub.& Spach	LC	<i>Alyssum sibthorpiatum</i> Schultes & Schultes	LC
<i>Erodium absinthoides</i> Willd.	LC	<i>Crocus ancyrensis</i> (Herbert) Maw	LC
<i>Astracantha microptera</i> (Fisch.) Podlech	LC	<i>Iris kerneriana</i> Ascherson & Sint. Ex Baker	LC
<i>Astragalus angustiflorus</i> C. Koch subsp. <i>anatolicus</i> (Boiss.) Chamberlain	LC	<i>Medicago rhytidocarpa</i> (Boiss. & Balansa) E. Small	NT
<i>A. condensatus</i> Ledeb.	LC	<i>Astragalus melanophrurius</i> Boiss.	NT
<i>A. hololeucooides</i> (Boiss.) Podl. & Sytin	LC	<i>A. scholerianus</i> Bornm.	NT
<i>A. surugensis</i> subsp. <i>zederbaueri</i> (Stadlmann) Ponert	LC	<i>A. stereocalyx</i> Bornm.	NT
<i>Ebenus hirsuta</i> Jaub.&Spach	LC	<i>A. orientalis</i> (L.) Boiss. var. <i>leucantha</i> (Bornm.) Hub.-Mor	NT
<i>Genista aucheri</i> Boiss.	LC	<i>Verbascum serratifolium</i> Hub.-Mor.	NT
<i>Hedysarum cappadocicum</i> Boiss.	LC	<i>Scutellaria galatica</i> Bornm.	NT
<i>Bupleurum sulphureum</i> Boiss. & Bal.	LC	<i>Fritillaria fleischeriana</i> Steudel Et Hochst. ex	NT
<i>Ferulago macrosciadea</i> Boiss.&Balansa	LC	<i>Lathyrus undulatus</i> Boiss.	VU
<i>Prangos meliocarpoides</i> Boiss.	LC	<i>Cyclamen intaminatum</i> Meikle	VU
<i>Achillea lycaonica</i> Boiss. & Heldr.	LC	<i>Sideritis pisidica</i> Boiss.	VU
<i>Anthemis aciphylla</i> Boiss.	LC	<i>Thymus bornmuelleri</i> Velen.	VU
<i>Centaurea wiedemanniana</i> (Fisch. & C.A.Mey.) Holub	LC	<i>Hesperis kotschy</i> Boiss.	VU
<i>Helichrysum arenarium</i> (L.) Moench.	LC	<i>Papaver virchowii</i> Asch.&Sint. ex Boiss.	CD
<i>Hieracium pannosum</i> Boiss. subsp. <i>bornmuelleri</i> (Frey) Frey	LC	<i>Stachys tmolea</i> Boiss.	CR
<i>Asyneuma linifolium</i> (Boiss. & Heldr.) Bornm.	LC	<i>Onosma bornmuelleri</i> Hausskn.	LC
<i>Euploca fruticosa</i> (L.) J.I.M.Melo & Semir	LC	<i>O. bracteata</i> Wall.	LC
<i>Moltkia aurea</i> Boiss.	LC	<i>O. brevifolia</i> DC. ex Boiss.	LC
<i>Digitalis lamarckii</i> Ivan	LC	<i>O. isaurica</i> Boiss. & Heldr.	LC
<i>Linaria corifolia</i> Desf.	LC		

Araştırma alanımızda saptanan 1396 tür ve türaltı taksondan 90'ı endemik olup alandaki tür ve türaltı taksonların endemizm oranı % 6.44'dir (Çizelge 4). Bu oran % 31.82 olan Türkiye endemizm oranına göre oldukça düşüktür. Bunun nedenleri arasında araştırma alanımızın sahip olduğu ortalama habitat, iklim, toprak, yükselti ve diğer tüm klimatik özellikler gösterilebilir.

IUCN risk kategorilerine göre kategori (Ekim ve ark., 2000; IUCN, 2001) toplam 65 tür risk altındadır. Risk altındaki taksonların 50'si LC, 8'i NT, 5'i VU, 1'i CD ve 1'i CR kategorisinde bulunmaktadır (Çizelge 5) (Ocak ve ark., 2017).

SONUÇ

Anadolu coğrafyasının tümü göz önüne alınacak olursa yükselti farklılıkları, yağış, sıcaklık, toprak ve diğer tüm iklimsel-ekolojik faktörlerdeki çeşitlilik ve Anadolu topraklarının jeolojik devirlerdeki serüveni Türkiye bitki zenginliğini meydana getirmiştir. Türkiye’ de içerdiği endemik takson sayısı bakımından en zengin fitocoğrafik bölgeler sırasıyla İran-Turan, Akdeniz ve Avrupa-Sibirya fitocoğrafik bölgeleri’dir (Ocak ve Tokur, 2000; Ekim ve ark., 2004). Çalışma alanından elde edilen sonuçlar Türkiye’deki endemizm oranı sıralamasıyla aynı olmasa da çalışma alanına yakın yerlerde yapılan araştırmalarla paralellik göstermektedir. Endemik türler ile birlikte Çizelge 5’te belirtilen türlerin de bulunduğu alanların koruma altına alınması gerekmektedir. Sonuç olarak Bilecik florasına katkılar isimli bu çalışmanın bölge ve Türkiye Florasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Ardıç M, Koyuncu O, Tokur S, 2011. Hekimdağ (Bozdağ) Florası. Eskişehir. Anadolu University Journal of Science and Technology-C, 1(1): 35-58.
- Boissier E, 1867-1888. Flora Orientalis. Cilt 1-5 and Supp. Geneve and Basile.
- Çırpıcı A, 1983. Türkiye Florası Atlası. İstanbul Üniversitesi Yayınları, No: 3064,s. 20, İstanbul.
- Davis PH, 1965-1988. Flora of Turkey the East Aegean Islands. Volume I-X, Edinburg University Press, Edinburg.
- Ekim T, Koyuncu M, Vural M, Duman H, Aytaç Z, Adıgüzel N, 2000. Türkiye Bitkileri Kırmızı Kitabı. Türkiye Tabiatı Koruma Derneği ve Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ankara.
- Erik S, Tarıkahya B, 2004. Türkiye Florası Üzerine. Kebikeç, s. 139-163.
- Feinbrun-Dothan N, 1977. Flora Palaestina Vol. III. The Israel Academy of Sciences and Humanities, Jerusalem.
- Güner A, 2000. Flora of Turkey Volume 11. Edinburg University Press, Edinburg.
- Güner A, Aslan S, Ekim T, Vural M, Babaç MT, 2012. Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler), Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırma Derneği Yayını, İstanbul.
- Koyuncu O, Yaylacı O, Oztürk D, Tokur S, 2012. Vascular Plant Diversity in Geyve Gorge(Sakarya/Turkey) and its Environs. Biological Diversity and Conservation, 5(3), 98-122.
- Koyuncu O, Yaylacı ÖK, Öztürk D, Özgişi K, Sezer O, Savaroğlu F, Erkara İP, Ocak A, 2012. Vascular Plant Diversity of Osmaneli (Bilecik-Turkey). Scottish Journal of Arts, Social Sciences and Scientific Studies, 7/1, 78-129.
- Koyuncu O, Yaylacı ÖK, Sezer O, Özgişi K, Öztürk D, Tokur S, 2013. Flora of Karaköy (Bilecik-Turkey) and Its Environs. Scottish Journal of Arts, Social Sciences and Scientific Studies, 84-134.
- Koyuncu O, Kocaman BG, Yaylacı ÖK, Özgişi K, Sezer O, Erkara İP, 2017. The vascular plant flora of Pazaryeri (Bilecik) and environs. Artvin Coruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 18(1), 36-50.
- Ocak A, Tokur S, 2000. The flora of Gülümbe Mountain(Bilecik/Turkey). Turk j. Bot., 24/121- 141.
- Ocak A, Öztürk D, Kara İ, 2017. Bilecik Florası. Yayın Yeri:Turkuaz Haberleşme ve Yayıncılık A.Ş., Basım sayısı:1, Sayfa sayısı:1135, ISBN:978-605-65470-8-9, Bilecik-Türkiye.
- Seçmen Ö, Leblebici E, 1996. Türkiye Sulak Alan Bitkileri ve Bitki Örtüsü, Bornova.
- Seçmen Ö, Gemici Y, Görk G, Bekat L, Leblebici E, 2004. Tohumlu Bitkiler Sistematigi. E.Ü. Fen Fak. Kitaplar serisi, No.: 116.
- Türe C, 2001. A Description of the Vegetation Mosaic of the Forests of Yirce and Muratdere (Bilecik- Bursa, Turkey) by Satellite Remote Sensing. Turkish Journal of Botany, Tübitak, 25, 131-136.
- Türe C, Tire E, Böcük H, 2007. Vascular Plant Diversity and General Ecological Characteristics of Ahi Mountain (Bilecik, Turkey). Anadolu University Journal of Sciences & Technology, 8(2).
- Zohary M, 1966. Flora Palaestina Vol. I. Jerusalem: The Israel Academy of Sciences and Human

Zeytin Karasuyunun İleri Oksidasyon Prosesleri İle Arıtımının İncelenmesi

Fatma Ekmekyapar TORUN¹, İbrahim CENGİZ^{2*}, Sinan KUL²

ÖZET: Bu çalışmada, Balıkesir ilinde faaliyet gösteren bir zeytinyağı üretim tesisinden temin edilen zeytin karasuyunun arıtımında ozon (O₃), ozon+hidrojen peroksit (O₃+H₂O₂) ve fenton (Fe²⁺+H₂O₂) proseslerinin etkinlikleri incelenmiştir. İlk olarak % 10 kapasite ile O₃ jeneratörü çalıştırılmış ve 3 farklı pH (4.75, 10 ve 11) değerinde 6 saat boyunca ozonlama işlemi gerçekleştirilmiş ve maksimum giderim verimi pH değeri 11 olarak ayarlandığında % 15.27 olarak hesaplanmıştır. İkinci olarak % 10 kapasite ile O₃ jeneratörü çalıştırılmış ve ortama 500 mg L⁻¹ H₂O₂ ilave edilmiştir. 6 saatlik bu deneme sonrasında giderim verimi %9.8 olarak gerçekleşmiştir. Son olarak zeytin karasuyunun arıtımı için farklı Fe²⁺ (2.014 g L⁻¹ ve 4.028 g L⁻¹) ve H₂O₂ (19.05, 44.44 ve 80 g L⁻¹) konsantrasyonlarının etkilerinin incelendiği fenton prosesinde Fe²⁺ ve H₂O₂ konsantrasyonları arttığında deney sonunda ortamda kalan KOİ konsantrasyonları sürekli azalmıştır. Fe²⁺ konsantrasyonu 4.029 mg L⁻¹ ve H₂O₂ konsantrasyonu 80 mg L⁻¹ olarak ayarlanmış ve %81.94 oranında KOİ giderimi sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar fenton prosesinin, diğer proseslerden çok daha fazla etkinliğinin olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Anahtar kelimeler: Fenton (Fe²⁺+H₂O₂), hidrojen peroksit (H₂O₂), ileri oksidasyon prosesi (İOP), ozon (O₃), zeytin karasuyu

Investigation of Olive Mill Wastewater Treatment with Advanced Oxidation Processes

ABSTRACT: In this study, the effectiveness of ozone (O₃), ozone+hydrogen peroxide (O₃+H₂O₂) and fenton (Fe²⁺+H₂O₂) processes were investigated in the treatment of olive mill wastewater obtained from an olive oil production facility operating in Balıkesir province. Firstly, the ozone generator was operated with a 10% capacity. Ozonation was performed for 6 hours at three different pH values (4.75, 10 and 11) and the maximum removal efficiency was calculated as 15.27% when the pH value was 11. Secondly, the ozone generator was operated with a 10% capacity and an average of 500 mg L⁻¹ H₂O₂ was added. After this 6 hour experiment, the removal efficiency was obtained as 9.8%. Finally, in the fenton process, where the effects of Fe²⁺ (2.014 g L⁻¹ and 4.028 g L⁻¹) and H₂O₂ (19.05, 44.44 and 80 g L⁻¹) concentrations were examined for the treatment of olive mill wastewater, the remained concentrations of COD decreased continuously at the end of the experiment when Fe²⁺ and H₂O₂ concentrations increased. The concentrations of Fe²⁺ and the H₂O₂ were set at 4.029 mg L⁻¹ and 80 mg L⁻¹ respectively, and COD removal was achieved at the rate of 81.94%. The results obtained from the experiments revealed that the fenton process has much more efficiency than other processes.

Keywords: Fenton (Fe²⁺+H₂O₂), hydrogen peroxide (H₂O₂), advanced oxidation process (AOP), ozone (O₃), olive mill wastewater

¹Fatma Ekmekyapar Torun (Orcid ID: 0000-0002-2289-176X), Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

²İbrahim CENGİZ (Orcid ID: 0000-0003-3171-6629), Sinan KUL (Orcid ID: 0000-0002-7824-756X), Bayburt Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Acil Yardım ve Afet Yönetimi Bölümü, Bayburt, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: İbrahim CENGİZ, e-mail: ibrahimcengiz@bayburt.edu.tr

GİRİŞ

Ülkemizdeki evsel ve endüstriyel kaynaklı atıksuların büyük bir kısmı herhangi bir arıtım işlemine tabi tutulmadan, çoğunlukla insanların içme ve kullanma sularını tedarik ettikleri alıcı ortamlara bırakılmaktadır. Hızla kirlenmekte olan alıcı ortamlardaki bu içme ve kullanma sularının korunması amacıyla deşarj limitlerinin yer aldığı yönetmelikler çıkarılmakta ve çıkarılan bu yönetmeliklerle daha da kısıtlanan atıksu deşarj değerleri atıksuların arıtılması için yeni arıtma teknolojilerinin kullanılmasını gerekli kılmaktadır.

Zeytin karasuyu olarak adlandırılan atıksular da alıcı ortamların kirlenmesine sebep olan endüstriyel atıksular arasında olup, zeytin ve zeytinyağı üretimi, özellikle Akdeniz'e kıyısı olan ülkelerde çok büyük ekonomik ve sosyal öneme sahiptir (Pelillo ve ark., 2006). Doğanın ilk ağacı olarak tanımlanan zeytin ağacı, Akdeniz'i çevreleyen ülkelerin hemen hepsinde en kötü toprak koşullarında bile doğal olarak yetişebilen bir bitki olup, meyvesinin etli kısmından ve çekirdeğinden elde edilen yağ, zeytinyağı olarak adlandırılmakta ve dünyanın en sağlıklı yağı olarak bilinmektedir (Coşkun, 2010). En fazla yağ içeren meyvelerden biri olan zeytin, ortalama ağırlığının %20-30'u kadar yağ içerebilmektedir (Cabrera ve ark., 1996; Minussi ve ark., 2007).

Türkiye koşullarında kasım ayında olgunlaşmaya başlayan zeytinler, şubat ayına kadar toplanmakta ve hasat dönemini takiben zeytinyağı işleme sezonu başlamaktadır. Hasat edilen ve işletmeye getirilen zeytin, yağ ayırma işlemlerine girmeden önce, bazı ön hazırlama işlemlerine tâbi tutulmak zorunda olup işletmeye gelen zeytinler için sırasıyla, yıkama, kırma, yoğurma, katı-sıvı faz ayırma ve son olarak da yağın sudan ve tortudan ayrılması işlemleri uygulanmaktadır (Morillo ve ark., 2009).

Zeytinyağı üretim prosesleri, prosesin işletme şekline göre geleneksel sistem (presleme) ve modern sistem (sürekli) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Geleneksel sistemlerde az miktarda su kullanılmasına rağmen, işlenen zeytinin ağırlıkça yaklaşık %50'si oranında yüksek miktarda kirlilik içeren atıksu meydana gelmektedir (Mantzavinos ve Kalogerakis, 2005; Vlyssides ve ark., 2004). Modern sistemler ise kendi aralarında üç fazlı, iki fazlı ve iki buçuk fazlı üretim prosesleri olmak üzere üç kısımda incelenebilmektedir. Üç fazlı üretim prosesi çıkışında yağ, zeytin karasuyu ve pirina olmak üzere üç faz oluşmakta olup önemli miktarda proses suyu eklendiğinden dolayı presleme prosesinden 1.25-1.75 kat daha fazla atıksu oluşmaktadır (Demicheli ve Bontoux, 1997; Vlyssides ve ark., 2004). İki fazlı üretim prosesinde ise üretim esnasında proses suyu kullanılmamakta ve proses çıkışında yağ ve pirina olmak üzere iki faz oluşmaktadır (Morillo ve ark., 2009; Vlyssides ve ark., 2004). Bu proses çıkışında karasu oluşmadığından, sistem ekolojik olarak oldukça cazip olup oluşan pirina kısmında %50-60 oranında su, %2-3 oranında ise yağ içermektedir (Masghouni ve Hassairi, 2000). Son olarak iki buçuk fazlı üretim prosesi, iki fazlı sistemde oluşan pirinadaki mevcut nemi azaltmak ve zeytinyağının kalitesini yükseltmek için geliştirilmiştir (Köseoğlu, 2006; Niaounakis ve Halvadakis, 2006). Bu proseste zeytinyağı üretimi esnasında herhangi bir kimyasal madde kullanılmaması, bu sektörün çevreye zararlı olmadığını düşündürse de, üretim sonrasında oluşan yan ürünlerin miktarı oldukça yüksek olup üretim teknolojisine bağlı olarak, her 100 kg zeytinden 35 kg pirina ve 55-200 L zeytin karasuyu meydana gelmektedir (Köseoğlu, 2006; Niaounakis ve Halvadakis, 2006).

Zeytin karasuyunun içeriği, miktarı ve fizikokimyasal özellikleri üretim yerine, ürün alınan ağacın yaşına, hasat sezonuna, zeytin çeşidine ve üretim metotlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir (McNamara ve ark., 2008; Niaounakis ve Halvadakis, 2006; Paraskeva ve Diamadopoulou, 2006; Pelillo ve ark., 2006; Vlyssides ve ark., 2004). Zeytin karasuyun kirlilik karakteristiklerine ilişkin literatür verileri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Zeytin karasuyunun karakterizasyonuna ilişkin literatürdeki bazı veriler

pH	KOİ (g L ⁻¹)	BOİ ₅ (g L ⁻¹)	TOK (g L ⁻¹)	AKM (g L ⁻¹)	TF (g L ⁻¹)	Referans
5.20	148±13.3	67±6.64	-	14.5±1.23	2.21±0.128	(Sabbah ve ark., 2004)
5.70	48±2.1	-	26±2.4	-	8.8±0.3	(Karpouzaz ve ark., 2010)
5.20	115±11	-	-	32±3	0.12±0.01	(Mert ve ark., 2010)
4.60	57.1±1	-	-	14.86±2	6.65±0.2	(Zirehpour ve ark., 2012)
5.27	65	-	25	11.9	5.6	(Belaid ve ark., 2013)
5.56	63	38	26.8	16.8	-	(Günay ve Çetin, 2013)
4.85	55.7	35.7	-	14.1	2.4	(Kul ve ark., 2015)
4.60	51.25±1.8	-	-	-	1.95±0.08	(Al-Bsoul ve ark., 2020)
4.88	80±1	18.72±0.07	-	-	4.75±0.4	(Dehmani ve ark., 2020)

Zeytin ve zeytinyağı üretim sezonu kısa sürmesine rağmen yüksek atıksu miktarı ve yüksek kirlilik potansiyeli sebebiyle zeytin karasuyunun arıtımı oldukça güçtür. Bu özelliklerinden dolayı çoğu ülke de deşarj limitleri kısıtlanmış olan zeytin karasuyunun kirlilik yükünü düşürmek için farklı arıtım prosesleri geliştirilmeye çalışılmaktadır (Beltrán ve ark., 1999; Oktav ve ark., 2003). Çizelge 1’de zeytin karasuyunun karakterizasyonuna bakıldığında yüksek organik madde içeriği, fenolik bileşikler ve yüksek miktarda askıda katı madde içeriği, üretimin sezonluk yapılması, işletmelerin küçük ve geniş bir alanda dağınık yerleşmeleri atıksuyunun arıtımında karşılaşılan güçlükler arasında yer almaktadır. İşletmeler açısından bakıldığında zeytin karasuyunun arıtımındaki bir diğer güçlükte Çizelge 2’de verilen Türkiye’de Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği’ne (SKKY) göre zeytin fabrikaları atıksularının alıcı ortamlara deşarj standartları ve SKKY’ne göre atıksuların atıksu arıtma tesisleriyle (AAT) veya derin deniz deşarjı (DDD) ile sonuçlanan atıksu altyapı tesislerine deşarjında öngörülen atıksu standartlarının düşük değerlere sahip oluşudur (Anonim, 2004).

Çizelge 2. Zeytinyağı fabrikası atıksuları için belirlenen deşarj kriterleri ve atıksuların kanalizasyon sistemlerine deşarjında öngörülen kriterler

Parametre	Birim	Kompozit Numune (2 saatlik)	Kompozit Numune (24 saatlik)	AAT ile sonuçlanan atıksu altyapı tesislerinde	DDD ile sonuçlanan atıksu altyapı tesislerinde
KOİ	mg L ⁻¹	250	230	4 000	600
BOİ ₅	mg L ⁻¹	-	-	-	400
Yağ ve gres	mg L ⁻¹	60	40	250	50
pH	-	6-9	6-9	6.5-10	6-10
Renk	Pt-Co	280	260	-	-
AKM	mg L ⁻¹	-	-	500	350

Çizelge 2 incelendiğinde ve literatürde verilen zeytin karasuyunun karakterizasyonu ile karşılaştırıldığında sıklıkla vurgulanan ve biyolojik olarak zor parçalanan fenolik maddeler hakkında bir kriter bulunmamasının yanında KOİ parametresi bakımından incelendiğinde ise çok iyi bir giderim verimine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca yapılan araştırmalar, bu atıksuların çevreye doğrudan verilmesi halinde alıcı su ortamlarında aşırı oksijen tüketimine sebep olacağı, su yüzeyinin yağ tabakası ile kaplanarak oksijen transferinin engellenerek estetik görünümünün bozulacağını, yüksek oranda potasyum içermesi nedeniyle zirai sulamada kullanılması sonucu yüksek asidite ve tuzluluğa sebep olacağını, sığ lagünlerde buharlaştırma yoluyla uzaklaştırma uygulamalarında koku ve sivrisinek problemi ile yeraltı suyunun kirletilme riski ile karşılaşılabileceğini ve fenolik maddelerin fitotoksik ve

antibakteriyel etkileri nedeniyle hem toprağa hem de su kaynaklarına yapılacak doğrudan deşarjlarda ciddi problemler meydana gelebileceğini ortaya koymaktadır (Saez ve ark., 1992). Sıralanan bu problemlerin yanısıra zeytin karasuyu gibi yüksek organik madde ve katı madde içeren bir atıksu için Çizelge 2’de verilen deşarj standartlarını sağlamak işletmeler açısından kolay olmamaktadır. Bu amaçla bazı arıtma prosesleri ve ya kombinasyonlarının kullanılması kaçınılmaz olacaktır. Zeytin karasuyunun arıtımında kullanılan prosesler çeşitlilik göstermekte olup literatürde zeytin karasuyunun arıtımı için bildirilen bir çok fiziksel (Akdemir ve Ayğın, 2019), kimyasal (Hodaifa ve ark., 2019; Tufaner, 2019), elektrokimyasal (Kul ve ark., 2015; Marmanis ve ark., 2019), biyolojik (Kul ve Nuhoglu, 2020) vb. bir çok arıtım prosesi bulunmaktadır.

Ozon (O₃) ve hidrojen peroksit (H₂O₂) prosesleri atıksu arıtımında yaygın bir şekilde kullanılmakta olup, zeytin karasuyunun arıtımı için genellikle farklı proseslerle kombine edilerek KOİ giderim verimleri arttırılmaya çalışılmaktadır (Chedeville ve ark., 2009; Drouiche ve ark., 2004). Fenton reaksiyonu (Fe²⁺+H₂O₂) ise, ilk olarak 1894 yılında İngiliz Kimyager H. J. Fenton tarafından ortaya atılmış, asidik koşullar altında ve Fe²⁺ tuzları varlığında güçlü bir oksidant olan H₂O₂’in yükseltgenmiş oksidatif potansiyeli olarak tanımlanmakta olup fenton süreçlerinde yer alan reaksiyonlar Eşitlik 1-6’da verilmiştir (Ameta ve ark., 2018; Fenton, 1894).



Bu çalışmada zor arıtılan bir atıksu olması sebebiyle zeytin karasuyunun kesikli bir reaktörde O₃, O₃+H₂O₂ ve Fe²⁺+H₂O₂ prosesinin yer aldığı oksidasyon prosesleri ile arıtımının incelenmesi amaçlanmaktadır. Ek olarak bu oksidasyon prosesleri ile zor parçalanan zeytin karasuyunun daha düşük kirletici yüküne sahip bir atıksuya dönüşmesi ve ozonlama neticesinde atıksuyun biyolojik parçalanabilirliğinin artması amaçlanmaktadır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal

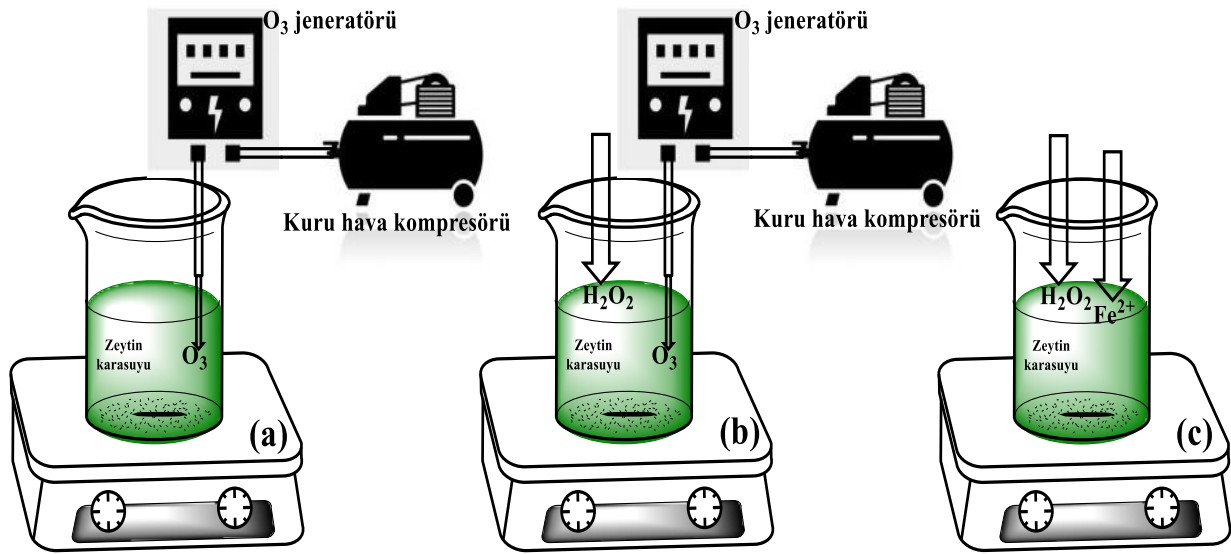
Deneyisel çalışmalarda kullanılan bütün kimyasallar ticari olarak (Merck ve Sigma kalitesinde) temin edilmiştir. Deneyisel çalışmalar için kullanılan zeytin karasuyu Balıkesir ili sınırları içerisinde zeytinyağı üretimi yapan bir tesisten temin edilmiştir.

Deneyisel çalışmalar Şekil 1’de gösterilen toplam 500 ml hacimli borosilikat cam reaktör içerisinde 250 ml zeytin karasuyu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Ozon (O₃), Ozon+Hidrojen Peroksit (O₃+H₂O₂) ve Fenton (Fe²⁺+H₂O₂) prosesleri

O₃ prosesi için öncelikle H₂SO₄ ve NaOH kullanılarak 3 farklı başlangıç pH (4.75, 10 ve 11) için pH ayarlaması yapılmıştır. Ardından kuru hava ile ozon jeneratörü %10 kapasite ile 6 sa süresince çalıştırılmış ve ozonlama işleminden sonra alınan örnekler için standart metotlara göre KOİ analizleri yapılmıştır. O₃+H₂O₂ prosesi için ise öncelikle H₂SO₄ ve NaOH kullanılarak pH değeri 4.75 olarak ayarlanmıştır. Başlangıç H₂O₂ konsantrasyonu 500 mg L⁻¹ olacak şekilde reaktöre H₂O₂ ilave edilmiş ve

kuru hava ile ozon jeneratörü %10 kapasitede çalıştırılarak zamanla elde edilen örneklerin standart metotlara göre KOİ değerleri belirlenmiştir. Son olarak fenton prosesi için öncelikle H₂SO₄ ve NaOH kullanılarak pH ayarlaması yapılmıştır. pH ayarlaması yapılan atıksu içerisine ilk olarak FeSO₄.7H₂O (katı), ikinci olarak da H₂O₂ ilave edilmiş, atıksu 150 rpm karıştırma hızında deney boyunca sürekli karıştırılmıştır. Deney sonrasında NaOH ile numunenin pH'sı 7-8 aralığına getirilmiş ve 6 000 rpm karıştırma hızında 5 dk süresince santrifüjlenerek Fe³⁺'nin çökmesi sağlanmıştır. Son olarak üst fazdan numune alınarak KOİ ve H₂O₂ analizleri yapılmıştır. Eşitlik 11 kullanılarak H₂O₂/KOİ oranı hesaplanmıştır.



Şekil 1. Deneysel sistem; (a) Ozon (O₃) prosesi ile zeytin karasuyunun arıtımı, (b) Ozon+hidrojen peroksit (O₃+H₂O₂) prosesi ile zeytin karasuyunun arıtımı, (c) Fenton (Fe²⁺ + H₂O₂) prosesi ile zeytin karasuyunun arıtımı

Yöntem

Standart ölçümler

Deneyler süresince KOİ, spektrofotometrik olarak standart metotlarda belirtildiği gibi belirlenmiştir (Anonim, 1920). H₂O₂ analizleri ise spektrofotometrik olarak I³⁻ metodu kullanılarak yapılmıştır (Klassen ve ark., 1994). pH ve iletkenlik ölçümleri için WTW marka multimetre kullanılmıştır.

H₂O₂'nin varlığı aşağıdaki denklemler uyarınca KOİ deneylerine girişim yapmakta ve Eşitlik 8-10'da görülebileceği üzere sonuçlara etki etmektedir.



KOİ deneylerinde meydana gelebilecek bir H₂O₂ girişimini elimine etmek için Eşitlik 11'den faydalanılmıştır (Talinli ve Anderson, 1992).

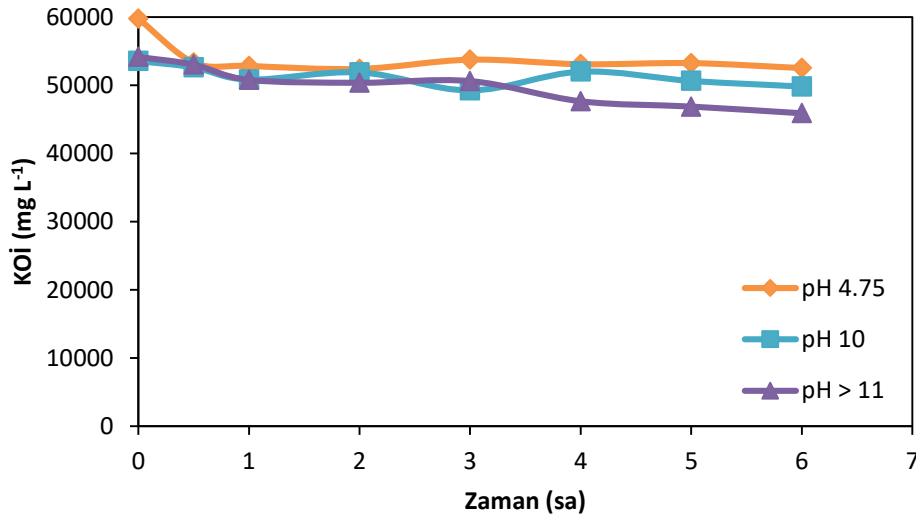
$$\text{KOİ}(\text{mg L}^{-1}) = \text{KOİ}_{\text{ölçülen}} - a.b \quad (11)$$

Eşitlik 11’de verilen “a” değeri numunede kalan H_2O_2 konsantrasyonu ($mg L^{-1}$), “b” değeri ise düzeltme faktörünü göstermekte olup b değeri 0.25’dir.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Zeytin Karasuyunun Ozon (O_3) Prosesi ile Arıtımının İncelenmesi

Zeytin karasuyunun kesikli bir reaktörde ozonlaması için yapılan çalışmada, kuru hava ile ozon jeneratörü %10 kapasite ile çalıştırılmış ve 3 farklı pH (4.75, 10 ve 11) değerlerinde 6 saat boyunca ozonlama işlemine tabi tutulmuştur. Elde edilen KOİ değerleri Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Farklı pH değerlerinde ozonlama ile zeytin karasuyunun KOİ giderim verimlerinin zamanla değişimi

Şekil 2’den de görüleceği üzere pH değeri 4.75 olarak ayarlandığında giderim verimi %12.09 olarak gerçekleşmişken pH değeri 11 olarak ayarlandığında verim azda olsa artış göstererek %15.27 olarak hesaplanmıştır. Zeytin karasuyunun yapısında bulunan zor parçalananan organik maddelerin fazla olması verimin bu kadar düşük olmasına sebep olmuş olabilir (Chedeville ve ark., 2009).

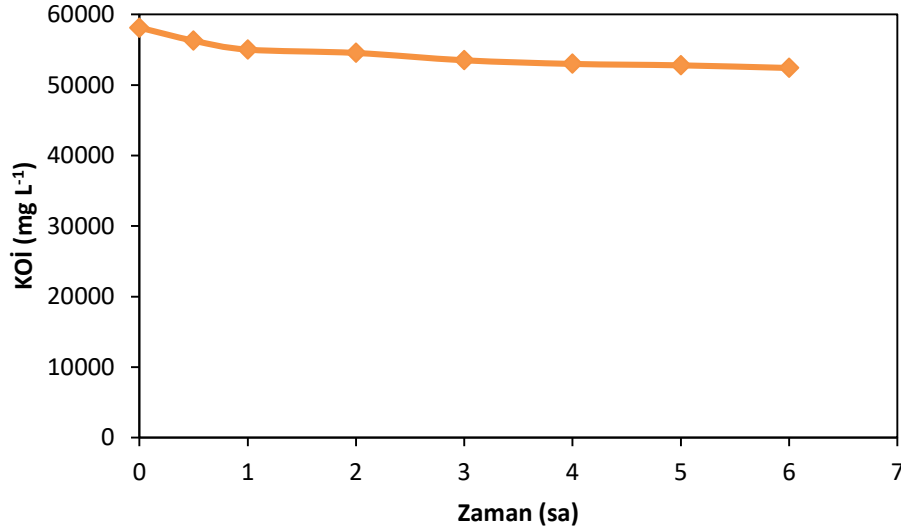
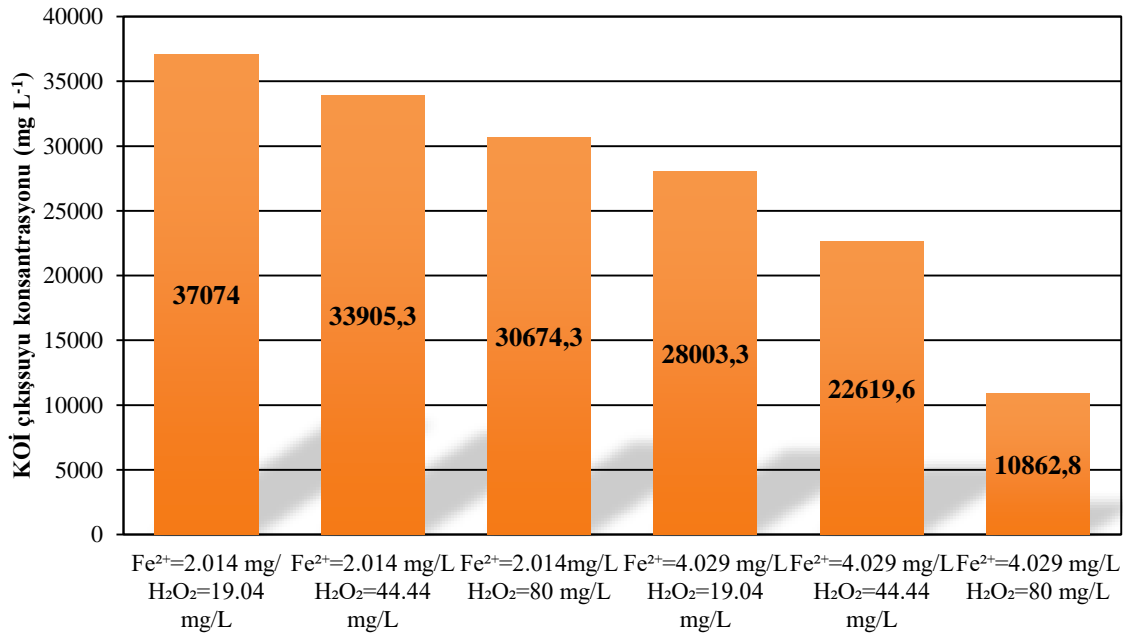
Zeytin Karasuyunun $O_3+H_2O_2$ ile Arıtımının İncelenmesi

Zeytin karasuyunun $O_3+H_2O_2$ kesikli reaktörde arıtımının incelenmesi için yapılan çalışmada pH = 4.75 ve $H_2O_2=500 mg L^{-1}$ ve kuru hava ile ozon jeneratörü %10 kapasitede çalıştırılarak zamanla elde edilen KOİ değerleri Şekil 3’de gösterilmiştir.

Şekil 3’de de görüleceği üzere 6 saatlik deneme sonrasında giderim verimi %9.8 olarak gerçekleşmiş, giderim verimi bu deney şartlarında da istenilen düzeyde hesaplanamamış olup zor parçalananan organik maddelerin fazla olması buna sebep olmuş olabilir (Chedeville ve ark., 2009).

Zeytin Karasuyunun Fenton ($Fe^{2+}+H_2O_2$) Prosesi ile Arıtımının İncelenmesi

Zeytin karasuyunu fenton prosesi ile arıtımının incelenmesi için yapılan çalışmada farklı Fe^{2+} ($2.014 g L^{-1}$ ve $4.028 g L^{-1}$) ve H_2O_2 ($19.05, 44.44$ ve $80 g L^{-1}$) konsantrasyonlarının etkileri incelenmiştir. Elde edilen KOİ konsantrasyonlarındaki değişim Şekil 4 ve Çizelge 3’de verilmiştir.

Şekil 3. O₃+H₂O₂ ile zeytin karasuyunun KOİ giderim verimlerinin zamanla değişimiŞekil 4. Fe²⁺ H₂O₂ ile zeytin karasuyunun KOİ konsantrasyonlarının çıkış suyu değerleriÇizelge 3. Farklı Fe²⁺ ve H₂O₂ konsantrasyonlarının da KOİ konsantrasyonlarının değişimi

Fe ²⁺ (mg L ⁻¹)	H ₂ O ₂ (mg L ⁻¹)	KOİ (mg L ⁻¹)	Verim (%)
2.014	19.04	37074.0	38.37
2.014	44.44	33905.3	43.63
2.014	80	30674.3	49.01
4.029	19.04	28003.3	53.45
4.029	44.44	22619.6	62.40
4.029	80	10862.8	81.94

Şekil 4 ve Çizelge 3 ayrıntılı olarak incelendiğinde Fe²⁺ ve H₂O₂ konsantrasyonları arttığında deney sonunda ortamda kalan KOİ konsantrasyonları sürekli azalmıştır. Fe²⁺ konsantrasyonu 2.014 mg L⁻¹ olarak sabit tutulup H₂O₂ konsantrasyonu 19.04 mg L⁻¹ olarak ayarlandığında KOİ giderim verimi

%38.37 olarak gerçekleşmişken H_2O_2 konsantrasyonu 80 mg L^{-1} 'ye çıkarıldığında giderim verimi yaklaşık %10'luk bir artışla %49.01 olarak gerçekleşmiştir. Fe^{2+} konsantrasyonu 4.029 mg L^{-1} olarak sabit tutulup H_2O_2 konsantrasyonu 19.04 mg L^{-1} olarak ayarlandığında ise KOİ giderim verimi %53.45'e kadar yükselmiş, H_2O_2 konsantrasyonu 44.44 mg L^{-1} 'ye çıkarıldığında giderim verimi %62.40, H_2O_2 konsantrasyonu 80 mg L^{-1} 'ye çıkarıldığında giderim verimi hızla yükselerek %81.94 seviyelerine yükselmiştir.

SONUÇ

Zeytin karasuyunun oksidasyon prosesleri ile arıtılabilirliğinin araştırılması için yapılan çalışmamızda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Tek başına O_3 kullanılarak kesikli reaktörde 6 sa boyunca pH 4.75, 10 ve 11'de zeytin karasuyunun ozonlamasında KOİ giderim verimleri sırasıyla yaklaşık %12.09, %7 ve %15.27 elde edilmiştir. Yüksek KOİ içeren zeytin karasuyunun ozonlaması giderim verimi düşük olduğu gözlenmiştir. Yüksek pH değerlerin giderim verimi artmasına rağmen istenilen düzeyde olmadığı gözlemlenmiştir.

2. H_2O_2 ile ozonlama işlemi için 500 mg L^{-1} H_2O_2 konsantrasyonu ile ozonlama verimi %9.8 civarında olduğu tespit edilmiştir. H_2O_2 ile ozonlama işleminde KOİ giderimi için yetersiz olduğu tespit edilmiştir.

3- Fenton ($Fe^{2+}+H_2O_2$) prosesi ile zeytin karasuyunun giderimi için yapılan çalışmada ise farklı Fe^{2+} ve H_2O_2 konsantrasyonları için yapılan çalışmalarında ise diğer oksidasyonu proseslerine göre oldukça yüksek giderim verimleri elde edilmiştir. En düşük giderim verimi %38.37 (Fe^{2+} : 2.014 g L^{-1} - H_2O_2 : 19.04 g L^{-1}), en yüksek giderim verimi %81.94 (Fe^{2+} : 4.029 g L^{-1} - H_2O_2 : 80 g L^{-1}) elde edilmiştir.

Sonuç olarak O_3 ve $O_3+H_2O_2$ prosesleri yüksek KOİ içeren zeytin karasuyu arıtımında yetersiz olduğu gözlemlenmiştir. Fenton prosesi ise zeytin karasuyu arıtımında oldukça başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri, BAP 2012/099 nolu proje kapsamında desteklenmiş olup çalışmamız için desteklerini esirgemeyen Atatürk Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nün kıymetli çalışanlarına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Akdemir, E.O., Ayğan, E., 2019. Pretreatment of olive mill wastewater by ultrafiltration process using chitosan. *Desalination and Water Treatment* 142, 49-55.
- Al-Bsoul, A., Al-Shannag, M., Tawalbeh, M., Al-Taani, A.A., Lafi, W.K., Al-Othman, A., Alsheyab, M., 2020. Optimal conditions for olive mill wastewater treatment using ultrasound and advanced oxidation processes. *Science of The Total Environment* 700, 134576.
- Ameta, R., Chohadia, A.K., Jain, A., Punjabi, P.B., 2018. Fenton and photo-fenton processes, *Advanced Oxidation Processes for Waste Water Treatment*. Elsevier, pp. 49-87.
- Anonim, 1920. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association.
- Anonim, 2004. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Resmi Gazete, Ankara.

- Belaid, C., Khadraoui, M., Mseddi, S., Kallel, M., Elleuch, B., Fauvarque, J.F., 2013. Electrochemical treatment of olive mill wastewater: treatment extent and effluent phenolic compounds monitoring using some uncommon analytical tools. *Journal of Environmental Sciences* 25, 220-230.
- Beltrán, F.J., García-Araya, J.F., Frades, J., Alvarez, P., Gimeno, O., 1999. Effects of single and combined ozonation with hydrogen peroxide or UV radiation on the chemical degradation and biodegradability of debittering table olive industrial wastewaters. *Water Research* 33, 723-732.
- Cabrera, F., Lopez, R., Martinez-Bordiú, A., de Lome, E.D., Murillo, J., 1996. Land treatment of olive oil mill wastewater. *International Biodeterioration & Biodegradation* 38, 215-225.
- Chedeville, O., Debacq, M., Porte, C., 2009. Removal of phenolic compounds present in olive mill wastewaters by ozonation. *Desalination* 249, 865–869.
- Coşkun, T., 2010. Zeytin karasularının fizikokimyasal ve membran proseslerle arıtımı, Fen Bilimleri Enstitüsü. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Dehmani, Y., Ed-Dra, A., Zennouhi, O., Bouymajane, A., Filali, F.R., Nassiri, L., Abouarnadasse, S., 2020. Chemical characterization and adsorption of oil mill wastewater on Moroccan clay in order to be used in the agricultural field. *Heliyon* 6.
- Demicheli, M., Bontoux, L., 1997. Novel technologies for olive oil manufacturing and their incidence on the environment. *Fresenius Environmental Bulletin* 6, 240-247.
- Drouiche, M., Mignot, V.L., Lounici, H., Belhocine, D., Grib, H., Pauss, A., Mameri, N., 2004. A compact process for the treatment of olive mill wastewater by combining UF and UV/H₂O₂ techniques. *Desalination* 169, 81–88.
- Fenton, H., 1894. LXXIII.—Oxidation of tartaric acid in presence of iron. *Journal of the Chemical Society, Transactions* 65, 899-910.
- Günay, A., Çetin, M., 2013. Determination of aerobic biodegradation kinetics of olive oil mill wastewater. *International Biodeterioration & Biodegradation* 85, 237-242.
- Hodaifa, G., Gallardo, P.A.R., García, C.A., Kowalska, M., Seyedsalehi, M., 2019. Chemical oxidation methods for treatment of real industrial olive oil mill wastewater. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 97, 247-254.
- Karpouzias, D.G., Ntougias, S., Iskidou, E., Rousidou, C., Papadopoulou, K.K., Zervakis, G.I., Ehaliotis, C., 2010. Olive mill wastewater affects the structure of soil bacterial communities. *Applied soil ecology* 45, 101-111.
- Klassen, N.V., Marchington, D., McGowan, H.C., 1994. H₂O₂ determination by the I³⁻ method and by KMnO₄ titration. *Analytical Chemistry* 66, 2921-2925.
- Köseoğlu, O., 2006. The effect of the extraction systems on the quality and bitterness of the olive oil.
- Kul, S., Boncukcuoğlu, R., Yilmaz, A.E., Fil, B.A., 2015. Treatment of olive mill wastewater with electro-oxidation method. *Journal of the Electrochemical Society* 162, G41-G47.
- Kul, S., Nuhoglu, A., 2020. Removal Kinetics of Olive-Mill Wastewater in a Batch-Operated Aerobic Bioreactor. *Journal of Environmental Engineering* 146, 04019122.
- Mantzavinos, D., Kalogerakis, N., 2005. Treatment of olive mill effluents: Part I. Organic matter degradation by chemical and biological processes—an overview. *Environment international* 31, 289-295.
- Marmanis, D., Dermentzis, K., Christoforidis, A., Diamantis, V., Ouzounis, K., Agapiou, A., Stylianou, M., 2019. Electrochemical treatment of olive mill waste powered by photovoltaic solar energy. *Journal of Power Technologies* 98, 377-381.
- Masghouni, M., Hassairi, M., 2000. Energy applications of olive-oil industry by-products:—I. The exhaust foot cake. *Biomass and Bioenergy* 18, 257-262.

- McNamara, C.J., Anastasiou, C.C., O'Flaherty, V., Mitchell, R., 2008. Bioremediation of olive mill wastewater. *International Biodeterioration & Biodegradation* 61, 127-134.
- Mert, B.K., Yonar, T., Kiliç, M.Y., Kestiöglu, K., 2010. Pre-treatment studies on olive oil mill effluent using physicochemical, Fenton and Fenton-like oxidations processes. *Journal of hazardous materials* 174, 122-128.
- Minussi, R.C., Miranda, M.A., Silva, J.A., Ferreira, C.V., Aoyama, H., Marangoni, S., Rotilio, D., Pastore, G.M., Durán, N., 2007. Purification, characterization and application of laccase from *Trametes versicolor* for colour and phenolic removal of olive mill wastewater in the presence of 1-hydroxybenzotriazole. *African Journal of Biotechnology* 6.
- Morillo, J., Antizar-Ladislao, B., Monteoliva-Sánchez, M., Ramos-Cormenzana, A., Russell, N., 2009. Bioremediation and biovalorisation of olive-mill wastes. *Applied Microbiology and Biotechnology* 82, 25.
- Niaounakis, M., Halvadakis, C.P., 2006. Olive processing waste management: literature review and patent survey. Elsevier.
- Oktav, E., Çatalakaya, E.Ç., Şengül, F., 2003. Zeytinyağı Endüstrisi Atıksularının Kimyasal Yöntemlerle Arıtımı. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi* 5, 11-21.
- Paraskeva, P., Diamadopoulou, E., 2006. Technologies for olive mill wastewater (OMW) treatment: a review. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology* 81, 1475-1485.
- Pelillo, M., Rincón, B., Raposo, F., Martín, A., Borja, R., 2006. Mathematical modelling of the aerobic degradation of two-phase olive mill effluents in a batch reactor. *Biochemical Engineering Journal* 30, 308-315.
- Sabbah, I., Marsook, T., Basheer, S., 2004. The effect of pretreatment on anaerobic activity of olive mill wastewater using batch and continuous systems. *Process Biochemistry* 39, 1947-1951.
- Saez, L., Perez, J., Martinez, J., 1992. Low molecular weight phenolics attenuation during simulated treatment of wastewaters from olive oil mills in evaporation ponds. *Water Research* 26, 1261-1266.
- Talinli, I., Anderson, G., 1992. Interference of hydrogen peroxide on the standard COD test. *Water Research* 26, 107-110.
- Tufaner, F., 2019. Evaluation of COD and color removals of effluents from UASB reactor treating olive oil mill wastewater by Fenton process. *Separation Science and Technology*, 1-12.
- Vlyssides, A.G., Loizides, M., Karlis, P.K., 2004. Integrated strategic approach for reusing olive oil extraction by-products. *Journal of Cleaner production* 12, 603-611.
- Zirehpour, A., Jahanshahi, M., Rahimpour, A., 2012. Unique membrane process integration for olive oil mill wastewater purification. *Separation and Purification Technology* 96, 124-131.

İlkokul Çevresinde Gürültü Kirliliğinin Belirlenmesi: Bursa İli Örneği

Melike YALILI KILIÇ¹, Sümeyye ADALI¹

ÖZET: Gürültü, insanlara rahatsızlık veren ve kent yaşamında istenmeyen bir çevre kirliliğidir. Su, hava, toprak ve katı atık gibi çevre kirliliklerinin dışında gürültü kirliliği çok fazla önemsenmemektedir. Aslında gürültü insanlarda işitme kaybı, performans düşüklüğü, dikkatini verememe, odaklanamama, zihinsel çalışamama, uyku ve denge bozukluğu gibi pek çok rahatsızlıklara neden olmaktadır. Gürültünün olduğu yerlerden birisi de okulların çevresidir. Özellikle zilin çalması ile öğrencilerin okul bahçesine çıkmaları veya derse başlamak için binaya girmeleri, bahçede oyun esnasında yoğun olarak gürültü oluşmasına neden olmaktadır. Bu gürültü ise, okul çevresindeki evlerde ve dükkanlarda bulunan kişilerde zaman içerisinde psikolojik, fizyolojik ve fiziksel pek çok hastalıkları ortaya çıkarır. Bu çalışmada, Bursa'nın Mudanya ilçesinde bulunan bir ilkokulun çevresinde gürültü düzeyinin belirlenmesi amacıyla ölçümler yapılmış ve sonuçlar istatistiksel olarak yorumlanmıştır. Ölçümler okul bahçesine giriş kapısı ile okul binasına giriş kapısına yakın olan iki noktada, hafta içi pazartesi, çarşamba ve cuma günleri teneffüslerde 5'er dakika boyunca gerçekleştirilmiştir. İlave olarak pazartesi ve cuma günleri bayrak törenleri esnasında 10 dakikalık periyot boyunca da ölçümler alınmıştır. Elde edilen sonuçlar, Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'nde (ÇGDYY) verilen sınır değerlerle karşılaştırılmıştır. ÇGDYY'ye göre eğitim alanlarının bulunduğu mevcut yollarda gündüz saatlerinde gürültü değerlerinin 65 dBA'yı aşmaması gerektiği ifade edilmektedir. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçların ÇGDYY'de verilen sınır değeri aştığı görülmüş olup, bu bölgede gürültünün azaltılması için çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bursa, Çevre Kirliliği, Gürültü, İlkokul, İstatistiksel Analiz, Meteorolojik Parametreler.

Determination of Noise Pollution around Primary School: Bursa Case Study

ABSTRACT: Noise is environmental pollution that disturbs people and is undesirable in urban life. Apart from environmental pollution such as water, air, soil and solid waste, noise pollution is not very important. In fact, noise causes many disorders in people such as hearing loss, poor performance, inability to focus, lack of focus, mental work, sleep and balance disorder. One of the places where noise occurs is around the schools. Especially with the ringing of the bell, students going to the school garden or entering the building to start the lesson causes intense noise during the game in the garden. On the other hand, this noise reveals many psychological, physiological and physical diseases in people, who are in the houses and shops around the school. In this study, measurements were made to determine the noise level around a primary school in Mudanya district of Bursa and the results were interpreted statistically. The measurements were carried out at two points close to the entrance door to the school garden and the entrance door to the school building, on weekdays monday, wednesday and friday for 5 minutes each. Additionally, measurements were taken during the 10-minute period during the flag ceremonies on monday and friday. The results were compared with the limit values given in the Regulation on the Assessment and Management of Environmental Noise (RAMEN). According to RAMEN, it is stated that the noise values should not exceed 65 dBA during the daytime on the existing roads where there are training areas. The results obtained within the scope of this study were observed to exceed the limit value given in the RAMEN, and various suggestions were made to reduce noise in this region.

Keywords: Bursa, Environmental Pollution, Noise, Primary School, Statistical Analysis, Meteorological Parameters.

¹ Melike YALILI KILIÇ (Orcid ID: 0000-0001-7050-6742), Sümeyye ADALI (Orcid ID: 0000-0002-5077-7358), Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Melike YALILI KILIÇ, e-mail: myalili@uludag.edu.tr

GİRİŞ

Teknolojik gelişmelerin etkisiyle ortaya çıkan, günümüzde hızlı nüfus artışı ve kentleşme faaliyetleri ile artarak devam eden gürültü sorunu, güncel bir çevre problemi olarak öne çıkmaktadır (Delikanlı ve ark., 2014; Bilgen, 2017).

Düzensiz yapıya sahip ses enerjisi olarak ifade edilen gürültü (Anonim, 1986), yüksekliği ve değişkenliği dolayısıyla rahatsız edici özellik kazanmaktadır (Özguven, 2008). Gürültü fiziksel çevre üzerinde baskı oluşturmamasına karşın, insan fizyolojisi ve psikolojisi üzerinde çeşitli etkiler oluşturmaktadır. İnsanların iş ve eğitim alanındaki performanslarına olumsuz etki eden gürültü (Maraş ve ark., 2011), kısa vadede belirgin olarak gözlenebilen sonuçlar oluşturmaması bakımından diğer kirlilik türlerinden ayrılmaktadır.

Gürültü, oluştuğu alana ve yayılım şekline bağlı olarak yapı içi ve yapı dışı gürültü olarak iki şekilde sınıflandırılmaktadır. Yapı içi gürültü belirli bir alan içinde mevcut olan araç, ekipman kullanımı (radyo, mekanik ev teçhizatı vb.) ve canlı faaliyetleri (insanlar, ev hayvanları vb.) ile, yapı dışı gürültü ise genel olarak ulaştırma, sanayi ve yapılaşma faaliyetleri sonucunda oluşmaktadır (Erdoğan ve ark., 2007).

İnsanlarda öfke, uykusuzluk ve konsantrasyon bozukluğu meydana getiren 30-65 dBA'daki gürültü 1. derece, solunumda hızlanma, irkilme gibi ani refleks oluşumuna neden olan 65-90 dBA'daki gürültü 2. derece, fizyolojik reaksiyonların artışı ve baş ağrısı yaratan 90-120 dBA'daki gürültü 3. derece olarak sınıflandırılırken, 140 dBA'nın üstündeki gürültü seviyelerinde ise ciddi nörolojik problemler meydana gelmektedir (Kurra, 1991). Gürültü düzeylerinin artışına paralel olarak yaşam kalitesi düşüş eğilimi göstermektedir (Akan ve ark., 2012).

Gürültü kirliliğinin meydana getirdiği olumsuz etkilerin azaltılması ve önlenmesi amacıyla ülkemizde ve dünyada çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Gürültü kirliliğinin yönetimi için ilk defa 1970'de Amerika Birleşik Devletleri'nde İş Güvenliği ve Sağlığı Yönetmeliği adıyla bir yönetmelik çıkarılmış olup (Anonim, 1970; Morgül ve Dal, 2012), günümüzde birçok ülkenin gürültü kirliliği ve kontrolü ile ilgili kanun ve yönetmelikleri mevcuttur. Ülkemizde ise gürültü konusundaki ilk mevzuat 1986 yılında Gürültü Kontrol Yönetmeliği adıyla çıkarılmış olup, günümüzde mevcut ve geçerli olan gürültü mevzuatı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği (ÇGDYY) olarak adlandırılmaktadır (Sezgin ve Mutlu, 2017). Gürültü kontrollerinde yönetmelikte verilen sınır değerler referans alınarak çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

Gürültü kirliliği ile mücadele kapsamında gürültüye karşı hassas noktaların belirlenmesi ve bu noktaların karakterine uygun çözümlerin uygulanması amacıyla oluşturulan gürültü haritaları, kentlerde gürültünün oluşturduğu baskının azaltılması ve şehir planlamalarında imar faaliyetlerine uygun alanların oluşturulmasında önemli bir gösterge olarak ele alınmaktadır. Çınar (2005) maden ocağında gerçekleştirdiği gürültü ölçümleriyle linyit işletmesinde, Kalıpçı (2007) Giresun il merkezinde, Yıldız (1996) Ankara'da bulunan bir tel fabrikasında, Aydın ve ark. (2005) Konya ilinde karayolu faaliyetlerinin yoğun olduğu noktalarda yaptıkları ölçümlerle ele alınan bölgelerde gürültü haritaları oluşturmuşlardır.

Aktürk ve ark. (2003) kentsel çevrede meydana gelen gürültü kirliliğinin büyük oranda karayolu faaliyetlerinden kaynaklandığını bildirmektedirler. Ülkemizde konut ve ofis alanlarının genellikle trafiğin yoğun olduğu bölgelerde oluşturulması kentlerde gürültü kirliliğini arttıran önemli bir etkidir (Çerçevik ve ark., 2018). Ülkemizde trafik kaynaklı gürültü kirliliğini belirlemek amacıyla Kumbur ve Çoğunnu (1999), Güremen (2014), Yetiş ve ark. (2015), Aydın ve Ateş (1997)'in yaptıkları çalışmalar

yer almaktadır. Kurra ve Ünal (1985) İstanbul ilinde hava yolu ve demir yolu kaynaklı gürültü ölçümü gerçekleştirmişlerdir.

Bu çalışmanın temelini oluşturan okul çevresinde gürültü kirliliğinin belirlenmesi ile ilgili araştırmacılar tarafından yapılan çeşitli çalışmalar mevcuttur. Polat ve ark. (2004) sınıfta yaptıkları gürültü ölçümlerinde değerlerin 70.8-72.5 dBA arasında değiştiğini ifade etmişlerdir. İlköğretim okullarının büyük bir kısmında teneffüste oluşan gürültü düzeyinin 76-89 dBA arasında olduğu (Bayazıt ve ark., 2011), yine ilköğretim okullarında teneffüs saatlerinde gürültü düzeyinin 80-90 dBA aralığında olduğu görülmüştür (Bulunuz, 2014). Antalya’da gerçekleştirilen bir başka çalışmada, akustik iyileştirme yapılan bir okulda teneffüs arasında koridordaki ölçümler karşılaştırıldığında, iyileştirme yapıldıktan sonra 3 dBA’lık bir farkın oluştuğu bildirilmiştir (Bulunuz ve ark., 2017).

Bu çalışmada, Bursa ilinin Mudanya ilçesinde bulunan bir ilkokulun çevresinde belirlenen noktalarda Ekim-Kasım ayları arasında her teneffüste gürültü ölçümleri yapılmış ve ölçüm sonuçları istatistiksel olarak yorumlanmıştır. ÇGDYY’de belirtilen sınır değerleri geçen değerler tespit edilmiş ve gürültü kontrolü amacıyla çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma, Bursa ilinin Mudanya ilçesine bağlı bir ilkokulun gürültü kirliliği düzeyinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Şekil 1’de uydu görüntüsü verilen (Anonim, 2020a) okulun çevresinde incelemeler yapıp, gürültü açısından hassas noktalar belirlenerek okul bahçesine giriş kapısı ile okul binasına giriş kapısına yakın olan iki noktada, 2019 yılı Ekim-Kasım aylarında hafta içi pazartesi, çarşamba ve cuma günleri teneffüs saatlerinde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Belirlenen noktalarda her teneffüste 5’er dakikalık periyotlar halinde ölçümlere ek olarak, pazartesi ve cuma günleri bayrak törenlerinde de 10 dakikalık periyotlarda ölçümler yapılmıştır.



Şekil 1. Gürültü ölçümü alınan bölgenin uydu görüntüsü

Çalışma kapsamında ölçüm materyali olarak Şekil 2’de gösterilen EXTECH SDL600 (Sound Level Meter) dijital ses ölçüm cihazı (Anonim, 2020b) kullanılmıştır. Gürültü ölçümleri 1,2 metre yükseklikten yerle 45° açı yapacak şekilde gürültü kaynağı doğrultusunda alınarak tamamlanmıştır (Özer, 2014). Ölçümlerin aynı pozisyon ve noktalarda gerçekleştirilmesine özen gösterilmiş, ölçüm şartları korunmuştur. Ölçümler için havanın yağışsız ve rüzgarın sakin olduğu günler seçilmiş, yağış olan günlerde ölçüm yapılmamıştır. Ölçümler maksimum eşdeğer gürültü düzeyi (Leqmax) cinsinden olup, A ağırlıklı ses düzeyi birimindedir. Yanlış ölçüm sonuçlarını engellemek için ağaç, duvar, bina gibi yapıların yakınından ölçüm almamaya özen gösterilmiştir.



Şekil 2. EXTECH SDL600 (Sound Level Meter) dijital ses ölçüm cihazı

Ölçüm alındığı andaki hava sıcaklığı, nem, rüzgar hızı ve UV gibi meteorolojik parametreler de kaydedilmiştir. Çalışmada ölçülen gürültü değerleri ile eşzamanlı ölçülen rüzgâr hızı, sıcaklık, UV ve nem gibi meteorolojik parametreler arasında JMP7.0 istatistik programı kullanılarak korelasyon analizi yapılmıştır.

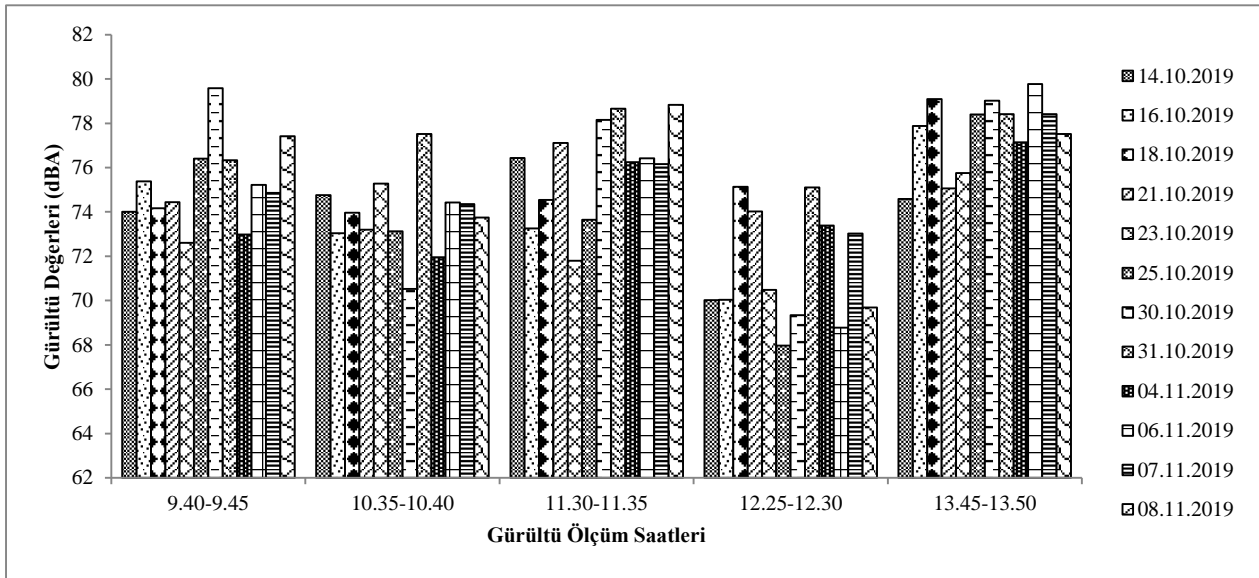
BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında gürültü seviyesi incelenen ilkokul Mudanya ilçe merkezinde, 2003-2004 eğitim-öğretim yılında açılmış olup, günümüzde ilkokul ve anasınıfı öğrencilerinin eğitim gördüğü bir kurum olarak hizmet vermektedir. Okulda 422 öğrenci kayıtlı olup, dersler sabah saat 09:00’da başlamakta, öğleden sonra saat 14:40’ta bitmektedir. Yerleşim alanlarıyla çevrili olan okulun kuzey batısında halk eğitim merkezi, kuzey doğusunda çocuk parkı, batı tarafında bir kırtasiye, güney ve güneybatısında kafe ve dükkanlar bulunmaktadır. Kuzey, batı ve doğu cephelerine paralel karayolları mevcuttur. Doğu cephesindeki yol kuzey ve batı cephesindeki yollara kıyasla daha geniş ve işlektir. Okulun güney cephesi bir siteyle bitişik durumdadır. Ölçümlerin gerçekleştirildiği cephe olan batı cephesindeki araç geçişleri esnasında ölçümler tekrarlanmış olup, araç kaynaklı gürültü bertaraf edilmeye çalışılmıştır. Ölçümün yapıldığı noktaların doğu ve güney cephelerine uzaklığı nedeniyle gürültü ölçümlerinin bu yollarda seyir halindeki araç gürültüsünden etkilenmediği belirlenmiştir. Eğimli bir arsa üzerine konumlanmış olan okulda gürültü ölçümünün gerçekleştirildiği batı cephesindeki ilk nokta olan a noktasında bahçe duvarı yerden yaklaşık 93 cm yüksekliktedir. Okul içerisine iki kapıdan giriş mevcut olup, batı cephesine yakın olan kapı giriş-çıkışlarda özellikle öğrenciler tarafından yoğun olarak kullanılmaktadır.

Farklı nedenlerden dolayı meydana gelen gürültü kirliliği, son yıllarda kentlerde insanlar açısından önemli bir çevre sorunu haline gelmiştir. ÇGDYY’de kişilerin huzur ve sükûnunu beden ve ruh sağlığını gürültü ile bozmayacak bir çevrenin geliştirilmesi amaçlanmakta ve bölgelere göre sınır değerler verilmektedir. Buna göre eğitim alanlarının bulunduğu mevcut yollarda gündüz saatlerinde izin verilen maksimum gürültü değerleri 65 dBA’dır (Anonim, 2020c).

Çalışmaya konu olan ilkokulun bulunduğu çevrede evler ve dükkanlar yer aldığından, öğrencilerin teneffüse çıkıp, bahçede oyun oynamaları esnasında oldukça yüksek gürültü oluşmaktadır. Gürültü ölçümü yapıldığı dönemde okul yönetiminin verdiği bilgiye göre, gürültünün azaltılması amacıyla bir süredir teneffüse çıkışı bildiren zil sesi uygulaması kaldırılmıştır. Bu uygulamayla gürültünün bir miktar azaldığı, yapılan ölçümler esnasında bizzat yaşanarak tespit edilmiştir.

Gürültü ölçümü yapılan a noktasında elde edilen sonuçlar Şekil 3’te gösterilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde, ölçüm yapılan tüm saat aralıklarında gürültü değerlerinin ÇGDYY’de verilen sınır değerlerin üstünde olduğu görülmektedir. Ölçüm saatleri arasında karşılaştırma yapıldığında, en düşük gürültü düzeyinin öğle arasında meydana geldiği görülmektedir. Ölçümün gerçekleştirildiği bu aralık beslenme saati olduğundan, öğrencilerin büyük bir kısmı okul içinde daha fazla zaman geçirdiği için dış ortamdaki gürültü düzeyi daha düşük çıkmıştır. En düşük gürültü değeri 67.96 dBA, en yüksek gürültü değeri ise 79.78 dBA olarak kaydedilmiştir.



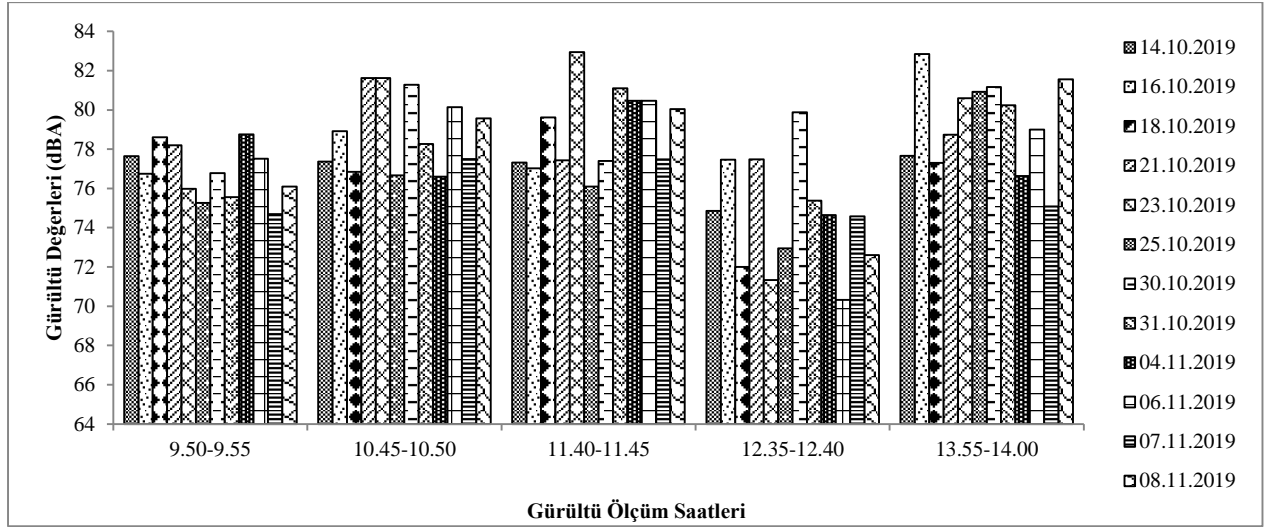
Şekil 3. a noktasında ölçülen gürültü değerlerinin zamana göre dağılımı

b noktasında yapılan ölçümler incelendiğinde, tüm ölçümlerin ÇGDYY’de verilen sınır değerleri aştığı görülmektedir (Şekil 4). b noktasında öğle saatlerinde yapılan ölçümlerin a noktasındakilere benzer şekilde diğer saatlerdeki ölçüm sonuçlarından daha düşük olduğu görülmektedir. En düşük gürültü değeri 70.32 dBA, en yüksek gürültü değeri 82.94 dBA olarak okunmuştur.

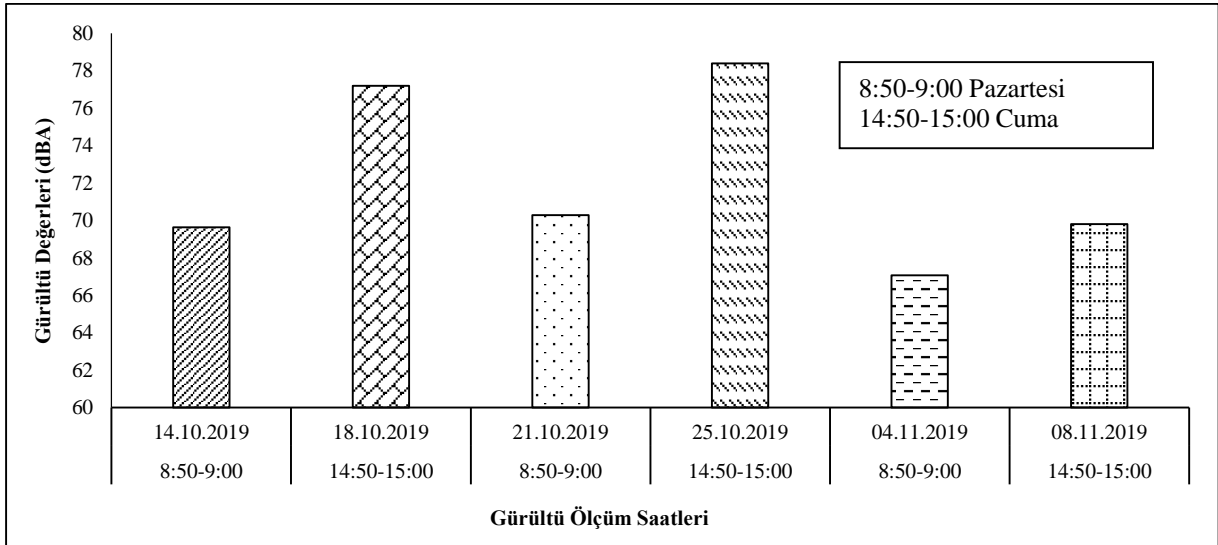
Her iki noktada yapılan ölçüm sonuçları birbirleriyle kıyaslandığında, b noktasındaki gürültü değerlerinin a noktasına oranla biraz daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin a noktasının okul binasına daha yakın olması nedeniyle, öğrencilerin teneffüste binadan biraz daha uzaklaşmak ve doyasıya koşup oynamak istemeleri nedeniyle olduğu düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında, pazartesi ve cuma günleri gerçekleştirilen bayrak törenleri esnasında da a noktasında gürültü ölçümleri yapılmıştır. Şekil 5’te gösterilen ölçüm sonuçlarına göre, cuma günlerinde oluşan sesin daha yüksek seviyelerde olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak haftanın ilk günü ve

erken saat olması dolayısıyla öğrencilerin pazartesi günleri durgun oldukları ve daha düşük enerjiyle güne başlamaları gösterilebilir. Bayrak törenleri sırasında en düşük gürültü seviyesi 04.11.2019 tarihinde 67.08 dBA, en yüksek ses seviyesi 25.10.2019 tarihinde 78.4 dBA olarak ölçülmüştür.



Şekil 4. b noktasında ölçülen gürültü değerlerinin zamana göre dağılımı



Şekil 5. Bayrak törenleri esnasında ölçülen gürültü değerlerinin zamana göre dağılımı

a, b noktaları ile bayrak törenleri esnasında ölçüm yapılan noktalardaki değerlerin istatistiksel olarak önemli olduğu yapılan analiz neticesinde belirlenmiş olup, elde edilen sonuçlar Çizelge 1'de gösterilmektedir. Ölçüm sonuçları incelendiğinde, en yüksek gürültü değerinin bayrak törenlerinde İstiklal Marşı'nın coşkuyla okunması esnasında elde edildiği görülmektedir.

Çizelge 1. Gürültü ölçümlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Noktalar	Minimum (dBA)	Ortalama** (dBA)	Medyan (dBA)	Maksimum (dBA)	Standard Sapma	Standart Hata
a	67.96	74.81	74.81	79.78	2.89	0.372
b	70.32	77.68	77.48	82.94	2.78	0.359
a*	57.2	72.06	70.55	86.7	7.89	1.018

a*: Bayrak törenleri esnasındaki ölçüm noktası; ** P<0.00

Çalışmada yapılan korelasyon analizi sonucunda, gürültü değerleri ile meteorolojik parametreler arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon katsayıları oldukça düşük değerlerde elde edilmiştir. Sonuç olarak çalışmada ölçülen gürültü değerleri ile dış ortam iklim koşulları arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalarla benzerlik göstermektedir. Bursa ili Orhangazi ilçesinde bulunan ilkokullarda teneffüs saatlerinde yapılan gürültü ölçüm değerlerinin 73.49-75.11 dBA aralığında seyrettiği belirlenmiştir (Abakay ve Bulunuz, 2018). Diğer taraftan, İstanbul'daki ilkokullarda teneffüs esnasında 5 dakikalık gürültü ölçümleri yapılmış ve en düşük 72.50 dBA, en yüksek 97.70 dBA, ortalama olarak 85.04 dBA değerleri elde edilmiştir (Bayazıt ve ark., 2011). İlköğretim okullarında gürültü kirliliğinin azaltılması amacıyla yapılan bir başka çalışmada ise, özellikle teneffüs saatlerinde 80-90 dBA aralığında gürültü değerleri ölçülmüştür (Bulunuz, 2014).

SONUÇ

Bu çalışmada, Bursa ilinin Mudanya ilçesinde bulunan bir ilkokulun çevresinde belirlenen iki noktada Ekim-Kasım ayları arasında, öğrencilerin teneffüse çıktıkları saatlerde gürültü ölçümleri yapılmış ve ÇGDYY'de belirtilen sınır değerleri geçen değerler tespit edilmiştir.

ÇGDYY'ye göre eğitim alanlarının bulunduğu mevcut yollarda gürültü sınır değerinin gündüz saatlerinde 65 dBA'yı geçmemesi istenmektedir. Çalışmada elde edilen bütün gürültü değerleri 65 dBA'nın üstünde seyretmekte olup, sınır değerini sağlamadığı görülmüştür.

Diğer taraftan okul yönetimi öğrencilerin sorumluluk duygusunu geliştirmek ve teneffüse çıkış vaktinde yığılmaları önlemek amacıyla bir süredir teneffüse çıkışı bildiren zil sesi uygulamasını kaldırmıştır. Bu uygulamayla okulda oluşan gürültü bir miktar azalmış olup, yeterli değildir. Okul çevresinde mevcut olan dükkanlar ve evler düşünüldüğünde, gürültünün azaltılması için çeşitli önlemlerin alınmasının uygun olduğu düşünülmektedir. Buna göre;

- Derse giriş ziline daha kısa aralıkta çalması, yahut ses hacminin düzenlenmesi zil sesinden kaynaklanan gürültünün önlenmesini sağlayabilir.

- Okul çevresinde ağaçlandırma çalışmaları yapılarak gürültünün kırılması ve azalması söz konusu olabilir.

- Öğrencilere gürültünün insan sağlığına olan olumsuz etkileri hakkında bilgilendirme yapılarak ve teneffüslerde nöbetçi öğretmenin uyarılarının artırılması ile bu konuda farkındalık oluşturulabilir.

KAYNAKLAR

- Abakay H, Bulunuz M, 2018. Okul içi ve okul dışı gürültü düzeylerinin karşılaştırılması. *Academy Journal of Educational Sciences*, 2(1): 53-65.
- Akan Z, Yılmaz A, Özdemir O, Korpınar MA 2012. Noise pollution, psychiatric symptoms and quality of life: noise problem in the east region of Turkey. *İnönü Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi, Araştırma/ Research Report*, 19(2): 75-81.
- Aktürk N, Akdemir O, Üzkurt İ, 2003. Trafik ışık sürelerinin neden olduğu çevresel taşıt gürültüsü. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18(1): 71-87.
- Anonim, 1970. Occupational Safety and Health Act. U.S. Department of Labor.
- Anonim, 1986. Gürültü Kontrol Yönetmeliği. 11 Aralık 1986 Tarih ve 19308 Sayılı Resmi Gazete. Yürütme ve İdare Bölümü, Kültür Ofset, 8-26, Ankara.

- Anonim, 2020a. Ölçüm Yapılan İlkokulun Uydu Görüntüsü, <http://www.google.com/maps/place/Cafer+Yener+%C4%B0kokulu/@40.3519785,28.9248053,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x14ca6c419eae4efd:0x47fa7de7779d8bbe!8m2!3d40.3519744!4d28.926994> (Erişim Tarihi: 22.01.2020).
- Anonim, 2020b. EXTECH SDL600 (Sound Level Meter) dijital ses ölçüm cihazı, <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fpicclick.com%2FExtech-SDL600-Sound-Level-Meter-Datalogger-with-Carrying-Case-392259988592.html&psig=AOvVaw3DW-x-ss66F2d-v2iQqZ70&ust=1574417907451000&source=images&cd=vfe&ved=2ahUKEwizIryifvAhUH7xoKHXAUBxEQr4kDegUIARDTAQ>. (Erişim Tarihi: 22.01.2020).
- Anonim, 2020c. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetilmesi Yönetmeliği, Resmi Gazete, 2008. http://www.cmo.org.tr/mevzuat/mevzuat_detay.php?kod=294 (Erişim Tarihi: 14.01.2020).
- Aydın ME, Ateş N, 1997. Konya'da trafik gürültüsü ve bazı öneriler. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 3(3): 447-456.
- Aydın ME, Çorumluoğlu Ö, Sarı S, Özcan S, 2005. Konya şehri taşıt trafiği gürültü seviyeleri haritasının GIS ve GPS teknolojileri kullanılarak elde edilmesi. Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 20(2), 7-17.
- Bayazıt N.T, Küçükçiçi S, Şan B, 2011. İlköğretim okullarında gürültüden rahatsızlığın alan çalışmalarına bağlı olarak saptanması. İTÜ Dergisi, 10(2): 169-181.
- Bilgen İ, 2017. Nevşehir il merkezinde trafik kaynaklı gürültü düzeyleri ölçümü ve gürültü haritasının hazırlanması, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir.
- Bulunuz N, 2014. Noise pollution in turkish elementary schools: evaluation of noise pollution awareness and sensitivity training. International Journal of Environmental and Science Education, 9(2): 215-234.
- Bulunuz M, Bulunuz N, Tuncal JK, 2017. Akustik iyileştirme yapılmış bir okulda gürültü düzeyinin değerlendirilmesi, Eğitimde Kuram ve Uygulama, 13(4): 637-658.
- Çerçevik AE, Yerel Kandemir S, Yıldız M, Çelik M, 2018. Bilecik ili şehir içi yollardan kaynaklı gürültü kirliliğinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18: 366-374.
- Çınar İ, 2005. Madencilikte Gürültü Analizi, Modellenmesi ve Haritalanması, Doktora Tezi, Konya.
- Delikanlı NE, Yücedağ C, Kapdı A, 2014. Bartın kentinde araç trafiğinden kaynaklı gürültü kirliliği üzerine bir ön çalışma. Bartın Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi, 2: 21-40.
- Erdoğan S, Doğan M, Yılmaz İ, Güllü M, Baybura T, Ulu M, Şişe Ö, 2007. Afyonkarahisar il merkezi karayolu trafik gürültü haritasının hazırlanması. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 7(2): 151-164.
- Güremen L, 2014. Amasya kent merkezi ana arter yollarında trafik gürültüsünün trafik koşul ve standartları yönüyle değerlendirilmesi. Journal of New World Sciences Academy-Engineering Sciences, 9(4): 26-47.
- Kalıpçı E, 2007. Giresun İl Merkezinde Gürültü Kirliliği Ölçümü ve Haritasının Hazırlanması, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Kumbur, H., Çoğunnu, N. 1999. İçel'in Gürültü Kirliliği Envanterinin Çıkarılması, Türkiye'de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu III, Bildiriler Kitabı, s: 393-405, Kocaeli.
- Kurra S, Ünal Y, 1985. İstanbul'da Yapılan Gürültü Kirliliği Analizleri Yardımıyla Gürültü Ölçütlerinin Saptanması ve Gürültü Kontrolü Yönetmelik Taslağı.

- Kurra S, 1991. Gürültü, Türkiye'nin Çevre Sorunları, 447-484, Türkiye Çevre Vakfı Yayını, Ankara.
- Maraş EE, Maraş HH, Maraş SS, Alkış Z, 2011. CBS verilerinden çevresel gürültü haritalarının hazırlanmasında kullanılan tahmin yönteminin analizi. Harita Dergisi, 145: 52-60.
- Morgül ÖK, Dal H, 2012. Sakarya ili şehir merkezinin gürültü kirliliği üzerine bir ön çalışma. SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi, 16(2): 83-91.
- Özer S, 2014. Erzurum kent parklarındaki gürültü kirliliğinin belirlenmesi: Aziziye Parkı Örneğinde. Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 11(2): 7-11.
- Özgüven HN, 2008. Gürültü Kontrolü, Endüstriyel ve Çevresel Gürültü, s. 147. Türk Akustik Derneği, İstanbul.
- Polat S, Buluş-Kırıkkaya E, 2004. Gürültünün Eğitim ve Öğretim Ortamına Etkileri, XIII. Ulusal Eğitim Bilimleri Kurultayı, Malatya.
- Sezgin S, Mutlu A, 2017. Ülkemizde gürültü farkındalığı sorunu: şişli örneği. Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 19(2): 676-700.
- Yetiş AD, Gazigil L, Yetiş R, Doğan M, Yiğit M, Albayrak B, 2015. Determination of environmental noise from traffic: a case study from the rahva region, 11. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Bursa.
- Yıldız H, 1996. İşyerlerinde Gürültü Haritası Çıkarma Yönteminin Uygulanması, Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri (Bir Tel Fabrikası Örneği), Bilim Uzmanlığı Tezi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

Şehir Kaynaklı Sera Gazı Emisyonunun Belirlenmesi: Kocaeli İli Örneği

Çağla ATMACA¹, Orhan SEVİMOĞLU^{1*}

ÖZET: Şehirlerde insan kaynaklı faaliyetler sonucu atmosfere önemli miktarda sera gazı emisyonu salınmaktadır. Bu gazların salınımlarının hızla artması sonucu küresel ısınma ile beraber, iklim değişikliğine neden olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, Kocaeli ilinde başlıca şehir kaynaklarından salınan metan (CH₄), karbondioksit (CO₂) ve nitroz oksit (N₂O) gazlarının salınım değerleri Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) Kademe 1 yöntemi ile CO₂ eşdeğerine çevrilerek hesaplandı. Yoğun nüfusu ve sanayi faaliyetlerine sahip olan Kocaeli'de, elektrik üretimi ve tüketimi, ısınma, ulaşım ve atık yönetiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının toplam miktarları 2015, 2016 ve 2017 yılları için sırasıyla 28 131 515 ton CO₂-eşd, 25 985 586 ton CO₂-eşd ve 21 228 854 ton CO₂-eşd olarak hesaplandı. Kocaeli ilinde üç yılın sera gazı emisyonu ortalamasına göre % 50.8'lik payı ısınmadan kaynaklandığı belirlendi. Konutlarda ısınma ihtiyacını karşılamak için yıllara bağlı olarak doğal gaz kullanımı artarken, kömür kullanımının azalmasıyla sera gazı emisyonunda azalma sağlandı. Ayrıca, araç yakıtı kullanımında motorin ve benzinden kaynaklı sera gazı emisyonu oranları sırasıyla %93.5 ve %6.5 değerleri 2017 için bulundu. Motorin, ulaşımdan kaynaklı dikkate alınabilir seviyede sera gazı emisyonu kaynağı olarak belirlendi. Atık yönetiminden kaynaklanan sera gazı ise, toplam emisyonun %0.8 değerinde olup çok düşük bir orana sahiptir. Ayrıca, toplu ulaşımda sera gazı emisyonunu azaltmak için CNG yakıtlı otobüslerin kullanımı artırıldı. Genel olarak bakıldığında Kocaeli ilinde 2015 yılından 2017 yılına kadar sera gazı emisyon trendinde %24.5'lik bir düşüş gerçekleşti. Bu durumda, sektörler bazında en fazladan en aza sera gazı emisyonu kaynakları sırasıyla şunlardır; ısınma, elektrik tüketimi, elektrik üretimi, ulaşım, atık yönetimi.

Anahtar Kelimeler: Emisyon, sera gazı, şehir kaynakları, azaltım.

Determination of City-Based Greenhouse Gas Emissions: The Case Study of Kocaeli Province

ABSTRACT: A significant amount of greenhouse gas (GHG) emissions is emitted to the atmosphere from human activities in cities. These gases are known to cause climate change along with global warming as a result of rapid increase in the environment. In this study, the emission values of CH₄, CO₂ and N₂O gases emitted from major urban sources in Kocaeli were calculated by converting them to CO₂ equivalent by using the Intergovernmental Panel on Climate Change model. The total amount of GHG emissions from the sources of electricity production and consumption, heating, transportation and waste management in Kocaeli, which has a dense population and industrial activities, are 28 131 515 tons CO₂-eq, 25 985 586 tons CO₂-eq and 21 228 854 tons CO₂-eq for 2015, 2016 and 2017, respectively. The highest GHG emission was determined to be caused by heating supply with three-year average share of 50.8%. While the rate of natural gas usage increased to meet the heating need in the residential buildings, a decrease in greenhouse gas emission has been achieved with the decrease in coal use. In addition, the ratios of GHG emissions from diesel and gasoline were 93.5% and 6.5% for 2017, respectively. The emission from diesel was determined at a remarkable high level. On the other hand, GHG emission from the waste management was 0.8% of total emission. Besides, the use of CNG fueled buses has been increased to reduce GHG emissions in public transportation. In general, the GHG emission trend decreased by 24.5% from 2015 to 2017. Consequently, sources of greenhouse gas emissions from the highest to the lowest in sectors are as follows; heating, electricity consumption, electricity production, transportation, waste management.

Keywords: Emission, greenhouse gas, urban sources, mitigation.

¹ Çağla ATMACA (Orcid ID: 0000-0001-8399-0553), Orhan SEVİMOĞLU (Orcid ID: 0000-0003-4861-5154), Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Orhan SEVİMOĞLU, e-mail: sevimoglu@gtu.edu.tr

Bu çalışma Çağla ATMACA'nın Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

Geliş tarihi / Received: 03-01-2019

Kabul tarihi / Accepted: 05-05-2020

GİRİŞ

Uzun yıllardır en çok tartışılan küresel çevre sorunlarından birisi olan iklim değişikliği, uzun süreli ve yavaş ilerleyen meteorolojik değişikliklerle iklim koşullarındaki büyük ölçekli ve önemli bölgesel etkileri ile kendini gösterir (Karaca ve ark., 1995; Webb, 2016). Sanayi devriminden günümüze kadar, sera gazı emisyonlarının her geçen gün artmasından dolayı, atmosferde sera gazlarının birikimi de artmaktadır. Bu durum, doğal sera etkisini kuvvetlendirerek, şehir kaynaklı sera gazı emisyonlarının artışı ile dünya yüzey sıcaklığının artmasına neden olmaktadır (Öztürk ve ark., 2011). 19.yy'dan günümüze kadar atmosfer sıcaklığının ortalama 1 °C arttığı görülmüştür (Öztürk, 2002; Aksay ve ark., 2005; Ulukan, 2010; Arnell ve ark., 2019). Sera gazı emisyonlarının azaltımı için gerekli önlemler alınmadığı takdirde, dünya ekosisteminin önemli bir şekilde etkileneceği ve buna bağlı olarak, deniz seviyesinde yükselme, bölgesel sıcaklık artışları, yağış rejimlerinin değişmesi ile çevresel etkilerinin afet boyutuna ulaşabilmesi gibi muhtemel sonuçların yaşanacağı öngörülmektedir (Toros ve Ark., 2017; Shakou ve ark., 2019). İklim değişikliği ile mücadele kapsamında, uluslararası kuruluşlar himayesinde son yirmi yıldır önemli çalışmalar ve toplantılar yapıldı. Birleşmiş Milletlerin organize ettiği İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (İDÇS) kapsamında 1992'de Rio de Janeiro'da, 2000 yılında 3. Taraflar Konferansı (COP3) Japonya'da, 2015 yılında 21. Taraflar Konferansı (COP21) Paris'de, 2016'da 22. Taraflar Konferansı Marakeş'de toplantılar yapılarak, ülkelerin sera gazı emisyonlarını kontrol altına alma ve azaltım uygulamaları ile ilgili taahhütleri uygulamaya koymaları için uluslararası antlaşmalar imzalandı. Bu anlaşmalara taraf olan Türkiye'de, sera gazı emisyonlarının doğru bir şekilde belirlenmesi ve azaltımı için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı bünyesinde İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı yayımlanarak uygulamaya koyuldu. Bu bağlamda şehir yerel yönetimleri bu çerçeve planı kapsamında kendi sera gazı azaltım eylem planları uygulanmaya başlandı (Sevimoğlu, 2015; Nematchoua ve ark., 2019).

Artan nüfusa bağlı olarak gelişen şehirlerde ortama salınan sera gazı emisyonlarının çevre üzerine olumsuz etkileri olmaktadır (Turp, 2019). Bundan dolayı, sera gazı emisyonu çalışmaları çoğunlukla iklim değişikliğine sebep olan sera gazlarının sınıflandırılması ve miktarlarının belirlenmesi, etkilerinin incelenmesi ve azaltılmasına yöneliktir (Abid ve ark., 2016). Sera gazlarının kentsel salınım kaynaklarının sınıflandırılması şu şekildedir; ısınma ve enerji sağlamak amacıyla yakılan fosil yakıtlar, endüstriyel işletmeler, ulaşım vasıtaları, tarımsal faaliyetler ve atık yönetimi işletmeleridir (Güner ve Turan, 2017; Lee ve ark., 2017). Şehirlerde, insan kaynaklı faaliyetler neticesinde atmosfere verilen sera gazı emisyonu olan karbondioksit (CO₂) ve diğer sera gazları, toplam emisyon miktarında önemli orana sahiptir (Sówka ve Bezyk, 2018). Şehirlerde sera gazı emisyon kaynaklarının bir kısmı (enerji üretimi ve tüketimi, ısınma, ulaşım, atık yönetimi) aynı zamanda hava kirliliği emisyonu oluşturan fosil yakıt kullanan kaynaklardır (Burgan ve ark., 2007; Permadi ve ark., 2017; Tsai ve ark., 2018; Işık ve ark., 2019). Bu kaynaklardan salınan sera gazları ortama veriliğinde, atmosferde uğradığı kimyasal reaksiyonlar neticesinde hava kirliliği oluşturan ikincil kimyasal maddelere ve O₃'e dönüşür (Nishanth ve ark., 2014). Bu durumda kaynaklardan ortama verilen bu sera gazları küresel ısınmaya neden olmakla beraber, aynı zamanda atmosferde hava kirleticilerinin oluşumuna neden olan kaynaklar olarak değerlendirilmelidir. Kaynaklardan beraber salınan sera gazları ve hava kirletici bileşikler halk sağlığına ve çevreye doğrudan veya dolaylı olarak olumsuz yönde etkilemektedir (Rogge ve Ark., 2011; Velasco ve Roth, 2012; Gao ve ark., 2018). Bundan dolayı sera gazının azaltımı için yapılan çalışmalar, aynı zamanda hava kirliliğine sebep olan kirletici emisyonların ve atmosferde oluşumunun azalmasına sebep olacaktır (Abbass ve ark., 2018). Bu kapsamda, sera gazı olan

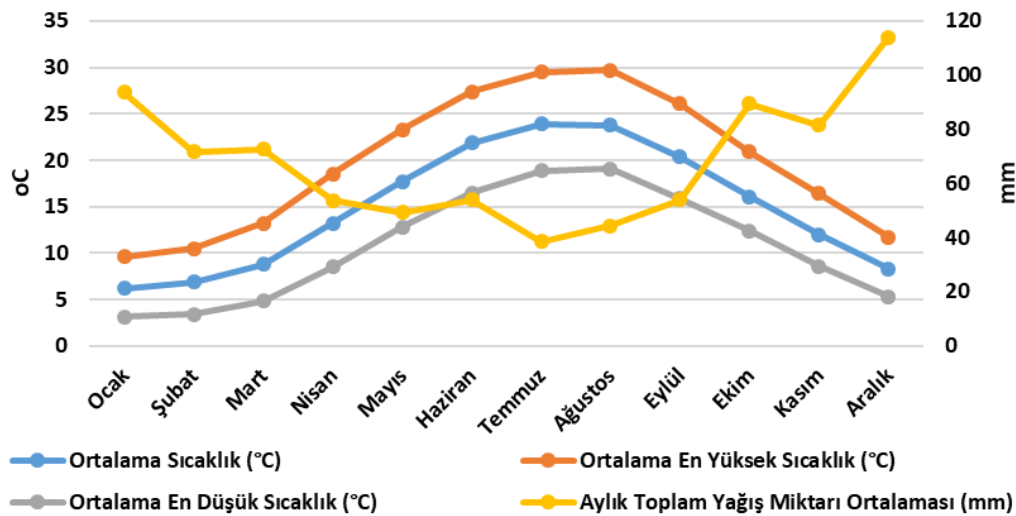
CO₂ ve CH₄, kanserojen ve toksik gaz değildirler. Ancak, özellikle fosil yakıtların (kömür, benzin, dizel, odun, doğal gaz) yakılması sonucu oluşan sera gazları ile beraber oluşan hava kirleticileri tam tersine halk sağlığı ve çevre açısından olumsuz özelliklere sahiptir (Bari ve Kindzierski, 2017). Bu durumda, küresel ısınma ve iklim değişikliğinin kontrolü için sera gazlarının emisyonunun azaltılmasıyla beraber, halk sağlığının korunması için hava kirletici kaynaklardan salınan emisyon miktarları da azaltılmış olacaktır.

Bu çalışma kapsamında, seçilen Kocaeli ili, nüfus yoğunluğu açısından İstanbul ilinden sonra ikinci ildir. Gelişen Türkiye ekonomisinde, imalat sanayi üretimine yaklaşık %13'lük yaptığı katkı ile İstanbul'dan sonra gelen en büyük sanayi kenti konumundadır (Demirarslan ve Demirarslan, 2018). Bu çalışmada, Kocaeli'de şehir kaynaklarından salınan sera gazı emisyonları IPCC'nin Kademe 1 metodu ile CO₂ eşdeğeri şeklinde belirlendi. Kocaeli ilinde sera gazı kaynaklarının ve emisyonlarının değerlendirilmesi akademik olarak ilk defa bu çalışmada sunuldu. Hazırlanan bu sera gazı emisyon envanterinin literatürdeki boşluğu dolduracağı ve yerel yönetimlere ve ilgili kamu kurumlarına yapılacak sera gazı azaltım çalışmalarında yön vereceği öngörülmektedir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışma Alanı

Kocaeli ili, Marmara Bölgesi'nin doğusunda, 40°31'-42°42' paralelleriyle 29°22'-31°22' meridyenleri arasında bulunmaktadır. Kocaeli 3 626 km² yüz ölçüne sahip olup 12 ilçeden oluşmaktadır. Toplam nüfusu günümüzde 1 900 000 civarında olup, km²'ye yaklaşık 530 kişi ile Türkiye'nin ikinci yüksek yoğunluklu ilidir. Kocaeli Türkiye'nin önde gelen endüstri şehirlerinden birisidir. İl sınırları içinde önemli büyüklükte sanayi tesisleri bulunmaktadır. Kocaeli'de sera gazı emisyonu değerlendirmesinde önem arz eden sıcaklık ve yağış değerleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün resmi verilerine (1929-2019) göre ortalama en yüksek sıcaklıklar 29.5 °C ile Temmuz ve 29.6 °C Ağustos aylarında; ortalama en düşük sıcaklıklar ise 3.4 °C ile Ocak ve 3.2 °C ile Şubat aylarıdır. Aralık, Ocak, Şubat ayları ortalama en yüksek sıcaklık 10 °C seviyelerinde olduğu görülmektedir. Bu aylarda ısınma için önemli bir enerji ihtiyacı olduğunun göstergesidir. En yağışlı aylar ise Aralık ve Ocak'tır.



Şekil 1. Kocaeli 1929-2018 yılları arası ortalama sıcaklık ve yağış değişimi

Kocaeli, Karadeniz iklimi ile Akdeniz iklimi arasında bir geçiş iklimi özelliği gösterir. Meteorolojik parametreler enerji kullanımı ile direkt ilgili olduğu için sera gazı emisyonlarının miktarını etkilemektedir. Meteorolojik parametreler yıllara bağlı olarak değişiklik gösterse de, önceki yılların verileri ile elde edilen ortalama değerler, bu bölgenin aylara göre sıcaklık ve yağış değişimi hakkında genel bir bilgi vermektedir.

IPCC Kademe Yaklaşımları

Sera gazı emisyon hesaplamaları, faaliyet verileri ve emisyon faktörleri ile birlikte envantere dayalı modelleme çalışmalarıdır. Bu çalışmada, IPCC'nin oluşturduğu metodolojik yaklaşım olan Kademe 1 metodu kullanıldı. Kademe 1 metodu genel olarak daha az veri içeren, kullanımı kolay ve az uzmanlık gerektiren bir yöntemdir. Kademe 1 hesaplamasında, IPCC rehberinde belirlenen emisyon faktörleri ve IPCC tarafından sağlanan diğer parametreler kullanıldı (Anonim, 2006b).

Kademe 1: Ulusal enerji istatistiklerinden yakılan yakıt türüne göre, yakıt miktarı ve emisyon faktörleri kullanılarak emisyon değeri hesaplanır. Hesaplama yöntemi aşağıdaki gibidir.

$$\text{Emisyon Sera Gazı} = \text{Yakıt Tüketimi} \times \text{Emisyon Faktörü} \times \text{Çevrim Faktörü} \quad (1)$$

Emisyon Sera Gazı: Yakıt türüne bağlı Sera Gazı Miktarı (Ton)

Emisyon Faktörü: Yakıt türüne göre belirlenen temsili değer (kg gaz/Tj)

Çevrim Faktörü: Birim çevirme faktörü (İsa, 2016)

Bu çalışmada yaklaşık bir sonuç vermesi planlanan bir hesaplama yöntemi olan Kademe 1 hesaplama modülü kullanıldı. Sera gazı emisyon kaynaklarına ait veriler alt başlıklar halinde derlenerek, ilgili emisyon faktörleri ve çevrim faktörleri ile Eşitlik 1'de ifade edildiği gibi çarpılarak hesaplamalar yapıldı (Atmaca, 2019). Bulunan tüm değerler CO₂-eşd'ine çevrilerek çizelgede sunuldu.

Emisyon faktörleri

Emisyon faktörleri, emisyon envanteri oluşturulmasında sera gazı hesaplamaları için temel araç olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bir kaynağın emisyon faktörü, atmosfere salınan kirleticilerin miktarlarını belirlemede kullanılan bir araçtır. Bir kaynaktan salınan emisyon miktarı, bu kaynağın faaliyet tipiyle ilişkilidir. Emisyon faktörleri, genellikle, kirleticiyi ortama veren aktivitenin birim ağırlığı, hacmi, mesafesi veya süresi ile çarpılarak yayılan kirleticinin ağırlığı olarak ifade edilir. Emisyon faktörleri ile kaynak miktarlarının çarpılması ile emisyonların tahmin edilmesi, kullanılan en yaygın yöntemdir (Karademir, 2006). Bu çalışmada, sera gazı emisyonlarının hesaplanması sırasında kullanılan emisyon faktörleri IPCC'nin 2006 yılında yayınlanan emisyon faktörü veri bankası (EFDB) dokümanından elde edildi ve Çizelge 1'de sunuldu. (Atmaca, 2019).

Kabuller

Bu çalışmada sera gazı hesaplamasında kullanılacak her bir kaynak için gerekli 2015, 2016 ve 2017 verileri ilgili kurumların onaylı yayınlarından elde edildi. Bu çalışmada hesaplamaların yapılabilmesi için bazı verilerde makul kabuller yapıldı. Bunlar;

- Kocaeli'nde tüketilen motorin miktarı, dizel binek araçların ve trenlerin sarf ettiği toplam miktar olduğundan, bulunan sonuç karayolu ve demiryolu ulaşımından kaynaklı emisyonları kapsamaktadır.
- Ulaşımından kaynaklanan sera gazı emisyonları hesaplanırken Enerji Piyasaları Denetleme Kurulu (EPDK)'dan alınan yakıt verilerinin tamamının Kocaeli il sınırları içerisinde tüketildiği kabul edildi.

- Tüm emisyon faktörleri IPCC’de belirtildiği gibi alınıp, gerekli birim çevirmeler yapıldı.
- Birincil Çevrim Faktörleri 22.07.2014 tarih ve 29068 sayılı Sera Gazlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ Ek-5’te belirtilen değerleri kapsamaktadır.
- Taşkömürü için kok kömürü emisyon faktörü kullanıldı.
- Isınma ve enerjide kullanılan doğalgaz yakıtının ısıl değeri 9 394.5 kcal Sm⁻³ kabul edildi.
- Çevrim faktörlerinde 1 kcal = 4.19x10⁻⁹ TJ alındı.
- Havacılık yakıtı olan jet karosen için ısıl değer 10 200 kcal/kg olarak kabul edildi (Yamık ve ark., 2013).
- Katı atık depolamadan kaynaklanan sera gazı emisyonları, biyokütleden üretilen enerji miktarından hesaplandı. Faktör Sayısı: 3.71 kwh Nm⁻³-CH₄.
- HFCs, PFCs, SF₆’ların tüketimi sanayi içerikli olduğu ve veri temini sağlanmadığı için bu çalışmaya dahil edilmedi.

Çizelge 1. Emisyon kaynakları için kullanılan emisyon faktörleri.

Emisyon Kaynağı	Emisyon Faktörleri			Birim	Birincil Çevrim Faktörü	İkincil Çevrim Faktörü	Birim
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O				
Elektrik Tüketimi	0.4906	0.00033	0.000015	Kg Kwh ⁻¹			
Elektrik Üretimi	56.04	0.00148	0.00254	T Tj ⁻¹	4.19x10 ⁻⁹	9 394.16	Kcal Sm ⁻³
Taşkömürü	102.87	0.00079	0.00247	T Tj ⁻¹	0.0282		TJ ton ⁻¹
Doğalgaz (Konut)	56.1	0.005	0.0001	T Tj ⁻¹	4.19x10 ⁻⁹	9 394.16	kcal Sm ⁻³
Doğalgaz (Endüstri)	56.1	0.001	0.0001	T Tj ⁻¹	4.19x10 ⁻⁹	9 394.16	kcal Sm ⁻³
Kömür (Konut)	99.5	0.3	0.0015	T Tj ⁻¹	0.0282		TJ ton ⁻¹
Kömür (Endüstri)	98.23	0.0097	0.00145	T Tj ⁻¹	0.0282		Tj ton ⁻¹
Antrasit	98.3	0.01	0.0015	T Tj ⁻¹	0.0267		Tj ton ⁻¹
Petrol koku	97.5	0.003	0.0006	T Tj ⁻¹	0.0325		Tj ton ⁻¹
Fuel Oil	67.86	0.25	0.008	T Tj ⁻¹	0.0404		TJ ton ⁻¹
Benzin	69.3	0.025	0.008	T Tj ⁻¹	0.0443		TJ T ⁻¹
Motorin	73.4	0.0039	0.0039	T Tj ⁻¹	0.043		TJ T ⁻¹
LPG	63.07	0.062	0.0002	T Tj ⁻¹	0.0475		TJ T ⁻¹
CNG	56.01	0.092	0.003	T Tj ⁻¹	4.19x10 ⁻⁹	9394.16	kcal Sm ⁻³
Fuel Oil (Denizyolu)	78.2	0.007	0.002	T Tj ⁻¹	0.0404		Tj T ⁻¹
Jet Karosen (Havayolu)	71.5	0.0005	0.002	T Tj ⁻¹	4.19x10 ⁻⁹	10 200	kcal kg ⁻¹
Atık Yakma	138 734	30	4	kg TJ ⁻¹	0.00001		TJ kg ⁻¹
Biyokütle	0.025	-	-	kg scf ⁻¹	0.028	Scf Nm ⁻³	

BULGULAR VE TARTIŞMA

Kocaeli ilinde sera gazı emisyon kaynakları elektrik enerjisi tüketimi, elektrik enerjisi üretimi (doğalgaz, taşkömürü), ısınma (konutlar için doğalgaz ve kömür; endüstri için doğalgaz, taşkömürü, antrasit, petrol koku, fuel-oil), ulaşım (benzin, motorin, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), sıkıştırılmış doğal gaz (CNG), fuel-oil, jet karosen), atık yönetimi (yanabilir endüstriyel atık, biyolojik reaksiyon sonucu

oluşan sera gazları, depo gazı) şeklinde sınıflandırıldı. Bu kaynaklarda IPCC Kademe 1 metoduna göre belirtilen yıllarda sera gazı salınım miktarları hesaplandı.

Yıllara Göre Şehir Kaynaklarından Salınan Sera Gazı Emisyon Değerleri

Şehir emisyon kaynaklarında salınan sera gazı emisyon miktarları, kullandığı yakıt türlerine bağlı CO₂ eşdeğer olarak hesaplanır. Eşdeğer sera gazı hesaplamasında, kaynaklardan salınan CO₂, CH₄, N₂O'in emisyon faktörleri kullanılarak her bir kaynak için toplam CO₂ eşdeğer miktarları hesaplandı. Çizelge 2'de Kocaeli ilinde belirlenen başlıca emisyon kaynakları ve kullandıkları yakıt türlerine bağlı olarak 2015, 2016 ve 2017 yıllarına ait sera gazı emisyon değerleri ve bu üç yılın ortalama değeri hesaplandı.

Çizelge 2. Kocaeli ilinde kaynaklarına ve yakıt türlerine göre 2015, 2016 ve 2017 yıllarında sera gazı emisyon değerleri (ton CO₂-eşd)

Emisyon Kaynağı	Yakıt Türü	2015	2016	2017	Ortalama
Elektrik Tüketimi		4 178 310	4 399 200	4 767 289	4 448 266
Elektrik Üretimi	Doğalgaz	3 107 645	2 578 511	2 510 096	2 732 084
Elektrik Üretimi	Taşkömürü	886 736	886 736	886 736	886 736
Konut	Doğalgaz	900 677	925 459	1 157 835	994 657
Endüstri	Doğalgaz	5 291 145	4 840 190	5 093 471	5 074 935
Konut	Kömür	5 516 176	4 365 691	371 719	3 417 862
Endüstri	Taşkömürü	2 473 628	2 169 176	683 586	1 775 463
Endüstri	Antrasit	227 671	253 780	336 944	272 798
Endüstri	Petrol Koku	1 565 655	879 468	817 231	1 087 451
Konut-Endüstri	Fuel Oil	399 525	8 231	8 140	138 632
Kara Ulaşımı	Benzin	180 611	192 449	197 639	190 233
Kara Ulaşımı	Motorin	2 506 639	2 716 950	2 838 236	2 687 275
Kara Ulaşımı	LFG	276 898	285 022	271 575	277 832
Kara Ulaşımı	CNG	909	804	7 599	3 104
Denizyolu Ulaşımı	Fuel Oil	107 902	673 529	827 321	536 251
Havayolu Ulaşımı	Jet Karosen	1 684	2 393	13 598	5 892
Atık Yakma	Endüstriyel Atık	41 952	48 569	55 507	48 676
Atıksu Arıtımı	Biyolojik Reaksiyon	89 072	84 956	82 716	85 581
Biyokütle	Depo Gazı	26 678	30 920	36 283	31 294

Kocaeli'de elektrik tüketiminden önemli miktarda sera gazı emisyonu salınımı oluşmaktadır. Her ne kadar elektrik üretim kaynakları farklı olsa da (özellikle doğal gaz ve kömür), bunun bir sera gazı emisyonu karşılığı bulunmaktadır. EPDK verilerine bağlı kalarak, Kocaeli ilinde tüketilen elektrik miktarı belirlenerek, belirtilen yıllara ait elektrik tüketiminden kaynaklı sera gazı emisyonları hesaplandı. Elektrik tüketiminden kaynaklı sera gazı emisyonunda yıllara göre bir değişim olmadığı ve ortalama 4.45 Mton CO₂-eşd olduğu ve toplam sera gazı emisyonunun %17.7'sine karşılık geldiği belirlendi. Diğer yandan, doğalgaz ve taşkömürü kullanılarak elektrik enerjisi üretimi yapılmakta ve önemli miktarda sera gazı emisyonu katılmaktadır. Elektrik üretiminde doğalgazdan kaynaklanan sera gazı emisyonları 2016 ve 2017 yıllarında, 2015 yılına nazaran daha düşüktür ve üç yılın ortalaması 2.73 Mton CO₂-eşd'dir. Yıllara göre ise, 2015 yılında doğalgaz çevrim santrallerinin atmosfere verdiği sera gazı emisyonu 3 107 645 ton CO₂-eşd iken, bu değer 2016 yılında 2 578 511 ton CO₂-eşd, 2017'de ise 2 510 096 ton CO₂-eşd olarak

hesaplandı. Nihai olarak elektrik üretiminde doğalgaz ve taşkömürü yakılmasından oluşan toplam sera gazı emisyonu bu üç yılın ortalaması 4.04 Mton CO₂-eşd olarak bulundu. Sürdürülebilir elektrik enerjisi üretimi dikkate alındığında, termik santralin tam kapasite enerji üretimi yaptığı kabul edilirse, sera gazı emisyonunda önemli bir değişkenlik olmayacağı varsayılmaktadır.

Diğer önemli emisyon kaynakları olan endüstri tesislerinin ve konutların ısınma maksatlı enerji ihtiyaçlarının karşılanması için kullanılan yakıtlar doğal gaz ve kömürdür. Kocaeli’nde 2015 yılından 2017 yılına kadar doğalgaz kaynaklı emisyonunda %22.2’lik önemli bir artış olması yanında, konutlarda kömür kullanımından kaynaklı sera gazı emisyonunda %93.2’lik önemli bir düşüş olduğu belirlendi. Özellikle konutlarda kömür kullanımında 2017 yılında önemli bir azalma tespit edildi, buna bağlı olarak konutların ısınmasından kaynaklı toplam sera gazı emisyonunda 2015 yılına göre %76.1’lik azalma olduğu belirlendi.

Kömür kullanımındaki azalma, genel emisyon miktarındaki azalım trendini etkilediği tespit edildi. Endüstride taşkömürü yanında, antrasit, petrol koku da kullanılmaktadır. Endüstride taşkömürü ve petrol koku kaynaklı sera gazı emisyonlarında yıllara bağlı olarak azalma varken, antrasitten kaynaklı emisyonunda artış olduğu tespit edildi. Genel olarak bakıldığında ise endüstriden kaynaklanan petrol türevi yakıtlarından oluşan sera gazı emisyonunda 2015 yılına nazaran 2017 yılında %56 seviyesinde azalma olduğu tespit edildi. Diğer önemli bir petrol türü enerji kaynağı kalorifer yakıtında (fuel-oil) ise 2015’den 2017 yılına kadar emisyonunda %98’lik azalma olduğu tespit edildi.

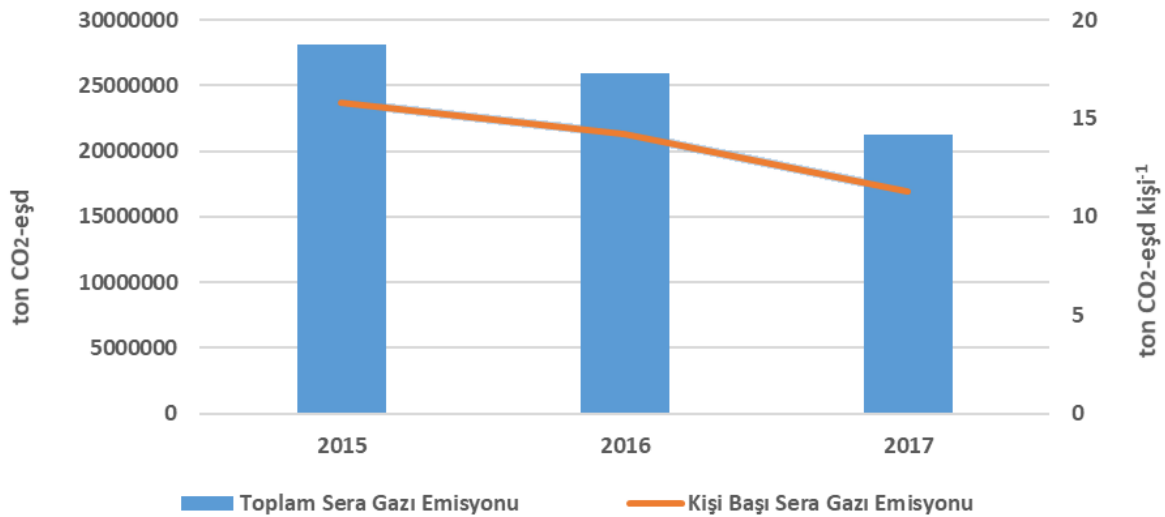
Kocaeli’de karayolu (otobüs, minibüs, dolmuş taksi ve kırsal toplu taşıma araçları), demiryolu (TCDD hattı), denizyolu toplu taşıma hatlarında ulaşım gerçekleştirilmektedir. Kocaeli genelinde 2017 yılında ulaşım kaynaklı sera gazı emisyon değeri 4 155 967 ton CO₂-eşd olup, toplam salınımın %18.6’sını oluşturmaktadır. Karayolu ulaşımında kullanılan yakıt türleri sırasıyla benzin, motorin, LPG ve CNG’dir. Bu kaynaklardan salınan ortalama sera gazı emisyonu 3 158 444 ton CO₂-eşd olarak hesaplandı. Motorin %85’lik sera gazı emisyonu ile en fazla orana sahip yakıt kaynağıdır. Seçilen yıllara bağlı olarak benzin ve motorinden kaynaklı sera gazı emisyonunda bir artış olurken, LPG’den kaynaklı emisyonunda bir artış görülmedi. CNG’den kaynaklı emisyon değerleri 2015 ve 2016 yıllarında sırasıyla 909 ton CO₂-eşd ve 804 ton CO₂-eşd iken, 2017 yılı emisyon değeri diğer yıllara nazaran yaklaşık %90’lık bir artış ile 7 599 ton CO₂-eşd gibi bir değere ulaştı. Kocaeli Büyükşehir Belediyesi toplu ulaşımında CNG yakıt kullanan araçları yaygınlaştırmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir (Anonim, 2016a). Buna göre, motorin ulaşımından kaynaklı en yüksek sera gazı kaynağı olarak belirlendi. Motorin hem karayolu taşıtlarında hem de dizel trenlerde kullanıldığından, emisyon değeri bunların toplamını içermektedir. Karayolu ve demiryolu ulaşımı 2017 toplam emisyonu 3 315 048 ton CO₂-eşd iken, denizyolu ulaşımından kaynaklı sera gazı emisyonu 827 321 ton CO₂-eşd ve havalimanından salınan toplam sera gazı emisyonu ise 13 598 ton CO₂-eşd’dir. İlde 2011 yılından bu yana Cengiz Topel Havalimanı hizmet vermektedir. Denizyolu ulaşımından kaynaklı sera gazı emisyonu 2015 yılına nazaran 2017 yılında 7.6 kat arttığı tespit edildi. Bu çalışmada emisyon hesaplamalarında kullanılan yakıt tüketim verileri EPDK raporlarından alındı. Bu durumda, deniz ulaşımında kullanılan yakıtın bu şekilde artış nedeni deniz faaliyetlerinin artışından dolayı olduğu öngörülmektedir.

Atık yönetimi faaliyetleri altında evsel atıklardan oluşan biyokütle, atık yakma ve atıksu arıtımı ve bertarafından kaynaklanan sera gazı emisyon değerleri yıllara göre hesaplandı. Kocaeli’deki atık yönetimi sonucu oluşan salınımlar, çalışmada belirtilen tüm kaynakların oluşturduğu salınımların yaklaşık % 0.8’ni oluşturmaktadır. Atık yönetiminden kaynaklı sera gazı emisyonları 2017 yılı için, biyokütleden %28, atık yakmadan %44 ve atık su arıtımı ve deşarj işlemlerinden %28 oranlarındadır. Kocaeli Büyükşehir

Belediyesi uhdesinde İzmit ve Dilovası ilçelerinde olmak üzere iki adet düzenli katı atık depolama sahası mevcuttur. Kocaeli genelinde toplanan günde ortalama 1700 ton evsel katı atık, bu depolama sahaslarında depolanarak bertaraf edilmektedir. Katı atık depolanma sahaslarında oluşan CH_4 ve CO_2 içeren depo gazı, gaz motorlarında yakılarak CO_2 dönüştürülmekte ve oluşan enerji ile elektrik üretilmektedir (Sevimoglu ve Sel, 2016; Östürk ve Sevimoğlu, 2018). Bu şekilde depo sahaslarından kaynaklı sera gazı emisyonunun çevresel etkisi azaltılmaktadır. Ayrıca, Kocaeli’nde Türkiye’nin en büyük endüstriyel atık yakma tesisi bulunmaktadır. Bu tesiste atık yakmadan dolayı ortalama 48 676 ton CO_2 -eşd sera gazı emisyonu oluşmaktadır ve toplam emisyon içinde %0.2’lik bir orana sahiptir. Her ne kadar yıllara göre emisyon değerlerinde kısmi bir artış olsa da, kurulu tesisin atık yakma kapasitesi sabit olduğu için sera gazı emisyon değerinde çok artış olması beklenmemektedir. Atık su arıtımı sırasında oluşan sera gazı emisyon değerleri sırasıyla 2015 yılında 38 880 ton CO_2 -eşd, 2016 yılında 37 084 ton CO_2 -eşd ve 2017 yılında 36 106 ton CO_2 -eşd olarak hesaplandı.

Kocaeli İli Yıllık Toplam Sera Gazı Emisyon Değerleri

Emisyon kaynaklarına ait yakıt verileri IPCC’nin CO_2 , CH_4 ve N_2O için ayrı ayrı belirlenen emisyon faktörleri ile çarpılması ve tüm emisyonların CO_2 -eşd’ne çevrilmesi ve bunların toplanması sonucu 2015, 2016 ve 2017 yılları için toplam sera gazı emisyon değerleri hesaplandı. Şekil 2’de, Kocaeli’nin sera gazı emisyonu ton CO_2 -eşd olarak 2015 yılında 28.13 Mton, 2016 yılında 25.99 Mton ve 2017 yılında ise 21.23 Mton olarak hesaplandı.



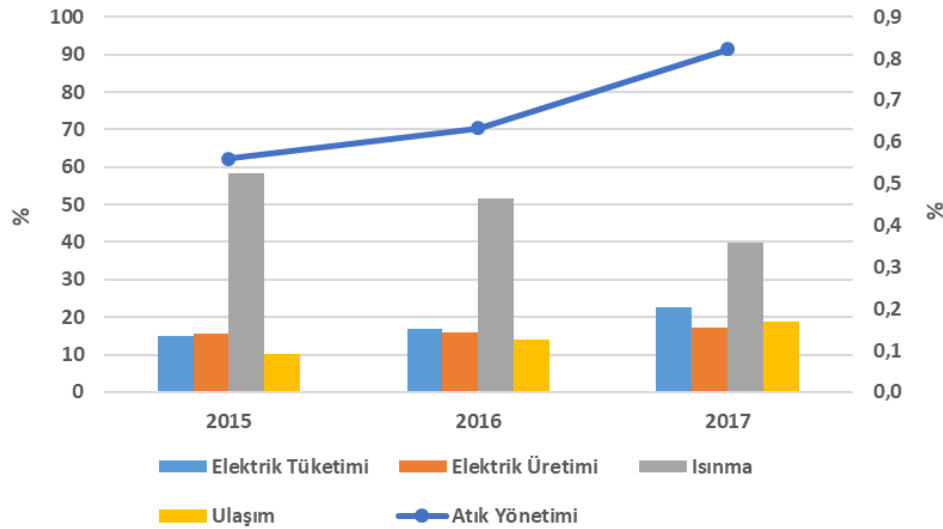
Şekil 2. Kocaeli'nin yıllara göre toplam ve kişi başı sera gazı emisyon değerleri

Sera gazı emisyonunda yıllara göre 2015'ten 2017'ye %24.5 azalış söz konusudur. Yıllara bağlı olarak sera gazı emisyonundaki değişiklikler, emisyon kaynaklarının salım kapasitesi ile doğrudan bağlıdır. Yüksek emisyonlu kaynaklarda yakıt tüketiminin azaltılmasıyla, bu kaynaklardan oluşan emisyon değerlerinde önemli miktarda azalış olduğu tespit edildi. Sera gazı emisyon hesaplama çalışmaları, kaynak bazlı olduğu gibi, toplam emisyon miktarı hesaplanması şeklinde olmaktadır. Kişi başı sera gazı emisyon miktarı da hesaplanması gereken parametrelerden birisidir. Türkiye’de kişi başı sera gazı emisyon değerleri 2015, 2016 ve 2017 yılları için 5.97, 6.22 ve 6.6 ton CO_2 -eşd olarak belirlendi (Anonim, 2018a). Buna karşılık İstanbul ilinde kişi başı yıllık sera gazı emisyon değerleri ise ulusal değerlerden düşük olarak 2010 ve 2015 yılları için 3.07 ton CO_2 -eşd ve 3.23 ton CO_2 -eşd olarak bulundu (Anonim, 2018b). Bu çalışmada

kişi başı sera gazı emisyon değeri İstanbul ve Türkiye ortalama değerlerinden yüksek olup, 2015, 2016 ve 2017 yılları için 15.80, 14.19 ve 11.27 ton CO₂-eşd kişi-yıl⁻¹ olarak bulundu. Bu değerlere göre endüstri ağırlıklı bir şehir olan Kocaeli ilinde kişi başı sera gazı emisyon değerleri İstanbul ve Türkiye değerlerine göre yüksek olduğu belirlendi. Kişi başı emisyon değerinin düşürülmesi için önemli bir orana sahip olan enerji sektöründen kaynaklı sera gazı emisyonunun azaltılması için gerekli iyileştirme çalışmaları yapılmalıdır.

Sektörlere Göre Sera Gazı Emisyon Dağılımı

Elektrik üretimi, elektrik tüketimi, ısınma, ulaşım ve atık yönetimi sektörlerinden salınan sera gazı emisyonlarının yüzde oranları yıllara göre oranları Şekil 3'te verildi. Buna göre, 2015 yılı için sera gazı emisyonunun % 14.9'u elektrik tüketiminden, %15.5'i elektrik üretiminden, %58.2'si ısınmadan, %10.3'ü ulaşımdan, %0.6'sı atık yönetiminden kaynakladığı görülmektedir. 2016 yılındaki toplam sera gazı emisyonu içinde elektrik üretiminden ve atık yönetiminden kaynaklı sera gazı emisyonları bir önceki yıla göre sabit kalırken, elektrik tüketiminden ve ulaşımdan kaynaklı sera gazı emisyonları bir önceki yıla göre oransal artış trendi göstermektedir.



Şekil 3. Yıllara göre farklı kaynaklardan salınan sera gazı emisyon dağılımı

Burada ısınmadan kaynaklı sera gazı emisyonu bir önceki yıla göre düşüş trendi göstererek %51.7'lik bir orana sahip olduğu görülmektedir. 2017 yılı sektörler göre sera gazı emisyonlarının dağılımında ısınma hariç diğer kaynaklarda yüzde oranlarında artış olduğu görülmektedir. Isınmadan kaynaklı sera gazı emisyonu %39.9 olarak belirlendi. 2017 yılı için, önceki iki yıla nazaran ısınma ve enerji sektörlerinden sera gazı emisyonu salınımı azalırken, ulaşımdan kaynaklı emisyon oranının toplam emisyon değeri içinde arttığı belirlendi. Şehirde toplumun en önemli gereksinimlerinden birisi olan ısınma ve enerji ihtiyacı, aynı zamanda sera gazı emisyonu sonuçlarında da görüldüğü gibi en çok sera gazı emisyonu olan kaynakları oluşturmaktadır. Bundan dolayı, ısınmadan kaynaklı sera gazı emisyonu azaltım stratejisi çalışmalarında dikkate alınmalıdır. Katı atıktan kaynaklı sera gazı emisyonunun aslında şehir kaynaklarında en düşük katılıma sahip olduğu belirlendi. Ancak, uluslararası piyasada özellikle depo sahalarından kaynaklı sera gazı emisyonunun önlenmesi çalışmaları kapsamında, sera gazı emisyonunu oluşturan metanın enerjiye dönüştürülerek maddi gelir elde edilmesi ve bununla beraber CO₂'ten 21 kat daha etkili olan CH₄'nın yakılarak CO₂'te dönüştürülmesinin önemli bir yeri bulunmaktadır (Sevimoğlu, 2017).

SONUÇ

Bu çalışma, Türkiye'nin nüfus yoğunluğu bakımından ikinci ili olan Kocaeli'nin 2015, 2016 ve 2017 yıllarına ait başlıca şehir kaynaklarından salınan sera gazı emisyon değerleri hesaplandı. Bu çalışmada birbirine göre en fazladan en aza sera gazı emisyonu veren kaynaklar (ısınma, elektrik tüketimi, elektrik üretimi, ulaşım, atık yönetimi) kendi içinde değerlendirildi. Sera gazı emisyon hesaplamalarına göre Kocaeli'nin 2015 yılından 2017'ye kadar %24.5'lik sera gazı emisyonunda azalım olduğu belirlendi. Her yıl için değerlendirildiğinde endüstride yakıt ve enerji amaçlı kullanılan doğalgazın en yüksek pay ile sera gazı emisyonu salınımı yaptığı belirlendi. 2015 yılında ikinci sırayı 5.5 milyon ton CO₂-eşd ile evsel ısınma amaçlı kullanılan kömür alırken, 2017 yılında kömür kullanımının düşüşü ile 372 319 ton CO₂-eşd değerine geriledi. 2015 yılından itibaren özellikle konutlarda kömür kullanımının azaltılması, toplam sera gazı emisyonunda düşüşün sebebi olarak değerlendirilmektedir. Konutlarda kömür kullanımının azalmasına karşın, doğalgaz kullanımında artış olduğu ve doğalgaz kaynaklı sera gazı emisyonunun önceki yıllara göre kısmi olarak arttığı tespit edildi. Doğalgaz ve kömür kaynaklarından sonra motorin de ulaşımdan kaynaklı önemli bir sera gazı emisyon kaynağıdır. Buna karşılık, araç yakıtı kullanımında motorin ve benzinin kütle oranları 2017 yılı verileri için sırasıyla %93.3 ve %6.7 iken, sera gazı emisyonu oranları da birbirine çok yakın olarak sırasıyla %93.5 ve %6.5 belirlendi. Bu durumda, motorin dikkate alınabilir seviyede ulaşımdan kaynaklı sera gazı emisyon kaynağı olarak görülmektedir. Motorin kara araçlarında, demiryolu ulaşımında ve deniz taşımacılığında kullanılmaktadır. Bu alanlarda ancak kara araçlarında motorin kullanan araçlar yerine benzin kullanan araçların yaygınlaştırılması potansiyel sera gazı emisyonunun azalmasında katkı sağlayacağı öngörülmektedir. Bunun yanında, ulaşımda çevre dostu yakıt kullanan araçların kullanıldığı toplu taşımaya öncelik verilmesi, bireysel araç kullanımının azaltılması, emisyon değerlerinin düşürülmesinde önemli katkısı olacaktır.

Genel olarak, Kocaeli ilinde konutlarda ve endüstride enerji ihtiyacının sağlanmasında fosil yakıt kullanımının azaltılmasının yanında, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçilmesinin genel sera gazı emisyonunun azaltılmasında önemli katkısının olacağı söylenebilir. En büyük sera gazı emisyonu, enerji ihtiyacının sağlanmasından ve kullanımından oluşmaktadır. Bu durumda enerji verimliliğinin tüm yaşam alanlarında uygulanması sera gazı emisyonunun azaltılması açısından önerilen stratejik yöntemlerden birisidir. Şehirde ortama salınan CO₂ gibi sera gazının atmosfere olan yükünü azaltmak için yutak alan olan yeşil alanların artırılması sera gazı emisyonu azaltımı için atılması gereken adımlardandır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma hiçbir kuruma sorumluluk yüklememektedir. Bu çalışmada Kocaeli Büyükşehir Belediyesi'nin çeşitli birimlerinde çalışan ve bizlere veri sağlamada yardımcı olan yetkililere teşekkür ederiz. Bu çalışma Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim dalı yapılan yüksek lisans çalışması kapsamında yapıldı.

KAYNAKLAR

- Abbass RA, Kumar P, El-Gendy, A, 2018. An overview of monitoring and reduction strategies for health and climate change related emissions in the Middle East and North Africa region. *Atmospheric Environment*, 175: 33-43.
- Abid M, Schilling J, Scheffran J, Zulfiqar F, 2016. Climate change vulnerability, adaptation and risk perceptions at farm level in Punjab, Pakistan. *Science of The Total Environment*, 547(15): 447-460.

- Aksay C, Ketenoğlu O, Kurt L, 2005. Küresel Isınma ve İklim Değişikliği. Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi, 1(25): 29-42.
- Anonim, 2006b. Intergovernmental Panel on Climate Change, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Estimation Methods. General Guidance and Report. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/0_Overview/V0_1_Overview.pdf. (Erişim Tarihi: 17.09.2019)
- Anonim, 2016a. Kocaeli Büyükşehir Belediyesi 2016 faaliyet raporu. https://www.kocaeli.bel.tr/webfiles/userfiles/files/faaliyet-raporlari/2016_YI_Faaliyet_Raporu.pdf (Erişim Tarihi:17.09.2019).
- Anonim, 2017, Kocaeli İl Çevre Durum Raporu, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/kocael-_2017_cdr_son-20180702092504.pdf, (Erişim Tarihi:17.09.2019)
- Anonim, 2018a. Türkiye'nin Yedinci Ulusal Bildirimi, Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, İklim Değişikliği Dairesi Başkanlığı, <https://www.tr.undp.org/content/dam/turkey/UNDP-TR-7NC-TUR-2019.pdf> (Erişim Tarihi: 02.01.2019)
- Anonim, 2018b. İstanbul İklim Değişikliği Eylem Planı Final Raporu 2018. <https://www.iklim.istanbul/wp-content/uploads/FinalRaporu.pdf>. (Erişim Tarihi: 02.01.2019)
- Arnell NW, Lowe JA, Challinor AJ, Osborn TJ, 2019. Global and regional impacts of climate change at different levels of global temperature increase. *Climatic Change*, 155(3): 377-391.
- Atmaca Ç, 2019. Kocaeli İlinde Sera Gazı Ve Hava Kirlenici Emisyonlarının Hesaplanması Ve Birlikte Değerlendirilmesi, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılı).
- Bari MA, Kindziarski WB, 2017. Concentrations, sources and human health risk of inhalation exposure to air toxics in Edmonton, Canada. *Chemosphere*, 173: 160-171.
- Burgan M, Dorling S, Warren R, 2007. Opportunities for Air Pollutant and Greenhouse Gas Emission Reduction through Local Transport Planning. *Local Economy*, 22(1): 40-61.
- Demirarslan K, Demirarslan D, 2018. Sanayileşme, Kentleşme ve Çevre İlişkisi: Kocaeli İli Örneği. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 1(1): 29-43.
- Gao J, Kovats S, Vardoulakis S, Wilkinson P, Woodward A, Li J, Gu S, Liu X, Wu H, Wang J, Song X, Zhai Y, Zhao J, Liu Q, 2018. Public health co-benefits of greenhouse gas emissions reduction: A systematic review. *Science of The Total Environment*, 627(15): 388-402.
- Güner ED, Turan ES, 2017. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Küresel İklim Değişikliği Üzerine Etkisi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 3(1): 48 - 55.
- Işık E, İnallı M, Celik E, 2019. ANN and ANFIS Approaches to Calculate the Heating and Cooling Degree Day Values: The Case of Provinces in Turkey. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44: 7581–7597.
- İsa K, 2016. AB florlu gazlar yönetmeliği, *Teknik Kitaplar Dizisi*, 3.
- Karaca M, Tayanç M, Toros H, 1995. Effects of urbanization on climate of İstanbul and Ankara. *Atmospheric Environment*, 29(23): 3411-3421.
- Karademir A, 2006. Evaluation of the potential air pollution from fuel combustion in industrial boilers in Kocaeli, Turkey. *Fuel*, 80(12-13): 1894-1903.
- Lee CT, Hashim H, Ho CS, Fan YV, Klemeš J, 2017. Emission sources of greenhouse gases fossil fuels heating and energy industrial transportation vehicles agricultural activities and waste management. *Journal of Cleaner Production*, 146(10): 1-13.
- Nematchoua MK, Orosa JA, Reiter S, 2019. Climate change: Variabilities, vulnerabilities and adaptation analysis - A case of seven cities located in seven countries of Central Africa. *Urban Climate*, 29: 100486.
- Nishanth T, Praseed KM, Satheesh Kumar MK, Valsaraj KT, 2014. Influence of ozone precursors and PM₁₀ on the variation of surface O₃ over Kannur, India. *Atmospheric Research*, 138(1): 112-124.

- Östürk Ö, Sevimoğlu O, Çöp Gazından Enerji Üretiminin Ekonomik Faydaları ve Sera Gazı Emisyonunun Azaltılması Üzerine Katkısının Değerlendirilmesi, International Congress of Energy, Economy and Security, 21-22 Nisan 2018, İstanbul, Turkey.
- Öztürk K, 2002, Küresel iklim değişikliği ve Türkiye'ye olası etkileri. G.Ü Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 22(1): 47-65.
- Öztürk T, Türkeş M, Kurnaz M, 2011. Regem4.3.5 İklim Modeli Benzetimleri Kullanılarak Türkiye'nin Gelecek Hava Sıcaklığı ve Yağış Klimatolojilerdeki Değişikliklerin Çözümlemesi. Ege Coğrafya Dergisi, 20(1): 17-27.
- Permadi DA, Sofyan A, Oanh NTK, 2017. Assessment of emissions of greenhouse gases and air pollutants in Indonesia and impacts of national policy for elimination of kerosene use in cooking. Atmospheric Environment, 154: 82-94.
- Rogge WF, Ondov JM, Bernardo-Bricker A, Sevimoğlu O, 2011. Baltimore PM2.5 Supersite: highly time-resolved organic compounds-sampling duration and phase distribution-implications for health effects studies. Analytical And Bioanalytical Chemistry, 401(10): 3069-3082.
- Sevimoğlu O, 2015. Greenhouse Gas Mitigation Works and Measures Taken Against Climate Change: Case of Istanbul. VII. Atmosphere Science Symposium, 28-30 April 2015, İstanbul.
- Sevimoğlu O, Sel İ, 2016. Critical Limitations for Successful Landfill Gas to Energy Projects. EurAsia Waste Management Symposium, 2-4 May 2016, İstanbul, Turkey.
- Sevimoğlu O, The importance of utilization of landfill gas as a greenhouse gas source in energy conversion and limitations in energy production. 4th International Symposium On Energy Efficiency And Energy Related Materials, 22-26 April, 2017, Fethiye, Muğla,.
- Shakou LM, Wybo JL, Reniers G, Boustras G, 2019. Developing an innovative framework for enhancing the resilience of critical infrastructure to climate change. Safety Science, 118: 364-378.
- Sówka I, Bezyk Y, 2018. Greenhouse gas emission accounting at urban level: A case study of the city of Wrocław (Poland). Atmospheric Pollution Research, 9(2): 289-298.
- Toros H, Abbasnia M, Sagdic M, Tayanç M, 2017. Long-Term Variations of Temperature and Precipitation in the Megacity of Istanbul for the Development of Adaptation Strategies to Climate Change, Advances in Meteorology, 2017: 6519856,
- Tsai Y-T, Liang C-J, Huang K-H, Hung K-H, Jheng C-W, Liang J-J, 2018. Self-management of greenhouse gas and air pollutant emissions in Taichung Port, Taiwan. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 63: 576-587.
- Turp SM, 2019. Bitlis Hava Kirliliği Emisyon Envanteri ve Sağlık Etkilerinin Çoklu Lineer Regresyonla Tahmini. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 5(1): 1-10.
- Ulukan H, 2010. Global Climate Change, Greenhouse Gases (GHGs) and Cultivated Plants. Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 2(1): 71-79.
- Velasco E, Roth M, 2012. Review of Singapore's air quality and greenhouse gas emissions: Current situation and opportunities. Journal of the Air & Waste Management Association, 62(6): 625-641.
- Webb B, 2017. The use of urban climatology in local climate change strategies: a comparative perspective. International Planning Studies, 22(2): 68-84.
- Yamık H, Calam A, Solmaz H, İcingür Y, 2013. Havacılık yakıtı JP-8 ve dizel karışımların tek silindirli bir dizel motorunda performans ve egzoz emisyonlarına etkisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28(4): 787-793.

LabVIEW ve Mikro-denetleyici Tabanlı Sıcaklık Kontrol Sistemi TasarımıSaid Mahmut ÇINAR^{1*}, Murat FİDAN², Mustafa DEMİRCİ², İsmail YABANOVA³

ÖZET: Sıcaklık kontrol uygulamaları günümüzde sıklıkla kullanılmaktadır ve kontrol sistemleri içerisinde önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada bir süreç odasının sıcaklığını kontrol etmek üzere kolay temin edilebilir ve ucuz malzemeler kullanılarak bir sıcaklık kontrol sisteminin tasarımı ve testi gerçekleştirilmiştir. Sistemde süreç odasını ısıtmak ve soğutmak için sırasıyla lamba ve fan kullanılmıştır. Kontrol sisteminin ısıtıcı ve soğutucu çıkışlarını kontrol etmek ve süreç odası sıcaklığını ölçmek için Arduino UNO mikro-denetleyici kartı kullanılmıştır. Mikro-denetleyici seri haberleşme terminali üzerinden bilgisayara bağlanmış ve LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Electronic Workbench) platformunda hazırlanmış bir arayüzle kontrol edilmiştir. Mikro-denetleyicide işletilen aygıt yazılımından alınan veriler arayüz üzerinde görüntülenmiş ve arayüz üzerinden girilen süreç odası referans değeri, uygulanacak kontrol yöntemi tipi ve kontrolör parametreleri aygıt yazılımına gönderilmiştir. Tasarlanan sıcaklık kontrol sistemi kara kutu yöntemiyle birinci dereceden zaman gecikmeli olarak modellenmiş ve üretilen model parametreleriyle ayarlanan Aç-Kapa ve PID (Proportional Integral Derivative) kontrolörler sisteme uygulanmıştır. PID kontrolör parametreleri üretilen modele göre Zeigler-Nichols yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Aç-Kapa ve PID kontrolörlerle gerçekleştirilen ısıtma ve soğutma deneylerinde süreç odası sıcaklığının istenilen sıcaklık değerin etrafında yaklaşık 1 °C salınımla kontrol edilebildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sıcaklık kontrolü, LabVIEW, süreç kontrolü, PID kontrolör, aç-kapa kontrolör, kara kutu modelleme.

Designing Temperature Control System based on LabVIEW and Microcontroller

ABSTRACT: In the control applications, temperature control systems are very important role. In this study, a temperature control system realized by inexpensive and easily provided materials was designed and tested. In the temperature control system, it was used lamp and fan for heating and cooling of process room. The Arduino Uno micro-controller board was selected to drive the heating and cooling outputs of the control system and measuring the process room temperature. The micro-controller was connected to the computer via the serial communication terminal and controlled by an interface prepared in the LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Electronic Workbench) platform. The data received from the firmware operated on the micro-controller was displayed on the interface and the reference value of process room, control method and controller parameters entered by the user were sent to the firmware. Using the black-box modelling method, the temperature control system was modeled as a first-order time delayed system, and the On-Off and Proportional Integral Derivative (PID) controllers were applied to the system. PID controller parameters were determined using the Zeigler-Nichols method according to the model parameters. The heating and cooling tests were carried out with On-Off and PID controllers. It was seen that the process room temperature can be controlled by about 1 °C oscillation around the desired temperature.

Keywords: Temperature control; LabVIEW; process control; PID controller; on-off controller; black box modelling

¹ Said Mahmut ÇINAR (Orcid ID: 0000-0002-8683-3884), Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Afyon, Türkiye

² Murat FİDAN (Orcid ID: 0000-0001-8653-940X), Mustafa DEMİRCİ (Orcid ID: 0000-0002-5254-2990), Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, Türkiye

³ İsmail YABANOVA (Orcid ID: 0000-0001-8075-3579), Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Afyon, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Said Mahmut ÇINAR, e-mail: smcinar@aku.edu.tr

GİRİŞ

Otomatik kontrol sistemleri endüstride çok önemli bir yere sahiptir. Bir sistemde önceden belirlenen kontrol parametrelerinin insan girişimi olmadan belli sınırlar içerisinde tutulması otomatik kontrolün amacı olarak değerlendirilmektedir (Yersel, 2007). Otomatik kontrol sistemlerinin ilk örnekleri, mekanik tetiklemeli mekanizmalarla tasarlanırken gelişmiş kontrol sistemleri günümüzde programlanabilir yapılarla (mikro-denetleyiciler, sayısal işaret işleyiciler, programlanabilir mantık denetleyicileri, bilgisayarlar vb.) tasarlanmaktadır. Sıcaklık kontrolü, endüstride kullanılan otomatik kontrol sistemleri içerisinde yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Özellikle kapalı bir ortamın sıcaklığının kontrolü endüstride sık karşılaşılan bir kontrol problemidir. Literatürde bu probleme çözüm üretmek için yapılmış farklı sıcaklık kontrolü uygulamaları içeren çalışmalar yer almaktadır. Aşağıda bu çalışmaların bazılarında oluşan bir literatür özeti sunulmuştur.

Doğan (2002), PIC16F877 mikro-denetleyicisi ile LM35 sıcaklık algılayıcı kullanarak basit ve ucuz bir kontrol deney seti geliştirmiştir. Ayrıca bu deney setinde Zeigler–Nichols yöntemiyle parametreleri ayarlanmış olan PI (Proportional Integral) kontrolör içeren sıcaklık kontrolünü gerçekleştirmiştir. Berber (2008), PIC16F877A mikro-denetleyicisi, DS18B20 model sıcaklık algılayıcı ve J tipi ısı çifti kullanarak Aç–Kapa kontrolörle ortam sıcaklığını kontrol etmiş ve ortalama sıcaklık grafiklerini LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Electronic Workbench) platformunda hazırlanmış bir arayüz üzerinden izlemiştir. Bir başka çalışmada, Yılmaz (2009), iklimlendirme sistemi modelini MATLAB/Simulink ortamında tasarlamış, bulanık mantık ve PI kontrolörlerle sistemin sıcaklık ve nem kontrolünü gerçekleştirmiştir. Sitem üzerinde yapılan testlerde belirlenen referans değerlerin başarıyla kontrol edilebildiği belirtilmiştir (Yılmaz, 2009). Yükselten (2009), rezistans ve ısı çifti ile asimetrik bir sistemin ısıtma ve soğutma kontrolünü PID (Proportional Integral Derivative) kontrolör üzerinde bazı iyileştirmeler yaparak gerçekleştirmiştir. Söz konusu iyileştirmeler için röle, Zeigler–Nichols ve elle ayarlama yöntemlerini kullanmıştır (Yükselten, 2009). Yüce (2011), ise bir tank içerisindeki suyun sıcaklık kontrolünü LabVIEW ortamında hazırlanmış ara–yüze gömülmüş bir PID kontrolörle sağlamış ve sistemden toplanan verileri ara–yüz ile gözlemlenmiştir. Aldemir ve Hapoğlu (2016), yaptıkları çalışmada kablosuz bir sıcaklık kontrol sistemi üzerinde farklı PID ayarlama yöntemlerini incelemişlerdir. Cohen–Coon ve Zeigler–Nichols yöntemlerini uygulayarak 1 °C sapmayla sıcaklığı kontrol edebilmişlerdir (Aldemir ve Hapoğlu 2016).

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde genellikle sıcaklık kontrol sistemlerinde ısıtıcı kullanılmakla birlikte cebri olarak bir düzeneğe soğutmanın yerine doğal soğutmanın tercih edildiği görülmüştür. Bu makalede gerçekleştirilen çalışmada ise hem ısıtma hem de soğutma için iki ayrı düzeneğe kullanılmış, böylece sistemin referans sıcaklık noktasına oturma zamanı önemli ölçüde kısaltılabilmektedir. Bu çalışmanın bir önemli katkısı da kendini geliştirmek isteyen kişilere, kolay ve ucuza temin edilebilir malzemelerle bir sıcaklık kontrol sisteminin tasarlanabileceğini göstermesidir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen sıcaklık kontrol sisteminin genel yapısı, güç ve kontrol sisteminin donanım ve yazılım altyapısı ayrıntılarıyla materyal ve metot bölümünde verilmiştir. Ardından sistemde uygulanan Aç–Kapa ve PID kontrolörlerin yapıları, kontrolör parametrelerinin ayarlanmasında kullanılan yöntemler ve sıcaklık kontrol sisteminde her bir kontrolör için elde edilen sonuçlar bulgular bölümünde verilmiştir. Son olarak elde edilen sonuçlar ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar üzerine değerlendirmeler sonuç bölümünde sunulmuştur.

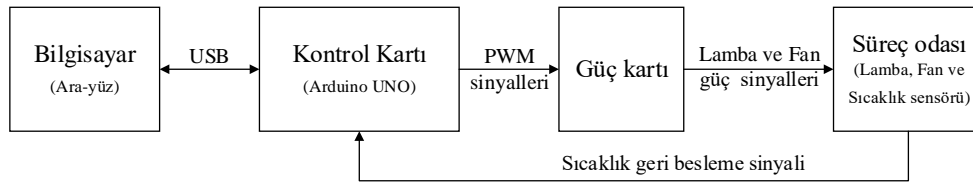
MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde tasarlanan sıcaklık kontrol sistemi; sistemin bileşenlerinin özellikleri ayrıntılarıyla “Sıcaklık kontrol sisteminin genel yapısı” başlığı altında verilmiştir. Ardından “Güç ve kontrol sisteminin

donanım bileşenleri” başlığı altında ısıtma ve soğutma çıkışlarını sürmekte kullanılan güç devresi özellikleri ile bu çıkışları sürmek, algılayıcıyla sıcaklık ölçümü yapmak ve bilgisayarla iletişim kurmak gibi görevleri yerine getiren kontrol devresi özellikleri ayrıntılarıyla verilmiştir. Son olarak “Güç ve kontrol sisteminin yazılım altyapısı” başlığı altında verilen “Mikro-denetleyici aygıt yazılımı” ve “Bilgisayar ara yüz yazılımı” alt başlıkları altında tasarlanan yazılımların yapı ve özellikleri ayrıntılı bir biçimde sunulmuştur.

Sıcaklık kontrol sistemin genel yapısı

Sıcaklık kontrol sistemi; süreç odası, güç kartı, kontrol kartı ve ara yüz programı bileşenlerinden oluşmaktadır (Şekil 1). Süreç odası üzerinde ısıtıcı lamba, soğutucu fan ve sıcaklık algılayıcı bulunmaktadır. Güç kartı, ısıtıcı lambayı ve soğutma fanını beslemekte kullanılan gücü kontrol etmektedir. Kontrol kartı güç kartı için gerekli kontrol işaretlerini üretmekte ve sıcaklık algılayıcıdan sıcaklık değerini okumaktadır. Ayrıca üzerinde bulunan haberleşme terminali sayesinde arayüz ile iletişim sağlamaktadır. Arayüz programının sistemden toplanan verileri görüntülemek ve kontrolörler (Aç-Kapa ve PID) için kontrol işaretleri üretmek gibi iki ana görevi bulunmaktadır.



Şekil 1. Sıcaklık kontrol sisteminin blok şeması.

Süreç odası 8 mm kalınlığında ahşap malzemeden ve 10 x 12 x 13 cm ebatlarında tasarlanmış ve içi alüminyum folyo ile kaplanmıştır. Isıtıcı lamba ısı dağılımının daha iyi olması için odanın ortasında zemine sabitlenmiştir. Odanın dışa bakan duvarına pencere açılarak 9 x 9 cm boyutlarında fan monte edilmiştir. Ayrıca yan duvarlarda ikişer adet 7 mm çapında hava tahliye deliği açılmıştır. Dallas firmasının DS18B20 model sıcaklık algılayıcısı odanın tavanına monte edilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Sıcaklık kontrol sisteminin genel görünümü.

Güç kartı üzerinde L298N motor sürücü tüm devresi bulunmakta ve iki adet motorun sayısal (Aç-Kapa) veya oransal kontrolünü sağlayabilecek biçimde işletilebilmektedir. Sıcaklık kontrol

sisteminde ısıtıcı lamba ve soğutucu fanın gücü kartın iki çıkışı ile sağlanmıştır. Bu çıkışlar Aç-Kapa ve PID kontrolörler için sırasıyla sayısal ve oransal durumda çalıştırılmıştır.

Kontrol kartı olarak düşük maliyetli ve kolay temin edilebilen Arduino UNO mikro-denetleyici kartı tercih edilmiştir. Kontrol kartının, ısıtıcı lamba ve soğutucu fanın güç kontrolünde kullanılan sayısal ve oransal çıkışların üretilmesi için iki darbe genişlik modülasyon (Pulse Width Modulation-PWM) çıkışı, sıcaklık algılayıcı ile ölçülen süreç odası sıcaklığının okunması için seri ara yüz sağlayıcı (Serial Provider Interface-SPI) haberleşme terminali ve bilgisayar ara yüz programıyla kontrol kartının arasındaki veri alış verişinin sağlanması için genel amaçlı seri haberleşme (Universal Synchronous-Asynchronous Teceiver-Transmitter-USART) terminali kullanılmıştır.

Güç ve kontrol sisteminin donanım bileşenleri

Sıcaklık kontrol sisteminde Aç-Kapa ve PID kontrol yöntemlerinin uygulanması düşünülmüştür. Aç-Kapa kontrol yönteminde, ısıtıcı lamba ve soğutma fanı çıkışları sayısal (0-1) olarak kontrol edilmektedir. PID kontrol yönteminde ise söz konusu çıkışların oransal olarak kontrolü gerekmektedir. Isıtıcı lamba ve soğutma fanının oransal kontrolü PWM tekniği ile gerçekleştirilebilir. PWM tekniğinde darbeleme oranı (Duty cycle-D) kontrol edilerek yüke uygulanan gerilimin değeri oransal olarak değiştirilmesi sağlanmaktadır.

Isıtıcı lamba ve soğutma fanının oransal kontrolü için Arduino UNO kontrol kartının PWM çıkışları kullanılmıştır. Kontrol kartı ile üretilen PWM çıkışları güç kontrol devresine bağlanmıştır. L298N tüm devresine sahip güç kontrol kartında maksimum 24V gerilim altında ve 2 A akım çekilebilen iki kanal bulunmaktadır. Sistemde kullanılan ısıtıcı lamba 12 V gerilimde maksimum 1.5 A akım çekebilen kızaran telli bir lambayken soğutucu fan 12V gerilimde maksimum 150 mA akım çekebilen 120 x 120 mm boyutlarında bir fanıdır.

Sıcaklık algılayıcısı kontrol kartına SPI haberleşme terminali üzerinden bağlanmıştır. Mikro-denetleyici, algılayıcının dönüştürdüğü ve dâhili belleğinde sakladığı süreç odası sıcaklığı değerlerini SPI terminali üzerinden tek kablo (1-Wire) protokolü kullanarak almaktadır.

Güç ve kontrol sisteminin yazılım altyapısı

Gerçekleştirilen sıcaklık kontrol sisteminin yazılımsal yapısı iki ana parçadan oluşmaktadır. Bunlardan ilki Arduino UNO mikro-denetleyici kartı üzerinde çalışan aygıt yazılımıdır (firmware). İkinci yazılım ise bilgisayar üzerinde çalışan ve LabVIEW ortamında tasarlanan ara-yüzdür.

Mikro-denetleyici aygıt yazılımı:

Mikro-denetleyicide çalışan aygıt yazılımı ısıtıcı lamba ve soğutucu fanın kontrol işaretlerinin üretilmesi, sıcaklık algılayıcıdan süreç odası sıcaklığının okunması, bilgisayar ara-yüzü ile veri alış verişinin gerçekleştirilmesi ve ara-yüzden seçilen kontrol yöntemine göre Aç-Kapa veya PID kontrolörlerin işletilmesi görevlerini yerine getirmektedir.

Aygıt yazılımı Şekil 3'te verilen akış şemasında görüldüğü gibi sonlu durum makinası olarak tasarlanmış ve hem başta hem de sonda durum kontrolleri yapılarak bilgisayardan gelen veriye göre ilgili kontrol yönteminin istenilen anda seçilebilmesi sağlanmıştır. Ayrıca ısıtıcı lamba ve soğutucu fana aynı anda PWM işareti uygulanmamış, yalnızca hatanın yönüne göre, yani ısıtma veya soğuma durumuna göre, ilgili eleman devreye alınarak PID veya Aç-Kapa kontrol uygulanmıştır. Sistemin Aç-Kapa ve PID kontrolör için yazılmış program kodlarının bir kısmı aşağıda verilmiştir.

```

//Aç-Kapa kontrol alt programı
Histeresiz_min = referans_sicaklik - 2;
Histeresiz_max = referans_sicaklik + 2;

if(sicaklik < Histeresiz_min){
    analog_cikis(lamba_cikisi,max_PWM);
    analog_cikis(fan_cikisi,0);
}
if(sicaklik > Histeresiz_max){
    analog_cikis(fan_cikisi,max_PWM);
    analog_cikis(lamba_cikisi,0);
}

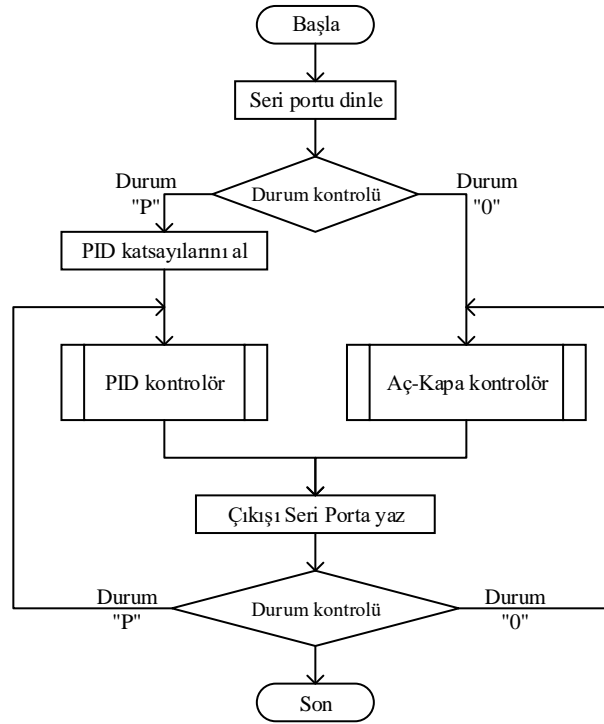
//PID kontrol alt programı
Hata = sicaklik - referans_sicaklik;
if(hata == 0)
    integral = 0;
else
    integral = integral;
integral = integral + hata;
PID = Kp*hata + Kd*(hata - son_hata) + Ki*integral;
if(integral > esik_deger)
    integral = esik_deger;
else if (integral < esik_deger)
    integral = (-1)*esik_deger;
else if (integral == esik_deger)
    integral = integral;
son_hata = hata;
if(PID > 0){
    if(PID > PID_esik_degeri)
        PID = PID_esik_degeri;
        PWM_1 = PID/2;
        PWM_2 = 0;
    }
}
else {
    if(PID <= PID_esik_degeri){
        PID = (-1)*PID_esik_degeri;
        PWM_2 = (-1)*(PID/2);
        PWM_1 = 0;
    }
}
}
analog_cikis(lamba_cikisi,PWM_2);
analog_cikis(fan_cikisi,PWM_1);

```

Verilen kodlarda görüldüğü gibi Aç-Kapa kontrolörde, referans sıcaklığın süreç odası sıcaklığından düşük olduğu durumda ısıtıcı lambayı maksimum güçte çalıştırıp soğutucu fanı durdurulurken referans sıcaklığın süreç odası sıcaklığından yüksek olduğu durumda ise soğutucu fanı maksimum devirde çalıştırıp ısıtıcı lambayı söndürülmektedir.

PID kontrol yönteminde öncelikle referans sıcaklık ile süreç odası sıcaklığının farkı alınarak hata elde edilmiştir. Ardından P, I ve D katsayılarına bağlı olarak kontrolör çıkışı hesaplanmıştır. İntegralin toplama etkisinden dolayı eşik değer sorgulaması yapılmış, böylece hata değerinin fazla büyüyerek referans etrafında oluşabilecek olan dalgalanmanın ve integral yığılması etkisinin önüne geçilmiştir (Yersel, 2007). Toplam PID değeri hesaplandıktan sonra bu değer ikiye bölünerek ısıtma ve soğutma elemanlarına ilgili PWM değerleri atanmıştır. Ancak iki çıkışın aynı anda devreye girmesi istenmediğinden PID değeri pozitif ise PWM_1 sinyali soğutucu fana uygulanıp ısıtıcı lamba

durdurulurken, PID değeri negatif ise PWM_2 sinyali ısıtıcı lambaya uygulanıp soğutucu fan durdurulmaktadır. Bu durum sistemin oturma süresinin kısalmasını beraberinde getirmiştir.



Şekil 3. Aygıt yazılımı akış şeması.

Bilgisayar arayüz yazılımı:

Arayüz yazılımı; sıcaklık kontrol sisteminin başlatılıp durdurulması, kontrol yönteminin (Aç-Kapa veya PID) seçilmesi ve süreç odası sıcaklığının görüntülenmesi gibi görevleri yerine getirmektedir. Arayüz yazılımı LabVIEW programlama ortamında hazırlanmıştır (Şekil 4). Arayüz yazılımının akış şeması mikro-denetleyici aygıt yazılımı akış şeması ile birlikte Şekil 3'te verilmiştir.

Arayüz üzerinde, kontrol kartıyla haberleşmenin yapılandırılması ve haberleşmenin başlatılıp durdurulabildiği, kontrol yönteminin seçilebildiği, PID kontrol yöntemi için PID kontrolör parametrelerinin girilebildiği, süreç odası referans sıcaklık değerinin girilebildiği, süreç odası sıcaklığının izlenebildiği çeşitli kontrol ve görüntüleme bileşenleri yer almaktadır.

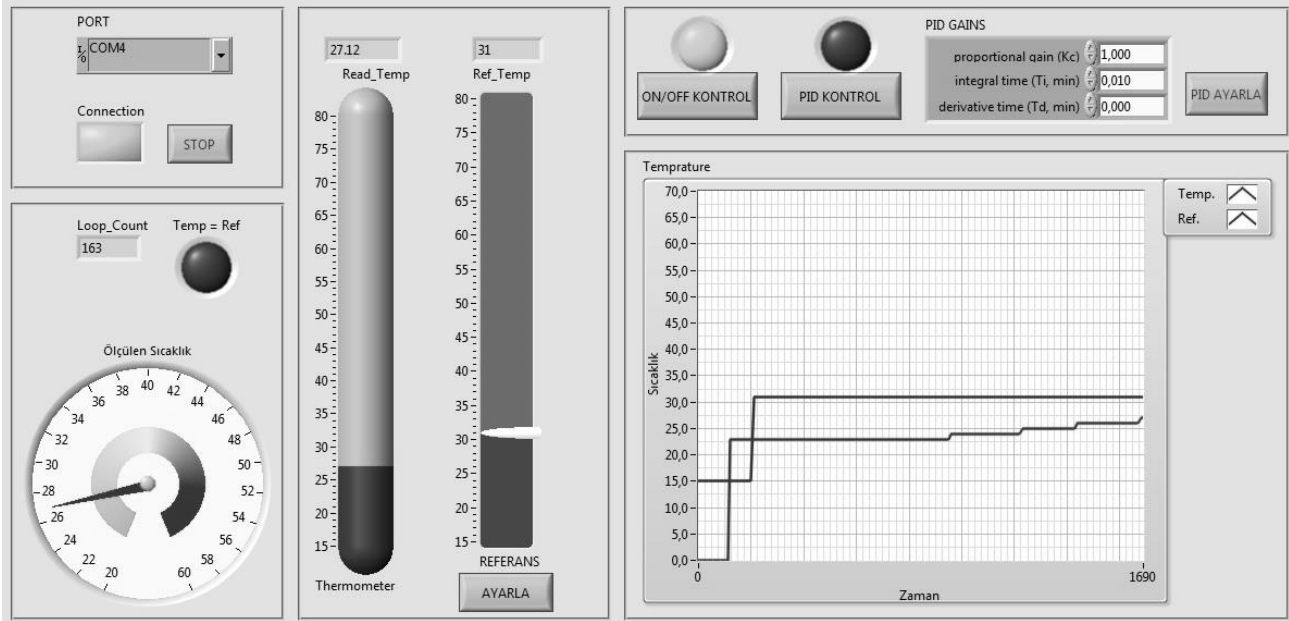
BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde tasarlanan sıcaklık kontrol sisteminde uygulanan kontrol yöntemleri ile elde edilen sonuçlar sunulmuştur. İlk olarak sisteme Aç-kapa kontrol yöntemi uygulanmıştır. Ardından 2 °C histerezis uygulanarak Aç-Kapa kontrol yöntemi tekrar uygulanmıştır. Son olarak sıcaklık kontrol sistemine PID kontrol yöntemi uygulanmıştır. PID kontrol yönteminde kontrolör parametrelerini ayarlayabilmek için kontrol sistemine birim basamak işareti uygulanarak sistemin cevabı alınmış ve bu adım cevabı üzerinden kara-kutu modelleme yöntemiyle PID kontrolör parametreleri belirlenmiştir.

Aç-kapa Kontrol Uygulaması ve Histerezis

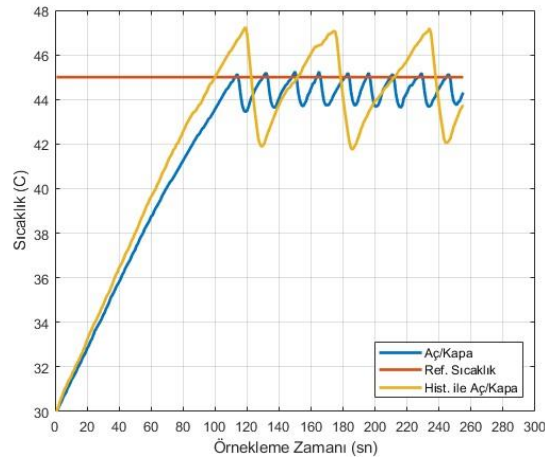
Aç-Kapa kontrol yönteminin ilk uygulaması olarak herhangi bir sistem tanıma işlemi yapılmadan sadece referans değeri üzerinden bir kontrol uygulanmıştır. Süreç odası sıcaklığı 100 saniyede 30 °C sıcaklıktan 45 °C sıcaklığa çıkartılmış (Şekil 5).

Aç-Kapa kontrolörün çok fazla açma ve kapatma yaptığı görülmüş ve bunu önlemek için bir histerezis aralığı belirlenmiştir. Burada amaç kontrol işareti uygulanan aralığı daraltarak kontrolcü elemanların verimini arttırmak ve enerji tüketimini azaltmaktır. Bu sebeple Aç-Kapa kontrol yöntemi ± 2 °C histerezis oluşturularak tekrar uygulanmıştır.



Şekil 4. Sıcaklık kontrol sistemi ara-yüzü.

Şekil 5’de verilen adım cevabı incelendiğinde sistem çıkışının referans sıcaklığı yaklaşık 1 °C aralıkta başarıyla izleyebildiği görülmektedir. Aç-Kapa kontrolör için histerezis aralığı olarak ± 2 °C belirlendiğinden ısıtma ve soğutma çıkışlarının açma/kapama sıklığı azaltılabilmiş ancak referans sıcaklık üzerindeki dalgalanmanın genliği artış göstermiştir. Ancak bu kontrol yönteminde çıkışların sürekli olarak açma/kapama yapması durumunda hem yüksek güç tüketimi olacağı hem de kullanılan devre elemanlarının ömürlerinin kısılacacağından dolayı PID veya bulanık mantık gibi gelişmiş kontrol yöntemlerinin kullanımının uygun olduğu değerlendirilmektedir.



Şekil 5. Sistemin Aç/Kapa kontrol cevap eğrisi.

Sistem Tanıma ve PID Kontrol uygulaması

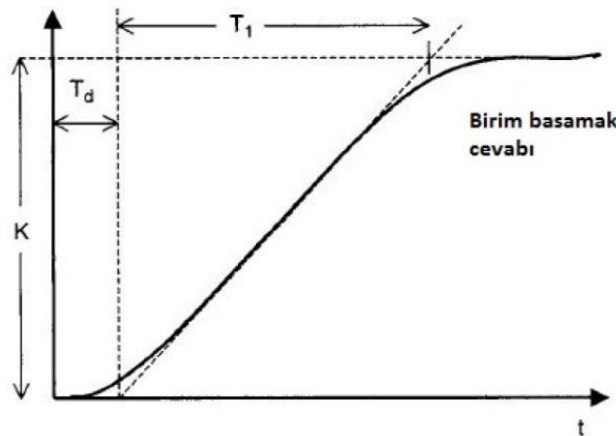
PID kontrol yönteminde kontrolörün performansı kontrolör parametrelerinin doğru bir biçimde belirlenebilmesine bağlıdır. PID parametrelerinin belirlenmesi için literatürde çok sayıda yöntem bulunmaktadır (Aldemir, 2016). Bunlardan öne çıkanlar röle yöntemi, Cohen-Coon yöntemi ve

Zeigler–Nichols yöntemleridir. Bu çalışmada pratik olarak uygulanması daha kolay olan Zeigler–Nichols yöntemi ve açık çevrim birim basamak yöntemi ya da diğer adıyla reaksiyon eğrisi kullanılmıştır. Reaksiyon eğrisi yönteminde sisteme bir test işareti verilerek sistemin kararlı hale gelmesi beklenir ve sistem kararlı hale geldikten sonra meydana gelen cevap eğrisinden ölü zaman ve eğim değerleri hesaplanır (Yazıcı et al. 2002).

Sıcaklık kontrol sistemleri genellikle birinci derece zaman gecikmeli sistemler olarak modellenirler. Bu sistemlere ölü zamanlı sistemler de denir ve bu tip sistemlerin kontrolünde kontrol edilecek sisteme özel uygulamalar gerekli olmaktadır (Aktaş et al. 2011). Ölü zamanlı sistemler Zeigler–Nichols metoduyla sisteme uygun bir biçimde doğru parametre tespitiyle kolayca kontrol edilebilirler (Aström and Hagglund 2004). Bu tür sistemlerde bir gecikme zaman katsayısı (T_d), sistemin zaman sabiti (T_1) ve DC kazanç (K) parametreleri bulunmaktadır (Sağlam, 2013). Ölü zamanlı sistemlerin genel transfer fonksiyonu denklem 1’de verilmektedir.

$$G(s) = \frac{K \cdot e^{-sT_d}}{(1 + s \cdot T_1)} \quad (1)$$

İdeal bir birim basamak cevabında T_d , T_1 ve K katsayıların grafiksel olarak tespiti Şekil 6’da görülmektedir (Doğan 2002).

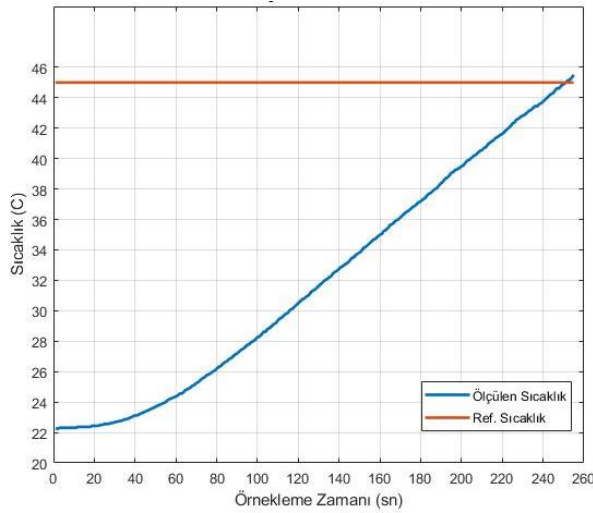


Şekil 6. İdeal birim basamak cevap eğrisi.

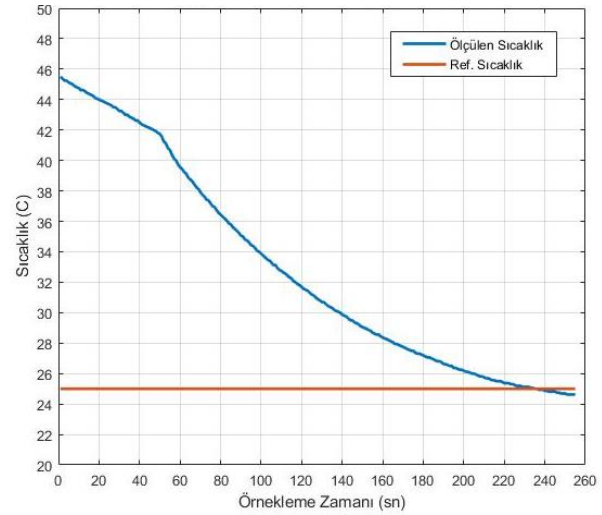
Açık Çevrim Basamak Tepkisi:

Gerçekleştirilen uygulamada sıcaklık kontrol sisteminde ısıtma ve soğutma çıkışlarında birim basamak sinyali uygulanmıştır. Sıcaklık kontrol sisteminde elde edilen ısıtma ve soğutma birim basamak cevapları sırasıyla Şekil 7-a ve b’de verilmiştir.

Şekil 6’da grafiksel olarak verilen yöntem Şekil 7-a ve b’deki birim basamak cevaplarına uygulanarak K , T_d ve T_1 parametreleri hesaplanmış ve Çizelge 1’de verilmiştir. Burada ısıtma ve soğutma çıkışları için K , T_d ve T_1 parametreleri birbirine çok yakın bulunduğundan dolayı sadece tek hesaplamının sonucu verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 7. Isıtma (a) ve soğutma (b) çıkışları için birim basamak cevapları.

Çizelge 1. Birim basamak cevabı parametreleri

K	T_d	T_I
23	30 s	230 s

K , T_d ve T_I parametrelerinin elde edilmesinden sonra PID kontrolörün oransal (K_P), integral (T_i) ve türevsel (T_D) katsayıları Zeigler–Nichols yöntemine göre Çizelge 2’deki gibi hesaplanmıştır (Berber,2008, Yükselten,2010).

Çizelge 2. PID Parametrelerinin Zeigler-Nichols yöntemiyle bulunması

Kontrolör	K_P	T_i	T_D
Oransal	$\frac{T_1}{K \cdot T_d}$	∞	0
Oransal+İntegral	$\frac{0.9 \cdot T_1}{K \cdot T_d}$	$3.3 \cdot T_d$	0
Oransal+İntegral+Türevsel	$\frac{1.2 \cdot T_1}{T_d}$	$2 \cdot T_d$	$0.5 \cdot T_d$

PID kontrolör için Çizelge 2’ye göre hesaplanan K_P , T_i ve T_D katsayılarının yuvarlanmış değerleri Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Zeigler–Nichols yöntemine göre hesaplanmış PID parametreleri

K_P	T_i	T_D
9.20	60	15

Hesaplanan T_i ve T_D katsayılarını sürekli zamanlı olarak elde edilmiştir. Bu katsayıları ayrık zamanda ifade edebilmek için örnekleme zamanına göre tekrar düzenleme yapılması gerekmektedir. Gerçekleştirilen sıcaklık kontrol uygulamasında örnekleme zamanı 1 saniye olduğu için T_i ve T_D katsayıları tekrar hesaplandığında Çizelge 4’deki değerler bulunmuştur.

Çizelge 4. Ayırık zamanlı hesaplanmış PID parametreleri

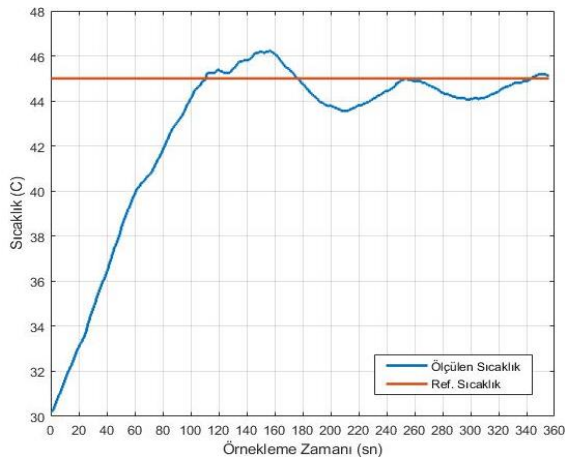
T_i	T_D
0.16	0.65

Hesaplanan K_P , T_i ve T_D katsayıları mikro-denetleyici üzerinde işletilen aygıt yazılımında test edilmiş ve bilgisayar ara yüzü üzerinden kontrol gerçekleştirilmiştir.

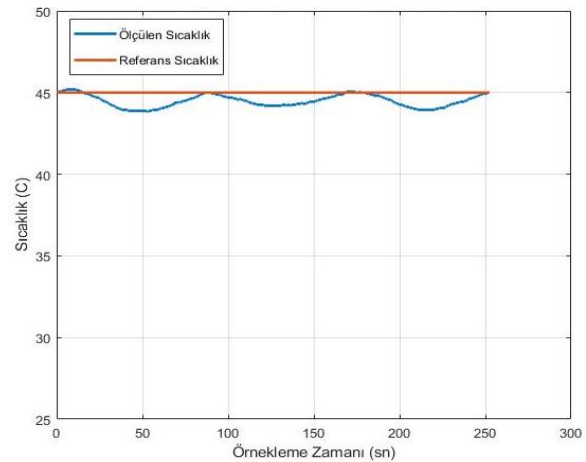
Sıcaklık kontrol deneyleri:

Sıcaklık kontrol sisteminde 25 °C dış ortam sıcaklığında belirlenen katsayılar ile sıcaklık kontrolü yapılmıştır. Sıcaklık kontrol sisteminde kullanılan ısıtma ve soğutma PID kontrolörlerini test etmek amacıyla ısıtma ve soğutma deneyleri olmak üzere iki deney gerçekleştirilmiştir.

–Isıtma deneyi: Gerçekleştirilen ısıtma deneyinde süreç odası sıcaklığı 30 °C den 45 °C'ye çıkartılmış olup sistemin cevap eğrisi Şekil 8-a'daki gibi bulunmuştur. Süreç odası sıcaklığının hedef değere ulaştıktan sonraki kalıcı durum hatası ise Şekil 8-b'de görülmektedir.



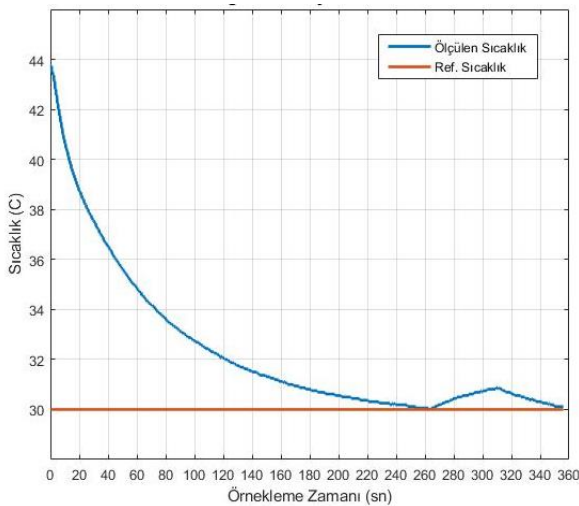
(a)



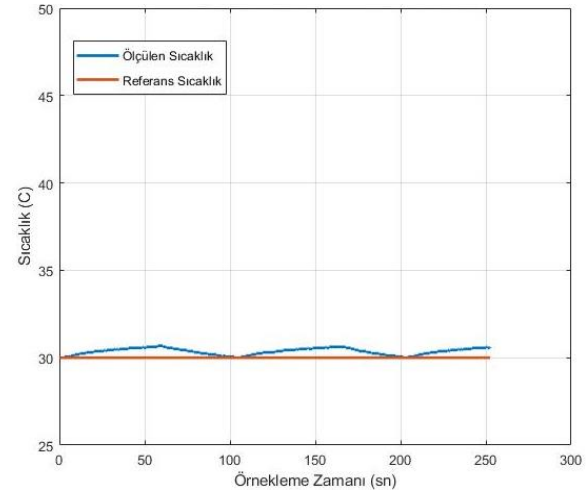
(b)

Şekil 8. PID kontrolörle ısıtma sistemi (a) cevap eğrisi ve (b) kalıcı durum hatası.

–Soğutma deneyi: Gerçekleştirilen soğutma deneyinde yine 25 °C dış ortam sıcaklığında, süreç odası sıcaklığı 45 °C'den 30 °C'ye düşürülmüş ve cevap eğrisi Şekil 9-a'daki gibi bulunmuştur. Süreç odası sıcaklığının hedef değere ulaştıktan sonraki kalıcı durum hatası ise Şekil 9-b'de görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 11. PID kontrolörle soğutma sistemi (a) cevap eğrisi ve (b) kalıcı durum hatası.

Şekil 8 ve 9'de sırasıyla ısıtma ve soğutma deneyleri cevap eğrileri birlikte incelendiğinde soğutma deneyinde sistem kalıcı duruma geçtikten sonra kalıcı hal hatasının sıfıra inmemesi dikkat çekicidir. Bu durumun sebebinin kontrol elemanlarının ortam sıcaklığını doğrudan kontrol etmemesi ve ampulün karakteristiğinden kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir.

Ayrıca süreç odası hava sıcaklığı ampulün yanmasıyla yükseldiği için hatanın sıfır olduğu noktada PID kontrolörün yapısı gereği ampul tamamen sönmekte ve bu andan itibaren sıcaklık hızla düşmektedir. Bu durum referans etrafında 1 °C'lik dalgalanmayı beraberinde getirmektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada mikro-denetleyici tabanlı ve bilgisayar ara yüzü üzerinden kontrol edilen bir sıcaklık kontrol sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık kontrol sisteminin donanımsal tasarımının ardından mikro-denetleyici aygıt yazılımı hazırlanmıştır. Daha sonra sistemin bilgisayardan kontrolüne ve izlenmesine imkân sağlayan ara yüz LabVIEW programlama ortamında tasarlanmış ve test deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan test deneylerinde ilk olarak normal ve histerezis ile Aç-Kapa kontrol yöntemi uygulanmış ikinci olarak PID kontrol yöntemi gerçekleştirilmiştir. PID kontrol yönteminde PID kontrolörün katsayıları Zeigler-Nichols birim basamak ve osilasyon yöntemleriyle belirlenmiş ve test edilmiştir. Gerçekleştirilen testlerden elde edilen sonuçlar sistemin doğru biçimde çalıştığını ve referans değeri yalnızca 1 °C hatayla izleyebildiği göstermiştir.

Tasarlanan sıcaklık kontrol sistemini mevcut sıcaklık kontrol sistemlerinden ayıran en önemli özellik, sıcaklık sistemlerindeki ölü zamanı azaltmak için ekstra soğutucu fan kullanılmasıdır. Bu sayede tasarlanan sıcaklık kontrol sisteminde PID kontrolör gibi gelişmiş kontrol yöntemleri başarıyla uygulanabilmiştir. Süreç odasındaki hava bir lamba ve fan vasıtasıyla dolaylı olarak kontrol edilmesine rağmen nispeten kısa bir oturma süresiyle kontrol gerçekleştirilebilmiştir. Ayrıca tasarlanan sıcaklık kontrol sistemi kolay temin edilebilir, basit ve ucuz malzemelerle gerçekleştirilebilmesi de oldukça önemlidir. Bununla birlikte çalışmanın hem mühendislik alanında hem de meslek yüksekokulu ve meslek lisesi gibi okullarda öğrencilere süreç kontrolü, mikro-denetleyiciler ve LabVIEW eğitimleri gibi alanlarda faydalı olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Aktaş F, Çeken C, Erkan K, Yıldırım M, 2011. Kablosuz Algılayıcı Ağlar Kullanılarak Birinci Dereceden Ölü Zamanlı Bir Sistemin Denetimi. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey, 252-256.
- Aldemir A, Hapoğlu H, 2016. Kablosuz Sıcaklık Kontrolü İçin PID Ayarlama Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Journal of Polytechnic, 19/1: 9-19.
- Aström KJ, Hagglund T, 2004. Revisiting the Ziegler-Nichols step response method for PID control. Journal of Process Control, 14: 635-650.
- Berber E, 2008. Mikrodenetleyicili Endüstriyel Otomatik Sıcaklık Ölçüm ve Kontrol Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 151.
- Doğan İ, 2002. Microcontroller Based Temperature Monitoring and Control. Elsevier Science & Technology Books, Chapter 9, Boston/USA, 201-219.
- Sağlam G, 2013. Pem Yakıt Pilli Bir Mikro-Kojenerasyon Sistemi İçin Kendi Kendini Ayarlayan PI Denetleyici, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 105.
- Yazıcı İ, Özdemir A, Vatansever F, 2002. Kendinden Ayarlamalı Sayısal PID Tasarımı. SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6/1: 73-75.
- Yersel MA, 2007. PID Yönteminin PLC'de Yazılarak Gerçeklenmesi: Çift Cidarlı Reaktör Tank Sıcaklık Kontrolü Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 73.

- Yılmaz S, 2009. Konut Dışı Binalarda Değişken Debili İklimlendirme Sisteminin Modellenmesi ve Bulanık Mantık kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 75.
- Yüce A, 2011. Labview ile Endüstriyel Sıcaklık Ölçme ve Kontrol Sistemi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 83.
- Yükselten MS, 2010. PID Controller Design For Asymmetrical Temperature Control, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 86.

Kapalı Otopark Aydınlatmasında Floresan ve LED Lambanın Enerji Verimliliği Açısından Karşılaştırılması

Behçet KOCAMAN^{1*}

ÖZET: Elektrik enerjisi tüketimi, hızlı nüfus artışı ve teknolojideki gelişmelere bağlı olarak her geçen gün artmaktadır. Aydınlatma, elektrik enerjisinin tüketiminde önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle aydınlatmada enerji verimliliği konusunda çalışmalar ön plana çıkmaktadır. Enerji verimliliği için aydınlatmada kullanılan lambaların özellikleri etkin rol oynamaktadır. Aydınlatmada enerji verimliliğini sağlamak için çeşitli LED (Işık Yayan Diyot) uygulamaları geliştirilmiş ve LED'in karakteristik özelliği nedeniyle farklı noktalarda uygulanmaktadır. Otopark gibi bazı belirli yerlerdeki aydınlatmada enerji verimliliğini artırmak için incelenmesi gerekir. Bu çalışmada, Bitlis Eren Üniversitesine ait kapalı otopark aydınlatmasında kullanılan floresan lamba yerine LED lamba kullanılmasının enerji verimliliği açısından karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, kapalı otopark aydınlatmasında 2 x 36 W floresan lamba yerine 48 W LED lamba kullanımıyla yılda 23 757.12 kWh enerji tasarrufu sağlanacağı ve yatırım maliyetinin de 1.83 yıl içerisinde amorti edileceği hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Aydınlatma, enerji verimliliği, kapalı otopark aydınlatması, LED.

Comparison of Fluorescent Lamp and LED Lamp in Terms of Energy Efficiency in Parking Garage Lighting

ABSTRACT: Electrical energy consumption is increasing day by day due to rapid population growth and technological developments. Lighting has an important status in the consumption of electrical energy. For this reason, studies on energy efficiency in lighting come to the forefront. The characteristics of the lamps used in lighting for energy efficiency play an effective role. Various LED (Light Emitting Diode) applications have been developed to provide energy efficiency in lighting and are applied at different points due to the characteristic of LED. Lighting in certain locations, such as parking garage, needs to be examined to improve energy efficiency. In this study, using LED lamp instead of fluorescent lamp in parking garage lighting of Bitlis Eren University has been compared in terms of energy efficiency. As a result of the study, it was calculated that 23 757.12 kWh energy saving will be achieved annually by using 48 W LED lamp instead of 2 x 36 W fluorescent lamp in parking garage lighting and the investment cost will be amortized within 1.83 years.

Keywords: Lighting, energy efficiency, parking garage lighting, LED.

¹Behçet KOCAMAN (Orcid ID: 0000-0002-1432-0959), Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bitlis, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Behçet KOCAMAN, e-mail: bkocaman@beu.edu.tr

GİRİŞ

Motorlu araçların toplu halde park ettikleri açık veya kapalı alanlara otopark denilmektedir. Günümüzde artan araba kullanımı ile birlikte otopark ihtiyacı da artmıştır. Bu nedenle yeraltı ve yerüstü birçok otopark inşa edilmiştir/edilmektedir. İnşaa edilen yer altı ve bazı yer üstündeki otoparklar, kapalı otopark olarak kullanılmaktadır. Ayrıca Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca hazırlanıp 22.02.2018 tarih ve 30340 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan otopark yönetmeliğinde 31.12.2019 tarih ve 30995 (5. Mükerrer) sayılı Resmi Gazetede yayımlanan değişiklikle 31.03.2020 tarihinden itibaren yapı ruhsatı başvurularında her daireye bir otopark olması zorunluluğunu getirmektedir. Dolayısıyla yapılacak otoparkların bir kısmı kapalı otopark olacaktır. Bu nedenle otoparklarda aydınlatma için enerji tüketimi artacaktır. Binalarda aydınlatma için kullanılan elektrik enerjisinin toplam elektrik enerjisindeki payı yaklaşık %20'dir (Onaygil, 2013). Kapalı otopark alanlarının aydınlatmasında yüksek basınçlı sodyum, metal halide ve floresan armatürler yaygın kullanılmaktadır. Ancak enerji verimliliği açısından, LED teknolojisi kullanılmasının önemli elektrik, ekonomik, güvenlik ve çevresel faydalar sunması açısından önemli bir yere sahiptir. Gelişmiş kontrol sistemlerine entegre LED, sürdürülebilir aydınlatmada ışık kalitesi ve enerji verimliliği çözümlerinden biridir (Balocco ve ark., 2019). LED lamba ile yapılan aydınlatma, enerji tasarrufu, uzun ömür, aydınlatma verimliliği ve düşük bakım maliyetleri özelliklerinden dolayı en bilinen aydınlatma çeşidi olmuştur (Yılmaz ve ark., 2019).

Kapalı otoparklarda, sürücü ve yayaların kendilerini güvende hissetmelerini sağlamak için aydınlatmanın yeterli seviyede olması oldukça önemlidir. Dar alanlarda park etmek için manevra yaparken sürücünün görüş açısını ayarlamada aydınlatması iyi yapılmış alanlar kaza oranlarını en aza indirir. Ayrıca alanda karanlık bir bölgenin kalmaması ve otopark olarak kullanılan alanın tamamını net bir şekilde görüleceği bir aydınlatmanın uygulanması gerekmektedir. Kapalı otoparkların giriş ve çıkış bölümlerinde, aydınlatma seviyesi 250-300 lüks, park alanları ve diğer kısımlarda ise 75 lüks yeterli görülmektedir (Yılmaz, 2018). Çoğu kapalı otoparklar, haftanın 7 günü, 24 saat ve yılın 365 günü aydınlatılmaktadır. Bu nedenle, kapalı otoparkların sürekli aydınlatılması gerekmektedir. Aydınlatma konusunda araştırma yapanlar, özellikle uzun işletme süresi olan üretim alanlarında kaliteyi düşürmeden elektrik enerjisi tüketimini azaltmak için çözüm bulmaya yönelik çalışmalar yapmaktadırlar (Perdahçı, 2018).

Sürekli aydınlatılan kapalı otoparklarda harcanan elektrik enerjisi, aydınlatma teknolojisindeki son gelişmeler planlı aydınlatma kontrol stratejileriyle birleştirilerek, enerji tasarruflu lamba kullanılmasıyla enerji tüketimi azaltılabilir (Kralikova ve ark., 2015). Kapalı otopark aydınlatmasında enerji verimliliği sağlamak için, aracın rotadan hareketine göre LED aydınlatma sistemleri yanarak bir tahmin algoritması geliştirilerek enerjinin verimli kullanılması sağlanmıştır (Hong ve ark., 2012). Kapalı otoparkta, zaman ve dış ışık seviyeleri ile telsiz iletişim ve kontrol ekipmanı kullanıp tahmini kontrol stratejileri uygulayarak enerji verimliliğini artırmak için yöntemler geliştirilmiştir (Kramer, 2017). Yeraltı madenciliğinde aydınlatma sistemi planlaması için yapılan çalışmada, madencilik endüstrisinde aydınlatma için kullanılan floresan ve LED lambaların teknik ve ekonomik değerlendirmesinin sonuçlarını incelenmiş ve karşılaştırılmıştır (Chueco ve ark., 2015).

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmanın materyalini, Bitlis Eren Üniversitesi kampüs sınırları içerisinde yer alan kapalı otopark oluşturmaktadır. Araştırma için kullanılacak veriler, Bitlis Eren Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı'ndan elde edilen kapalı otopark planları ile çalışma sınırları içerisinde yapılan gözlemler, çekilen fotoğraflar oluşturmaktadır. Kapalı otopark; yeraltına inşa edilmiş ve bodrum 1 (-1. kat) ve bodrum 2 (-2. kat) olmak üzere 2 kattan oluşmaktadır. Otoparktaki bodrum 1 katının alanı 5824 m² olup

186 araç kapasitesine ve bodrum 2 katının alanı 5860 m² olup 180 araç kapasitesine sahiptir. Üniversitede, yaklaşık 10 bin öğrenci öğrenim görmekte ve bine yakın personel çalışmaktadır. Ayrıca kampüs alanı içersinde akademik ve idari personellerin kaldığı lojmanlar bulunmaktadır. Kapalı otoparkın girişten görünüşü Şekil 1’de verilmiştir.



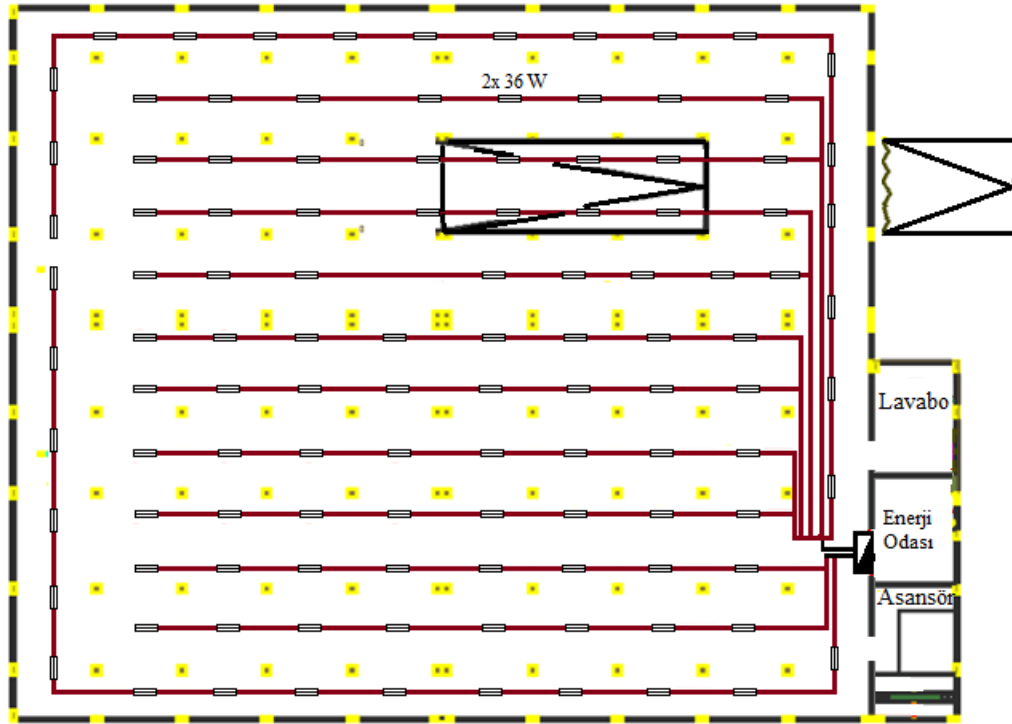
Şekil 1. Kapalı otoparkın girişten görünüşü

Kapalı otopark yeraltına inşaa edilmiş olmasından dolayı gün ışığından faydalanmamakta ve yapay aydınlatma ile aydınlatılmaktadır. Kapalı otopark alanlarında tavan aydınlatma armatürleri kullanılması ve genellikle ışıklandırma performansı yüksek olan lambaların tercih edilmesi enerji verimliliği açısından önemlidir. Bu otoparkın aydınlatmasında, bodrum 1 katında 116 adet ve bodrum 2 katında 110 adet T8 etanj armatür ile 2x36 W gücünde ve 120 cm uzunluğunda floresan lamba kullanılmıştır. Bodrum 1 ve bodrum 2 katındaki lavabo, asansör ve enerji odasında kullanılan lambalar için hesaplama katılmamıştır. Her iki katta aydınlatma amacıyla kullanılan floresan armatürün görüntüsü Şekil 2’de verilmiştir.

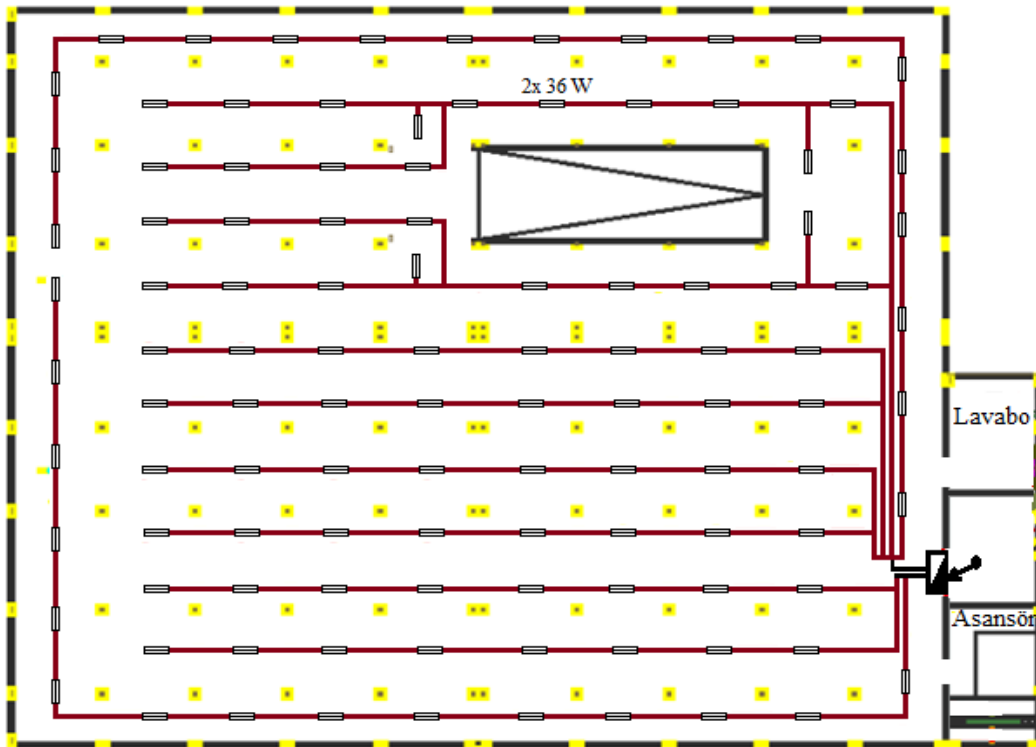


Şekil 2. T8 etanj armatür ve 2x36 W gücünde floresan lamba

Kapalı otoparkın bodrum 1 katında, aydınlatmayı sağlamak için kullanılan lambaların yerleştirme planlarının tesisat bağlantısı Şekil 3’de verilmiştir. Benzer şekilde, bodrum 2 katında, aydınlatmayı sağlamak için kullanılan lambaların yerleştirme planlarının tesisat bağlantısı Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 3. Kapalı otopark bodrum 1 aydınlatma tesisatı



Şekil 4. Kapalı otopark bodrum 2 aydınlatma tesisatı

Floresan lambalarla birlikte kullanılması gereken balastların cins ve kaliteleri, elektrik enerjisi tüketimini doğrudan etkilemektedir. Avrupa Aydınlatma Üreticileri Birliği (Committee of EU Luminaires Manufacturers Associations, CELMA) uluslararası enerji verimliliği endeksi (Energy Efficiency Index – EEI)’ne göre 26 mm çaplı tüp (T) floresan lambalarla kullanılan balast sınıfları ve güç sınırlamaları Çizelge 1’de verilmiştir (Uyanık ve ark., 2003).

Çizelge 1. Enerji verimlilik endeksi

Uluslararası Lamba Kodu	Lamba gücü		Sınıf						
	50 Hz	YF	A1	A2	A3	B1	B2	C	D
FD-15-E-G13-26/450	15 W	13.5 W	9 W	16 W	18 W	21 W	23 W	25 W	>25 W
FD-18-E-G13-26/600	18 W	16 W	10.5 W	19 W	21 W	24 W	26 W	28 W	>28 W
FD-30-E-G13-26/895	30 W	24 W	16.5 W	31 W	33 W	36 W	38 W	40 W	>40 W
FD-36-E-G13-26/1200	36 W	32 W	19 W	36 W	38 W	41 W	43 W	45 W	>45 W
FD-38-E-G13-26/1047	38 W	32 W	20 W	38 W	40 W	43 W	45 W	47 W	>47 W
FD-58-E-G13-26/1500	58 W	50 W	29.5 W	55 W	59 W	64 W	67 W	70 W	>70 W
FD-70-E-G13-26/1800	70 W	60 W	36 W	68 W	72 W	77 W	80 W	83 W	>83 W

Çizelge 1’deki B1, B2, C ve D sınıfları manyetik balastları, A1, A2 ve A3 sınıfları ise elektronik balastları ifade etmektedir. Çizelge 1’den görüldüğü gibi, C sınıfı manyetik balast ile kullanılan 36 W’lık tüp floresan lamba şebekeden 45 W güç çekerken, A2 tipi elektronik balast ile kullanıldığında çektiği güç lamba gücüne eşit, sadece 36 W olmaktadır. Bu çalışmada kullanılan floresan lambalar A2 tipi elektronik balastlı olarak seçilmiştir. Kullanılan floresan lambanın teknik özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Kullanılan floresan lambanın teknik özellikleri (Anonim 2017)

Lamba gücü	Işık akısı	Renksel geri verim indisi (Ra)	Renk sıcaklığı	Etkinlik faktörü	Lamba ömrü
36 W	2500 lm	78	12000 K	80 lm/W	10000 saat

Kapalı otoparkın aydınlatılmasında enerji verimliliğini sağlamak için floresan lambaların, enerji tasarruflu LED lambalarla değişimi yapılması durumunda enerji tasarrufu sağlanacaktır. Floresan lamba yerine kullanılacak LED lambaların ışık akısı, renksel geri verim indisi, renk sıcaklığı ve etkinlik faktörleri, floresan lambaya ait değerler uygun olmalıdır. Bu kriterlere göre seçilen LED lambanın teknik özellikleri Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Floresan lamba yerine kullanılan LED lambanın teknik özellikleri (Anonim 2015)

Lamba gücü	Işık akısı	Renksel geri verim indisi (Ra)	Renk sıcaklığı	Etkinlik faktörü	Lamba ömrü
48 W	7000 lm	>70	6500 K	145 lm/W	50000 saat

Kullanılacak LED lamba armatürünün, floresan lamba armatürü yerine takılması nedeniyle kapalı otoparktaki armatür düzeninin aynı kalmasını ve ekstra kablo masrafı oluşmasını diye floresan lamba ile aynı boyutta seçilmiştir. Seçilen LED lamba görüntüsü, Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5. 48 W 6500 K 120 cm LED armatür

Kapalı otoparkın aydınlatması için floresan lamba bağlantıları için tesisatta $3 \times 2.5 \text{ mm}^2$ NHXMH ve $5 \times 2.5 \text{ mm}^2$ NHXMH kablolar kullanılmıştır. Bu kablolar, bakır iletken, XLPE izole, HFFR dolgu, HFFR dış kılıfa sahiptir. Oteller, okullar, yüksek binalar, otoparklar, hastaneler, bilgi işlem merkezleri ve insanların yoğun olarak bulunduğu iş merkezleri ile yangına hassas bölgelerde kullanılırlar. Enerji verimliliği için aynı iletkenlerden faydalanılacağından kablo ve işçilik maliyeti hesaplamalara dahil edilmemiştir. Lambaların değişim maliyeti, lamba fiyatları ile birlikte değerlendirilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Kapalı otoparkın bulunduğu yer ve hizmet verdiği kesim dikkate alındığında, aydınlatmasında kullanılan lambaların günde ortalama 12 saat çalıştığı varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Enerji Tüketim Hesabı

Kapalı otoparkta kullanılan floresan lamba ve onun yerine kullanılacak LED lamba için enerji tüketim hesabı aşağıdaki hesaplanmıştır.

Floresan lamba için günlük enerji tüketimi;

Kapalı otoparkın bodrum 1 katında 116 adet $2 \times 36 \text{ W}$ gücünde floresan lamba, bodrum 2 katında 110 adet $2 \times 36 \text{ W}$ gücünde floresan lamba kullanılmıştır.

Toplam güç: $(116+110) \times 2 \times 36 \text{ W} = 16\ 272 \text{ W}$

Lambaların günde 12 saat (h) çalıştığı dikkate alındığında günlük enerji tüketim miktarı;

$16\ 272 \text{ W} \times 12 \text{ h} = 195.264 \text{ kWh}$

Kapalı otoparkın aydınlatılması yılın 365 günü yapıldığından, yıllık toplam enerji tüketimi;

$195.264 \text{ kWh gün}^{-1} \times 365 \text{ gün} = 71\ 271.360 \text{ kWh}$

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından onaylanan ve 01.01.2020 tarihinden uygulanacak tarifelere göre enerji birim fiyatı; $0.8376 \text{ TL kWh}^{-1}$ 'dir.

Yıllık enerji tüketim bedeli; $71\ 271.360 \text{ kWh} \times 0.8376 \text{ TL kWh}^{-1} = 59\ 696.89 \text{ TL}$

LED lamba kullanılması durumunda günlük enerji tüketimi;

LED Lamba (Floresan lambanın yerine): $(116+110) \times 48 \text{ W} \times 12 \text{ h} = 130\ 176 \text{ kWh gün}^{-1}$

Yıllık enerji tüketimi; $130\ 176 \text{ kWh gün}^{-1} \times 365 \text{ gün} = 47\ 514.240 \text{ kWh}$

Yıllık enerji tüketim bedeli; $47\ 514.240 \text{ kWh} \times 0.8376 \text{ TL kWh}^{-1} = 39\ 797.93 \text{ TL}$

Floresan lambanın ömrü: 10 000 saat

Yıllık çalışma süresi: $(12 \text{ saat gün}^{-1}) \times 365 \text{ gün} = 4\ 380 \text{ saat}$

Floresan lamba değiştirme süresi: $10\ 000 \text{ saat} / (4\ 380 \text{ saat yıl}^{-1}) = 2.283 \text{ yıl}$

LED lambanın ömrü: 50 000 saat

LED (Floresan lamba yerine) yıllık çalışma süresi: $(12 \text{ saat}) \times 365 \text{ gün} = 4\ 380 \text{ saat}$

LED (Floresan lamba yerine) lamba değiştirme süresi: $50\ 000 \text{ saat} / (4\ 380 \text{ saat yıl}^{-1}) = 11.415 \text{ yıl}$

Maliyet Hesabı

Lamba fiyatları markadan markaya veya firmadan firmaya değişiklik göstermektedir. Bu nedenle piyasa araştırmasına göre ortalama lamba fiyatları Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Ortalama lamba fiyatları

Lamba tipi	Güç (W)	Ortalama lamba fiyatı (TL adet ⁻¹)
Floresan	36	12
LED	48	32

Floresan armatürün ilk yatırım maliyeti ;

2x36W 120 cm elektronik balastlı etanj armatürü (floresan lamba dahil) fiyatı;120 TL

Kapalı otoparkta kullanılan toplam armatür 226 (116+110) adettir.

İlk yatırım maliyeti: 120 TLx226 =27 120 TL

Yıllık lamba değiştirme maliyeti;

36 W gücündeki Floresan lambadan 2x226 =452 adet vardır.

Floresan lamba: (12 TLx452)/2.283 yıl =5424 TL/2.283= 2 375.82 TL yıl⁻¹

Toplam yıllık lamba değiştirme maliyeti; 2 375.82 TL

Floresan lamba için yıllık işletme maliyeti: Yıllık enerji tüketim bedeli+yıllık lamba değiştirme maliyeti

Yıllık İşletme maliyeti: 59 696.89 TL + 2 375.82 TL = 62 072.71 TL

Toplam maliyet; ilk yatırım maliyeti+ yıllık işletme maliyeti

Toplam maliyet: 27 120 TL + 62 072.71 TL =89 192.71 TL

LED lamba armatür için ilk yatırım maliyeti;

48 W LED lamba armatürü (lamba dahil) fiyatı 295 TL' dir.

Kapalı otoparkta kullanılan toplam armatür 226 adettir.

İlk yatırım maliyeti: 295 TLx226 =66 670 TL

Yıllık LED lamba değiştirme maliyeti;

LED Lamba (Floresan lamba yerine): (32 TLx226)/11.415 =7 232 TL/11.415 yıl= 633.55 TL yıl⁻¹

LED lamba için yıllık işletme maliyeti; Yıllık enerji tüketim bedeli+yıllık lamba değiştirme maliyeti

Yıllık işletme maliyeti; 39 797.93 TL +633.55 TL = 40 431.48 TL

LED lamba için toplam maliyet: İlk yatırım maliyeti+yıllık işletme maliyeti

LED lamba için toplam maliyet: 66 670 TL +40 431.48 TL = 107 101.48 TL

LED lambanın ilk yatırım maliyeti floresan lambaya göre daha fazladır. Ancak daha düşük enerji tüketimi ile bu maliyet amorti edilebilir. Amorti süresi, aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

Floresan lambanın ilk yatırım maliyeti (TL)+ Amorti süresi x Floresan lambanın yıllık işletme maliyeti (TL) = LED lambanın ilk yatırım maliyeti (TL)+ Amorti süresi x LED lambanın yıllık işletme maliyeti (TL)

27 120 TL+ Amorti süresi x62 072.71 TL yıl⁻¹ =66 670 TL+Amorti süresi x 40 431.48 TL yıl⁻¹

$$66\ 670\ \text{TL} - 27\ 120\ \text{TL} = A_s (62\ 072.71\ \text{TL}\ \text{yıl}^{-1} - 40\ 431.48\ \text{TL}\ \text{yıl}^{-1})$$

$$39\ 550\ \text{TL} = \text{Amorti süresi} \times 21\ 641.23\ \text{TL}\ \text{yıl}^{-1}$$

$$\text{Amorti süresi} = 39\ 550\ \text{TL} / 21\ 641.23\ \text{TL}\ \text{yıl}^{-1} = 1.83\ \text{yıl}$$

Yapılan hesaplama göre, kapalı otoparkta 2x36 W floresan lamba yerine 48 W LED lamba kullanılması durumunda ilk yatırım maliyetindeki bedelden dolayı 1.83 yıl içinde kendini amorti edebilecektir.

Bitlis Eren Üniversitesine ait kapalı otoparkta kullanılan 2x36 W floresan lambalar ile 48 W LED lambalar için yıllık enerji tüketimi, ilk yatırım maliyeti, yıllık lamba değiştirme maliyeti, yıllık işletme maliyeti ve toplam maliyet karşılaştırmaları Çizelge 5'te verilmiştir. Çizelge 5'ten görüldüğü gibi floresan lambanın LED lamba ile değiştirilmesi ile yılda 23 757.12 kWh enerji tasarrufu sağlandığı hesaplanmıştır. Ayrıca kapalı otoparklarda LED lambanın kullanılması, enerji tasarrufu sağladığı gibi işletme ve bakım maliyetlerini de düşürmektedir.

Çizelge 5. Floresan lamba ve LED lambanın maliyet karşılaştırması

Lamba tipi	Güç (W)	Lamba sayısı	Yıllık enerji Tüketimi (kWh)	İlk yatırım maliyeti (TL)	Yıllık lamba değiştirme maliyeti (TL)	Yıllık işletme maliyeti (TL)	Toplam maliyet (TL)
Floresan	36	452	71 271.360	27 120	2 375.82	62 072.71	89 192.71
LED	48	226	47 514.240	66 670	633.55	40 431.48	107 101.48
Tasarruf			23 757.12		1 742.27	21 641.23	

SONUÇ

Günümüzde enerjiye olan talebin her geçen gün artması nedeniyle enerji verimliliği ve tasarrufuna yönelik çalışmalara olan ilgi artmıştır. Bu çalışmalardan aydınlatma alanında en güncel uygulamalardan biri yüksek güç harcayan lambaların daha düşük güç harcayan lambalarla değiştirilmesi uygulanmasıdır. Kapalı otopark ve bina aydınlatma projelerinde LED teknolojisi uygun maliyetli bir çözüm haline gelmektedir. LED lamba, düşük enerji tüketimi, uzun kullanım ömrü ve düşük bakım oranları avantajlarından bazılarıdır. Bu nedenle kapalı otoparklarda floresan lamba yerine LED kullanılması enerjiyi verimli kullanma açısından önemlidir. LED lambalar, floresan lambalara daha düşük enerji tüketimi nedeniyle maliyet tasarrufu sağlamaktadır. Ancak, LED armatürlerinin ilk yatırım fiyatı, floresan lambalara göre daha fazladır. Yapılan hesaplama göre, Bitlis Eren Üniversitesine ait kapalı otoparkta kullanılan 2x36 W gücündeki floresan lambaların LED lamba ile değiştirilmesi ile yılda 23 757.12 kWh enerji tasarrufu sağlandığı görülmüştür. Ayrıca kapalı otoparkta LED lambanın kullanılması, enerji tasarrufu sağladığı gibi işletme ve bakım maliyetlerini de düşürmektedir.

Kapalı otoparkta kullanılan 2x36 W floresan lambanın ilk yatırım maliyeti 27 120 TL olmaktadır. Bu lambanın yerine kullanılan 48 W LED lambanın ilk yatırım maliyeti ise 66 670 TL olarak hesaplanmıştır. LED lambanın düşük enerji tüketimi ile bu maliyetin 1.83 yıl içinde kendini amorti etmesi hesaplanmıştır. Amorti süresinden sonra enerjinin daha verimli kullanılması sağlanacaktır. Ayrıca, kapalı otopark aydınlatmasında, enerji verimli lambaların kullanılması, doluluk sensörleri ile aydınlatma kontrollerinin yapılması, aşırı aydınlık alanlarda aydınlatmanın azaltılmasıyla enerji tasarrufu sağlamak mümkündür. Gün ışığından faydalanmayan kapalı otoparklarda elektrik kesintisi durumunda, aydınlatma seviyelerinin güvenli sınırlar dahilinde tutulması için acil aydınlatma kiti veya bu kit ile donatılmış aydınlatma armatürleri kullanılmalıdır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan kapalı otopark verileri, Bitlis Eren Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığından alınmıştır.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2015. Vestel LED Aydınlatma, <http://ledyapi.com/katalog/vestel.pdf> (Erişim Tarihi:02.01.2020)
- Anonim, 2017. Philips Aydınlatma, http://www.alkankardesler.com/Assets/Documents/Philips_Aydinlatma_Nisan_2017_Fiyat_Listesi.pdf (Erişim tarihi: 02.01.2020)
- Balocco C, Volante G, 2019. A Method for Sustainable Lighting, Preventive Conservation, Energy Design and Technology Lighting a Historical Church Converted into a University Library, Sustainability, 11: 3145.
- Chueco F, Fernando F, Bobadilla M, 2015. Technical and Economic Evaluation of Fluorescent and LED Luminaires in Underground Mining, Energy and Buildings, 93: 16-22.
- Hong I, Byun J, Park S, 2012. Intelligent LED Lighting System with Route Prediction Algorithm for Parking Garage, The First International Conference on Intelligent Systems and Applications, pp:54-59.
- Kralikova R, Andrejiova M, Wessely E, 2015. Energy Saving Techniques and Strategies for Illumination in Industry, Procedia Engineering, 100 : 187 – 195.
- Kramer RA, 2007. Optimization of the Energy Efficiency of a Parking Garage, Energy Engineering 104 (6):23-38.
- LightSavers-LEDParkingLighting-Primer%20.pdf (Erişim Tarihi :03.01.2020)
- Perdahçı C, 2018. Metal İşleme Tesis Aydınlatmasında Led Lamba Ve Floresan Lamba Karşılaştırılması. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 30 (3), 105-113.
- Onaygil S, 2013. Aydınlatmada Enerji Verimliliği: LED Teknolojisi, Elektrik Mühendisliği Dergisi, 46:29-31.
- Uyanık M, Sarıbaş N, 2003. Aydınlatmada Enerji Verimliliği ve Balast İlişkisi, II. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi, Diyarbakır.
- Yılmaz E, Şahin İ, Kocadağ N, 2019. LED Işık Kaynaklı, Enerji Tasarruflu ve Yüksek Verimli Ofis Aydınlatma Armatürü Tasarımı. Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD), 5 (2):138-150.
- Yılmaz, E. 2018. Aydınlatma Uygulamaları, Özel Ofset Matbaa Ltd. Şti., ISBN (978-605-81266-0-2), Ankara.

T Kaotik Sisteminin Geri Besleme ile Kontrolü

Selçuk EMİROĞLU^{1*}, Yılmaz UYAROĞLU¹

ÖZET: Bu çalışmada, T sisteminin kaotik davranışı Lyapunov üstelleri, Kaplan-Yorke boyutu ve denge noktaları analiz edilerek gösterilmiştir. Daha sonra belirli parametreler altında kaotik davranış gösteren T sisteminin doğrusal geri beslemeli kontrol yardımıyla kontrolü araştırılmıştır. Denge noktaları etrafında kontrol edilen sistemin kararlılığını sağlamak için Routh-Hurwitz kriteri kullanılmıştır. T kaotik sistemini tek durum değişkeni geri besleme ile kontrol etmek için geri besleme katsayısı hesaplanmış daha sonra iki ve üç durum geri besleme ile sistemin kontrolü için aynı işlemler tekrarlanmıştır. Routh-Hurwitz kriteri kullanılarak geri besleme katsayıları hesaplanarak tasarlanan kontrolör T kaotik sistemine eklenmiştir. Kontrollü sistemde geri besleme katsayısı değişiminin sistemin kontrolünü nasıl etkilediği faz portreleri ile gösterilmiştir. Doğrusal geri beslemeli kontrolörün tasarlanması ve uygulanması oldukça basittir. Kontrolör basit yapıya sahip olduğundan donanımsal olarak maliyeti düşüktür ve pratik olarak gerçekleştirilmesi kolaydır. Geri beslemeli kontrolün uygulanmasıyla kontrollü sistemin sıfır ve diğer denge noktalarına yakınsadığı bilgisayar benzetim çalışmalarıyla gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: T sistemi, kaos kontrolü, geri beslemeli kontrol, Routh-Hurwitz Metodu.

Feedback Control of the T Chaotic System

ABSTRACT: In this study, the chaotic behavior of the T system is shown by analyzing Lyapunov exponents, Kaplan-Yorke dimension and equilibrium points. Also, the chaos control of T system showing chaotic behavior under certain parameters is investigated via linear feedback control. Routh-Hurwitz criterion is used to provide the condition of stability of the controlled system around the equilibrium points. The feedback gain is calculated to control the T chaotic system with single state feedback, then the same calculations repeated for the control of the system with two and three state feedback. The controller designed by calculating the feedback coefficients using the Routh-Hurwitz criterion is added to the T chaotic system. It is shown by phase portraits how the change of the feedback gains affects the control of the system. The design and implementation of the controller is quite simple. Due to the simple structure of the controller, the controller hardware is low and realized conveniently. Simulation results show that the controlled system with the application of feedback control converges to zero and other equilibrium points.

Keywords: Chaotic T system, chaos control, feedback control, Routh-Hurwitz Method.

¹ Selçuk EMİROĞLU (Orcid ID: 0000-0001-7319-8861), Yılmaz UYAROĞLU (Orcid ID: 0000-0001-5897-6274), Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Selçuk EMİROĞLU, e-mail: selcukemiroglu@sakarya.edu.tr

Geliş tarihi / Received: 21/01/2020

Kabul tarihi / Accepted: 25/03/2020

GİRİŞ

Kaotik sistemler başlangıç şartlarına ve sistem parametrelerine hassas bağıllık gösteren, önceden tahmin edilemeyen karmaşık sistemler olarak tanımlanabilir. Başlangıç şartlarına ve sistem parametrelerine hassas bağımlılığı kaotik davranışın önemli bir karakteristiğidir (Uyaroğlu, 2006). 1963 yılında Lorenz atmosferik aktarım üzerinde çalışırken ilk üç boyutlu kaotik çakeri bulmuştur (Lorenz, 1963). Lorenz' den sonra kaos çok ilgi çeken bir araştırma konusu haline gelmiş. Rössler (Rössler, 1976), Chen (Chen, 1990), Lü (Liu, 2004) ve birçok yeni 3 boyutlu (Gholamin, 2017, Joshi, 2019) kaotik sistemler ile 4 boyutlu (Singh, 2018) ve çeşitli boyutlarda (Sabaghian, 2020, Hu, 2018, Singh, 2018) hiper kaotik sistemler ortaya çıkmıştır.

Kaos kavramının tanımlanması ve kaotik sistemlerin özelliklerinin belirtilmesiyle literatürde kaos konusu ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Kaos, güvenli haberleşme (Kocamaz, 2018), doğrusal olmayan devreler (Chithra, 2017) ve güç elektroniği (Emiroglu, 2017) gibi birçok alanda bilim insanlarının dikkatini çekmiştir. Bunlardan ilgi çeken diğer bir konu olarak, kaosun ve kaotik davranışın olumsuz olarak algılandığı ve bu tür davranışların görülmemesi istenen sistem yapılarında kaos kontrol çalışmalarıdır (Murali, 1995).

Kaos kontrolünde ana amaç kaotik osilasyonları tamamen ortadan kaldırmak veya düzenli duruma-osilasyonlara indirgemektir. İlk olarak Ott, Grebogi ve Yorke kaotik sistemlerin kontrolü için Ott-Grebogi-Yorke (OGY) metodu olarak adlandırılan bir kontrol metodu bularak kaotik sistemlerin kontrol edilebileceğini göstermişlerdir (Ott, 1990). OGY kontrol metodu ile birlikte kaos kontrolü üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Daha sonra bilim insanları tarafından kaos kontrol ve kaotik sistemlerin kontrolü için uyarlamalı kontrol (Jian, 2016), kayma kipli kontrol (Nazzal, 2007), pasif kontrol (Kocamaz, 2017), geri beslemeli kontrol (Yassen, 2005), doğrusal kontrol (Fu, 2020, Ullah, 2020) gibi birçok kontrol yöntemi çeşitli kaotik sistemlere uygulanmıştır. Bu kontrol metotları çeşitli mühendislik uygulamalarında kullanılmış ve böylece kaotik sistemlerin kontrolü son yıllarda daha fazla ilgi görmeye başlamıştır (Zhang, 2009).

Fu ve arkadaşları, uygulanması ve donanımsal gerçekleştirilmesi basit olan bir doğrusal kontrolör tasarlamışlardır (Fu, 2020). Bu doğrusal kontrolör ile kaotik sistem asimptotik olarak denge noktasına ayrıca farklı istenilen durumlara yakınsadığı veya takip ettiği gösterilmiştir (Fu, 2020). Ullah ve arkadaşları da kesirli dereceli doğrusal olmayan dinamik süspansiyon sisteminde oluşan kaotik titreşimleri önlemek için durum geri beslemeli kontrolör tasarlamışlardır. Tasarlanan kontrolörün süspansiyon sistemindeki kaotik titreşimleri azaltıp yok ettiği benzetimler ile gösterilmiştir (Ullah, 2020). Hiper kaotik Rabinovich sistemi için doğrusal geri beslemeli, kayan kipli ve pasif kontrol tabanlı kontrolörler tasarlanmış ve kontrolörlerin performansları karşılaştırılmıştır (Kocamaz, 2017). Yassen yeni geliştirdiği 3 boyutlu kaotik sistemin kontrolü ve senkronizasyonu için doğrusal geri beslemeli kontrol uygulamıştır. Tasarlanan farklı doğrusal geri beslemeli kontrolörler ile sistemde oluşan kaosun kontrol edildiği gösterilmiştir (Yassen, 2005). Belirli şartlar altında kaotik davranan kalıcı mıknatıslı senkron motora uyarlamalı kontrol uygulanmıştır. Uyarlamalı kontrol sayesinde bazı sistem belirsizlikleri olmasına rağmen sistemde meydana gelen kaos kontrol edilmiştir (Jian, 2016). Nazzal iki farklı kaotik sistemdeki kaotik osilasyonları yok etmek için kayan kipli kontrolör tasarlamıştır (Nazzal, 2007).

Tigan 2005 yılında yeni bir üç boyutlu kaotik sistem geliştirdi (Tigan, 2005). Daha sonra Tigan tarafından bu sistemin analizi yapılarak T sistemi olarak adlandırıldı (Tigan, 2008). Bu çalışmada T kaotik sistemi geri beslemeli kontrol kullanılarak sistemdeki kaos kontrol edilmiştir. Geri beslemeli kontrolörler Rooth-Hurwitz kriteri kullanılarak tasarlanmıştır. Sistem analizi bölümünde, T kaotik

sisteminin dinamik davranışı Lyapunov üstelleri, Kaplan-Yorke boyutu, zaman serileri ve faz portreleri ile gösterilmiştir. Kontrol bölümünde tasarlanması ve uygulanması basit olan çeşitli geri beslemeli kontrolörler tasarlanmıştır. Kontrolörlerin sisteme uygulanmasıyla kaotik davranan sistemin sıfır ve diğer denge noktalarına yakınsadığı benzetimler ile gösterilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

T kaotik sisteminin modellenmesi

T kaotik sistemi (1) aşağıdaki denklem takımıyla tanımlanmaktadır (Tigan, 2005):

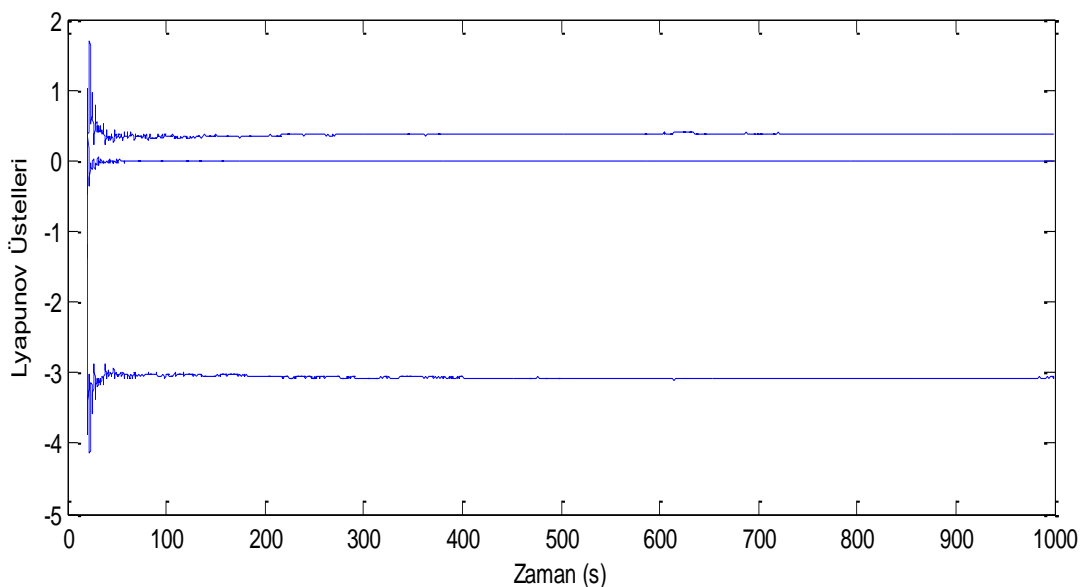
$$\begin{cases} \dot{x}_1 = a(x_2 - x_1) \\ \dot{x}_2 = (c - a)x_1 - ax_1x_3 \\ \dot{x}_3 = -bx_3 + x_1x_2 \end{cases} \quad (1)$$

Burada a , b , c sistem parametreleri ve x_1 , x_2 , x_3 durum değişkenleridir. Denklemlerden görüldüğü gibi bu kaotik sistem, çarpım terimleriyle nonlinearliği sağlayan 3. dereceden bir sistemdir. Sistemin denge noktalarını hesaplırsak,

$$\begin{cases} a(x_2 - x_1) = 0 \\ (c - a)x_1 - ax_1x_3 = 0 \\ -bx_3 + x_1x_2 = 0 \end{cases} \quad (2)$$

denge noktaları $Q_1(0, 0, 0)$, $Q_2(\sqrt{\frac{b(c-a)}{a}}, \sqrt{\frac{b(c-a)}{a}}, \frac{(c-a)}{a})$ ve $Q_3(-\sqrt{\frac{b(c-a)}{a}}, -\sqrt{\frac{b(c-a)}{a}}, \frac{(c-a)}{a})$ olarak bulunur. Parametreler $a=2.1$, $b=0.6$, $c=30$ olduğunda denge noktaları $Q_1(0, 0, 0)$, $Q_2(2.8234, 2.8234, 13.2857)$ ve $Q_3(-2.8234, -2.8234, 13.2857)$ olarak hesaplanır.

Lyapunov üstelleri sistemin kaotik olup olmadığını gösteren bir analiz yöntemidir. Hesaplanan Lyapunov üstellerinden en az bir tanesi pozitif ise o sistem kaotik sistem olarak adlandırılır (Greiner, 2010). Ayrıca sistemin kaotik davranışını incelemek için Lyapunov boyutu veya Kaplan-Yorke boyutu olarak da adlandırılan ölçüm kullanılır.



Şekil 1. T kaotik sisteminin Lyapunov Üstelleri

Parametreler $a=2.1$, $b=0.6$, $c=30$ seçilerek, sistemin Lyapunov üstelleri Şekil 1’ de görüldüğü gibi $\lambda_1=0.36>0$, $\lambda_2=0$ ve $\lambda_3=-3.06<0$ olarak hesaplanır. Sistemin Lyapunov üstellerinden birincisi pozitif ikincisi sıfır ve diğeri negatif olmakla beraber Lyapunov üstellerinin toplamı negatif olduğundan sistem kaotik davranır. Ayrıca sistemin kaotik olması için Kaplan-Yorke boyutunun 2 ile 3 arasında olması beklenmektedir (Sprott, 2003). T sisteminin Kaplan-Yorke boyutunun 2,1176 olarak hesaplanmasıyla kaotik davranış sergilediği söylenir.

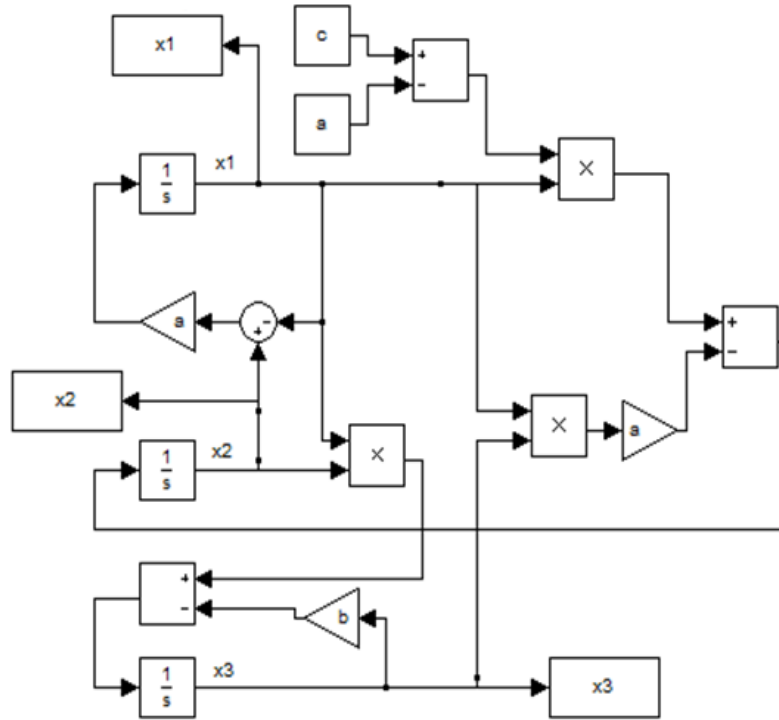
$$D_{KY} = j + \frac{\sum_{i=1}^j \lambda_i}{|\lambda_{j+1}|} = 2 + \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{|\lambda_3|} = 2 + \frac{0,36 + 0}{|-3,06|} = 2,1176$$

Liouville teoremine göre kaotik sistemlerde $\nabla V < 0$ olmalıdır (Shivamoggi, 2014). T sisteminde

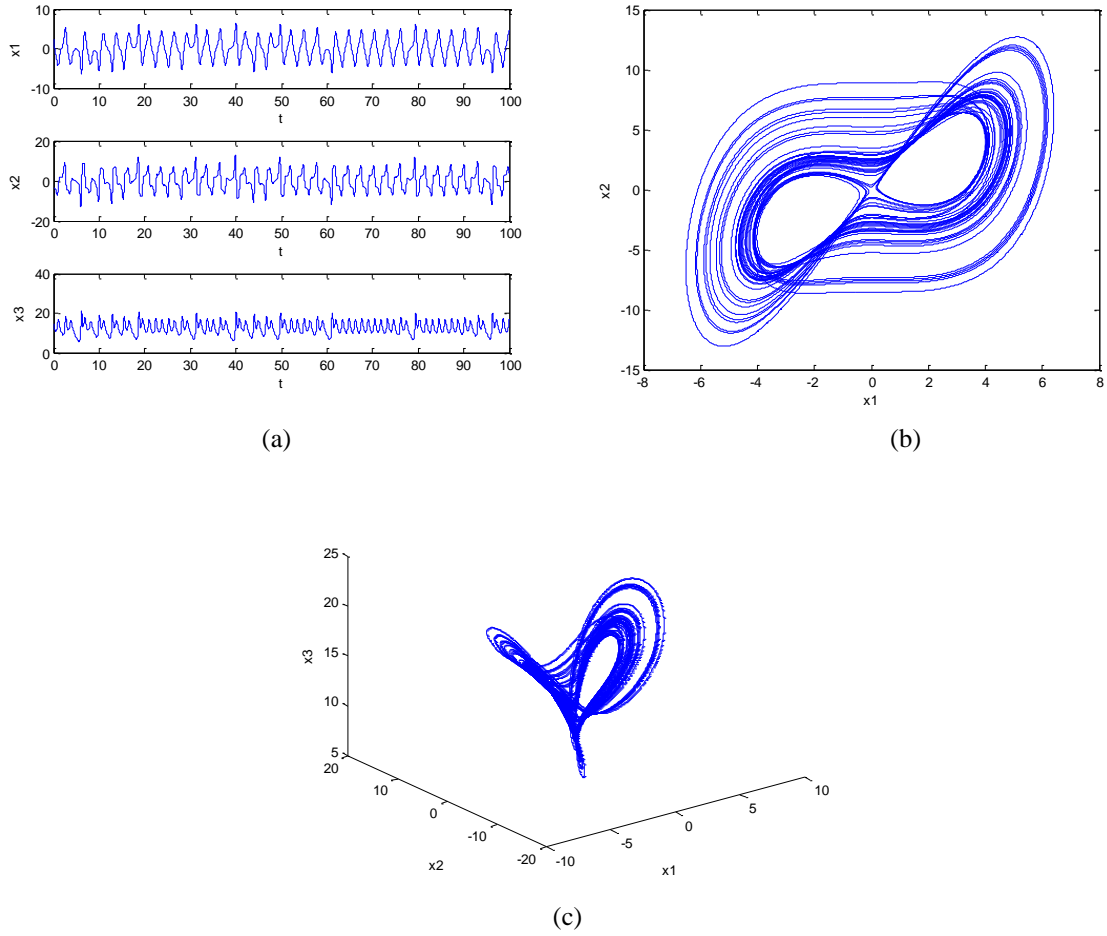
$$\nabla V = \frac{\partial \dot{x}_1}{\partial x_1} + \frac{\partial \dot{x}_2}{\partial x_2} + \frac{\partial \dot{x}_3}{\partial x_3} = -a - b = -2,7 < 0$$

olarak hesaplanır.

T çekicisinin Şekil 2’ de verilen Matlab-Simulink modeli kullanılarak x_1 , x_2 , x_3 zaman serileri ve x_1 , x_2 , x_3 düzlemi faz portreleri Şekil 3’ teki gibi elde edilmiştir.



Şekil 2. T sisteminin Matlab-Simulink modeli



Şekil 3. T sisteminin (a) Zaman serileri (b) $x_1 - x_2$ faz uzayı (c) x_1, x_2, x_3 faz uzayı

T sisteminin geri besleme ile kontrolü

Kontrollü sistem (3) aşağıdaki gibi verilmiştir. Aşağıdaki sistemde bir durum değişkeni belli bir katsayı ile çarpılarak diğer durum değişkenin denklemine eklenmiştir.

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = 2.1(x_2 - x_1) \\ \dot{x}_2 = 27.9x_1 - 2.1x_1x_3 - kx_1 \\ \dot{x}_3 = -0.6x_3 + x_1x_2 \end{cases} \quad (3)$$

Burada k geri besleme katsayısıdır. Sistemin sıfır denge noktasında doğrusallaştırılmış jacobian matrisi aşağıdaki gibi bulunur.

$$J = \begin{pmatrix} -2.1 & 2.1 & 0 \\ 27.9 - k & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0.6 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Buradan karakteristik denklem aşağıdaki gibi hesaplanır.

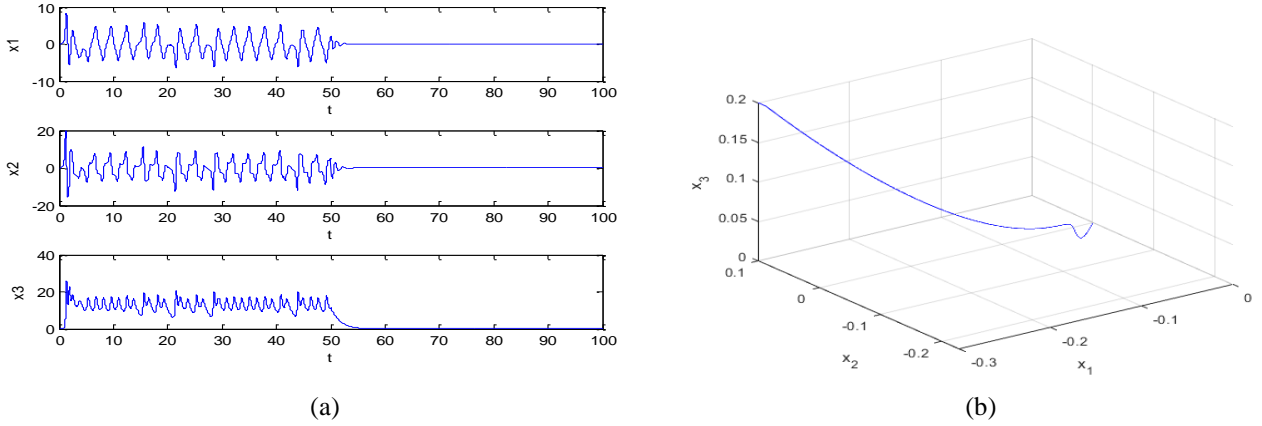
$$\lambda^3 + c_1\lambda^2 + c_2\lambda + c_3 = 0$$

Kontrollü sistemin kararlılığı Routh-Hurwitz kriterine göre sağlanmıştır. Karakteristik denklemde $c_1 > 0, c_2 > 0, c_3 > 0$ ve $c_1c_2 - c_3 > 0$ şartı sağlandığında tüm öz değerler negatif olur. c_1, c_2, c_3 karakteristik denklemin katsayılarıdır. Sıfır denge noktasında kontrolsüz sistemin özdeğerleri -8.7761,

6.6761 ve -0.6 olarak hesaplanmıştır. Sistem pozitif öz değere sahip olduğundan kontrolsüz sistem sıfır denge noktasında kararsızdır. Kontrollü sistemin karakteristik denkleminde

$$c_1 = 2.7, c_2 = 2.1k - 57.33, c_3 = 1.26k - 35.154$$

olarak hesaplanır. $k > 27.9$ olduğu zaman $c_1 > 0, c_2 > 0, c_3 > 0$ ve $c_1c_2 - c_3 > 0$ tüm katsayıların pozitif olduğu görülür. $k > 27.9$ olduğu zaman sıfır denge noktasındaki çözüm asimptotik karardır. Routh-Hurwitz teoremine göre sistem (3) $Q_1(0, 0, 0)$ denge noktasına yakınsar. $k=28$ seçildiğinde sistemin sıfır denge noktasına yakınsadığı Şekil 4' te görülmektedir.



Şekil 4. $k=28$ ve (a) Kontrolör 50.sn' de aktif iken kontrollü sistemin zaman serileri (b) Kontrollü sistemin faz portresi

İkinci durum ise aşağıdaki gibidir.

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = 2.1(x_2 - x_1) - kx_2 \\ \dot{x}_2 = 27.9x_1 - 2.1x_1x_3 \\ \dot{x}_3 = -0.6x_3 + x_1x_2 \end{cases} \quad (5)$$

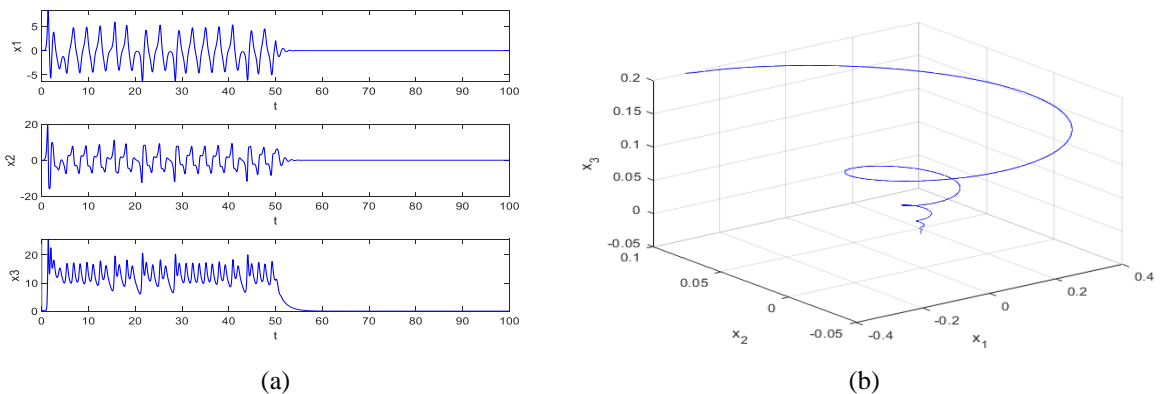
Bu durumda sistemin jacobian matrisi aşağıdaki elde edilir.

$$J = \begin{pmatrix} -2.1 & 2.1 - k & 0 \\ 27.9 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0.6 \end{pmatrix} \quad (6)$$

Burada,

$$c_1 = 2.7, c_2 = 27.9k - 57.33, c_3 = 16.74k - 35.154$$

olarak hesaplanır. $k > 2.1$ olduğu zaman $c_1 > 0, c_2 > 0, c_3 > 0$ ve $c_1c_2 - c_3 > 0$ tüm katsayıların pozitif olduğu görülür. Routh-Hurwitz teoremine göre $k=3$ seçtiğimizde sistem (5) Şekil 5' te görüldüğü gibi $Q_1(0, 0, 0)$ denge noktasına yakınsar.



Şekil 5. $k=3$ ve (a) Kontrolör 50.sn' de aktif iken kontrollü sistemin zaman serileri (b) Kontrollü sistemin faz portresi

İki durum geri besleme değişkeni kullanıldığı durum aşağıda verilmiştir.

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = 2.1(x_2 - x_1) - kx_1 \\ \dot{x}_2 = 27.9x_1 - 2.1x_1x_3 - kx_2 \\ \dot{x}_3 = -0.6x_3 + x_1x_2 \end{cases} \quad (7)$$

Sistemin jacobian matrisi (8)'de elde edilmiştir.

$$J = \begin{pmatrix} -2.1 - k & 2.1 & 0 \\ 27.9 & -k & 0 \\ 0 & 0 & -0.6 \end{pmatrix} \quad (8)$$

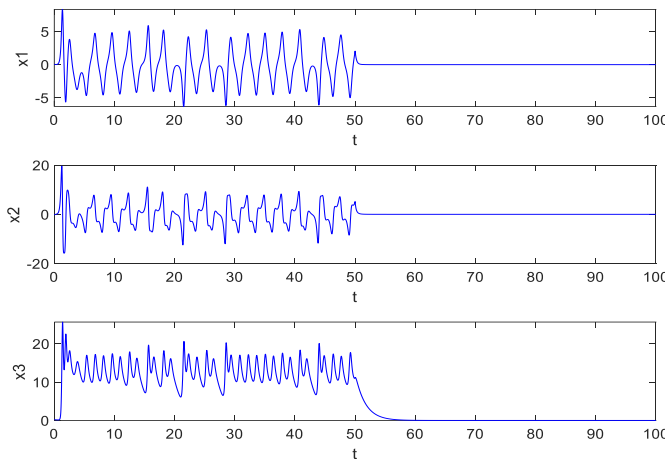
Buradan karakteristik denklem aşağıdaki gibi bulunur.

$$\lambda^3 + c_1\lambda^2 + c_2\lambda + c_3 = 0$$

Burada,

$c_1 = 2k + 2.7$, $c_2 = k^2 + 3.3k - 57.33$, $c_3 = 0.6k^2 + 1.26k - 35.154$ olarak hesaplanır.

$k > 6.677$ olduğu zaman $c_1 > 0$, $c_2 > 0$, $c_3 > 0$ ve $c_1c_2 - c_3 > 0$ tüm katsayıların pozitif olduğu görülür. Routh-Hurwitz teoremine göre $k=7$ durumunda sistem (7) $Q_1(0,0,0)$ denge noktasına yakınsadığı Şekil 6' dan görülmektedir.



Şekil 6. $k=7$ ve kontrolör 50.sn' de aktif iken kontrollü sistemin zaman serileri

Diğer bir durum olarak ise üç durum geri besleme değişkeni kullanıldığı durum aşağıda verilmiştir.

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = 2.1(x_2 - x_1) - kx_1 \\ \dot{x}_2 = 27.9x_1 - 2.1x_1x_3 - kx_2 \\ \dot{x}_3 = -0.6x_3 + x_1x_2 - kx_3 \end{cases} \quad (9)$$

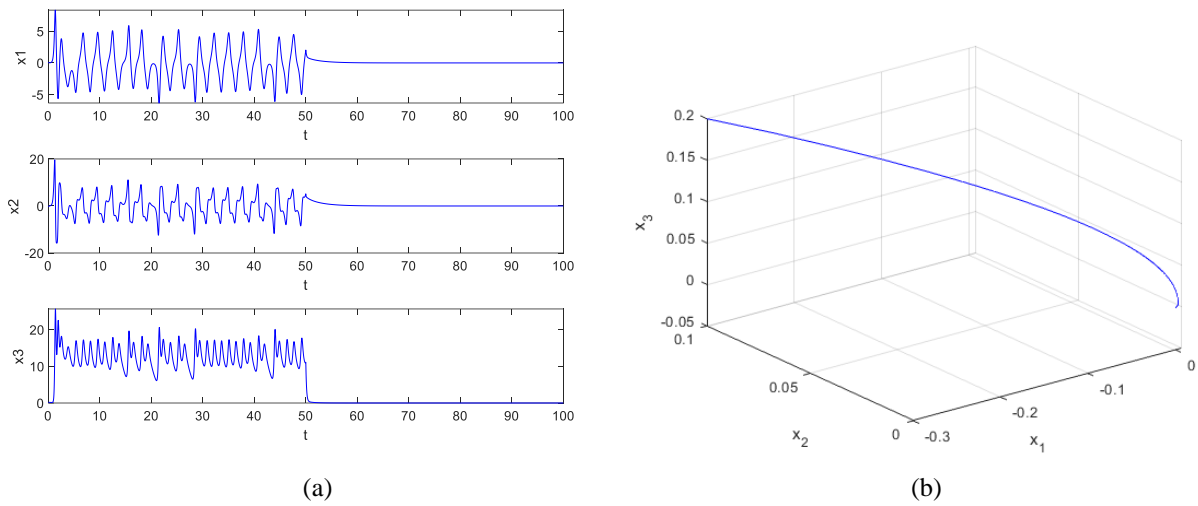
Sistemin jacobian matrisi,

$$J = \begin{pmatrix} -2.1 - k & 2.1 & 0 \\ 27.9 & -k & 0 \\ 0 & 0 & -0.6 - k \end{pmatrix} \quad (10)$$

olur. Burada,

$c_1 = 3k + 2.7$, $c_2 = 3k^2 + 5.4k - 57.33$ ve $c_3 = k^3 + 2.7k^2 - 57.33k - 35.154$ olarak hesaplanır.

$k > 6.677$ olduğu zaman $c_1 > 0$, $c_2 > 0$, $c_3 > 0$ ve $c_1c_2 - c_3 > 0$ tüm katsayıların pozitif olduğu görülür. Routh-Hurwitz teoremine göre sistem (9) $Q_1(0,0,0)$ denge noktasına yakınsar. $k=7$ seçildiğinde sistemin sıfır denge noktasına yakınsadığı Şekil 7' den görülmektedir.



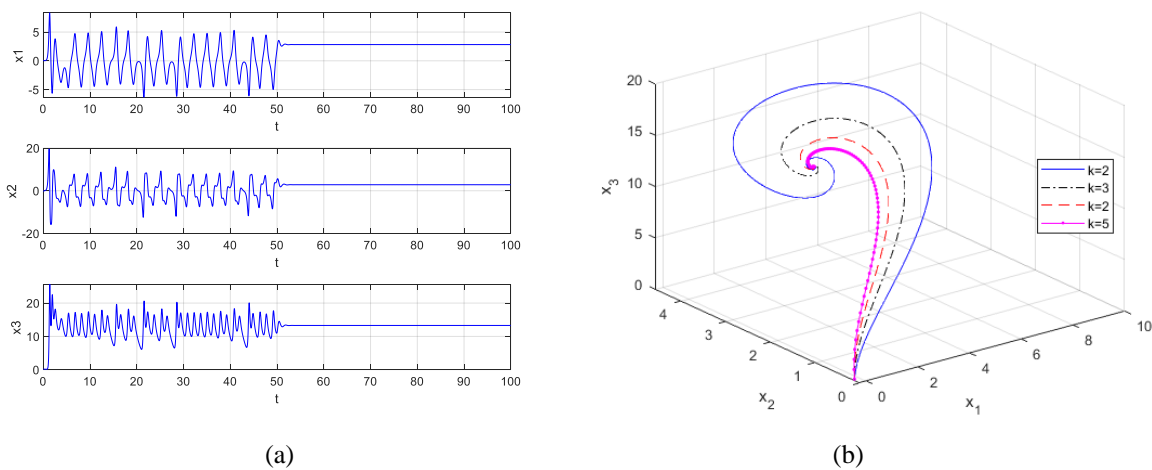
Şekil 7. $k=7$ ve (a) Kontrolör 50.sn' de aktif iken kontrollü sistemin zaman serileri (b) Kontrollü sistemin faz portresi

Diğer denge noktalarında Q_2 ve Q_3 etrafında kontrol etmek için üç durum geri besleme değişkeni kullanıldığı durum aşağıda verilmiştir.

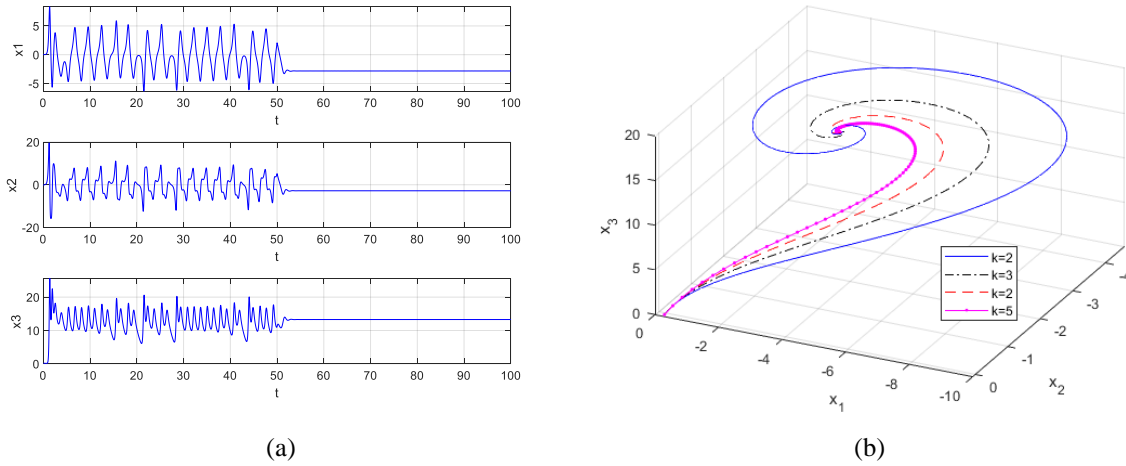
$$\begin{cases} \dot{x}_1 = 2.1(x_2 - x_1) - k(x_1 - \bar{x}_1) \\ \dot{x}_2 = 27.9x_1 - 2.1x_1x_3 - k(x_2 - \bar{x}_2) \\ \dot{x}_3 = -0.6x_3 + x_1x_2 - k(x_3 - \bar{x}_3) \end{cases} \quad (11)$$

Burada, $Q = (\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3)$ sistemin denge noktasıdır, sistem $Q_2(2.8234, 2.8234, 13.2857)$ ve $Q_3(-2.8234, -2.8234, 13.2857)$ denge noktalarında doğrusallaştırıldığında özdeğerler -3.4294 , $0.3647 + 4.5132i$ ve $0.3647 - 4.5132i$ olarak hesaplanmaktadır. Karakteristik denklemin katsayıları $c_1 = 3k + 2.7$, $c_2 = 3k^2 + 5.4k + 18$ ve $c_3 = k^3 + 5.4k^2 + 18k + 70.3$ olarak bulunur.

$k > 0.37$ olduğu zaman $c_1 > 0$, $c_2 > 0$, $c_3 > 0$ ve $c_1c_2 - c_3 > 0$ tüm katsayıların pozitif olduğu görülür. Routh-Hurwitz teoremine göre sistem (11) ayrı ayrı Q_2 ve Q_3 denge noktalarına yakınsar. Şekil 8 ve Şekil 9' dan görüldüğü gibi $k=1$ seçildiğinde sistemin ayrı ayrı $Q_2(2.8234, 2.8234, 13.2857)$ ve $Q_3(-2.8234, -2.8234, 13.2857)$ denge noktalarına yakınsadıkları görülmektedir. Ayrıca k geri besleme katsayısı artırıldıkça daha kısa sürede yakınsadığı Şekil 8 ve Şekil 9' dan görülmektedir.



Şekil 8. (a) Kontrolör 50.sn' de aktif iken kontrollü sistemin zaman serileri ($k=1$) (b) Kontrollü sistemin faz portresi



Şekil 9. (a) Kontrolör 50.sn' de aktif iken kontrollü sistemin zaman serileri ($k=1$) (b) Kontrollü sistemin faz portresi

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada T kaotik sisteminin kontrolü için geri beslemeli kontrol uygulanmıştır. Tüm bilgisayar benzetimlerinde parametreler $a=2.1$, $b=0.6$, $c=30$ ve başlangıç noktaları $x_1(0)=0.1$, $x_2(0)=-0.3$, $x_3(0)=0.2$ seçilmiştir. Kontrolörler 50. sn' den sonra sisteme uygulanmıştır. Faz portreleri elde edilirken ise kontrolörler benzetimin başında sisteme eklenmiştir. Sistemin kontrolü için Routh-Hurwitz kararlılık kriteri kullanılarak sırasıyla bir, iki ve üç durum geri beslemeli kontrolör tasarlanmış ve sisteme eklenmiştir. İlk olarak eşitlik (3)'teki \dot{x}_2 denklemine x_1 durum değişkeni geri besleme yapılarak kontrolör tasarlanmış ve $k>27.9$ olduğunda sistemin $(0, 0, 0)$ denge noktasında asimptotik kararlı olduğu Routh-Hurwitz kriteri ile gösterilmiştir. İkinci durum ise eşitlik (3)'teki \dot{x}_1 durum denkleminde x_2 durum değişkeni $-k$ katsayısı ile çarpılarak eklenmiştir. Bu durumda $k>2.1$ olduğunda sistemin $Q_1(0, 0, 0)$ denge noktasında kararlı olduğu görülmüştür. Diğer bir strateji ise iki durum geri beslemeli kontrolör kullandığımızda, sistemin denge noktasında kararlı olabilmesi için $k>6.677$ olması gerektiği, üç durumlu geri besleme kullandığımızda ise $k>6.677$ olması gerektiği hesaplanmıştır. Bu durumda kaotik sistem sadece $Q_1(0, 0, 0)$ sıfır denge noktasında değil diğer $Q_2(2.8234, 2.8234, 13.2857)$ ve $Q_3(-2.8234, -2.8234, 13.2857)$ denge noktalarında doğrusallaştırılıp geri besleme katsayıları hesaplanıp kontrol edilmiştir. Q_2 ve Q_3 denge noktaları etrafında geri besleme ile kontrol etmek için Routh-Hurwitz kriterine göre $k>0.37$ olması gerektiği gösterilmiştir. Ayrıca k geri besleme katsayısı arttıkça yakınsama zamanının azaldığı benzetimler ile Şekil 8(b) ve 9(b)'de gösterilmiştir.

SONUÇ

Bu çalışmada ilk olarak T sisteminin kaotik davranışı Lyapunov üstelleri, faz portreleri, zaman serileri, Kaplan-Yorke boyutu ve denge noktaları elde edilerek gösterilmiştir. Daha sonra T kaotik sisteminde oluşan kaosun kontrolü doğrusal geri beslemeli kontrol ile gerçekleştirilmiştir. Kontrollü sistemin denge noktaları etrafındaki asimptotik kararlılığı Routh-Hurwitz kriteri ile sağlanmıştır. Yapılan çalışma sonuçlarına göre; T kaotik sisteminin kontrolü Routh-Hurwitz kararlılık kriteri yardımıyla bir, iki ve üç durum değişkeni kullanılarak tasarlanan geri beslemeli kontrolör ile sistemin kontrolü sağlanarak denge noktalarına yakınsadığı benzetimler ile gösterilmiştir. k geri besleme katsayısı artırıldıkça sistemin daha kısa sürede denge noktasına yakınsayarak yerleşme zamanının azaldığı görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Chen G, Ueta T, 1999. Yet another chaotic attractor. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 9 (7): 1465-1466.
- Chithra, A., Raja Mohamed, I., 2017. Synchronization and chaotic communication in nonlinear circuits with nonlinear coupling. *Journal of Computational Electronics*, 16(3), 833–844.
- Emiroglu, S., Uyaroglu, Y., 2017. Time Delay Feedback Control based Chaos Stabilization in Current Mode Controlled DC Drive System, *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 4(10), pp. 100-103.
- Fu, S., Liu, Y., Ma, H. Du, Y., 2020. Control chaos to different stable states for a piecewise linear circuit system by a simple linear control, *Chaos, Solitons and Fractals*, 130, 109431.
- Gholamin, P., Refahi Sheikhan, A. H., 2017. A new three-dimensional chaotic system: Dynamical properties and simulation, *Chinese Journal of Physics*, 55(4), pp. 1300-1309.
- Greiner, W., 2010. Lyapunov Exponents and Chaos, *Classical Mechanics*, pp.503-516.
- Hu, Z., Chan C-K., 2018. A 7-D Hyperchaotic System-Based Encryption Scheme for Secure Fast-OFDM-PON, *Journal of Lightwave Technology*, 36(16), pp. 3373-3381.
- Jian H, Yang Q, Hui L, 2016. Adaptive robust nonlinear feedback control of chaos in PMSM system with modeling uncertainty. *Applied Mathematical Modelling*, 40 (19):8265-8275.
- Joshi, M., Ranjan, A., 2019, New simple chaotic and hyperchaotic system with an unstable node, *AEU- International Journal of Electronics and Communications*, 108, pp. 1-9.
- Kocamaz UE, Uyaroglu Y, Kizmaz H, 2017. Controlling hyperchaotic Rabinovich system with single state controllers: Comparison of linear feedback, sliding mode, and passive control methods. *Optik*, 130: 159-167.
- Kocamaz, UE; Cicek, S; Uyaroglu, Y., 2018. Secure Communication with Chaos and Electronic Circuit Design Using Passivity-Based Synchronization, 27(4), 1850057.
- Liu, CX, Tao L Ling L, Kai L, 2004. A new chaotic attractor. *Chaos, Solitons and Fractals*, 22 (5): 1031–1038.
- Lorenz, EN, 1963. Deterministic non-periodic flows. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 20: 130–141.
- Murali K, Lakshmanan M, Chua LO, 1995. Controlling and Synchronization of Chaos in the Simplest Dissipative Nonautonomous Circuit. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 5 (2): 563-571.
- Nazzal JM, Natsheh AN, 2007. Chaos control using sliding-mode theory. *Chaos, Solitons and Fractals*, 33 (2): 695-702.
- Ott E, Grebogi C, York JA, 1990. Controlling chaos. *Physical Review Letters*, 64 (11): 1196-1199.
- Rössler OE, 1976, An equation for continuous chaos, *Physical Review Letters A*, 57 (5): 397–398.
- Sabaghian, A., Balochian S., Yaghoobi, M., 2020. Synchronisation of 6D hyper-chaotic system with unknown parameters in the presence of disturbance and parametric uncertainty with unknown bounds, *Connection Science*, pp.1-22.
- Shivamoggi, B.K., 2014. Chaos in Dissipative Systems. In: *Nonlinear Dynamics and Chaotic Phenomena: An Introduction*. Fluid Mechanics and Its Applications, vol 103. Springer, Dordrecht, pp. 189.
- Singh, J.P., Roy, B. K., 2018. Five new 4-D autonomous conservative chaotic systems with various type of non-hyperbolic and lines of equilibria, *Chaos, Solitons and Fractals*, 114, pp.81-91.
- Singh, J.P., Rajagopal, K., Roy, B. K., 2018. A new 5D hyperchaotic system with stable equilibrium point, transient chaotic behaviour and its fractional-order form, *Pramana*, 91 (33), pp.1-10.
- Sprott, J.C., 2003. *Chaos and time series-analysis*, Oxford: Oxford University Press.
- Tigan Gh, 2005. Analysis of a dynamical system derived from the Lorenz system. *Scientific Bulletin of the Politehnica University of Timisoara*, 50 (64): 61-72.
- Tigan Gh, 2008. Analysis of a 3D chaotic system. *Chaos Soliton and Fractals*, 36 (5): 1315-1319.
- Ullah, M. Z., Mallawi, F., Baleanu D, Alshomrani, A. S., 2020. A new fractional study on the chaotic vibration and state-feedback control of a nonlinear suspension system, *Chaos, Solitons and Fractals*, 132, 109530.
- Uyaroglu Y, 2006. Kaotik Lorenz Sisteminin Yarı-Ayna Yapısı. *Journal of İstanbul Kültür University*, 3: 141-146.
- Yassen MT, 2005. Controlling chaos and synchronization for new chaotic system using linear feedback control. *Chaos, Solitons and Fractals*, 26 (3): 913–920.
- Zhang, H., Liu, D., Wang, Z., 2009. *Controlling Chaos: Suppression, Synchronization and Chaotification*, Springer-Verlag, London.

High Harmonic Generation in Ar and N₂ Gas Mixture Using Ultrashort High Power Laser System

Muhammed SAYRAÇ^{1*}

ABSTRACT: High harmonic generation (HHG) has been accepted as a tool for tabletop based generation of light source in the XUV and soft x ray region. HHG can produce coherent optical pulses having pulse duration in the femtosecond or even attosecond time region. In this paper, generation of high harmonics are produced by using high power laser system having optical pulses at 6mj pulse energy with pulse duration of 50fs at 10Hz repetition rate. High harmonics in pure Ar, N₂ and mixture of the Ar-N₂ are used as a generation medium to produce high harmonics. The harmonic signal is increased or decreased depending on the experimental condition. Harmonic yield produced in Ar is stronger than harmonic yield produced in N₂ gas. Generation of high order harmonics are observed up to 35H (~54eV corresponding photon energy), and harmonic order from N₂ gas is 33H. The mixture of two gas species cause to enhancement of 35H order, which is weakly observed in pure N₂ gas. The mechanism of high harmonic generation is explained that strong harmonic signal generated in pure Ar gas helps increase the ionization rate of N₂ gas. Thus, the harmonic signal in Ar-N₂ is boosted compared the harmonic signal produced in pure N₂. The enhancement factor of harmonic yield is from ~2 to 5 for per harmonic order.

Keywords: Ultrafast physics, femtosecond laser, high harmonic generation, extreme ultraviolet, attosecond science

¹ Muhammed SAYRAÇ (Orcid ID: 0000-0003-4373-6897), Cankiri Karatekin University, Faculty of Science, Department of Physics, Cankiri, Turkey

*Corresponding Author: Muhammed SAYRAÇ, e-mail: muhammedsayrac@karatekin.edu.tr

INTRODUCTION

High harmonic generation (HHG) has proved as one of the best approaches to produce coherent light source (Mcpherson et al., 1987) thanks to development of ultrafast femtosecond laser technology. The wavelength range of this source can reach soft x ray region. Harmonic source has opened new research areas such as attosecond science (Paul et al., 2001), imaging for nano size object with coherent XUV radiation (Sandberg et al., 2007), and nonlinear optic in XUV region (Nabekawa et al., 2005). These research areas help to understand background of electron–photon interaction. This coherent short wavelength source makes possible to study electron dynamics (Drescher et al., 2002) and to measure pulse duration of XUV pulses in the attosecond regime ($1\text{as}=10^{-18}\text{s}$) (Sekikawa et al., 2004).

General mechanism of harmonic source has been explained by three-step model (Corkum, 1993). In this model an electron exposed to strong laser field is ionized. The ionized electron is accelerated back and forth due to oscillating laser field and gains kinetic energy. If the freed electron recombines with its parent atom, it releases its kinetic energy as a high photon energy. The three-step model semi classically explains the features of harmonic generation process. Harmonic spectrum usually exhibits well-known features, namely plateau and cutoff. Harmonic yield relatively stays same in the plateau region. There is a sudden sharp decrease in the harmonic signal, which is called cutoff region. Maximum harmonic orders are determined by cutoff harmonic. It is given as $E_{\text{cutoff}}=I_p + 3.17U_p$ (Krause et al., 1992). I_p is the ionization potential of the used gas, and U_p is the ponderomotive energy that refers to free electrons averaged kinetic energy gained in the laser electric field. U_p is proportional to intensity of the laser field. The meaning of the cutoff formula is that an atom having higher ionization potential produces high harmonics than an atom having lower ionization potential. The atom having higher ionization potential experience higher laser field intensities, and it leads to significant harmonic emission (Li et al., 1989).

High harmonic generation is a promising source for generation of coherent XUV source. However, this light source has drawbacks in terms of its conversion efficiency (conversion from fundamental field to high harmonics). The conversion efficiency is on the order of 10^{-6} (Falcão-Filho et al., 2010). There are many approaches studied to increase the efficiency of harmonic light source. For instance, high harmonic generation in gas mixture (Sayrac et al., 2015), the role of the shape of the optical field (Bartels et al., 2000), controlling of the electron trajectories in the optical field (Salières et al., 2001), the pressure optimization of high harmonic generation (Sayrac et al., 2015; Sayrac et al., 2018; Sayrac et al., 2019), generation of even harmonics of the fundamental radiation in two-color laser fields (Sayrac et al., 2019), and the effect of an increasing laser intensity (Gibson et al., 2004). These studies aimed to improve the generation efficiency of coherent XUV radiation.

In this paper, the harmonic spectra from gas species of Ar, N₂, and Ar-N₂ mixture are experimentally produced. The ionization potentials (I_p) of these gases are 15.6eV (Womer, 1931), 15.7eV (Tate and Smith, 1932) for Ar and N₂. The harmonic spectrum in pure Ar and N₂ reaches harmonic order up to 35H (~23nm or ~54eV). The harmonic spectrum from mixture of Ar –N₂ presents that harmonic signal decreases compared to harmonic signal in pure Ar, and it increases compared to harmonic signal in pure N₂. The novelty of this paper is that mixture of atomic Ar with molecular N₂ is used as generation medium for HHG. In addition, high power laser system is used as a driving laser source and enables to reach high order harmonic of 35H, which corresponds to ~23nm wavelength in the XUV region.

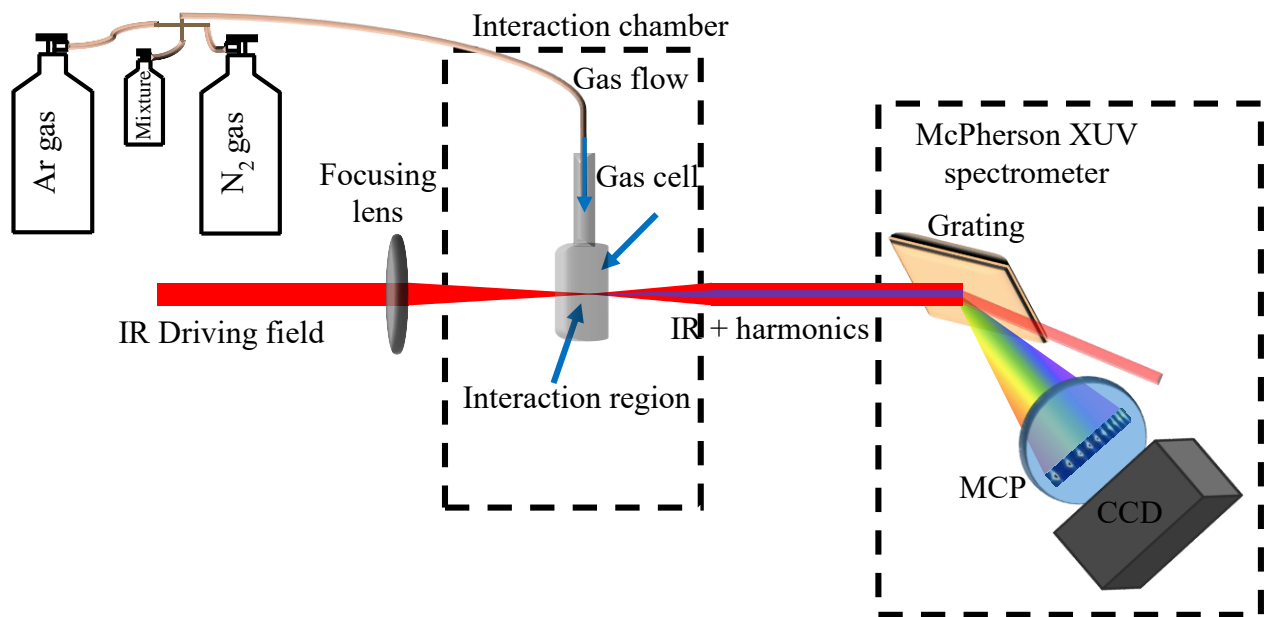


Figure.1. General sketch of the experimental setup for high harmonic generation

MATERIALS AND METHODS

Sketch of the high harmonic generation experimental arrangement is shown in Figure 1. The experiment is performed by using a high power Ti:Sapphire pulse amplifier (CPA) laser system producing optical pulses having 6mJ pulse energy with 50fs (~18 cycle) pulse duration at 10Hz repetition rate. The wavelength of the driving laser field is centered at 800nm (IR). The driving laser field is focused onto a gas cell using a long focal length (~40cm) lens through a thin BK7 glass window into a vacuum chamber (interaction chamber), which is held at low pressure of $\sim 10^{-3}$ mbar. The intensity of the laser field at the focus is $1 \times 10^{15} \text{Wcm}^{-2}$. The high energy laser radiation is focused into a gas cell, where harmonic spectrum are generated. High harmonics are generated from a gas cell, which is machined in a machine shop. It has length of 7mm and diameter of 5mm. There is a hole on the cell, and the hole is taped by an aluminum foil tape to increase density of the gas. Pure gas is directly sent to the gas cell to produce harmonic spectrum. Gas mixture is prepared in a small size lecture bottle, and then the gas mixture is sent to the gas cell. The tabletop high harmonic generation setup having length of ~2m size can produce wavelength down to ~23nm. The tabletop femtosecond laser system having about 60mW output power feeds the harmonic generation system in the current experimental design.

In this experiment, high harmonic spectra are recorded for Ar gas, N₂ gas and their mixture in 1:1 ratio. In these three different gas media, the driving laser wavelength is centered at 800nm. The produced x ray pulses in Ar gas with driving laser field enhance the ionization rate of N₂ gas. Especially 35H, which is weakly observed in N₂ gas is boosted in harmonic generation in Ar-N₂ gas mixture. The mixture of gas species helps to increase the harmonics signal and to extend the harmonics to high photon energy region. High harmonic orders are obtained from 17th harmonic to 35th harmonic (corresponding wavelength from ~47nm to ~23nm). The harmonic energy per optical pulse is expected a nanojoule range, and this range corresponds to harmonic power of ~3kW (Sayrac et al., 2018). This high order harmonic radiation can be used for seeding high harmonic generation source in free electron lasers (FEL) (Lambert et al., 2008; Zhukovsky, 2017; Zhukovsky, 2017; Zhukovsky, 2017; Zhukovsky, 2018). The driving laser field has 50fs pulse duration at 800nm central wavelength. The generated harmonic orders having wavelength from ~47nm to ~23nm have the pulse duration shorter than the fundamental field.

The high harmonic source produces attosecond pulses (Paul et al., 2001), making possible to investigate atomic and molecular dynamics occurring on the sub femtosecond time scale (Vodungbo et al., 2012).

The generated harmonics propagate through to the McPherson XUV spectrometer. The harmonics interacting with grating are separated according to their wavelength. The separated harmonics pass through a micro channel plate (MCP) and are amplified. The amplified harmonics are captured by a charge coupled device (CCD) camera. The recorded data are analyzed by using the MATLAB program. The state of the art laser system allows to reach higher order harmonics by extending the cutoff harmonic since the ponderomotive energy is proportional to the intensity of the laser field.

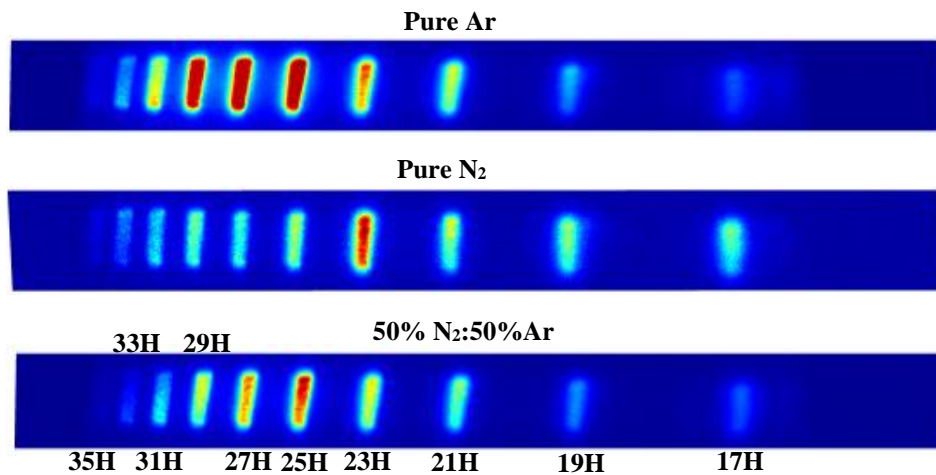


Figure.2. Raw data of harmonic spectrum in Ar, N₂ and N₂:Ar mixture (50%:50%) ratio. Harmonic orders from 17H to 33H are well resolved. The 35H is weakly observed in pure Ar

RESULTS AND DISCUSSION

The generated harmonic spectrum contains a series of well resolved harmonic peaks, which corresponds to the harmonic orders from 17H (~47nm) to 35H (~23nm), (from ~26eV to 54eV). Figure 2 presents raw data of harmonic orders recorded by the CCD camera. The harmonic orders from 17H to 33H are well resolved. The weak 35H is barely observed in Figure 2.

Harmonics spectrum in Ar, N₂ and their mixture in 50%-50% ratio are produced. The pulse energy is 6mJ, and the interaction chamber pressure is set to 4×10^{-3} mbar. The integration time of the spectrum is 10s, Figure 2, 3. Harmonic spectrum in pure Ar gas are obtained, and the harmonics orders reach up to 35H order. In pure N₂ gas the harmonic spectrum are well obtained up to 33H order, and the 35H order is weakly observed in N₂ gas, zoomed in part of Figure 3. The harmonics signal in pure Ar is relatively higher than the harmonic signal in pure N₂. When the mixture of Ar-N₂ in 50%-50% ratio is used as an interaction medium, the harmonic signal is decreased compared to harmonic yield in pure Ar, but the harmonic signal is increased compared to harmonic signal produced in pure N₂. Also the 35H, which is weakly observed in pure N₂ is increased in the mixture of Ar-N₂.

The ionization potential of Ar and N₂ gas species are close to each other, and the calculation of above mentioned cutoff harmonic (highest photon energy) is about 56eV, which is close agreement with experimentally observed cutoff harmonic. Even though the experimentally observed cutoff harmonic is slightly less than the predicted by the intensity of the laser pulse. The discrepancy comes from the miscalculation of the field intensity and the beam loss on the optical components namely mirrors, optical lens, and vacuum chamber window.

In this paper, high power laser system producing optical pulses having energy per pulse 6mJ with 50fs pulse duration at 10 Hz repetition rate is used as a driving laser source. Harmonic spectrum are

produced in three different gas media, namely Ar, N₂, and mixture of Ar-N₂. Harmonic yield in Ar gas has relatively more signal than harmonic signal produced in N₂ gas. Mixture of Ar-N₂ produces more harmonic signal compared to harmonic signal produced in pure N₂. The mixture of two gas species results to increase of harmonic signal compared to harmonic signal in pure N₂.

The mechanism of harmonic signal increase in Ar-N₂ gas mixture can be explained that the strong harmonics produced in Ar gas and the fundamental field increase to ionization of N₂ gas. The mechanism can lead to increase of the harmonic signal in Ar-N₂ gas mixture compared to harmonic signal in pure N₂. However, decrease of the harmonic signal in gas mixture of Ar-N₂ compared to harmonic yield in pure Ar can be explained because of the absorption of the harmonics in gas mixtures. The absorption in the harmonic spectrum leads to decrease of the harmonic signal. The harmonic signal in Ar-N₂ gas mixture is increased as a factor of ~2 to 5 compared to harmonic yield in pure N₂.

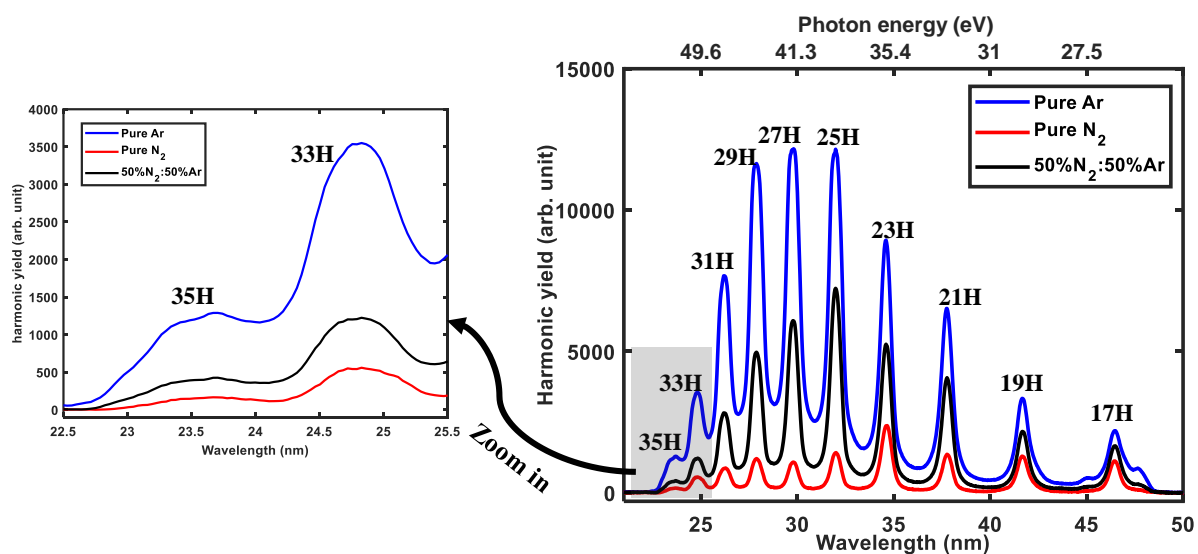


Figure.3. Harmonic spectrum in Ar, N₂ and Ar-N₂ mixture (50%:50%) ratio. The solid blue line is for pure Ar. The solid red line is for pure N₂. The solid black line is for mixture. The right figure presents the complete harmonic spectrum from 17H to 35H orders, while the left figure shows the zoomed in part of the harmonic orders for 33H and 35H

CONCLUSION

Generation of short wavelength (XUV region) is experimentally produced. The laser intensity of $1 \times 10^{15} \text{Wcm}^{-2}$ is focused on to the gas species. High harmonics up to 35H order are generated. The generation of the 35H is increased in the gas mixture of Ar-N₂ compared to harmonic signal in pure N₂. Harmonic spectrums in Ar, N₂, and Ar-N₂ mixture are well resolved. The harmonic signal is increased in the gas mixture compared to harmonic yield in pure gas species of N₂ (Figure 3). The mechanism of harmonic spectrum in gas mixture is explained that the harmonics produced in one gas species and the fundamental field result to increase the harmonic signal from another gas species.

The harmonic yield enhancement stems from the harmonic yield in Ar gas and the driving laser field boost the ionization rate of N₂ gas, so the harmonic yield in gas mixture is increased by the contribution of strong XUV radiation produced in Ar gas. In the nitrogen-argon gas mixture the enhancement of harmonic signal compared to harmonic signal produced in pure N₂ has been observed.

The highest harmonic photon energy is estimated by using the optical field intensity. The experiment and the calculation give highest harmonic energy of ~54eV and ~56eV, respectively. The strong laser field and the gas mixture helps reach high order harmonics. The optimized harmonic source

can be useful for various application areas such as attosecond light source, nonlinear optic in XUV region and imaging of small scale object by using harmonic source.

ACKNOWLEDGEMENTS

I am thankful to A. Kolomenski and H. Schuessler for providing the opportunity to perform the experiments described in this paper at Texas A&M University.

REFERENCES

- Bartels R, Backus S, Zeek E, Misoguti L, Vdovin G, Christov IP, Murnane MM, Kapteyn HC, 2000. Shaped-Pulse Optimization of Coherent Emission of High-Harmonic Soft X-Rays. *Nature*, 406:164.
- Corkum PB, 1993. Plasma Perspective on Strong-Field Multiphoton Ionization. *Physical Review Letters*, 71:1994-1997.
- Drescher M, Hentschel M, Kienberger R, Uiberacker M, Yakovlev V, Scrinzi A, Westerwalbesloh T, Kleineberg U, Heinzmann U, Krausz F, 2002. Time-Resolved Atomic Inner-Shell Spectroscopy. *Nature*, 419(6909):803-807.
- Falcão-Filho EL, Lai C-J, Hong K-H, Gkortsas V-M, Huang S-W, Chen L-J, Kärtner FX, 2010. Scaling of High-Order Harmonic Efficiencies with Visible Wavelength Drivers: A Route to Efficient Extreme Ultraviolet Sources. *Applied Physics Letters*, 97(6):061107.
- Gibson E, Paul A, Wagner N, Tobey Ra, Backus S, Christov I, Murnane M, Kapteyn H, 2004. High-Order Harmonic Generation up to 250 Ev from Highly Ionized Argon. *Physical Review Letters*, 92(3):033001.
- Krause JL, Schafer KJ, Kulander KC, 1992. High-Order Harmonic Generation from Atoms and Ions in the High Intensity Regime. *Physical Review Letters*, 68:3535-3538.
- Lambert G, Hara T, Garzella D, Tanikawa T, Labat M, Carre B, Kitamura H, Shintake T, Bougeard M, Inoue S, Tanaka Y, Salieres P, Merdji H, Chubar O, Gobert O, Tahara K, Couprie ME, 2008. Injection of Harmonics Generated in Gas in a Free-Electron Laser Providing Intense and Coherent Extreme-Ultraviolet Light. *Nature Physics*, 4:296.
- Li XF, L'Huillier A, Ferray M, Lompré LA, Mainfray G, 1989. Multiple-Harmonic Generation in Rare Gases at High Laser Intensity. *Physical Review A*, 39(11):5751-5761.
- McPherson A, Gibson G, Jara H, Johann U, Luk TS, McIntyre IA, Boyer K, Rhodes CK, 1987. Studies of Multiphoton Production of Vacuum-Ultraviolet Radiation in the Rare Gases. *Journal of the Optical Society of America B*, 4(4):595-601.
- Nabekawa Y, Hasegawa H, Takahashi EJ, Midorikawa K, 2005. Production of Doubly Charged Helium Ions by Two-Photon Absorption of an Intense Sub-10-Fs Soft X-Ray Pulse at 42 Ev Photon Energy. *Physical Review Letters*, 94(4):043001.
- Paul PM, Toma ES, Breger P, Mullot G, Augé F, Balcou P, Muller HG, Agostini P, 2001. Observation of a Train of Attosecond Pulses from High Harmonic Generation. *Science*, 292(5522):1689-1692.
- Salières P, Carré B, Le Déroff L, Grasbon F, Paulus GG, Walther H, Kopold R, Becker W, Milošević DB, Sanpera A, Lewenstein M, 2001. Feynman's Path-Integral Approach for Intense-Laser-Atom Interactions. *Science*, 292(5518):902-905.
- Sandberg RL, Paul A, Raymondson DA, Hädrich S, Gaudiosi DM, Holtsnider J, Tobey RaI, Cohen O, Murnane MM, Kapteyn HC, Song C, Miao J, Liu Y, Salmassi F, 2007. Lensless Diffractive Imaging Using Tabletop Coherent High-Harmonic Soft-X-Ray Beams. *Physical Review Letters*, 99(9):098103.
- Sayrac M, Kolomenskii AA, Anumula S, Boran Y, Hart NA, Kaya N, Strohaber J, Schuessler HA, 2015. Pressure Optimization of High Harmonic Generation in a Differentially Pumped Ar or H₂ Gas Jet. *Review of Scientific Instruments*, 86(4):043108.

- Sayrac M, Kolomenskii AA, Dong J, Schuessler HA, 2019. Generation of Enhanced Even Harmonics of Fundamental Radiation in Temporally Separated Two-Color Laser Fields. *The Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena*, 233:22-27.
- Sayrac M, Kolomenskii AA, Schuessler HA, 2018. Pressure Optimization and Phase Matching of High Harmonics Generation in CO₂ and C₂H₂ Molecular Gases. *The Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena*, 229:1-6.
- Sayrac M, Kolomenskii AA, Schuessler HA, 2019. Pressure Dependence of High Order Harmonic Generation in Nitrogen Molecular Gas and Atmospheric Air. *Optik*, 179:994-1000.
- Sayrac M, Kolomenskii AA, Strohaber J, Schuessler HA, 2015. High Harmonic Generation in Ne and H₂ Gas Mixtures. *Journal of the Optical Society of America B*, 32(12):2400-2405.
- Sekikawa T, Kosuge A, Kanai T, Watanabe S, 2004. Nonlinear Optics in the Extreme Ultraviolet. *Nature*, 432(7017):605-608.
- Tate JT, Smith PT, 1932. The Efficiencies of Ionization and Ionization Potentials of Various Gases under Electron Impact. *Physical Review*, 39(2):270-277.
- Vodungbo B, Gautier J, Lambert G, Sardinha AB, Lozano M, Sebban S, Ducouso M, Boutu W, Li K, Tudou B, Tortarolo M, Hawaldar R, Delaunay R, V. LF, Arabski J, Boeglin C, Merdji H, Zeitoun P, Lüning J, 2012. Laser-Induced Ultrafast Demagnetization in the Presence of a Nanoscale Magnetic Domain Network. *Nature Communications*, 3:999.
- Womer R, 1931. Ionization of Helium, Neon, and Argon. *Physical Review*, 38(3):454-456.
- Zhukovsky K, 2017. Generation of Coherent Soft X-Ray Radiation in Short FEL with Harmonic Multiplication Cascades and Two-Frequency Undulator. *Journal of Applied Physics*, 122(23):233103.
- Zhukovsky K, 2017. High-Harmonic X-Ray Undulator Radiation for Nanoscale-Wavelength Free-Electron Lasers. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 50(50):505601.
- Zhukovsky K, 2017. Soft X-Ray Generation in Cascade SASE FEL with Two-Frequency Undulator. *EPL (Europhysics Letters)*, 119(3):34002.
- Zhukovsky KV, 2018. Generation of X-Ray Radiation in Free-Electron Lasers with Two-Frequency Undulators. *Russian Physics Journal*, 60(9):1630-1637.

Electric Field Effect on Excited State Binding Energy and Self-Polarization of a Hydrogenic Impurity in a Spherical Quantum Dot

Ali İhsan MESE^{1*}

ABSTRACT: Effects of the electric field and impurity position on the 2p-excited state self-polarization and binding energy of the electron-impurity in a spherical quantum dot are investigated as a function of the dot radius using variational approach. According to results, turning point of 2p-excited state binding energy changes with the electric field strength and position of impurity in the spherical quantum dot. Self-polarization and binding energy between the 1s-ground state and 2p-excited state of a hydrogenic donor impurity in SQD are presented as a function of the dot radius for different electric field value and impurity positions. Obtained numerical results show a good agreement with the literature.

Keywords: Self-polarization, turning point, spherical dot, binding energy, electric field.

¹ Ali İhsan MESE (Orcid ID: 0000-0002-3901-590X), Trakya Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Edirne, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Ali İhsan MEŞE, e-mail: alihsanmese@trakya.edu.tr

Geliş tarihi / Received: 07-04-2020

Kabul tarihi / Accepted: 01-05-2020

INTRODUCTION

In the last decades, low dimensional structures (LDS) have attracted great interest because of their potential application to high performance (Bastard, 1981; Greene and Bajaj, 1985; Brown and Spector, 1986; Fraizzoli et al., 1990; Zhu et al., 1990; Montenegro and Merchancano, 1992; Branis et al., 1993; Johnson, 1995; Tsaousidou and Butcher, 1997; Brandi et al., 2002 Mese and Okan, 2004; Ulas et al., 2004; Esuanu et al., 2009; Baskoutas and Terzis, 2009). The main problems in LDS are conductivity of semiconductor and optical properties. The impurities play an important role in LDS because optical and electronic properties will be controlled. In some recent theoretical studies concern with different shape and different confinement potentials have shown that binding energy depends on the impurity positions (Chuu et al., 1992; Sucu et al., 2008; Sadeghi, 2009; Özmen, et al., 2009; Hassanabadi and Rajabi, 2009; Sadeghi and Rezaie, 2010; Rezaei et al., 2012; Sivakami and Gayathri, 2013; Kang et al., 2013; Wang et al., 2014). Spherical quantum dot (SQD) is very important because of its high symmetry which simplifies the theoretical calculations. It is noticed that recent theoretical studies have concentrated on the self-polarization and ground state binding energy. Self-polarization is defined as effect of confining potential on the donor impurity (Okan et al., 2004; Ulas et al., 2005; Erdogan et al., 2006; Erdogan et al., 2006; Akankan et al., 2006; Tangarife and Duque, 2011; Erdogan et al., 2013). However, there are no studies on the calculation of the 2p-state self-polarization depends on the different impurity positions in a GaAs/AlAs SQD under electric field.

In this work, self-polarization and binding energy between the 1s-ground state and 2p-excited state of a hydrogenic donor impurity in SQD are presented as a function of the dot radius for different electric field value and impurity positions using variational approach.

MATERIALS AND METHODS

Hamiltonian for an electron under the electric field effect is defined as (Erdogan et al., 2013)

$$H = -\frac{\hbar^2}{2m^*} \nabla^2 + V(r) + eFrcos\theta, \quad (1)$$

m^* is the electron effective mass and \vec{F} is electric field and applied along the z-axis. The confining potential is given by

$$V(r) = \begin{cases} 0 & 0 \leq r \leq R \\ \infty & r > R \end{cases} \quad (2)$$

The ground state energy and wave-function within the spherical dot ($n = 1, l = 0$) is obtained by solution of the Schrodinger equation (Erdogan et al., 2013),

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2m^*} \left(\frac{d^2}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{d}{dr} + \frac{1}{r^2 \sin\theta} \frac{\partial}{\partial\theta} \sin\theta \frac{\partial}{\partial\theta} \right) + V(r) + eFrcos\theta \right] R_{10}^0(r, \theta) = E_{10}^0 R_{10}^0(r, \theta), \quad (3)$$

where upper subscript “0” refers to the subband. The eigenfunction, $R_{10}^0(r, \theta)$, and corresponding energy eigenvalue is given by (Ghazi et al., 2013; Bulut et al., 2014; Mese et al., 2017),

$$R_{10}^0(r, \theta) = \begin{cases} N_{10}^0 \frac{\sin(\alpha r)}{r} e^{-\beta r \cos\theta} & 0 \leq r \leq R \\ 0 & r > R \end{cases} \quad (4)$$

$\alpha = \sqrt{2m^*E_{10}^0/\hbar^2}$ and where ground state energy E_{10}^0 determined by minimization of the variational parameter β .

In the presence of impurity, the 2p-state energy of conduction subband of system is obtained by solving the Hamiltonian is given by,

$$\left\{ -\frac{\hbar^2}{2m^*} \left[\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2 \sin\theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \sin\theta \frac{\partial}{\partial \theta} \right] + V(r) + eF r \cos\theta - \frac{e^2}{4\pi\epsilon\epsilon_0|\vec{r}-\vec{r}_i|} \right\} \Psi_{21}(r, \theta) = E_{21}(r, \theta) \Psi_{21}(r, \theta) \quad (5)$$

The 2p-state impurity energy $E_{21}(r, \theta)$ is calculated by variational approach. The trial wave function can be defined as (Villamil and Montenegro, 1999; Villamil et al., 2005; Bulut et al., 2014; Mese et al., 2017),

$$\Psi_{21}(r, \theta) = \begin{cases} N_{21} \frac{\sin(\alpha r)}{r} r \cos\theta e^{-\beta r \cos\theta} e^{-\lambda|\vec{r}-\vec{r}_i|} & r < R \\ 0 & r \geq R \end{cases} \quad (6)$$

where, r_i , N_{21} , β and λ are impurity position which is along the z direction, normalization constant of 2p-excited state wave function and variational terms to include electric field and coulomb interaction, respectively.

The 2p-state binding energy is given by with difference of 1s ground state and 2p-excited state energy which defined as (Bulut et al., 2014),

$$E_b(r, \theta) = E_{10}^0(r, \theta)_{\beta_{min}} - E_{21}(r, \theta)_{(\lambda, \beta)_{min}} \quad (7)$$

where, $E_{21}(r, \theta)_{(\lambda, \beta)_{min}}$ 2p-state impurity energy determined by minimization of the variational parameters λ, β . (Sadeghi, 2009)

The self-polarization along the \vec{r}_i direction for the 2p-state can be defined as (Okan et al., 2004)

$$\frac{SP}{e} = \frac{\langle \Psi_{21}(r, \theta) | |\vec{r} - \vec{r}_i| | \Psi_{21}(r, \theta) \rangle}{\langle \Psi_{21}(r, \theta) | \Psi_{21}(r, \theta) \rangle} - \frac{\langle \Psi(r, \theta) | |\vec{r} - \vec{r}_i| | \Psi(r, \theta) \rangle}{\langle \Psi(r, \theta) | \Psi(r, \theta) \rangle} \quad (9)$$

$\Psi(r, \theta)$ indicates the wave function in the absence of SQD and defined as (Erdogan et al., 2013),

$$\Psi(r, \theta) = N e^{-|\vec{r}-\vec{r}_i|/2a^*} r \cos\theta \quad (10)$$

RESULTS AND DISCUSSION

In this section, the 2p-state binding energy(EB), the 2p-state binding energy turning point (TP) and 2p-state self-polarization for various impurity position in the GaAs/AlAs SQD is calculated. The parameters used in this paper are; $m^*=0.067m_0$, effective Bohr radius $a^* \cong 100 A^0$, $\epsilon = 12.26$ and Rydberg energy $R^* = 5.83 meV$. The results are presented in Fig.1-4.

In Fig. 1, the (BE) variation versus the dot radius for electric field strengths $F= (0, 5$ and $10)$ kV/cm in a SQD is presented. The results for the (TP) are in good agreement with $F=0$ kV/cm that reported

(Bulut et al., 2014). As seen from the Fig.1 that the (BE) becomes negative at the different dot radius depends on electric field which means that 2p-state unbounded. It means that, the 2p impurity energy E_{21} is higher than the 1s ground state energy E_{10}^0 with regard to our definition of binding energy. The (TP) is defined as the value of dot radius where the (EB) changes from negative to positive. It seen from the Fig.1 that the (BE) becomes positive at radius values greater than $2.72a^*$ for $F=0$ kV/cm and $r_i=0$. Also, it can be seen that this result is in agreement with Refs. (Sadeghi and Rezaie, 2010). The small difference is due to the finite potential barrier. While the electric field strengths increase the (TP) shifts toward smaller dot radius. The turning point values for the electric field strengths $F= (5$ and $F=10)$ kV/cm have found as $2.29a^*$ and $2.02a^*$, respectively. As seen Fig.1, Increasing the electric field strengths increases the positive (EB). It is quite the opposite according to the 1s ground state.

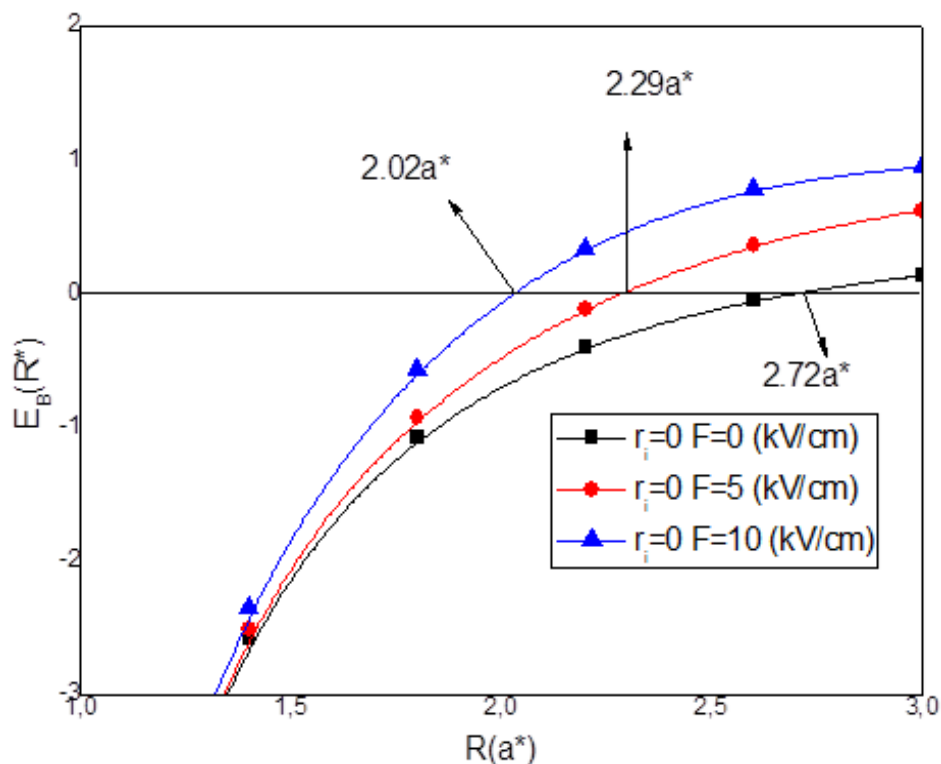


Figure 1. The 2p-state binding energy versus the dot radius for the electric field strengths $F=(0, 5$ and $10)$ kV/cm at impurity position $r_i=0$.

Fig. 2 depicts 2p-state self-polarization versus the dot radius for different electric field strengths. It is seen that the 2p-state self-polarization linearly increases with the electric field strengths. This is due to the fact that the growth of the electric field strengths reduces the potential of confinement and extends the areas of the wave function. As a result, self-polarization increases. This result is compatible with previous calculations (Erdogan et al., 2006).

The (TP) versus the dot radius for different impurity positions ($r_i=0, R/2$ and R) and electric field strengths $F= (0$ and $10)$ kV/cm is presented in Fig.3. It is observed that (TP) decreases when the impurity shifts toward from centre to $r_i=R/2$ for $F=0$ kV/cm. On the other hand, (TP) increases when the impurity shifts toward from $r_i=R/2$ to edge of the quantum dot for electric field strength $F=0$ kV/cm. When the impurity shifts toward from centre to edge of the quantum dot for electric field strength $F= 10$ kV/cm the (TP) increases. It is observed that electric field strength is effective on the (TP) value. This is due to the additional confinement cause by the electric field.

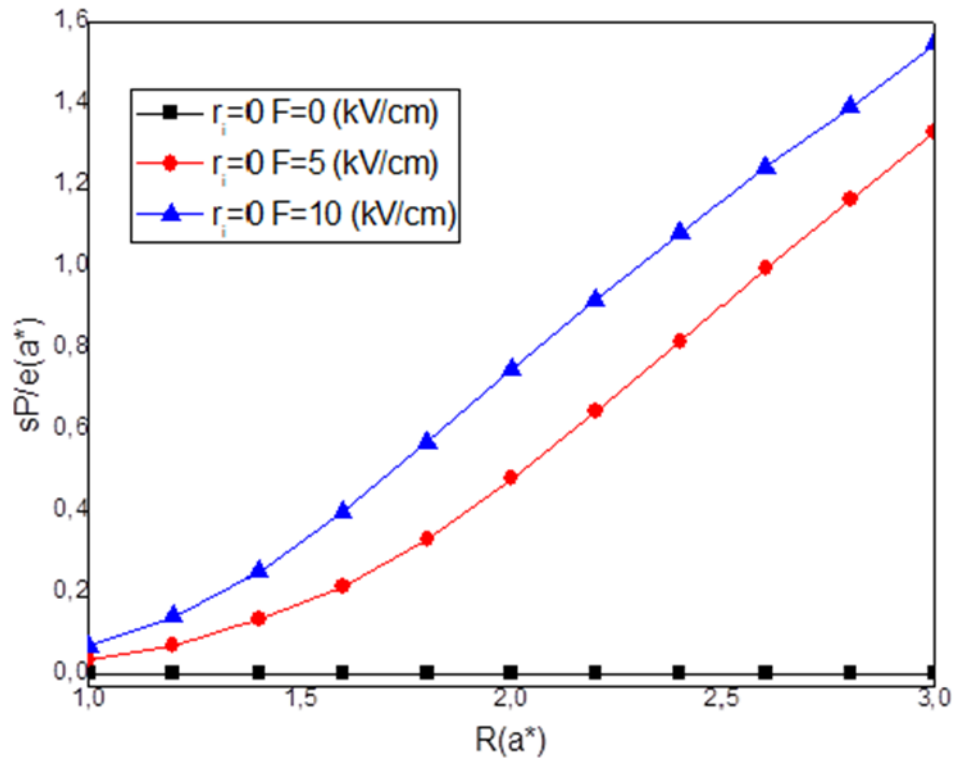


Figure 2. The 2p-state self-polarization as a function of dot radius for same electric field strengths and impurity position with Figure 1.

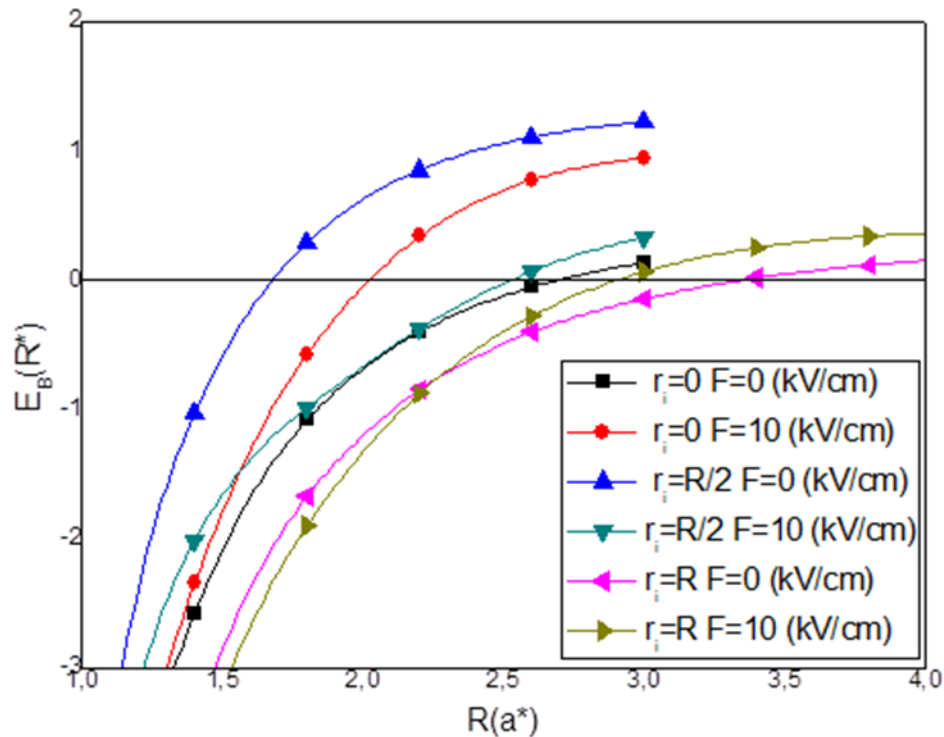


Figure 3. The 2p-state binding energy versus the dot radius for the electric field strengths $F=(0 \text{ and } 10) \text{ kV/cm}$ and impurity positions $r_i = 0, r_i=R/2$ and $r_i=R$.

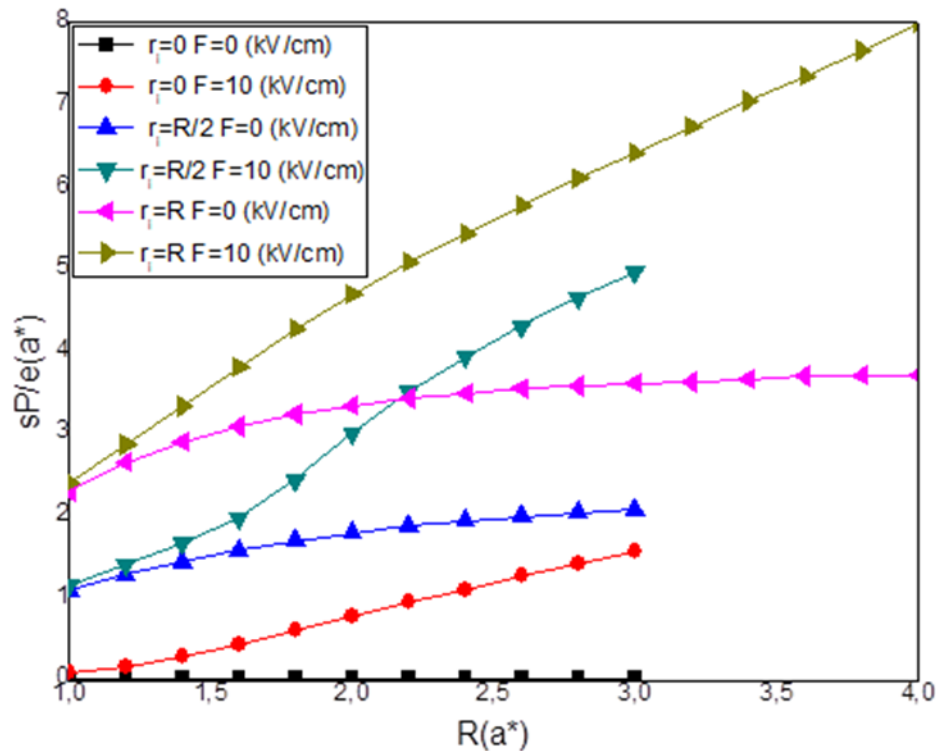


Figure 4. The 2p-state self-polarization versus dot radius for same electric field strengths and impurity positions with Figure 3.

To show the more effect of the impurity position on the 2p-state self-polarization, the 2p-state self-polarization versus the dot radius for different impurity positions ($r_i=0$, $R/2$ and R) and electric field strengths $F= (0$ and $10)$ kV/cm has plotted in Fig. 4. As seen from the Fig.4, when the impurity shifts toward from centre to edge of the quantum dot for electric field strengths $F= (0$ and $10)$ kV/cm, the 2p-state self-polarization approximately linearly increases. For very large quantum dots, the results tend towards to three-dimensional bulk case (Bulut et al., 2014; Mese et al., 2017).

CONCLUSION

The effects of impurity position and electric field strength on the (TP) versus dot radius are calculated. The results show that the effects of electric field and impurity position are very important on (TP). The first time 2p-state self-polarization in spherical quantum dot has been calculated.

REFERENCES

- Akankan O, Erdogan I, Akbas H, 2006. Spatial electric field effect on the self-polarization in GaAs/AlAs square quantum-well wires. *Physica E*, 35 (1): 217-221.
- Baskoutas S, Terzis AF, 2009. Binding energy of hydrogenic impurity states in an inverse parabolic quantum well under static external fields. *The European Physical Journal B*, 69: 237-244.
- Bastard G, 1981. Hydrogenic impurity states in a quantum well: A simple model. *Physical Review B*, 24(8): 4714-4722.
- Bella RSD, Navaneethakrishnan K, 2004. Donor binding energies and spin-orbit coupling in a spherical quantum dot. *Solid State Communications*, 130 (11): 773-776.
- Brandi HS, Latge A, Oliveira LE, 2002. Magnetic-field and laser effects on the electronic and donor states in semiconducting quantum dots. *Journal of Applied Physics*, 92 (8): 4209-4213.
- Branis SV, Li G, Bajaj KK, 1993. Hydrogenic impurities in quantum wires in the presence of a magnetic field. *Physical Review B*, 47 (3): 1316-1323.

- Brown JW, Spector HN, 1986. Hydrogen impurities in quantum well wires. *Journal of Applied Physics*, 59 (4): 1179-1186.
- Bulut P, Erdogan I, Akbas H, 2014. Binding energy of 2p-bound state of a hydrogenic donor impurity in a GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs spherical quantum dot under hydrostatic pressure. *Physica E*, 63: 299-303.
- Chuu DS, Hsiao CM, Mei WN, 1992. Hydrogenic impurity states in quantum dots and quantum wires. *Physical Review B*, 46 (7): 3898-3905.
- Erdogan I, Akankan O, Akbas H, 2006. Electric and magnetic field effects on the self-polarization in GaAs/AlAs cylindrical quantum well-wires. *Physica E*, 33 (1): 83-87.
- Erdogan I, Akankan O, Akbas H, 2006. Binding energy and self-polarization as function of energy density in GaAs/AlAs quantum well wires. *Physica E*, 35 (1): 27-32.
- Erdogan I, Akankan O, Akbas H, 2013. Simultaneous effects of temperature, hydrostatic pressure and electric field on the self-polarization and electric field polarization in a GaAs/Ga_{0.7}Al_{0.3}As spherical quantum dot with a donor impurity. *Superlattices and Microstructures*, 59: 13-20.
- Esuanu N, Niculescu EC, Bureleanu LM, 2009. Simultaneous effects of pressure and laser field on donors in GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs quantum wells. *Physica E*, 41 (8): 1386-1392.
- Fraizzoli S, Bassani F, Buczko R, 1990. Shallow donor impurities in GaAs-Ga_{1-x}Al_xAs quantum-well structures: Role of the dielectric-constant mismatch. *Physical Review B*, 41 (8): 5096-5103.
- Ghazi HE, Jorio A, Zorkani I, 2013. Impurity binding energy of lowest-excited state in (In,Ga)N-GaN spherical QD under electric field effect. *Physica B*, 426: 155-157.
- Greene RL, Bajaj KK, 1985. Binding energy of the 2p₀-like level of a hydrogenic donor in GaAs-Ga_{1-x}Al_xAs quantum-well structures. *Physical Review B*, 31 (6): 4006-4008.
- Hassanabadi H, Rajabi AA, 2009. Energy levels of a spherical quantum dot in a confining potential. *Physics Letters A*, 373 (6): 679-681.
- Johnson NF, 1995. Quantum dots: few-body, low-dimensional systems. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 7 (1): 965-989.
- Kang S, Yang YC, He J, Xiong FQ, Xu N, 2013. The hydrogen atom confined in both Debye screening potential and impenetrable spherical box. *Central European Journal of Physics*, 11 (5): 584-593.
- Mese AI, Okan SE, 2004. Binding energy of relativistic hydrogenic impurities in cylindrical quantum well wires under an applied electric field. *Physica Status Solidi B*, 241 (15): 3525-3531.
- Mese AI, Cicek E, Erdogan E, Akankan O, Akbas H, 2017. The effect of dielectric constant on binding energy and impurity self-polarization in a GaAs-Ga_{1-x}Al_xAs spherical quantum dot. *Indian Journal of Physics*, 91(3): 263-268.
- Montenegro NP, Merchancano STP, 1992. Hydrogenic impurities in GaAs-(Ga,Al)As quantum dots. *Physical Review B*, 46(15): 9780-9783.
- Okan SE, Erdogan I, Akbas H, 2004. Anomalous polarization in an electric field and self-polarization in GaAs/AlAs quantum wells and quantum well wires. *Physica E*, 21 (1): 91-95.
- Özmen A, Yakar Y, Çakır B, Atav Ü, 2009. Computation of the oscillator strength and absorption coefficients for the intersubband transitions of the spherical quantum dot. *Optics Communications*, 282 (19): 3999-4004.
- Rezaei G, Mousavi S, Sadeghi E, 2012. External electric field and hydrostatic pressure effects on the binding energy and self-polarization of an off-center hydrogenic impurity confined in a GaAs/AlGaAs square quantum well wire. *Physica B*, 407 (13): 2637-2641.

- Sivakami A, Gayathri V, 2013. Hydrostatic pressure and temperature dependence of dielectric mismatch effect on the impurity binding energy in a spherical quantum dot. *Superlattices and Microstructures*, 58: 218-227.
- Sadeghi E, 2009. Impurity binding energy of excited states in spherical quantum dot. *Physica E*, 41 (7): 1319-1322
- Sadeghi E, Rezaie GH, 2010. Effect of magnetic field on the impurity binding energy of the excited states in spherical quantum dot. *Pramana-Journal of Physics*, 75: 749-755.
- Sucu S, Mese AI, Okan SE, 2008. The role of confinement and shape on the binding energy of an electron in a quantum dot. *Physica E*, 40 (8): 2698-2702.
- Tangarife E, Duque CA, 2011. Simultaneous effects of hydrostatic pressure and electric field on impurity binding energy and polarizability in coupled InAs/GaAs quantum wires. *Physica B*, 406 (4): 952-956.
- Tsaousidou M, Butcher PN, 1997. Phonon-drag thermopower of a ballistic quantum wire *Physical Review B*, 56 (16): R10044-R10047.
- Ulas M, Cicek E, Dalgic SS, 2004. Electric field effect on the binding energy of a non-hydrogenic donor impurity in a cylindrical cross-sectional quantum well wire. *Physica Status Solidi B*, 241 (13): 2968-2974.
- Ulas M, Erdogan I, Cicek E, Senturk Dalgic S, 2005. Self-polarization in GaAs-(Ga, Al)As quantum well wires: electric field and geometrical effects. *Physica E*, 25 (4): 515-520.
- Villamil PV, Montenegro NP, 1999. Excited-States and Infrared Transition Energies of a Donor Impurity in a Disc-Shaped GaAs Quantum Dot under the Action of an Applied Magnetic Field. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 11: 9723-9730.
- Villamil PV, Cabra C, Montenegro NP, 2005. Shallow Impurity and Transition Energies in Cylindrical GaAs-Ga_{0.6}Al_{0.4}As Quantum Well Wires under Applied Magnetic Field. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 17 (): 5049-5058.
- Wang S, Kang Y, LiLi X, 2014. Binding energy of the ground and first few excited states of hydrogenic donor impurity in a rectangular GaAs quantum dot in the presence of electric field. *Superlattices and Microstructures*, 76: 221-233.
- Zhu JL, Xiong JJ, Gu BL, 1990. Confined electron and hydrogenic donor states in a spherical quantum dot of GaAs-Ga_{1-x}Al_xAs. *Physical Review B*, 41 (9): 6001-6007.

Two Dimensional Modeling of Au/n-GaN Schottky Device

Bengül METİN^{1*}, Neşe KAVASOĞLU², Abdulkadir Sertap KAVASOĞLU²

ABSTRACT: The current-voltage characteristics are powerfully affected by the lateral inhomogeneity. We developed two dimensional (2D) simulation model for Au/n-GaN Schottky device. In previous studies, it is assumed that zero barrier height inhomogeneity of the device generally good agreement with the Gaussian distribution. In this study, it is accepted that the zero barrier height inhomogeneity is randomly distributed. The structure of the modeling device has columnar grains and gaps between the grains. Structure is divided microcells and every microcell is thought of as a single diode. Whole microcells are connected in parallel. The surface area of the microcells was assumed to be square and circle. In this study, the effect of zero barrier height inhomogeneity and the surface areas of the microcells on the current-voltage characteristics and interface state density are investigated.

Keywords: 2D device modeling, zero barrier height, inhomogeneity

Au/n-GaN Schottky Aygıtının İki Boyutlu Modellenmesi

ÖZET: Akım-voltaj karakteristikleri yanal homojensizliklerden güçlü bir şekilde etkilenir. Au/n-GaN Schottky aygıtı için iki boyutlu (2B) simülasyon modeli geliştirdik. Önceki çalışmalarda aygıtın sıfır voltluk gerilim altındaki engel yüksekliğindeki homojensizliğinin genellikle Gaussian dağılıma uyduğu varsayılmaktadır. Bu çalışmada, sıfır voltluk gerilim altındaki engel yüksekliğindeki homojensizliğin rastgele dağıldığı kabul edilmiştir. Modellenen aygıt yapısı sütunsu grainlere ve grainler arasında boşluklara sahiptir. Yapı mikro hücrelere ayrılmıştır ve her mikro hücre tek bir diyot olarak düşünülmüştür. Tüm mikro hücreler birbirlerine paralel bağlanmıştır. Mikro hücrelerin yüzey alanlarının kare ve daire olduğu varsayılmıştır. Bu çalışmada, mikro hücrelerin sıfır voltluk gerilim altındaki engel yüksekliğindeki homojensizliğinin ve yüzey alanlarının akım-voltaj karakteristikleri ve arayüzey durum yoğunluğuna etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: 2B aygıt modelleme, sıfır gerilimlendirme engel yüksekliği, homojensizlik

¹Bengül METİN (Orcid ID: 0000-0002-8432-8569), Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Muğla, Türkiye

²Neşe KAVASOĞLU (Orcid ID: 0000-0001-7249-2700), Abdulkadir Sertap KAVASOĞLU (Orcid ID: 0000-0001-6758-5574), Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Muğla, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Bengül METİN, e-mail: bzencir@mu.edu.tr

Bu çalışma Bengül METİN'in Doktora tezinden üretilmiştir.

Geliş tarihi / Received: 19-02-2020

Kabul tarihi / Accepted: 12-05-2020

INTRODUCTION

Modeling and simulation is a method used to gain a broader perspective in multiple areas before any investment is made. So, expensive and inefficient processes are eliminated. Inputs and outputs that are difficult to reach by experimental methods can be easily obtained with the help of modeling and simulation.

Modeling and simulation provide a better understanding of the working principles of semiconductor devices and electronic circuits. Device simulation is the process of mathematical modelling, performed on a computer, which is designed to predict the behavior of the outcome of a real-world device performance. Since they allow to check the reliability of chosen mathematical models, computer simulations have become a useful tool for the mathematical modeling of many electronic components in device physics (computational physics). Across device manufacturing and electronic performance, simulation modeling provides valuable solutions by giving clear insights into real-world electronic performance. The power of computational device simulation is that it allows physicist to simulate variations more efficiently by computer, saving time, money, and materials. Virtual experiments with simulation models are less expensive and take less time than experiments with real assets. Electronic device performance can be tested without unnecessarily spending money and time. Because of the computational cost of simulation, computer experiments are used to perform inference such as uncertainty quantification. There are lots of published articles on modeling and simulation in the literature (Bai et al., 2018; Yu et al., 2019; Sowmya et al., 2019; Garcia et al., 2019; Boudaoud et al., 2020; Huang et al., 2020; Ferhati et al., 2020).

In this simulation study, we focused on Au/n-GaN Schottky device. GaN has a band gap of 3.4 eV and a highly preferred material for photovoltaic energy conversation, detectors, production of LED's, lasers, fiber optic communication, atmosphere monitoring applications, high frequency transistors- power – temperature, solar cells for space applications (Pearltona et al., 2000; Dobos et al., 2006; Mou et al., 2017). Au, Ni, Pt and Pd are used for production of GaN Schottky solar cells. In this study, it is chosen Au, because of its prominent features such as light transmission, photoresponse and thermal stability limits (Karrer et al., 1999; Touzi et al., 2002; Kadaoui et al., 2015).

One-dimensional (1D) simulation softwares are used to investigate solar cell behavior in the literature. Fabricated devices has inhomogeneous structure due to the growth conditions. 1D simulation programs are unsatisfactory to study these inhomogeneous structures like separate shunts, poor diode areas, contact geometries and grain borders (Miettunen et al., 2011). For this reason, two-dimensional (2D) simulation programs are used for inhomogeneous structures (Malm and Edoff, 2009).

In this study, 2D simulation program were developed for Au/n-GaN Schottky device. Current-voltage data were obtained from the simulation program. The influence of non-uniform zero barrier height on I- V graphs was investigated. 2D interface state density was also examined. The effect of surface area of the microcells on electrical properties was examined for two cases. The surface area of the microcells was assumed to be square and circle.

MATERIALS AND METHODS

The energy band diagram of Au /n-GaN Schottky device under zero bias condition is illustrated in Figure 1. The illuminated and dark current-voltage data are obtained for $6400 \times 4600 \mu m^2$ of Au /n-GaN Schottky device by our modeling program at room temperature. Electronic equivalent circuit of the device is given at Figure 2. Inhomogeneous structures host different grain orientations, irregular grain borders and in joint fluxations. The structural dislocations produce unusual electronic device parameters. Modeled inhomogeneous device is divided microcells owing to these grains. Every microcell is

considered as a single diode. There are a total of 2944 units diode in the device. All microcells are connected in parallel.

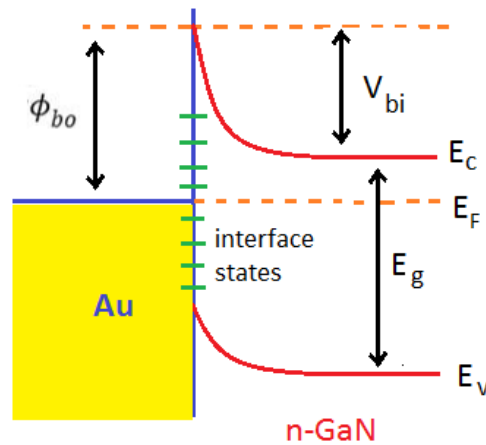


Figure 1. Energy band diagram of Au /n-GaN Schottky device

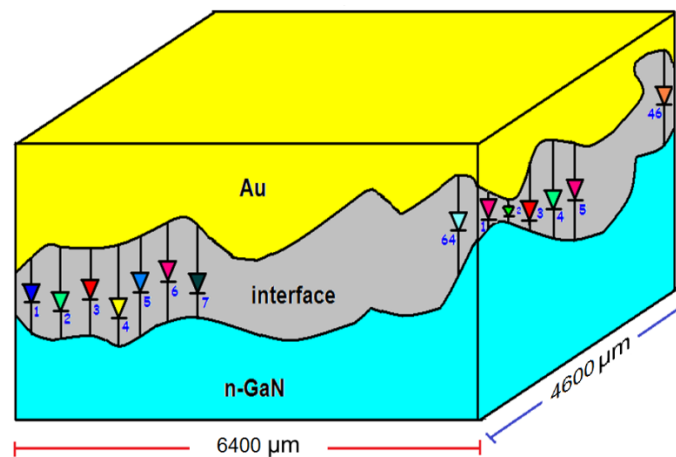


Figure 2. Designed electronic equivalent circuit for developed 2D device modeling program

In this study, developed 2D modeling software is used for obtaining current voltage characteristics of the Au/n-GaN Schottky device. Inhomogeneity in device parameters is often thought to be in well agreement with Gaussian distribution is consistent with this reported in previous works (Zhu et al., 2000; Tataroğlu and Altındal, 2009; Badalia et al., 2018). Also, surface area of the microcells is taken into account as equivalent squares in the previous study (Koishiyev and Sites, 2009). In this study, inhomogeneity in device parameters has been adopted to obey random distribution and surface area of the microcells examined for two cases. The surface area of the microcells was assumed to be equivalent squares and circles as seen in Figure 3.

Random fluctuations in the zero barrier height are shown in Figure 4. These random fluctuations were achieved with Random number generator (RND) of the computer's (Formula 1). In our developed model, random fluctuations due to inhomogeneity is represented by gamma (Γ). Calculations were made for all values of gamma (0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2) of zero barrier height. For example, when the gamma is 0.2, fluctuations in the zero barrier height are given in Figure 4. Offset value of zero barrier height was determined with the help of the early experimental study (Das and Pal, 2007). Zero barrier height variation for the each microcell in the device has been considered for inhomogeneous Au/n-GaN

Schottky device. Flow chart of 2D device modeling program is given in the study of Kavasoglu et al. (2016).

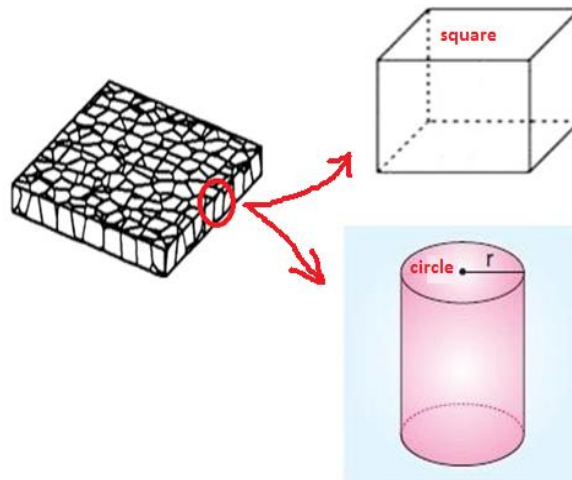


Figure 3. Two different surface areas for the microcells

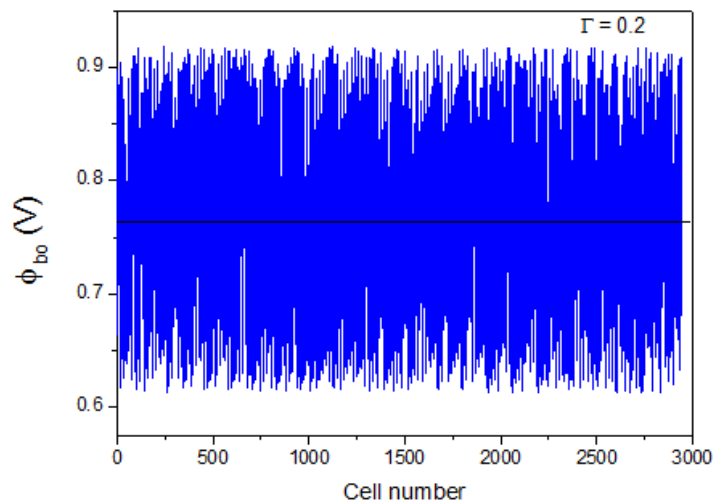


Figure 4. Example of the fluctuations in the zero barrier height (for Γ is %20 = 0.2)

In this work, it is proposed that there are 2944 parallel microcells with different zero barrier height and the total current is formed by individual contribution of microcells. The modeled device has a parasitic resistance for all microcells and each microcell has individual shunt resistances. We have operated 2D simulation program to survey dependence of I–V characteristics on zero barrier height fluctuations in the device with square surface and circle surface of the grains. In this work, simulation data presented, deals with at room temperature and AM0 solar spectrum.

RESULTS AND DISCUSSION

Spatially inhomogeneous structure has randomly distributed dopant atoms, lattice defects in interface, different orientation and grain boundaries of metal atoms and semiconductor, interface roughness. The structural anomalies cause non-ideal device parameters. Non-uniform metal-semiconductor interfaces are mimicked by parallel contacts between metal and semiconductor. For simulation purposes, device is divided into microcells and every microcell is considered as a single diode and all the microcells are connected in parallel.

It is considered that the zero barrier heights in the non-uniform Au/n-GaN Schottky device fluctuate randomly. Surface area of the microcells evaluated for two cases. In the first case, the surface area of each microcell was considered as square. The edge length of the microcell surface is 100 μ m. These diodes are placed (64) horizontal axes and (46) vertical axes as seen Figure 2. Illuminated current voltage characteristics were carried out by using a simulation program developed for Au/n-GaN Schottky device.

The effect of square surface area of the microcell and different inhomogeneity levels of the zero barrier height on the illuminated I-V graphs is seen in Figure 5. Minimum and maximum values of zero barrier heights are decided using fluctuation factor value. In this study, zero barrier heights of diodes differ from each other according with the following formula;

$$\phi_{boj} = \phi_{bo}(0) + (\Gamma\phi_{bo}(0))(2RND - 1) \quad (1)$$

In this equation, j is the cell number, Γ is fluctuation factor (measure of inhomogeneity), RND is a randomly generated number ranging from 0 to 1, $\phi_{bo}(0)$ is offset value of zero bias barrier height. Figure 4 gives an example of random fluctuations of the zero barrier height in the device.

As shown in Figure 5, while inhomogeneity of the zero barrier height increases, V_{oc} values are decreased for square surface area of the microcells. Good agreement was obtained between the simulation results and results reported by Grabitz et al and Abass et al (Grabitz et al., 2005; Abass et al., 2013).

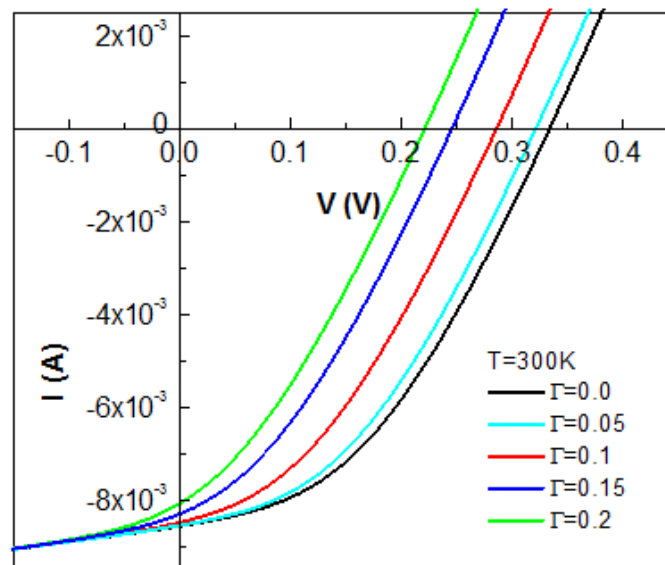


Figure 5. Illuminated current of square-shaped diode in the function of voltage for several values of random fluctuation factors (Γ)

In the second case, the surface area of the microcells was assumed to be circles, exhibiting a random distribution of radius within 40-50 μ m range. The total number of diodes is 2944. Figure 6 represents the illuminated current voltage characteristics for circle surface area and different zero barrier height inhomogeneity of the microcells of the Au/n-GaN Schottky device for room temperature.

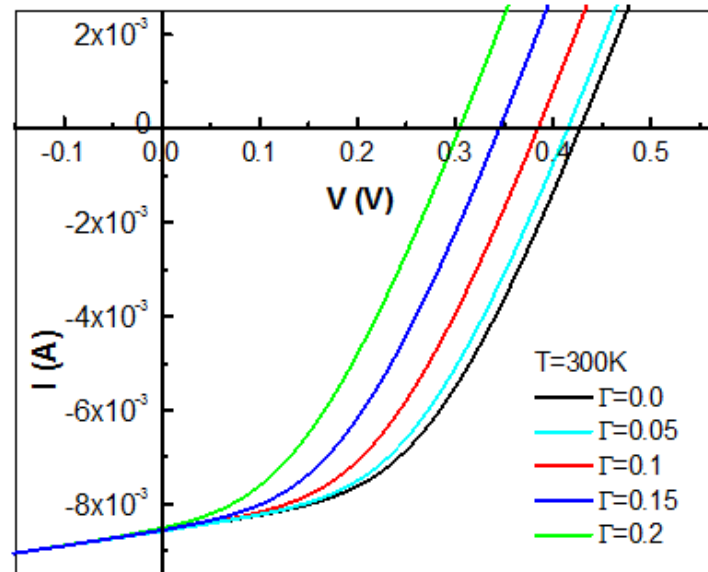


Figure 6. Illuminated current of circle-shaped diode in the function of voltage for several values of random fluctuation factors (Γ)

Figure 6 shows the variation of illuminated current voltage characteristics with zero barrier height fluctuating factor. While the inhomogeneity of the zero barrier height increases, V_{oc} values are decreased. Also, when suppose that shape of a surface is the circle, V_{oc} values are increased with respect to previous microcell surface shape.

Zero barrier height fluctuating factor and different kinds of surfaces dependent fill factor and efficiency are demonstrated in Figure 7. While zero barrier height fluctuation factor increases, V_{oc} , efficiency and fill factor decreases as seen in Figure 5-6-7. It is seen that, efficiency and fill factor values have higher values for circle-shaped microcell surface than square-shaped microcell surface.

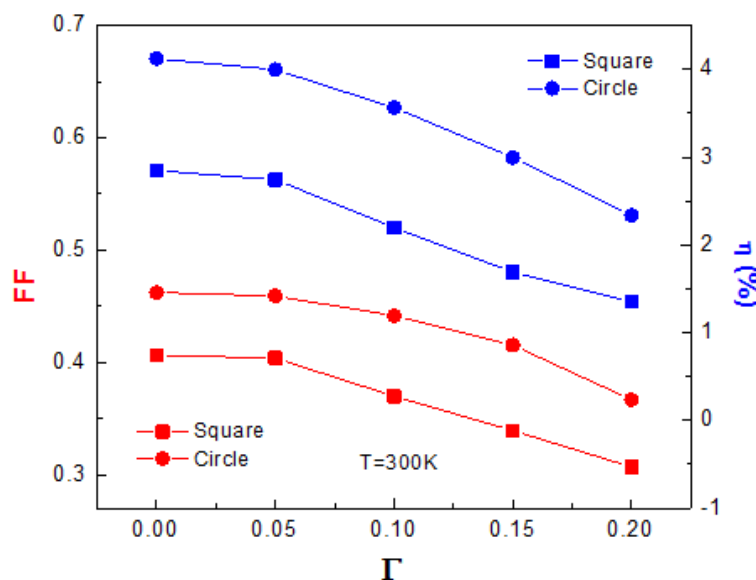


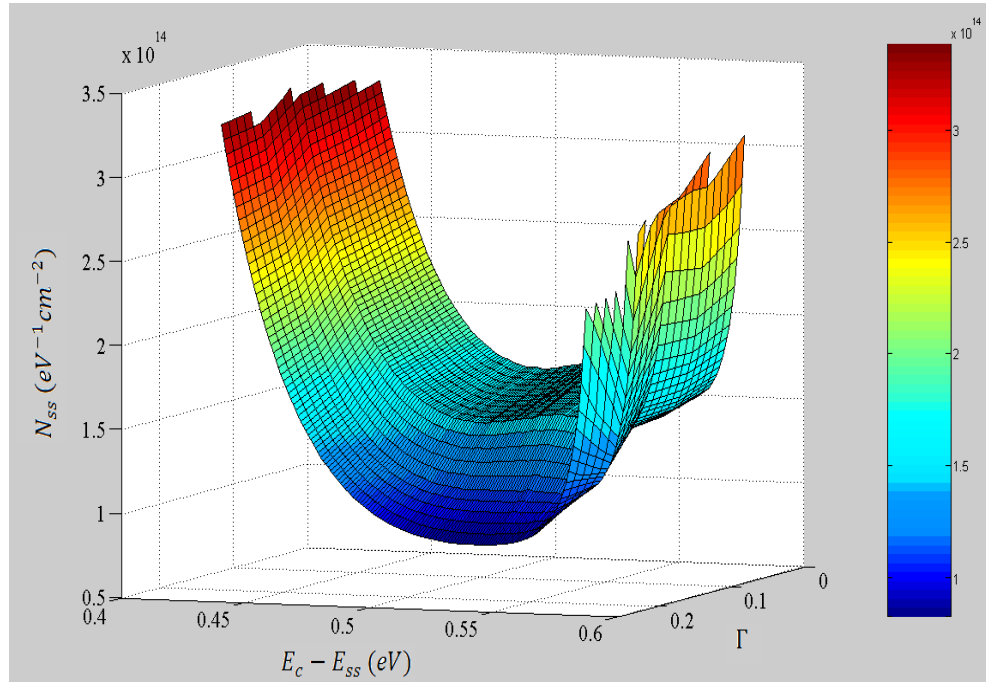
Figure 7. The variation of the FF and the η with random fluctuation factors (Γ) for different types of surface shapes

To investigate, how the interface state density affects the current conduction mechanism of the diodes, Card and Rhoderick's relations have been used (Card and Rhoderick, 1971). $n(V)$ (diode factor) can be define as;

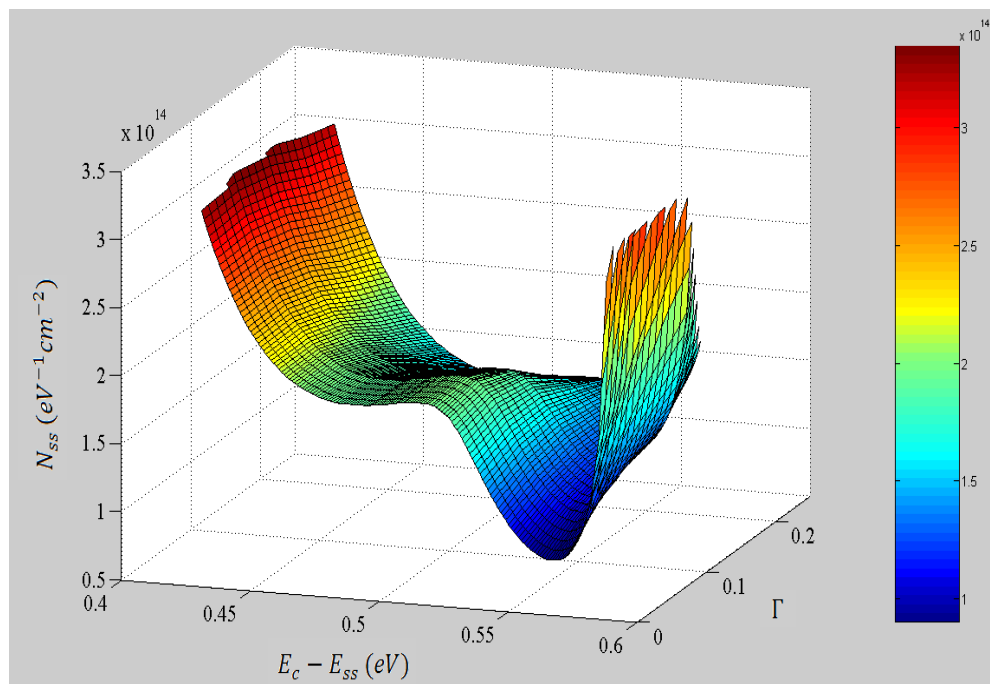
$$n(V) = \frac{q(V-IR_s)}{k_B T \ln\left(\frac{I}{I_0}\right)} \tag{2}$$

Interface state density is given with following equation (Cowley and Sze, 1965; Özdemir and Altındal, 1994);

$$N_{ss}(V) = \frac{1}{q} \left[\frac{\epsilon_i}{\delta} (n(V) - 1) - \frac{\epsilon_s}{W_d} \right] \tag{3}$$



(a)



(b)

Figure 8. $N_{ss} - (E_c - E_{ss}) - \Gamma$ variation (a) Square, (b) Circle

Where W_d is the space charge region width, δ is the interfacial insulator layer thickness, ϵ_s and ϵ_i permittivity of the semiconductor and interfacial insulator layer, respectively.

Effective barrier height is identified with following equation (ϕ_e) (Cova and Singh, 1990; Altındal et al., 2003; Afandiyeva et al., 2008);

$$\phi_e = \phi_{bo} + \left(1 - \frac{1}{n(V)}\right) (V - IR_s) \quad (4)$$

E_{ss} is the energy of the interface states at the Schottky joint interface. E_{ss} with respect to the bottom of the conduction band at the surface of the n-type semiconductor is given by (Cova and Singh, 1990)

$$E_c - E_{ss} = q[\phi_e - (V - IR_s)] \quad (5)$$

Figure 8 (a),(b) shows the N_{ss} curves. $N_{ss} - (E_c - E_{ss})$ curves are susceptible to shape of a surface and fluctuation factor of zero barrier height of the microcells.

CONCLUSION

In this study, developed 2D modeling software is used for obtaining current voltage characteristics of Au/n-GaN Schottky device. Au/n-GaN Schottky device has been investigated with taking zero barrier height fluctuating into account by simulation. V_{oc} , interface state density, efficiency and fill factor greatly depend on random fluctuating factor of zero barrier height. Also, surface shape of the microcells in the simulated device has been examined for two cases (square and circle). V_{oc} , efficiency and fill factor have higher values for the circle-shaped microcell compared to the square-shaped microcell. Interface state density is also responsive to shape of surface and fluctuation factor of zero barrier height of the microcells.

REFERENCES

- Abass A, Van Gestel D, Van Wichelen K, Maes B, Burgelman M, 2013. On the diffusion length and grain size homogeneity requirements for efficient thin-film polycrystalline silicon solar cells. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 46: 045105-045115.
- Afandiyeva IM, Dökme I, Altındal Ş, Abdullayeva LK, Askerov SG, 2008. The frequency and voltage dependent electrical characteristics of Al-TiW-Pd₂Si/n-Si structure using I-V, C-V and G/w-V measurements. *Microelectron Eng.*, 85: 365–370.
- Altındal Ş, Karadeniz S, Tuğluoğlu N, Tataroğlu A, 2003. The role of interface states and series resistance on the I-V and C-V characteristics in Al/SnO₂/p-Si Schottky diodes. *Solid-State Electronics*, 47: 1847-1854.
- Badalia Y, Altındal Ş, Uslu İ, 2018. Dielectric properties, electrical modulus and current transport mechanisms of Au/ZnO/n-Si structures. *Progress in Natural Science: Materials International*, 28: 325-331.
- Bai Z, Du J, Xin Q, Li R, Yu Q, 2018. Numerical analysis of the reverse blocking enhancement in High-K passivation AlGaN/GaN Schottky barrier diodes with gated edge termination. *Superlattices and Microstructures*, 114: 143-153.
- Boudaoud C, Hamdoune A, Allam Z, 2020. Simulation and optimization of a tandem solar cell based on InGaN. *Mathematics and Computers in Simulation*, 167: 194-201.
- Card HC, Rhoderick EH, 1971. Studies of tunnel MOS diodes I. Interface effects in silicon Schottky diodes. *J. Appl. Phys.*, 4: 1589-1601.
- Cova P, Singh A, 1990. Temperature dependence of I-V and C-V characteristics of Ni/n-CdF₂ Schottky barrier type diodes. *Solid-State Electron*, 33: 11–19.
- Cowley AM, Sze SM, 1965. Surface States and Barrier Height of Metal-Semiconductor Systems. *Journal of Applied Physics*, 36: 3212–3220.

- Das SN, Pal AK, 2007. Schottky diodes based on nanocrystalline p-GaN and n-GaN in thin film form. *Vacuum*, 81: 843–850.
- Dobos L, Pecz B, Toth L, Horvath Zs J, Horvath ZE, Toth A, Horvath E, Beaumont B, Bougrioua Z, 2006. Metal contacts to n-GaN. *Applied Surface Science*, 253: 655-661.
- Ferhati H, Djeflal F, Drissi LB, 2020. A new approach to the modeling and simulation of multi-junction solar cells. *Optik*, 200: 163452.
- Garcia F, Shamsir S, Islam SK, 2019. A compact model and TCAD simulation for GaN-gate injection transistor (GIT). *Solid-State Electronics*, 151: 52-59.
- Grabitz PO, Rau U, Werner JH, 2005. Modeling of spatially inhomogeneous solar cells by a multi-diode approach. *Phys. Stat. Sol. (a)*, 202: 2920-2927.
- Huang R, Yu M, Yang Q, Zhang L, Wu Y, Cheng Q, 2020. Numerical simulation for optimization of an ultra-thin n-type WS₂/p-type c-Si heterojunction solar cells. *Computational Materials Science*, 178: 109600.
- Kadaoui MA, Bouiadjra WB, Saidane A, Belahsene S, Ramdane A, 2015. Electrical parameters of Au/n-GaN and Pt/n-GaN Schottky diodes. *Superlattices and Microstructures*, 82: 269-286.
- Karrer U, Dobner A, Ambacher O, Stutzmann M, 1999. Characterization of AlGaIn-Schottky Diodes Grown by Plasma Induced Molecular Beam Epitaxy. *Phys. Stat. Sol. (a)*, 176: 163-167.
- Kavasoglu N, Kavasoglu AS, Metin B, 2016. A New Simulation Model for Inhomogeneous Au/n-GaN Structure. *Semiconductors*, 50(5): 616–620.
- Koishiyevev GT, Sites JR, 2009. Effect of Shunts on Thin-Film CdTe Module Performance. *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.*, 1165.
- Malm U, Edoff M, 2009. 2D device modelling and finite element simulations for thin-film solar cells. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 93: 1066-1069.
- Miettunen K, Halme J, Visuri AM, Lund P, 2011. Two- Dimensional Time-Dependent Numerical Modeling of Edge Effects in Dye Solar Cells. *The Journal of Physical Chemistry C*, 115: 7019–7031.
- Mou W, Zhao L, Chen L, Yan D, Ma H, Yang G, Gu X, 2017. GaN-based Schottky barrier ultraviolet photodetectors with graded doping on patterned sapphire substrates. *Solid-State Electronics*, 133: 78-82.
- Özdemir S, Altındal Ş, 1994. Temperature Dependent Electrical Characteristics of Al-SiO_x-pSi Solar Cells. *Sol. Energ. Mat. Sol. C*, 32: 115-127.
- Pearltona SJ, Ren F, Zhang AP, Lee KP, 2000. Fabrication and performance of GaN electronic devices. *Materials Science and Engineering*, R30: 55-212.
- Sowmya K, Balamurugan NB, Parvathy V, 2019. A 2-D Modeling of Fe doped Dual Material Gate AlGaIn/AlN/GaN High Electron Mobility Transistors for High Frequency Applications. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 103: 46-56.
- Tataroglu A, Altındal Ş, 2009. The distribution of barrier heights in MIS type Schottky diodes from current–voltage–temperature (*I–V–T*) measurements. *Journal of Alloys and Compounds*, 479 (1-2): 893-897.
- Touzi C, Rebey A, Eljani B, 2002. Influence of metal properties and photodiode parameters on the spectral response of n-GaN Schottky photodiode. *Microelectronics Journal*, 33: 961–965.
- Yu M, Li Y, Cheng Q, Li S, 2019. Numerical simulation of graphene/GaAs heterojunction solar cells. *Solar Energy*, 182: 453-461.
- Zhu S, Detavernier C, Van Meirhaeghe RL, Cardon F, Ru G, Qu X, Li B, 2000. Electrical characteristics of CoSi₂/n-Si (100) Schottky barrier contacts formed by solid state reaction. *Solid-State Electronics*, 44: 1807-1818.

Spin 1 Spinor Construction with Clifford Algebra and Dirac Spin 1/2 Spinors

Murat AN^{1*}

ABSTRACT: A compatible spin 1 spinor representation with Clifford algebra $(1,3)$ (or $Cl_{1,3}$) is derived for both $(1/2, 1/2)$ and $(1,0) \oplus (0,1)$ Lorentz group representations with spin 1/2 particles Dirac spinors in $Cl_{1,3}$. The relation between the two different representations of spin 1 spinors is analogous to the relation between the electromagnetic vector potential field A^μ and the electromagnetic field strength tensor $F^{\mu\nu}$. From this relationship, the two representations are combined by the formula $u(p, \lambda) = \not{\epsilon}(p, \lambda) \wedge \not{p} / m$. We also note that the Grassmann basis provides more convenient basis for spin 1 spinors especially in chiral representations of $(1,0) \oplus (0,1)$, even though the Clifford basis is more fitting for spin 1/2 and $(1/2, 1/2)$ spinor representations for both helicity and handedness.

Keywords: Clifford Algebra, Spinors

¹ Murat AN (Orcid ID: 0000-0003-1363-980X), Erzurum Technical University, Faculty of Science, Department of Basic Sciences, Erzurum, Turkey

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Murat AN, e-mail: murat.an@erzurum.edu.tr

Geliş tarihi / Received: 10-03-2020

Kabul tarihi / Accepted: 27-05-2020

INTRODUCTION

The first mathematical term spinors is discovered by Elie Cartan (Cartan, 1938). Later Paul Ehrenfest put the term “spinors” with his work on quantum physics (Tomonaga, 1998). It was Wolfgang Pauli who used the first spinors in mathematical physics in 1927 by his Pauli matrices (Pauli, 1927). In 1930 G. Juvet (Juvet, 1930) and Fritz (Sauter, 1930) found that they could use left ideals of a matrix algebra to represent spinors. In this algebra, the left column of matrices could be used as vectors and left minimal ideals are spinor space. The usage of the minimal left ideal of Clifford algebras began with Marcel Riesz in 1947 (Riesz, 1947).

The paper begins with the definition and properties of Clifford algebra. We continue with spinors in Clifford algebra. First, minimal left ideal or projection method of Dirac spinors similar to Hestenes’ description (Hestenes, 1975) in projective spin-1/2 representation group $(1/2, 0) \oplus (0, 1/2)$. Then, we use the vector definition of $Cl_{1,3}$ to find out the polarization vectors which are $(1/2, 1/2)$ spinors in terms of Clifford numbers. Moreover, these spinors can be shown in terms of spin 1/2 spinors. It is discovered that $(1, 0) \oplus (0, 1)$ spin 1 spinors can be expressed as $u(p, \lambda) = \not{p} / m$ similar to the electromagnetic field strength tensor $F_{\mu\nu}$ and vector potential field A_μ are related to each other. In the next section, we argue that the Grassmann basis or Witt basis (Pavšič, 2010) is a more fitting choice of basis for the spinors in chiral representation and in spherical harmonics form of coordinates when comparing with the Clifford basis. We also pointed out how this basis is in harmony with natural way of occurring of particles like as in light-front form of dynamics. The last section before conclusion is about the how local transformations can express spin 1 spinors in terms of fibers in gauge fields.

MATERIALS AND METHODS

Clifford Algebra (1,3)

Clifford algebra (1,3) shortly $Cl_{1,3}$, is a Clifford algebra with Minkowski space metric which is $g_{\mu\nu} = \text{diag}\{1, -1, -1, -1\}$ in quadratic form $x^\mu g_{\mu\nu} x^\nu = x^2$, where generators are γ_μ with $\gamma_\mu \gamma_\nu = -\gamma_\nu \gamma_\mu$. The Clifford algebra $Cl_{1,3}$ consists of different grades as $(1, \gamma_\mu, \gamma_{\mu\nu}, I\gamma_\mu, I)$ as scalar, vectors, bivectors, trivectors, and volume element which is $I = \gamma_0 \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3$. It has total 16 dimensions.

The entire grades or multivector structure of $Cl_{1,3}$ is

$$Cl_{1,3} = \mathbb{R} \oplus \mathbb{R}^4 \oplus \Lambda^2 \mathbb{R}^4 \oplus \Lambda^3 \mathbb{R}^4 \oplus \Lambda^4 \mathbb{R}^4$$

The Poincare isomorphism to $Cl_{1,3}$ can be expressed as $M^{\mu\nu} \simeq i\gamma^\mu \wedge \gamma^\nu / 2$ where the wedge product is $\gamma^\mu \wedge \gamma^\nu = (\gamma^\mu \gamma^\nu - \gamma^\nu \gamma^\mu) / 2$ in shortly as $\gamma^{\mu\nu}$. In Clifford algebra, we define the boost and rotation operators by rotors R . For boosts, the rotor is $R = e^{-\gamma_0 i \phi^i / 2}$, $i = 1, 2, 3$. For rotations, it is $R = e^{\gamma_{ij} \phi^k / 2}$, $i, j = 1, 2, 3$ with $i \neq j$. The rotor transforms a vector v as $v' = RvR^{-1}$, this transformation is also the same for any multivector A as $A' = RAR^{-1}$.

Spinors

We begin with the definition of Dirac spinors from (Hestenes, 1975) which are also left minimal ideals. Then, since Clifford algebra generators are already part of spin-1 group of $(1/2, 1/2)$, polarization vectors $\varepsilon(p, \lambda)$ are associated with Clifford numbers as vectors and expressed with the spherical harmonics in order to get -1,0,1 spin states. First, the rest frame spinors of $(1/2, 1/2)$ can be defined as vectors of $Cl_{1,3}$ with Cartesian representation of their spins and then the derivation of the $(1,0) \oplus (0,1)$ spinors from the polarization vectors holds similarity between field strength tensor and vector potential as $u(p, \lambda) = \mathcal{E}(p, \lambda) \wedge p/m$.

Hestenes' Projection Method and Spin 1/2 Spinors

Describing spinors as left minimal ideals in Clifford algebra is well known method (Pavšič, 2010; Lounesto, 1997; Hestenes, 1986). In this approach, column representation is used because of isomorphism between Clifford numbers and matrices. We take Hestenes' convention of spinors which is $U = 1/4(1 + \gamma_0)(1 + \sigma_3)$ projection for spinors as minimal left ideals. Here the factors $1/2(1 + \gamma_0)$ and $1/2(1 + \sigma_3)$ are energy and spin projection operators and we make a slight notation as we use our spin operator as $i\gamma_{12}$ instead of σ_3 . Then, the projective spin spinor representation of $(1/2, 0) \oplus (0, 1/2)$ is given by

$$u = \frac{1}{2}(1 + \gamma_0)(1 + i\gamma_{12}). \quad (7)$$

u is given as positive energy and positive helicity spinor so in order to get other spinors, some operators are needed applied on spinor u given by (7). Two operators are needed to get other spinors and these are charge and spin, raising and lowering operators:

$$Q^\mp = \frac{1}{2}(\pm\gamma_1 - i\gamma_2), \quad (8)$$

$$S^\mp = \frac{1}{2}(i\gamma_{23} \pm \gamma_{31}). \quad (9)$$

They become $Q^\mp = RQ^\mp(0)R^{-1}$ and $S^\mp = RS^\mp(0)R^{-1}$ in moving frame. These two operators are the change of two projections in spinors: spin and energy (handedness). Since we only have two states: spin up or down or particle or anti-particle, one of the \pm get rid of one state and change the other state and they can be simplified for spin 1/2 case as

$$Q = Q^+ + Q^-, \quad S = S^+ + S^-. \quad (10)$$

The Dirac spinor representations can derived from u via these operator as

$$u^1 = u, \quad u^2 = Su, \quad v^1 = SQ u, \quad v^2 = Qu, \quad (11)$$

where they are spin up and down for particles and anti-particles and these spinors in moving frame are expressed as

$$u^{(i)}(p) = Ru^{(i)}(0). \quad (12)$$

The rotor is chosen as a single boost in any direction (Dirac boost) $R = e^{-\gamma_{0i}\phi^i/2}$

$$R = \cosh \frac{\phi}{2} - \gamma_{0i} \frac{\phi^i}{\phi} \sinh \frac{\phi}{2}, \quad (13)$$

where $\cosh \frac{\phi}{2} = \sqrt{\frac{E+m}{2m}}$ and $\frac{\phi^i}{\phi} \sinh \frac{\phi}{2} = \frac{p^i}{\sqrt{2m(E+m)}}$ with $\phi = \sqrt{(\phi^1)^2 + (\phi^2)^2 + (\phi^3)^2}$.

$$R = \sqrt{\frac{E+m}{2m}} \left(1 + \gamma_{0i} \frac{p^i}{E+m} \right). \quad (14)$$

and its conjugate is given by $\bar{u}^1 = u^1 R^{-1}$. Spinors of anti-particles are charge conjugation of positive energy spinors so that they are given by $v^1 = -i\gamma_2 u^{1*}$ and $v^2 = -i\gamma_2 u^{2*}$ or negative energy solutions (Feynman-Stueckelberg interpretation) $v^1(p) = u^4(-p)$, $v^2(p) = u^3(-p)$ instead of u^3 and u^4 and in terms of Clifford numbers $v^1 = -iu^4\gamma_2$ and $v^2 = -iu^3\gamma_2$. However, the conjugate spinors can be found also with charge lowering operator in (8) to apply to spinor as shown in (11).

The Polarization Vectors

By definition Clifford numbers are also vectors as $v = \gamma_\mu x^\mu$ and we can begin with defining the 0 helicity as the z direction vector as $\varepsilon(0,0) = \gamma_3$ for $\varepsilon(p, \lambda)$ in $Cl_{1,3}$. Using described spin raising and lowering operators from (9), S^+ and S^- on $\varepsilon(0,0) = \gamma_3$, we can also define spin +1 and -1 polarization vectors so polarization vectors at rest frame becomes

$$\varepsilon(0,+) = -(\gamma_1 + i\gamma_2)/\sqrt{2}, \quad (15)$$

$$\varepsilon(0,0) = \gamma_3, \quad (16)$$

$$\varepsilon(0,-) = -(-\gamma_1 + i\gamma_2)/\sqrt{2}. \quad (17)$$

These spinors also confirms a relationship between the polarization vectors and spherical harmonics as $\varepsilon(0,+) \propto Y_1^1$, $\varepsilon(0,0) \propto Y_1^0$, $\varepsilon(0,-) \propto Y_1^{-1}$.

As in Lorentz transformations are done by two-sided rotors for spin 1 spinors contrary to spin-1/2 spinors. The polarization vectors in momentum space boosted in any arbitrary direction by $R = e^{-\gamma_{0i}\phi^i/2}$ as the same Dirac spinors used for spin-1/2 case.

In comparison of these polarization vectors with the classical expressions in $SO(1,3)$ group presented, one-to-one correspondence of each component is found by $\varepsilon^\mu(p, \lambda) = \gamma^\mu \cdot \varepsilon(p, \lambda)$.

Similar to the notation from (Ashdown et al., 1998), spin 1 states from spin 1/2 states can be constructed as

$$A_{m-m'} = \psi_m \psi_{m'}^* \Gamma. \quad (18)$$

The same connection can be acquired for the polarization vectors as

$$\varepsilon(p, m - m') = u^m(p)\bar{u}^{m'}(p)\Gamma(p) - v^m(p)\bar{v}^{m'}(p)\Gamma(p). \quad (19)$$

Where, $\Gamma(p) = RSQR^{-1}$ is defined with spin operator S and charge operator Q from (10) and we can construct the polarization vectors from the Dirac spinors in $Cl_{1,3}$ as

$$\varepsilon(p, +) = (u^1(p)\bar{v}^2(p) - v^1(p)\bar{u}^2(p)) / \sqrt{2} = R(-\gamma_1 - i\gamma_2)R^{-1} / \sqrt{2}, \quad (20)$$

$$\varepsilon(p, 0) = (u^1(p)\bar{v}^1(p) + u^2(p)\bar{v}^2(p) - v^1(p)\bar{u}^1(p) - v^2(p)\bar{u}^2(p)) / 2 = R\gamma_3R^{-1}, \quad (21)$$

$$\varepsilon(p, -) = (u^2(p)\bar{v}^1(p) - v^2(p)\bar{u}^1(p)) / \sqrt{2} = R(\gamma_1 - i\gamma_2)R^{-1} / \sqrt{2}. \quad (22)$$

As we expected, it shows a direct relation between change of spin of the spin 1/2 Dirac spinors and the polarization vectors.

(1,0) \oplus (0,1) Lorentz Group Spinors

We use the relation similar to the electromagnetic field strength tensor related with the four potential as $F^{\mu\nu} = \partial^\mu A^\nu - \partial^\nu A^\mu$ since the vector potential is $A^\mu = \varepsilon^\mu e^{ip \cdot x}$. Here, the field tensor becomes $F = i\varepsilon(p) \wedge p e^{ip \cdot x}$ where $\varepsilon(p) = \gamma_\mu \varepsilon^\mu(p)$ and $p = \gamma_\mu p^\mu$. Due to the similarity with $F^{\mu\nu}$, the spinor is given by $u(p) \square \varepsilon_i \wedge p / m$. For the rest frame, $u(0) \square \gamma_i \wedge \gamma_0$ and our rest frame spinors on (1,0) \oplus (0,1) representation are thus given by

$$u(0, +) = -\gamma_{01}(1 - i\gamma_{12}) / \sqrt{2}, \quad (23)$$

$$u(0, -) = \gamma_{01}(1 + i\gamma_{12}) / \sqrt{2}, \quad (24)$$

$$u(0, 0) = \gamma_{03}. \quad (25)$$

We can observe that the spinors of (1/2, 1/2) are associated with vectors while spin (1,0) \oplus (0,1) group are with bivectors.

There exist two $SU(2)$ subalgebras in bivectors of $Cl_{1,3}$ which can be separated into $A = J + iK$ and $B = J - iK$ to project right-handed and left-handed spinor parts in chiral representation in terms of rotation (J) and boost (K) operators. In Clifford algebra, we can write down A and B such that $A = (1 + \gamma_5)J$ and $B = (1 - \gamma_5)J$ since $\gamma_5 J = iK$. Thus, we have the same operator as spin 1/2 spinor to project into right-handed spinors (1,0) and left-handed spinors (0,1) as shown in Table. The electric and magnetic field can be expressed similarly as $E + iB \in (1,0)$ and $E - iB \in (0,1)$ since these parts are related to the bivectors as $\gamma_{\mu\nu} F^{\mu\nu} = \nabla \wedge A$ with $\nabla = \gamma^\mu \partial_\mu$ and $A = \gamma_\mu A^\mu$.

Table. Relation of $\{x, y, z\}$ directions in $(1/2, 1/2)$ and in $(1, 0) \oplus (0, 1)$ representations for each right-handed $(1 + \gamma_5)$ and left-handed $(1 - \gamma_5)$ cases.

$(1/2, 1/2)$	$(1, 0)$	$(0, 1)$
γ_1	$(\gamma_{01} - i\gamma_{23})$	$(\gamma_{01} + i\gamma_{23})$
γ_2	$(\gamma_{02} - i\gamma_{31})$	$(\gamma_{02} + i\gamma_{31})$
γ_3	$(\gamma_{03} - i\gamma_{12})$	$(\gamma_{03} + i\gamma_{12})$

In order to find components of spinors, we will introduce a new basis Grassmann or Witt basis in the next section. In this basis, we compare the $(1, 0) \oplus (0, 1)$ spinors with the spinors defined in terms of spin \pm states rather than in terms of the Cartesian states (x, y, z) and also in the Chiral basis.

RESULTS AND DISCUSSION

Grassmann Algebra and Clifford Spinors

In constructing spinors, we can use Grassmann or Witt basis from (Winnberg, 1977) instead of Clifford basis.

We can redefine our Clifford basis with a slight notation difference as

$$\theta_1 = (\gamma_0 + \gamma_3) / \sqrt{2}, \quad \theta_2 = (-\gamma_1 - i\gamma_2) / \sqrt{2}, \quad (26)$$

$$\bar{\theta}_1 = (\gamma_0 - \gamma_3) / \sqrt{2}, \quad \bar{\theta}_2 = (\gamma_1 - i\gamma_2) / \sqrt{2}, \quad (27)$$

where they satisfy the properties of Grassmann algebra as

$$(\theta_1)^2 = (\bar{\theta}_1)^2 = (\theta_2)^2 = (\bar{\theta}_2)^2 = 0 \quad \text{and} \quad \theta_i \theta_j = -\theta_j \theta_i \quad \text{for} \quad i \neq j \quad (28)$$

The polarization vectors can be rewritten with this new basis as

$$\varepsilon(p, \lambda) = \gamma_\mu \varepsilon^\mu = \theta_1 \varepsilon^+ + \bar{\theta}_1 \varepsilon^- - \theta_2 \varepsilon^L + \bar{\theta}_2 \varepsilon^R, \quad (41)$$

here $\varepsilon^+ = (\varepsilon^0 + \varepsilon^3) / \sqrt{2}$, $\varepsilon^- = (\varepsilon^0 - \varepsilon^3) / \sqrt{2}$, $\varepsilon^R = (\varepsilon^1 + i\varepsilon^2) / \sqrt{2}$, $\varepsilon^L = (\varepsilon^1 - i\varepsilon^2) / \sqrt{2}$.

Similarly $(1, 0) \oplus (0, 1)$ Lorentz group spinors in chiral representation:

$$u(p, \lambda) = \theta_1 \theta_2 u^1 + (\bar{\theta}_1 \theta_1 - \theta_1 \bar{\theta}_1 + \bar{\theta}_2 \theta_2 - \theta_2 \bar{\theta}_2) u^2 + \bar{\theta}_1 \bar{\theta}_2 u^3 + \bar{\theta}_1 \theta_2 u^4 + (\bar{\theta}_1 \theta_1 - \theta_1 \bar{\theta}_1 - \bar{\theta}_2 \theta_2 + \theta_2 \bar{\theta}_2) u^5 + \theta_1 \bar{\theta}_2 u^6. \quad (29)$$

When the Grassmann basis and Clifford basis are compared, one may see that the previous expression looks much nicer than the one in Clifford basis in previous section. We also see how they are related in such a way that θ_2 and $\bar{\theta}_2$ defines circular polarizations (spin-down or spin-up in spin 1/2 spinors) and θ_1 and $\bar{\theta}_1$ defines helicity \pm states and each components of $u(p, \lambda)$ in $Cl_{1,3}$.

The u spinor can be expressed with the polarization vector as

$$u(p, \lambda) = \not{\epsilon}(p, \lambda) \wedge p / m, \quad (30)$$

where p as $p = \theta_1 p^+ - \theta_2 p^L + \bar{\theta}_2 p^R + \bar{\theta}_1 p^-$.

Now, it is possible to write down the u spinors components as

$$\begin{aligned} u^1(p, \lambda) &= (p^L \epsilon^+ - p^+ \epsilon^L) / m, \\ u^2(p, \lambda) &= (p^- \epsilon^+ - p^+ \epsilon^- - p^L \epsilon^R + p^R \epsilon^L) / \sqrt{2}m, \\ u^3(p, \lambda) &= (-p^R \epsilon^- + p^- \epsilon^R) / m, \\ u^4(p, \lambda) &= (p^L \epsilon^- - p^- \epsilon^L) / m, \\ u^5(p, \lambda) &= -(p^+ \epsilon^- - p^- \epsilon^+ + p^L \epsilon^R - p^R \epsilon^L) / \sqrt{2}m, \\ u^6(p, \lambda) &= (p^+ \epsilon^R - p^R \epsilon^+) / m. \end{aligned} \quad (31)$$

This conversion works for any polarization vectors and spinors in any frame as long as the u spinor of spin-1 is expressed in chiral representation. We compared the polarization vectors from the previous works presented in (Ji et al., 2015; Li et al., 2015) where spin $(n, 0) \oplus (0, n)$ spinors from $n=1/2$ to $n=2$ including $n=1$ are presented in the form interpolating between the instant form dynamics and the front form dynamics, now known as the light-front dynamics. Regardless of the forms of the relativistic dynamics, we confirmed the validity of the above relation given by (30).

Spin 1 Spinors in Gauge Theory

Gauge field is a local transformation and spin 1 fields are related with transformation between two spin 1/2 fields. Spin 1 spinors requires two sided transformation because they are considered to be mediators of spin 1/2 spinors and similar studies exist about two-sided equivalence in (Chisholm and Farwell, 1991). Fibers are a set of internal dimension and similar to operators given in (10) spin and charge and spin 1 spinors are local transformation of left minimal ideal spinors or projection spinors. The space fiber of left minimal ideal is the polarization vectors as $q\gamma^\mu A_\mu^i = mR\gamma_i R^{-1}$.

We can write down the fibers in the wave function as phase transformation

$$\psi'(x) = e^{ie\int A_\mu dx^\mu} e^{ipx}. \quad (32)$$

Then we observe them in local transformation between two point of space-time so we can describe a transition between x and dx as

$$\psi'(x+dx) = \psi'(x) + \gamma^\mu \partial_\mu \psi'(x) dx + \gamma^\mu \gamma^\nu \partial_\mu \partial_\nu \psi'(x) \frac{dx^2}{2} + \dots \quad (33)$$

and when we take derivatives, the expansion of the wave function become

$$\begin{aligned} \psi'(x+dx) &= \psi'(x) + i\gamma^\mu(p_\mu + eA_\mu)\psi'(x)dx \\ &- \left\{ p^2 + \gamma^{\mu\nu} (i(\partial_\mu p_\nu) + ie^2(\partial_\mu A_\nu) + e(A_\mu p_\nu + A_\nu p_\mu)) \right\} \psi'(x) \frac{dx^2}{2} + \dots \end{aligned} \quad (34)$$

It can be noticed that while the polarization vectors appear in first order of the expansion, u spinors emerge in the second order in the transformation of the wave function.

CONCLUSION

We provide an easy and universal way to write down $(1,0) \oplus (0,1)$ spinors from polarization vectors $((1/2, 1/2)$ spinors) as shown in (44) by constructing spin-1 spinor in $Cl_{1,3}$. While we find a simple expression for their relation as $u = \not{x} \wedge \not{p} / m$ from $F = \nabla \wedge A$ for $Cl_{1,3}$ spin 1 spinors, we need to define the basis with which the u spinor is expressed. We introduce Grassmann or Witt basis in terms of Clifford numbers to express u spinors in chiral representation since each Grassmann number is related with spin and helicity. The Clifford basis is more convenient for polarization vectors as $\varepsilon^\mu(p, \lambda) = \gamma^\mu \cdot \varepsilon(p, \lambda)$ since $(1/2, 1/2)$ Lorentz group can be correlated with $e_\mu x^\mu$ components as $\gamma_\mu x^\mu$. However for chiral representation, the Grassmann basis is more suitable since we could express the helicity with $\{\theta_1, \bar{\theta}_1\}$ and the spin with $\{\theta_2, \bar{\theta}_2\}$ and the u spinor components determined by both the spin states $\{1, 0, -1\}$ and the handedness $\{u_R, u_L\}$ in $(1,0) \oplus (0,1)$ Lorentz group spinor. Moreover the spin 1/2 Dirac spinor are connected with the Grassmann basis with $\theta_2 \bar{\theta}_2$ and $\bar{\theta}_2 \theta_2$ since they represent positive and negative spin projection respectively. Nevertheless, $\theta_1 \bar{\theta}_1$ and $\bar{\theta}_1 \theta_1$ represent helicity projection because it shows relation between z-direction of momentum and energy not energy projection alone but they are still connected.

REFERENCES

- Ashdown MAJ, Somaro SS, Gull SF, Doran CJL, Lasenby AN, 1998. Multilinear Representations of Rotation Groups within Geometric Algebra. *Journal of Mathematical Physics*, 39(3): 1566-1588.
- Cartan E, 1938. *Leçons sur la theorie des spineurs*. Hermann & Cie, Paris.
- Chisholm JSR, Farwell RS, 1991. Gauge transformations of spinor within a Clifford algebra. *Journal of Physics A: Mathematical and General*, 32: 2805-2823.
- Hestenes D, 1975. Observables, operators, and complex numbers in the Dirac theory. *Journal of Mathematical Physics*, 16(3): 556.
- Hestenes D, 1986. Clifford algebra and the interpretation of quantum mechanics. In: Chisholm J SR and Common AK, editors, *Clifford Algebras and their Applications in Mathematical Physics*; Reidel D.
- Ji C R, Li Z, Suzuki AT, 2015. Electromagnetic gauge field interpolation between the instant form and the front form of the Hamiltonian Dynamics. *Physical Review D*, 81.
- Juvet G, 1930. Opérateurs de Dirac et équations de Maxwell. *Commentarii Mathematici Helvetici*, 2: 225-235.
- Li Z, An M, Ji CR, 2015. Interpolation Helicity Spinors Between the Instant Form and the Light-front Form. *Physical Review D*, 92.
- Lounesto P, 1997. *Clifford algebra and Spinors*. Cambridge University Press, Cambridge-UK.

- Pauli W, 1927. Zur Quatenmechanik des magnetischen Elektrons. *Zeitschrift fur Physik*, 43: 601-623.
- Pavšič M, 2010. Space inversion of spinors revisited: A possible explanation of chiral behavior in weak interactions. *Physics Letters B*, 692(3): 212-217.
- Reisz M, 1947. Sur certain notions fondamentales en théorie quantique relativiste. In: C.R.10 Congrès Math. Scandinaves, Copenhagen; 1946, Jul. Gjellerups Forlag, Copenhagen; 1947. pp. 123-148.
- Sauter F, 1930. Lösung der Diracschen Gleichungen ohne Spezialisierung der Diracschen Operatoren. *Zeitschrift fur Physik*, 63: 803-814.
- Tomonaga S, 1998. The story of spin. University of Chicago Press, p.129, Chicago and London.
- Winnberg JO, 1977. Superfields as an extension of the spin representation of the orthogonal group. *Journal of Mathematical Physics*, 18: 625.

Bazı Tahıl ve Tahıl Benzeri Unların Yenilebilir Film ve Kaplama Potansiyellerinin BelirlenmesiAli Mücahit KARAHAN¹, Raciye MERAL^{2*}, Osman KILINÇÇEKER¹

ÖZET: Yenilebilir filmler ve kaplamalar, gıdaların yüzeyine ince tabaka halinde uygulanan ve gıdaları dış ortamdan koruyan ve polisakkarit ve/veya protein kullanılarak ya da bitkisel kaynaklı unlar kullanılarak hazırlanan materyallerdir. Bu çalışmada, yerel satıcılardan temin edilen buğday, mısır, chia, tef, karabuğday ve kinoa unlarının protein, nişasta, nem değerleriyle su absorpsiyon oranları incelenmiş ve bu unların yenilebilir film ve kaplama olarak kullanılma potansiyelleri belirlenmiştir. Unların protein oranlarının %6.40-19.64; nişasta oranlarının %2.87-71.63 arasında değiştiği belirlenmiştir. Unların partikül büyüklükleri varyasyon göstermiş ve en ince partiküle sahip unun buğday unu, en yüksek partikül büyüklüğüne sahip unun chia unu olduğu saptanmıştır. Su absorpsiyon değerleri chia unu için en yüksek (%404.03), buğday unu için en düşük (%5.15) olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda bu unların kimyasal ve fiziksel özellikler açısından yenilebilir kaplama formülünde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kaplama, un, yenilebilir film,

Determination of Edible Film and Coating Potentials of Some Cereal and Pseudocereal Flours

ABSTRACT: Edible films and coatings are materials which are applied to the surface of foods in a thin layer and which protects the food from the external environment. They are prepared by using polysaccharide and/or protein or by using flours of vegetable origin. In this study, protein, starch, moisture and water absorption ratios of wheat, corn, chia, teff, buckwheat and quinoa flours obtained from local market were investigated and their potential for use as an edible films and coatings were determined. The protein content of flour was 6.40-19.64%; starch ratios were found to be 2.87-71.63. Particle sizes of the flours showed variation and it was found that the flour with the finest particles was wheat flour and the flour with the highest particle size was chia flour. Water absorption values were highest for chia flour (404.03%) and lowest for wheat flour (65.15%). As a result of this study, it was concluded that these flours can be used in edible coating formula in terms of chemical and physical properties.

Keywords: Coating, edible films, flour

¹Ali Mücahit KARAHAN (0000-0001-8779-4349), Osman KILINÇÇEKER (0000-0002-5222-1775) Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Kampüs-Adıyaman, Türkiye

²Raciye MERAL (Orcid ID: 0000-0001-9893-7325), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Raciye MERAL, e-mail: racyemeral@yyu.edu.tr

Geliş tarihi / Received: 20-12-2019

Kabul tarihi / Accepted: 28-04-2020

GİRİŞ

Giderek artan tüketici farkındalığı, sentetik maddelere karşı oluşan negatif algı ve dünya genelinde önemli bir problem olmaya başlayan çevre kirliliği ve yüksek ambalaj fiyatları, çevreye zarar vermeyen, doğal kaynaklardan elde edilen ve az miktardaki materyalle gıdaya iyi bir koruma sağlayan yeni gıda ambalajları üretimini gerektirmiştir. Doğal kaynaklardan elde edilen ambalajlar ile nanoteknoloji kullanılarak elde edilen kaplama materyalleri (Ceylan ve ark., 2018a; Meral ve ark., 2019); biyolojik olarak parçalanabilen ve genellikle film oluşturma kabiliyetine sahip ve gıdayı tamamen sarabilen bileşenlerdir. Yenilebilir filmler ve kaplamalar “çevre dostu” gıda ambalajı olarak kabul edilmektedirler. Çünkü biyolojik olarak parçalanabilir olmaları geleneksel ambalajlama sistemlerinde bulunmayan fonksiyonlardır (Pajak ve ark., 2019). Yenilebilir filmler ve kaplamalar, gıdaların yüzeyine ince tabaka halinde uygulanan ve gıdaları dış ortama karşı koruyan malzemelerdir. Bu film ve kaplamalar, gıdaların raf ömrünü uzatabilen, nem ve yağ kaybını, gaz geçirgenliğini (O_2 , CO_2), lezzet ve aroma kayıplarını kontrol edebilen, gıdaya mekanik, reolojik özellikler, renk ve görünüm sağlayabilen, gıda kalitesini yükseltebilen maddeler olarak ön plana çıkmaktadırlar (Avena-Bustillos ve McHugh, 2011). Yenilebilir film ve kaplamaların yapımında çok sayıda polimer kullanılabilir. Ancak kullanılacak polimerlerde aranan temel özelliklerden birisi, bu materyalin yeterli, sürekli ve birleştirici bir matriks oluşturabilen en az bir temel bileşen içermesidir (Lago-Vanzela ve ark., 2013). Polisakkaritler, proteinler ve lipitler gibi biyo-polimerlerin veya bunların karışımlarının yenilebilir filmler ve kaplamalar hazırlamak ve gıdayı muhafaza etmek için kullanılabilirliği bildirilmektedir. Mısır zeini, buğday gluteni, soya, yerfıstığı, pamuk tohumu, ayçiçeği, pirinç kepeği, serum albümin, yumurta akı, kollajen, jelatin, miyofibriller, kazein ve peynir altı suyu proteinleri gibi çok sayıda protein kaynağı, potansiyel film ve kaplama bileşeni adayı olarak incelenmiştir (Condés ve ark., 2015). Yenilebilir kaplamalar, genellikle buğday, mısır, pirinç unu gibi tahıl kökenli unların kullanımıyla hazırlanabilen ürünlerdir (Brannan ve Pettit, 2015). Ticari olarak kullanılan bazı yenilebilir kaplama örnekleri, et ve balık ürünlerinin kaplanmasını içermektedir (İlter ve ark., 2008; Kilincceker ve Hepsag, 2012). Kaplama ürünleri derin yağda kızartılan ürünlere renk ve aroma vermekte, bu ürünlerde nem miktarını ve yağ emilimini kontrol etmektedirler.

Bir kaplama malzemesinin etkinliği ve bariyer özelliği kaplama malzemesinin bileşimine ve mikro yapısına bağlı olarak değişebilmektedir. Hidrofilik biyopolimerler, kaplamadaki su kaybını azaltmak için su bağlayıcı olarak kullanılabilirler. Su kaybı azalınca yağ emilimi de azalmaktadır (Ananey-Obiri ve ark., 2018)

Yenilebilir kaplamalar gıda yüzeyinde sıvı olarak uygulanırken, yenilebilir filmler katı tabaka halinde uygulanır. Yenilebilir kaplama, doğrudan gıda yüzeylerinde oluşan, yaklaşık 0.3 mm'lik yenilebilir fakat ince bir katman olarak tanımlanmaktadır (Ananey-Obiri ve ark., 2018).

Yenilebilir filmler için, gözeneksiz ve bütünlüğü sağlayan yapı, düşük su buharı geçirgenliği, çekme ve kopmaya karşı yüksek dayanıklılık arzu edilirken, yenilebilir kaplamalar için pürüzsüz ve düzgün yapı, derin yağda kızartma esnasında düşük yağ emilimi arzu edilmektedir. Yenilebilir kaplama ve film yapımında kullanılan maddelerin protein, nişasta, lif ve yağ içeriği, bu maddelerin partikül büyüklüğü, su absorpsiyon değerleri ve yüzey özellikleri bu maddelerden elde edilen kaplama ve filmlerin çeşitli özelliklerini etkileyebilmektedir. Bu nedenle, kaplama malzemesi olarak kullanılacak olan protein ve nişasta kaynaklarının bileşimi ve su absorpsiyon değerleri, bu materyallerin kaplama malzemesi olarak kullanıldığında ne kadar etkin olacağı hakkında bilgi vermektedir. Bu çalışma; buğday, mısır, chia, tef, karabuğday ve kinoa unlarının protein, nişasta, nem değerleriyle su absorpsiyon

oranları incelemek ve bu unların yenilebilir film ve kaplama olarak kullanım potansiyellerini belirlemek için planlanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada kullanılan unlar, İstanbul ve Adıyaman illerinde bulunan yerel satıcılardan alınmış ve analiz edilinceye kadar serin ve rutubetsiz ortamda muhafaza edilmiştir.

Nem oranı tayini: Un numunelerinin rutubet oranı, AACC Yöntem 44-01'e göre 105 °C'deki etüvde belirlenmiştir (AACC, 1994).

Protein tayini: Protein tayini Kjeldahl metoduyla yapılmıştır (AACC, 1994).

Partikül büyüklüğü tayini: Partikül büyüklüğü değerleri Elgün ve ark. (1998)'nin belirttiği yöntemle göre yapılmıştır.

Absorpsiyon oranı (AO) tayini: Partikül büyüklüğü Doğan ve Ünal, (1990)'a göre yapılmıştır.

Renk özelliklerinin belirlenmesi: Renk parametreleri (L^* , a^* ve b^* değerleri) taşınabilir renk ölçüm cihazı Konica Minolta Chroma Meter CR-400 (Osaka, Japonya) kullanılarak belirlenmiştir (Anonim, 2018).

İstatistiki analiz

Çalışma iki tekerrür ve üç paralel olarak yapılmıştır. Sonuçlar varyans analizine tabi tutulmuş, istatistiksel olarak önemli çıkan ortalamalara Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bitkisel unların partikül büyüklüğü ve su absorpsiyon değerleri

Partikül büyüklüğü, kaplama formüllerinde kaplamanın kıvamını, gıdaya yapışma derecesini, kızartılan ürünün nem oranını ve yağ emilimini etkileyen önemli bir parametredir. Çizelge 1' de bitkisel unların partikül büyüklükleri ve su absorpsiyon oranları verilmiştir.

Çizelge 1. Bitkisel unların partikül büyüklüğü değerleri ve su absorpsiyon oranları (%)

Un türü	0.212 mm üstü	0.150 mm altı	Su absorpsiyon oranı
Buğday Unu	0.85±0.04 ^e	35.84±14.98 ^a	65.15±1.87 ^e
Mısır unu	78.90±1.63 ^b	1.51±0.00 ^b	114.59±0.44 ^b
Chia unu	96.98±1.07 ^a	0.83±0.14 ^b	404.03±2.73 ^a
Tef unu	63.88±2.71 ^c	2.82±1.45 ^b	105.7±2.59 ^c
Karabuğday unu	39.75±2.12 ^d	12.60±5.36 ^b	114.54±7.02 ^b
Kinoa unu	65.34±0.34 ^c	1.87±0.07 ^b	97.32±0.64 ^d

^{a-e} Örnekler arasındaki önemli fark aynı sütunda farklı küçük harfle belirtilmiştir (p<0.05).

Partikül büyüklüklerine göre 0.212 mm elek üstü değerleri %0.85-96.98 arasında, 0.150 mm elek altı değerler ise %0.83-35.84 arasında değişiklik göstermiştir. 0.212 mm elek üstü değerlerin ortalamalarına ait istatistiksel farklılıklar p<0.01 düzeyinde önemli iken, 0.150 mm elek altı ortalamalara ait farklılıklar p<0.05 düzeyinde önemli çıkmıştır.

Chia ununun %96.98'lik kısmı 0.212 mm gözenek çapına sahip eleğin altında kalırken, bu oran buğday unu için %0.85 olarak belirlenmiştir. 0.150 mm'lik gözenek çapına sahip eleğin altında kalan kısım buğday unu için %35.84 olarak belirlenmiştir. Türk Gıda Kodeksi buğday unu tebliği (Anonim, 2013) unu; en az %98'i 212 mikronluk elekten geçen materyal olarak tanımlamaktadır. Dick ve ark., (2016) chia unundan elde edilen unun 60 meshlik (283 mikron) elekten geçen kısmının oranının %4.77 olduğunu ifade etmiştir. Literatürde bildirilen değerler bizim bulgularımızı doğrular niteliktedir.

Partikül büyüklüğü dağılımında 0.25 mm ve daha küçük gözenek çapına sahip eleklerden geçen partiküller ince, 0.25 üstü ve 0.85 mm altında kalan partiküller orta, 0.85 mm gözenek çapına sahip elek üstünde kalan partiküller ise iri olarak tanımlanmaktadır (Maskat ve Kerr, 2002). Çizelge1'den de görüleceği gibi partikül büyüklüğü en düşük olan unun buğday unu, en yüksek olan unun ise chia tohumundan elde edilen un olduğu görülmektedir. Partikül büyüklüğü yenilebilir film ve kaplamalarda kritik bir role sahiptir. Yüzey alanı küçülen materyal daha fazla yüzey alanına sahip olmakta ve genişletilmiş yüzey alanı gıda materyali ile daha iyi temas ve daha etkin bir koruma sağlamaktadır (Ceylan ve ark., 2018b; Meral ve ark., 2019). Ayrıca küçük partikül boyutlarına sahip olan kaplamalar su buharına karşı daha iyi bariyer oluşturmakta ve kaplamaların su buharı geçirgenliğini düşürmektedirler (Dick ve ark., 2016). Kaplama malzemelerinin partikül büyüklüğü; kızarmış ürünün yağ emilimini, yüzey özelliklerini, dokusunu ve gevrekliğini de etkilemektedir (Voong ve ark., 2018). Yağ emilimi, gıdanın yüzey özellikleriyle de ilgili olduğundan, gıdanın şekli ve yüzey pürüzlülüğü toplam yağ miktarını etkilemektedir. Bu nedenle homojen bir kaplama uygulaması, yağ emiliminin azalmasını sağlayabilmektedir (Supawong ve ark., 2018). Maskat ve Kerr, (2002) küçük, orta ve iri partikül büyüklüğüne sahip olan kaplamalarla muamele edilmiş tavuk göğüs etlerinin çeşitli özelliklerini inceledikleri çalışmalarında, ince partikül büyüklüğüne sahip kaplamaların daha iyi viskozite ve yapışma derecesi sağladığını ifade etmişlerdir. İnce kaplama malzemesiyle kaplanan kızarmış ürünlerin nem miktarı daha yüksek olmuş ve homojen, yüzeyi daha düzgün ürün elde edildiği bu araştırmacılar tarafından belirtilmiştir. İnce partiküllü kaplamalar, gıdaya daha etkin ve homojen bir şekilde uygulanmakta, ince partiküller yüksek su absorpsiyonu nedeniyle çözeltinin viskozitesini artırarak daha iyi bir kaplama ve yapışma derecesi sağlamaktadırlar. Bu özellikler kızartılan üründe kayıpların azalmasına katkıda bulunmaktadır (Moradi ve ark., 2014). Ayrıca ince partikül büyüklüğüne sahip olan kaplamalarla kızartılan ürünlerin tekstürü ve ağızda bıraktığı his daha iyi olmaktadır. Bu çalışmada, analize tabi tutulan bitkisel unların partikül büyüklüklerine bakıldığında ince ve orta büyüklüklerde oldukları ortaya konmuştur. Kaplamalar açısından bakıldığında, bu unların kaplamalara daha iyi yapışacağı, son ürünün nem oranını ve kızartma verimini artıracığı düşünülmektedir. Partikül büyüklüğünün yanı sıra kaplamaların absorpsiyon oranları, protein ve nişasta oranları da yapışma derecesi, kızartma verimi gibi özellikleri etkilemektedir.

Hidrofilik tabanlı kaplama malzemeleri, hidrofobik tabanlı malzemelere tercih edilmektedir (Ananey-Obiri ve ark., 2018). Bitkisel unların su absorpsiyon değerleri %65.15-404.03 arasında değişiklik göstermiştir. Bitkisel unların su absorpsiyon değerleri arasındaki farklılıklar $p < 0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Unların, su absorblama kapasitesi unda bulunan nişasta, pentozan, lif miktarıyla doğrudan ilgilidir (Delcour ve Hosoney, 2010). Ayrıca bileşimde bulunan hidrokoloidler su tutma kapasitesini arttırmaktadır. Bitkisel unların hepsinde nişasta ve lif bulunduğundan su tutma kapasitelerinin yüksek olması beklenen bir durumdur. Bu unlar içinde chia tohumundan elde edilen unun su tutma kapasitesi buğday unundan yaklaşık 6, mısır ve karabuğday unundan 3.5, tef unundan 3.8 ve 4 kat yüksek bulunmuştur. Chia tohumu bileşiminde hidrokoloid bulunması nedeniyle yüksek oranda su tutma kapasitesine sahip olmuştur. Su tutma kapasitesi, hidrofilik polimerlerden yapılan ambalajlama malzemelerinin suya direncini doğrudan karakterize eden anlamlı bir parametredir (Pajak ve ark., 2019). Kaplama malzemelerinde yüksek su absorpsiyon değeri, kaplamanın gıdaya temasını kolaylaştırmaktadır. Bu çalışmada buğday unu dışındaki unların tamamının oldukça yüksek oranda su absorblama kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir. Unların su absorpsiyon değerlerinin yüksek olması, gıdaya kaplama malzemesinin yapışması, kaplamanın gıdayla tamamen temas etmesi ve gıdayı bütünüyle saran bir yapı oluşturma gibi avantajlar sağlayacaktır.

Bitkisel unların protein, nişasta ve nem değerleri

Yenilebilir kaplama ve filmlerde temel yapının oluşmasından, protein ve/veya nişasta bileşenleri sorumludur. Bu bileşenler yenilebilir filmlerde su buharı geçirgenliğini, çekme ve kopmaya karşı direnci etkilerken, yenilebilir kaplamalarla kaplanan ve kızartılan ürünlerde yağ emilimini de doğrudan etkilemektedir. Çizelge 2' de bitkisel unların nem, protein ve nişasta oranları verilmiştir.

Çizelge 2. Bitkisel unların nem, protein ve nişasta oranları (%)

Un türü	Nem	Nişasta	Protein
Buğday Unu	7.91±0.01b	71.63±0.86 ^a	10.38±0.12d
Mısır unu	8.98±0.04 ^a	67.89±1.88 ^b	6.40±0.37 ^e
Chia unu	4.11±0.11 ^f	2.87±0.01 ^e	19.64±0.12a
Tef unu	6.19±0.11 ^e	63.33±0.40 ^c	11.66±0.05 ^c
Karabuğday unu	7.18±0.08 ^c	67.91±0.22 ^b	11.72±0.08 ^c
Kinoa unu	6.98±0.01 ^d	60.58±1.05 ^d	12.82±0.06 ^b

^{a-e} Örnekler arasındaki önemli fark aynı sütunda farklı küçük harfle belirtilmiştir (p<0.05).

Unların nem değerleri %4.11-8.98 arasında değişiklik gösterirken protein değerleri %6.40-19.66, nişasta değerleriyse %2.87-71.63 arasında değişmiştir. Nem, protein ve nişasta ortalamalarına ait istatistiksel farklılıklar p<0.01 düzeyinde önemli bulunmuştur. Analiz sonuçlarında bitkisel unlar içinde en düşük nem ve nişasta miktarı ve en yüksek protein değerine sahip un chia tohumu unu olarak belirlenmiştir.

Nişasta içinde bulunan amiloz, yenilebilir filmlerin film oluşturma kapasitesinden sorumludur. Nişasta bazlı filmler şeffaf, kokusuz, tatsız ve renksizdir. Karbonhidratlardan yapılan yenilebilir filmler genellikle daha yüksek mekanik dayanıma sahiptirler. Ayrıca gaz bariyerleri olarak da işlev görebilirler (Prakash Maran ve ark., 2013). Ayrıca nişasta bazlı kaplamalar, tatsız, kokusuz ve şeffaftır, ürünün tadını, aromasını ve görünüşünü değiştirmez (Chiumarelli ve Hubinger, 2012). Nişasta filmleri iyi mekanik özellikler gösterir ancak neme karşı hassasiyetleri bu filmler için büyük bir dezavantajdır (Dick ve ark., 2016). Bu çalışmada analize tabi tutulan unların nişasta miktarları chia tohumu unu dışında yüksek bulunmuştur. Dick ve ark. (2016) chia ununun protein oranının %23.08 ve lif dışındaki karbonhidratın ise %6.8 olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu araştırmacılar, chia ununa farklı oranlarda mısır nişastasını ekleyerek film hazırlamış ve bu filmlerin özelliklerini incelemiştir. Çalışma sonucunda mısır nişastasını içermeyen unlardan hazırlanan filmlerin su buharı geçirgenliğinin ve suda çözünürlüğünün, formülde mısır nişastasını oranının artmasıyla azaldığı ortaya konulmuştur. Chia tohumu ununda bulunan lifler gibi hidrofilik bileşenlerin varlığı su buharı geçirgenliği ve suda çözünürlüğü arttırmıştır. Diğer taraftan bu araştırmacılar elde ettikleri sonuçları daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırmış ve chia tabanlı filmlerin suda çözünürlüklerinin; kinoa unu ve patates kabuğundan hazırlanan filmlerden daha düşük olduğunu ifade etmişlerdir. Dick ve ark. (2016) chia ununa herhangi bir nişasta kaynağı ilave edilmeden film oluşturulabileceğini ancak bu filmlerin kopma ve uzama özelliklerinin iyi olmadığını bu nedenle formüle mısır nişastasını gibi bir bileşenin eklenmesiyle daha sıkı bir yapı elde edileceğini ve bu özelliklerin geliştirilebileceğini ifade etmişlerdir. Yenilebilir kaplama formüllerinde bulunan nişastanın su bağlama özelliği kızartılan ürünlerde yağ emilimini etkilemektedir. Angor (2016), karboksil metil selüloz gibi yüksek oranda su bağlayan bir madde kullanılarak hazırlanan yenilebilir kaplamaların, patates cipslerinin toplam yağ miktarını önemli ölçüde düşürdüğünü ifade etmiştir. Hidrofilik bileşikler, yağ bloke edici bir madde gibi davranmakta ve kızartma sırasında yağ emilimini önemli ölçüde önlemektedir. Buna ilaveten bu bileşenler muhtemelen ısıtma ve soğutma sırasında hidrofilik bir plastikleştirici görevi üstlenmekte ve daha sonra su buharı geçirgenliğini azaltmaktadırlar (Supawong ve ark., 2018).

Proteinler, jelleşme, yapı oluşumu, renk, doku, emülsifikasyon, köpüklenme ve elastikiyet gibi çeşitli dinamik fonksiyonel özelliklere sahip olmaları ve ağ yapıları oluşturabilme özelliklerinden dolayı kaplama bileşenlerinin en önemli sınıfını temsil etmektedirler (Dogan ve ark., 2005). Protein içeren filmlerin düşük bağıl nem içeren ortamlarda lipid, oksijen ve aroma kaybına karşı iyi bir bariyer olduğu ifade edilmektedir ancak moleküler yapılarında hidrofilik grupların varlığından dolayı gıdaya su buharı geçişini engellemede yeterli olmayacağı da belirtilmektedir (Tapia-Blácido ve ark., 2011). Protein tabanlı kaplamalar düşük su direncine ve düşük mekanik dayanıma sahiptirler (Ananey-Obiri ve ark., 2018).

Nem içeriği, derin yağda kızartma sırasında yağ emilimini belirlemede önemli bir faktördür. Kızartma sırasında gıdadan suyun uzaklaşmasıyla ürün yüzeyinde boşluklar oluşmakta ve bu boşluklara yağ dolmaktadır. Yağ emilimi, derin yağda kızartmanın en kritik noktalarından biri olduğundan, kızartma işleminde üzerinde önemle durulan nokta, kızartılmış son ürünün yağ içeriğini kontrol ederek ve azaltarak kızartma işlemini gerçekleştirmektir. Kaplanmış gıdalar üzerine yapılan araştırmalar, kızartılmış ürünler için yağ emilimini azaltacak bir formülasyon oluşturulması üzerine odaklanmıştır (Naseri ve ark., 2013). Protein oranı yüksek olan maddeler kızartılmış ürünlerde yağ emilimini azaltmaktadır (Supawong ve ark., 2018). Proteinler ve hidrokolloidler yoluyla yağ emilimini engelleyen mekanizmaların, film oluşumunu, yüzey hidrofilitesini ve termal olarak indüklenmiş jel oluşumunu arttırdığı rapor edilmiştir (Zeng ve ark., 2016).

Bu çalışmada bitkisel unların protein değerlerine bakılmış ve protein oranlarının %6.40-19.64 arasında değiştiği saptanmıştır. Protein değerleri bakımından unlar arasındaki farklılıklar oldukça önemli ($p < 0.01$) bulunmuştur. Unlar içinde en yüksek protein değerine sahip un, chia tohumu unu olarak belirlenmiştir.

Dogan ve ark. (2005), protein içeren kaplamalarla muamele edilen ve kızartılan tavuk nuggetlarının yağ miktarının azaldığını ortaya koymuşlardır. Protein tabanlı bu kaplamalar, denaturasyon ve jelasyon sonucu ürün yüzeyinde bir bariyer oluşturmuş ve yağ emiliminin azalmasını sağlamıştır.

Brannan ve ark. (2013), yulaf ve mısır lifi seviyelerinin derin yağda kızartma sırasında yağ emilimini azaltabileceğini ifade etmişlerdir. Dragich ve Krochta (2010) tavuk proteinlerinden izole edilen proteinleri kullanarak, üç farklı oranda protein içeren yenilebilir kaplamalar hazırlamış ve bu kaplamalarla tavuk bagetlerini kaplayarak kızartmış ve kızartılan ürünlerin yağ absorpsiyonunu incelemişlerdir. Proteinin en yüksek konsantrasyonda içeren formülle kaplanan ürünün kızartma sonundaki toplam yağ miktarı, kaplanmamış grubun yağ içeriğinden %60 oranında düşük bulunmuştur. Ayrıca, kaplanmış numuneler, kaplanmamış numunelere kıyasla, kızartmadan sonra daha yüksek nem içeriğine ve kızartma verimine sahip olmuşlardır. Yağ emilimindeki azalma, kızartma sırasında protein tarafından oluşturulan kompleks ağın oluşumuna atfedilmiştir.

Naseri ve ark. (2013), karidesleri sırasıyla buğday unu, buğday unu-soya unu ve buğday unu-mısır unundan oluşan karışımlarla kaplayıp kızartma işlemi gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda, soya unu oranının artmasıyla yağ emiliminin azaldığı ortaya konmuştur. Bu durum; soyanın yüksek protein içeriği nedeniyle yüksek oranda su bağlaması ve yüksek viskozite sağlamasına ve kızartma sırasında nem kaybının ve böylece yağ emiliminin kontrol edilmesine bağlanmıştır. Öte yandan, Tamsen ve ark., (2018) tarafından yapılan çalışmada buğday ununa farklı oranlarda amarant unu eklenmiş ve tavuk nuggetları bu kaplamayla kaplanarak kızartılmıştır. Elde edilen sonuçlar amarant unu varlığının kızartılan ürünlerde pürüzlü yapıyı, yağ emilimini ve pişirme kaybını önemli ölçüde arttırdığını ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, amarant ununun yağ, protein ve lif içeriğinin buğday unundan yüksek olmasına bağlanmıştır. Sonuç olarak, yüksek nişasta ve protein oranının film ve kaplama malzemelerinde yapı

oluşumuna katkı sağladığı, kızartma sırasında nem kaybına karşı bariyer oluşturduğu ve kızartılan son üründe yağ emilimini azalttığına dair çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde unların nişasta miktarlarının ve protein miktarlarının kaplama formülünde kullanılacak yeterlilikte olduğu belirlenmiştir. Unlar içinde chia ununun nişasta miktarının düşük olduğu belirlenmiştir. Ancak bu unun bileşiminde fazla miktarda hidrofilik bileşen olduğu bildirilmektedir. Bu anlamda chia ununda düşük nişasta bulunması nedeniyle ortaya çıkacak sorunlar, bu hidrofilik bileşenler nedeniyle bertaraf edilebilir.

Renk

Renk, ürünün kalitesini anlamak için yakından takip edilmesi gereken fiziksel özelliklerden birisidir. Bu çalışmada, bitkisel unların L^* , a^* ve b^* değerlerine bakılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3’de verilmiştir. L^* değeri 43.61-95.5 arasında değişmiştir. Unların L^* , değerleri arasındaki farklılık istatistiksel olarak oldukça önemli bulunmuştur ($p<0.01$). En yüksek L^* (en açık renk) buğday unu örneğinde 95.55 olarak saptanmıştır. En koyu renk (en düşük L^*) ise chia unu örneğinde 43.61 olarak saptanmıştır. Buğday unu için L^* , a^* ve b^* değerlerinin 92.6, -4.4 ve 8.8 olduğu bildirilmektedir (Hallén ve ark., 2004). Steffolani ve ark. (2014) tarafından chia ununun renk değerleri; $L^*=46.25$, $a^*=3.58$ ve $b^*=11.92$ olarak belirlenmiştir.

Pozitif olduğunda kırmızılığı, negatif olduğunda yeşilliği temsil eden a^* değerinin -2.22 ile 5.20 arasında değiştiği bulunmuştur. Yapılan istatistiksel analiz sonuçları örneklerin a^* değerleri arasında önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymuştur ($p<0.01$). Analiz sonuçları, kırmızılık değeri en yüksek unun tef unu olduğunu ortaya koymuştur. Tef unu için L^* , a^* ve b^* değerleri 64.64, 5.20 ve 13.97 olarak belirlenmiştir. Bu bulgular tef ununun L^* , a^* ve b^* değerini sırasıyla 73.56, 2.09 ve 12.97 olduğunu bildiren Minarovičová ve ark. (2019)’ın bulgularıyla kısmen benzerlik göstermektedir. Bizim çalışmamızda tef unu için daha yüksek bir L^* ve a^* değeri elde etmemizin nedeni muhtemelen farklı un kaynaklarının kullanılmasına bağlanmıştır.

Çizelge 3. Bitkisel unların renk değerleri

Un türü	L^*	a^*	b^*
Buğday Unu	95.55±0.23 ^a	-1.02±0.03 ^d	7.15±0.15 ^c
Mısır unu	88.41±2.89 ^b	-2.22±0.44 ^e	32.13±4.53 ^a
Chia unu	43.61±2.32 ^e	2.83±0.21 ^b	15.83±0.42 ^b
Tef unu	64.64±0.63 ^d	5.20±0.22 ^a	13.97±0.88 ^b
Karabuğday unu	87.49±0.26 ^b	-0.01±0.03 ^c	9.22±0.21 ^c
Kinoa unu	75.40±0.40 ^c	0.25±0.03 ^c	15.98±0.06 ^b

^{a-e} Örnekler arasındaki önemli fark aynı sütunda farklı küçük harfle belirtilmiştir ($p<0.05$).

Pozitif olduğunda sarılığını temsil eden b^* değeri ise 7.15- 32.33 arasında değişiklik göstermiş ve b^* değerleri arasındaki farklılıklar istatistiksel açıdan $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Mısır unu bitkisel unlar içinde sarılık değeri en yüksek un olarak ön plana çıkmıştır. Mancebo ve ark., (2015) mısır ununun b^* değerinin yüksek olduğunu bildirmiştir. Karoten pigmentlerinden dolayı mısır unu sarımsı bir renkte görünmektedir (Naseri ve ark., 2013). Unların renk değerleri varyasyon göstermiştir. Unların doğal renkleri, elde edildikleri kaynakların farklılığı, içerdiği renk pigmentleri ve bu pigmentlerin oranları göz önünde bulundurulduğunda unların renklerinin varyasyon göstermesi beklenen bir durumdur.

Renk tüketici tercihini etkileyen önemli bir duyu parametredir. Bu anlamda kullanılacak olan kaplama materyalinin rengi tüketicinin satın alma kararını etkileyecektir. Tüketici tercihinin yanı sıra renkle ilgili göz önünde bulundurulması gereken bir diğer önemli nokta ise kullanılacak kaplama materyalinin renginin, o gıdanın doğasına uygunluğudur. Rengin gıdaya uygunluğu tüketicinin o gıdayı

kabullenmesinde rol oynamaktadır. Kaplama formülü oluşturulurken bu unların renk değerlerinin tüketici tercihlerini etkileyeceği de göz önünde bulundurulmalıdır.

SONUÇ

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar bazı tahıl veya tahıl benzeri ürünlerden elde edilen unların yüksek oranda protein ve nişasta içermeleri, ayrıca yüksek su absorpsiyonuna sahip olmaları nedeniyle kaplama ya da yenilebilir film üretimlerinde kullanılabileceklerini ortaya koymuştur. Ancak hem kaplama hem film üretiminde arzu edilen mekanik özellikleri geliştirmek, yapışma oranını artırmak veya yağ emilimini azaltmak gibi faktörler önemli kriterlerdir. Çalışma sonuçlarına göre arzu edilen bu özellikleri sağlayabilmek için bu unların kullanımı tavsiye edilebilirken, kaplama bileşimlerinde kullanımlarında yapısal olarak eksik yönlerini tamamlayacak başka bileşenlerin eklenmesi ya da belirli oranlarda birbirleri ile karışım yapılarak kullanımlarında, daha başarılı kaplama formüllerinin elde edilebileceği düşünülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için teknik destek sağlayan Kimyager Dr. Sema ÇELİK'e teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- AACC, 1999. Approved Methods (9th Edition). American Association of Cereal Chemists, Saint Paul, Minnesota.
- Ananey-Obiri D, Matthews L, Azahrani MH, Ibrahim SA., Galanakis CM, Tahergorabi R, 2018. Application of protein-based edible coatings for fat uptake reduction in deep-fat fried foods with an emphasis on muscle food proteins. *Trends in Food Science and Technology*, 80:167–174. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.08.012>
- Anonim, 2013. Türk Gıda Kodeksi, Buğday Unu Tebliği. TEBLİĞ NO: 2013/9
- Anonim, 2018. T.C Toprak mahsulleri genel müdürlüğü 2016 yılı hububat raporu <http://www.tmo.gov.tr>. Toprak Mahsulleri Ofisi, Ankara. Erişim tarihi:15.01.2018.
- Angor MM, 2016. Reducing fat content of fried potato pellet chips using carboxymethyl cellulose and soy protein isolate solutions as coating films. *Journal of Agricultural Science*, 8(3): 162. <https://doi.org/10.5539/jas.v8n3p162>
- Avena-Bustillos RDJ, McHugh TH, 2011. Role of edible film and coating additives. in *edible coatings and films to improve food Quality*, Second Edition (pp. 157–184). <https://doi.org/10.1201/b11082-7>
- Brannan RG, Myers AS, Herrick CS, 2013. Reduction of fat content during frying using dried egg white and fiber solutions. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 115(8): 946–955.
- Brannan RG, Pettit K, 2015. Reducing the oil content in coated and deep-fried chicken using whey protein. *Lipid Technology*, 27(6): 131–133.
- Ceylan Z, Meral R, Karakaş CY, Dertli E, Yılmaz MT. 2018a. A novel strategy for probiotic bacteria: Ensuring microbial stability of fish fillets using characterized probiotic bacteria-loaded nanofibers. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 48, 212–218. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.07.002>
- Ceylan Z, Meral R, Cavidoglu I, Karakas CY, Yılmaz MT, 2018b. A new application on fatty acid stability of fish fillets: coating with probiotic bacteria-loaded polymer-based characterized nanofibers. *Journal of Food Safety*, 38(6): e12547.

- Chiumarelli M, Hubinger MD, 2012. Stability, solubility, mechanical and barrier properties of cassava starch-carnauba wax edible coatings to preserve fresh-cut apples. *Food Hydrocolloids*, 28(1): 59–67.
- Condés MC, Añón MC, Mauri AN, Dufresne A. 2015. Amaranth protein films reinforced with maize starch nanocrystals. *Food Hydrocolloids*, 47: 146–157.
- Delcour JA, Hosney RC, 2010. Principles of Cereal Science and Technology. In *Principles of Cereal Science and Technology*.
- Dick M, Henrique Pagno C, Haas Costa TM, Goma A, Subirade, M, De Oliveira Rios A, Hickmann Flôres S, 2016. Edible films based on chia flour: development and characterization. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(2):
- Doğan İS, Ünal S, 1990. Un Fabrikalarında değişik pasajlardan alınan unların zedelenmiş nişasta miktarının enzimatik olmayan yöntemle belirlenmesi. *E.Ü. Müh. Fak. Gıda Mühendisliği Dergisi*, (8): 7–35.
- Dogan SF, Sahin S, Sumnu G, 2005. Effects of batters containing different protein types on the quality of deep-fat-fried chicken nuggets. *European Food Research and Technology*, 220(5–6): 502–508.
- Dragich AM, Krochta JM, 2010. Whey protein solution coating for fat-uptake reduction in deep-fried chicken breast strips. *Journal of Food Science*, 75(1).
- Elgün A, Ertugay Z, Certel M, Kotancılar G, 1998. Tahıl Ürünlerinde Analitik Kalite Kontrolü ve Laboratuvarı Uygulama Klavuzu. A.Ü. Yay. Yayın No:867, Erzurum 245.
- Hallén E, Ibanoglu Ş, Ainsworth P, 2004. Effect of fermented/germinated cowpea flour addition on the rheological and baking properties of wheat flour. *Journal of Food Engineering*, 63(2): 177–184.
- İter S, Dogan IS, Meral R, 2008. Application of food grade coatings to Turkey buttocks. *Italian Journal of Food Science*, 20(2).
- Kilinceker O, Hepsag F, 2012. Edible Coating Effects on Fried Potato Balls. *Food and Bioprocess Technology*, 5(4): 1349–1354.
- Lago-Vanzela ES, do Nascimento P, Fontes EAF, Mauro MA, Kimura M, 2013. Edible coatings from native and modified starches retain carotenoids in pumpkin during drying. *LWT - Food Science and Technology*, 50(2): 420–425.
- Mancebo CM, Picón J, Gómez M, 2015. Effect of flour properties on the quality characteristics of gluten free sugar-snap cookies. *LWT - Food Science and Technology*, 64(1): 264–269.
- Maskat MY, Kerr WL, 2002. Coating characteristics of fried chicken breasts prepared with different particle size breadings. *Journal of Food Processing and Preservation*, 26(1): 27–38.
- Meral R, Alav A, Karakas C, Dertli E, Yilmaz MT, Ceylan Z, 2019. Effect of electrospun nisin and curcumin loaded nanomats on the microbial quality, hardness and sensory characteristics of rainbow trout fillet. *LWT*, 113(March), 108292.
- Minarovičová L, Lauková M, Karovičová J, Kohajdová Z, Kepičová V, 2019. Gluten-free rice muffins enriched with teff flour. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 13(1): 187–193.
- Moradi Y, Bakar J, Che Man Y, Syed Muhamed SK, 2014. Influence of resistant starch on microstructure and physical properties of breaded fish fillets. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 13(1): 135–144.
- Naseri M, Abedi E, Mohammadzadeh B, Afsharnaderi A, 2013. Effect of frying in different culinary fats on the fatty acid composition of silver carp. *Food Science & Nutrition*, 1(4): 292–297.
- Pająk P, Przetaczek-Rożnowska I, Juszczak L. 2019. Development and physicochemical, thermal and mechanical properties of edible films based on pumpkin, lentil and quinoa starches. *International Journal of Biological Macromolecules*, (138): 441–449.

- Prakash Maran J, Sivakumar V, Thirugnanasambandham K, Kandasamy S, 2013. Modeling and analysis of film composition on mechanical properties of maize starch based edible films. *International Journal of Biological Macromolecules*, (62): 565–573.
- Steffolani E, de la Hera E, Pérez G, Gómez M, 2014. Effect of Chia (*Salvia hispanica*L) Addition on the Quality of Gluten-Free Bread. *Journal of Food Quality*, 37(5): 309–317.
- Supawong S, Park JW, Thawornchinsombut S, 2018. Fat blocking roles of fish proteins in fried fish cake. *LWT*, (97): 462–468.
- Tamsen M, Shekarchizadeh H, Soltanizadeh N, 2018. Evaluation of wheat flour substitution with amaranth flour on chicken nugget properties. *LWT - Food Science and Technology*, (91): 580–587.
- Tapia-Blácido DR, do Amaral Sobral PJ, Menegalli, F. C. 2011. Optimization of amaranth flour films plasticized with glycerol and sorbitol by multi-response analysis. *LWT - Food Science and Technology*, 44(8): 1731–1738. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.04.004>
- Voong KY, Norton AB, Mills TB, Norton IT, 2018. Characterisation of deep-fried batter and breaded coatings. *Food Structure*, (16): 43–49.
- Zeng H, Chen J, Zhai J, Wang H, Xia W, Xiong YL, 2016. Reduction of the fat content of battered and breaded fish balls during deep-fat frying using fermented bamboo shoot dietary fiber. *LWT - Food Science and Technology*, (73): 425–431. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.06.052>.

Kuru Kumlarda Dane Çapı Dağılımının İçsel Sürtünme Açısına Etkisinin Kesme Kutusu Deneyleri ile Belirlenmesi

Eyyüb KARAKAN^{1*}, Zelal EBREN²

ÖZET: Laboratuvardaki içsel sürtünme açısını ve kohezyon değerlerini belirlemek için yapılan en yaygın deneylerden biri direk kesme testidir. Bu çalışma için, tamamen kuru zeminlerin dayanım parametrelerinin, farklı rölatif sıklıklar ve normal gerilmelerdeki değişimleri incelenmiştir. Deneysel çalışma direk kesme testi, beş farklı normal gerilme ve sabit numune hacmi altında yapılmıştır. Kumun kohezyonunun sıfır olduğu varsayımı ile karşılaştırma yalnızca içsel sürtünme açısına bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen kayma mukavemeti açısı değerleri ile rölatif sıklık ve normal gerilme ilişkisi, zemin tane çapı değişimi parametresi de göz önünde bulundurularak incelenmiştir. Numunelerin test edildiği rölatif sıklıklarda, içsel sürtünme açısı gibi fiziksel özelliklerin artışı normal gerilmedeki artışla birlikte maksimum ve artık kayma gerilmesinde de bir artış olduğu görülmüştür. Ayrıca elde edilen sonuçlar, zeminin dane çapı dağılımının içsel sürtünme açısını nasıl etkilediğini göstermiştir.

Anahtar kelime: Kayma dayanımı, kesme kutusu deneyi, içsel sürtünme açısı, dane çapı dağılımı.

Determination of the Effect of Grain Size Distribution on the Internal Friction Angle in Dry Sands by Direct Shear Test

ABSTRACT: One of the most common experiments to determine the internal friction angle and cohesion values in the laboratory is the direct shear test. For this study, the changes of strength parameters of completely dry soils in different relative densities and normal stresses were investigated. The direct shear test was performed under five different normal stresses and constant sample volumes. The comparison with the assumption that the cohesion of the sand is zero was made only based on the internal friction angle. The obtained shear strength angle values and the relative density and normal stress relationship were examined by considering the soil grain size distribution. The relative density in which the samples were tested showed an increase in the maximum and residual shear stress as well as the increase in normal stress, including the increase in physical properties such as the internal friction angle. In addition, the results showed how the grain size distribution of the soil affects the internal angle of friction.

Key words: Shear strength, direct shear test, internal friction angle, grain size distribution.

¹Eyyüb KARAKAN (Orcid ID: 0000-0003-2133-6796), Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kilis, Türkiye

²Zelal EBREN (Orcid ID: 0000-0003-0461-6323), Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD, Gaziantep, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Eyyüb KARAKAN, e-mail: eyyubkarakan@kilis.edu.tr

GİRİŞ

Zeminlerin, kayma mukavemeti parametreleri arazideki yükleme koşullarına uygun olarak belirlenebilmesi geoteknik mühendisliği'nin en önemli konusudur. Derin ve sığ temellerin taşıma kapasitesi, şev stabilitesi, istinat duvarının tasarımı ve doğrudan olmasa da yol kaplaması tasarımı gibi konularda stabiliteyi etkileyen en önemli zemin parametresi kayma mukavemeti parametresidir. Yapı ve şevler olması beklenen maksimum yükleme şartları altında göçmeye karşı sağlam yani kararlı durabilmelidirler (Holtz ve ark., 2015). Zeminin yapısal yükler altında kütlelerinin stabilitesini kontrol eden temel mühendislik özelliği, kesme mukavemeti olarak tanımlanır. Zeminlerin kayma mukavemeti parametreleri (iç sürtünme açısı ve kohezyonu), yapıların tasarımında büyük önem taşır. Zeminin içsel sürtünme açısı ve kohezyonu hem laboratuvar hem de arazi deneyleri ile belirlenebilir. Laboratuvardaki içsel sürtünme açısını ve kohezyon değerlerini belirlemek için en yaygın deneylerden biri direk kesme testidir.

Zeminin tane çapı dağılımının geoteknik malzemelerin mekanik davranışları üzerinde önemli bir etkisi vardır (Kokusho ve ark., 2004; Wichtmann ve Triantafyllidis, 2009; Cabalar, 2011; Yan ve Dong, 2011; Wang ve ark., 2013; Wichtmann ve Triantafyllidis, 2013; Wang ve ark., 2017, 2018a, 2018b). Dafalla (2013) kil içeriği ve su içeriğinin kil-kum karışımlarının kayma mukavemeti üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Su içeriği arttıkça, kil-kum karışımlarının kohezyonu ve içsel sürtünme açısı azalmıştır. Muawia (2013) farklı kil içerikleri ve farklı su içerikleri için direk kesme testinin yeterli bir kesme gerilimi kullanarak, kullanılmasının güvenilirliğini araştırmıştır. Elde ettiği sonuç, karışımın uyumunun kil içeriğinin artmasıyla tutarlı bir şekilde arttığını göstermiştir. Dey (2015) çalışmasında, dört farklı rölatif sıklıkta hazırlanan kuru kohezyonsuz zeminlerde yapılan direk kesme testlerine dayanarak gerilme hızının etkisini göstermektedir. Deney sonuçları, tepe ve kalıcı içsel sürtünme açısının, gerilme oranındaki değişikliklerden gözle görülür şekilde etkilendiğini ve gevşek kumlarda daha belirgin etkilerin ortaya çıktığını ortaya koydu. Vallejo ve ark., (2000) çeşitli kil muhtevasına sahip kaolinit kil-kum karışımlarının kayma mukavemetini ve ince dane oranının etkisini ölçmüştür. Karışımların kayma mukavemeti %25'in altındaki kil içeriğinde kum ile yönetilirken, %60'ın üzerindeki kil içeriğinde ise kil ile yönetildiği sonucuna ulaşmıştır.

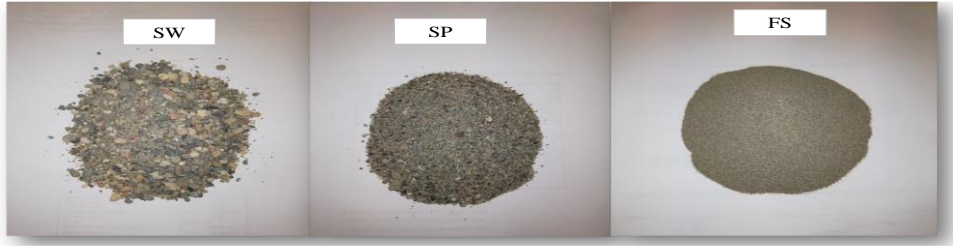
Doğrudan kesme testini, Fannin ve ark., (2005); Asadzadeh ve Soroush, (2009); ve Nam ve ark., (2011) çalışmalarında granüler zeminlerin kesme mukavemetini elde etmek için kullanmışlardır. Simoni ve Houlsby, (2006) zeminin dane çapı dağılımı kayma mukavemetini etkileyebileceğini göstermiştir. Edinçliler ve ark., (2004) kauçuk tozunun, ağırlıkça %5, %10, %20 ve %30 kullanımının yanı sıra tamamen kum ve kauçuk kullanımı ile karışımlarda kumlu zeminlerin kayma mukavemeti üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Kauçuk toz karışımları büyük ölçekli doğrudan kesme testi yapılarak elde edilmiştir. Çalışma sırasında yapılan deneyler sonucunda, kauçuk tozu kullanımının içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerleri üzerinde düzenli bir etkisi olmadığı görülmüştür. En yüksek kohezyon değeri %20 kauçuk içeren sette 15.5 kPa ve en yüksek içsel sürtünme açısı değeri kum setinde 33° olarak bulunmuştur. Gotteland ve ark., (2005) çalışmalarında atık kauçuk parçacıklarının yatay ve dikey yönlerde ağırlıkça %14 ve %22 oranında kum zemin içeriğinin karıştırılarak büyük ölçekli bir doğrudan kesme testi uygulanarak, kauçuk parçacıklarının kum zeminler üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Buna ek olarak, tamamen kum ve tamamen kauçuk kullanılarak deneyler yapmışlardır. Deneyler sonucunda, 50 kPa ile %22 lastik içeriğinde en yüksek kohezyon değerini ve %14 lastik içeriğinde 42,6° en yüksek içsel sürtünme açısını elde ettiler. Elde edilen veriler incelendiğinde, optimum mukavemetin %14-%22 lastik içeriği olduğu sonucuna vardılar. Saito ve ark., (2006) kohezyonlu zeminlerde kayma mukavemeti ve kayma hızı arasındaki ilişkiyi göstermişlerdir. Deneyler, silis kumu, silis kumu-illit karışım numunesi

ve silis kumu-bentonit karışım numunesi üzerinde halkalı kesme cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, etkili nihai sürtünme açısının kesme hızına bağımlılığı illit veya bentonit karışımı örneğinde tanımlanmıştır. Ölçülen etkin nihai sürtünme açısı değerlerine göre, kesme modunun kesme hızıyla değiştiği görülmektedir. Kesme modundaki bu değişiklik, hız mekanizmasının kohezyonlu zeminin kesme mukavemeti üzerindeki etkisi olarak kabul edilir. Ayrıca, Skempton (1985), kesme hızının kohezyonlu zeminlerin nihai mukavemeti üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Çanakçı ve Güllü (2007) düşük plastisiteli kile %5, %15, %30, %50, ve %70, kötü derecelenmiş kumla karıştırılmış, sabit su içeriğindeki içsel sürtünme açısının değişimini deneysel olarak incelemiştir. Saf kilin plastik limit seviyesinde içsel sürtünme açısının 30° olduğu, %15 kum içeren karışımın içsel sürtünme açısının 8° 'ye düştüğü ve kum oranının %70 olduğu takdirde 40° ye yükseldiğini göstermiştir. Şekercioğlu (2015) yaptığı deneysel çalışmada geosentetik kullanımının kumlu zeminler üzerindeki mekanik ve potansiyel faydalarını tespit etmek için iki tür zemin üzerinde kolay bulunabilen 6 çeşit geosentetik ile farklı rölatif sıklıklarda 78 tane kesme kutusu deneyi gerçekleştirmiştir. Arayüz davranışına etkisi olabilecek çeşitli parametreler incelenmiştir. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre donatılı zeminlerdeki kesme dayanımı donatısız zeminlere göre genel olarak daha yüksek değerler aldığı saptanmıştır. Sezer ve ark., (2011), yaptıkları çalışmada kumların dane çapı dağılımı ve şeklinin kayma dayanımı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Elde ettikleri deneysel sonuçlarla, tanecik şeklinin tane çapı dağılımına kıyasla kumların içsel sürtünme açısı üzerinde sınırlı bir etkisi olduğunu ortaya koymuştur sonucuna varmışlardır. Ayrıca parçacık şeklindeki düzenliliğin azalmasının kumların içsel sürtünme açısının artmasına neden olduğu bulmuşlardır.

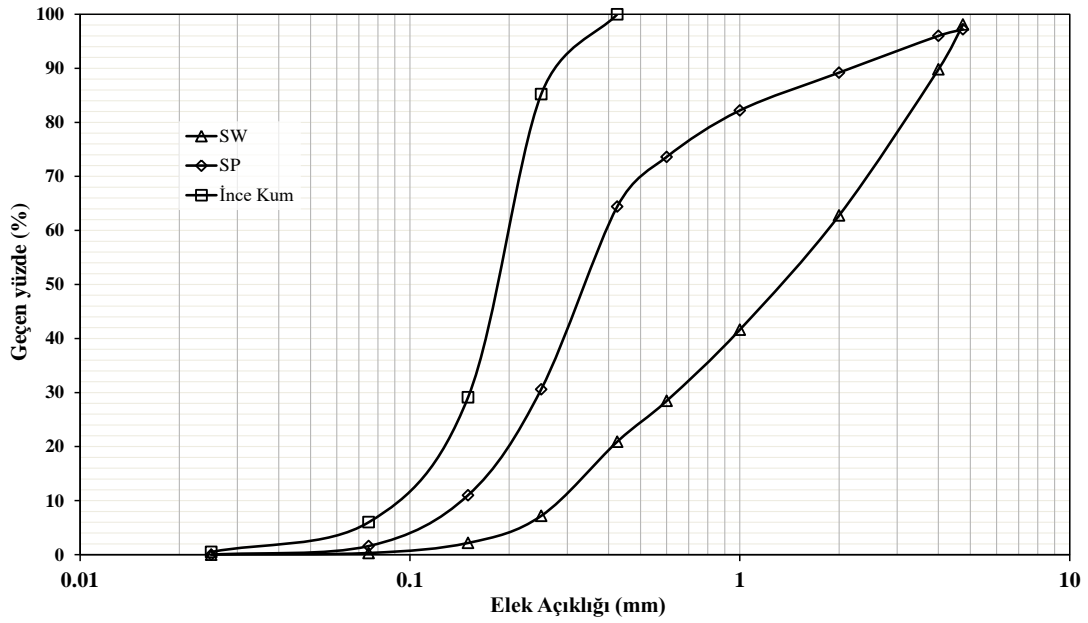
Zeminler sadece doygun halde değil, aynı zamanda kısmen doygun veya kuru halde bulunabilir. Bu durum, zeminlerin kayma dayanımı parametrelerinde fark yaratır. Bu amaçla, çalışma kapsamında üç farklı dane çapı dağılımına sahip kum zeminin farklı rölatif sıklıklar ($D_r = \%30, \%50, \%80$) ve normal gerilmeler (50, 100 ve 150 kPa) altında tamamen kuru kum zeminlerin dayanım parametrelerinin değişimi direk kesme cihazı kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca bu çalışmada tane çapı dağılımının kuru kum zeminlerin kayma mukavemeti üzerindeki etkileri de araştırılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

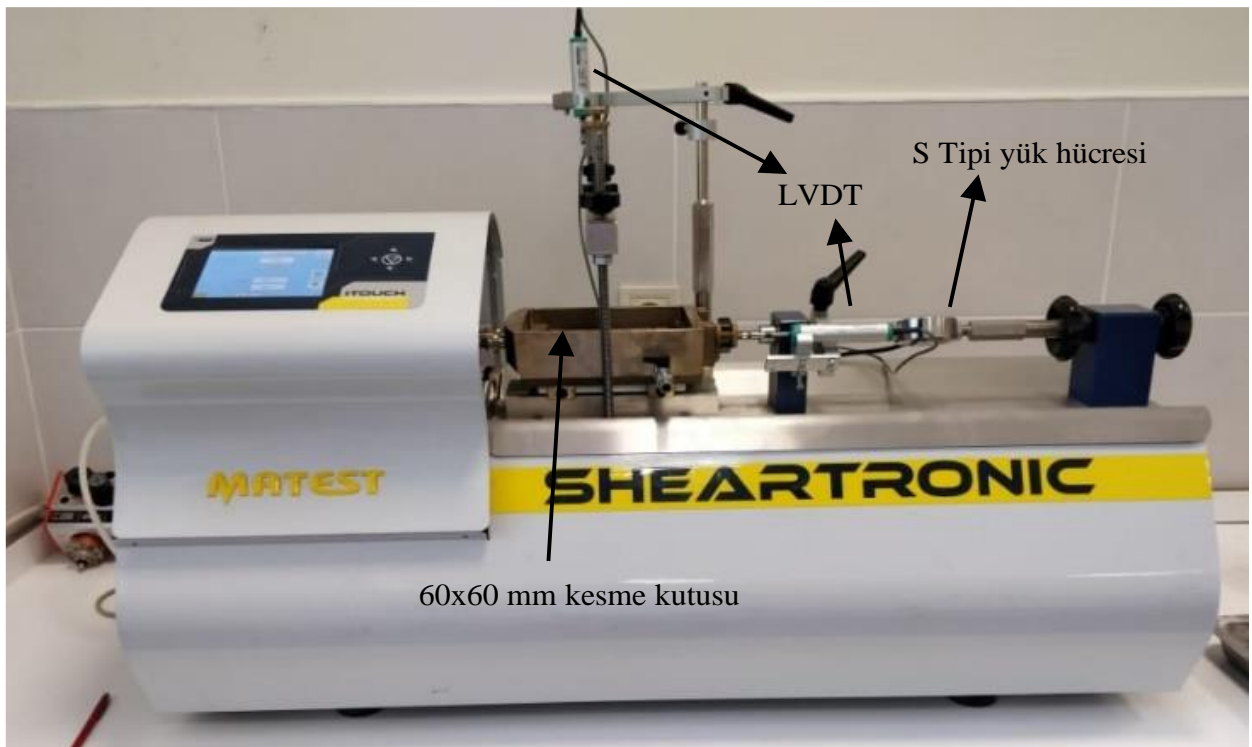
Çalışma kapsamında üç farklı dane çapı dağılımına sahip kum numunesi, tamamen kuru halde kullanılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan zeminlerin (Şekil 1), dane çapı dağılım eğrisi Şekil 2'de gösterilmiştir. Zeminlerin temel geoteknik özelliklerinin ayrıntılı sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Doğrudan kesme testi için, dikdörtgen kesme kutusunun iç ebadı plan olarak 60 x 60 mm ve yüksekliği 20 mm'dir (Şekil 3). Üç farklı zemin, üç farklı rölatif sıklık (30, 50 ve 80) ve üç farklı normal gerilme altında yirmi yedi doğrudan kesme testi yapılmıştır. Çalışma kapsamındaki deneylerin hepsi Kilis 7 Aralık Üniversitesi Geoteknik Laboratuvarında bulunan pnömomatik kontrollü tam otomatik direk kesme deney cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Deneyler, yatay yükleme oranı 1 mm/dak olacak şekilde uygulanmıştır (ASTM D3080-90). Çalışma kapsamında yapılan minimum boşluk oranı deneyi ASTM D-4254-00 (2006), maksimum boşluk oranı deneyi ASTM D-4253-00 (2006) göre yapılmıştır. Deneyler zeminin %20'ye karşılık gelen 12 mm deformasyon seviyesine gelene kadar gerçekleştirilmiştir (ASTM D3080-90).



Şekil 1. Farklı tane boyutlarında kum partikülleri. Her fotoğraf 100 gr zemin numunesi içerir.
*SW= iyi derecelenmiş kum SP= kötü derecelenmiş kum, FS= ince kum



Şekil 2. Kuru kumların tane çapı dağılım eğrileri



Şekil 3. Pnömatik tam otomatik kesme kutusu deney cihazı ve ekipmanları

Çizelge 1. Deneylerde kullanılan zeminlerin indeks özellikleri

Zemin Türü	D ₁₀	D ₃₀	D ₅₀	D ₆₀	C _c	C _u	e _{min}	e _{mak}	G _s
SW	0.26	0.647	1.396	1.869	0.861	7.19	0.3	0.6	2.63
SP	0.14	0.245	0.34	0.41	1.5	2.93	0.485	0.787	2.69
İnce Kum	0.088	0.152	0.187	0.205	1.281	2.84	0.668	0.986	2.72

*USCS'e göre sınıflandırma yapılmıştır ve SW - SP - FS (İnce kum). * D₁₀ - D₃₀ - D₆₀: Efektif çap, (mm). * D₅₀: Medyan çap, (mm). * C_u: Üniformluk katsayısı. * C_c: Eğrilik katsayısı. * e_{min}: Minimum boşluk oranı, * e_{mak}: Maksimum boşluk oranı

Kayma testleri çok gevşekten orta sıkı ve sıkı zeminler için yapıldı (Dr = %30, %50, %80). En yüksek zemin kesme dayanımı, teğetsel ve normal gerilmelerin azami oranına göre belirlenmiştir. Geleneksel doğrudan kesme testi prosedürleri, ASTM D3080 (2004) takip edildi. Her test için deney sırasında anlık olarak kayma gerilimi-kayma yer değiştirme tepkisi sürekli izlendi. Devamında, doğrudan kesme testlerinden elde edilen kayma gerilmesi, farklı normal gerilmeler altında kuru kumun mekanik davranışı üzerindeki etkisini analiz etmek için sunulmuştur. Farklı rölatif sıklıklar ve normal gerilmelerde kayma mukavemeti ölçülmüş ve deneylerden elde edilen sonuçlar kayma gerilmesine göre karşılaştırılmıştır. Ek olarak, normal gerilmenin kayma dayanımı üzerindeki etkisi deneysel olarak elde edilen grafikler kullanılarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Çalışmada gerçekleştirilen doğrudan kesme deneyi için test tablosu Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Doğrudan kesme deneyi için test tablosu

Zemin Türü	Rölatif Sıklık (Dr, %)	Normal Gerilme (σ , kPa)
SW	30	50
SP	50	100
FS	80	150

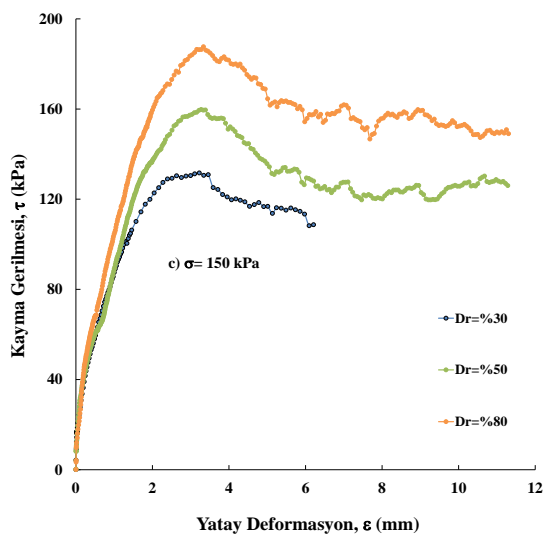
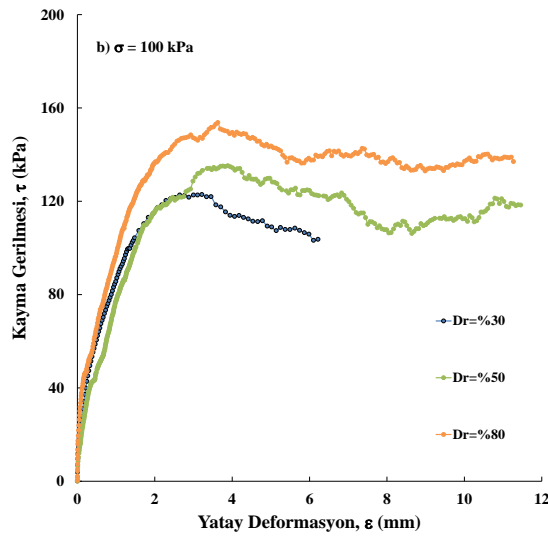
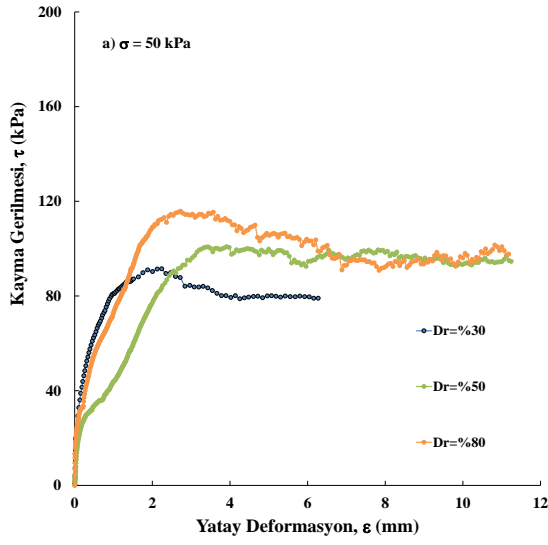
SW= iyi derecelendirilmiş kum, SP= kötü derecelendirilmiş kum, FS=ince kum

BULGULAR VE TARTIŞMA

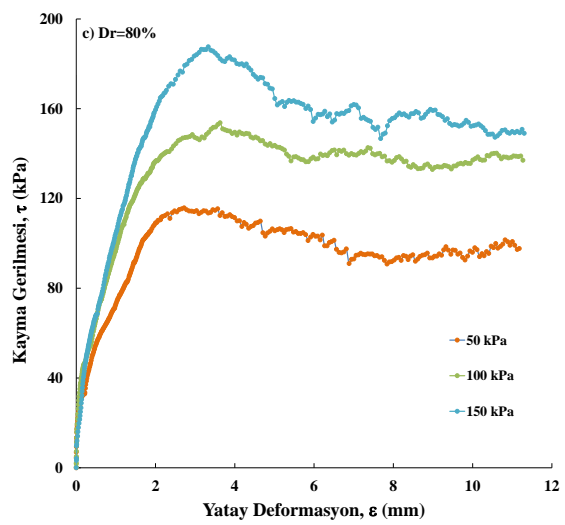
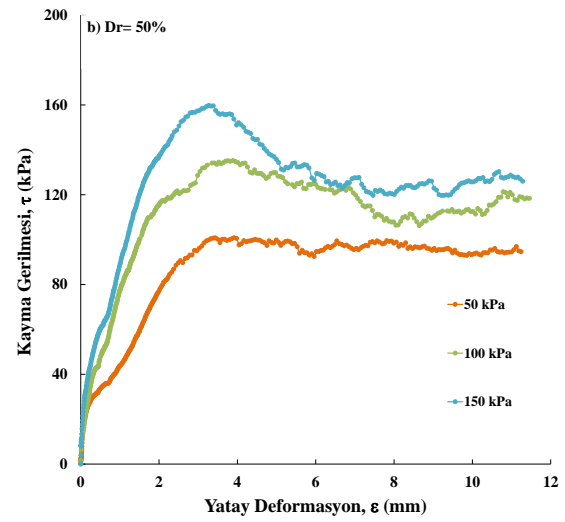
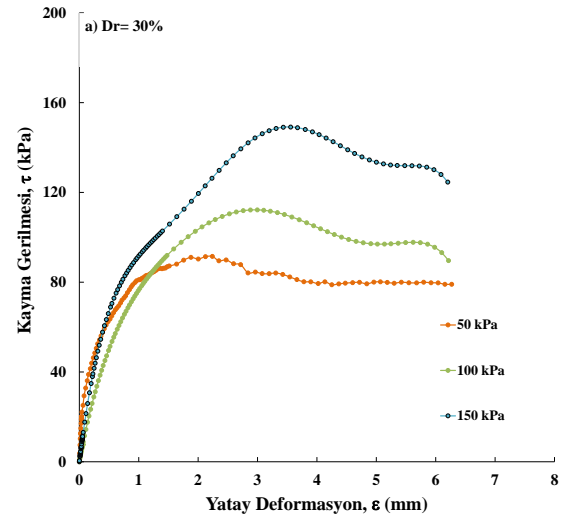
İyi Derecelendirilmiş Kumun (SW) Kesme Kutusu Deney Sonuçları

İlk olarak, normal gerilmenin kuru kumun mekanik davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Şekil 3'te 50, 100 ve 150 kPa normal gerilme altında ve farklı rölatif sıklıklar için doğrudan kesme deneylerinden elde edilen sonuçlar gösterilmektedir. 50 kPa normal stres ve 3 farklı göreceli yoğunluk altında gerçekleştirilen deneylerin sonuçları, Şekil 3-a'da gösterilmiştir. Şekil 3-a'da gösterildiği gibi, Dr=%30 için minimum kayma gerilmesi değeri elde edilirken, aynı gerilime göre en yüksek kayma gerilmesi değeri Dr=%80 için elde edilmiştir. Şekil 3-a'da gösterilen minimum kayma gerilmesi değeri, Dr=%30 için 91.5 kPa ve maksimum kayma gerilmesi, Dr=%80 için 115.8 kPa'dır. Deneysel sonuçlardan beklendiği gibi, maksimum kayma gerilmeleri rölatif sıklıklar arttıkça artmıştır. Bununla birlikte, tüm normal gerilmeler altında elde edilen deney sonuçları incelendiğinde, rölatif sıklığın gevşekten (Dr=%30) sıkıya (Dr=%80) doğru gidildikçe, maksimum kayma gerilmesinde de bir artış görülmüştür.

Şekil 4'te SW kumu için sabit rölatif sıklıklarda zeminin kayma gerilmesi yatay deformasyon grafikleri gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, yatay deformasyon 2-4 mm arasında iken maksimum kayma gerilmesinin elde edildiği görülmüştür. 6 mm yatay deformasyon seviyesinden sonra gerilmelerin sabitlenerek kalıcı gerilmelerin oluştuğu gözlenmiştir. Zeminin en yüksek kayma gerilmeleri 150 kPa normal gerilme altında, rölatif sıklığın gevşekten sıkıya doğru olması durumunda sırasıyla 149.11 kPa, 159.58 kPa ve 186.32 kPa olarak bulunmuştur. Aynı normal gerilme için 6 mm yatay deformasyondan sonra elde edilen kalıcı kayma gerilmeleri ise, yine rölatif sıklığın gevşekten sıkıya doğru olması durumunda sırasıyla 124.58 kPa, 126.20 kPa ve 149.04 kPa olarak elde edilmiştir. Yapılan deneyler kuru zeminlerin kalıcı gerilme değerlerinin de yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 3. SW kumu için kayma gerilmesi – yatay deformasyon karşılaştırılması



Şekil 4. SW kumu için sabit rölatif sıklıklarda normal gerilme etkisi.

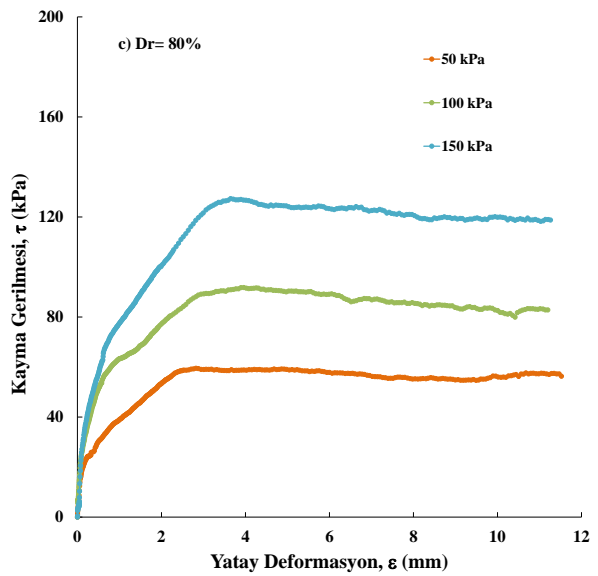
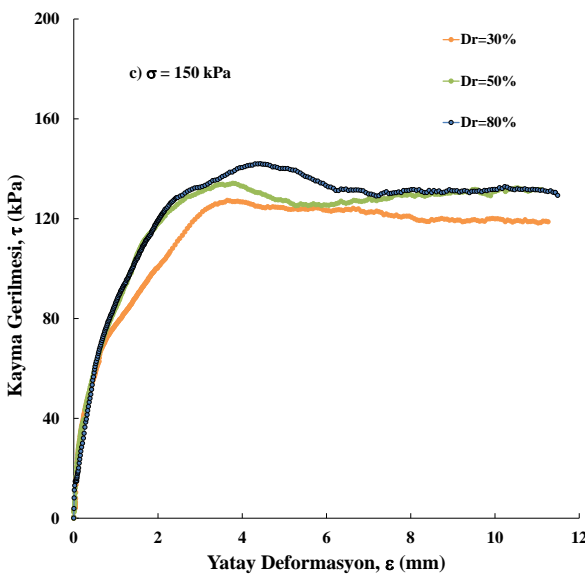
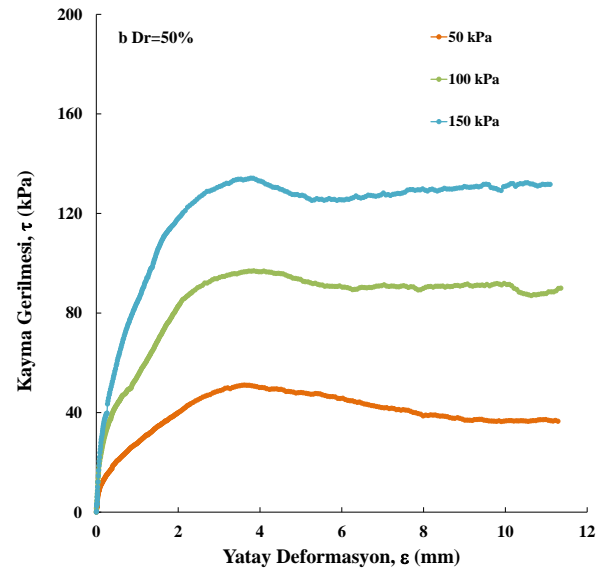
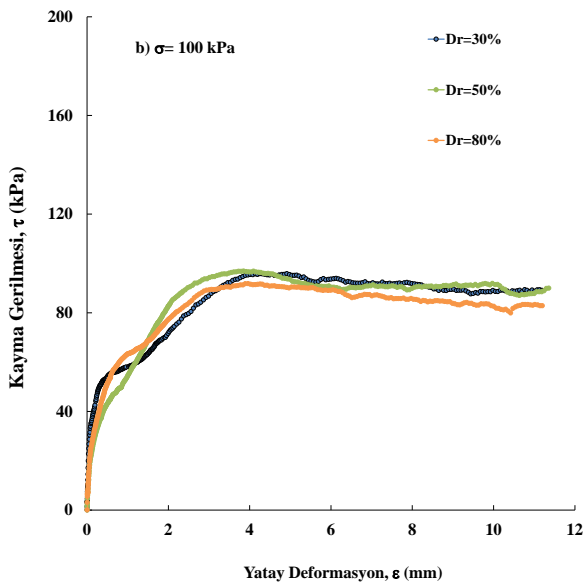
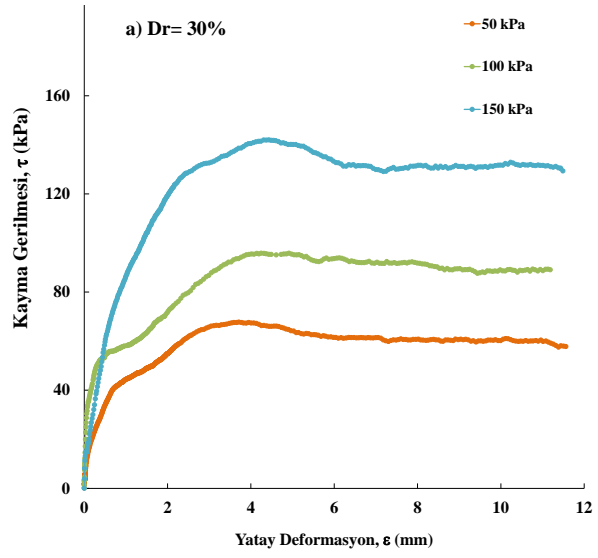
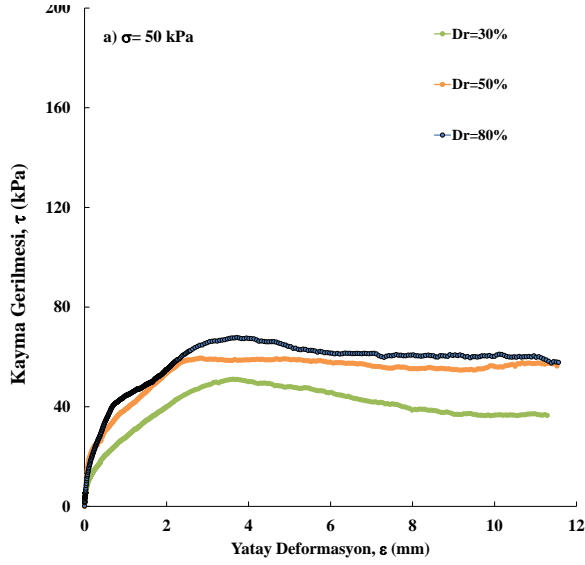
Kötü Derecelendirilmiş Kumun (SP) Kesme Kutusu Deney Sonuçları

Kötü derecelenmiş kuru kum için 50, 100 ve 150 kPa normal gerilme altında yapılan deney sonuçları Şekil 5'te gösterilmektedir. Şekil 5-a'da $D_r=30\%$ için minimum kayma gerilmesi değeri elde edilirken, $D_r=80\%$ için aynı normal gerilme altında en yüksek kayma gerilmesi elde edilmiştir. Şekil 5-a'da gösterilen minimum kayma gerilmesi değeri, $D_r=30\%$ için, 50 kPa normal gerilme altında 67.77 kPa'dır. Şekil 5-c, 150 kPa'lık normal gerilme altında 3 farklı rölatif sıklık altında gerçekleştirilen deney sonuçları sunulmuştur. Deneylerdeki en yüksek kesme gerilimi, $D_r=80\%$ rölatif sıklık ve 150 kPa'lık normal gerilim için elde edildi. Şekil 5'de kötü derecelenmiş kum zeminin sabit normal gerilmede rölatif sıklık etkisinin daha az olduğu görülmüştür. Elde edilen deneysel sonuçlar incelendiğinde, Şekil 5-b görüldüğü üzere sabit bir normal gerilme altında (100 kPa) elde edilen maksimum kayma gerilmesi her üç rölatif sıklık için de birbirine çok yakın bulunmuştur. Benzer deney sonuçları Şekil 5-c'de de gözlemlenmiştir. Şekil 5-a'da elde edilen 50 kPa normal gerilme için ortalama maksimum kayma gerilme değeri 59 kPa olarak bulunmuştur. Şekil 5-b'de 100 kPa normal gerilme için ortalama maksimum kayma gerilmesi 95 kPa elde edilirken, Şekil 5-c'de 150 kPa normal gerilme için ortalama maksimum kayma gerilmesi ise 135 kPa'dır. Ortalama kayma gerilmesi, normal gerilme 50 kPa'dan 100 kPa'ya yükseldiğinde %61 oranında, 100 kPa'dan 150 kPa'ya yükseldiğinde ise %42 oranında artmıştır. Şekil 6'da gösterilen deney sonuçları %30, %50 ve %80 olmak üzere 3 farklı rölatif sıklıkta gerçekleştirildi. Şekil 6'da sabit rölatif sıklıkta normal gerilmenin değişimi çok daha belirgin bir şekilde elde edilmiştir. Örneğin Şekil 6-a'da görüldüğü üzere, gevşek ($D_r=30\%$) durumdaki SP kumu için 50.34 kPa maksimum gerilme, en düşük normal gerilme ($\sigma=50$ kPa) değeri için elde edilirken, sıkı durumda ($D_r=80\%$) ise 141.96 kPa maksimum gerilme, en yüksek normal gerilmede ($\sigma=150$ kPa) bulunmuştur. Benzer davranış SP kumunun Şekil 6-b ve 6-c'de gösterilen orta sıkı ve sıkı örnekler üzerinde de elde edilmiştir. Artan normal gerilmeler altındaki en sıkı durumda SP kumunun (Şekil 6-c), maksimum kayma gerilmeleri sırasıyla 50.98 kPa, 96.36 kPa ve 133.68 kPa'dır. Bu durumda atış oranları %89 ve %38.7 olarak bulunur.

İnce Kumun (FS) Kesme Kutusu Deney Sonuçları

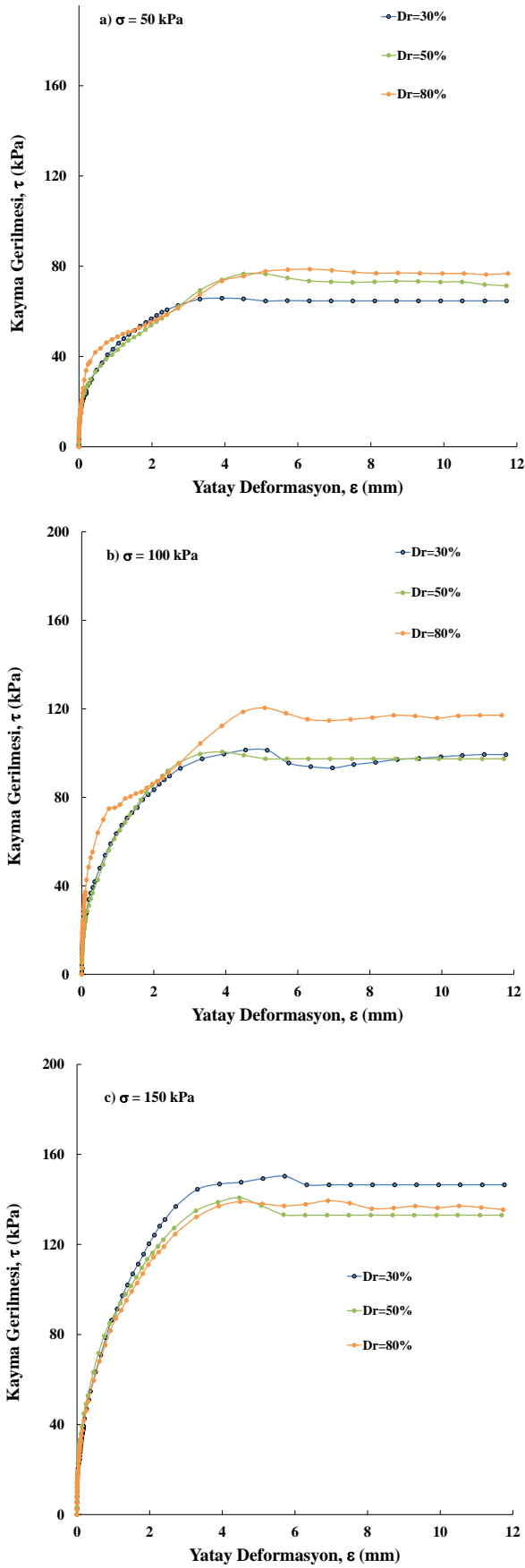
Kötü derecelendirilmiş ince kum (FS) için yapılan kesme kutusu deney sonuçları Şekil 7 ve Şekil 8'de gösterilmektedir. Şekil 7'de rölatif sıklık sabit tutularak normal gerilmeler karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına bağlı olarak minimum kayma dayanımı beklendiği üzere %30 rölatif sıklıkta ve 50 kPa normal gerilme altında elde edilmiştir. Maksimum kayma dayanımı ise yine beklendiği gibi %80 rölatif sıklıkta 150 kPa normal gerilme altında elde edilmiştir.

Test sonuçları kullanılarak, kuru kumun içsel sürtünme açıları Şekil 7'de gösterildiği gibi farklı rölatif sıklıklar için oluşturulmuştur. Deneyler sonucunda elde edilen şekiller incelendiğinde, kuru kumun yatay deformasyona ulaşmaya kadar dayanımının arttığı görülmektedir. Tepe noktasından sonra kayma gerilmesinin çok az miktarda azaldığı gözlenmektedir. Zeminin kayma mukavemetinin normal gerilmenin artmasıyla arttığı görülmektedir. Zeminin göçmesi için daha yüksek gerilmelerin gerektiği gözlenmiştir. Bunun nedeni taneler üzerindeki gerilmenin, tanelerin birbiri üzerindeki hareketini zorlaştırması ve birlikte sıkılaştırılmalarına neden olmasıdır. Bu durumda, zeminin nihai duruma geçmesi için yüksek gerilmelerde, daha fazla dayanım göstermesine neden olmuştur. Ayrıca Şekil 7-a, 7-b ve 7-c'de, 50 kPa normal gerilmede ortalama kalıcı kayma gerilmesi 71.34 kPa, 100 kPa normal gerilme için ortalama kalıcı kayma gerilmesi 102.10 kPa ve son olarak 150 kPa normal gerilmede 140.40 kPa elde edilmiştir. Şekil 8-a, 8-b ve 8-c'de görüldüğü üzere FS kumunun maksimum ve kalıcı kayma gerilme değerleri gevşek, orta sıkı ve sıkı zeminler için benzer davranış şekli göstererek birbirine yakın değerlerden oluşmaktadır. Bu durum FS kumunun Şekil 2'de gösterilen dane çapı dağılımı eğrisinde, maksimum ve minimum tane çaplarının birbirine çok yakın olmasından kaynaklanmaktadır. Mesela, Şekil 8-b'de orta sıkı ($D_r=50\%$) numuneler için, 50 kPa normal gerilmede, maksimum kayma gerilmesi 76.65 kPa iken kalıcı kayma gerilmesi ise 73.05 kPa'dır. Aynı grafikte 150 kPa normal gerilme altında maksimum kayma gerilmesi 140.75 kPa bulunurken, kalıcı kayma gerilmesi ise 133.01 kPa bulunmuştur.

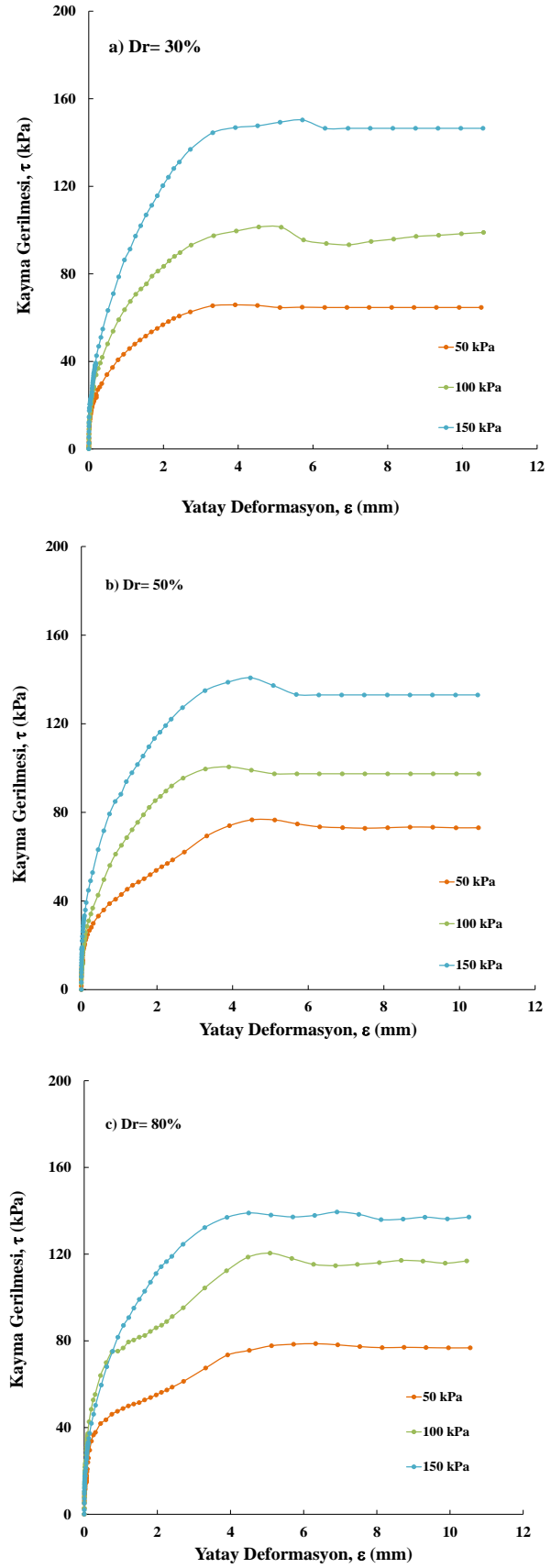


Şekil 5. SP kumu için kayma gerilmesi-yatay deformasyon karşılaştırması

Şekil 6. SP kumu için aynı rölatif sıklıklarda normal gerilme etkisi.



Şekil 7. FS kumu için kayma gerilmesi-yatay deformasyon karşılaştırılması



Şekil 8. FS kumu için aynı rölatif sıklıklarda normal gerilme etkisi.

Çizelge 3'te deneysel çalışma kapsamında kullanılan zemin numunesinin sıkı (%80) ve gevşek (%30) rölatif sıklıklarda, minimum (50 kPa) ve maksimum (150 kPa) normal gerilmeler altında elde edilen kayma gerilmesine (τ), bağlı olarak bulunan içsel sürtünme açısı gösterilmektedir. Çizelgede gösterilen verilere bağlı olarak yapılacak yorumlar şu şekildedir:

- Zemin türleri gevşek (D_r =%30) rölatif sıklıkta ve minimum normal gerilme altında (σ =50 kPa) minimum kayma dayanımı ve içsel sürtünme açısı elde etmiştir.
- Zemin türleri sıkı (D_r =%80) rölatif sıklıkta ve maksimum normal gerilme altında (σ =150 kPa) maksimum kayma dayanımı ve içsel sürtünme açısı elde edilmiştir.
- En yüksek kayma dayanımı ve buna bağlı olarak elde edilen içsel sürtünme açısı iyi derecelenmiş zemin (SW) için elde edilmiştir. Bunun nedeni, SW kumunun diğer zemin tiplerine kıyasla kaba ve köşeli bir yapıya sahip olması ve bu nedenle zemin tanelerinin birbiri üzerindeki hareketinin daha zor olmasıdır.
- Daneler arası boşluk oranı (Δe) arttıkça, içsel sürtünme açısının arttığı görülmüştür.
- Kötu derecelendirilmiş ince kum olarak sınıflandırılan (FS), kötü derecelendirilmiş kuma (SP) göre daha ince daneli olmasına karşın daha yüksek kayma dayanımı ve içsel sürtünme açısı meydana getirmiştir. Bunun nedeni ise kötü derecelendirilmiş ince kum (FS) zeminin daneler arası boşluk oranının SP zemin türüne göre daha küçük olmasıdır.

Çizelge 3. Kum zeminlerin sıkı ve gevşek sıklık durumlarındaki içsel sürtünme açıları

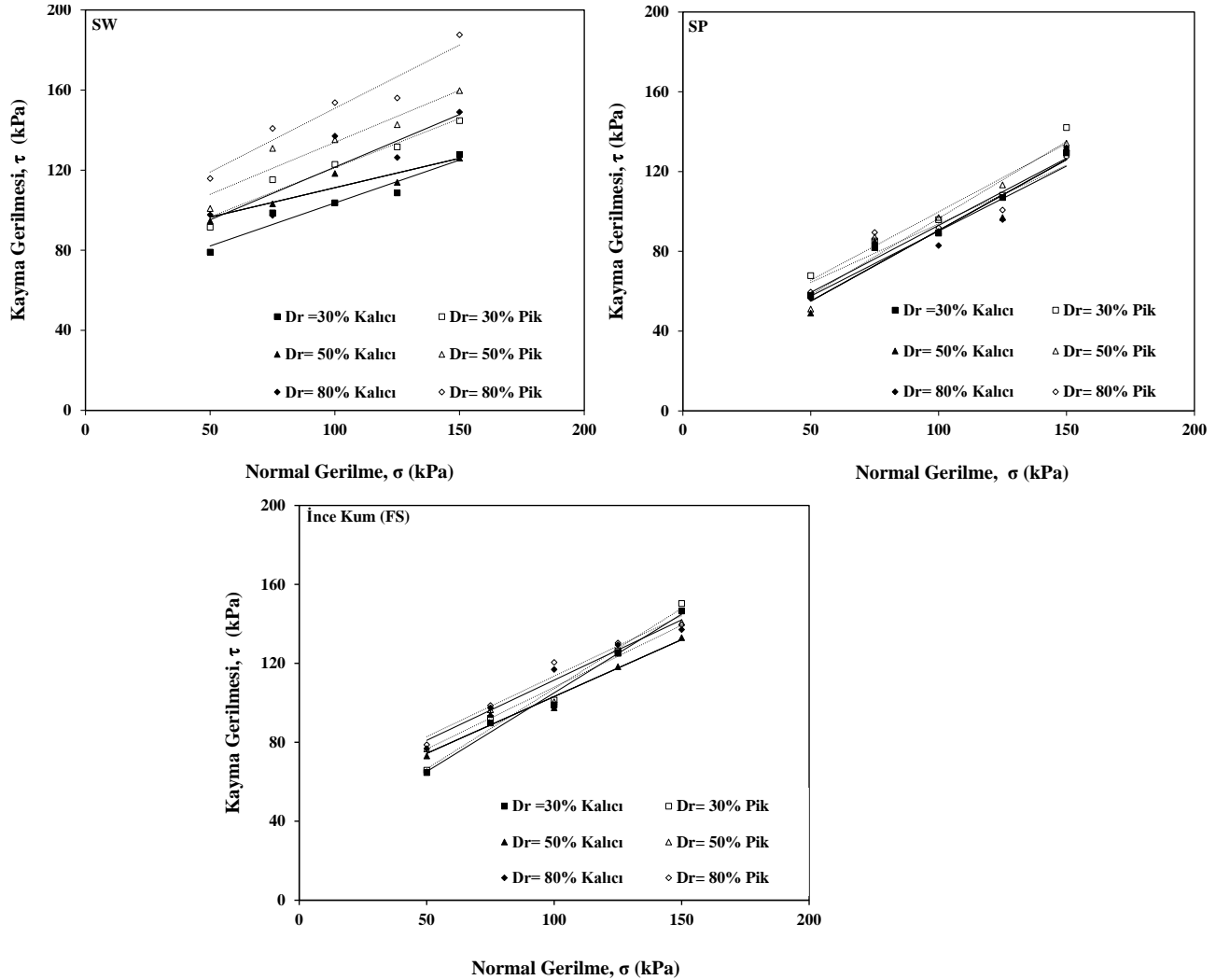
Zemin Türü	Rölatif Sıklık (D_r , %)	Düşük Normal Gerilme (50 kPa)	Yüksek Normal Gerilme (150 kPa)	İçsel Sürtünme Açısı (ϕ , °)
SW	30	91.5	114.74	42.12
SW	80	115.84	187.61	47.09
SP	30	67.77	142.04	39.44
SP	80	59.55	127.37	43.34
FS	30	65.83	150.29	41.68
FS	80	78.16	139.43	45.06

Şekil 9'da gevşek (D_r =%30), orta sıkı (D_r =%50) ve sıkı (D_r =%80) zemin farklı rölatif sıklıkları için pik ve kalıcı kayma gerilmeleri üç farklı normal gerilme altında (σ =50, 100 ve 150 kPa) karşılaştırılmıştır. SW kumu için her üç rölatif sıklık için de elde edilen pik kayma gerilmeleri, kalıcı kayma gerilmelerinden belirgin şekilde büyüktür. FS kumu için ise her üç rölatif sıklık için pik ve kalıcı kayma gerilmeleri arasındaki fark çok çok azalmıştır. Bu durum zeminlerin dane çapı dağılımının pik ve kalıcı kayma dayanımlarında önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

SONUÇ

Bu çalışmada, farklı zemin türlerinin farklı rölatif sıklıklar ve normal gerilmelerde kayma mukavemeti parametreleri (içsel sürtünme açısı, maksimum ve nihai kayma gerilmesi) üzerindeki etkisi direkt kesme deneyi kullanılarak araştırılmıştır. Rölatif sıklığın numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini anlamak için iyi derecelendirilmiş kum (SW), kötü derecelendirilmiş kum (SP) ve kötü derecelendirilmiş-ince kum (FS) numuneleri üzerinde bir dizi deney gerçekleştirilmiştir. Doğrudan kesme deneylerinden elde edilen sonuçlar, iyi derecelendirilmiş kumun içsel sürtünme açısının aralığının kötü derecelendirilmiş kumdan daha yüksek olduğunu göstermektedir. Zeminlerin içsel sürtünme açısının düşük ve yüksek gerilmeler altında değişimleri de belirlenmiştir. İçsel sürtünme açısının tane büyüklüğü, kum tipi, rölatif sıklık ve uygulanan normal gerilmeye bağlı olarak değiştiği

görülmüştür. Numunelerin test edildiği kuru yoğunluklarda, içsel sürtünme açısı gibi fiziksel özelliklerin artmasını içeren, normal gerilimdeki artışla birlikte maksimum ve artık kesme geriliminde bir artış olduğu elde edilmiştir.



Şekil 9. Pik - kalıcı kayma mukavemeti - normal gerilme değişimi.

KAYNAKLAR

- Asadzadeh M, Soroush A, 2009. Direct Shear Testing on a Rockfill Material, The Arabian Journal for Science and Engineering, Vol.34, No.2B.
- ASTM, 1990. Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions, ASTM D3080-90. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials.
- ASTM D-4253-00, 2006. Standard Test Methods for Maximum Indeks Density and Unit Weight of Soils Using a Vibratory Table, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D-4253-00, 2006. Standard Test Methods for Minimum Indeks Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA
- Cabalar AF, 2011. Direct Shear Tests on Waste Tires–Sand Mixtures, Geotech. Geol. Eng. 29:411–418.
- Çanakçı H, Güllü H, 2007. Kil-Kum Karışımı Zeminlerde Karışım Oranının İçsel Sürtünme Açısı Üzerine Etkisinin İncelenmesi, 2. Geoteknik Sempozyumu, Adana, s. 430-436.
- Dafalla MA, 2013. Effects of clay and moisture content on direct shear tests for clay–sand mixtures. Adv Mater. Sci Eng 2013:562726.

- Dey A, Mamo BG, Banoth KK, 2015. Effect of strain rate on shear strength parameter of sand. 50th Indian Geotechnical Conference 17th – 19th December 2015, Pune, Maharashtra, India.
- Edinçliler A, Baykal G, Dengili K, 2004. Determination of Static and Dynamic Behavior of Recycled Materials for Highways. *Resources Conservation and Recycling*, 42: 233-237.
- Fannin RJ, Eliadorani A, Wilkinson JMT, 2005. Shear strength of cohesionless soils at low stress. *Géotechnique*, 55(6): 467-478.
- Gotteland P, Lambert S, Balachowski L, 2005. Strength Characteristics of Tyre Chips-Sand Mixtures. *Studia Geotechnica et Mechanica*, 17: 1-2.
- Holtz RD, Kovacs WD, 2015. *Geoteknik Mühendisliğine Giriş 2.Cilt*, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 540.
- Kokusho T, Hara T, Hiraoka R, 2004. Undrained Shear Strength of Granular Soils with Different Particle Gradations, *ASCE J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 130(6): 621-629.
- Muawia AD, 2013. Effects of Clay and Moisture Content on Direct Shear Tests for Clay-Sand Mixtures. *Journal of Advances in Materials Science and Engineering*, pp. 1-8, December, 21.
- Nam S, Gutierrez M, Diplas P, Petrie J, 2011. Determination of the shear strength of unsaturated soils using the multistage direct shear test. *Engineering Geology*, 122(3-4): 272-280.
- Saito R, Fukuoka H, Sassa K, 2006. Experimental Study on the Rate Effect on the Shear Strength, Disaster Mitigation of Debris Flows, Slope Failures and Landslides.
- Vallejo LE, Mawby R, 2000. Porosity influence on the shear strength of granular material–clay mixtures. *Eng Geol.* 58(2):125–136.
- Sezer A, Altun S, Göktepe AB, 2011. Relationships between shape characteristics and shear strength of sands, *Soils and Foundations*, Vol. 51, No. 5, 857–871.
- Simoni A, Houlsby GT, 2006. The direct shear strength and dilatancy of sand-gravel mixtures. *Geotechnical and Geological Engineering*, 24: 523-549.
- Şekercioğlu S, 2015. Kumlu Toprakların Geoteknik Özelliklerinin Geotekstil Kullanılarak İncelenmesi. Balıkesir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, Ocak
- Wang JJ, Zhang H, Tang S, Liang Y, 2013. Effects of particle size distribution on shear strength of accumulation soil, *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, vol. 139, no. 11, pp.1994–1997.
- Wang HL, Cui YJ, Lamas-Lopez F, Dupla JC, Canou J, Calon N, Saussine G, Aïmedieu P, Chen RP, 2017. Effects of inclusion contents on resilient modulus and damping ratio of unsaturated track-bed materials. *Can. Geotech. J.* 54 (12): 1672–1681. <https://doi.org/10.1139/cgj-2016-0673>.
- Wang HL, Cui YJ, Lamas-Lopez F, Calon N, Saussine G, Dupla JC, Canou J, Aïmedieu P, Chen RP, 2018a. Investigation on the mechanical behavior of track-bed materials at various contents of coarse grains. *Constr. Build. Mater.* 164 (Mar): 228–237. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.209>.
- Wang HL, Cui YJ, Lamas-Lopez F, Dupla JC, Canou J, Calon N, Saussine G, Aïmedieu P, Chen RP, 2018b. Permanent deformation of track-bed materials at various inclusion contents under large number of loading cycles. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 144 (8): 04018044. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0001911](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001911).
- Wichtmann T, Triantafyllidis T, 2009. Influence of the grain-size distribution curve of quartz sand on the small strain shear modulus G_{max} . *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 135 (10): 1404 – 1418. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000096](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000096).
- Wichtmann T, Triantafyllidis T, 2013. Effect of uniformity coefficient on G/G_{max} and damping ratio of uniform to well-graded quartz sands. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 139 (1): 59–72. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000735](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000735).

Geri Dönüştürülmüş Beton Agregasının Düşük Plastisiteli Bir Kilin Mekanik Özelliklerine EtkisiGamze BİLGEN^{1*}

ÖZET: Bu çalışmada, beton dayanımını belirlemek amacı ile test edilmiş olan beton numunesi atıklarının ufalanması ile elde edilmiş olan geri dönüştürülmüş beton agregalarının (GDA) yol ve dolgu yapımında alt temel malzemesi olarak kullanımı üzerine deneysel bir araştırma yapılmıştır. Beton numunesi atıkları laboratuvar ortamında el yordamı ile kırılıp elenmek sureti ile deneyler için gerekli boyutlara indirilmiştir. Bölge civarında temin edilen killi zemin, dolgu yapımında kullanılacak alt temel malzemesi olarak seçilmiştir. 425 mikron boyutundan elenerek (40 nolu elek) hazırlanmış olan GDA, alt temel zemini ile %5, %10 ve %15 oranlarında karıştırılmak sureti ile farklı karışım oranlarında örnekler hazırlanmıştır. GDA'nın killi zeminin mekanik özelliklerine etkisinin belirlenmesi için hazırlanan karışımlar üzerinde; standart Proctor, serbest basınç dayanımı (UCS) ve Kaliforniya taşıma oranı (CBR) şeklinde bir seri deney gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmanın sonuçlarına göre GDA düşük plastisiteli killi zeminin mekanik özelliklerini iyileştirmektedir.

Anahtar kelimeler: Geri dönüştürülmüş beton agregası, killi zemin, zemin ıslahı

Effect of Recycled Concrete Aggregate (RCA) on Mechanical Properties of a Low Plasticity Clay

ABSTRACT: In this study, an experimental research was conducted on the use of recycled concrete aggregates (RCA) obtained by pulverized of broken concrete samples which were used for determining the strength of concrete. Concrete samples were crushed in the laboratory and reduced to the required dimensions for the experiments. The clayey soil provided in the vicinity was chosen as the sub-base material to be used in road and embankment construction. RCA prepared by sieving 425-micron (No: 40) were mixed with sub-base soil at 5%, 10% and 15% thereby samples were prepared in different mixing ratios. Some geotechnical experiments were performed on the mixtures prepared to determine the effect of RCA on the water-density relationship and mechanical properties of clayey soil such as Proctor, Unconfined Compressive Strength (UCS) and California Bearing Ratio (CBR). According to the results of the experimental study, RCA improves the mechanical properties of low plasticity clayey soil.

Keywords: Recycled concrete aggregates, clayey soil, soil stabilization.

¹ Gamze Bilgen (Orcid ID: 0000-0002-2840-7369), Bülent Ecevit Üniversitesi, Alaplı MYO, Alaplı, Zonguldak

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Gamze BİLGEN, e-mail: gamzebilgen@beun.edu.tr

GİRİŞ

Katı atıklar, yirmi birinci yüzyılın en büyük evrensel sorunlarından biri olarak tanımlanmaktadır (Tutulmaz, 2012). Katı atıklar üzerindeki yoğun çalışmalar tüm dünya genelinde 1980 li yıllarından bu yana devam etmektedir. Akademik olarak yapılan çalışmalarla paralel, gelişmiş ülkelerde yönetsel olarak da konu ile ilgili ajanslar kurularak, atıkların toplanması, istiflenmesi gibi katı atık yönetimi ile ilgili çalışmalar yapılmış ve düzenli aralıklar ile raporlar hazırlanmıştır. Bu ajansların en önemlilerinden biri olan ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA), katı atıkları 5 grupta sınıflandırmaktadır. Bunlar, evsel atıklar, ticari atıklar ve endüstriyel atıklar guruplarını içine alan Kentsel Katı Atıklar (KKA-MSW), inşaat sektörünün yapım, test etme, bakım ve yıkım gibi tüm aşamalarında meydana gelen inşaat ve yıkım atıkları (İYA-C&D), özel atıklar, kimyasal atıklar ve diğer atıklar olarak sıralanmaktadır. İYA lar, KKA ların %30 civarında bir kısmını oluşturmaktadır. (EPA, 2019). EPA raporlarına göre, 2017 yılında sadece ABD de oluşan İYA miktarı 569.4 milyon tondur. İYA, demir yolu, dolgu, otoyol, bina, köprü, su yapıları inşaatları gibi tüm inşaat çalışmalarında meydana gelen atıklar oldukları için çok farklı malzemelerden meydana gelmektedir. Pencereler, sıhhi tesisat armatürleri, kapılar gibi kurtarılmış yapı bileşenlerinin yanında plastik, asfalt, alçı, ahşap, metal, beton ve tuğla atıklarının tümü İYA olarak adlandırılmaktadır (FedCenter, 2020). Bunun yanında, İYA nın %75 oranında bir kısmı beton atığından oluşmaktadır (Demir, 2009).

Geri dönüştürülmüş beton agregası (GDA-RCA) olarak bilinen bu atıkların, inşaat sektöründe tekrar kullanımı ile ilgili pek çok akademik çalışma bulunmaktadır. Örneğin, Söylemez ve Bayraktar tarafından yapılan bir çalışmada, asfalt yolların aşınma tabakasında GDA kullanımının uygun olduğu belirtilmektedir (Söylemez ve Bayraktar, 2019). Ok ve Demir tarafından yapılan çalışmada, GDA üzerinde Los Angeles aşınma deneyi yapıldığı ve GDA de önemli bir aşınma kayba olmadığı tespit edilmiştir (Ok ve Demir, 2018). Literatürde bulunan bir diğer çalışmada kullanılan GDA nın yüksek plastisiteli kilin sabit hacimli şişme basıncı azalttığı belirtilmektedir (Çimen ve ark., 2017). Vietnam'da yapılan bir çalışmada, doğal taşın % 20 oranında bir kısmının geri dönüştürülmüş beton agregası ile değiştirilmesinin kırıların taşıma kapasitesini ve performansını etkilemediğini göstermektedir (Gao, 2020). Çin'de yapılan bir araştırmada, betonda RCA kullanımının betonun durabilitesini arttırdığı söylenmektedir (Le ve Nguyen, 2020). İYA ların üretimi ve doğal agregaların yerine kullanımı tüm dünyada yaygınlaşmaya başlamıştır ve ABD'deki birçok belediye tarafından ayrıca ASTM, EPA gibi resmi kurumlar tarafından da onaylanmıştır (EPA, 2019).

Öte yandan, Türkiye'de yol ve dolgu çalışmalarında kullanılacak olan zeminlerin taşınması gereken özellikler Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından belirlenmiştir. Killi zeminlerin mekanik özelliklerinin zayıf olması, su yoğunluk ilişkileri gibi geoteknik özelliklerinin belirtilen kıstaslara uymadığı ve yol ve dolgu çalışmalarında kullanılmadan önce ıslah edilmesi gerektiği bilinmektedir (Kavak ve Bilgen, 2016). Zemin iyileştirme amacı ile geliştirilen projelerde, üzerinde en çok çalışılan katkı maddeleri arasında uçucu kül (UK), yüksek fırın curufu (YFC) ve kireç gibi malzemeler gelmektedir. Türkiye'de YFC özellikle çimento üretimde etkin bir şekilde kullanılmakta olup, kirecin yol ve dolgu yapımında kullanımı KGM tarafından yayınlanan bir kitapçık ile ayrıntılı olarak tanımlanmıştır (KGM, 2018). Türkiye'de KGM tarafından 2011 yılında yapılan bir araştırmada GDA nın asfalt yapımında kullanımı da araştırılmıştır (KGM, 2018).

Literatürde yapılan çalışmalar, genel olarak GDA nın beton ve asfalt yapımında agrega olarak kullanımının olumlu sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bu çalışmada ise, GDA nın agrega olarak kullanımından ziyade zemin ıslahı amacı ile kullanımı irdelenmektedir. Bu amaçla, bu çalışmada, düşük

plastisiteli bir kil alt temel malzemesi olarak seçilerek, katkı malzemesi olarak kullanılan 425 mikron altı GDA kullanımının killi zeminin mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, beton dayanımını belirlemek amacı ile kırılmış olan atıl durumdaki beton numuneleri GDA olarak kullanılmıştır. $15*15*15 \text{ cm}^3$ boyutlarındaki beton numuneleri laboratuvar ortamında kırılıp ufalanmak sureti ile deneyler için gerekli boyutlara indirilmiştir. Bölge civarında bulunan bir zemin, dolgu yapımında kullanılacak alt temel malzemesi olarak seçilmiştir. Seçilen bu zeminin spesifik gravitesi belirlendikten sonra, sınıflandırılmasının yapılabilmesi için zemin üzerinde elek analizi ve kıvam limitleri deneyleri gerçekleştirilmiş ve zeminin yanma kaybı (LoI) değerinin belirlenmesi için organik madde tayini yapılmıştır. 425 mikron boyutundan elenerek (No: 40) hazırlanmış olan GDA, alt temel malzemesi olarak belirlenen bu zemin ile %5, %10 ve %15 oranlarında karıştırılmak sureti ile farklı karışım oranlarında örnekler hazırlanmıştır. GDA ların killi zeminin mekanik özelliklerine etkisinin belirlenmesi için hazırlanan karışımlar üzerinde; su-yoğunluk ilişkisi belirleme için standart Proctor, basınç dayanımının belirlenmesi için serbest basınç dayanımı deneyi (UCS) ve Kaliforniya Taşıma oranı (CBR) şeklinde bir seri deney yapılmıştır. UCS ve CBR değerleri, karışımlar 7 gün kür edildikten sonra belirlenmiştir. Karışımlar üzerinde yapılan tüm deneyler, katkısız haldeki zemin üzerinde de gerçekleştirilmiştir. Kür süresince numuneler, hava almayacak şekilde plastik torbalarda muhafaza edilmiş ve nem odasında bekletilmiştir. Tüm deneyler, ilgili ASTM standartlarına göre gerçekleştirilmiştir.

Sonuçların daha sade olarak aktarılabilmesi adına, alt temel malzemesi olarak kullanılan zemine (SK) kodu verilmiştir. Çizelge 1 de görüldüğü üzere, %5, %10 ve %15 olarak eklenen GDA sırası ile 1, 2, 3 olarak kodlanmıştır. Böylece, %5 GDA ile hazırlanmış olan karışımın kodu SK1, %10 GDA ile hazırlanmış olan karışımın kodu SK2 ve benzer şekilde %15 GDA ile hazırlanmış olan karışımın kodu SK3 olarak kodlanmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Kurutulup elenilen alt temel zemininin tamamı 200 nolu elekten geçmiştir ve spesifik gravitesi 2,43 olarak belirlenmiştir. Yakma kaybı deneyi sonrasında (LoI) değerinin %1.3 olduğu görülmüştür. Elek analizi ve kıvam limitleri deneyleri neticesinde Çizelge 1 görüldüğü gibi, alt temel zeminin sınıfının, birleştirilmiş zemin sınıflandırma (USCS) sistemine göre düşük plastisiteli kil (CL) ve AASHTO sınıflandırma sistemine göre A6 olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 1. Karışımların zemin sınıfları

Karışım Kodu	Kil Oranı (%)	GDA oranı (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Zemin Sınıfı	
						USCS	AASHTO
SK	100	0	40	21	19	CL	A-6 (21)
SK1	95	5	39	20	19	CL	A-6 (20)
SK2	90	10	38	20	18	CL	A-6 (19)
SK3	85	15	37	19	18	CL	A-6 (19)

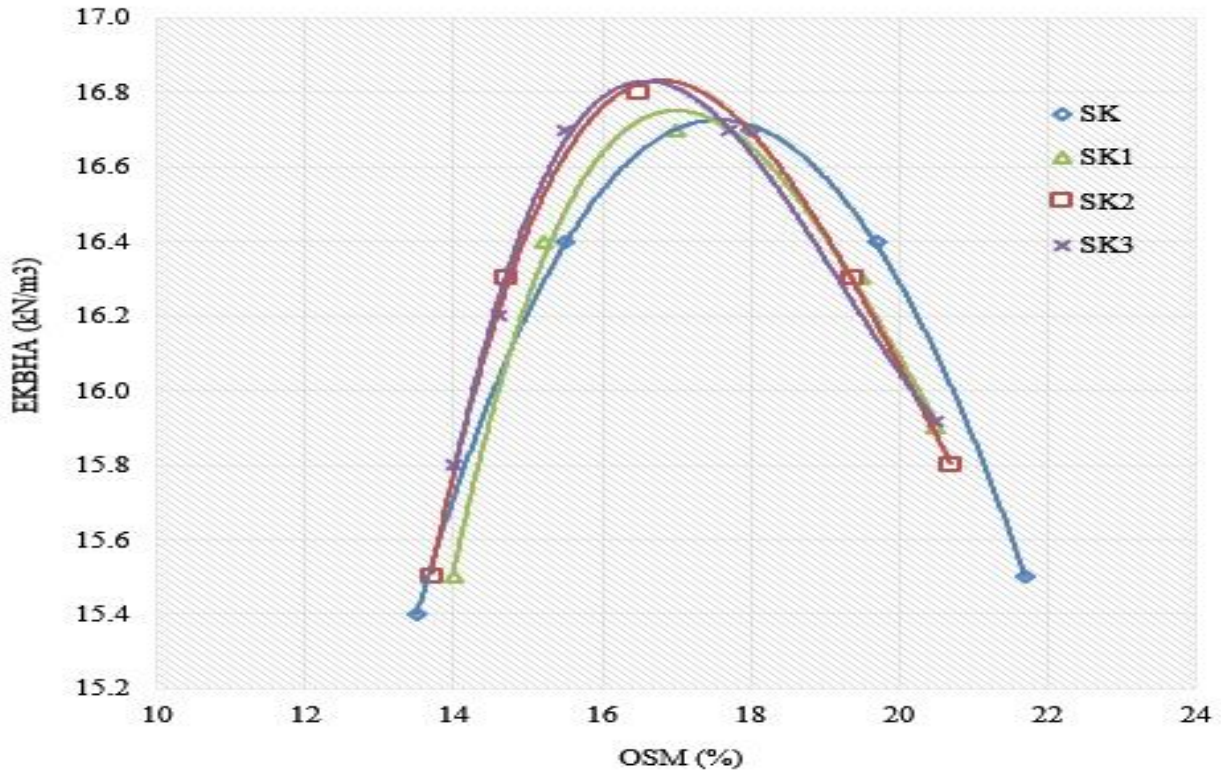
Farklı oranlarda karıştırılan GDA, USCS sınıflandırma sistemine göre killi zeminin sınıfında bir değişikliğe yol açmamıştır. Aynı şekilde, ASHTO sistemine göre de grup indeksi sayısında küçük bir azalmaya sebep olmakla beraber A6 olan sınıfını değiştirecek bir etki yapmamıştır. Ancak, GDA, zeminin likit limitinde (LL) ve plastisite indisinde (PI) kullanım oranı arttıkça artan bir azalmaya sebep olmuştur. Katkısız halde %40 olarak belirlenen LL değeri %15 oranında GDA ile karıştırıldığında %37

ye düşerken, katkısız halde %19 olan PI değeri %15 oranında kullanılan GDA katkısının etkisi ile %1 lik bir değişimle %18 e düşmüştür.

Çizelge 2. Standart Proctor ve Dayanım deneyleri sonuçları

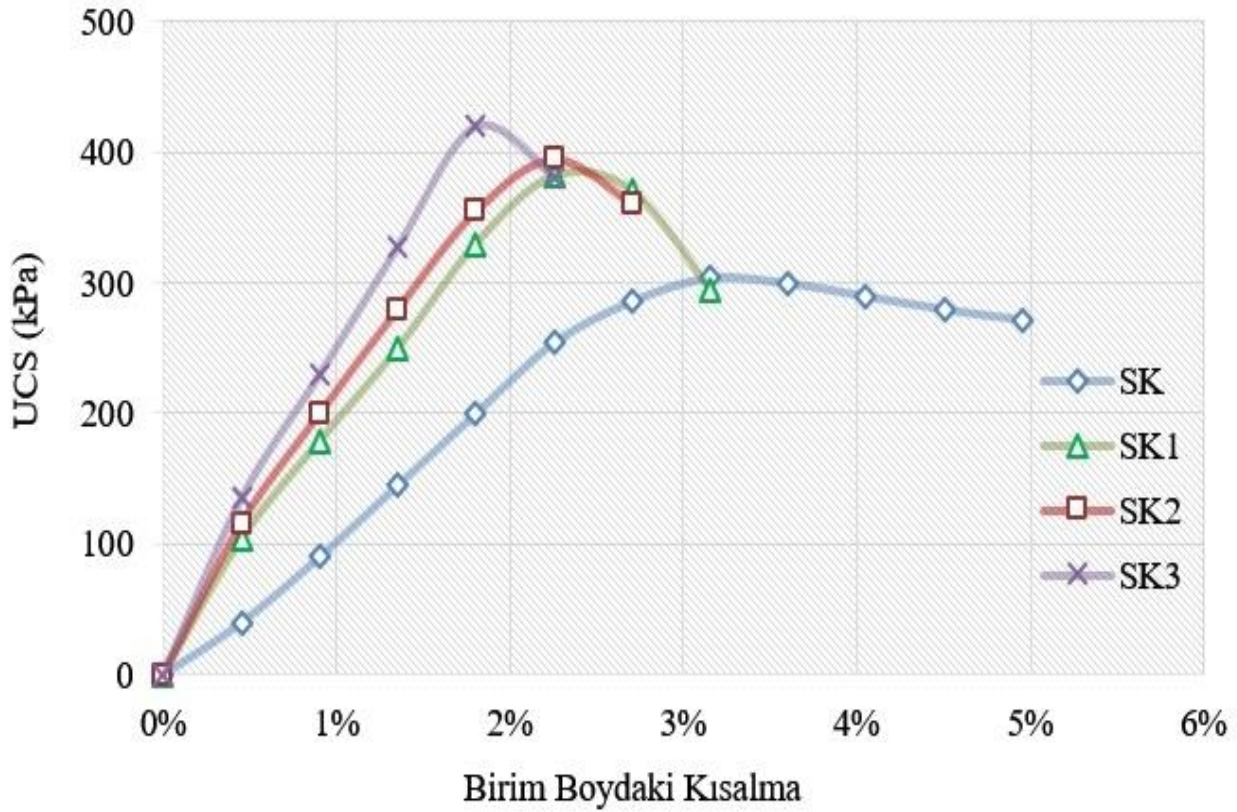
Karışım Kodu	OSM (%)	EB-KBHA (kN/m ³)	UCS (kPa) (7 gün)	CBR (%) (7 gün)
SK	17.5	16.70	304	9
SK1	17.0	16.74	382	11
SK2	16.5	16.80	395	12
SK3	16.3	16.82	420	13

Standart Proctor, deneyi sonuçları Çizelge 2 ve deneyden elde edilmiş olan optimum su muhtevası (OSM) ve buna bağlı en büyük kuru birim hacim ağırlık (EB-KBHA) değerleri Şekil 1 de görülmektedir. Alt temel zeminin optimum su muhtevası %17.5 ve bu su muhtevasındaki EB-KBHA değeri 16.70 kN/m³ olarak tayin edilmiştir. GDA kullanımının, oranı arttıkça artan bir şekilde OSM değerlerinde azalmaya ve EB-KBHA değerlerinde artışa sebep olduğu görülmektedir.



Şekil 1. Standart Proctor deneyi sonuçları

Alt temel zeminin 7 günlük kür sonrası UCS değeri 304 kPa ve CBR değerleri Çizelge 2 de görüldüğü gibi %9 olarak belirlenmiştir. %15 oranında kullanılan GDA katkılı karışımda bu kür süresi sonundaki UCS değeri 420 kPa olarak belirlenirken CBR değeri ise %13 olarak tayin edilmiştir. GDA kullanımı, oranı arttıkça artan bir şekilde UCS ve CBR değerlerinde bir artışa sebep olmaktadır. Şekil 2 de görüldüğü gibi GDA katkılı karışımlarda UCS değerleri artarken, birim boydaki değişim azalmaktadır.



Şekil 2. Serbest basınç dayanımı deneyi sonuçları

SONUÇ

Yapılan çalışmada, geri dönüştürülmüş beton agregasının, düşük plastisiteli bir kilde katkı olarak kullanımı durumunda kilin mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Deneysel çalışma sonuçlarına göre geri dönüştürülmüş beton agregası, kullanım yüzdesi arttıkça daha etkili bir şekilde:

- Killi zeminlerin likit limit ve plastisite indisi değerlerinde azalmaya sebep olmaktadır.
- Zeminin optimum su muhtevasını azaltırken birim hacim ağırlığını arttırmaktadır. Başka bir deyişle, daha az su ile daha yüksek yoğunlukta bir zemin elde etmemize yardımcı olmaktadır.
- UCS ve CBR değerlerinde başka bir deyişle zeminin dayanım özelliklerinde artış sağlamaktadır.

Deneysel veriler göstermektedir ki, atıl durumdaki beton dayanım test numunelerinden elde edilen geri dönüşüm beton agregalarının, düşük plastisiteli killerde mekanik özellikleri iyileştirmek adına kullanımı uygundur.

KAYNAKLAR

- Çimen Ö, Günaydın H. İ, Keskin S. N, 2017. Yüksek plastisiteli kil zeminin mühendislik özelliklerine inşaat atıklarının etkisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23:3, 250-253.
- Demir İ, 2009. İnşaat Yıkıntı Atıklarının Beton Üretiminde Kullanımı ve Beton Özelliklerine Etkisi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 9:2, 105-114.
- FedCenter.gov, Construction and Demolition (C&D) Debris. <https://www.fedcenter.gov/assistance/facilitytour/construction/debris/> (Erişim tarihi: 5.01.2020)
- Gao D, 2020. Durability of Steel Fibre-Reinforced Recycled Coarse Aggregate Concrete. Construction and Building Materials, 232, 117-119.
- Kavak A, Bilgen G, 2016. Reuse of ground granulated blast furnace slag (GGBFS) in lime stabilized embankment materials. International Journal of Engineering and Technology, 8:3, 11.

- KGM, 2013. Karayolu Teknik Şartnamesi, Karayolları Genel Müdürlüğü.
https://www.tamyol.com.tr/UserFiles/Content/KGM_Teknik_Sartnamesi_2013.pdf
(Erişim tarihi: 5.01.2020).
- KGM, 2018. Karayolları Genel Müdürlüğü, Kgm-Arge-K-18-01 Karayolları Genel Müdürlüğü.
<https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Baskanliklar/BaskanliklarTeknikArastirma/ARGE%C3%87al%C4%B1%C5%9Fmalar%C4%B1/KGM%20AR-GE%20Projeleri%202018.pdf> . (Erişim tarihi: 5.01.2020).
- Le A. T, Nguyen T. H, 2020. A Study on Behaviour of Reinforcement Concrete Beam Using the Recycled Concrete. CIGOS 2019, Innovation for Sustainable Infrastructure. Springer, Singapore, pp. 379-384.
- Ok B, Demir A, 2018. Yapım Yıkım Atıklarının Yol Temellerinde Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7:1, 224-236.
- Söylemez H, Bayraktar O, Y, 2019. İnşaat Yıkıntı Atıklarının Asfalt Agregası Olarak Kullanılma Stratejisi. 3. Uluslararası Bilimsel Çalışmalarda Yenilikçi Yaklaşımlar Sempozyumu, Ankara, 2019.
- Tutulmaz O, 2012. Sürdürülebilir Kalkınma: Sürdürülebilirlik için Bir Çözüm Vizyonu. Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 11:3, 601-626.
- United States Environmental Protection Agency, 2019. Advancing Sustainable Materials Management: 2017 Fact Sheet Assessing Trends in Material Generation, Recycling, Composting, Combustion with Energy Recovery and Landfilling in the United States. Available: <https://www.epa.gov/smm/sustainable-management-construction-and-demolition-materials>. (Erişim tarihi: 5.01.2020).
- United States Environmental Protection Agency, Estimating 2003 Building-Related Construction and Demolition Materials Amounts, Available: <https://www.epa.gov/smm/sustainable-management-construction-and-demolition-materials>. (Erişim tarihi: 5.01.2020).

26 Eylül 2019 Silivri Açıkları (Marmara Denizi) Depreminin Kuvvetli Yer Hareketi Verilerinin Değerlendirilmesi

Abdullah Can ZÜLFİKAR^{1*}, Senem TEKİN², Seyhan Okuyan AKCAN³, Methiye Gündoğdu GÖK¹

ÖZET: 26 Eylül 2019 günü Türkiye yerel saati 13.59'da Silivri açıklarında (Marmara Denizi) Kuzey Anadolu Fay hattı Kumburgaz segmenti üzerinde 6.99 km derinlikte büyüklüğü Mw 5.8 olan deprem meydana gelmiştir. Deprem Tekirdağ ve İstanbul başta olmak üzere Yalova, Kocaeli, Bursa ve Kırklareli illerinde hissedilmiştir. 26 Eylül Silivri depremi, 1999 Kocaeli (Mw 7.6) ve 1999 Düzce (Mw 7.1) depremleri ve artçılarından sonra bölgeyi etkileyen en büyük deprem olması nedeni ile önemlidir. Bu çalışma kapsamında Mw 5.8 Silivri deprem yer hareketi kayıtları incelenmiştir. Yer hareketi parametresi Maksimum Yer İvmesi (PGA), 2014 Yeni Nesil Yer Hareketi Tahmin denklemleri (YHTD - Next Generation Attenuation -NGA- Relations) kullanılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca yer hareketi parametreleri (MMI, PGA, Sa 0.2 s, Sa 1.0 s) dağılım haritaları oluşturularak, kaydedilmiş yer hareketleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca öncü ve artçı depremler değerlendirilerek orta ölçekli Marmara Denizi depremlerinin karakteristiği ortaya konmuştur. Ortaya çıkan enerji miktarı geçmiş büyük ölçekli depremler ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: 26 Eylül 2019 Silivri Depremi, Yer hareketi kayıtları, NGA-YHTD.

Evaluation of Strong Ground Motion Records of September 26, 2019 Offshore Silivri (Marmara Sea) Earthquake

ABSTRACT: On September 26, 2019 at 13:59 Turkish local time, on the Kumburgaz segment of the North Anatolian fault-line, an offshore event, Silivri (Marmara Sea) Earthquake with a magnitude of Mw 5.8 at the depth of 6.99 km occurred. The earthquake was felt especially in the nearby cities Tekirdag and Istanbul, and other cities Yalova, Kocaeli, Bursa and Kırklareli in the region, as well. The September 26 Silivri earthquake is important because, it is the biggest earthquake affecting the region after 1999 Kocaeli (Mw 7.6) and 1999 Duzce (Mw 7.1) earthquakes and their aftershocks. In this study, Mw 5.8 Silivri earthquake ground motion records were examined. The ground motion parameter, Peak Ground Acceleration (PGA), was evaluated using the 2014 Next Generation Attenuation Relations (Ground Motion Prediction Equations (GMPEs)). In addition, distribution maps of ground motion parameters (MMI, PGA, Sa 0.2 s, Sa 1.0 s) were generated and compared with the recorded ground motions. The amount of energy released during the earthquake has been compared with the past large-scale earthquakes.

Keywords: September 26, 2019 Mw 5.8 Silivri Earthquake, Ground Motion Records, NGA-GMPEs.

¹Abdullah Can ZÜLFİKAR (Orcid ID: 0000-0001-6610-3334), Methiye Gündoğdu GÖK (Orcid ID: 0000-0002-77519-5223), Department of Civil Engineering, Gebze Technical University, Kocaeli, Turkey

² Senem TEKİN (Orcid ID: 0000-0001-7734-9700), Department of Geological Engineering, Çukurova University, Adana, Turkey

³Seyhan Okuyan AKCAN (Orcid ID: 0000-0001-6824-8182), Department of Civil Engineering, Bogaziçi University, Istanbul, Turkey

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Can ZÜLFİKAR, e-mail: aczulfikar@gtu.edu.tr

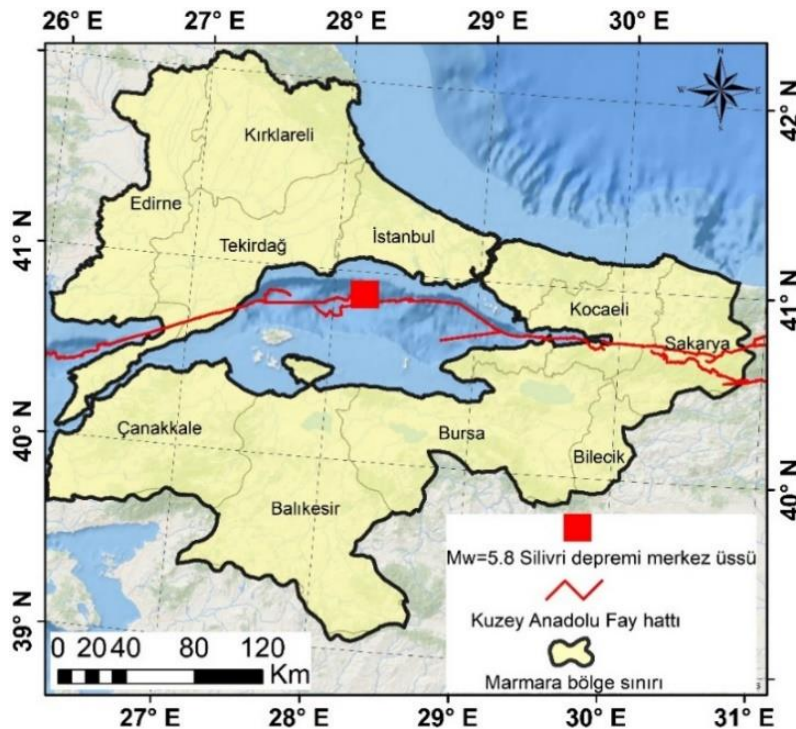
GİRİŞ

Dünya’da jeolojik, iklimik, biyolojik, sosyal ve teknolojik olmak üzere 5 ana başlıkta doğal afetler meydana gelmektedir. Jeolojik afetlerden biri olan depremler, can ve mal kaybına sebep olmaları sebebiyle insan yaşamını olumsuz yönde etkileyen, en büyük hasara yol açan doğa olaylarından biridir. Türkiye, dünyanın en aktif deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer almakta olup, güncel levha hareketlerinde meydana gelen çok sayıda levha içi aktif faylar, transform fay sistemleri gibi aktif fay sistemlerin oluşturduğu depremlere maruz kalmaktadır. 1900 – Şubat 2020 tarihleri arasında merkez üssü Türkiye kara sınırları içerisinde olan 716 adet büyüklüğü 5’den büyük deprem kaydı bulunmakta olup bu depremlerden 91 tanesi Kuzey Anadolu Fay zonunda meydana gelmiştir (Anonim1, 2020).

Mw 5.8 Silivri açıkları (Marmara Denizi) depremi (Şekil 1) 26 Eylül 2019 günü Türkiye yerel saati 13.59’da 6.99 km derinlikte meydana gelmiştir (AFAD, 2019). Tekirdağ ve İstanbul başta olmak üzere Yalova, Kocaeli, Bursa, Kırklareli illeri depremi hissetmiştir. Deprem sonrası yapılan odak mekanizma çözümleri ve çalışmalar, depremin K79°D doğrultulu, 39 km uzunluğundaki sağ yanal doğrultu atım karakterli KAFZ’nun Kumburgaz segmentinden kaynaklanmış olduğunu göstermektedir (MTA, 2019). Bölgede 24 Eylül 2019 tarihinde de 4.8 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir.

26 Eylül Silivri depremi, 1999 Kocaeli Mw 7.6 ve 1999 Düzce Mw 7.1 depremleri ve artçılarından sonra bölgeyi etkileyen en büyük deprem olması nedeni ile önemlidir.

Bu çalışmada bölgenin sismo-tektonik aktivitesi çalışılarak, depreme ait kuvvetli yer hareketi verileri değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında, depremin merkezine yakın istasyonlardan alınan yer hareketi kayıtları değerlendirilmiş, yer hareketi parametrelerinin uzaklık ile değişimi ve 2014 Yeni Nesil Yer Hareketi Tahmin denklemi (Douglas, 2019) (NGA-Next Generation Attenuation)-Yer Hareketi Tahmin Denklemleri (YHTD) ile uyumu irdelenmiştir. Depremin etki alanındaki yer hareketi parametreleri; (MMI-Modified Mercalli Intensity - Şiddet, PGA-Maksimum Yer İvmesi, Sa 0.2 - 0.2 s Spektral İvme, Sa 1.0 - 1.0 s Spektral İvme) dağılım haritaları elde edilmiştir. Ayrıca öncü ve artçı depremler değerlendirilerek orta ölçekli Marmara Denizi depremlerinin karakteristiği ortaya konmuştur.

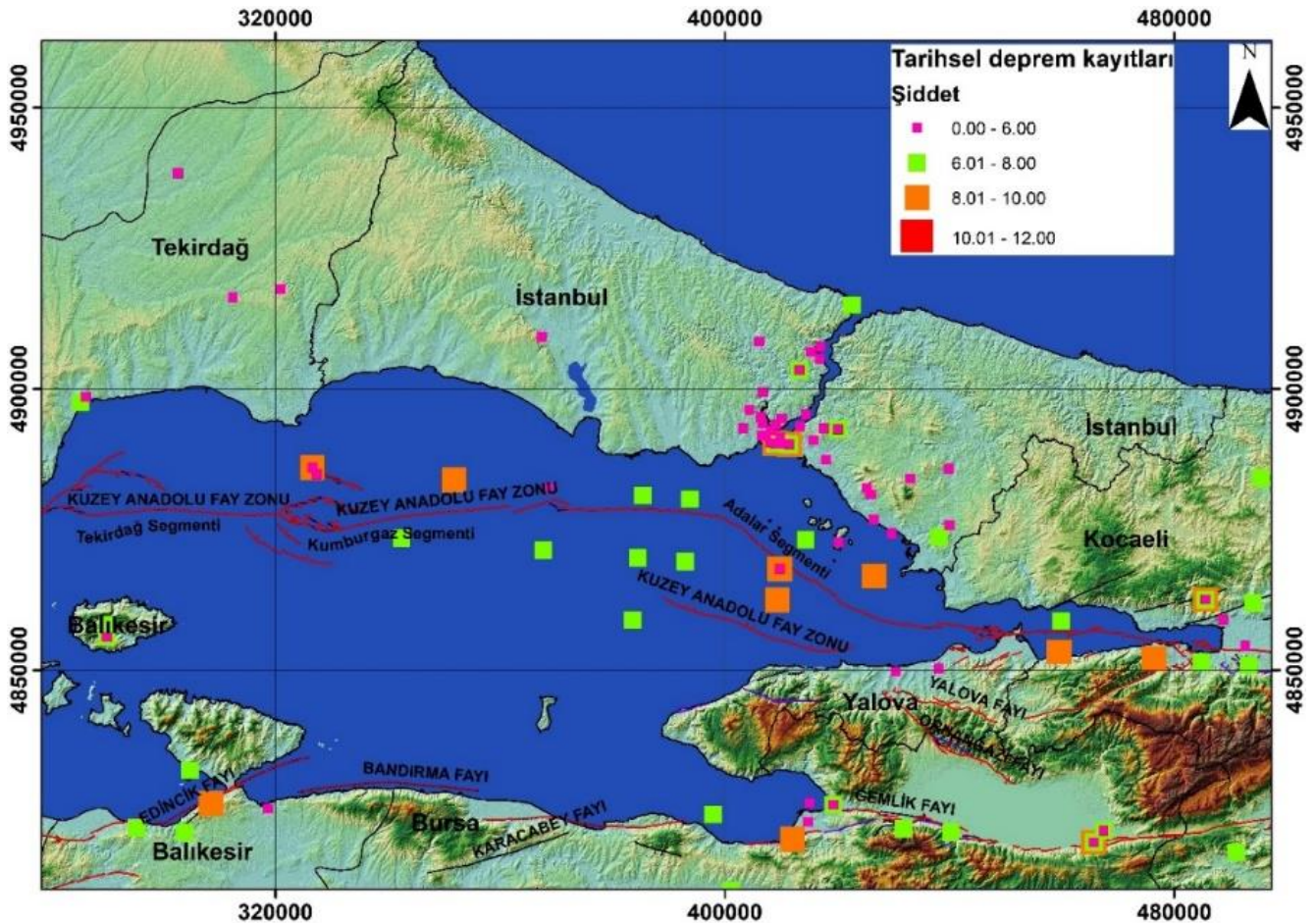


Şekil 1. Deprem merkez üssü ve civarına ait diri fay haritası (Emre ve ark., 2013).

MATERYAL VE YÖNTEM

Sismotektonik Değerlendirme

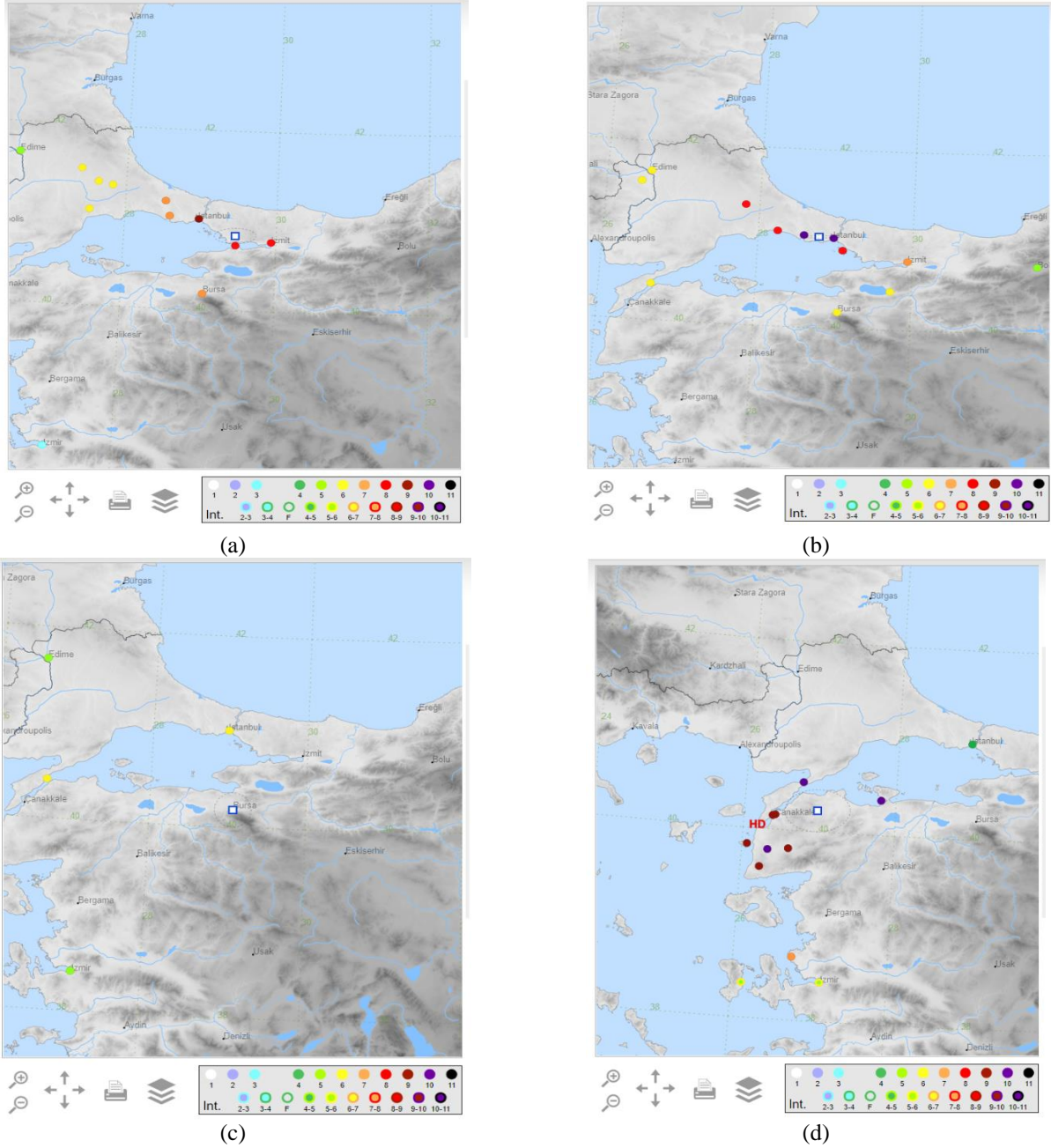
Kuzey Anadolu fay hattı Türkiye Diri fay haritasına göre toplam 1500 km uzunluğunda olup 38 segmentten oluşmaktadır (Emre ve ark., 2013). Kumburgaz segmenti fayın batı kesimini oluşturmakta ve K79°D doğrultulu, yaklaşık 40 km uzunluğunda, sağ yanal doğrultu fay karakterindedir (Emre ve ark., 2013). Kuzey Anadolu Fay hattının Marmara denizinden geçen kısımları, özellikle ülkemizin en kalabalık yerleşimine sahip olan İstanbul şehri başta olmak üzere Marmara bölgesinde bulunan tüm iller için risk oluşturmaktadır. Bu alanda meydana gelen tarihsel ve aletsel deprem kayıtları incelendiğinde geçmişte yıkıcı etkiye sahip çok sayıda deprem meydana geldiği görülmektedir. Tarihsel deprem kayıtlarına göre depremin meydana geldiği bölge ve civarında 650 adet deprem kaydı (Şekil 2) bulunmaktadır (Başarır Baştürk ve ark., 2016). Bu kayıtlardan, Gelibolu-Koruköy (MÖ 287), Kocaeli-İstanbul (MÖ 554), İstanbul (MS 557), Marmara Denizi (MS 1343), Biga (MS 1737), Midilli adası (MS 1845), Bursa (MS 1855) ve İzmit-İstanbul, Prens adaları (MS 1894) depremleri MMI-X şiddetinde meydana gelmiştir (Başarır Baştürk ve ark., 2016).



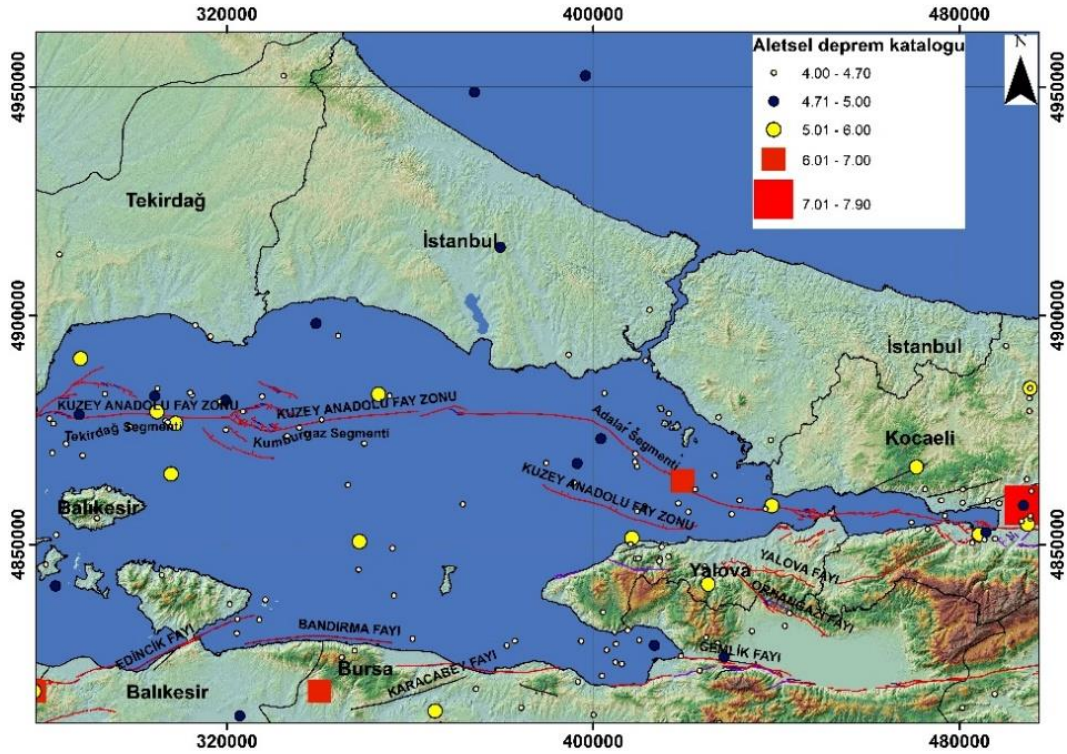
Şekil 2. Tarihsel deprem kayıtları (Başarır Baştürk ve ark., 2016).

Tarihi depremler Dünya ve Avrupa kapsamındaki birçok projede detaylı şekilde incelenmiştir. SHARE (Seismic Hazard Harmonization in Europe) projesi (Stucchi ve ark., 2012, Giardini ve ark., 2013) kapsamında hazırlanan Avrupa Tarihi Deprem Arşiv verisinde (AHEAD, 2020) (Anonim2, 2020) yer alan depremlerden Şekil 3'de görülen renk skalasına göre ayrılmış yuvarlak semboller maruz kalınan şiddete göre hasar oluşmuş yerleri göstermektedir.

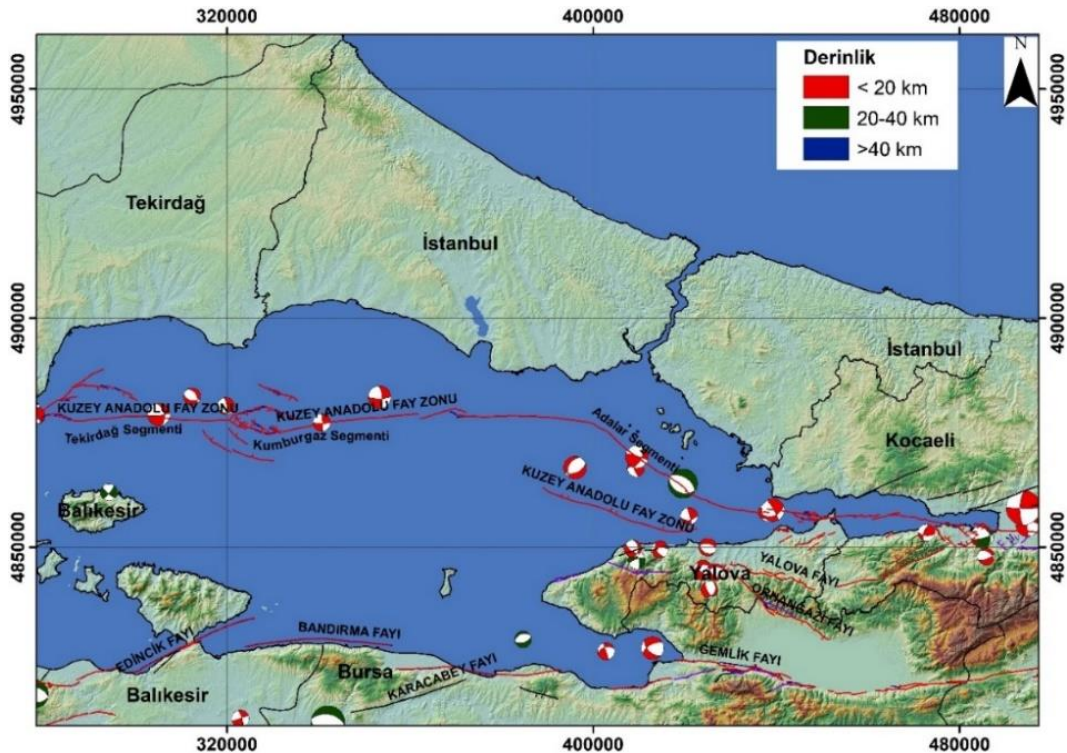
Aletsel deprem kayıtlarına göre ise (Şekil 4); büyüklüğü $M \geq 4.0$ olan 1082 deprem meydana gelmiş olup bu depremlerin 6'sı $M \geq 7.0$, 14 tanesi $M 6.0$ - $M 7.0$ büyüklükleri arasında olmuştur (Kadirioğlu ve ark., 2016). Özellikle Marmara denizinde gelişen depremlerin 20 km'den daha sığ derinlikte meydana geldiği Şekil 5'de görülmektedir (Duman ve ark., 2017). Aletsel ve tarihsel deprem kayıtlarına göre bölgenin aktif tektonik açısından değerlendirildiğinde yoğun depremlerin gözlemlendiği bir bölge olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 3. 22 Mayıs 1799 tarihinde İstanbul'da meydana gelmiş tarihi deprem, Mercalli şiddet ölçeğine (MMI) göre en yüksek şiddet değeri IX olarak tespit edilmiştir (a). 10 Eylül 1509 tarihinde meydana gelmiş tarihi deprem. Mercalli şiddet ölçeğine (MMI) göre en yüksek şiddet değeri X olarak tespit edilmiştir (b). 28 Şubat 1855 tarihinde Bursa'da meydana gelen tarihi deprem Mercalli şiddet ölçeğine (MMI) göre en yüksek şiddet değeri X olarak tespit edilmiştir (c). 6 Mart 1737 tarihinde Ezine'de meydana gelmiş tarihi deprem Avrupa Macrosismik ölçeğine (EMS) göre en yüksek şiddet değeri X olarak tespit edilmiştir (d) (AHEAD, 2020).



Şekil 4. Aletsel deprem kayıtları (Kadirioğlu ve ark., 2016).



Şekil 5. Aletsel deprem kayıtlarına ait derinlik bilgileri (Duman ve ark., 2017).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları

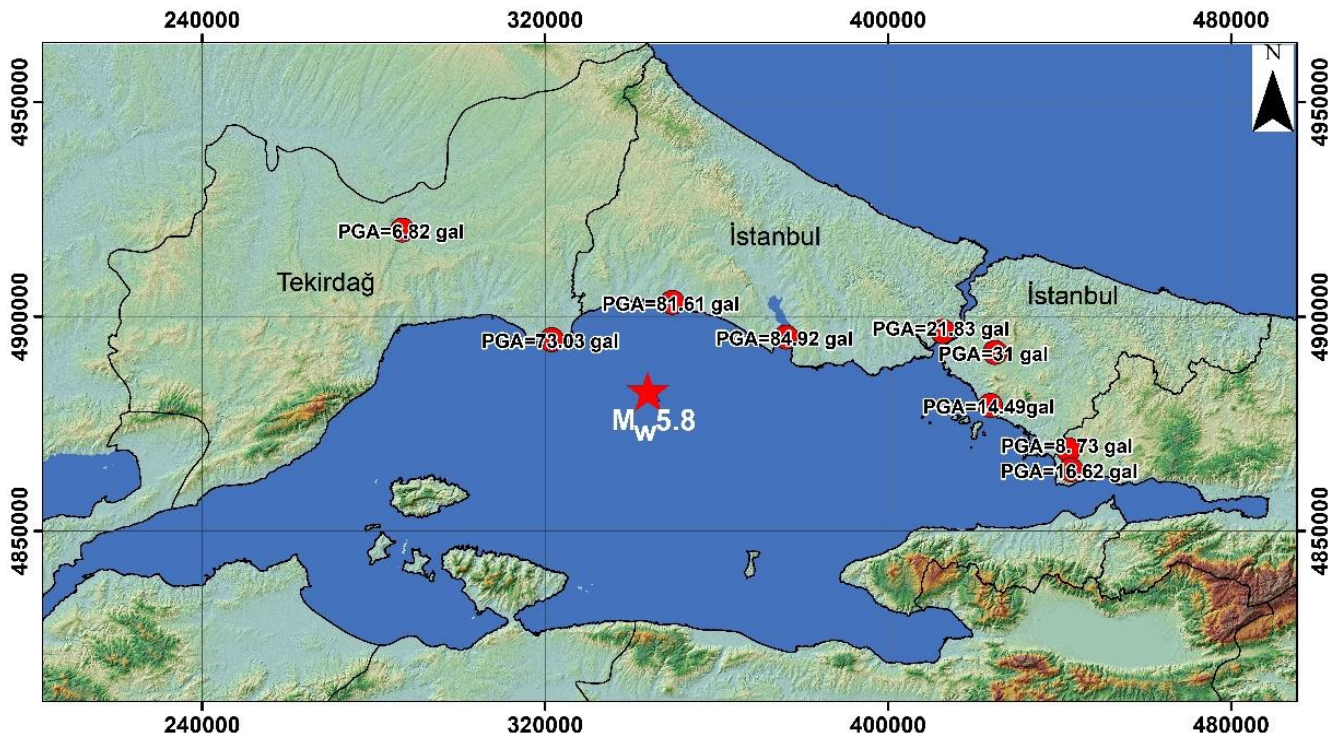
Mw 5.8 büyüklüğündeki deprem, sadece İstanbul'da değil, Marmara bölgesinde geniş bir alanda hissedilmiştir. Deprem yer hareketi kayıtları AFAD tarafından bölgede kurulu olan yer hareketi kayıt istasyonlarında kaydedilmiştir. Çizelge 1'de bölgede mevcut yer hareketi kayıt istasyonları ve yer hareketi kayıtları hakkında bilgi verilmiştir, ayrıca, Şekil 6'da istasyon konumları ve her bir istasyonda

kaydedilen PGA değerleri harita üzerinde verilmiştir. İstasyon kayıtları (Anonim1, 2020)'den alınmıştır. AFAD'dan alınan verilere göre sadece Silivri ve Beşiktaş istasyonlarının $V_{s,30}$ değeri bulunmaktadır. Diğer istasyonlar için $V_{s,30}$ değeri bölge için mevcut yüzey jeoloji bilgisi kullanılarak 360 m s^{-1} (zemin sınıfı ZC) kabulü yapılmıştır. Maksimum yer ivmesi Silivri istasyon kaydından 0.81 m s^{-2} olarak elde edilmiştir.

Çizelge 1. Mw 5.8 Silivri açıkları (Marmara Denizi) depremi Yer Hareketi Kayıt İstasyon Bilgileri (Anonim1, 2020)

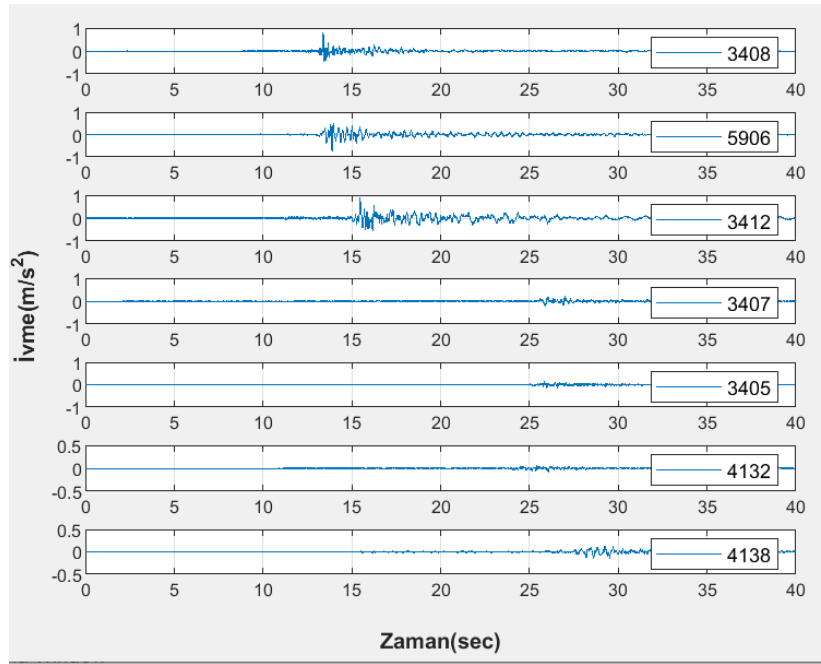
İstasyon ID	İstasyon Adı	Repi (km)	Vs30(m s)	PGA(gal)
3408	Silivri	23	639	81.62(NS)
5906*	MarmaraEreğlisi	25	360	73.04(NS)
3412*	Büyükçekmece	36	360	84.93(EW)
5915*	S.Kumbag	62	360	5.38(NS)
5911*	Murathı	68	360	6.82(NS)
3407	Besiktas	72	595	21.84(EW)
3405*	Kartal	81	360	14.5(NS)
3406*	Umraniye	83	360	31.39(NS)
5914*	Murefte	83	360	3.28(EW)
5912*	Hayrabolu	98	360	14.99(EW)
4132*	Çayırova_2	98	360	8.73(NS)
4138*	Darıca	100	360	16.63(EW)

* $V_{s,30}$ değeri 360 m s^{-1} (zemin sınıfı ZC) kabulü yapılmıştır.

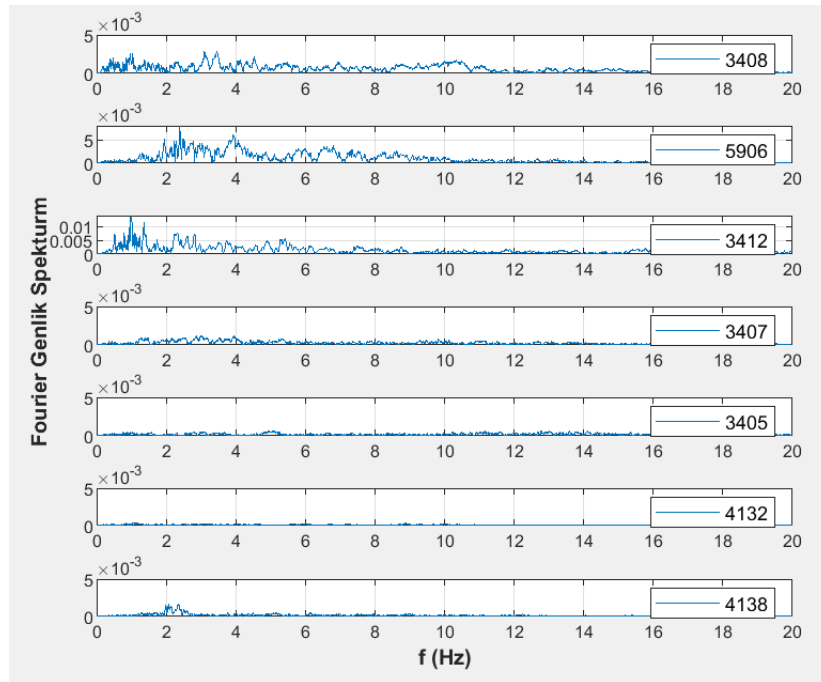


Şekil 6. Silivri Depreminin AFAD İstasyon Kayıtlarının PGA Değerleri.

Depreme ait sırasıyla 3408, 5906, 3412, 3407, 3405, 4132, 4138 numaralı istasyonlara ait filtrelenmiş deprem ivme kayıtları zaman tanım alanında Şekil 7'de, ve frekans tanım alanında Şekil 8'de görülmektedir. Şekil 7 ve Çizelge 1'de görüldüğü üzere ivme değerleri 3408-Silivri, 3412-Büyükçekmece ve 5906-Marmara Ereğlisi istasyonlarında daha yüksek değerler göstermektedir.



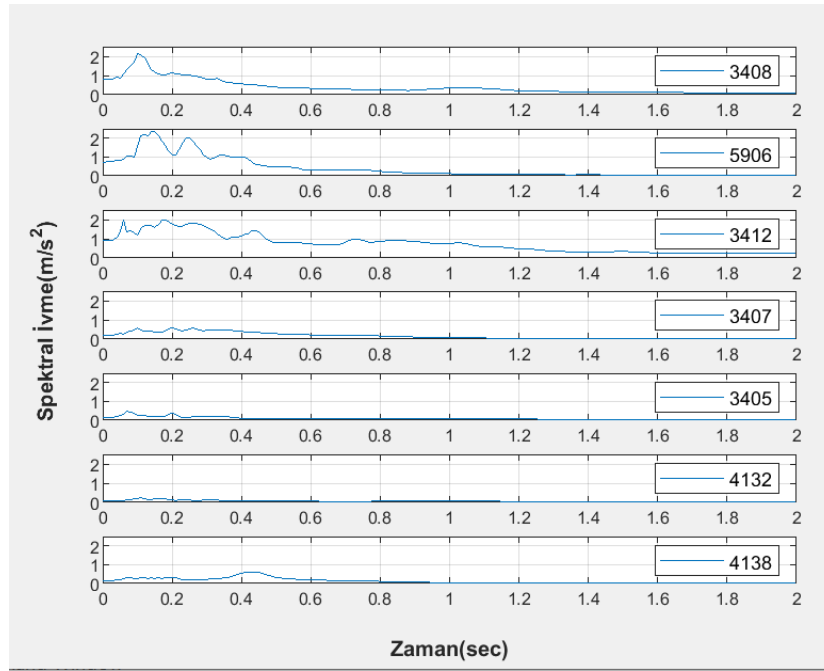
Şekil 7. Filtrelenmiş Yedi Farklı İstasyona Ait İvme Kayıtları.



Şekil 8. Seçilen Kayıtların Fourier Genlik Spektrumu.

3408, 5906, 3412, 3407, 3405, 4132, 4138 istasyonlarına ait ivme spektrum eğrileri Şekil 9'da gösterilmiştir. Depremin merkezine yakın 3408-Silivri, 3412-Büyükçekmece ve 5906-Marmara Ereğlisi istasyon kayıtlarına ait spektrumlar benzerlik göstermektedir.

Çalışma kapsamında 2014 yer hareketi tahmin denklemleri (2014-YHTD) (Douglas, 2019) kullanılarak kaydedilen yer hareketi parametreleri ile karşılaştırmalar yapılmıştır. YHTD'de, bölgesel yüzey jeoloji haritalarından elde edilen bölgedeki zemin yapısı ile ilişkilendirilmiş üst 30 m'deki ortalama kayma dalgası hızı ($V_{s,30}$), faya olan uzaklık, fay tipi ve derinlik gibi deprem bilgileri ve istasyon bilgileri parametreleri kullanılmıştır.



Şekil 9. Beş Farklı İstasyona ait Spektrum Eğrileri.

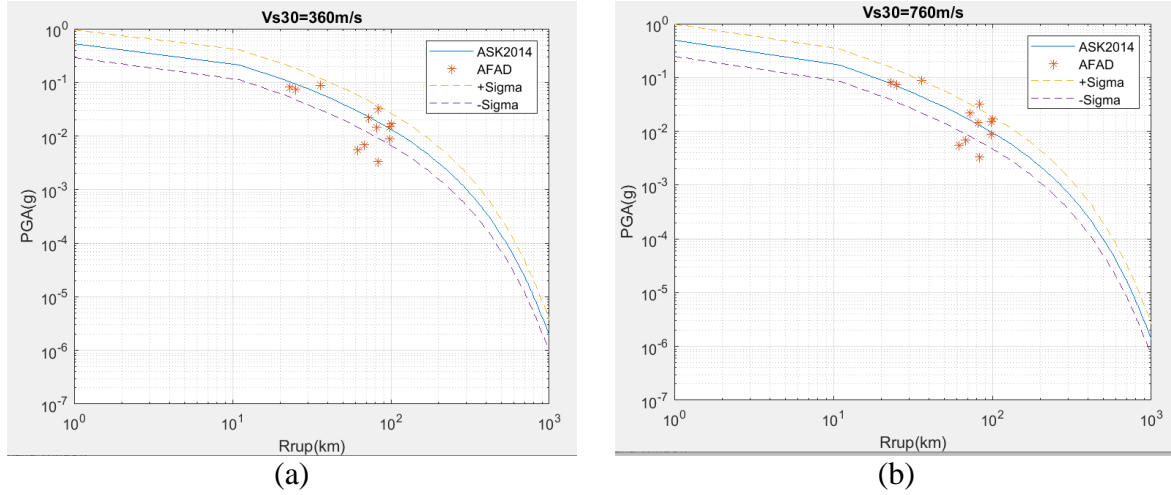
PEER (Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi) tarafından geliştirilen NGA modelleri olarak bilinen YHDT'leri, 2014 yılında Türkiye de dahil olmak üzere bölgesel faktörler ile güncellenmiştir (Bozorgnia ve ark., 2014). Bu çalışmada, AFAD tarafından işletilen Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Gözlem Ağı kayıtlarından elde edilen 26 Eylül 2019 Mw 5.8 Silivri depremi kayıtlarının yer hareketi parametreleri (en yüksek yer ivmesi, spektral ivme) yakın zamanda güncellenen 2014 NGA ilişkileri ile uyumluluğu değerlendirilmiştir. (Abrahamson ve ark., 2014) (ASK14), (Boore ve ark., 2014) (BSSA14) ve (Chiou ve Youngs, 2014) (CY14) YHTD'leri, deprem merkez üssünden 100 km'ye kadar uzaklıkta olan istasyonlardan elde edilen yer hareketi verilerinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12'de Mw 5.8 Silivri depremi için istasyon bilgileri ve NGA (Bozorgnia ve ark., 2014). -2014 YHTD'leri (Douglas, 2019) sırası ile (Abrahamson ve ark., 2014). (ASK14), (Boore ve ark., 2014) (BSSA14) ve (Chiou ve Youngs, 2014) (CY14) kullanılarak elde edilen PGA- R_{rup} (fay kırığına en yakın mesafe) ilişkisi grafikleri $V_{s,30}=360 \text{ m s}^{-1}$ ve $V_{s,30}=760 \text{ m s}^{-1}$ değerleri için çizilmiştir. R_{rup} değerleri istasyona ait R_{epi} (deprem merkezine olan uzaklık) değerlerine eşit olarak alınmıştır. YHTD'den elde edilen PGA- R_{rup} ilişkisi (\pm) standart sapma değerleriyle birlikte hesaplanmıştır. Elde edilen PGA değer aralığı yatay bileşen olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan PGA değerleri, istasyon kayıtlarından elde edilen iki yatay bileşenin en büyük değeri (PGA), istasyonun fay kırığına olan en yakın mesafesi ile birlikte kıyaslanmıştır.

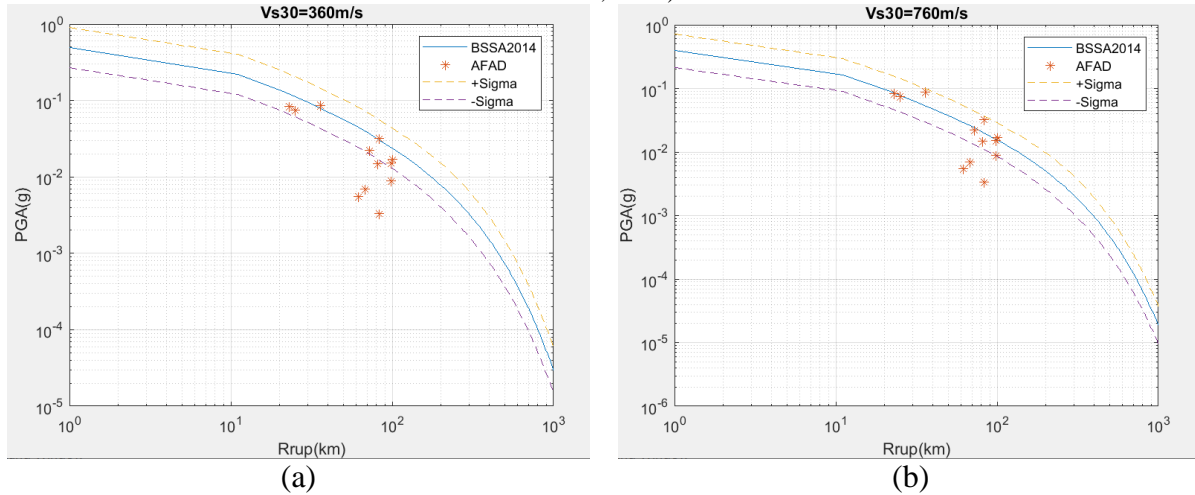
100 km içindeki AFAD istasyonlarından alınan kayıtlara ait maksimum yer ivmesi değerleri (Chiou ve Youngs, 2014) ile hesaplanan PGA- R_{rup} bölgesi içinde yer almaktadır. PGA- R_{rup} analizi sonucunda CY14 (Chiou ve Youngs, 2014) sonuçlarının Mw5.8 Silivri deprem kayıtlarıyla daha uyumlu olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada istasyonlardan alınan ham kayıtlar 0.10 Hz -25.0 Hz aralığında band-geçişli (bandpass) filtreleme uygulanarak kullanılmıştır. En yakın istasyonlar olan Silivri (3408), Marmara Ereğlisi (5906) ve Büyükçekmece (3412) istasyon kayıtlarına ait spektral ivmeler hesaplanmış olup depreme ait bilgiler ASK14 (Abrahamson ve ark., 2014), BSSA14 (Boore ve ark., 2014) ve CY14 (Chiou ve Youngs, 2014) yer hareketi tahmin denklemlerinde kullanılarak elde edilen spektrum eğrileri, istasyon kayıtlarından elde edilen spektrum eğrileriyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar Şekil 13'de

sırasıyla Silivri (3408), Marmara Ereğlisi (5906) ve Büyükçekmece (3412) istasyonları için gösterilmiştir. Şekil 13'de görüldüğü gibi, Silivri (3408) ve Büyükçekmece (3412) istasyonlarına ait YHDT (ASK14, BSSA14, CY14)'den elde edilen spektrum eğrilerinin bu istasyonların ivme verisinin davranış spektrumu ile uyumlu olduğu görülmektedir. 5906 Marmara Ereğlisi İstasyonu için YHDT'den elde edilen spektrum eğrisinin istasyon kaydından elde edilen spektrum eğrisiyle 0.5 saniyelik periyota kadar uyumlu olduğu görülmüştür. Ayrıca, Büyükçekmece istasyonundan elde edilen kayda ait spektrum eğrisinin CY14 (Chiou ve Youngs, 2014) ile daha uyumlu olduğu, ASK14 (Abrahamson ve ark., 2014) ve BSSA14 (Boore ve ark., 2014) yer hareketi tahmin denklemlerinden elde edilen eğrinin daha aşağıda kaldığı görülmüştür.

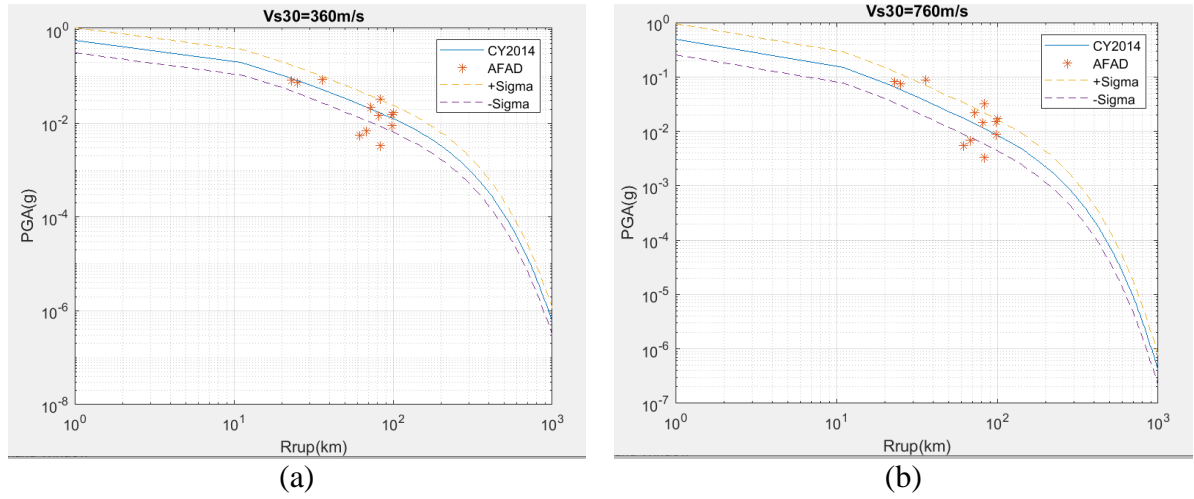


Şekil 10. 2019 Mw 5.8 Silivri Depremi $V_{s,30}=360 \text{ m s}^{-1}$ (a) ile $V_{s,30}=760 \text{ m s}^{-1}$ (b) PGA- R_{rup} Analizi (ASK14) (Abrahamson ve ark., 2014).

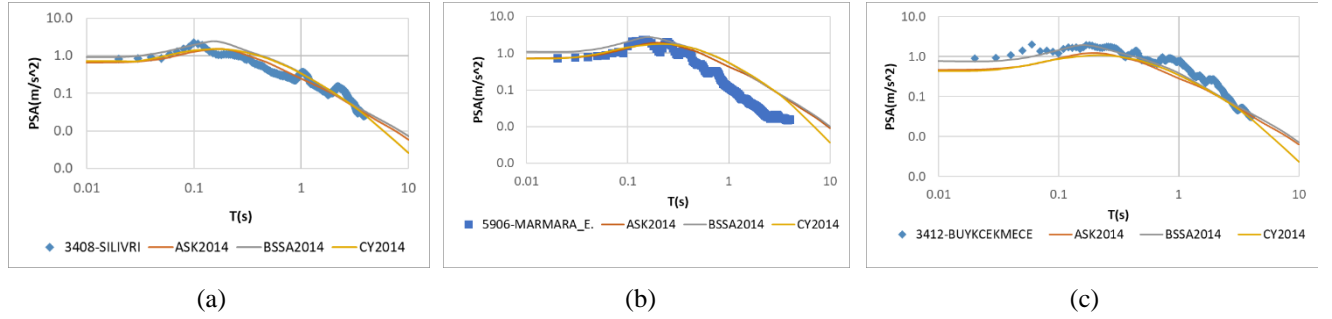


Şekil 11. 2019 Mw 5.8 Silivri Depremi $V_{s,30}=360 \text{ m s}^{-1}$ (a) ile $V_{s,30}=760 \text{ m s}^{-1}$ (b) PGA- R_{rup} Analizi (BSSA14) (Boore ve ark., 2014).

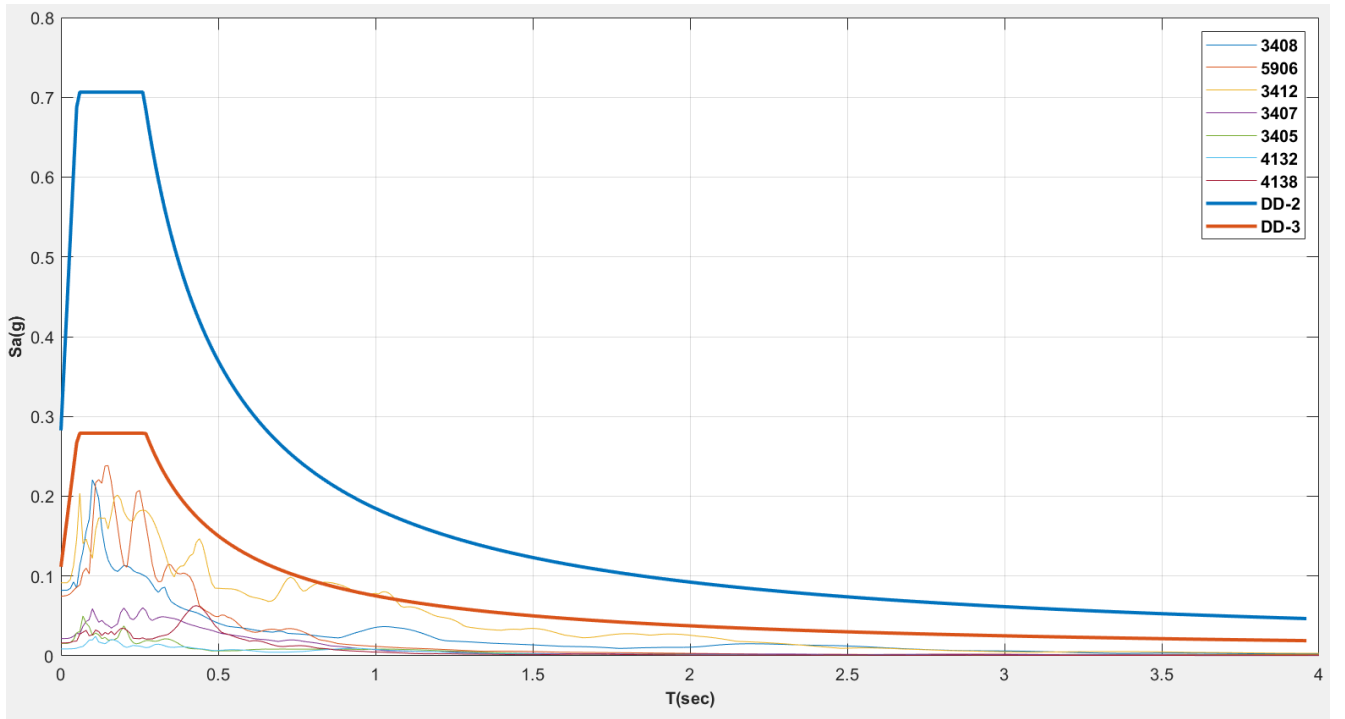
AFAD istasyonlarından alınan yer hareketi kayıtları davranış spektrumlarının, Silivri (3408) istasyonu konumu için DD-2 ve DD-3 seviyeleri (TBDY, 2018) tasarım deprem spektrumlarıyla karşılaştırmaları Şekil 14'de gösterilmiştir. İstasyonlardan alınan deprem kayıtlarından elde edilen davranış spektrumu eğrilerinin, her iki deprem seviyesi için de tüm periyotlarda (TBDY, 2018) tasarım spektrumu eğrilerinin altında kaldığı görülmüştür.



Şekil 12. 2019 Mw 5.8 Silivri Depremi $V_{s,30}=360 \text{ m s}^{-1}$ (a) ile $V_{s,30}=760 \text{ m s}^{-1}$ (b) PGA- R_{rup} Analizi (CY14) (Chiou ve Youngs, 2014).



Şekil 13. ASK14 (Abrahamson ve ark., 2014), BSSA14 (Boore ve ark., 2014), CY (Chiou ve Youngs, 2014) ile Silivri Depremi AFAD İstasyonu PS_a Analizi.




Şekil 14. DD2- ve DD-3 Deprem Seviyelerine Ait Tasarım Spektrumları ve Kayıtlardan Elde Edilen Davranış Spektrumlarının Karşılaştırılması.

Deprem Yer Hareketi Parametreleri Dağılımı Analizi

Çalışma kapsamında; depremin büyüklüğü, merkez üssü konumu, kaynaktan uzaklık ve kaynak mekanizma çözümüne ait veriler AFAD, (2019)'dan alınmıştır. Zemin koşulları ve CY14 (Chiou ve Youngs, 2014)'deki yer hareketi tahmin denklemi kullanılarak yer hareketi parametreleri sırası ile Şiddet, En büyük ivme, Spektral ivme 0.2 s, Spektral ivme 1.0 s (MMI, PGA, Sa 0.2 s, Sa 1.0 s) dağılım haritaları elde edilmiştir. Çizelge 2'de analizde kullanılan fay mekanizma parametreleri (strike, dip, rake) değerleri AFAD, (2019)'dan alınmıştır.

Çizelge 2. 2019 Mw 5.8 Silivri Depremi Moment tensör çözümü (AFAD, 2019).

	Strike-1	Dip-1	Rake-1	Strike-2	Dip-2	Rake-2
	38	64	66	263	35	129

Kuvvetli yer hareketi kayıtlarının incelenmesinde, YHDT'den ASK14 (Abrahamson ve ark., 2014), BSSA14 (Boore ve ark., 2014), CY14 (Chiou ve Youngs, 2014), bağıntıları çalışılmış, yapılan değerlendirmeler sonucunda CY14 (Chiou ve Youngs, 2014)'ün Mw 5.8 Silivri depremi yer hareketi kayıtları ile uyumlu olduğu görülmüştür. Deprem yer hareketi parametreleri dağılım analizinde de CY14 (Chiou ve Youngs, 2014) kullanılmıştır. Analizde nokta kaynak kabulü yapılmıştır. Kullanılan nokta kaynağın merkezi dışmerkez (hypocenter) olarak konumlandırılmıştır. Analizde ayrıca mühendislik ana kayası ($V_{s,30}=760$ m/s) referans zemin koşulları kullanılmıştır.

CY14 (Chiou ve Youngs, 2014) modeli aktif tektonik bölgelerinde meydana gelen sığ kabuk depremleri (shallow crustal earthquakes) tarafından oluşan yatay yer hareketi büyüklerini tahmin etmede kullanılan (Chiou ve Youngs, 2008) (CY08) modelinden güncellenmiştir. CY14 (Chiou ve Youngs, 2014) modelinde medyan yer hareketi değerleri Mw >7.0 için eski modeller ile benzerlik gösterirken Mw <5.0 magnitüd için daha küçük sonuçlar vermektedir. CY2014 modelinde fay etkileri, hanging wall fonksiyonu, yarılmaların üst derinlik skalası (Z_{TOR}), sediment kalınlık skalası ($Z_{1.0}$), fay dip ve yarıma yönleri gibi faya etki edecek ek bilgiler bakımından C08 (Chiou ve Youngs, 2008)'den farklı küçük düzeltmeler içermektedir. Çizelge 3'de yer hareketi parametreleri dağılım analizi sonucunda elde edilen PGA değerleri istasyonlarda ölçülen değerlerle karşılaştırılmış, değerlerin birbiriyle uyduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 3. Yer hareketi tahmin denklemlerinden elde edilen PGA değerleri ile istasyonlarda ölçülen PGA değerlerinin karşılaştırılması.

İstasyon ID	İstasyon	Boylam	Enlem	İstasyonlarda Ölçülen PGA (g) Değerleri	Analiz Sonucunda Çıkan PGA(g) Değerleri
5912	Hayrabolu	27.1145	41.22243	0.015	0.015
5914	Murefte	27.24526	40.66825	0.032	0.018
5915	S.Kumbag	27.45922	40.87996	0.022	0.027
5911	Muratlı	27.49156	41.17413	0.083	0.025
5906	MarmaraEreğlisi	27.9316	40.97338	0.087	0.075
3408	Silivri	28.25569	41.07339	0.009	0.091
3412	Büyükçekmece	28.57821	41.02058	0.017	0.053
3407	Besiktas	29.00951	41.0582	0.074	0.023
3405	Kartal	29.15668	40.91111	0.007	0.019
3406	Umraniye	29.1588	41.02262	0.015	0.019
4132	Çayırova_2	29.3813	40.83046	0.003	0.014
4138	Darıca	29.39196	40.78877	0.005	0.013

Wald ve ark., (1999a,b) çalışmalarında PGA ve PGV yer hareketi parametreleri ile Değiştirilmiş Mercalli Şiddeti ($MMI-I_{mm}$) arasındaki dönüşüm bağıntıları, şiddet dağılımı tahmininde kullanılmıştır. Bu bağıntılar büyüklükleri 5.8 ile 7.3 arasında değişen önemli 8 farklı Kaliforniya depremleri verileri kullanılarak geliştirilmiştir (Wald ve ark., 1999a, b). Bu bağıntılar aşağıdaki gibidir,

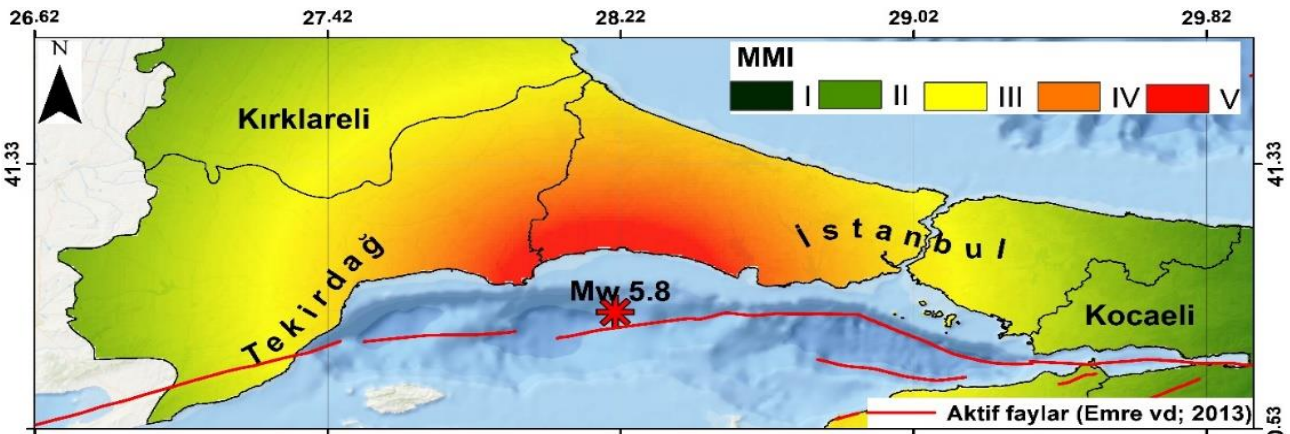
Şiddet tahmini için PGA ile ilişkilendirilen, $V < I_{mm} < VIII$ aralığı için,

$$I_{mm} = 3.66 \log(PGA) - 1.66 \quad (\sigma = 1.08) \quad (1)$$

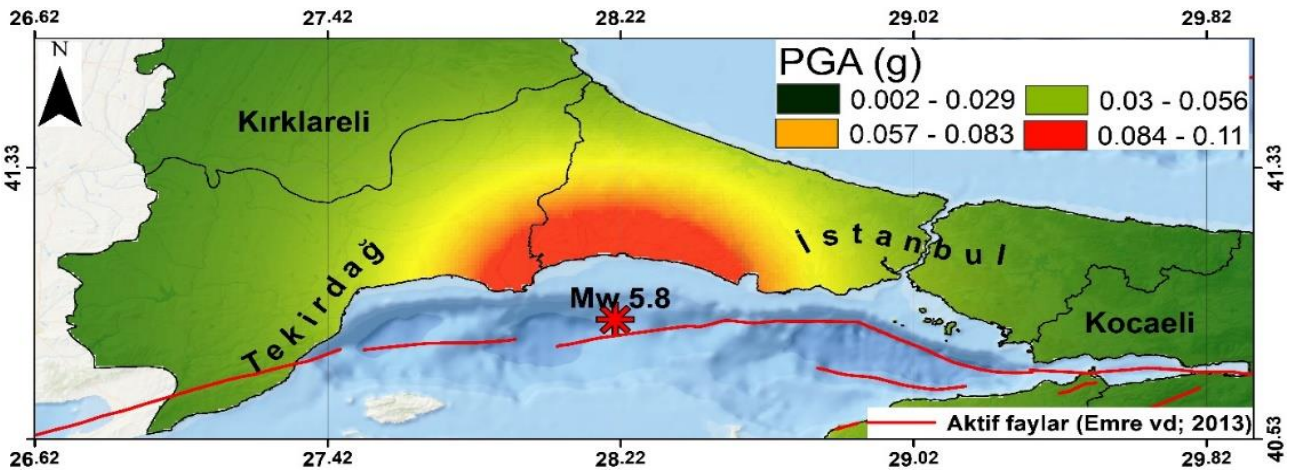
Şiddet tahmini için PGV ile ilişkilendirilen, $V < I_{mm} < IX$ aralığı için,

$$I_{mm} = 3.47 \log(PGV) + 2.35 \quad (\sigma = 1.08) \quad (2)$$

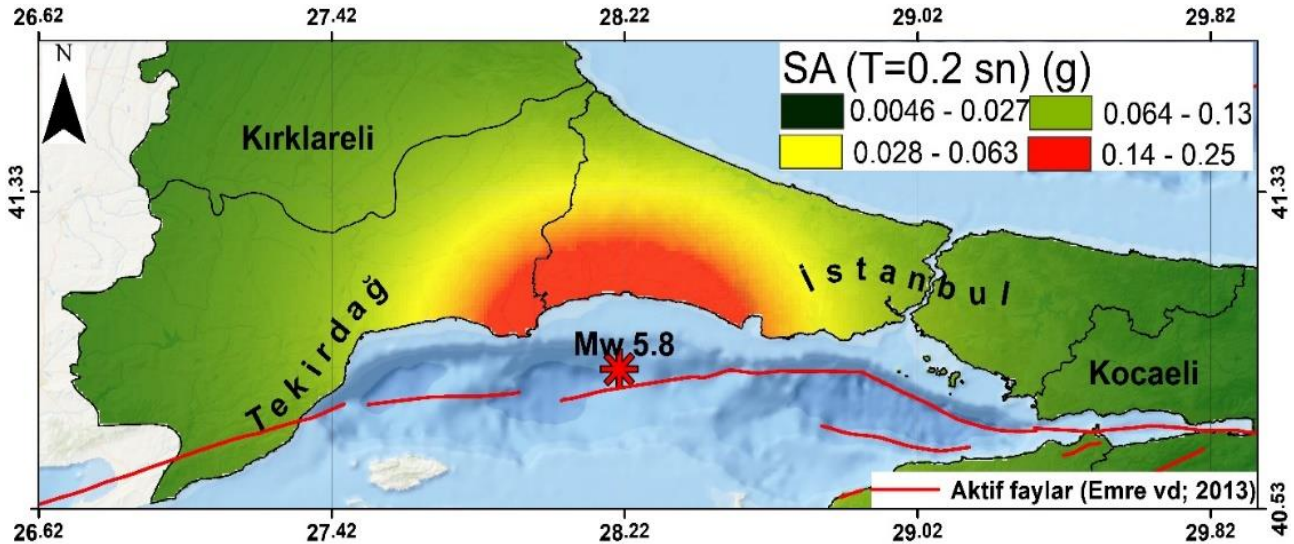
Yer hareketi parametreleri (MMI, PGA, $Sa_{0.2}$, $Sa_{1.0}$) dağılım analizi sonuç haritaları sırası ile Şekil 15 ile Şekil 18 arasında verilmiştir. Şekil 15’de şiddet dağılımı (MMI), Şekil 16’da PGA, Şekil 17’de Sa ($T=0.2$ s), Şekil 18’de Sa ($T=1.0$ s) dağılımları gösterilmiştir. Sonuç haritalarına göre yer hareketi parametrelerinin en yüksek değerleri merkez üssüne en yakın olan Silivri ve çevresinde görülmüş olup, merkez üssünden uzaklaştıkça azalmıştır.



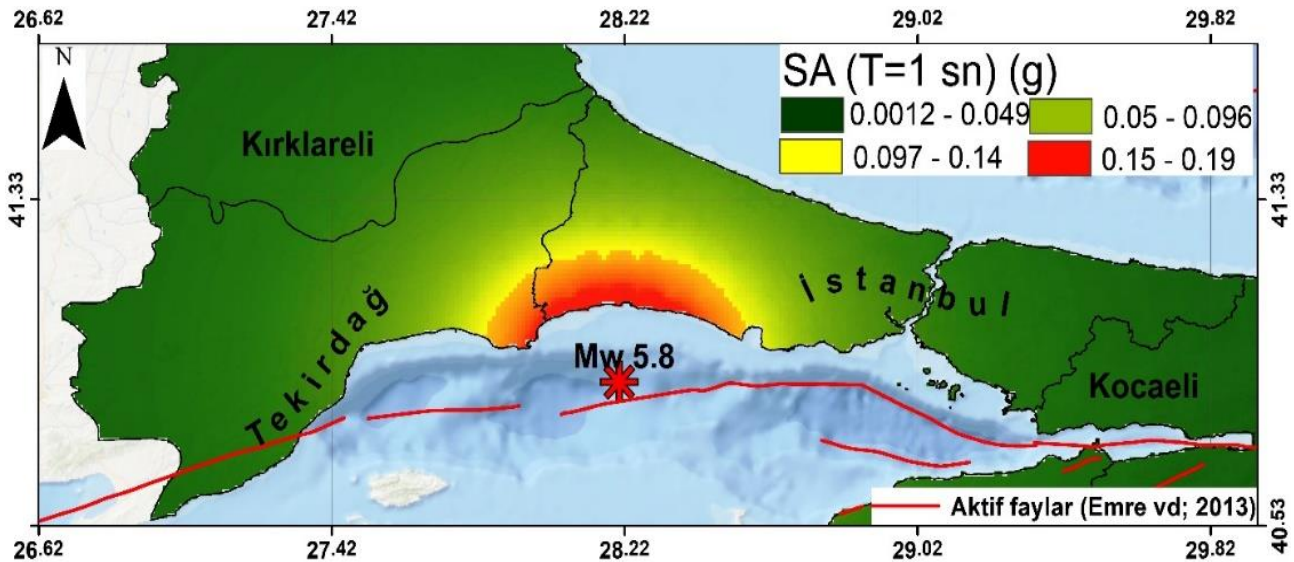
Şekil 15. Mw 5.8 Silivri depreminin CY14 (Chiou ve Youngs, 2014)'e göre hazırlanan MMI şiddet dağılım haritası.



Şekil 16. Mw 5.8 Silivri depreminin CY14 (Chiou ve Youngs, 2014)'e göre hazırlanan en büyük ivme dağılım (PGA) haritası.



Şekil 17. Mw 5.8 Silivri depreminin CY (Chiou ve Youngs, 2014)'e göre hazırlanan Sa(T=0.2 s) Spektral ivme dağılım haritası.



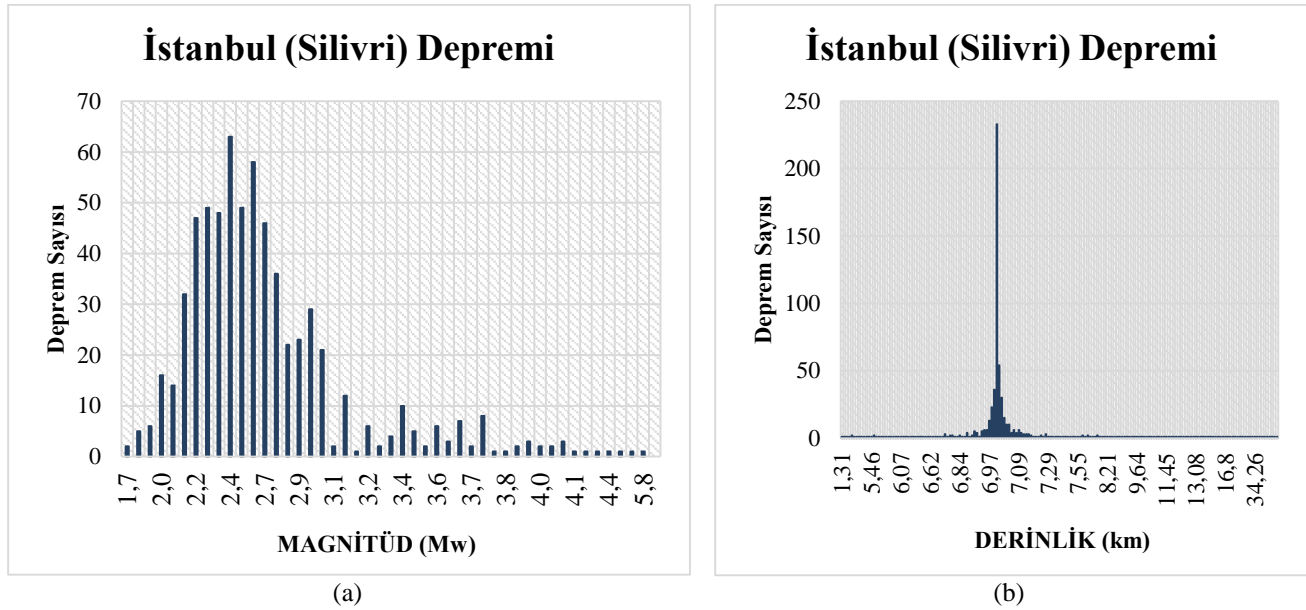
Şekil 18. Mw 5.8 Silivri depreminin CY (Chiou ve Youngs, 2014)'e göre hazırlanan Sa(T=1.0 s) Spektral ivme dağılım haritası.

Öncü ve Artçı Depremler ile Deprem Enerjisinin Değerlendirilmesi

Marmara denizinde 22 - 29 Eylül 2019 tarihlerinde 657 deprem meydana gelmiştir (Anonim 1, 2020). Meydana gelen bu depremlerin büyüklükleri M 1.7 ile M 5.8 arasında değişmektedir. $M \geq 4.0$ olan deprem sayısı ise 6 adettir. Depremlerin derinlikleri de incelendiğinde çoğunluğunun derinlikleri 7.0 km civarındadır. Bunları içindeki M5.8 büyüklüğündeki Silivri (İstanbul) depreminin de derinliği bu değerdedir. Şekil 19 (a)'da söz konusu tarihler arasında meydana gelen deprem sayısı ve büyüklük (Magnitüd) bilgisi ve (b)'de ise deprem sayısı – derinlik bilgisi verilmiştir. AFAD'dan alınan bu depremler incelendiğinde depremlerin magnitüd değerlerinin Mw ve ML cinsinden olduğu görülmüştür. Burada Mw magnitüdü aynı alınırken ML magnitüdü ise;

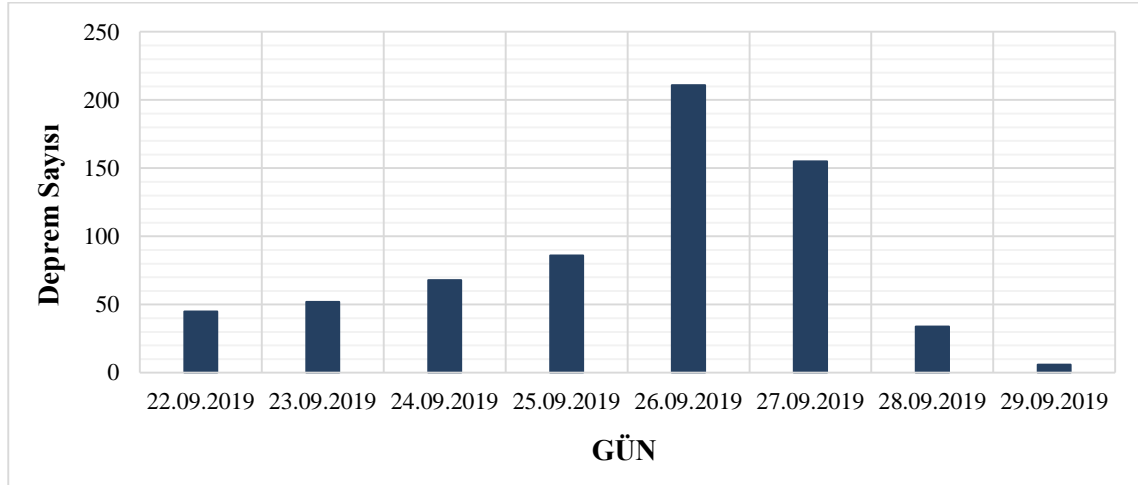
$$M_w = 0.8095(\pm 0.031)M_L + 1.3003 \quad (3.3 \leq M_L \leq 6.6) \quad (3)$$

Eşitlik-3 denklemi kullanılarak dönüşüm yapılmıştır (Kadiroğlu ve Kartal, 2016).



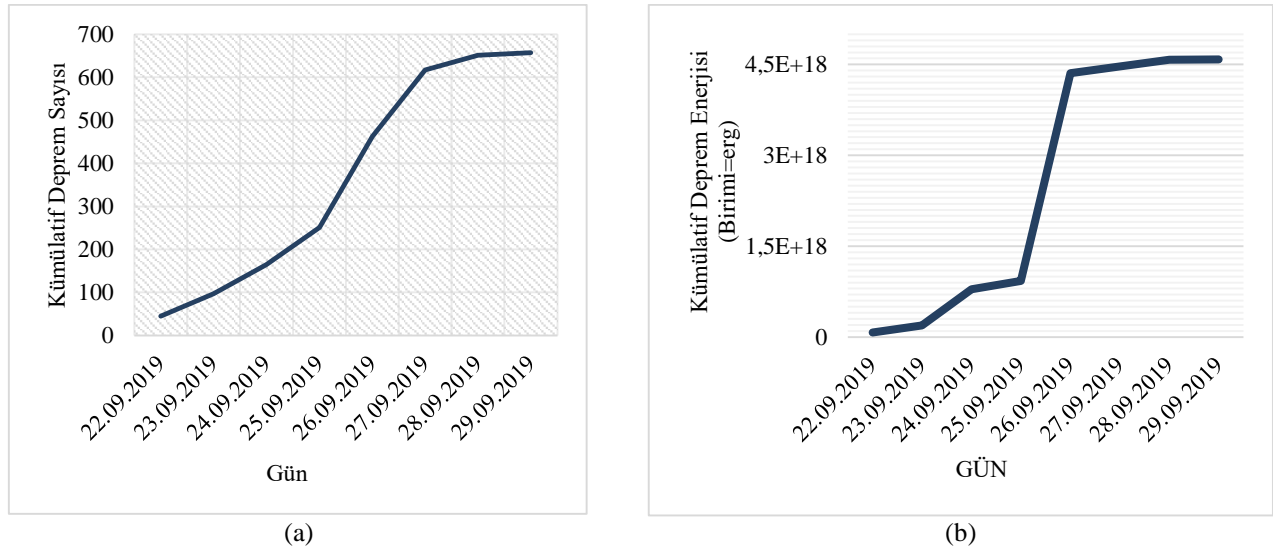
Şekil 19. Deprem Sayısı-Magnitüd (a) ve Deprem Sayısı-Derinlik (b), grafikleri.

Şekil 20’de incelenen 8 günlük periyot içerisindeki deprem sayısı dağılımı verilmiştir. İlk 4 günde ortalama aynı deprem sayısı meydana gelmiş, Mw 5.8’lik Silivri depremini de içinde bulunduran sonraki iki günde ise ciddi bir artış olmuştur ve sonrasında deprem sayısı giderek azalmıştır. Ayrıca gerçekleşen bu depremlerden 251 adeti 22 - 25/09/2019 tarihleri arasında ana depremden önce gerçekleşmişken 195 adeti ise 27 - 29/09/2019 tarihleri arasında ana depremden sonra gerçekleşmiştir. 26.09.2019 günü ana şokun olduğu tarihte ise 211 adet irili ufaklı depremler meydana gelmiştir (Anonim1, 2020).



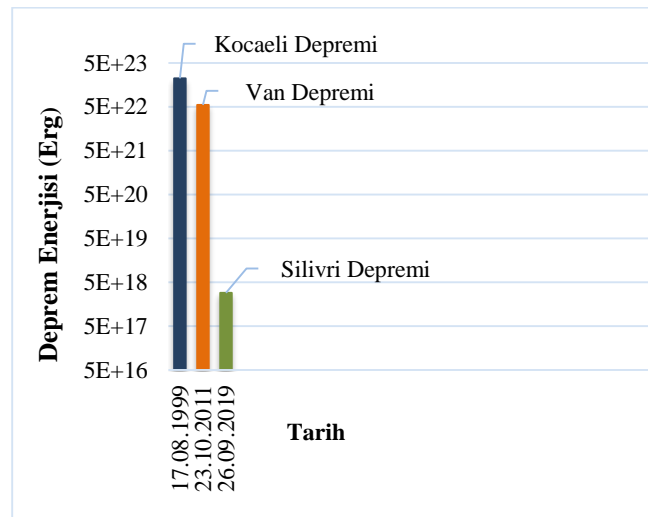
Şekil 20. Deprem Sayısı – Gün Grafiği.

Silivri açıkları (Marmara Denizi) depreminin bir haftalık depremselliğine bakıldığında, Şekil 21a,b’de görüldüğü gibi ana şoktan sonraki zaman içerisinde kümülatif olarak deprem sayısının ve deprem enerjisinin büyük kısmının ilk zamanlarda boşaldığı görülmektedir. Burada deprem enerjisinin tespiti için genellikle tercih edilen (Gutenberg ve Richter, 1956) eşitliği olan $\log E = 11.8 + 1.5M_s$ formülü kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Burada E, enerji birimi erg ($1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ joule}$) ve M_s ise yüzey magnitüdüdür (Kramer, 1996). Alınan verilerdeki tüm magnitüd değerleri yüzey magnitüdü olmadığından önce yüzey magnitüdüne çevrilmiş sonrasında enerji hesabı yapılmıştır.



Şekil 21. Kümülatif Deprem Sayısı-Gün (a) ve Kümülatif Deprem Enerjisi-Gün (b), grafikleri.

Çalışma kapsamında Mw 5.8 Silivri depreminin ülkemizde yakın geçmişte meydana gelen büyük ve ciddi hasar yapıcı depremler olan 2011 Van Mw 7.2 (KRDAE, 2011) ve 1999 Kocaeli Mw 7.6 (Anonim1, 2020) depremlerinde açığa çıkan enerjiler ile karşılaştırılması yapılmıştır (Şekil 22).



Şekil 22. Kocaeli, Van ve Silivri depremlerinin ana şokta ortaya çıkan enerjileri.

2011 Van Depremi Mw 7.2 için 3 aylık deprem verisi incelenmiştir. 23 Ekim-30 Aralık 2011 tarihleri arasında 180 adet deprem meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu depremlerin genel magnitüd aralığı M 4.0-M 5.0 arasındadır. 23 Ekim 2011 günü meydana gelen Mw 7.2 büyüklüğündeki deprem bölgede ciddi yapısal hasara sebep olmuştur. Oluşan bu depremle (5.66×10^{22}) Erg seviyesinde ciddi bir enerji açığa çıkmış sonrasındaki artçı depremlerde ciddi bir değişiklik gözlenmemiştir. Moment enerjisinin büyük kısmı ana şokta boşalmıştır.

1999 Kocaeli Depremi Mw 7.6 için 6 aylık bir veri ele alınmıştır. 01 Haziran - 30 Kasım 1999 tarihleri arasındaki veriler incelenmiştir. Bu tarihler arasında AFAD verilerine göre 324 deprem ölçülmüştür. Bu depremlerin magnitüd aralığı M 2.9 ile M 7.6 arasında değişmektedir ve ortalama olarak oluşan depremlerin magnitüd değeri M 4.7'dir. 17 Ağustos 1999 da meydana gelen M 7.6 büyüklüğündeki depremin açığa çıkardığı enerji (2.2×10^{23}) Erg seviyesinde olup, enerjisinin büyük kısmının ana şok ile boşaldığı görülmektedir.

1999 Kocaeli Mw 7.6 depremi, 2011 Van Mw 7.2 depremi ve 2019 İstanbul (Silivri) Mw 5.8 depreminin meydana getirdiği kümülatif enerji karşılaştırması yapıldığında 7.6 büyüklüğündeki Kocaeli

depreminin enerjisinin 10^{23} Erg, 7.2 büyüklüğündeki Van depreminin enerjisinin 10^{22} Erg, 5.8 büyüklüğündeki Silivri depreminin enerjisinin de 10^{18} Erg mertebelerinde olduğu hesaplanmıştır.

SONUÇ

Bu çalışma kapsamında 26 Eylül 2019 Mw 5.8 Silivri depremi kuvvetli yer hareketi kayıtları çalışılmıştır. Bu deprem Marmara bölgesinde 1999 yılında meydana gelen Kocaeli M_w 7.6 ve Düzce M_w 7.1 depremleri ve artçılarından sonra bölgeyi etkileyen en büyük deprem olması nedeni ile önemlidir. Deprem Tekirdağ ve İstanbul başta olmak üzere Yalova, Kocaeli, Bursa, Kırklareli illerinde hissedilmiştir. Çalışma kapsamında bölge sismo-tektoniği gözden geçirilmiş, bölgede tarihsel ve aletsel dönemde meydana gelen depremler değerlendirilmiştir. Deprem sırasında kaydedilen Maksimum Yer ivmesi -PGA değerleri ASK14 (Abrahamson ve ark., 2014), BSSA14 (Boore ve ark., 2014), ve CY14 (Chiou ve Youngs, 2014) NGA2014 YHTD kullanılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca CY14 YHTD kullanılarak yer hareketi parametreleri (MMI, PGA, Sa0.2, Sa1.0) dağılım haritaları oluşturulmuş ve kaydedilmiş yer hareket parametreleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın son kısmında ana şok öncesi ve sonrası öncü ve artçı depremler ve açığa çıkan enerji değerlendirilmiş ve ülkemizde yakın geçmiş zamanda meydana gelen yıkıcı depremler 1999 Kocaeli (M_w 7.6) ve 2011 Van (M_w 7.2) ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışma deprem tehlikesi ve riski açısından dünyanın sayılı bölgelerinden biri olan Marmara bölgesinin depremselliğinin gözden geçirilmesi ve elde edilen yer hareketi kayıtlarının 2014 YHDT'ler (ASK14 (Abrahamson ve ark., 2014), BSSA14 (Boore ve ark., 2014), ve CY14 (Chiou ve Youngs, 2014) ile uyumunu göstermesi açısından önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- Abrahamson NA, Silva, WJ, and Kamai R, 2014. Summary of The ASK14 Ground Motion Relation for Active Crustal Regions. *Earthquake Spectra*, 30 (3): 1025-1055.
- Anonim1, 2020. <https://deprem.afad.gov.tr/>, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı, (Erişim Tarihi:30.03.2020).
- Anonim2, 2020. AHEAD, European Archive of Historical Earthquake Data, 2020. <http://www.emidius.eu/AHEAD/main>, (Erişim Tarihi: 12.03.2020)
- Başarır Baştürk N, Özel NM, Altınok Y, ve Duman, TY, 2016. Türkiye ve Yakın Çevresi için Geliştirilmiş Tarihsel Dönem (MÖ 2000 - MS 1900-) Deprem Katalogu. Türkiye Sismotektonik Haritası Açıklama Kitabı, MTA Özel Yayınlar Serisi-35, 249 s.
- Boore DM, Stewart JP, Seyhan E, and Atkinson GM, 2014. NGA-West2 Equations for Predicting PGA, PGV, and 5% Damped PSA for Shallow Crustal Earthquakes. *Earthquake Spectra*, 30 (3): 1057-1085.
- Bozorgnia Y, Abrahamson NA, Atik LA, Ancheta TD, Atkinson GM, Baker JW, Baltay A, Boore,DM, Campbell KW, Chiou BSJ, Darragh R, Day S, Donahue J, Graves RW, Gregor N, Hanks, T, Idriss IM, Kamai R., Kishida T, Kottke A, Mahin SA., Rezaeian S, Rowshandel B, Seyhan E, Shahi S, Shantz T, Silva W, Spudich P, Stewart JP, Watson-Lamprey Wooddell K, and Youngs R, 2014. NGA-West2 research project. *Earthquake Spectra*, 30:973-987.
- Chiou BSJ, and Youngs RR, 2008. An NGA Model for The Average Horizontal Component of Peak Ground Motion And Response Spectra. *Earthquake Spectra*, 24(1): 173-215.
- Chiou BSJ, and Youngs RR, 2014. Update of the Chiou and Youngs NGA Model For The Average Horizontal Component Of Peak Ground Motion And Response Spectra. *Earthquake Spectra*, 30(3):1117-1153.
- Douglas, John. 2019. Ground motion prediction equations, United Kingdom, Glasgow: University of Strathclyde, 1964 2019.

- Duman TY, Çan T, Emre Ö, Kadiriöglü FT, Başarır Baştürk B, Kılıç T, Arslan S, Özalp S, Kartal RF, Kalafat D, Karakaya F, Eroğlu Azak T, Özel NM, Ergintav S, Akkar S, Altınok Y, Tekin S, Cingöz A. ve Kurt Aİ, 2017. Türkiye Sismotektonik Haritası Ölçek 1:1.250.000. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-34. ISBN: 978-605- 9516-19-8.
- Emre Ö, Duman TY, Özalp S, Elmacı H, Olgun Ş, ve Şaroğlu F, 2013. Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası. Ölçek 1:1.250.000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara-Türkiye, 89 S.
- Giardini D, Woessner J, Danciu L, Crowley H, Cotton F. Grünthal G, Pinho, Valensise G, Akkar, S, Arvidsson R. Basili R. Cameelbeek T, Campos-Costa A, Douglas J, Demircioglu MB, Erdik M, Fonseca J, Glavatovic B, Lindholm C, Makropoulos K. Meletti C, Musson RMW, Ptilakis K, Sesetyan K, Stromeyer D, Stucchi M. and Rovida A, 2013. Seismic Hazard Harmonization in Europe (SHARE): Online data re-source, Swiss Seismol. Serv., ETH Zurich, Zurich, Switzerland, doi:10.12686/ SED -00000001 –SHARE.
- Gutenberg B, and Richter, CF, 1956. Earthquake Magnitude, Intensity, Energy, and Acceleration: (Second paper). Bulletin of the Seismological Society of America, 46(2): 105–145.
- Kadiriöglü, FT, and Kartal RF, 2016. The New Empirical Magnitude Conversion Relations Using an Improved Earthquake Catalogue for Turkey and Its near Vicinity (1900–2012). Turkish Journal of Earth Sciences 25(4): 300–310.
- Kadiriöglü FT, Kartal RF, Kılıç T, Kalafat D, Duman TY, 2017. Eroğlu Azak, T., Özalp, S. ve Emre Ö. 2016. Türkiye ve Yakın Çevresi için Geliştirilmiş Aletsel Dönem (1900 - 2012) Deprem Katalogu ($M \geq 4,0$). Türkiye Sismotektonik Haritası (Ed. T.Y. Duman), MTA Özel Yayınlar Serisi-35, 249 s.
- Kramer SL, 1996. Geotechnical Earthquake Engineering, Environmental & Engineering Geoscience, 653p. KRDAE, 2011. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, 2011. 23 Ekim 2011 Van Depremi ($M_w = 7.2$) Değerlendirme Raporu, 1-3, 2011.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2019. 26 Eylül 2019 Silivri (İstanbul) Depremi Bilgi Notu, 1-5.
- Stucchi, M, Rovida A, Gomez Capera AA, Alexandre P, Camelbeek T, Demircioglu MB, Gasperini P, Kouskouna V, Musson RMW, Radulian M, et al. 2012. The SHARE European Earthquake Catalogue (SHEEC) 1000–1899. J. Seismol. 2012, 17:523–544, doi:10.1007/s10950-012-9335-2.
- T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2019. 26 Eylül 2019 Marmara Denizi, Silivri Açıkları (İstanbul) $M_w 5.8$ Depremine İlişkin ön Değerlendirme Raporu, 1-10, 2019.
- TBDY-2018, 2018. “Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar,” <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2-1.pdf>, p. 416, 2018.
- Wald, DJV, Quitoriano, TH, Heaton, H, Kanamori, CW, Scrivner, CB, Worden, TS, 1999a. Rapid Generation of Instrumental Ground Motion and Intensity Maps for Earthquakes in Southern California, Earthquake Spectra, 15, 537-556.
- Wald, DJV, Quitoriano, TH, Heaton, H, Kanamori, CW, 1999b. Relationship between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Modified Mercalli Intensity for Earthquakes in California, Earthquake Spectra, 15/3, 557-56.

Discharge coefficient equation to calculate the leakage from pipe networksÖmer EKMEKCİOĞLU^{1*}, Eyyup Ensar BAŞAKIN¹, Mehmet ÖZGER^{1*}

ABSTRACT: With the increasing of urbanization, water distribution networks play an important role in human life and the effective use of water resources. Therefore, studies have been made for the optimization of water distribution networks in some fields such as pressure management and leakage control. In this context, the discharge coefficient, which is one of the components of the hydraulic calculations, is a very significant parameter in calculating the losses. In this study, a new equation has been proposed to calculate the discharge coefficient. Computer simulations were done by using ANSYS Fluent and discharge coefficient values were determined for round holes. Firstly, the model validated with theoretical Toricelli (orifice) equation and then, the model was run for number of scenarios according to various internal pressure and hole areas. The model results were formulated by means of regression equations. To satisfy the dimensional homogeneity, the ratio of the hole area to the pipe cross-sectional area, area ratio (r), and the ratio of the internal pressure to the external pressure, pressure ratio (p), were used. In this study, easy to use discharge coefficient equation was proposed to calculate the leakage losses in water distribution networks. With the help of this equation, the discharge coefficient can be calculated precisely for different pressure values and leakage areas rather than taken as a constant value. Thus, the calculation of the leakage flow rate will be more accurate. Furthermore, it is concluded that the discharge coefficient varies between 0.65 and 0.72. There is also inverse relationship between discharge coefficient and pressure and discharge coefficient and leakage area.

Keywords: water distribution network, discharge coefficient, leakage, orifice

¹Ömer EKMEKCİOĞLU (Orcid ID: 0000-0002-7144-2338), Eyyup Ensar BAŞAKIN (Orcid ID: 0000-0002-9045-5302), Mehmet ÖZGER (Orcid ID: 0000-0001-9812-9918), Hydraulics Division, Civil Engineering Department, Istanbul Technical University, Maslak 34469, Istanbul, Turkey

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Ömer EKMEKCİOĞLU, e-mail: omer.ekmekcioglu@itu.edu.tr

* Bu çalışma Ömer EKMEKCİOĞLU' nun Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

Geliş tarihi / *Received:* 13-12-2019

Kabul tarihi / *Accepted:* 17-04-2020

INTRODUCTION

One of the most crucial point for the efficient use of water resources is to avoid the loss of leakage in water distribution networks. In this respect, with the emergence of leakage problems, the researchers focused on behaviors of the leaks and the reduction of leakage flowrates due to the leaks. Particularly, studies on pressure management have gained popularity (Sturm and Thornton, 2015; Thornton and Lambert, 2007; Xu et al., 2014; Fontana et al., 2017; Lydon et al., 2017; Samir et al., 2017; Monsef et al., 2018). As a result of the studies on pressure management, a serious improvements have been observed in the service capacity of the water distribution networks. While making progress with these studies, studies have been carried out in order to put the problem on a correct basis. Consequently, the orifice equation examined in detail for the calculation of leakage flow rate.

Toricelli equation, i.e. orifice equation, is the basis of the studies that have been carried out in the leakage in water distribution networks. Toricelli equation represents to the relationship between pressure and leakage flow rate which is based on the principle of conservation of energy. The pipe leaks physically coincide with the orifice equation, since they display orifice characteristics.

According to the orifice equation and the relationship between pressure and loss due to leakage can expressed as follows:

$$Q = C_d \times A \times \sqrt{2gh} \quad (1)$$

where, Q is the leakage flow rate, C_d is the discharge coefficient, A is the leakage area, g is the acceleration due to the gravity and h represents the pressure head.

By considering that the orifice equation can also wrote as (May, 1994):

$$Q_L = C \times h^{N1} \quad (2)$$

in which C is the leakage coefficient and it consists of C_d , A and $(2g)^{0.5}$. $N1$ denotes the leakage exponent.

Studies had been carried out about the leakage area (May, 1994; Cassa et al., 2010; Cassa and Van Zyl, 2013; Ssozi et al., 2015; Fox et al., 2016&2017; De Marchis et al., 2016; Van Zyl and Malde, 2017; Van Zyl et al., 2017, Kabaasha et al., 2018; Nsanzubuhoro et al., 2017; Butterfield et al., 2018) and studies about leakage exponent (Germanopoulos, 1985; Walski et al., 2006&2009; Greyvenstein and J. E. van Zyl, 2007; Van Zyl and Clayton, 2017) made contribution to better understanding of the leakage behavior and leakage flowrate.

The pressure-leakage relationship in water distribution networks is not only the topic that studies based on, there is also another topic which is emphasized by various researchers, named as discharge coefficient. Although the discharge coefficient is considered as the least effective parameter in the calculation of leakage flowrate according to many researchers, it is very effective when taken account large-scaled.

Some of the researchers have assumed that discharge coefficient should be accepted as a constant, while some of them thought that it may be variable depending on some other parameters. Cassa et al. (2010) considered the discharge coefficient as constant, 0.67. Schwaller and van Zyl (2014) showed that the discharge coefficients in a water distribution network would take values between 0.5 and 0.8, averagely 0.65, with a presumption of normal distribution. For individual leaks, Lambert (2001) stated that the assumption of the constant discharge coefficient is not valid for all flow regimes. Therefore, the discharge coefficient depends on the laminar, transition and turbulent regime, so the Reynolds number.

Furthermore, for the orifice problem for incompressible fluids, it is indicated that the discharge coefficient is a function of the hole geometry, area ratio (ratio of orifice area to pipe cross-sectional area) and Reynolds number (Idelchik, 2003). In another study that examined the relationship between pressure and leakage flowrates, Schwaller and van Zyl (2014) stated that the discharge coefficient is a function of the shape of the hole, the material of the pipe, the curvature of the pipe and various physical parameters such as pressure. They also stated that the discharge coefficient values in the cracks occurring under normal conditions are between 0.5 and 0.8, while only 10% of them is greater than 0.7. In this study, a study was carried out on the basis that the discharge coefficient depends on a number of parameters and can be written as a function of those parameters. In the numerical analysis, it was observed that the discharge coefficient varies with leakage area and pressure.

In this study, a research has been carried out on the fact that the discharge coefficient depends on a number of parameters and can be written as a function number of parameters. Through numerical analysis, it was observed that the discharge coefficient varies with leakage hole area and pressure. Accordingly, an equation has been proposed to calculate the discharge coefficient related to these variables. Therefore, the purpose of this study to formulate discharge coefficient based on the leakage area and pressure using a numerical model.

MATERIALS AND METHODS

Numerical Model

ANSYS Fluent software was used in the numerical model. ANSYS Fluent, which can model CFD models quickly and cost-effectively, including various complex and large systems such as free surfaces, multiple fluid phases, viscous and turbulent flows, uses the finite volumes method for discretization of conservation equations. In this study, a numerical analysis was made by taking 1 m unit length and 10 cm diameter pipe into consideration for the high density polyethylene (HDPE) pipe. Simulations were made by changing the hole area under different pressure conditions for round hole (Fig. 1). Different discharge coefficient values obtained as a result of simulations are associated with hole area and pressure variables.

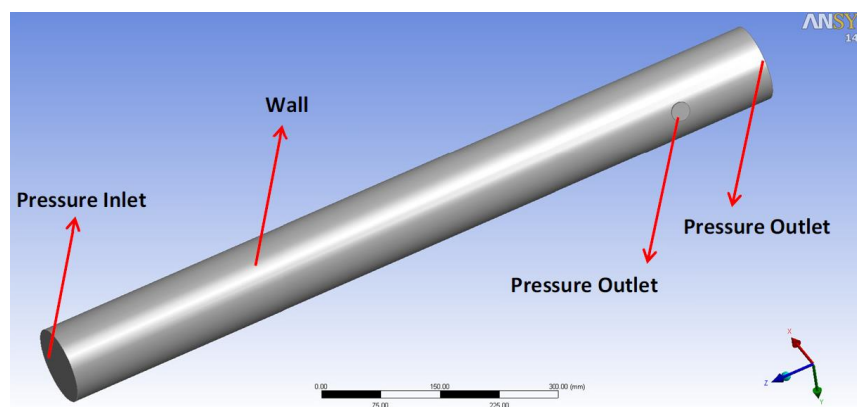


Figure 1. Model geometry.

The following assumptions were made in modeling of discharge coefficient. (1) The hole opens to the atmosphere. (2) Computations were made for the High Density Polyethylene (HDPE) pipe. (3) Pipe length was 1 meter and diameter was 10 cm. (4) Hole area varied between 7.85×10^{-5} and 4.92×10^{-4} m². (5) The internal pressure of the pipe ranged from 1 bar to 7 bar. The reason for emphasizing the similarity of the problem to the orifice equation is due to the similarity to the calculation of the water flow through

a hole in a large tank. That is, there is considerable difference between the pipe diameter and the hole diameter to make the difference between the velocity values obtained from the continuity equation.

SIMPLE was used as the solution scheme, since the problem is single phase which means that there is full flow in pipe. Least Squares Cell-Based Gradient Evaluation was chosen as a gradient, this method yields more successful solutions, particularly in unstructured meshes compared to the other methods and it is less time consuming. Second order upwind scheme was chosen for the Momentum, Turbulent Kinetic Energy and Turbulent Dissipation Rate. With this scheme, higher accuracy is obtained, since the values on the cell surface are evaluated by means of the centroid cells using Taylor series expansion.

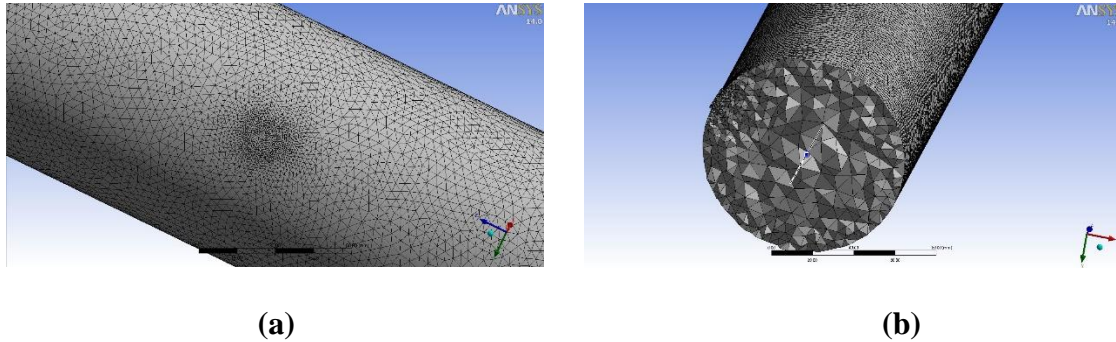


Figure 2. Mesh created with the ANSYS. a) Plan view b) Cross-section view

Governing Equations

ANSYS Fluent solves the conservation of mass and conservation of momentum in cases without heat transfer. The mass conservation equation, or continuity equation, is based on the principle of mass balance for a fluid particle. It means that rate of increase of mass in fluid element equals to net rate of flow of mass into fluid element. Continuity equation for three dimensional cartesian coordinates can be written as follows:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

in which ρ is the density and u , v and w represent the velocity components on x , y and z directions, respectively. Yet, Eq.3 is valid for compressible flows. For incompressible flows Eq.4 can be written as:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

Rate of change of momentum is associated with the sum of the forces in the control volume. It means that the rate of increase of momentum of fluid particle equals to sum of forces in fluid particle. The forces in a fluid particle are divided into two main groups: (i) Surface forces, (bii) Body forces. The surface forces include compressive forces, viscous forces and gravitational forces, while the body forces contain centrifugal forces, Coriolis forces and electromagnetic forces. Thus, the momentum equation can be written for three dimensional cartesian coordinates as follows:

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + S_{Mx} \quad (5)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial(-p + \tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + S_{My} \quad (6)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial(-p + \tau_{zz})}{\partial z} + S_{Mz} \quad (7)$$

where p is the pressure force, τ represents the shear stress and the S is the source term that includes all body forces which affects the control volume per unit time. D/Dt denotes the material derivative that refers to the sum of the temporal physical properties of a material element, such as temperature and momentum. In this study, standard k -epsilon turbulent model is used. Transport equations for standard k -epsilon model are given below as turbulent kinetic energy per unit mass (k) and turbulent energy dissipation rate per unit mass (ϵ) in Eq.8 and Eq.9, respectively.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial t_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k + P_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \tag{8}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial t_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (P_k + C_{3\epsilon} P_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \tag{9}$$

where, k is the turbulent kinetic energy, u_i represents velocity component in corresponding direction, P_k is the generation of turbulence kinetic energy due to the mean velocity gradients, P_b represents the generation of turbulence kinetic energy due to buoyancy and μ_t is the turbulence(eddy) viscosity which is calculated as:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \tag{10}$$

Turbulent Prandtl numbers for k and ϵ : σ_k , σ_ϵ and $C_{1\epsilon}$, $C_{2\epsilon}$ are constant values that are determined at the end of a great deal of iterations as 1.0, 1.3, 1.44, 1.92, respectively. S is the modulus of the mean rate-of-strain tensor and define as:

$$S \equiv \sqrt{2 S_{ij} S_{ij}} \tag{11}$$

Model Validation

In numerical simulations, the variation of leakage flow rate was examined according to pressure. For this purpose, different pressure values between 1 and 7 bar were applied to a pipe with fixed length and diameter and leakage flow rate values were obtained by Fluent at the end of each model simulation. Firstly, the results of the model were obtained for all analyzes by using the 1.75 cm diameter round hole and 10 cm diameter pipe (Fig. 1), then the results compared with the orifice equation in order to validate the model.

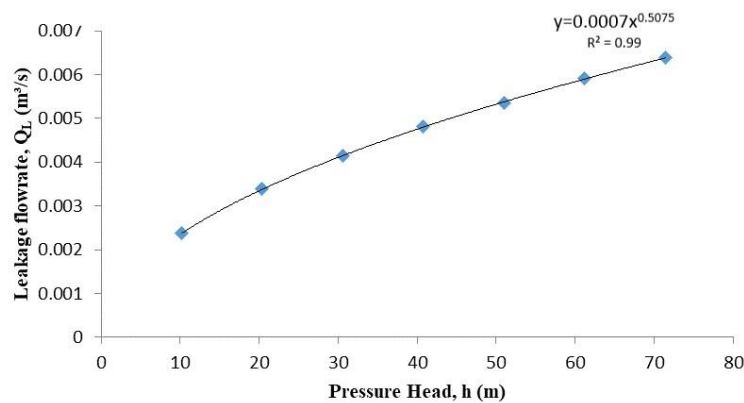


Figure 3. The Pressure-Leakage flowrate relationship.

There is an exponential relationship between pressure head and leakage flowrate (Fig. 3). The

$$ax^b \tag{12}$$

regression equation of the relationship can be identified as follows:

in which *a* represents the leakage coefficient in orifice equation and *b* denotes leakage exponent. The regression equation given on the graph and the Table 1 reveals that the leakage exponent is close to 0.5 as stated in the literature.

Table 1. Model validation results.

Geometry	Diameter (cm)	Equation	R ²
Round	1.75	$y = 0.0007x^{0.5075}$	R ² =0.99
Round	2	$y = 0.0013x^{0.5071}$	R ² =0.99

Secondly, a different fixed hole diameter (2 cm) was considered in the model and the analysis were repeated for all aforementioned conditions. Results of this scenario revealed that there are changes in the leakage coefficient when it is compared with first scenario. The leakage coefficient was 7×10^{-4} in the first case (Table 1, 1st row), while it was observed as 13×10^{-4} for the second case (Table 1, 2nd row). Leakage coefficient includes constant terms such as $(2g)^{0.5}$ and hole diameter as well as *C_d*, discharge coefficient. It is concluded that the discharge coefficient varies with changing conditions such as hole area and pressure. Therefore, unlike the fact that the discharge coefficient is a constant, it has been concluded that it varies depending on the hole area and pressure.

RESULTS AND DISCUSSION

After the establishment of the model and validation by Toricelli (orifice) equation, the results were attained according to different performed scenarios on same model. In this context, firstly, the change in the discharge coefficient with the pressure variation was examined while the area of the round hole was kept constant. The flow rate values are obtained by FLEUNT simulations and internal pressure of pipe and leak areas are known. Thus, discharge coefficient values were calculated by replacing the known values in the orifice equation. It is observed that the discharge coefficient decreases when the pressure increases (Fig. 4). It is symbolically shown as the linear relationship in Fig. 4 in order to demonstrate the inverse relationship between to variable.

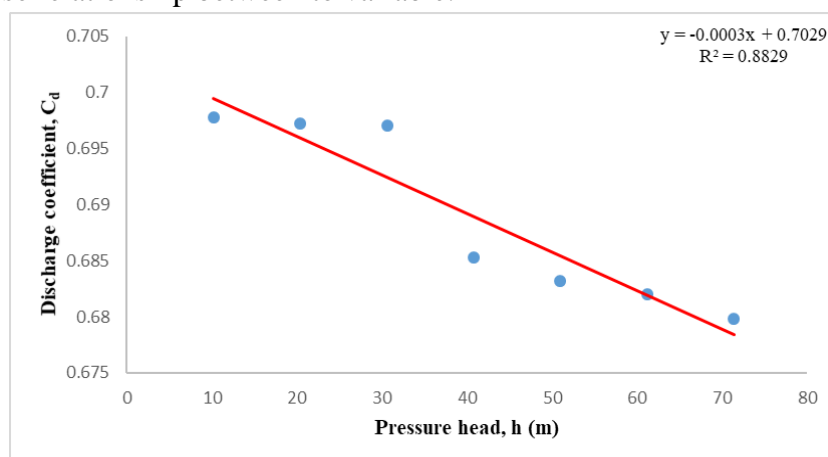


Figure 4. Variation of discharge coefficient with respect to pressure head.

Secondly, pressure was kept constant and the variation of the discharge coefficient with hole area was investigated. As a result of the simulations, it is found that the discharge coefficient changes inversely with the hole area under a constant pressure boundary condition (Fig. 5).

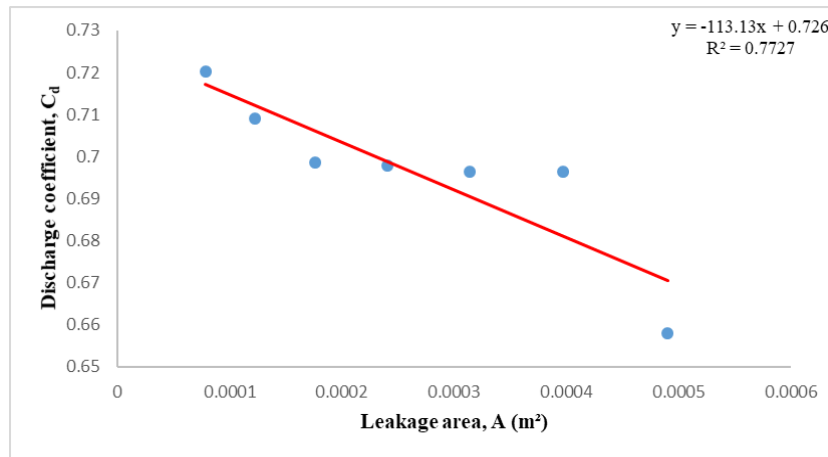


Figure 5. Variation of discharge coefficient with respect to leakage area.

As seen in Fig. 4 and Fig. 5, discharge coefficient varies between 0.65 and 0.72. The results obtained in this study coincide with the studies in the literature (Table 2). It will be well directed to obtain a function on behalf of the discharge coefficient instead of taking as an average value. In addition, as seen in Fig. 5, the range of discharge coefficient values which is obtained by changing the hole area is greater than the range result from the pressure variation.

Based on these results, it was decided to choose the independent variables as dimensionless since the discharge coefficient is a dimensionless parameter.

Table 2. Comparison of the calculated discharge coefficient values with the studies in the literature.

Reference	Discharge coefficient values
Lea (1908)	0.6
Lambert (2001)	0.75
Idelchik (2003)	0.97
Cassa et al. (2010)	0.67
Schwaller and vanZyl (2014)	0.65
Schwaller et al.(2015)	0.65
Fox et al. (2016)	0.64-0.75
Current study	0.65-0.72

For this purpose, the dimensionless area, r , giving the ratio of the hole area and the pipe cross-sectional area and the dimensionless pressure which is the ratio of the internal pressure to the external pressure, p , was used to generate the equation (Eq. 13).

$$r = \frac{A_{Leakage}}{A_{pipe}} ; p = \frac{P_i}{P_e} \tag{13}$$

in which $A_{Leakage}$ is the hole area, A_{pipe} is the pipe cross section area and P_i , P_e are the internal pressure and external pressure, respectively.

Thus, Eq. 14 can be obtained as follows:

$$C_d = f\left(\frac{A_{Leakage}}{A_{pipe}} ; \frac{P_i}{P_e}\right) = f(r ; p) \tag{14}$$

To obtain a general equation for discharge coefficient, seven different leakage areas and seven different pressure values were used to conduct 49 simulations. As a result, linear regression analysis was used to find the equation that could be obtained by using the data of the simulation results. In the regression equation, r , r^2 , r^3 , p , p^2 , $p^{0.5}$ were used as input. In addition, the best matched equation was decided upon by the evaluation made according to various performance criteria, such as root mean square error (RMSE), mean absolute percentage error (MAPE) and determination coefficient (R^2). The results of the calculated performance criterias are presented in Table 3. As a result of different analysis to obtain best matched equation, Eq. 15 was obtained.

$$C_d = 0.396 \times r - 23.749 \times r^2 + 92.264 \times r^3 + 0.0026 \times p + 0.6987 \quad (15)$$

Table 3. Performance of the equations derived for the optimum discharge coefficient function.

Independent Variable	RMSE	MAPE (%)	R^2
r, r^2, r^3, p	0.073390936	0.799844685	0.9321

The equations were derived by using the least squares method. The least squares method is a parametric method and some conditions must be fulfilled for statistical significance. One of these conditions is that the coefficients of equation are significantly different from zero and it is decided by taking into consideration of p values. In this study, each coefficient was found smaller than 0.05 at % 95 confidence interval, as a result of the tests performed. Thus, it demonstrated that all coefficients are significantly different from zero. Furthermore, it can be concluded that the proposed equation is not only offers practical to use, but also provides accurate results with low number of variables.

CONCLUSION

A numerical model was developed by using the finite volume method to investigate the discharge coefficient under different scenerios. The factors that have the most effect on this value have been determined and it has been found in the simulations that the discharge coefficient is a function of the leakage area, pressure and hole geometry. A practical equation was proposed to calculate the discharge coefficient according to the hole area and pressure.

In the proposed equation, hole area and pressure head made dimensionless to satisfy dimensional homogeneity. The first dimensionless number is obtained as area ratio, which represents the ratio of the leakage area to the pipe cross-sectional area (r), while the second is the pressure ratio (p), which describes the ratio of the pipe internal pressure to the external pressure.

In this study, it is suggested that the discharge coefficient can be calculated with the help of a simple equation and this approach will give more accurate results than the calculations made assuming that the discharge coefficient is constant. In addition, a contribution has been made to the literature to enable better understanding of losses, which are a major problem in water distribution networks.

The results of the study are listed below:

- Discharge coefficient varies between 0.65 and 0.72 for round hole.
- Expression of the proposed equation as a function of dimensionless variables is significant in terms of uniformity and practicality
- The equation obtained for discharge coefficient yielded very high accuracy according to various performance indicators.
- Instead of taking the flow coefficient as a constant in the leakage flow rate calculations, a function is obtained from the factors affecting the flow coefficient (pressure and leakage area) and the leakage flow rate calculations should be done in this way.

In this study, hydraulically, a proposal has been made to provide a more accurate understanding of this topic, which has recently been carried out on a considerable number of studies.

REFERENCES

- Butterfield JD, Meyers G, Meruane V, Collins RP, Beck SBM, 2018. Experimental investigation into techniques to predict leak shapes in water distribution systems using vibration measurements. *Journal of Hydroinformatics* 20 (4): 815-828.
- Cassa AM, Van Zyl JE, 2013. Predicting the head-leakage slope of cracks in pipes subject to elastic deformations. *Journal of Water Supply Research and Technology – AQUA* 62(4), 214–223.
- Cassa AM, van Zyl JE, Laubscher RF, 2010. A numerical investigation into the effect of pressure on holes and cracks in water supply pipes. *Urban Water Journal* 7(2), 109–120.
- De Marchis M, Fontanazza CM, Freni G, Notaro V, Puleo V, 2016. Experimental evidence of leaks in elastic pipes. *Water Resources Management* 30(6), 2005–2019.
- Fontana N, Giugni M, Glielmo L, Marini G, and Verrilli F, 2017. A Lab Prototype of Pressure Control in Water Distribution Networks. *IFAC-PapersOnLine* 50 (1), 15373–15378.
- Fox S, Collins R, Boxall J, 2016. Experimental study exploring the interaction of structural and leakage dynamics. *Journal of Hydraulic Engineering* 143(2), 04016080.
- Fox S, Collins R, Boxall J, 2017. Physical investigation into the significance of ground conditions on dynamic leakage behaviour. *Journal of Water Supply Research and Technology* 65(2), 103–115.
- Germanopoulos G, 1985. A technical note on the inclusion of pressure dependent demand and leakage terms in water supply network models. *Civil Engineering Systems* 2(3), 171–179.
- Greyvenstein B, van Zyl JE, 2007. An experimental investigation into the pressure-leakage relationship of some failed water pipes. *Journal of Water Supply Research and Technology – AQUA* 56(2), 117-124.
- Idelchik E, 2003. *Handbook of hydraulic resistance* (2nd revised and enlarged edition): Washington.
- Kabaasha M, Piller O, van Zyl JE, 2018. Incorporating the Modified Orifice Equation into Pipe Network Solvers for More Realistic Leakage Modeling. *Journal of Hydraulic Engineering* 144(2): 04017064.
- Lambert AO, 2001. What do we know about pressure: leakage relationships in distribution systems? *IWA Conference System Approach to Leakage Control and Water Distribution Systems Management*, 1–9.
- Lydon T, Coughlan P, McNabola A, 2017. Pressure management and energy recovery in water distribution networks: Development of design and selection methodologies using three pump-as-turbine case studies. *Renewable Energy* 114:1038–1050.
- May J, 1994. Pressure dependent leakage. *World Water & Environmental Engineering*. http://www.leakssuite.com/wpcontent/uploads/2016/10/JOHN-MAYSEMINAL-1994_ARTICLE-4.pdf.
- Monsef H, Naghashzadegan M, Farmani R, Jamali A, 2018. Pressure management in water distribution systems in order to reduce energy consumption and background leakage. *Journal of Water Supply Research and Technology* 67 (4): 397-403.
- Nsanzubuhoro R , van Zyl JE, Zingoni A, 2017. Predicting the head-area slopes of circular holes in water pipes. *Procedia Engineering* (186), 110 – 116.
- Samir N, Kansoh R, Elbarki W, Fleifle A, 2017. Pressure control for minimizing leakage in water distribution systems. *Alexandria Engineering Journal* 56:601–612.
- Schwaller J, Van Zyl JE, 2014. Modeling the Pressure-Leakage Response of Water Distribution Systems Based on individual leak behavior. *Journal of Hydraulic Engineering* 141(5), 04014089.
- Ssozi EN, Reddy BD, Van Zyl JE, 2015. Numerical investigation of the influence of viscoelastic deformation on the pressure-leakage behavior of plastic pipe. *Journal of Hydraulic Engineering* 142(3), 04015057.

- Sturm R, Thornton J, 2005. Proactive Leakage Management Using District Metered Areas (DMA) and Pressure Management–Is It Applicable in North America. IWA Leakage 2005 Conference Proceedings, 1–13.
- Thornton J, Lambert AO, 2007. Pressure Management Extends Infrastructure Life and Reduces Unnecessary Energy Costs. Proceedings of the IWA International Specialised Conference Water Loss 2007, 1–10.
- Van Zyl JE, Clayton CRI, 2017. The effect of pressure on leakage in water distribution systems. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management.
- Van Zyl JE, Lambert AO, Collins R, 2017. Realistic Modeling of Leakage and Intrusion Flows through Leak Openings in Pipes. *Journal of Hydraulic Engineering* 143(9): 04017030.
- Van Zyl JE, Malde R, 2017. Evaluating the pressure-leakage behaviour of leaks in water pipes. *Journal of Water Supply Research and Technology – AQUA*, 136, 66:287–299.
- Walski T, Bezts W, Posluszny ET, Weir M, Whitman BE, 2006. Modeling leakage reduction through pressure control, *Journal of American Water Works Association* 98(4), 147–155.
- Walski T, Whitman B, Baron M, Gerloff F, 2009. Pressure vs. flow relationship for pipe leaks. *World Environmental and Water Resources Congress 2009*, 342, 1–10.
- Xu Q, Chen Q, Ma J, Blanckaert K, Wan Z, 2014. Water Saving and Energy Reduction through Pressure Management in Urban Water Distribution Networks. *Water Resources Management* 28 (11): 3715–3726.

An Application of Polydopamine-dip Coating as a Gentle Surface Modification Process for Cryogel Disks

Gözde ÖZBEK¹, Orhan GEZİCİ^{1*}, Mevlüt BAYRAKCI²

ABSTRACT: The process called “polydopamine-dip coating” was successfully applied to modify the surface of poly(2-hydroxyethyl methacrylate), PHEMA, cryogel disks for the first time. This facile surface modification process fitted very well to the chemistry of cryogels since the integrity of the cryogel disks was maintained during the whole process. Polydopamine (PDA) nanocoating process was observed to be homogeneously performed through the pores and there was a net color change from white to brown after 24 h. The obtained (brownish) material (PHEMA-PDA) was characterized with respect to FTIR spectroscopy, pH_{pzc} , and water-holding capacity analyses. The potential of this new material was studied by utilizing it as an adsorbent for the adsorption of Ni(II) from synthetic aqueous solutions. The equilibrium adsorption data were analyzed on the basis of the Langmuir, the Freundlich, and the Temkin isotherm models. In general, Ni(II) adsorption on PHEMA-PDA was evaluated as a favorable process as depicted from the studied models. The proposed approach was found to be a promising post-surface modification process for tailoring the surface of monolithic cryogels without any difficult synthesis steps and harsh chemicals.

Keywords: Adsorption, cryogel, heavy metal, nanocoating, nickel, polydopamine.

¹ Gözde ÖZBEK (Orcid ID: 0000-0003-2835-5463), Orhan GEZİCİ (Orcid ID: 0000-0001-6808-2282), Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Niğde, Türkiye

² Mevlüt BAYRAKCI (Orcid ID: 0000-0002-0416-2870), Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Karaman, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Orhan GEZİCİ, e-mail: ogezici@gmail.com

* Bu çalışma Gözde ÖZBEK'in Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

Geliş tarihi / Received: 04/02/2020

Kabul tarihi / Accepted: 25/03/2020

INTRODUCTION

Surface tailoring by appropriate modification processes and thus to obtain functional materials has become the core of today's popular disciplines. Depending on the chemistries of the solid support and the functional substance, very harsh conditions may be necessary, because most of the surface modification processes rely on a chemical attachment of a ligand onto the surface to be engineered. Chemical modification of the solid support under consideration is the method of choice over a physical modification because it yields materials with high chemical stability (Gezici and Bayrakci, 2015). However, the volume of chemicals needed and sometimes harsh experimental conditions required during the process led researchers finding alternative manners to perform desired modifications on a surface.

After its discovery in 2007 (Lee et al., 2007), the polydopamine (PDA) dip-coating process has been applied in surface modification of many materials (Jinhao et al., 2009; Lee et al., 2009; Waite, 2008) and today it has been recognized as a universal surface modification process (Yu et al., 2014). The simplicity of the process and hydrophilic nature of the PDA coating as well as its biocompatibility have increased the popularity of the process (Wang et al., 2015). The secret of the success of this process lies in the fact that dopamine hydrochloride can tightly adhere to almost all types of surfaces upon its auto polymerization process occurring on a surface under basic conditions (Lee et al., 2007). The presence of some functional groups (e.g. aromatic units, catechol, and amine) within the structure lends the PDA coating a multifunctional character associated with an extremely high hydrophilic nature (Wang et al., 2015; Yu et al., 2014).

Because of the above-mentioned aspects of PDA-coating, this surface modification process has been widely exploited in the preparation of functional materials for separation and purification methods. For example, it has been applied to prepare functional membranes (Fang et al., 2016; Li et al., 2009, 2012), magnetic nanoparticles (Wang et al., 2013), organic frameworks (Chen and Chen, 2017), carbon nanotubes (Yin et al., 2015), open tubular columns for capillary electrochromatography (Chen et al., 2012; Liang et al., 2014; Xiao et al., 2015; Zeng et al., 2010), capillaries for capillary electrophoresis (Zhang and Yang, 2019), aerogel sorbents (Tang et al., 2019; Zhan et al., 2019), composite of graphene hybridized PDA-kaolin (He et al., 2019), magnetic sub-micro spheres (Pan et al., 2019), ultrathin nanofiltration membranes (Wu et al., 2019), and etc. Some of the prepared materials are seen to have a potential (as adsorbent) in adsorption of some chemicals such as heavy metals (Mu et al., 2020; Wang et al., 2020), dyes (An et al., 2020; Chen et al., 2020), and bisphenol A (Sun et al., 2020).

Hence, it is seen in the literature that the PDA dip-coating process has been applied to the modification of various types of surfaces, while a study that critically focuses on the PDA-coated cryogels is seen to be lacking in the literature. Essentially, PDA dip-coating process is thought to be a nice manner for the modification of monolithic materials, like cryogels, without destroying their integrity. Cryogels are the hydrogels prepared at subzero temperatures, and these monolithic materials have been widely used in separation and purification processes. However, some difficulties encountered in surface modification of cryogels and the limited number of functional monomers constitute a real problem to prepare functional monolithic cryogels (Güven et al., 2018; Perçin et al., 2015). As mentioned above, the PDA dip-coating process can overcome some limitations when preparing functional monolithic cryogels, and that combining the chemistries of PDA and cryogels might be a critical contribution to prepare new types of functional monolithic adsorbents. Since heavy metals have undesired effects on health (Bişgin, 2019), in this preliminary study, we have focused on the adsorption behavior of Ni(II) on PDA-coated PHEMA cryogel disks. To the best of our knowledge, this is the first

study that critically focuses on the surface functionalization of a monolithic cryogel (i.e. PHEMA) by means of the PDA dip-coating process.

MATERIALS AND METHODS

Chemicals and apparatus

2-hydroxyethyl methacrylate (HEMA; Aldrich, Germany), *N,N'*-methylene-bis(acrylamide) (MBAAm; Fluka, USA), ammonium persulfate (APS; Sigma-Aldrich, Germany), *N,N,N',N'*-tetramethylethylenediamine (TEMED; Aldrich, Germany), dopamine hydrochloride (Sigma-Aldrich, Germany), and Tris (Sigma-Aldrich, Germany) buffer are the chemicals we used to prepare PDA-coated PHEMA disks (PHEMA-PDA). Ethyl alcohol (VWR, USA) is used to rinse the prepared disks after the synthesis of PHEMA-PDA. $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Alfa-Aesar, USA) was the probe substance we used throughout the adsorption experiments. Aqueous solutions of Ni(II) were prepared in pure water and the pH was adjusted to 6.0. pH adjustments were done by using dilute HCl (Merck, Germany) and NaOH (Sigma-Aldrich, Germany) solutions. 2 M HNO_3 solution, which was prepared by diluting the stock HNO_3 (Merck, Germany), was utilized as a stripping agent. All the chemicals were used as received, and ultrapure water was used throughout the study.

FTIR spectra of the dried materials were recorded on a Perkin-Elmer (USA) Spectrum-Two model ATR-FTIR spectroscopy instrument with a diamond crystal. A pH measurement system (VWR, USA) was utilized to measure pH. The mixtures were shaken on a Heidolph (Germany) orbital shaker. An ultrasonic bath (Isolab (Germany)) was utilized to ultrasonicate the mixtures. Spectroscopic measurements were done by using a Shimadzu (Japan) AA 7000 flame atomic absorption spectrophotometer (FAAS). A Hitachi (Japan) SU5000 model instrument was used to take Scanning electron microscopy (SEM) images after coating the dry material with gold.

Preparation of PHEMA disks

PHEMA was synthesized according to a known procedure (Özkan et al., 2018) which is based on radical polymerization of the monomer HEMA and the cross-linker MBAAm. The monomer solution was prepared by using the distilled water which was degassed under vacuum to remove air oxygen. The mixture of monomers was prepared by combining two solutions comprised of (i) 0.60 mL HEMA in 2.0 mL water and (ii) 0.10 g MBAAm in 8.0 mL water. By the addition of APS (0.020 g) and TEMED (40 μL) to this mixture, radical polymerization was initiated, and the final solution was quickly poured into 2.5 mL syringes previously housed in an ice-bath. Finally, the syringes were gently put into a freezer at $-20\text{ }^\circ\text{C}$ for about 24 h. By doing this, the cryogelation process was initiated. Afterward, the syringes were put out of the freezer for thawing at room temperature, and the obtained white PHEMA monoliths were washed three times with (i) distilled water and (ii) 30% (v/v) ethyl alcohol solution (50 mL in total for each). The rinsed PHEMA monoliths were carefully cut into disks having 8.8 mm i.d. and 0.5 mm thickness. In this way, the base material to be coated with PDA according to the following procedure have been prepared.

Polydopamine dip-coating process: Preparation of PHEMA-PDA disks

In the PDA dip-coating procedure, first, a dopamine hydrochloride solution was prepared by dissolving 0.200 g dopamine hydrochloride in 100 mL of a Tris buffer (10 mM; pH=8.5). Wet PHEMA-PDA disks were put into 100 mL of the buffer and agitated on an orbital shaker for about 24 h at room temperature. In the final step, the obtained brown PHEMA-PDA disks were washed with water and ethyl alcohol and ultrasonicated for about 3 min in each solvent. In order to check the success of the formation

of PDA-coating throughout the disks, a PHEMA-PDA disk was cut into pieces and the progress of PDA formation was visually checked. The overall synthesis procedure is summarized in **Fig. 1**.

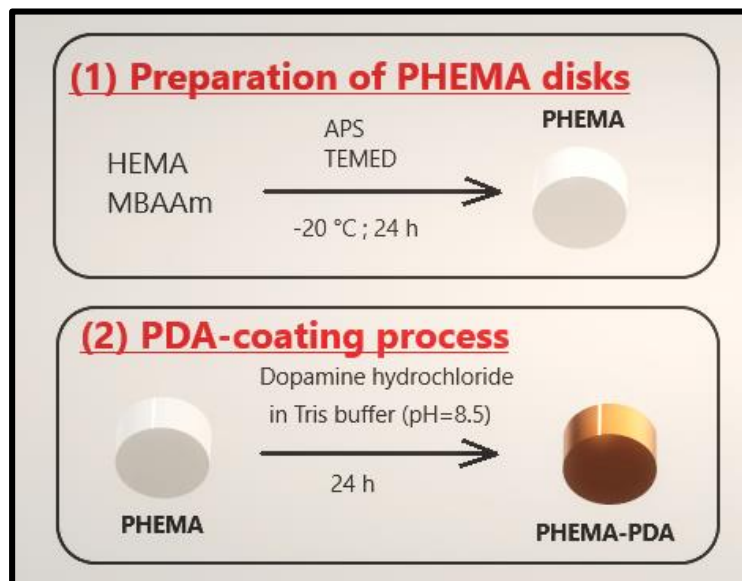


Fig. 1. A representative view for the procedure followed for the preparation of PHEMA-PDA disks

PHEMA-PDA was characterized by means of FTIR spectroscopy, pH_{pzc} measurements, and water-holding capacity.

FTIR spectrum of PHEMA-PDA was directly recorded on the dried materials within the range $4000\text{--}650\text{ cm}^{-1}$ by ATR-FTIR spectroscopy. The recorded spectrum was compared with that of the support material, PHEMA.

The surface charge characteristics of the newly prepared material were studied using the mass titration method (Gezici et al., 2006; Noh and Schwarz, 1989; Reymond and Kolenda, 1999; Schwarz et al., 1984). For this purpose, 5 test tubes were taken and filled with 0.01 M NaNO_3 solution. To each tube, 0, 1, 2, 3, and 6 piece(s) of PHEMA-PDA disk(s) were added. In this way, solid/suspension mass ratio was gradually increased to an extent that the medium pH reaches a steady state. When this steady state condition is achieved, the medium pH is governed by the solid material inside the tube, which is taken as the pH_{pzc} of the studied material.

Microstructure of the prepared PHEMA-PDA disks was analyzed by SEM technique. Also, the water-holding capacity of PHEMA-PDA was determined from the difference between the wet and the dry weights of PHEMA-PDA disks.

Adsorption experiments and isotherm modeling

The classical batch adsorption experiments were applied to derive equilibrium adsorption data. For this purpose, 50.0 mL of analyte solutions having concentrations in the range $25\text{--}150\text{ mg L}^{-1}$, were shaken with one PHEMA-PDA disk (for each) over a predetermined time period (24 h).

To determine amount of Ni(II) adsorbed, Ni(II)-bonded disks were put into 10 mL 2 M HNO_3 solutions for 2 h, and the acidic supernatant was subjected to FAAS analyses after diluting it adequately. In FAAS analyses, standard Ni(II) solutions were used to build an external calibration curve ($r^2=0.999$) in the linear range.

The determined C and q values were then analyzed in terms of some common adsorption isotherm models (i.e. the Langmuir, the Freundlich, and the Temkin models) by using curve fitting techniques.

RESULTS AND DISCUSSIONS

Before performing FTIR analyses and water-holding capacity measurements, the progress of PDA-coating process was checked by cutting a PHEMA-PDA disk into pieces. It was seen that PDA-coating process had been performed throughout the disks homogeneously without local distinctions. Hence, dopamine molecules are understood to be diffused properly through the pores of PHEMA, ensuring a desirable formation of PDA coating on the surface.

The prepared PHEMA-PDA disks were characterized by ATR-FTIR spectroscopy. Strong bands coming from the base material, PHEMA, constituted a serious problem to see the main bands of PDA coating clearly. Thus, the spectrum of PHEMA-PDA was observed to be one exhibiting a typical pattern observed for PHEMA cryogels with almost no distinguishing bands. Despite this limitation, fortunately, the bands related with C–N stretching vibrations (for aromatic structures) and C–C aromatic vibrations were observed around 1332 and 1609 cm^{-1} , respectively, as weak shoulders (**Fig. 2**). The last is also attributed to indole or indoline structures existing in PDA (Dreyer et al., 2012). Since aromatic structures are not existing in PHEMA, these bands emerging after PDA-coating process make the two spectra somehow different and thus confirm the presence of PDA coating on the surface of PHEMA.

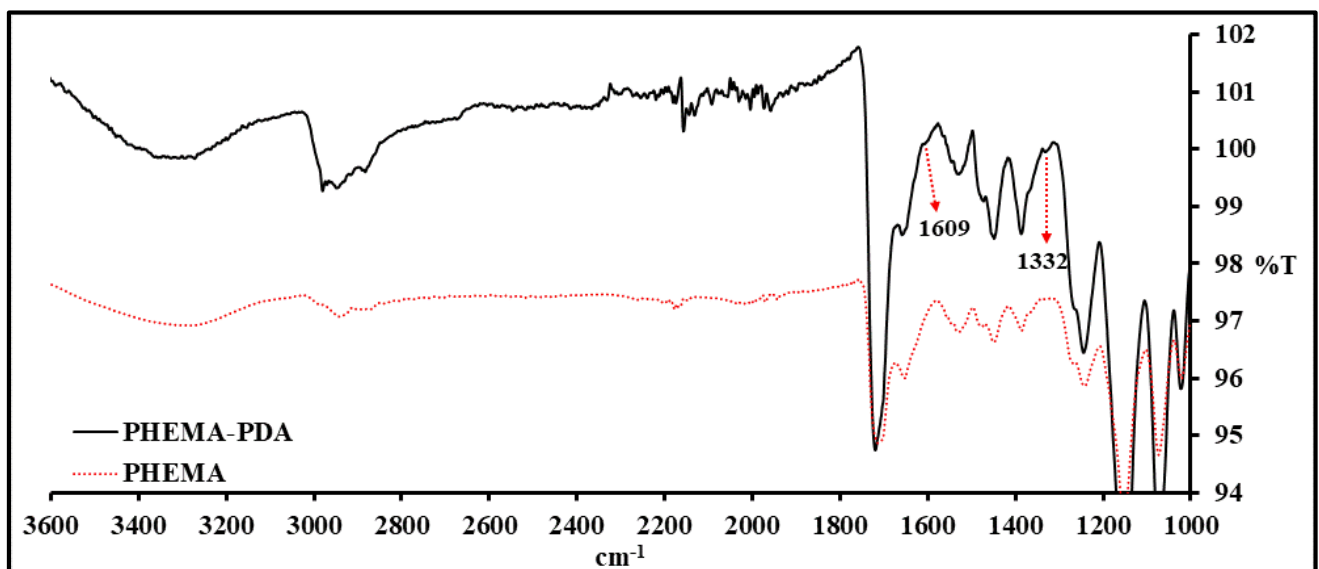


Fig. 2. FTIR spectra for PHEMA and PHEMA-PDA

pH_{pzc} measurements confirmed the results of FTIR spectroscopy so that a clear decrement was observed in pH_{pzc} after coating the surface of PHEMA with PDA. As it is seen in **Fig. 3**, the pH_{pzc} value for PHEMA-PDA is around 4.5–5.0 which is less than the value we previously obtained for PHEMA ($\text{pH}_{\text{pzc}}=6.2$) (Özkan et al., 2018). Hence, such an increment in surface acidity was evaluated as an indication for the surface coverage by a PDA layer. The calculated value is concordant to the previous reports on PDA-coated surfaces (Dong et al., 2016). Because of this moderately low pH_{pzc} value, the surface of PHEMA-PDA becomes negatively charged at pH values higher than 5.0, because of this the material was evaluated as a convenient and an attractive option for the adsorption of cationic species.

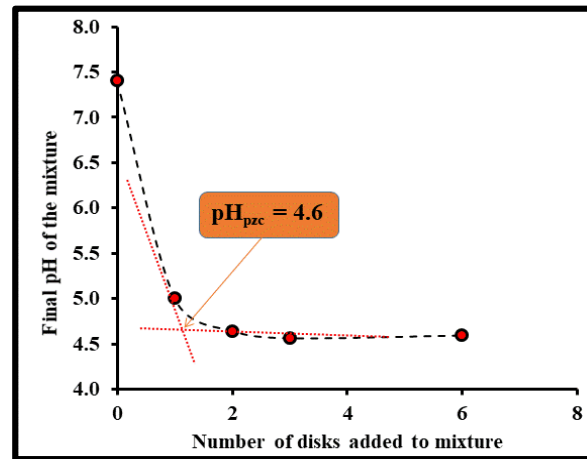


Fig. 3. Determination of pH_{pzc} by the mass-titration method

Microporous structure of PHEMA-PDA was confirmed by SEM analyses (**Fig. 4**). As it is seen in the figure, PHEMA-PDA is made up of 10–20 μm size pores and this microstructure can be evaluated as a suitable medium for the solutions to diffuse through the pores easily.

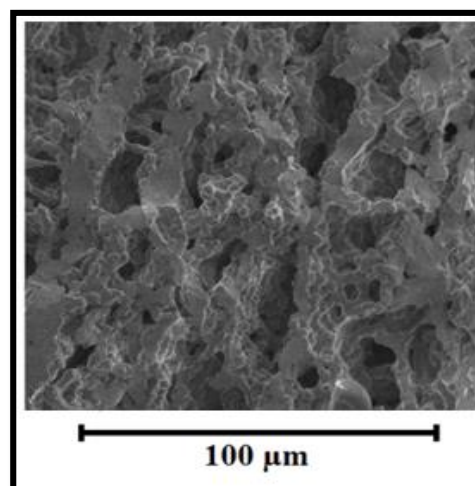


Fig. 4. SEM image for PHEMA-PDA

Water holding-capacity of PHEMA-PDA was determined in order to have some information about the role of PDA coating process on both morphology and hydrophilic character of PHEMA. Results showed that more than 80% of PHEMA-PDA structure was fully occupied by water molecules. This is a very typical behavior observed for cryogels (Özkan et al., 2018; Perçin et al., 2015) and confirms macroporous morphology and hydrophilic nature of PHEMA-PDA. Thus, PDA-coating process was found not to have a negative impact on the porous structure of the studied cryogel matrix.

Adsorption isotherm modeling

Adsorption is an interface phenomenon which is based on the mass-transfer from a fluid phase (i.e. liquid, gas) to a solid phase (Gezici and Ayar, 2009). The overall efficiency of the process is determined by the physicochemical properties of the solid phase (i.e. adsorbent) and the chemical species (i.e. adsorbate) adsorbed from the fluid phase. This is a complex phenomenon that different interaction types can take role during the mass-transfer. On the other hand, some mathematical equations called “adsorption isotherms” make it easy to have some information about the nature of the adsorption process under consideration. Today, many different adsorption isotherm models are existing in the literature

(Foo and Hameed, 2010). Some of them (like the Langmuir and the Freundlich models) are the most widely used ones because of their adaptability to the adsorption from both gas and liquid phases.

The Langmuir model

The Langmuir (Langmuir, 1916) model considers a finite number of binding zones which have the same energy on the adsorbent. The chemical species under consideration are thought to be adsorbed onto these binding groups in such a way that a monolayer coverage is formed on the adsorbent surface eventually. Both the existence of a finite number of binding sites, and a monolayer coverage on the surface necessitate the presence of a “maximum saturation capacity (q_m)” for particular adsorption process. The classical model equation for this non-linear isotherm model is given below (Foo and Hameed, 2010):

$$q = \frac{q_m K_b C}{1 + K_b C} \quad (1)$$

where C and q stand for the equilibrium concentration of the analyte in fluid and solid phases, respectively. The Langmuir model constant q_m represents the monolayer saturation capacity, while K_b is known as the Langmuir binding constant. The last is also known as the affinity constant and it is related to the capability of an adsorbent to attract the analyte from dilute solutions. This isotherm model is very important in adsorption and chromatography (Guiochon et al., 1994) because the model is thermodynamically consistent, and has good adaptability to different processes.

Nonlinear least square curve fitting was applied to fit the classical Langmuir equation to the equilibrium adsorption data of Ni(II) on PHEMA-PDA (**Fig. 5**), and the fitted model parameters were given in **Table 1**. As it is seen in the figure, the Langmuir model did not represent the experimental data of Ni(II) adequately, according to the regression coefficient ($r^2=0.917$). This behavior was probably because of the complex structure of PDA coating that such a multifunctional surface can interact with metal ions through different mechanisms. This argument was supported by the Scatchard plot analysis (Gezici et al., 2007; Scatchard, 1949) so that the data set was observed to be distributed on two different linear segments having negative slopes (**Fig. 6**). Each segment is attributed to different binding types having different affinities and capacities. Since both the segments are linear (at each respective concentration range) with a negative slope, for that segmented ranges, the Langmuir model adequately represents the data (but not for the whole studied concentration range).

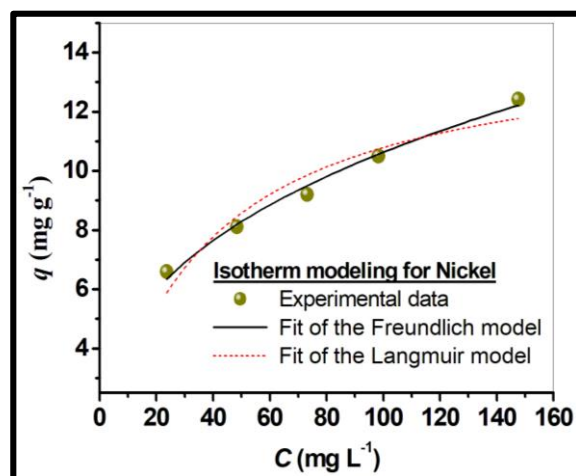


Fig. 5. The fit of the Langmuir and Freundlich models to the equilibrium adsorption data of Ni(II)

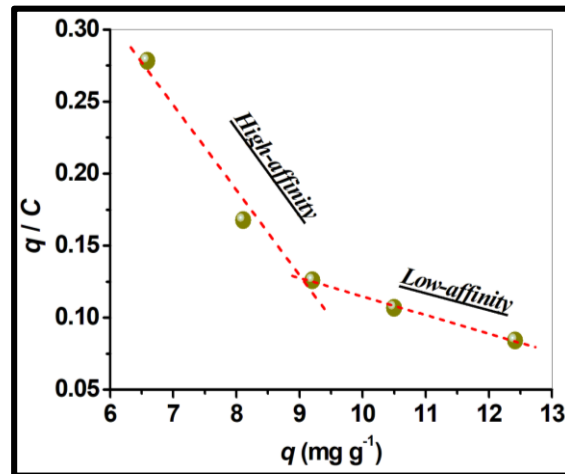


Fig. 6. The Scatchard plot for Ni(II)

The Freundlich model

Another nonlinear isotherm model is the Freundlich model (Freundlich, 1906). This empirical model, usually, exhibits good fit to the experimental data. The model distinguishes from the Langmuir model with respect to the theoretical saturation capacity so that in the Freundlich model there is no isotherm model parameter related to the maximum theoretical capacity. On the contrary to the Langmuir model, the Freundlich model considers binding sites having different energies on the adsorbent. Hence, one of the most important aspects of this model is reflected by the model parameter called “heterogeneity index, $1/n$ ”. When the heterogeneity index lies in the range of $0 < 1/n < 1$, the related adsorption process is accepted as a beneficial one for the studied experimental conditions (Ahmaruzzaman and Sharma, 2005; Ayar et al., 2008). The classical model equation is written as follows:

$$q = K_F C^{1/n} \quad (2)$$

where K_F is the isotherm model parameter that combines both affinity and capacity terms.

The Freundlich model exhibited a better fit compared to the Langmuir model (Fig. 5). As it was inferred from the Scatchard plot analysis, the presence of more than one type of binding sites indicates a nonhomogeneous energy distribution on the surface for the whole concentration range of Ni(II). This is, probably, the main reason why the Freundlich model, which accounts for non-uniform distribution of adsorption energy and affinity over the heterogeneous surfaces (Foo and Hameed, 2010), best represents the experimental data. The fitted model parameter, $1/n=0.36$, implies a beneficial process since it lies within the range $0 \leq 1/n \leq 1$.

The Temkin model

Despite some limitations of the Temkin model in liquid-solid interfaces (Foo and Hameed, 2010), it is, widely used to explain the adsorption from aqueous solutions. The model accounts for indirect adsorbate-adsorbent interactions as well as adsorbate-adsorbate repulsions and supplies some information about the way of adsorption (i.e. physical, chemical). The Temkin isotherm model (Temkin and Pyzhev, 1940) characterizes the adsorption process by a uniform distribution of binding energies up to some maximum values (Araújo et al., 2018; Pourfaraj et al., 2017). The isotherm model equation is given below:

$$q = \frac{RT}{b_T} \ln A_T + \frac{RT}{b_T} \ln C \quad (3)$$

where b_T is the Temkin constant representing the heat of adsorption (J mol^{-1}), A_T is the Temkin isotherm constant (L g^{-1}), R is the gas constant ($8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$), and T is the absolute temperature (K).

The Temkin model did not exhibit a good fit to the equilibrium adsorption data of Ni(II) (Fig. 7). Therefore, the repulsions between the adsorbates were thought not to be occurring in high degrees.

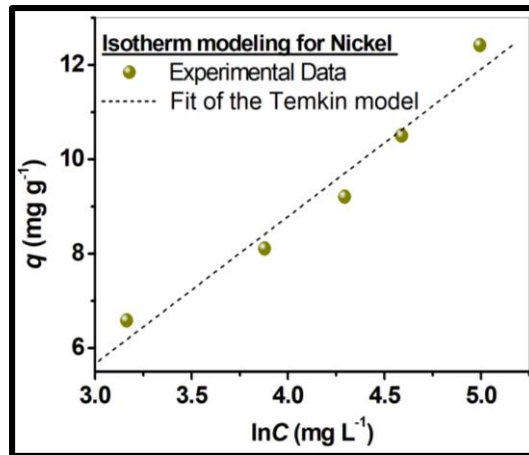


Fig. 7. The fit of the Temkin model to the equilibrium adsorption data of Ni(II)

As a conclusion, valuable information about the adsorption of Ni(II) onto PHEMA-PDA was gathered from the applied isotherm models. The nature of Ni(II) adsorption onto the studied monolithic adsorbent was thought to be a process which is mainly governed by more than one types of binding sites having different energies. Furthermore, adsorbate-adsorbate repulsions were concluded not to be important in the adsorption of Ni(II). Finally, the way of adsorption on PHEMA-PDA disks were understood to be different for Ni(II) and crystal violet (Beyazova and Gezici, 2018) as inferred from the adsorption isotherm models: The adsorption of crystal violet on PHEMA-PDA was found to be adequately represented by the Langmuir model, while the Freundlich model was found to be better in modeling the adsorption data of Ni(II).

Table 1. The fitted model parameters, and the goodness of model fits

Langmuir			Freundlich			Temkin		
q_m	K_b	r^2	$1/n$	K_F	r^2	A_T	b_T	r^2
(mg g^{-1})	(L mg^{-1})					(L g^{-1})	(kJ mol^{-1})	
<i>n.a.</i> ^a	<i>n.a.</i> ^a	0.9241	0.36 ± 0.02	2.04 ± 0.20	0.9901	<i>n.a.</i> ^a	<i>n.a.</i> ^a	0.9601

^a In the present study, the model fits having the regression coefficients less than 0.98 were evaluated as poor model fits and thus the fitted model parameters were, intentionally, not reported as they make no sense.

CONCLUSIONS

PDA dip-coating process was successfully applied to functionalize PHEMA disks. The equilibrium adsorption data of Ni(II) were modeled on the basis of the Langmuir, the Freundlich, and the Temkin models.

The new material exhibited its “heterogeneous face” in Ni(II) adsorption so that the adsorption data were only represented by the Freundlich model. The other two studied isotherm models were found not to be applicable for the examined concentration range. On the other side, more than one types of binding sites having different affinities (and thus energies) might take role in Ni(II) adsorption on PHEMA-PDA as inferred from the Scatchard transformation of the Langmuir model. Since the Temkin model showed a poor fit to the data, the adsorbate-adsorbate repulsions were thought not be at a

significant level for Ni(II), and thus the energy of adsorption was concluded not being one decreased linearly with the progress of adsorption.

As a conclusion, the adsorption behavior of Ni(II) on PHEMA-PDA was studied for the first time. As a generic character, Ni(II) adsorption on PHEMA-PDA was found to be a beneficial one as depicted from the Freundlich model. The ease of operation when performing the adsorption process with the disk form and little amount of chemicals used to prepare the disks make the proposed approach preferable in many adsorption processes. Thus, the PDA dip-coating process is suggested as a straightforward and an “elegant” process for the post-functionalization of monolithic materials like cryogels. Monolithic cryogels obtained by this process are promising materials in the adsorption of proteins, heavy metal ions, dyes, and etc. Hence, further studies are necessary to have a better understanding of the nature of adsorption on PDA-coated cryogels better.

ACKNOWLEDGMENT

Authors wish to thank Nigde Ömer Halisdemir University, and Karamanoglu Mehmetbey University for the facilities provided.

REFERENCES

- Ahmaruzzaman M, Sharma DK, 2005. Adsorption of phenols from wastewater. *Journal of Colloid and Interface Science*. 287(1): 14–24.
- An Y, Zheng H, Yu Z, Sun Y, Wang Y, et al., 2020. Functioned hollow glass microsphere as a self-floating adsorbent: Rapid and high-efficient removal of anionic dye. *Journal of Hazardous Materials*. 381: 120971.
- Araújo CST, Almeida ILS, Rezende HC, Marcionilio SMLO, Léon JJJ, de Matos TN, 2018. Elucidation of mechanism involved in adsorption of Pb(II) onto lobeira fruit (*Solanum lycocarpum*) using Langmuir, Freundlich and Temkin isotherms. *Microchemical Journal*. 137: 348–54.
- Ayar A, Gürsal S, Gürten AA, Gezici O, 2008. On the removal of some phenolic compounds from aqueous solutions by using a sporopollenin-based ligand-exchange fixed bed - Isotherm analysis. *Desalination*. 219(1–3): 160–70.
- Beyazova G, Gezici O, 2018. Dye Adsorption on Polydopamine-coated Monolithic Cryogel Disks. *International Marmara Science and Social Sciences Congress*, pp. 518–21
- Bişgin AT, 2019. Surfactant-Assisted Emulsification and Surfactant-Based Dispersive Liquid–Liquid Microextraction Method for Determination of Cu(II) in Food and Water Samples by Flame Atomic Absorption Spectrometry. *Journal of AOAC International*. 102(5): 1516–22.
- Chen B, Cao Y, Zhao H, Long F, Feng X, et al., 2020. A novel Fe³⁺-stabilized magnetic polydopamine composite for enhanced selective adsorption and separation of Methylene blue from complex wastewater. *Journal of Hazardous Materials*. 392: 122263.
- Chen L, Zeng R, Xiang L, Luo Z, Wang Y, 2012. Polydopamine-graft-PEG antifouling coating for quantitative analysis of food proteins by CE. *Analytical Methods*. 4(9): 2852–59.
- Chen Y, Chen Z, 2017. COF-1-modified magnetic nanoparticles for highly selective and efficient solid-phase microextraction of paclitaxel. *Talanta*. 165: 188–93.
- Dong Z, Gong H, Gao M, Zhu W, Sun X, et al., 2016. Polydopamine Nanoparticles as a Versatile Molecular Loading Platform to Enable Imaging-guided Cancer Combination Therapy. *Theranostics*. 6(7): 1031–42.
- Dreyer DR, Miller DJ, Freeman BD, Paul DR, Bielawski CW, 2012. Elucidating the structure of poly(dopamine). *Langmuir*. 28(15): 6428–35.
- Fang M, Zhang H, Chen J, Wang T, Liu J, et al., 2016. A facile approach to construct hierarchical dense membranes via polydopamine for enhanced polyethylene/nitrogen separation. *Journal of Membrane Science*. 499: 290–300.
- Foo KY, Hameed BH, 2010. Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal*. 156(1): 2–10.

- Freundlich HMF, 1906. Über die Adsorption in Lösungen. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*. 57: 385–470.
- Gezici O, Ayar A, 2009. Stepwise frontal analysis to derive equilibrium sorption data for copper and aniline on functionalized sporopollenin. *Clean - Soil, Air, Water*. 37(4–5): 349–54.
- Gezici O, Bayrakci M, 2015. Calixarene-engineered surfaces and separation science. *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*. 83(1–2): 1–18.
- Gezici O, Kara H, Ayar A, Topkafa M, 2007. Sorption behavior of Cu(II) ions on insolubilized humic acid under acidic conditions: An application of Scatchard plot analysis in evaluating the pH dependence of specific and nonspecific bindings. *Separation and Purification Technology*. 55(1): 132–39.
- Gezici O, Küçükosmanoğlu M, Ayar A, 2006. The adsorption behavior of crystal violet in functionalized sporopollenin-mediated column arrangements. *Journal of Colloid and Interface Science*. 304(2): 307–16.
- Guiochon G, Shirazi SG, Katti AM, 1994. *Fundamentals of Preparative and Nonlinear Chromatography*. Boston, MA: Academic Press.
- Güven I, Gezici O, Bayrakci M, Morbidelli M, 2018. Calixarene-immobilized monolithic cryogels for preparative protein chromatography. *Journal of Chromatography A*. 1558: 59–68.
- He K, Zeng G, Chen A, Huang Z, Peng M, et al., 2019. Graphene hybridized polydopamine-kaolin composite as effective adsorbent for methylene blue removal. *Composites Part B: Engineering*. 161: 141–49.
- Jinhao GAO, Hongwei GU, Bing XU, 2009. Multifunctional magnetic nanoparticles: design, synthesis, and biomedical applications. *Accounts of Chemical Research*. 42(8): 1097–1107.
- Langmuir I, 1916. The constitution and fundamental properties of solids and liquids. *Journal of the American Chemical Society*. 38: 2221–95.
- Lee H, Dellatore SM, Miller WM, Messersmith PB, 2007. Mussel-Inspired Surface Chemistry for Multifunctional Coatings. *Science*. 318(5849): 426–30.
- Lee H, Rho J, Messersmith PB, 2009. Facile conjugation of biomolecules onto surfaces via mussel adhesive protein inspired coatings. *Advanced Materials*. 21(4): 431–34.
- Li B, Liu W, Jiang Z, Dong X, Wang B, Zhong Y, 2009. Ultrathin and stable active layer of dense composite membrane enabled by poly(dopamine). *Langmuir*. 25(13): 7368–74.
- Li XL, Zhu LP, Jiang JH, Yi Z, Zhu BK, Xu YY, 2012. Hydrophilic nanofiltration membranes with self-polymerized and strongly-adhered polydopamine as separating layer. *Chinese Journal of Polymer Science (English Edition)*. 30(2): 152–63.
- Liang RP, Wang XN, Liu CM, Meng XY, Qiu JD, 2014. Facile preparation of protein stationary phase based on polydopamine/graphene oxide platform for chip-based open tubular capillary electrochromatography enantioseparation. *Journal of Chromatography A*. 1323: 135–42.
- Mu C, Zhang L, Zhang X, Zhong L, Li Y, 2020. Selective adsorption of Ag (I) from aqueous solutions using Chitosan/polydopamine@C@magnetic fly ash adsorbent beads. *Journal of Hazardous Materials*. 381: 120943.
- Noh JS, Schwarz JA, 1989. Estimation of the point of zero charge of simple oxides by mass titration. *Journal of Colloid and Interface Science*. 130(1): 157–64.
- Özkan AE, Güven I, Gezici O, 2018. Protein ion-exchange chromatography on a biomacromolecule-immobilized monolithic cryogel. *Turkish Journal of Chemistry*. 42(2): 355–70.
- Pan X, Zuo G, Su T, Cheng S, Gu Y, et al., 2019. Polycarboxylic magnetic polydopamine sub-microspheres for effective adsorption of malachite green. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 560: 106–13.
- Perçin I, Khalaf R, Brand B, Morbidelli M, Gezici O, 2015. Strong cation-exchange chromatography of proteins on a sulfoalkylated monolithic cryogel. *Journal of Chromatography A*. 1386: 13–21.
- Pourfaraj R, Fatemi SJ, Kazemi SY, Biparva P, 2017. Synthesis of hexagonal mesoporous MgAl LDH nanoplatelets adsorbent for the effective adsorption of Brilliant Yellow. *Journal of Colloid and Interface Science*. 508: 65–74.
- Reymond J., Kolenda F, 1999. Estimation of the point of zero charge of simple and mixed oxides by mass titration. *Powder Technology*. 103(1): 30–36.

- Scatchard G, 1949. The Attractions of Proteins for Small Molecules and Ions. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 51(4): 660–72.
- Schwarz J., Driscoll C., Bhanot A., 1984. The zero point of charge of silica—alumina oxide suspensions. *Journal of Colloid and Interface Science*. 97(1): 55–61.
- Sun Z, Zhao L, Liu C, Zhen Y, Ma J, 2020. Fast adsorption of BPA with high capacity based on π - π electron donor-acceptor and hydrophobicity mechanism using an in-situ sp² C dominant N-doped carbon. *Chemical Engineering Journal*. 381: 122510.
- Tang J, Song Y, Zhao F, Spinney S, da Silva Bernardes J, Tam KC, 2019. Compressible cellulose nanofibril (CNF) based aerogels produced via a bio-inspired strategy for heavy metal ion and dye removal. *Carbohydrate Polymers*. 208: 404–12.
- Tempkin MJ, Pyzhev V, 1940. Recent modification to Langmuir isotherms. *Acta Physiochem. USSR*. 12: 217–25.
- Waite JH, 2008. Mussel power. *Nature Materials*. 7(1): 8–9.
- Wang H, Wang Z, Yue R, Gao F, Ren R, et al., 2020. Rapid preparation of adsorbent based on mussel inspired chemistry and simultaneous removal of heavy metal ions in water. *Chemical Engineering Journal*. 383: 123107.
- Wang Y, Ma X, Ding C, Jia L, 2015. pH-responsive deoxyribonucleic acid capture/release by polydopamine functionalized magnetic nanoparticles. *Analytica chimica acta*. 862: 33–40.
- Wang Y, Wang S, Niu H, Ma Y, Zeng T, et al., 2013. Preparation of polydopamine coated Fe₃O₄ nanoparticles and their application for enrichment of polycyclic aromatic hydrocarbons from environmental water samples. *Journal of Chromatography A*. 1283: 20–26.
- Wu M, Yuan J, Wu H, Su Y, Yang H, et al., 2019. Ultrathin nanofiltration membrane with polydopamine-covalent organic framework interlayer for enhanced permeability and structural stability. *Journal of Membrane Science*. 576: 131–41.
- Xiao X, Wang W, Chen J, Jia L, 2015. Polydopamine-coated open tubular column for the separation of proteins by capillary electrochromatography. *Journal of Separation Science*. 38(16): 2893–99.
- Yin Y, Yan L, Zhang Z, Wang J, 2015. Magnetic molecularly imprinted polydopamine nanolayer on multiwalled carbon nanotubes surface for protein capture. *Talanta*. 144: 671–79.
- Yu Y, Shapter JG, Popelka-Filcoff R, Bennett JW, Ellis A V., 2014. Copper removal using bio-inspired polydopamine coated natural zeolites. *Journal of Hazardous Materials*. 273: 174–82.
- Zeng R, Luo Z, Zhou D, Cao F, Wang Y, 2010. A novel PEG coating immobilized onto capillary through polydopamine coating for separation of proteins in CE. *Electrophoresis*. 31(19): 3334–41.
- Zhan W, Gao L, Fu X, Siyal SH, Sui G, Yang X, 2019. Green synthesis of amino-functionalized carbon nanotube-graphene hybrid aerogels for high performance heavy metal ions removal. *Applied Surface Science*. 467–468: 1122–33.
- Zhang H, Yang F-Q, 2019. Applications of polydopamine modifications in capillary electrophoretic analysis. *Journal of Separation Science*. 42(1): 342–59.

Synthesis and Characterization of Poly(ϵ -caprolactone-b-Styrene) Block Copolymer by Ring-Opening Polymerization and Reversible Addition-Fragmentation Chain Transfer Polymerization

Bedrettin SAVAŞ^{1*}, Temel ÖZTÜRK²

ABSTRACT: The synthesis of the block copolymer was carried out using the RAFT polymerization technique and the ring-opening polymerization (ROP) technique using a novel two functional initiator (RAFT-ROP agent). For this purpose, RAFT-ROP agent was obtained using 5-bromo-2-hydroxybenzaldehyde and potassium salt of ethyl xanthogenate. RAFT-macro agent was synthesized by ROP of ϵ -caprolactone (CL) with RAFT-ROP agent. Then, poly(ϵ -caprolactone-b-styrene) block copolymer was synthesized using RAFT polymerization in the presence of RAFT-macro agent using styrene. The products were characterized using GPC, FT-IR and ¹H-NMR analyses. Decomposition temperatures of the block copolymer were monitored by TGA method. Spectroscopic and thermal analyses revealed that the reactions were successfully carried out.

Keywords: Novel Two Functional Initiator; RAFT-Macro Agent; Block Copolymer; RAFT Polymerization; Ring-Opening Polymerization (ROP).

¹ Bedrettin SAVAŞ (Orcid ID: 0000-0002-6620-5493, Kafkas University, Kars Vocational School, Kars, Turkey

² Temel ÖZTÜRK (Orcid ID: 0000-0002-7856-9809), Giresun University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Chemistry, Giresun, Turkey

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Bedrettin SAVAŞ. e-mail: bdrtn.svs.36@gmail.com

Geliş tarihi / Received: 10/02/2020

Kabul tarihi / Accepted: 26/03/2020

INTRODUCTION

Recently, complex-structured macromolecules, in which the polymer chain end functionality and the block and graft chain fragment are arranged, are highly synthesized starting from controlled polymerization processes (Nomura and Abdellatif 2010; Cai, Li et al., 2012; Chang and Dong 2013). Multipurpose polymer chains are combined in the desired polymer architecture. Block copolymers have attracted great attention in many areas. These areas are surfactants, adhesive, thermoplastic elastomers, dispersants, etc. (Matzner, Noshay et al., 1977; Price and Goodman 1982). RAFT polymerization technique is the latest development of the controlled free-radical polymerization method. And this method is a powerful technique for macromolecular synthesis (Chiefari, Chong et al., 1998; Patton, Mullings, et al., 2005; Yang, Chai et al., 2011; Öztürk, Atalar et al., 2013; Robin, Wilson et al., 2013; Schmidt and Barner-Kowollik, 2013; Bağlan et al., 2018). The usefulness of the method has been demonstrated by its compatibility with many various monomers and reaction conditions (Xie, Dang et al., 2008). Reversible chain transfer contains homolytic replacement, addition breakup, or another transfer techniques (Kartal et al., 2014). Graft and block copolymers are used in both theoretical research and technological applications (Ruzette and Leibler 2005; Ozturk, Yilmaz et al., 2008; Öztürk, Göktaş et al., 2010; Noshay and McGrath 2013; Göktaş, Öztürk et al., 2014; Öztürk, Göktaş et al., 2014; Çakmak et al., 2017). Lactones show special properties such as biocompatibility, good mechanical properties, biodegradability, and no toxicity. Therefore, ring-opening polymerization (ROP) of lactones is of great interest (Gross, Kumar et al., 2001; Kobayashi, Uyama et al., 2001; Cretu, Gattin et al., 2004; Öztürk et al., 2019).

This study shows the synthesis of poly(ϵ -caprolactone-*b*-styrene) [poly(CL-*b*-St)] block copolymer by using ROP and RAFT polymerization. For this purpose, a novel two functional initiator (RAFT-ROP agent) was obtained using 5-bromo-2-hydroxybenzaldehyde and potassium salt of ethyl xanthogenate. Then, RAFT-macro agent was synthesized by ROP of ϵ -caprolactone (CL) with RAFT-ROP agent. RAFT-macro agent and styrene (St) were used to obtain poly(CL-*b*-St) block copolymer by RAFT polymerization. Characterization of block copolymer was done in detail.

MATERIALS AND METHODS

Materials

5-bromo-2-hydroxybenzaldehyde, 2,2'-azobis(2-methylpropionitrile) (AIBN), potassium ethyl xanthogenate, St, and CL were supplied by Merck. Methanol, N,N-dimethylformamide (DMF), tetrahydrofuran (THF), toluene and stannous octoate [Sn(Oct)₂] were received from Sigma-Aldrich. Sn(Oct)₂ was used as a catalyst for ROP. The alumina column was used to send away inhibitors from St. The other chemicals were used without further purifications.

Instrumentation

The number of molecular weight (M_n), molecular weight (M_w) and dispersity values were evaluated with the GPC-Shimadzu (RID-10A GPC) / HPLC device with THF mobile phase of 40 °C. ¹H-NMR peaks were found on Bruker UltraShield Plus instrument using NMR 400 spectrometer. FT-IR spectra were recorded by (IR 6600 FT-IR) / Jasco FT brand device. TGA values were obtained by (Exstar 6000) Seiko II model device. The product was heated from 30 °C to 800 °C under N₂, changing at 10 °C per minute.

Synthesis of novel two functional initiator (RAFT-ROP agent)

A 250 mL flask was mixed with 30 mL of THF, 1.004 g of 5-bromo-2-hydroxybenzaldehyde, 1.612 g of potassium ethyl xanthogenate, respectively. The flask containing the mixture was placed on a magnetic stirrer in an oil bath at 30 °C. After 72 hours, the content was filtered to remove the unreacted salts. The solvent partially removed. The residue was precipitated in cold diethyl ether and petroleum ether [1(v)/1(v)]. The mixture was kept in a refrigerator overnight. After decantation, RAFT-ROP agent was dried in a vacuum oven at room temperature for 48 hours. RAFT-ROP agent yield was determined gravimetrically.

Synthesis of RAFT-macro agent by ROP

0.192 g of Sn(Oct)₂, 0.320 g of RAFT-ROP agent, 15.093 g of CL, and 10 mL of DMF were placed in a 250 mL glass flask, respectively. Argon gas was passed through for 5 minutes to obtain inert medium. After the glass vial was capped, the flask was stirred in an oil bath for 72 hours at 110 °C. The mixture was cooled to room temperature and then poured into excess methanol. After decantation, RAFT-macro agent was dried in a vacuum oven at room temperature for 24 hours. The product yield was defined gravimetrically.

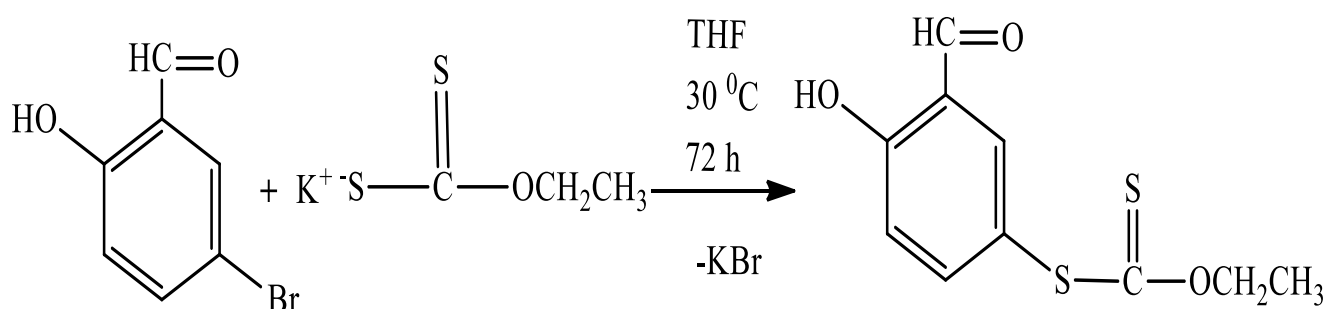
Synthesis of poly(CL-*b*-St) block copolymer by RAFT polymerization

0.109 g of RAFT-macro agent, 2.010 g of St, 0.001 g of AIBN, and 2 mL of toluene were placed in a 250 mL glass flask, respectively. Argon gas was passed through for 5 minutes to obtain inert medium. The flask was placed on a magnetic stirrer in an oil bath at 90 °C. After 24 hours, poly (CL-*b*-St) block copolymer was poured into excess methanol. The precipitated copolymer was dried in a vacuum oven at room temperature for 48 hours. The copolymer yield was defined gravimetrically.

RESULTS AND DISCUSSION

Synthesis of RAFT-ROP agent

RAFT-ROP agent was obtained by reaction of 5-bromo-2-hydroxybenzaldehyde and potassium ethyl xanthogenate. The yield was obtained with a 42.99 wt %. The chemical synthesis mechanism of RAFT-ROP agent was shown in Scheme 1.

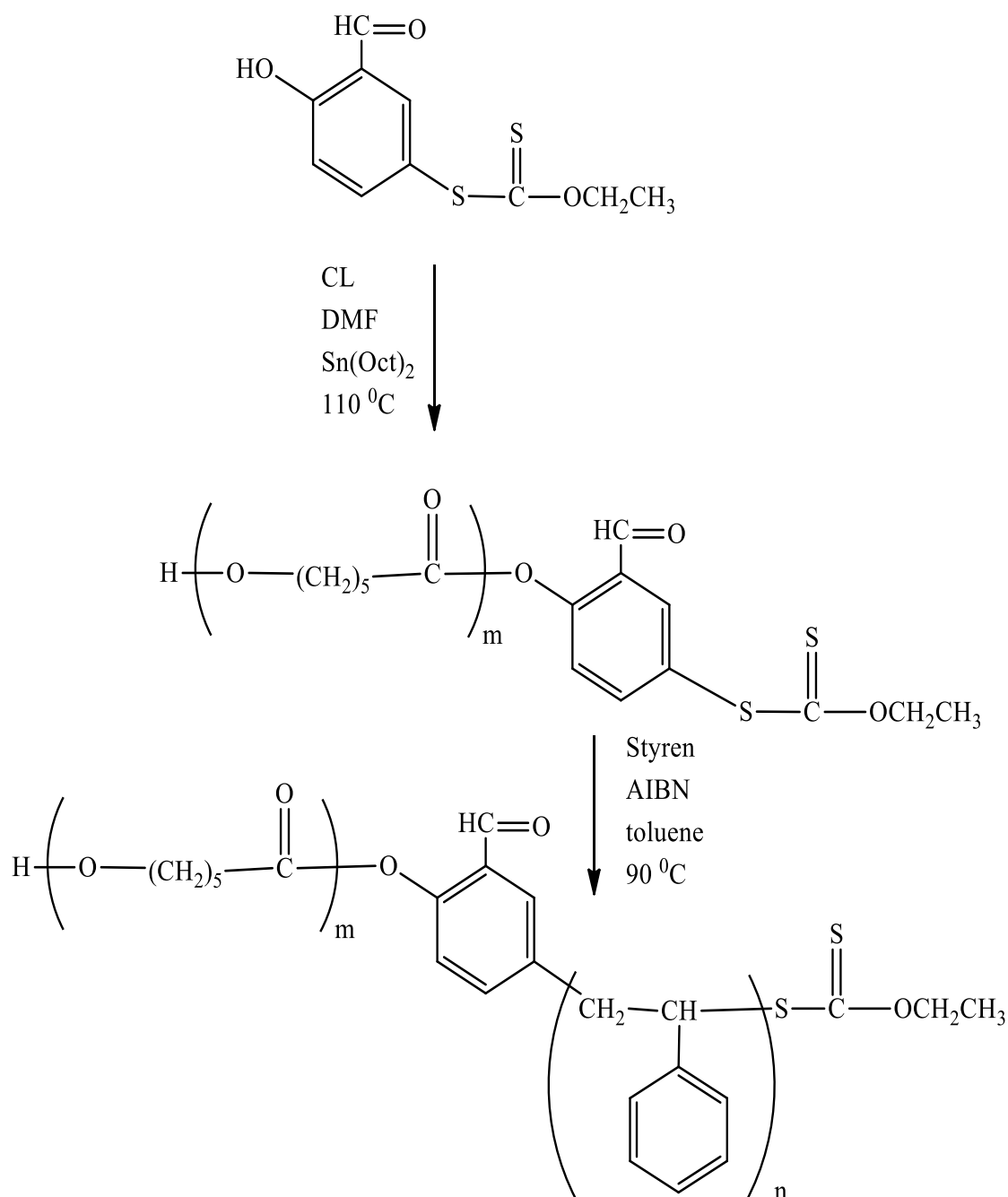


Scheme 1. The mechanism of RAFT-ROP agent.

Synthesis of RAFT-macro agent

RAFT-macro agent was synthesized by reaction of RAFT-ROP agent and CL via ROP. Scheme 2 (first line and second line) shows the synthesis route for the RAFT-macro agent. The yield of RAFT-macro agent was 41.90 wt %. M_n ,GPC value of RAFT-macro agent was 7.507 g.mol⁻¹. Dispersity value

of RAFT-macro agent was 1.20. The $^1\text{H-NMR}$ spectrum of RAFT-macro agent in Figure 1(a) displayed peaks at 1.2 ppm for $-\text{CH}_3$ of ethyl xanthogenate unit, 1.6 ppm for $-\text{CH}_2$ of PCL unit, 2.3 ppm for $-\text{CH}_2$ linked carbonyl group of PCL unit, 3.4 ppm $-\text{OH}$ of PCL unit, 3.6 ppm for $-\text{OCH}_2$ of ethyl xanthogenate unit, 4.0 ppm for $-\text{OCH}_2$ of PCL unit, 7.8 ppm and 7.9 ppm for aromatic $-\text{CH}$, 8.2 ppm for $-\text{HC}=\text{O}$. The FT-IR spectrum of RAFT-macro agent in Figure 2(a) indicated signals at 2944 and 2900 cm^{-1} for aliphatic $-\text{CH}_3$ and $-\text{CH}_2$, 1720 cm^{-1} for $\text{C}=\text{O}$, 1174 cm^{-1} for $-\text{OC}$, 1107 cm^{-1} for $-\text{SC}$.



Scheme 2. Reaction outlines for syntheses of RAFT-macro agent and poly(CL-*b*-St) block copolymer.

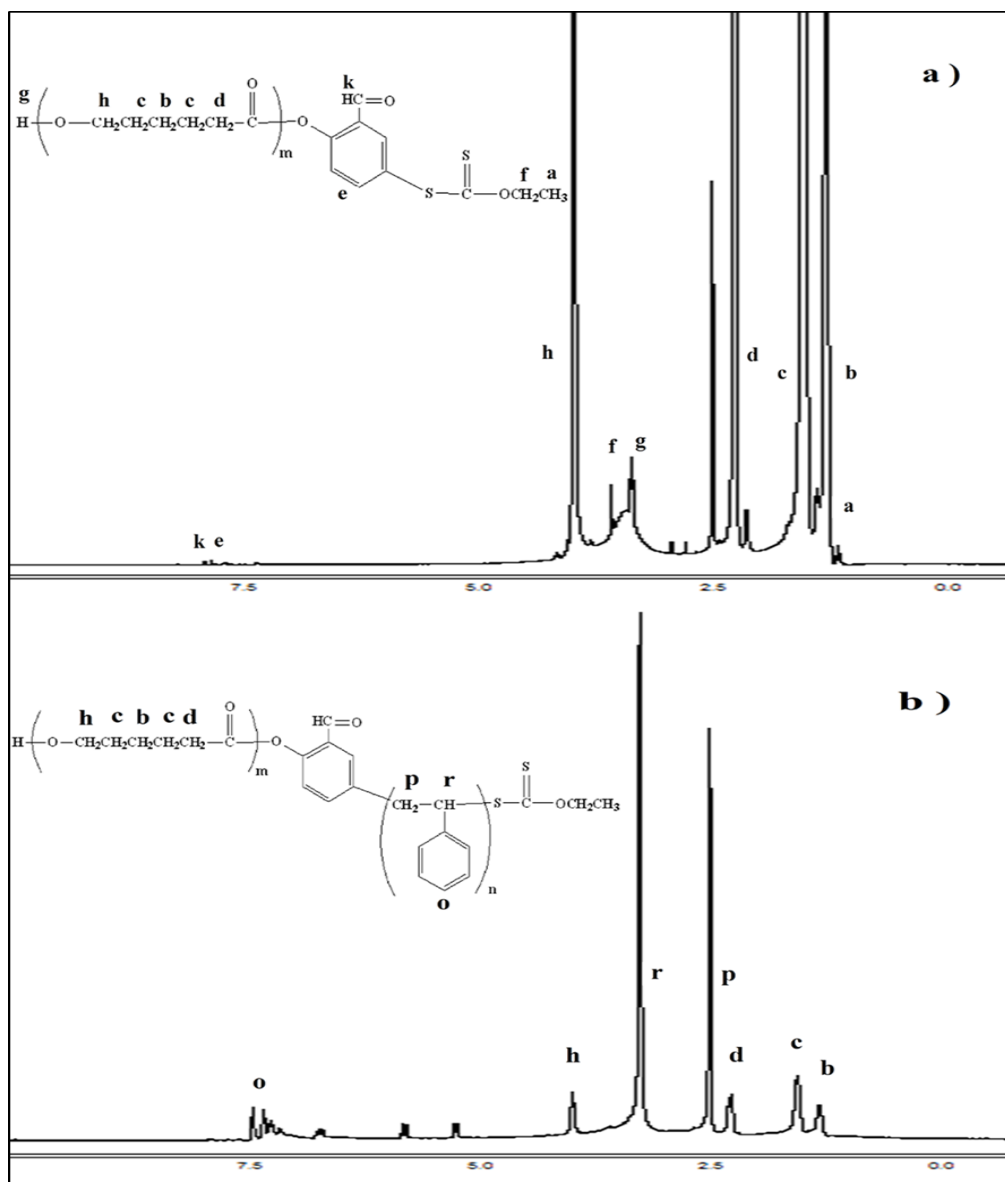


Figure 1. ¹H-NMR spectra of (a) RAFT-macro agent; (b) poly(CL-*b*-St) block copolymer.

Synthesis of poly(CL-*b*-St) block copolymer

Poly(CL-*b*-St) block copolymer was synthesized by RAFT polymerization of RAFT-macro agent and St at 90 °C. Scheme 2 (second line and third line) indicates the synthesis route for the block copolymer. The block copolymer yield was 52 wt %. M_n ,GPC of poly(CL-*b*-St) block copolymer was 66,683 g.mol⁻¹. Dispersity value of the block copolymer was 2.70. Increases in the molecular weight of poly(CL-*b*-St) block copolymer as compared with the molecular weight of RAFT-macro agent was proved the production of the block copolymer. The ¹H-NMR spectrum of the copolymer in Figure 1(b) displayed peaks at 1.6 ppm for -CH₂ of PCL unit, 2.3 ppm for -CH₂ linked carbonyl group of PCL unit, 2.5 ppm for -CH₂ of PS unit, 3.3 ppm for -CH of PS unit, 4.0 ppm for -OCH₂ of PCL unit, 7.3 ppm and 7.5 ppm for aromatic -CH of PS unit. The FT-IR spectrum of the copolymer in Figure 2(b) indicated signals at 3025 cm⁻¹ for aromatic -CH, 2920 and 2860 cm⁻¹ for aliphatic -CH₃, -CH₂ and -CH, 1720 cm⁻¹ for C=O, 1490 cm⁻¹ for aromatic -C=C, 1190 cm⁻¹ for -OC, 1070 cm⁻¹ for -SC.

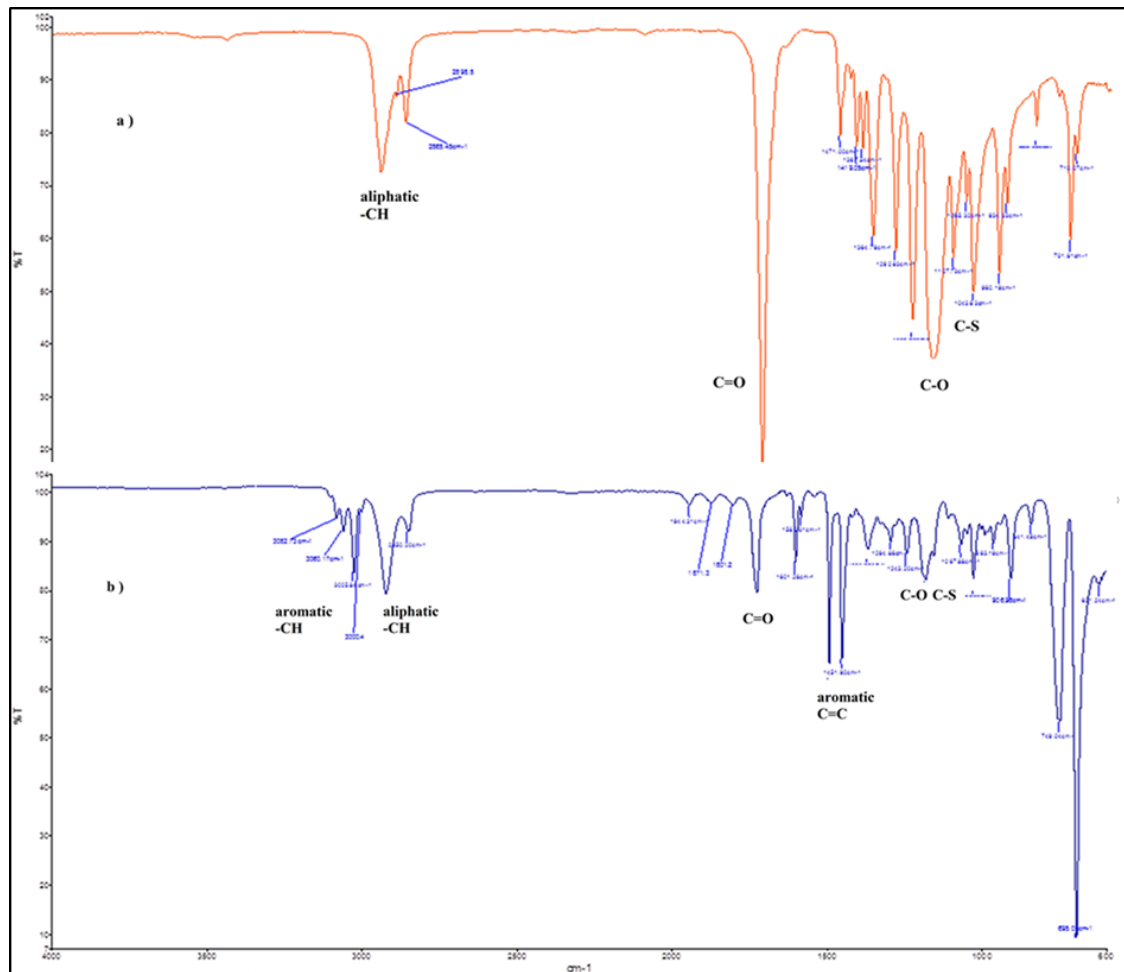


Figure 2. FT-IR spectra of (a) RAFT-macro agent; (b) poly(CL-*b*-St) block copolymer.

Thermal properties of poly(CL-*b*-St) block copolymer were shown by TGA method. When the TGA curves of the poly (CL-*b*-St) block copolymer are examined, it is seen that the degradation starts from 300 °C to 450 °C and the maximum degradation is at 418 °C as shown Figure 4. In the poly(CL-*b*-St) block copolymer, the PCL and PS units do not have separate decomposition temperature (T_d) values. A single T_d value of the block copolymer can show a high level of compatibility of the block copolymer in the amorphous regions of the PCL and PS.

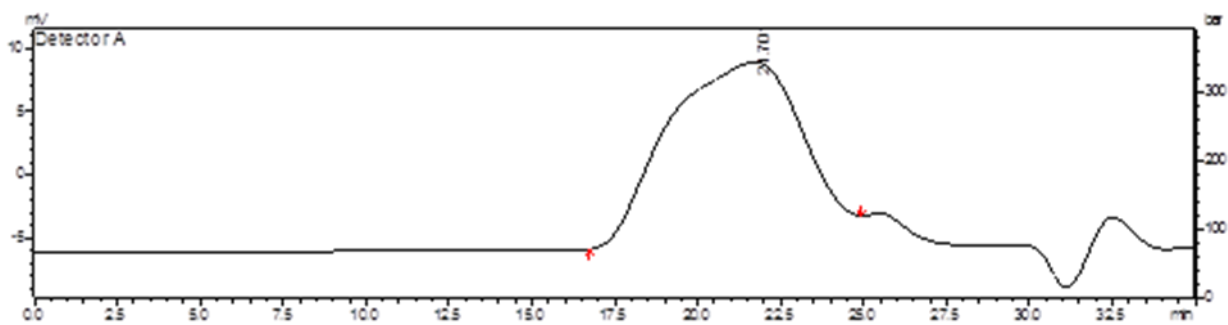


Figure 3. GPC curve of poly(CL-*b*-St) block copolymer.

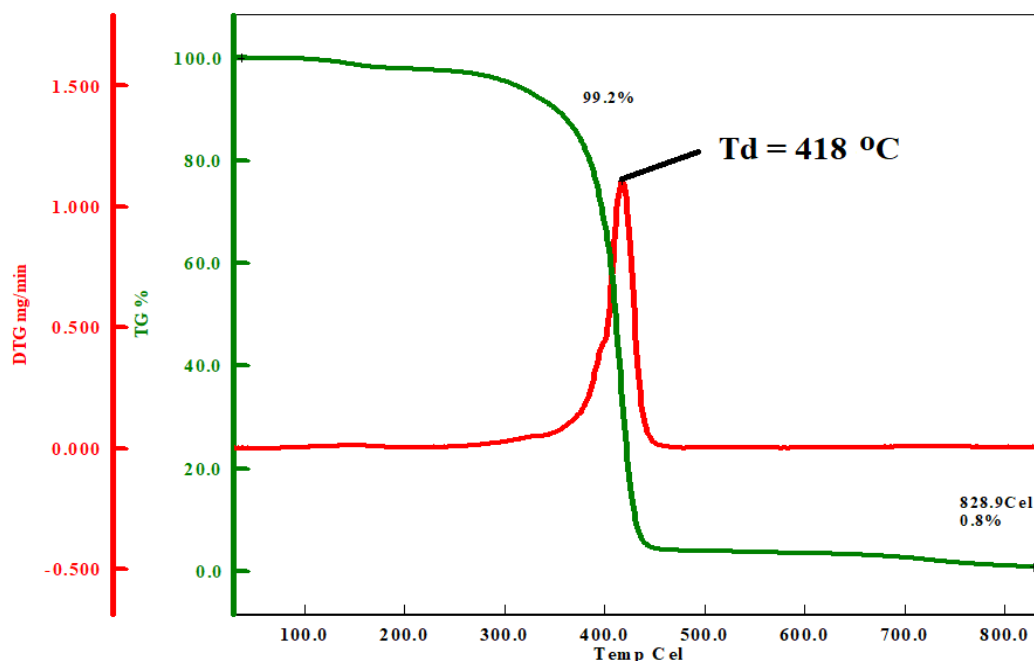


Figure 4. TGA curve of poly(CL-*b*-St) block copolymer.

CONCLUSIONS

Synthesis of poly(CL-*b*-St) block copolymer was performed with RAFT and ROP. The block copolymer was obtained with relatively high molecular weight. The method is simple and effective for synthesis of block copolymer. This study showed that the materials obtained with the synergistic combination of PCL and PS can be used in areas with wide technological application potential.

REFERENCES

- Bağlan M, Yildiko, U, Cakmak, I, Tekeş, AT. (2018). Synthesis of PMMA-*b*-PEG-*b*-PMMA by controlled Polymerization Using Macro-RAFT Agents. *Journal of the Institute of Science and Technology* 8(3): 243-254.
- Cai T, Li M, Neoh KG, Kang ET. 2012. Preparation of stimuli responsive polycaprolactone membranes of controllable porous morphology via combined atom transfer radical polymerization, ring-opening polymerization and thiol-yne click chemistry. *Journal of Materials Chemistry* 22(32): 16248-16258.
- Chang X, Dong CM. 2013. Synthesis of hyperbranched polypeptide and PEO block copolymer by consecutive thiol-yne chemistry. *Biomacromolecules* 14(9): 3329-3337.
- Chiefari J, Chong Y, Ercole F, Krstina J, Jeffery J, Le TP, Mayadunne RT, Meijs GF, Moad CL, Moad G. 1998. Living free-radical polymerization by reversible addition-fragmentation chain transfer: the RAFT process. *Macromolecules* 31(16): 5559-5562.
- Cretu A, Gattin R, Brachais L, Barbier-Baudry D. 2004. Synthesis and degradation of poly(2-hydroxyethyl methacrylate)-graft-poly(ϵ -caprolactone) copolymers. *Polymer Degradation and Stability* 83(3): 399-404.
- Çakmak İ, Öztürk, T, Yildiko, Ü, Yörük, A. (2017). Synthesis of poly[ϵ -caprolacton-*b*-epichlorohydrin-*b*- ϵ -caprolactone]-*g*-poly(styrene) Block-Graft Copolymers via Cationic Ring Opening and Atom Transfer Radical Polymerization Transformations. *Journal of the Institute of Science and Technology* 7(3): 161-169.
- Göktaş M, Öztürk T, Atalar MN, Tekeş AT, Hazer B. 2014. One-step synthesis of triblock copolymers via simultaneous reversible-addition fragmentation chain transfer (RAFT) and ring-opening polymerization using a novel difunctional macro-RAFT agent based on polyethylene glycol. *Journal of Macromolecular Science, Part A* 51(11): 854-863.

- Gross RA, Kumar A, Kalra B. 2001. Polymer synthesis by in vitro enzyme catalysis. *Chemical Reviews* 101(7): 2097-2124.
- Kartal B, Yildiko, U, Ozturk, S, Ata, AC, Cakmak, I. (2014). Study of Solution Polymerization of Styrene in the Presence of Poly(ethylene glycol)-RAFT Agents Possessing Benzoyl Xanthate Derivatives. *Journal of Macromolecular Science, Part A* 51(12): 990-998.
- Kobayashi S, Uyama H, Kimura S. 2001. Enzymatic Polymerization. *Chemical Reviews* 101(12): 3793-3818.
- Matzner M, Noshay A, McGrath J. 1977. Effect of Hard Segment Chemical Structure on the Processibility of Organo-Siloxane Block Copolymers. *Transactions of the Society of Rheology* 21(2): 273-290.
- Nomura K, Abdellatif MM. 2010. Precise synthesis of polymers containing functional end groups by living ring-opening metathesis polymerization (ROMP): Efficient tools for synthesis of block/graft copolymers. *Polymer* 51(9): 1861-1881.
- Noshay A, McGrath JE. 2013. *Block Copolymers: Overview and Critical Survey*, Elsevier.
- Öztürk, T, Yılmaz SS, Hazer B. 2008. Synthesis of a new macroperoxy initiator with methyl methacrylate and *t*-butyl peroxy ester by atom transfer radical polymerization and copolymerization with conventional vinyl monomers. *Journal of Macromolecular Science, Part A* 45(10): 811-820.
- Öztürk, T, Atalar MN, Göktaş M, Hazer B. 2013. One-step synthesis of block-graft copolymers via simultaneous reversible-addition fragmentation chain transfer and ring-opening polymerization using a novel macroinitiator. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry* 51(12): 2651-2659.
- Öztürk T, Göktaş M, Hazer B, 2010. One-step synthesis of triarm block copolymers via simultaneous reversible-addition fragmentation chain transfer and ring-opening polymerization. *Journal of Applied Polymer Science* 117(3): 1638-1645.
- Öztürk T, Göktaş M, Savaş B, Işıklar M, Atalar MN, Hazer B. 2014. Synthesis and characterization of poly(vinyl chloride-graft-2-vinylpyridine) graft copolymers using a novel macroinitiator by reversible addition-fragmentation chain transfer polymerization. *e-Polymers* 14(1): 27-34.
- Öztürk S, Çakmak, İ, Tekeş, AT, Yildiko, Ü. (2019). Synthesis and Characterization of Poly (lactic acid-*b*- ϵ -caprolactone) Block Copolymers. *Journal of the Institute of Science and Technology* 9(2): 1035-1045.
- Patton DL, Mullings M, Fulghum T, Advincula RC. 2005. A facile synthesis route to thiol-functionalized α , ω -telechelic polymers via reversible addition fragmentation chain transfer polymerization. *Macromolecules* 38(20): 8597-8602.
- Price C, Goodman I. 1982. *Developments in Block Copolymers*. Elsevier Applied Science, London.
- Robin MP, Wilson P, Mabire AB, Kiviaho JK, Raymond JE, Haddleton DM, Reilly RKO. 2013. Conjugation-induced fluorescent labeling of proteins and polymers using dithiomaleimides. *Journal of the American Chemical Society* 135(8): 2875-2878.
- Ruzette AV, Leibler L. 2005. Block Copolymers in Tomorrow's Plastics. *Nature Materials* 4(1): 19-31.
- Schmidt BVKJ, Barner-Kowollik C. 2013. *Polymer Chemistry: Macromolecules Made to Order*. *Nature Chemistry* 5(12): 990-992.
- Xie M, Dang J, Han H, Wang W, Liu J, He X, Zhang Y. 2008. Well-defined brush copolymers with high grafting density of amphiphilic side chains by combination of ROP, ROMP, and ATRP. *Macromolecules* 41(23): 9004-9010.
- Yang G, Chai Y, Zhang P. 2011. Synthesis of PMMA-*b*-PS by RAFT Mini-emulsion Polymerization and their Self-Assembly. *Journal of Polymer Materials* 28(4): 517-523.

Synthesis and Spectroscopic Properties of Optical Probe Based on Schiff Base with Biological Application

Mevlüt BAYRAKCI^{1*}, Bahar YILMAZ²

ABSTRACT: A series of facile optical probe has been easily developed by a one-step Schiff base type reaction of 2,4-dihydroxybenzaldehyde and *ortho*, *meta* or *para* aminophenol. Schiff base compounds as fluorescence sensor were utilized to identify metal ions by spectrophotometric techniques. The data of absorption and emission spectra displayed the extraordinary selective and sensitive sensor properties for Schiff base probe derived from *ortho* aminophenol (**SB-2**) toward Al³⁺ ions. Upon introducing Al³⁺ ions, an excellent increase in the fluorescence intensity of the probe (**SB-2**) resulting in color change was observed because of blocking the photoinduced electron transfer (PET) mechanism of azomethine unit. The specific bonding mode of probe (**SB-2**) with Al³⁺ was verified by using a series of spectroscopic techniques such as FT-IR, ¹H NMR, and UV-vis (Job-plot data). The detection limit of probe (**SB-2**) toward Al³⁺ was determined around 10⁻⁷M. Furthermore, cell imaging studies of probe (**SB-2**) were also performed and from these experiments, it was seen that the presence of even trace amounts of Al³⁺ in living cells could be noticeably detected by (**SB-2**). In this study, antimicrobial properties of Schiff base compounds were also carried out towards some selected bacteria species. This presented work provides a method for design, facile synthesis and application of effective fluorescence probes toward Al³⁺ ions in biological systems.

Keywords: Schiff base; Aluminum; Fluorescence; Cell imagine; Anti-bacterial

¹Mevlüt BAYRAKCI (Orcid ID: 0000-0002-0416-2870), Bahar YILMAZ (Orcid ID: 0000-0002-6315-3018) Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Karaman/Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Mevlut BAYRAKCI, mevlutbayrakci@gmail.com, mbayrakci@kmu.edu.tr

Geliş tarihi / Received: 23-01-2020

Kabul tarihi / Accepted: 21-04-2020

INTRODUCTION

Aluminum is the third most abundant metal in the earth's crust and extensively used as raw material after iron in a wide range of heavy industry such as electric and electronic, information technology, cosmetic manufacturing, textile, building trade, medicine and environmental protections (Zhu et al., 2016; Lacowicz, 2002; Soni et al., 2001). Furthermore, aluminum has also an important role in biological applications system as biological transformation and enzyme-catalyzed reactions (Baxter et al., 2008). Recently, a large of medical research has been showed that using of excess amount of aluminum is harmful to human health and it causes some serious diseases such as osteoporosis, Parkinson's, osteomalacia and Alzheimer's (Walton, 2006; Altschuler, 1999; Sun et al., 2016; Gupta et al., 2012) and its level of concentration has a direct effect on human health. Therefore, the detection of aluminium is of great importance due to its potential hazard. However, the detection of aluminium ions have some complications because of the lack of spectroscopic identification, the strong hydration and poor coordination ability. Nevertheless, several analytical methods such as voltammetry, atomic-absorption spectroscopy (AAS), inductively coupled plasma emission spectrometry (ICP-AES), and potentiometric and spectrophotometric sensors have been used for low level detection of aluminum ions (Gupta et al., 2015; Shoora et al., 2015; Dillen et al., 1999). However, they have some limitations such as low selectivity, sophisticated expensive instruments, and longer period of response time in usage of these methods (Kim et al., 2012; Gupta et al., 2015). Among these techniques, the fluorescent method has most popular technique to determine the ionic species and have some advantages over other sophisticated analytical methods owing to its simplicity, low-cost analysis, high selectivity and sensitivity, naked-eye detection (Simona et al., 2016; Zhong et al., 2016). Thus, a more selective, sensitive and facile chemosensor is required to be synthesized and developed in medicinal, biological, and environmental applications with greater attention. For example, antibacterial activity is one of the most important topic in medicinal applications. In this field, Schiff base based molecules are extensively investigated with and without metal ions and some literature results reported that imine (C=N) modified molecules shows good antibacterial activities against many kinds of bacteria (Wang et al., 2011). The basic problem in the antibacterial treatment is to increase of microorganism resistance toward available drugs. Nitrofurantoin or Nifuroxazide, are example of Schiff base derivatives and these molecules are commonly applied in medicine as antibacterial agents (Sztanke et al., 2013). Although very limited literature study has been reported, some of them are still in progress. Therefore, the development of novel Schiff base type of organic compounds as a potential drug molecule is the center of some researches.

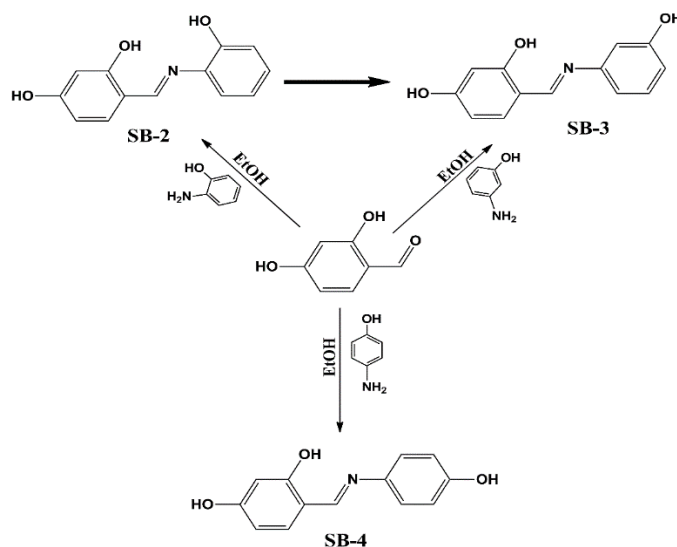
In the last decades, design and synthesis of high selective and sensitive fluorescent chemosensors have attracted great interest from current researchers due to the possible applications in different fields such as environmental, clinic and medicine (Santos-Figueroa et al., 2013; Janakipriya et al., 2016; Jeyanthi et al., 2013). To date, a limited number of chemosensor based Schiff base have been presented in literature for the detection of aluminum ions (Tian et al., 2015). The basic reason for the lesser development of aluminium chemosensors is owing to the poor coordination ability of aluminium with respect to the transition metal ions (Soroka et al., 1987). Based on this knowledge, herein, a series of Schiff base chemosensors **SB-2**, **SB-3** and **SB-4** which show an excellent selective and sensitive fluorescence enhancement response to Al^{3+} ions have been synthesized by Schiff-base condensation reaction from the corresponding *ortho*, *meta* and *para* aminophenol and 2,4-dihydroxybenzaldehyde as outlined in Scheme 1 and characterized by different spectroscopic techniques. To see the usability of these Schiff base derivatives as both potential antibacterial drug toward some selected bacteria and

potential chemosensor for aluminum imagine in living cell line, some biological experiments such as antibacterial tests based disc diffusion and cell applications were also performed.

MATERIALS AND METHODS

General

2,4-dihydroxybenzaldehyde, *ortho*, *meta* and *para* aminophenol m-phenylenediamine and all the metal salts were of analytical grade and purchased from Sigma-Aldrich or Merck and was further used without any purification. ^1H NMR spectra was generated by Agilent Premium Compact spectrometer operating at 600 MHz. Bruker Vertex FT-IR spectrometer (ATR) was used for FT-IR spectra. UV-vis absorbance spectra were collected by a Shimadzu UV-1800 and the fluorescence measurements were recorded on Hitachi F-7100. Aqueous solutions were deionized through a Millipore Milli-Q Plus water purification system.



Scheme 1. Synthetic illustration for the preparation of optical probes based Schiff base

Synthesis of Schiff bases (SB-2, SB-3 and SB-4)

Schiff bases (SB-2, SB-3 and SB-4) were synthesized by following modified literature procedure (Gupta et al., 2015; Murtaza et al., 2016). Briefly, to a stirred solution of corresponding *ortho*, *meta* or *para* aminophenol compounds (1.5 mmol) in 20 mL absolute ethanol (for **SB-2**, **SB-3** and **SB-4**, respectively) was added 1.5 mmol of 2,4-dihydroxybenzaldehyde; the reaction mixture was stirred under reflux for 18 h. After completion of the reaction, excess amount of solvent was removed under reduced pressure and the solid residue was washed with 1 N HCl, brine and excess amount of water. The crude product was crystallized from CH_2Cl_2 - $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (1:1) solvent system (Scheme 1). **SB-2**: Dark orange solid with 77% yields, FT-IR (ATR cm^{-1}): 1625 (C=N stretching). ^1H NMR (600 MHz DMSO): δ 14.19 (bs, 1H, OH) 10.12(s, 1H, OH), 9.61 (s, 1H, OH), 8.75 (s, 1H, CH=N), 7.35 (d, J = 8.4 Hz, 1H, Ar-H), 7.27 (d, J = 7.8 Hz, 1H, Ar-H), 7.04 (m, 1H, Ar-H), 6.92 (d, J = 8.1 Hz, 1H, Ar-H), 6.83 (m, 1H, Ar-H), 6.33 (d, J = 8.4 Hz, 1H, Ar-H), 6.22 (s, 1H, Ar-H). Anal. calcd. For $\text{C}_{13}\text{H}_{11}\text{O}_3\text{N}$: C, 68.11; H, 4.84; N, 6.11. Found: C, 68.09; H, 4.90; N, 6.19%. **SB-3**: Dark yellow solid with 70% yields, FT-IR (ATR cm^{-1}): 1621 (C=N stretching). ^1H NMR (600 MHz DMSO): δ 14.18 (bs, 1H, OH) 10.12 (s, 1H, OH), 9.63 (s, 1H, OH), 8.76 (s, 1H, CH=N), 7.33 (d, J = 8.4 Hz, 1H, Ar-H), 7.25 (d, J = 7.8 Hz, 1H, Ar-H), 7.03 (m, 1H, Ar-H), 6.91 (d, J = 8.1 Hz, 1H, Ar-H), 6.84 (m, 1H, Ar-H), 6.33 (d, J = 8.4 Hz, 1H, Ar-H), 6.21 (s, 1H, Ar-H). Anal. calcd. For $\text{C}_{13}\text{H}_{11}\text{O}_3\text{N}$: C, 68.11; H, 4.84; N, 6.11. Found: C, 68.03; H, 4.80; N, 6.07%. **SB-4**: Dark yellowish solid with 73% yields, FT-IR (ATR cm^{-1}): 1619 (C=N stretching). ^1H NMR (600 MHz

DMSO): δ 14.18 (bs, 1H, OH) 10.12 (s, 1H, OH), 9.66 (s, 1H, OH), 8.77 (s, 1H, CH=N), 7.34 (d, $J=8.4$ Hz, 1H, Ar-H), 7.27 (d, $J=7.8$ Hz, 1H, Ar-H), 7.08 (t, 1H, Ar-H), 6.93 (d, $J=8.1$ Hz, 1H, Ar-H), 6.83 (m, 1H, Ar-H), 6.34 (d, $J=8.4$ Hz, 1H, Ar-H), 6.21 (s, 1H, Ar-H). Anal. calcd. For $C_{13}H_{11}O_3N$: C, 68.11; H, 4.84; N, 6.11. Found: C, 68.03; H, 4.88; N, 6.15%.

UV-vis and fluorescence studies

The stock solutions of **SB-2**, **SB-3**, and **SB-4** (1mM), the guest nitrate salts of cations (Li^+ , Na^+ , Ag^+ , Ca^{2+} , Ba^{2+} , Co^{2+} , Cs^+ , Cu^{2+} , Mg^{2+} , Hg^{2+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , Sr^{2+} , Zn^{2+} and Al^{3+}) (1 mM) in DMF were prepared. In spectrophotometric experiments, the volume of studied solutions was adjusted as 2.0 mL. Titration experiments were performed by addition of corresponding amount of cation solutions to a DMF solution of **SB-2**, **SB-3**, and **SB-4**. All emission spectra were obtained at room temperature under the excitation of 400 nm. The absorption spectra of **SB-2**, **SB-3**, and **SB-4** in the presence and absence of cations were recorded in the range of 200–600 nm in a UV-Vis spectrophotometer. The solutions were scanned (1200 nm/min) with 400 watt of PMT voltage in a spectrofluorometer with the range of 430-750 nm. The widths of the slit for the both excitation and emission were adjusted at 10 nm. The fluorescence intensity at 500 nm was determined under the excitation at the wavelength of 400 nm.

Biological applications

The living MCF7 cells were provided by ATCC (American Type Culture Collection, Rockville, MD, USA). MCF7 cells were incubated with $10\mu M$ of Al^{3+} ions in the culture medium at $37^\circ C$ for 1 h and washed with phosphate buffered saline (PBS) followed by the addition of $20\mu M$ **SB-2**. Bright field and fluorescent images were taken from Leica DM3000 fluorescence microscopy (FM) (Cicekbilek et al., 2019). Antimicrobial susceptibility was tested by the disk diffusion method on LB and NB agar, according to the guidelines of the National Committee for Clinical Laboratory Standards (NCCLS) (Fiebelkorn et al., 2013). Briefly, disks containing Schiff bases **SB-2**, **SB-3**, and/or **SB-4** incubated at $37^\circ C$ for 24 h were placed on NB agar plates for gram positive bacteria *B. subtilis* or on LB agar gram negative bacteria for *E. coli*, respectively. After this time, resistance or susceptibility behaviors of *B. subtilis* or *E. coli* towards Schiff bases **SB-2**, **SB-3**, and/or **SB-4** was monitored by measuring of the obtained inhibition zone diameters at different incubation temperatures (Tahriri et al., 2017).

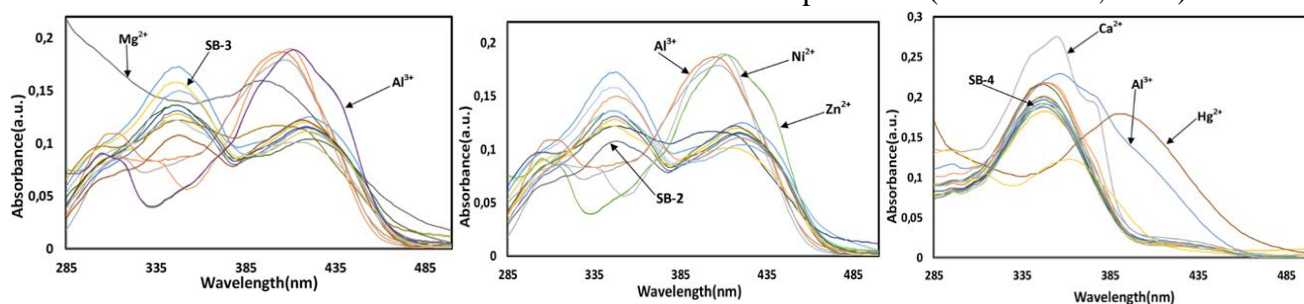


Figure 1. UV-Vis absorption spectra of compounds **SB-2**, **SB-3** and **SB-4** ($10\mu M$) in the absence and presence of different metal ions (20 equiv.) such as Li^+ , Na^+ , Ag^+ , Ca^{2+} , Ba^{2+} , Co^{2+} , Cs^+ , Cu^{2+} , Mg^{2+} , Hg^{2+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , Sr^{2+} , Zn^{2+} and Al^{3+} at room temperature.

RESULTS AND DISCUSSION

UV-vis absorption analysis

The UV-vis absorption spectrum of the Schiff bases **SB-2**, **SB-3**, and **SB-4** towards various metal cations was explored in dimethylformamide (DMF) solution ($10\mu M$) in the presence of 20 equiv. of metal cations. As seen in Figure 1, the absorption spectrum of **SB-2**, and **SB-3**, exhibited two broad absorption bands at around 348 nm and 414 nm attributable to $\pi-\pi^*$ transition of the imine moiety. The

small changes for the position of absorption bands was observed after the addition of Al^{3+} , Ni^{2+} and Zn^{2+} owing to the imine nitrogen ($\text{CH}=\text{N}$) was involved in coordination with metal ion. However, considerable changes in the absorption spectra of the **SB-2**, and **SB-3** were not observed over other metal ions. Similar changes in the spectra of **SB-4** were observed for the Hg^{2+} , Ca^{2+} and Al^{3+} . Considering these changes, powerful hyperchromic changes was only seen for **SB-2**, and **SB-3** at around 348 nm and 414 nm with Al^{3+} ions.

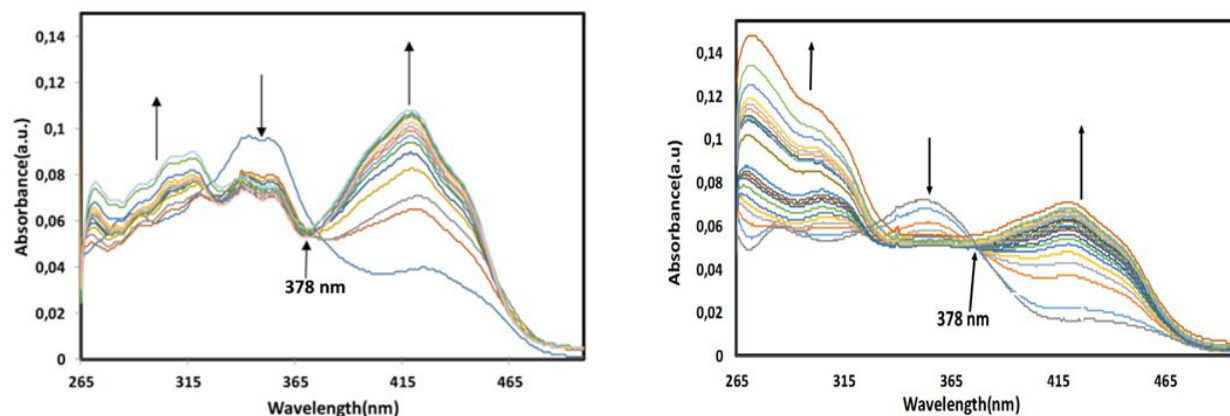


Figure 2. UV-Vis absorption spectra of compounds **SB-2** and **SB-3** ($10\mu\text{M}$), respectively, upon the titration of Al^{3+} (from 0 to 2 equiv.) at room temperature.

The binding properties of **SB-2** and **SB-3** with Al^{3+} ions were studied by UV-vis titration in DMF solution (Figure 2). Upon addition of increasing amounts of Al^{3+} (0.0 to 2.0 equiv.), absorption bands of **SB-2** appeared at 272 nm and 420 nm was gradually enhanced with increasing concentration of Al^{3+} , while the intensities of absorption at 350 nm were decreased. During the titration of **SB-2** with Al^{3+} , the clear isobestic point were observed at 378 nm which means that an equilibrium and interaction generated between **SB-2** and Al^{3+} . These observations supported the definite conversion of **SB-2** to the corresponding aluminum metal complex having a precise stoichiometric ratio between **SB-2** and Al^{3+} formed in solution. Subsequently, the further addition of Al^{3+} did not change the UV-vis spectra of **SB-2**. The titration configuration of **SB-2** with Al^{3+} shown indicated 1 equiv. of Al^{3+} reacting with same equiv. of **SB-2** could quickly reached an equilibrium, showing complex formation between **SB-2** and Al^{3+} with 1:1 stoichiometry. Furthermore, same results were also observed for complex structure of **SB-3** with Al^{3+} . Fluorescence emission studies was performed for getting and interpreting the more accurate and precise spectrophotometric results since absorption spectroscopy was complementary part of emission spectroscopy.

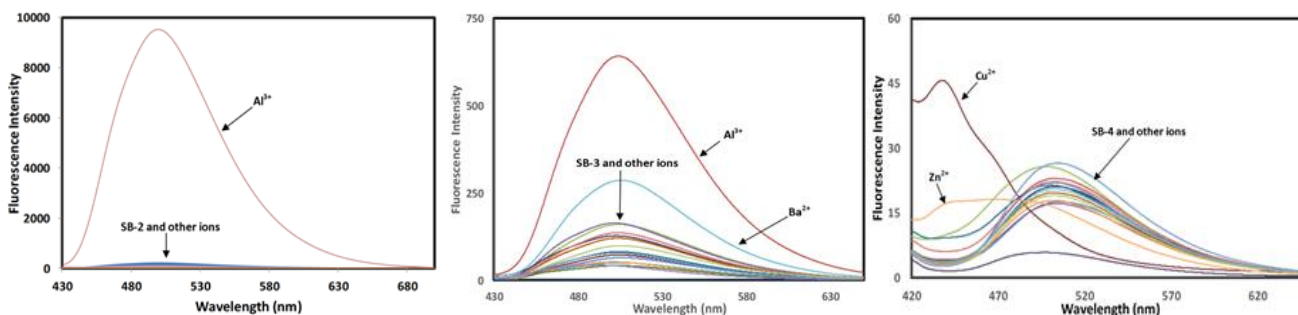


Figure 4. Fluorescence emission spectra (at 500 nm) of compounds **SB-2**, **SB-3** and **SB-4** ($10\mu\text{M}$) in DMF in the presence of different metal ions (20 equiv.) such Li^+ , Na^+ , Ag^+ , Ca^{2+} , Ba^{2+} , Co^{2+} , Cs^+ , Cu^{2+} , Mg^{2+} , Hg^{2+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , Sr^{2+} , Zn^{2+} and Al^{3+} . ($\lambda_{\text{ex}} = 400\text{ nm}$).

Fluorescence emission analysis

High selectivity is necessary to define the excellent chemosensor. Therefore, to evidence the usability of the synthesized Schiff bases **SB-2**, **SB-3**, and **SB-4** as a selective sensor, the fluorescence behavior of **SB-2**, **SB-3**, and **SB-4** was investigated by using Hitachi F-7100 Spectrofluorometer upon the addition of selected metal ions such as Li^+ , Na^+ , Ag^+ , Ca^{2+} , Ba^{2+} , Co^{2+} , Cs^+ , Cu^{2+} , Mg^{2+} , Hg^{2+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , Sr^{2+} , Zn^{2+} and Al^{3+} . Schiff base **SB-2**, **SB-3**, and **SB-4** did not show any considerable emission band alone at 500 nm when the excitation wavelength was at 400 nm. After addition of metal ions such as Li^+ , Na^+ , Ag^+ , Ca^{2+} , Ba^{2+} , Co^{2+} , Cs^+ , Cu^{2+} , Mg^{2+} , Hg^{2+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , Sr^{2+} and Zn^{2+} (Figure 4), Schiff base **SB-2**, **SB-3**, and **SB-4** did not still demonstrate any significant fluorescent response. However, upon addition of Al^{3+} ions, only Schiff base **SB-2** and **SB-3** exhibited excellent response with more than 335-fold and 11-fold fluorescent enhancement. This fascinating increase in fluorescence intensity of **SB-2** demonstrated that selective and excellent ‘off-on’ type fluorescent sensor behavior of **SB-2** had occurred toward Al^{3+} .

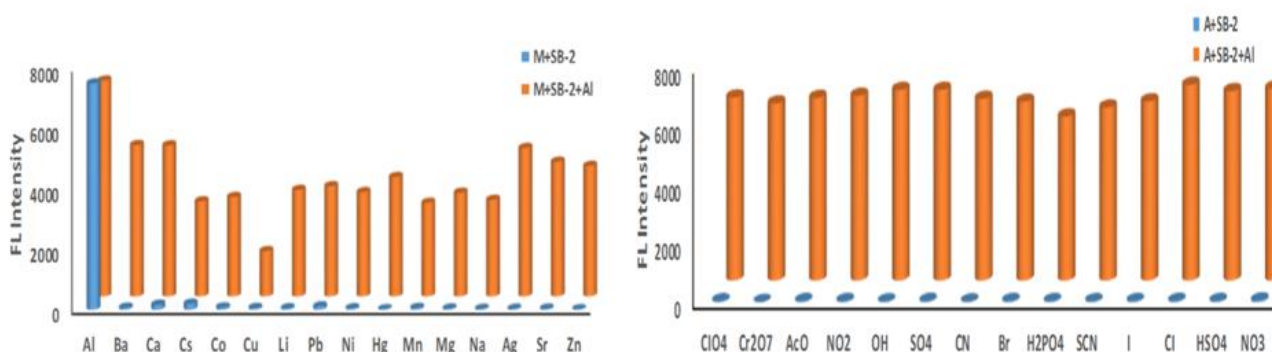


Figure 5. Fluorescence intensity of **SB-2** and its complexation with Al^{3+} in the presence of various cations or anions. ($\lambda_{\text{ex}} = 400 \text{ nm}$).

For the investigation of the selectivity performance of **SB-2** or **SB-3** toward Al^{3+} ions, some competing experiments were carried out by using metal ions. Interferences of metal cations were investigated by treating **SB-2** or **SB-3** with 20 equiv. of Al^{3+} in the presence of equal to competing metal cations (Li^+ , Na^+ , Ag^+ , Ca^{2+} , Ba^{2+} , Co^{2+} , Cs^+ , Cu^{2+} , Mg^{2+} , Hg^{2+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , Sr^{2+} and Zn^{2+}). As shown in Figure 5, it was observed that fluorescence response of compounds **SB-2** or **SB-3** for Al^{3+} was not affected by addition of competing metal ions or some selected anions considerably. But the relatively reducing of the fluorescent responses for complex structure of **SB-2- Al^{3+}** or **SB-3- Al^{3+}** upon addition of some studied metal ions was also observed. Despite addition of these metal ions, it was seen that fluorescence responses of **SB-2** and **SB-3** toward Al^{3+} ions could be easily and clearly detectable under UV-light by naked-eye. Both **SB-2** and **SB-3** still have an efficient ‘turn-on’ rate for the detection of Al^{3+} . From the competition results, it was seen that Schiff bases **SB-2** and **SB-3** as a probe had high selectivity and specificity toward Al^{3+} over other ions such as Li^+ , Na^+ , Ag^+ , Ca^{2+} , Ba^{2+} , Co^{2+} , Cs^+ , Cu^{2+} , Mg^{2+} , Hg^{2+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , Sr^{2+} , and Zn^{2+} . Among **SB-2** solutions with and without metal cations excited at 400 nm, only the **SB-2** solutions mixed with Al^{3+} ions showed an extraordinary color change from toneless to brilliant fluorescent blue and this change was easily detected by the naked eye under UV light (Figure 6).

The observed fluorescence enhancement can be explained by the blocking the photoinduced electron transfer (PET) process when **SB-2** is bound with Al^{3+} (Ding et al., 2015). The lone pair electrons of azomethine ($\text{CH}=\text{N}$) unit of probe **SB-2** delocalize (un-blocking of PET) to the two phenyl rings in the Schiff base structure and quenches the fluorescence intensity. After addition of Al^{3+} , this lone pair electron of imine group is perturbed by the coordination of Al^{3+} and this interaction give rise to an

increase in fluorescence intensity. This situation proposes that the photo induced electron transfer (PET) is the favorable mechanism to explain “off-on” type of fluorescence for **SB-2** after binding to Al^{3+} .

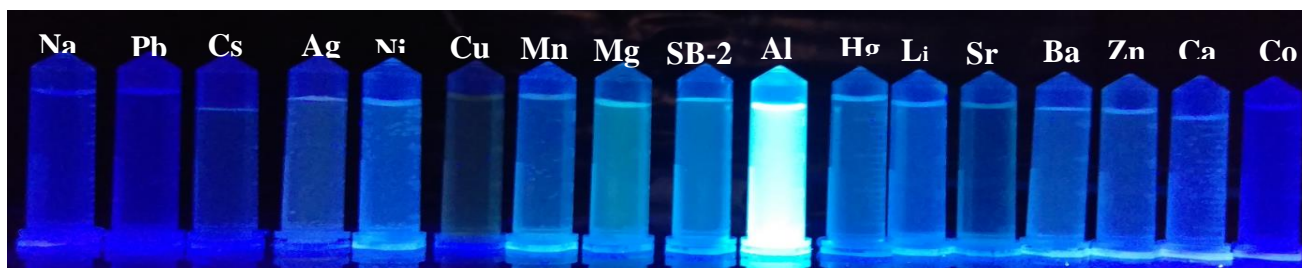


Figure 6. Images showing the corresponding fluorescence color changes of **SB-2** with and without metal cations (20 equiv.) under UV light.

To further examine the sensing properties of **SB-2** and **SB-3**, sensitivity of **SB-2** and **SB-3** as a probe toward Al^{3+} ions was investigated by the fluorescence titration experiments by increasing concentration of Al^{3+} ions (0-20 equiv.) at 500 nm (Figure 7) and the detection limit of Al^{3+} was estimated based on the fluorescence titration profile. The detection limit of **SB-2** in recognizing Al^{3+} was found to be $6.45 \cdot 10^{-7} \text{M}$ which was lower than some presented Al^{3+} selective chemosensors (Ding et al., 2015, Tian et al., 2015; Zhou et al., 2015). This result has shown that this sensor could be used for both detection and monitoring of sub-micromolar concentration of aluminum ions in biological and environmental systems.

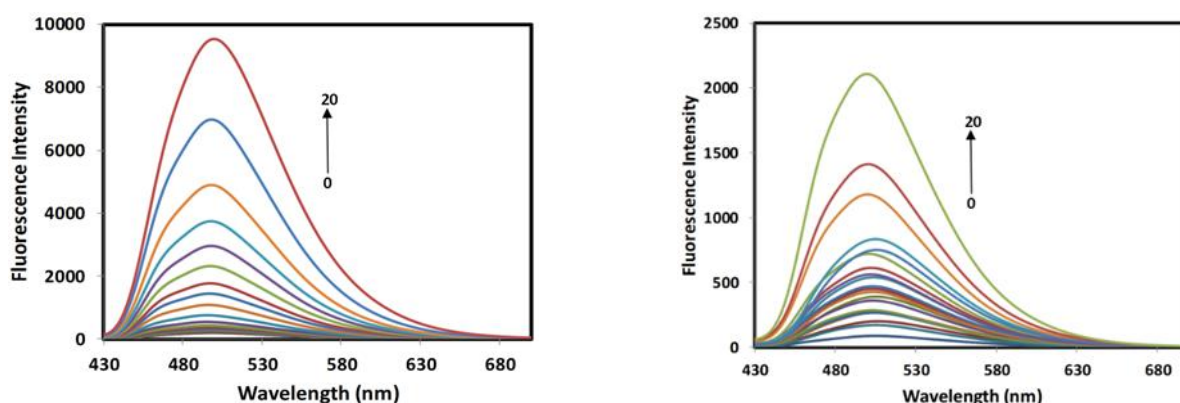


Figure 7. Fluorescence titration spectra of **SB-2** and **SB-3**, respectively, upon addition of Al^{3+} (from 0 to 20 equiv.) with an excitation of 400 nm, and an emission of 500 nm.

The molar ratio of the coordination between **SB-2** and Al^{3+} was studied by the Job's plot method (Job, 1928) as shown in Figure 8. In this method, each experiment carried out with different concentrations of **SB-2** and Al^{3+} ions with maintaining the total concentration at 20 μM . The plot obtained by measuring the fluorescence intensity at 500 nm for nine experiments with molar fraction of **SB-2** (0.1 to 0.9). The maximum fluorescence intensity at 500 nm was observed when the molar fraction was 0.5. This data showed that 1 mole of **SB-2** probe and Al^{3+} participated in the complex formation and binding mode was determined as 1:1 stoichiometry. Furthermore, the binding constant of the probe **SB-2** with Al^{3+} were calculated by the Benesi–Hildebrand method (Benesi and Hildebrand, 1949). From curve fitting of fluorescence intensity of probe **SB-2** against the reciprocal of the Al^{3+} concentration, this plot yielded a linear fit as seen in Figure 9. The value of the binding constant was calculated as $2.8 \cdot 10^5 \text{M}^{-1}$ for probe **SB-2** from this equation. In addition, the linear plot also proved the 1:1 complexation

behavior of **SB-2** to Al^{3+} . Because, if a 1:1 metal-probe complex is formed between receptor and metal ions, Benesi-Hildebrand plot should be linear (Benesi and Hildebrand, 1949).

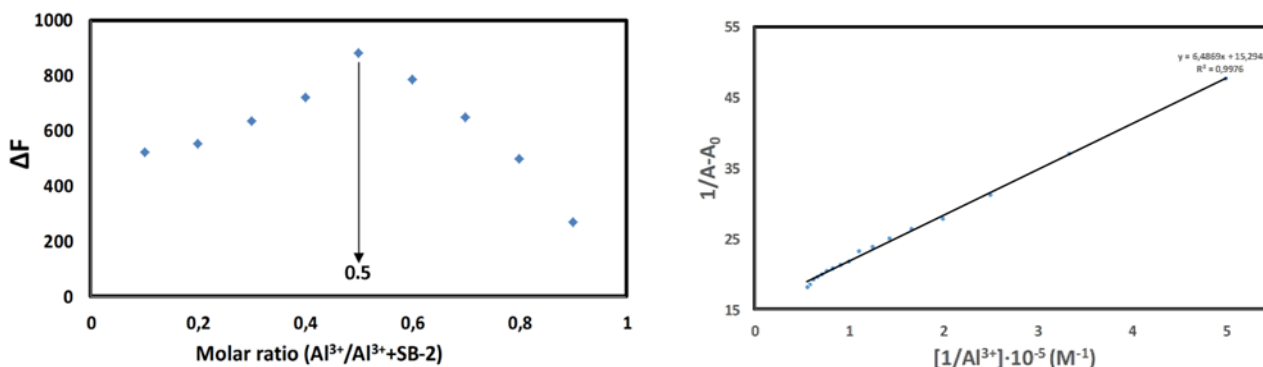


Figure 8. Job's plot and Benesi-Hildebrand plot for determining the complexation behavior of **SB-2** to Al^{3+} in DMF.

In related to stoichiometry, the binding site participated in complexation was clarified by FT-IR and ^1H NMR titration experiments along with stoichiometry confirmation as presented in Figure 9 and 10. The IR spectra of **SB-2** and **SB-2- Al^{3+}** showed that the characteristics frequencies of **SB-2** with different stoichiometric ratio of Al^{3+} exhibited significant changes as compared with those of the **SB-2** without Al^{3+} . The IR spectra of the free **SB-2** showed the absence of bands at around 1735 and 3300 cm^{-1} attributable to the carbonyl $\nu(\text{C}=\text{O})$ and $\nu(\text{NH}_2)$ stretching vibrations and a clear strong new band at around 1625 cm^{-1} due to azomethine $\nu(\text{HC}=\text{N})$ linkage. All these existing and disappearing signals in FT-IR indicated that amino and aldehyde groups in starting reactants (Scheme 1) were converted into the **SB-2** and synthesis of the **SB-2** was successfully carried out. The comparison of FT-IR spectra of free **SB-2** and its Al^{3+} complex (Figure 2) demonstrated that **SB-2** probe was principally coordinated to the Al^{3+} ion. The strong band appearing at around 1625 cm^{-1} due to azomethine group shifted to a lower frequency at 1589 cm^{-1} in Al^{3+} complex, indicating participation of azomethine group in the complexation with the Al^{3+} ion.

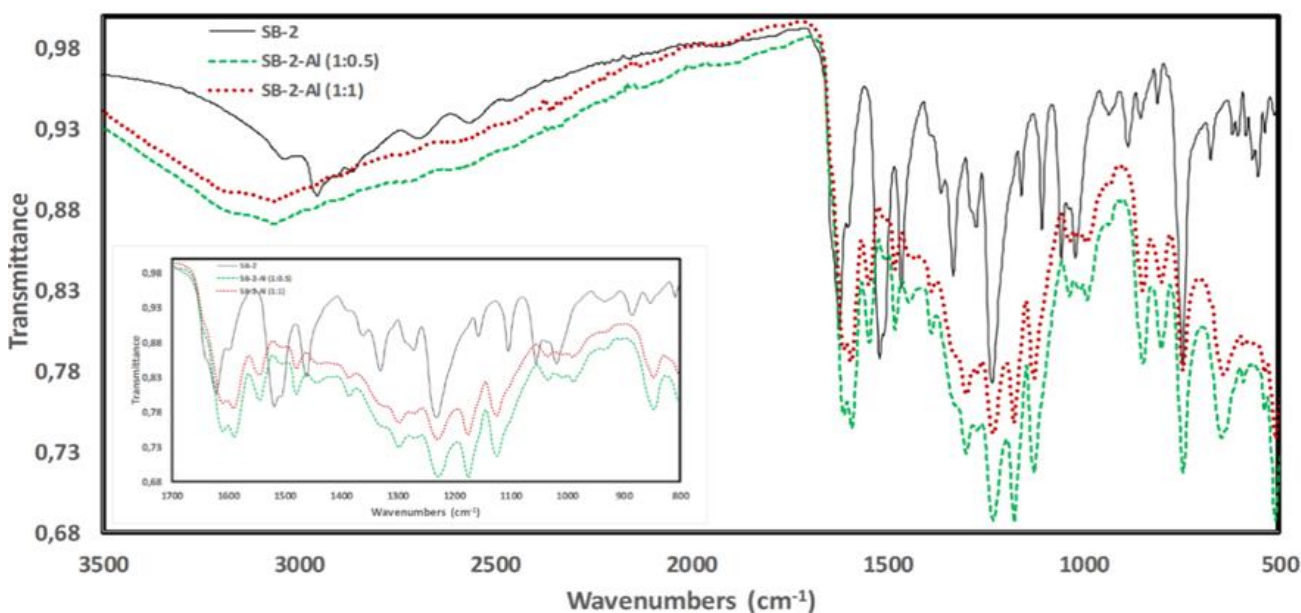


Figure 9. The FT-IR spectra data of **SB-2** in presence of different amount of Al^{3+} .

To better understand the complexation between the probe **SB-2** and Al^{3+} , ^1H NMR titration experiments of **SB-2** in $\text{DMSO-}d_6$ were examined by addition of varied equiv. of Al^{3+} . As seen in Figure 10, three phenolic -OH signals belonging to **SB-2** were observed at around 9.61, 10.12 and 14.19 ppm which showed that it was very acidic due to the intramolecular hydrogen bonding (Figure 11). While the phenolic OH proton at 14.19 ppm disappeared when added of 0.5 and 1.0 equiv. of Al^{3+} to **SB-2** solution, the other signal at around 10.12 and 9.61 ppm shifted to downfield (Keskin and Bayrakci, 2019). Also, the imine (CH=N) proton of **SB-2** at 8.76 ppm was slightly shifted downfield. This shift for the imine proton was probably due to de-shielding of the azomethine group after coordination of **SB-2** with Al^{3+} . All these shifting and/or disappearing of signals showed that both phenolic OH group located in *ortho* position and imine group of **SB-2** were efficient on complex formation between **SB-2** and Al^{3+} .

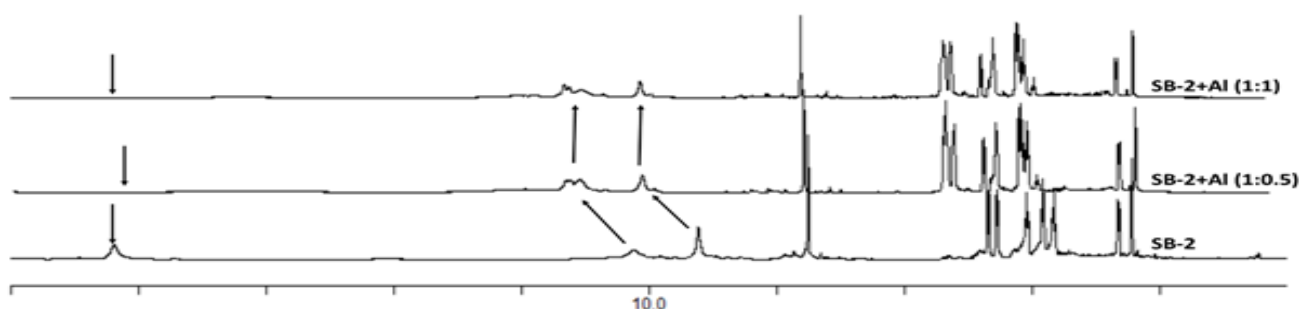


Figure 10. ^1H NMR spectra of **SB-2** in $\text{DMSO-}d_6$ at 25 °C and the corresponding changes after the addition of aluminum nitrate.

Biological Applications

SB-2 was successfully applied for imaging of Al^{3+} ions in human breast cancer cells, MCF7 under fluorescence microscope. Cells treated with **SB-2**, without any Al^{3+} and treated with Al^{3+} were used as controls. When MCF7 cells were incubated with **SB-2** (20 μM), it was not seen any fluorescence response. However, after addition of Al^{3+} ions, a brilliant red fluorescence was sighted in the MCF7 cells (Figure 11). Merged images of fluorescence and bright-field showed that fluorescence signals were detected in the intra-cellular zone (Kim et al., 2007), showing the distribution of Al^{3+} and cell membrane permeabilities of **SB-2** molecules. On the other hand, Figure 12 indicated that **SB-2** could stain Al^{3+} ions in living cells without any harm (cells remain alive even after several hours of exposure to 20 μM **SB-2**), making it useful to monitor Al^{3+} in biological systems.

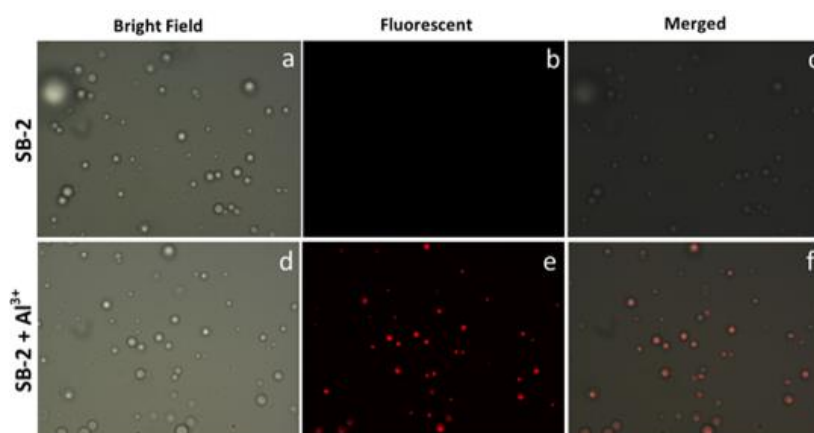


Figure 11. Fluorescence images of Al^{3+} using probe **SB-2** in MCF7 cells: (a) bright field image of MCF7 cells treated with probe **SB-2**; (b) fluorescence image of MCF7 cells with probe **SB-2**; (c) merged image of (a) and (b); (d) bright field image of MCF7 cells treated with probe **SB-2** and Al^{3+} ; (e) fluorescence image of MCF7 cells treated with probe **SB-2** and Al^{3+} ; (f) merged image of (d) and (e).

To further demonstrate the practical biological application of **SB-2** and other Schiff bases **SB-3** and **SB-4**, antimicrobial properties of them towards human pathogenic gram positive and gram-negative bacteria were evaluated by measuring the zone of inhibition in disc diffusion method. In Figure 12, measured zones of inhibition for the Schiff bases ranged from 2.0 to 2.2 cm for **SB-2**, and **SB-3**, and 1.9 to 2.0 cm for **SB-4** against gram positive bacteria *B. subtilis*. In addition, the zones of inhibition for the Schiff bases ranged from 2.0 to 2.1 cm for **SB-2**, 2.0 to 2.2 cm for **SB-3**, and 2.1 to 2.3 cm for **SB-4** toward gram negative bacteria *E. coli*. Based on zones of inhibition results, Schiff base based compounds **SB-2**, **SB-3** and **SB-4** showed better activity against both gram positive and gram-negative bacteria lines. Obtained antimicrobial data for **SB-2**, **SB-3** and **SB-4** is not surprising. Because, it is well-known that the azomethine linkage (-C=N-) in the Schiff base structure indicates widespread biological activities due to increased lipo-solubility of the Schiff base molecules in crossing cell membrane of the microorganism by blocking the protein synthesis which inhibits further growth of the organisms (Neelakantan et al., 2008).

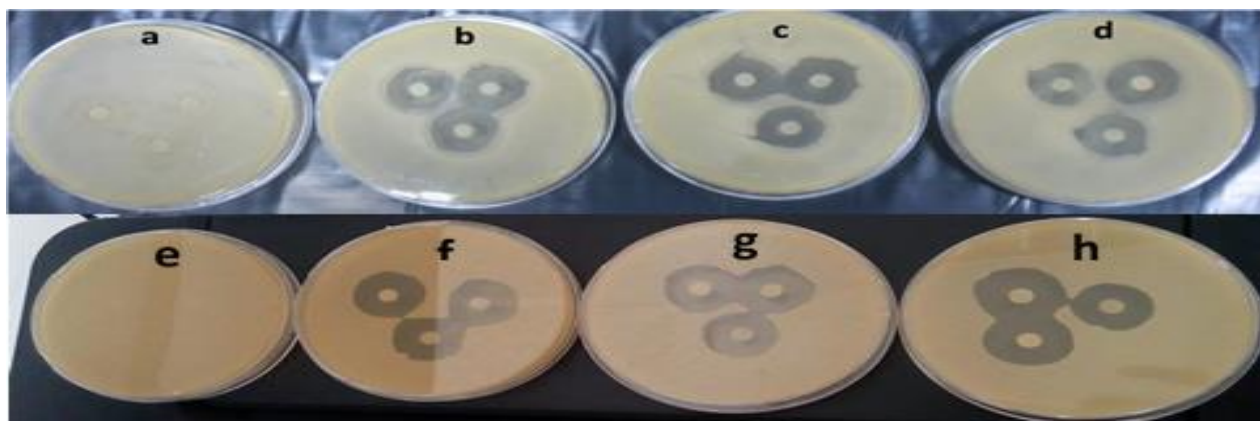


Figure 12. Photograph of antibacterial test of the Schiff bases **SB-2**, **SB-3** and **SB-4** after 24 h of incubation at 37 °C: (a) control and *E. coli*; (b) **SB-2** and *E. coli*; (c) **SB-3** and *E. coli*; (d) **SB-4** and *E. coli*; (e) control and *B. subtilis*; (f) **SB-2** and *B. subtilis*; (g) **SB-3** and *B. subtilis*; and (h) **SB-4** and *B. subtilis*.

CONCLUSION

In conclusion, detection of Al^{3+} ions with highly selective and sensitive by a very simple and low-cost fluorescence sensor (**SB-2**) were presented successfully. **SB-2** showed high sensitivity with the detection limit at around $6.45 \cdot 10^{-7}$ M in the micromolar scale. The predicted configuration of the (**SB-2**)– Al^{3+} complex formation was well-characterized to be 1:1 by spectroscopic analyses. Beyond that, (**SB-2**) was utilized to detect sensitively the Al^{3+} ions in living cells by emitting visible fluorescence. Cell applications indicated that (**SB-2**) could be used as an excellent fluorescence probe for visualizing of Al^{3+} ions in cell lines. Furthermore, antibacterial properties of Schiff bases **SB-2**, **SB-3** and **SB-4** were also explored by disc diffusion method.

REFERENCES

- Altschuler E, 1999. Aluminum-containing antacids as a cause of idiopathic Parkinson's disease. *MedicalHypotheses* 53(1):22-23.
- Baxter NJ, Blackburn GM, Marston JP, Hounslow AM, Cliff MJ, Bermel W, Williams NH, Hollfelder F, Wemmer DE, Waltho JP, 2008. Anionic charge is prioritized over geometry in aluminum and magnesium fluoride transition state analogs of phosphoryl transfer enzymes. *Journal of American Chemical Society* 130: 3952-3958.

- Benesi HA, Hildebrand JH, 1949. A spectrophotometric investigation of the interaction of iodine with aromatic hydrocarbons. *Journal of American Chemical Society* 71(8):2703–2707.
- Cicekbilek F., Yilmaz B., Bayrakci M., Gezici O, 2019. An Application of a Schiff-Base Type Reaction in the Synthesis of a New Rhodamine-Based Hg(II)-Sensing Agent. *Journal of Fluorescence* 29:1349–1358.
- Dilleen JW, Birch BJ, Haggett BGD, 1999. Electrochemical detection of aluminium using single-use sensors. *Analytical Communications* 36:363-365.
- Ding WH, Wang D, Zheng XJ, Ding WJ, Zheng JQ, Mu WH, Cao W, Jin LP, 2015. A turn-on fluorescence chemosensor for Al³⁺, F⁻ and CN⁻ ions, and its application in cell imaging. *Sensors and Actuators B: Chemical* 209:359-367.
- Fiebelkorn KR, Crawford SA, McElmeel ML, Jorgensen JH, 2003. Practical disk diffusion method for detection of inducible clindamycin resistance in *Staphylococcus aureus* and coagulase-negative staphylococci. *Journal of Clinical Microbiology* 41(10):4740-4744.
- Gupta VK, Ganjali MR, Norouzi P, Khani H, Nayak A, Agarwal S, 2011. Electro-chemical analysis of some toxic metals by ion selective electrodes. *Critical Reviews in Analytical Chemistry* 41(4):282–313.
- Gupta VK, Shoorra SK, Kumawat LK, Jain AK, 2015. A highly selective colorimetric and turn-on fluorescent chemosensor based on 1-(2-pyridylazo)-2-naphthol for the detection of aluminium(III) ions. *Sensors and Actuators B: Chemicals* 209:15–24.
- Gupta VK, Mergu N, Kumawat LK, Singh AK, 2015. A reversible fluorescence “off–on–off” sensor for sequential detection of aluminum and acetate/fluoride ions. *Talanta* 144(1):80-89.
- Gupta SD., Revathi B., Mazaira GI., Galigniana MD., Subrahmanyam CVS., Gowrishankar NL., Raghavendra NM, 2015. 2,4-dihydroxy benzaldehyde derived Schiff bases as small molecule Hsp90 inhibitors: Rational identification of a new anticancer lead. *Bioorganic Chemistry* 59: 97-105.
- Janakipriya S, Cherreddy NR, Korrapati P, Thennarasu S, Mandal AB, 2016. Selective interactions of trivalent cations Fe³⁺, Al³⁺ and Cr³⁺ turn on fluorescence in a naphthalimide based single molecular probe. *Spectrochimica Acta Part A Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 153:465–470.
- Jeyanthi D, Iniya M, Krishnaveni K, Chellappa D, 2013. A ratiometric fluorescent sensor for selective recognition of Al³⁺ ions based on a simple benzimidazole platform, *RSC Advances* 3:20984–20989.
- Job P, 1928. Formation and stability of inorganic complexes in solution. *Annales de Chimie* 9:113–203.
- Keskin S, Bayrakci M, 2019. A simple and highly sensitive turn-on Schiff base type naked-eye fluorescent sensor for aluminum ion in living cells. *Acta Chimica Slovenica* 66(4):792–801.
- Kim HM, Jung C, Kim BR, Jung SY, Hong JH, Ko YG, Lee KJ, Cho BR, 2007. Environment-sensitive two-photon probe for intracellular free magnesium ions in live tissue. *Angewandte Chemie* 46:3460–3463.
- Kim S, Noh JY, Kim KY, Kim JH, Kang HK, Nam SW, Kim SH, Park S, Kim C, Kim J, 2012. Salicylimine-based fluorescent chemosensor for aluminum ions and application to bioimaging. *Journal of Inorganic Chemistry* 51(6):3597–3602.
- Lakowicz JR, 2002. *Topics in fluorescence spectroscopy: probe design and chemical sensing*; Kluwer Academic Publishers: New York, 4-11p.
- Murtaza S., Abbas A., Iftikhar K., Shamim S., Akhtar MS., Razzaq Z., Naseem K., Elgorban AM, 2016. Synthesis, biological activities and docking studies of novel 2,4-dihydroxybenzaldehyde based Schiff base. *Medicinal Chemistry Research* 25: 2860–2871.
- Neelakantan MA, Rusalraj F, Dharmaraja J, Johnsonraja S, Jeyakumar T, Sankarayana PM, 2008. Spectral characterization, cyclic voltammetry, morphology, biological activities and DNA cleaving studies of amino acid Schiff base metal(II) complexes. *Spectrochimica Acta Part A Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 71(4):1599-1609.
- Santos-Figueroa LE, Moragues ME, Climent E, Agostini A, Martinez-Manez R, Sancenon F, 2013. Chromogenic and fluorogenic chemosensors and reagents for anions A comprehensive review of the years 2010–2011. *Chemical Society Review* 42(8):3489–3613.
- Shoorra SK, Jain AK, Gupta VK, 2015. A simple Schiff base based novel optical probe for aluminium (III) ions. *Sensors and Actuators B: Chemicals* 216:86–104.

- Simona T, Shellaiahb M, Srinivasadesikanc V, Lina CC, Koa FH, Sunb KW, Linc MC, 2016. A simple pyrene based AIEE active schiff base probe for selective naked eye and fluorescence off–on detection of trivalent cations with live cell application. *Sens. Actuators B* 231:18-29.
- Soni MG, White SM, Flamm WG, Regul GAB, 2001. Safety evaluation of dietary aluminum. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 33(1):66-79.
- Soroka K, Vithanage RS, Phillips DA, Walker B, Dasgupta PK, 1987. Fluorescence properties of metal complexes of 8-hydroxyquinoline-5-sulfonic acid and chromatographic applications. *Analytical Chemistry* 59(4):629–636.
- Sun X, Liu J, Zhuang C, Yang X, Han Y, Shao B, Song M, Li Y, Zhu Y, 2016. Aluminum trichloride induces bone impairment through TGF- β 1/Smad signaling pathway. *Toxicology* 14:49-57.
- Sztanke K, Maziarka A, Osinka A, Sztanke M 2013. An insight into synthetic Schiff bases revealing antiproliferative activities in vitro. *Bioorganic and Medicinal Chemistry* 21:3648–3666.
- Mozhgan T., Mohammad Y., Kheirollah M., Masoumeh T., Mahmood D.A, 2017. Synthesis, Characterization and Antimicrobial Activity of Two Novel Sulfonamide Schiff Base Compounds. *Pharmaceutical Chemistry Journal* 51:425–428.
- Tian J, Yan X, Yang H, Tian F, 2015. A novel turn-on Schiff-base fluorescent sensor for aluminum(III) ions in living cells. *RSC Advances* 5:107012-107019.
- Zhong Z, Zhang D, Li D, Zheng G, Tian Z, 2016. Turn-on fluorescence sensor based on naphthalene anhydride for Hg²⁺. *Tetrahedron* 72(49):8050-8074.
- Zhou D, Sun C, Chen C, Cui X, Li X, 2015. Research of a highly selective fluorescent chemosensor for aluminum(III) ions based on photoinduced electron transfer. *Journal of Molecular Structures* 1079:315-320.
- ZhuJ, Zhang Y, Wang L, Sun T, Wang M, Wang Y, Ma D, Yang Q, Tang Y, 2016. A simple turn-on Schiff base fluorescence sensor for aluminum ion *Tetrahedron Letters* 57: 3535–3539.
- Walton JR, 2006. Aluminum in hippocampal neurons from humans with Alzheimer's disease. *Neurotoxicology* 27:385-394.
- Wang JT, Wang HD 2011. Preparation of soluble p-aminobenzoyl chitosan ester by Schiff's base and Antibacterial activity of the derivatives. *International Journal of Biological Macromolecules* 48:523–529.

Kanserli ve Sağlıklı Larenks Dokularında ICP-MS Yöntemi ile Eser Elementler AnaliziÖmer Faruk KOÇAK¹, Mevlüt ALBAYRAK², Fatma Betül ÖZGERİŞ³

ÖZET: Eser elementler vücudun düzgün çalışması için gereklidir. Biyolojik element konsantrasyonundaki değişiklikler çok sayıda patolojik durumda gözlenmiştir. Bu çalışmanın amacı, larenks dokularındaki eser element konsantrasyonunun değerlendirilmesidir. Çalışmada larenks kanseri teşhisi konmuş 9 hastanın kanserli larenks dokuları ve aynı hastaların sağlıklı larenks dokuları kullanılmıştır. Larenks dokularındaki Al, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Ag, Cd, Sb ve Pb seviyeleri, Endüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi (ICP-MS) kullanılarak belirlenmiştir. Sonuçlar kontrol grubu ile karşılaştırıldı ve larenks kanserli dokularda Cu seviyesinin sağlıklı dokulara göre anlamlı derecede ($p < 0.05$) yüksek olduğu ve Al, Cr, Mn, As, Se, Ag ve Sb elementlerinin derişiminin ise sağlıklı dokulara göre anlamlı derecede düşük olduğu bulundu. Bu sonuçlar, larenks kanseri etyolojisinde eser elementlerin önemli rolleri olduğunu düşündürmektedir.

Anahtar kelimeler: Larenks kanseri, eser elementler, indüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi, FFPE doku

Trace Elements Analysis in Cancer and Healthy Larynx Tissues by ICP-MS Method

ABSTRACT: Trace elements are necessary for the body to function properly. Changes in biological element concentration have been observed in a number of pathological conditions. The aim of this study is to evaluate the trace element concentration in the larynx tissues. Cancer laryngeal tissues and healthy larynx tissues of the same patients were used in the study. Al, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Ag, Cd, Sb and Pb levels in the larynx tissues were determined using Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS). The results were compared with the control group and it was found that Cu level in tissues with laryngeal cancer was significantly higher ($p < 0.05$) compared to healthy tissues, and the concentration of Al, Cr, Mn, As, Se, Ag, and Sb elements was significantly lower than healthy tissues. These results suggest that trace elements play an important role in the etiology of laryngeal cancer.

Key words: Laryngeal cancer, trace elements, inductively coupled plasma - mass spectrometer, FFPE tissue

¹ Ömer Faruk KOÇAK (Orcid ID: 0000-0001-5873-0944), Atatürk Üniversitesi, Erzurum Meslek Yüksekokulu, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojisi Bölümü, Erzurum, Türkiye

² Mevlüt ALBAYRAK (Orcid ID: 0000-0001-8673-6577), Atatürk Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Erzurum, Türkiye

³ Fatma Betül ÖZGERİŞ (Orcid ID: 0000-0002-4568-5702), Atatürk Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Erzurum, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Ömer Faruk KOÇAK, e-mail: omer.kocak@atauni.edu.tr

ETİK KURUL ONAYI / ETHICS COMMITTEE APPROVAL: Bu makale yer alan araştırma için "Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu"nun 29.03.2018 tarih ve B.30.2.ATA.0.01.00/177 sayılı yazısı, 29.03.2018 tarih, Toplantı Sayısı:3 ve Karar No:26 sayılı kararı ile Etik Kurul Onayı almıştır.

GİRİŞ

Larenks kanseri tüm kanserlerin %2'sini meydana getirmekle birlikte baş-boyun bölgesi kanserleri içerisinde en sık görülenidir (Çaloğlu ve ark., 2005). Larenks kanseri insidansı, genetik faktörler de dahil olmak üzere hem ekzojen hem de endojen faktörlerden etkilenir. Son zamanlarda, çalışmalar bazı eser elementlerin malign tümör insidansı ve ilerlemesi sürecinde önemli bir role sahip olduğunu göstermiştir (Kaba ve ark., 2014; Shang ve ark., 2014; Kohzadi ve ark., 2017; Samavarchi ve ark., 2018). Toksik metaller, metabolizma, detoksifikasyon ve onarım süreçlerinde yer alan hücresel bileşenler ve enzimler üzerinde olumsuz bir etkiye sahipken, temel elementlerin katkısı mineral eksikliği ve onunla ilişkili problemler açısından yorumlanabilir. Mikro ve makronutrientlerin uygun konsantrasyonları ve oranları şüphesiz homeostazi etkileyen en önemli faktörlerdir. Bu dinamik denge durumu, insan vücudunun düzgün çalışmasını sağlamak için çok önemlidir (Bleackley ve MacGillivray, 2011).

Esansiyel elementler, yaşamı sürdürmek için gerekli olan metabolik ve fonksiyonel gıda bileşenleri olarak tanımlanır. Hem eser element eksikliği hem de fazlalığı fizyolojik bozukluklara yol açar ve yüksek metal konsantrasyonu toksik etkiler gösterebilir (Bánfalvi, 2011). Örneğin Çinko (Zn), bakır (Cu) ve magnezyum (Mg) iyonları, doğal bir oksidan bariyer görevi gören antioksidan enzimlerin bileşenleridir ve eksikliği durumunda ortaya çıkan oksidatif stres, tümör oluşumunu teşvik eder (Golasik ve ark., 2015). Bununla birlikte, fazla Zn ve Cu, reaktif oksijen türleri (ROS) ve DNA dahil farklı hücre bileşenlerine zarar veren oksidatif stres üreterek oksidan özellikler göstermiştir (Kohzadi ve ark., 2017). Pb, Hg ve Cd gibi diğer bazı eser elementler enzimleri doğrudan inhibe edebilir ve enzimlerin normal işlevlerini bozabilirler (Reddy ve ark., 2003). Bu gibi nedenlerle, insan popülasyonunda temel metallerin biyolojik olarak izlenmesi önemli bir konu haline gelmiştir. Kanser durumunda, metal konsantrasyonunun değerlendirilmesi haklı ve gereklidir.

Ne yazık ki, kan analizi tüm vücuttaki gerçek konsantrasyonu yansıtmayabilir, çünkü organizma metallerin yönetimindeki bozuklukları maskeleyen homeostatik mekanizmalar sağlar. Şu anda ilgi, insan vücudundaki değişikliklerin değerlendirilmesine izin verecek en uygun biyolojik materyalin seçimine odaklanmaktadır (Golasik ve ark., 2015). Bu durum kanser ve eser element ilişkisi üzerine yapılan çalışmalarda biyolojik materyal olarak sıklıkla kullanılan dokuları akla getirmektedir. Ancak ameliyat sonrası çıkarılan yaş dokular doku bazlı kuru veya ıslak ağırlıktan kaynaklanan hesaplama hataları ve kanserli alanı tam olarak temsil eden numunenin alınmasındaki zorluklar gibi sebeplerle hatalı sonuçlara neden olabilmektedir (Yaman, 2006). Bu nedenlerle, çalışmamızda FFPE (*formalin fixed paraffin embedded*) dokuları tercih ettik. Patoloji bölümleri ve araştırma enstitüleri FFPE doku bloklarını histopatolojik incelemeler için rutin olarak kullanırlar. FFPE dokular kuru şekilde tartılabildiği ve kanserli alan mikroskop altında incelendiği için hem hesaplamalarda hem de kanserli alanı temsil eden kısımda hatayı en aza indirmektedir. FFPE dokularının ayrıca çalışmalarda kullanılabilecek geniş bir arşiv olanağı sağlar (Yaman, 2018).

Bu çalışmada larenks kanseri hastalarının kanserli dokularını ve aynı hastaların sağlıklı larenks dokularının ICP-MS yöntemi ile bazı eser elementlerin (Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Se, Ag, Cd ve Pb) analizini yaparak karşılaştırmayı amaçladık. Eser element düzeyinin diyet ve çevresel faktörlerden ötürü farklılık gösterebildiğinden ötürü kontrol grubu olarak aynı hastaların kullanılmasının çalışmanın doğruluğunu olumlu etkileyeceğini düşünmekteyiz.

MATERYAL VE METOT

Kimyasallar

Kullanılan tüm kimyasallar suprapur olarak tercih edilmiştir. Etanol (saflık>% 99) ve Ksilan (saflık>% 99) Sigma-Aldrich'ten (St. Louis, MO) temin edildi. 26 element içeren çoklu standart (% 5

HNO₃ içinde 100 ml), 100 mL İç Standart (% 10 HNO₃ içinde 100 mL), Tunc Çözeltisi (% 2 HNO₃ içinde 500 ml), Nitrik asit (safılık>% 65) ve hidrojen peroksit (safılık>% 31) Merck'ten (Darmstadt, Almanya) satın alınmış ve daha fazla saflaştırılmadan kullanılmıştır.

FFPE Dokular

Çalışmamızda kullanılan FFPE doku örnekleri Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi'den alınan etik kurul onayı alındıktan sonra Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıbbi Patoloji Anabilim Dalı'ndan sağlanmıştır. Çalışmada kullanılan FFPE' li parafin bloklar 9 hastanın histopatolojik değerlendirmeler sonucunda tanısı konmuş larenks kanserli ve sağlıklı doku örneklerine aittir. Sağlıklı doku bölgeleri aynı hastanın larenks kanseri doku örneklerinden izole edildi ve kontrol olarak kullanıldı. Formalinle sabitlenmiş ve parafine gömülmüş doku örnekleri daha önce tarif edilen protokol uygulamak üzere hazırlanmıştır (Canene Adams, 2013). FFPE doku blokları, 10 µm kalınlığında kesitler elde edilmek üzere mikrotom cihazı ile kesildi ve deparafinizasyon işlemi yapılmak üzere 2 mL'lik eppendorf tüplerine konuldu.

FFPE Dokuların Deparafinizasyonu

Her numune iki parçaya bölündü ve deparafinizasyon işlemi verimli bir şekilde yapmak için 2 mL numune tüplerine aktarıldı. FFPE doku örnekleri önce bir fırında 60°C'de 60 dakika inkübe edildi. FFPE örnekleri daha sonra 5 dakika boyunca iki kez 1 mL ksilen ile yıkandı. Numuneler bir SpeedVac içinde kurutuldu. Doku örneklerinin rehidrasyonu için, numuneler daha sonra 5 dakika boyunca, %90, %80 ve %0 (h/h) etanol ile yıkandı. Her yıkama aşamasından sonra etanol fazı uzaklaştırıldı ve doku örnekleri bir SpeedVac içinde kurutuldu.

ICP-MS Analizi

Analiz edilecek elementlerin (Al, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Ag, Cd, Sb ve Pb) standart çözeltileri, artan konsantrasyonlarda %2 nitrik asit çözeltisi kullanılarak hazırlandı. Kalibrasyon eğrileri çizildi ve analiz sırasında kalibrasyon eğrisinde meydana gelen sapmaları düzeltmek için İndiyum, Skandiyum, Germanium ve Bizmut iç standart olarak kullanıldı. Analiz için Endüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi (ICP-MS, Agilent 7700) kullanılmıştır. Dokular tartılarak vida kapaklı(15 ml) tüplere konuldu. Üzerlerine 400µL nitrik asit ve 100µL hidrojen peroksit çözeltileri ilave edildi. 120 dakika mikro dalga cihazında (Ethos Easy, Milestone) 100 derecede yakıldı. Numunelerin üzerine 9.5 ml deiyonize su ilave edildi vortexlendi ve analize hazır duruma getirildi. ICP-MS sistemi 1550 w radyo frekans gücünde çalıştırıldı ve 4.3 mL/dak He akış hızı, 15 L/dak argon (Ar) plazma gaz akış hızı; ve sırasıyla 1 L/dak ve 0.99 L/dak Ar yardımcı ve taşıyıcı gaz akış hızı olarak yöntem şartları belirlendi ve analizler yapıldı.

İstatistiksel Analiz

Çalışmada istatistiksel analiz için IBM SPSS 20.0 paket programı kullanıldı. Kanser ve sağlıklı dokulardaki eser element konsantrasyonlarını karşılaştırmak için bağımsız örnekler t-testi kullanılmıştır. p <0.05 anlamlı, p < 0.001 ise çok anlamlı kabul edildi.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Analiz edilen tüm eser elementlerin konsantrasyonları Çizelge 1' de özetlenmiştir. Çizelge 1 incelediğinde Al, Cr, Mn, As, Se, Ag ve Sb elementlerinin sağlıklı dokularda kanserli dokulara oranla istatistiksel olarak anlamlı (p <0.05) şekilde yüksek olduğu ve özellikle Al'nin çok anlamlı (p < 0.001) olarak kanserli dokularda düştüğü gözlenmiştir. Cu elementi ise sağlıklı dokularda 17.41 ppm derişime

sahipken kanserli dokularda 41.18 ppm seviyesine yükselerek anlamlı derecede ($p < 0.05$) farklılık göstermiştir.

Kanserli dokularda Zn ve Cd elementlerine ait eser element konsantrasyonları sağlıklı dokulara göre daha yüksek olmasına rağmen bu farklılıkların istatistiksel olarak anlamlılık ifade etmediği görülmüştür. Co, Ni, Se, Ag ve Pb elementlerinin ise sağlıklı dokulardaki derişimleri kanserli dokulardakine göre istatistiksel olarak anlamlı olmamasına rağmen daha yüksektir.

Çizelge 1. Tümörlü ve tümörsüz lareks dokularında eser element düzeyleri ve istatistiksel sonuçlar

	Grup	N	Ortalama mg kg ⁻¹	Standart sapma	Ortalama Hata	P değeri
Al	Tümörsüz	9	15.56	2.85	0.95	0.000
	Tümörlü	9	6.88	2.71	0.90	
Cr	Tümörsüz	9	2.59	1.16	0.39	0.006
	Tümörlü	9	1.29	0.43	0.14	
Mn	Tümörsüz	9	1.86	0.97	0.32	0.021
	Tümörlü	9	0.96	0.40	0.13	
Co	Tümörsüz	9	0.16	0.32	0.11	0.24
	Tümörlü	9	0.03	0.01	0.00	
Ni	Tümörsüz	9	0.77	0.24	0.08	0.085
	Tümörlü	9	0.44	0.48	0.16	
Cu	Tümörsüz	9	17.41	5.90	1.97	0.003
	Tümörlü	9	41.18	19.07	6.36	
Zn	Tümörsüz	9	40.21	17.06	5.69	0.129
	Tümörlü	9	50.71	9.78	3.26	
As	Tümörsüz	9	0.56	0.39	0.13	0.006
	Tümörlü	9	0.12	0.13	0.04	
Se	Tümörsüz	9	1.38	1.08	0.36	0.074
	Tümörlü	9	0.61	0.52	0.17	
Ag	Tümörsüz	9	0.16	0.29	0.10	0.19
	Tümörlü	9	0.03	0.02	0.01	
Cd	Tümörsüz	9	0.22	0.14	0.05	0.401
	Tümörlü	9	0.33	0.35	0.12	
Sb	Tümörsüz	9	29.81	19.06	6.35	0.028
	Tümörlü	9	13.96	5.14	1.71	
Pb	Tümörsüz	9	1.44	0.77	0.26	0.958
	Tümörlü	9	1.42	0.90	0.30	

Canlı organizmalarda gerekli elementlerin uygun düzeyde son derece önemli olduğu, eksikliklerinin karsinogenez ile ilişkili olabileceği, birçok hastalığın ve patolojik durumun tanısında metallere belirlenmesinin tavsiye edilebilirliği ve etkinliği son yıllarda yapılan birçok araştırmada doğrulanmıştır (Golasik ve ark., 2015).

Çalışmamızda lareks kanserli hastaların FFPE dokularında Al, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Ag, Cd, Sb ve Pb konsantrasyonlarını inceledik. Sonuçlar, yüksek standart sapma ile kanıtlandığı gibi, çok çeşitli metal dağılımları göstermiştir. Bunun nedeni, biyolojik malzemedeki elementlerin konsantrasyonunun yaş, coğrafi bölge, beslenme ve içme suyundaki elementler gibi birkaç faktöre bağlı olmasıdır (Rebacz ve ark., 2010; Mikulewicz ve ark., 2013).

Bakır midede az duedonumda fazla emilir. Emilen bakır albümin ve histidinle kompleks oluşturarak karaciğere taşınır. Karaciğere taşınan Cu; plazmadaki Cu'nun %95'ini oluşturan seruloplazmin şeklinde salınır. Bakırın vücuda fazla alınması hücrelerde ROT oluşumuna sebep olan oksidan olduğu bilinmektedir. Bakırın indüklediği oksidatif hasar genellikle yüksek derecede reaktif olan OH radikalinin oluşumuyla gerçekleşir ve bu oluşan radikalde dokulara hasar veren lipid peroksidasyonunu başlatabilmektedir. Son yirmi yılda yapılan çalışmalarla tümörün hem etyolojisinde hemde büyümesinde bakırın rolü olduğu gösterilmiştir (Goodman ve ark., 2004; Brewer, 2005). Bu

durum çalışmamızda gözlediğimiz Cu konsantrasyonunun kanserli dokularda ki yükselmesini açıklamaktadır.

Se ile kanser arasında bazı ilişkiler saptanmış ve yüksek dozda hematolojik tümörlerin tedavisinde etkili olduğu ileri sürülmüştür. Ancak daha sonra yapılan çalışmalarda yüksek dozda, laboratuvar hayvanlarında siroz ve hepatoselüler tümörlere yol açtığı bildirilmiştir. Kanser ve Se arasında bir ilişki olduğu yolundaki görüş, Se'nin makromolekülleri oksidasyon stresinden koruduğu ve glutatyonun bir bilşeni olduğu anlaşıldığında anlamlı bulunmuştur (Schwartz, 1975). Larenks dokuları açısından Se miktarının sağlıklı dokularda kanserli dokulara oranla daha yüksek çıkması bu bilgilerle açıklanabilir.

Kanserli ve sağlıklı dokuların element düzeylerinin karşılaştırdığımız bu çalışmada hasta ve kontrol grubu olarak kullandığımız dokuların aynı kişilere ait olması, eser element düzeylerinin kanserle ilişkisi üzerine yapılan araştırmaların güvenilirliğini azaltan yaş, coğrafi bölge, beslenme ve içme suyundaki elementler gibi perdeleyici etkenlerin dışarda bırakılmasını sağlamıştır. Çalışmamızın diğer bir avantajı ise yaş doku yerine FFPE dokular kullanılmasıdır. Çünkü ameliyat esnasında çıkarılan taze dokularla çalışmalar da numunenin tam olarak kanserli veya sağlıklı alanı temsil etmeyebilmesi ve dokuların tartımında taze veya kuru ağırlık farklılık göstereceğinden çelişkili sonuçlar elde edilebilmektedir (Yaman, 2006).

Literatür incelendiğinde kanserli ve sağlıklı dokularda yapılan ve bizim sonuçlarımızı destekler nitelikte birkaç eser element çalışması mevcuttur (Rostkowska Nadolska ve Pośpiech, 1999; Niedzielska ve ark., 2000; Khelifi ve ark., 2013; Dobrowolski ve ark., 2014). Ancak yaptığımız araştırmalarda FFPE larenks dokularında yapılan herhangi bir çalışmaya rastlayamadık. Örneğin Rostkowska ve arkadaşları (Rostkowska-Nadolska ve Pośpiech, 1999) larenks tümöründe arsenik, nikel, bakır, kadmiyum, kurşun ve kobalt konsantrasyonunun kontrol grubuna kıyasla daha yüksek olduğunu ve selenyum, çinko ve demir konsantrasyonunun daha düşük olduğunu bulmuşlardır. Niedzielska ve ekibi (Niedzielska ve ark., 2000) ise larenksin neoplazmatik dokularındaki magnezyum, çinko ve bakır seviyeleri, atomik absorpsiyon spektrofotometrisi kullanılarak belirlenmiş ve çinko ve bakır düzeylerinin kontrol grubuna göre düşük olduğunu belirtmiştir. Bir başka çalışmada ise eşleştirilmiş plazma optik emisyon spektrometresi (ICP-OES) ve atomik absorpsiyon spektroskopisi (AAS) teknikleri ile larenks dokuları analiz edilmiş, sağlıklı doku kanserli olanla karşılaştırılmış ve Zn, Cd, Cu, Al, Ni ve Co içeriğinin kanserli dokularda daha düşük olduğu gösterilmiştir (Dobrowolski ve ark., 2014). Rim ve arkadaşları (Khelifi ve ark., 2013) Atomik Absorpsiyon Spektrometresi kullanılarak 101 baş ve boyun kanseri hastasının tümör dokularındaki As, Cd, Cr ve Ni konsantrasyonlarının sağlıklı dokulara göre daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bizim çalışmamızda ise Cu, Zn ve Cd seviyesi kanserli dokularda yüksek iken Al, Cr, Mn, As, Se, Ag, Pb ve Sb elementlerinin derişimi düşüktür. Fazla Zn ve Cu, reaktif oksijen türleri (ROS) ve DNA dahil farklı hücre bileşenlerine zarar veren oksidatif stres üreterek oksidan özellikler gösterdiği bilinen bir gerçektir (Kohzadi ve ark., 2017). Bu durum çalışmamızı ispatlar niteliktedir.

Görüldüğü üzere yapılan çalışmalar birbirlerini destekleyen sonuçlarla beraber çelişkilerde içermektedir. Bunun nedeni olarak kullanılan yöntem ve biyomateryalin farklılığı olduğunu düşünmekteyiz. Kanserli olmayan dokulara kıyasla kanserli dokuların eser element konsantrasyonlarındaki artış veya azalmalar üzerine literatürdeki farklılıklar; doku bazlı kuru veya ıslak ağırlık, farklı hassasiyetler ve doğruluğu etkileyen analiz yöntemlerinin temeli ve kanserli veya kanserli olmayan alanı temsil eden numunenin alınmasındaki zorluklar gibi birkaç neden olabileceği belirtilmiştir (Yaman, 2006). Bu olumsuzlukları azaltabilmek ve geçmişe dönük birçok hastanın doku analizini yapabilmek için FFPE dokular kullandık. Doku bazlı kuru veya ıslak ağırlık ve kanserli veya kanserli olmayan alanı temsil eden numunenin alınmasındaki zorlukların aşılmasında FFPE dokuların

kullanılması etkili olmuştur. Ayrıca ICP-MS yöntemi kullanmamız, çalışmamızı diğer çalışmalardan ayıran önemli bir unsurdur. Çünkü ICP-MS ile sağlanan tayin limitleri diğer yöntemlerle sağlanamamaktadır ve izotop analizi yapılamamaktadır. ICP-MS cihazı ile çok geniş bir aralıkta (ppt-ppm aralığında) doğrusallık sağlanarak çalışılabilmektedir. Analiz süresi bakımından da diğer yöntemlere göre önemli derecede üstünlük sağlanabilmektedir (Caner, 2014).

SONUÇ

Çalışmamızda larenks kanserli dokularda Cu seviyesinin sağlıklı dokulara göre anlamlı derecede yüksek olduğunu ve Al, Cr, Mn, As, Se, Ag, ve Sb elementlerinin derişiminin ise sağlıklı dokulara göre anlamlı derecede düşük olduğunu saptadık. Bu veriler doğrultusunda larenks kanseri etiyojisinde eser elementlerin önemli rolleri olduğu düşünülmektedir. Ancak bu rollerin aydınlatılmasında beslenme, sigara kullanımı ve coğrafi bölge gibi eser elementlere maruziyeti etkileyen unsurların daha net bir şekilde ortaya koyulmasının gerektiği görülmektedir. Bu sonuçlar kanser hastalarının tanı ve tedavisi ile ilgili çalışmalara öncülük edecektir. Çalışmamızda, FFPE dokuları kullanarak ve ICP-MS yöntemini tercih ederek, eser elementler ve kanser arasındaki ilişkinin daha açık bir şekilde ortaya çıkacağını ve larenks kanserinde eser element analizi ile ilgili çalışmaların çelişkilerinin azaltılacağını düşünüyoruz. Ayrıca bu çalışmanın kanserli ve sağlıklı dokuların eser element düzeyleri üzerindeki araştırmalara da ışık tutacağına inanıyoruz.

TEŞEKKÜR

Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıbbi Patoloji Anabilim Dalı'na FFPE doku örneklerini sağladığı için içten teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- Bánfalvi G, 2011. Cellular effects of heavy metals. Springer Science & Business Media, pp. 3-28, New York-ABD
- Bleackley MR, MacGillivray RT, 2011. Transition metal homeostasis: from yeast to human disease. *Biometals*, 24(5): 785-809.
- Brewer GJ, 2005. Anticopper therapy against cancer and diseases of inflammation and fibrosis. *Drug discovery today*, 10(16): 1103-1109.
- Canene-Adams K, 2013. Preparation of formalin-fixed paraffin-embedded tissue for immunohistochemistry. *Methods in enzymology*, 533: 225-233.
- Caner M, 2014. Icp-ms İle Demir Analizlerindeki Girişim Etkilerinin Gıda, Cam Ve Su Örneklerinde İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Dobrowolski R, Klatka J, Brodnjak-Voncina D, Trojanowska A, Myśliwiec D, Ostrowski J, Remer M, 2014. Chemometric methods for studying the relationships between trace elements in laryngeal cancer and healthy tissues. *Biological trace element research*, 159(1-3): 107-114.
- Goodman V, Brewer, G, Merajver S, 2004. Copper deficiency as an anti-cancer strategy. *Endocrine-related cancer*, 11(2): 255-263.
- Golasik, M., Przybyłowicz, A., Woźniak, A., Herman, M., Gawęcki, W., Golusiński, W., Florek, E. (2015). Essential metals profile of the hair and nails of patients with laryngeal cancer. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 31: 67-73.
- Kaba M, Pirincci N, Yuksel MB, Gecit I, Gunes M, Ozveren H, Eren H, Demir H, 2014. Serum levels of trace elements in patients with prostate cancer. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 15(6): 2625-2629.

- Khelifi R, Olmedo P, Gil F, Hammami B, Chakroun A, Rebai A, Hamza-Chaffai A, 2013. Arsenic, cadmium, chromium and nickel in cancerous and healthy tissues from patients with head and neck cancer. *Science of the total environment*, 452: 58-67.
- Kohzadi S, Sheikhesmaili F, Rahehagh R, Parhizkar B, Ghaderi E, Loqmani H, Shahmoradi B, Mohammadi E, Maleki A, 2017. Evaluation of trace element concentration in cancerous and non-cancerous tissues of human stomach. *Chemosphere*, 184: 747-752.
- Çaloğlu M, Yürüt Çaloğlu V, Uzal C, Karagöl H, Tokatli F, Uygun K, 2005. Larenks Kanserli Olgularda Lokal Bölgesel Kontrol Sonuçlarımız ve Prognostik Faktörler: Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı Deneyimi. *Turkish Journal of Oncology* 20(1): 20-26
- Mikulewicz M, Chojnacka K, Gedrange T, Górecki H, 2013. Reference values of elements in human hair: a systematic review. *Environmental toxicology and pharmacology*, 36(3): 1077-1086.
- Niedzielska G, Caruk K, Pasternak K, 2000. Trace elements in neoplasm tissues of the larynx. *Otolaryngologia polska= The Polish otolaryngology*, 54: 200-202.
- Rębacz E, Baranowska-Bosiacka I, Chlubek D, 2010. The content of selected chemical elements in the hair of young men of the Bantu language group from Tanzania versus environmental and social conditioning. *Biological trace element research*, 137(3): 262-279.
- Reddy SB, Charles MJ, Raju GN, Vijayan V, Reddy BS, Kumar M R, Sundareswar B, 2003. Trace elemental analysis of carcinoma kidney and stomach by PIXE method. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 207(3): 345-355.
- Rostkowska-Nadolska B, Pośpiech L, 1999. The content of some trace elements in tissue of laryngeal squamous cell carcinoma. *Otolaryngologia polska= The Polish otolaryngology*, 53(3): 267-270.
- Samavarchi ST, Mahmoodzadeh HH, Yousefi T, Abolghasemi M, Qujeq D, Maniati M, Amani J, 2018. The crosstalk between trace elements with DNA damage response, repair, and oxidative stress in cancer. *Journal of Cellular Biochemistry*, 120: 1080-1105.
- Schwartz MK, 1975. Role of trace elements in cancer. *Cancer research*, 35: 3481-3487.
- Shang Z, Niu Y, Cai Q, Chen J, Tian J, Yeh S, Lai KP, Chang C, 2014. Human kallikrein 2 (KLK2) promotes prostate cancer cell growth via function as a modulator to promote the ARA70-enhanced androgen receptor transactivation. *Tumor Biology*, 35(3): 1881-1890.
- Yaman M, 2006. Comprehensive comparison of trace metal concentrations in cancerous and non-cancerous human tissues. *Current medicinal chemistry*, 13(21): 2513-2525.
- Yaman ME, 2018. İnvaziv Duktal Karsinom Tanisi Almış Meme Dokusu Örneklerine Ait N-Bağlı Glikozilasyon Yapılarının Glikomiks Yaklaşımı İle Analizi Ve Biyobelirteç Potansiyellerinin Araştırılması, Atatürk Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmış).

Lophanthus turcicus'un Antioksidan Özellikleri, C Vitamini, İz element ve Mineral Düzeylerinin BelirlenmesiAhmet BAKIR^{1*}, Suat EKİN¹, Mehmet FIRAT²

ÖZET: Lamiaceae familyasına ait *Lophanthus turcicus* (LT) ülkemizde Doğu Anadolu Bölgesinde yetişen endemik bir bitki türüdür. Bu çalışmada, LT bitki çiçeğinden elde edilen metanol ekstraktın antioksidan özellikleri, C vitamini içeriğini, iz element ve mineral bileşimlerini belirlemektir. İz element ve mineral konsantrasyonları indüktif eşleştirilmiş plazma-optik emisyon spektrometresi (ICP-OES) ve atomik absorpsiyon spektroskopisi (AAS) ile yapıldı. Element değerleri sırasıyla Mg > Ca > K > Na > Zn > Mn > Fe > P > Ti > Sr > Cu > Cr > Pb > Co > Mo > As > Cd > Be > Sn olarak tespit edilmiştir. LT bitki çiçeğindeki metanol ekstraktındaki toplam antioksidan aktivite, fenol, flavonoid ve C vitamini içeriği sırasıyla 26.42 ± 1.68 (mM askorbik asit g⁻¹), 13.44 ± 0.68 (mg gallik asit g⁻¹) ve 4.31 ± 0.36 (mg kuersetin g⁻¹), 113.73 ± 11.81 mg 100g⁻¹ şeklinde tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada DPPH IC₅₀ 122.30 ± 7.68 ug mL⁻¹, pozitif kontrol olan BHT için ise 87.98 ± 6.39 ug mL⁻¹ ve ABTS katyon radikali için IC₅₀ 46.97 ± 2.03 ug mL⁻¹, pozitif kontrol olan troloks ise 18.47 ± 2.53 ug mL⁻¹ olarak değerler bulunmuştur. Bitki çiçeğinin DPPH ve ABTS radikalini süpürme aktivitesi pozitif kontrole göre düşük olmakla beraber diğer bitki türleri ile karşılaştırıldığında iyi bir süpürme aktivitesine sahip olduğu belirlendi. C vitamini içeriğinin yüksek olması, önemli bazı eser elementlerin varlığı ile toplam fenolik, flavonoid ve antioksidan aktivite açısından üstün ve güçlü antioksidan kapasite göstermesi ileride yapılacak çalışmalar için referans oluşturacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: *Lophanthus turcicus*, iz element, mineral, antioksidan,

Determination of Antioxidant Properties, Vitamin C, Trace Elements and Mineral Levels of *Lophanthus turcicus*

ABSTRACT: *Lophanthus turcicus* (LT) belonging to Lamiaceae family is an endemic plant species grown in Eastern Anatolia Region of Turkey. In this study, To determine the antioxidant properties of methanol extract obtained from LT plant flower, vitamin C content, trace element and mineral compositions. Trace element and mineral concentrations were measured by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP-OES) and atomic absorption spectroscopy (AAS). Element values was determined as Mg > Ca > K > Na > Zn > Mn > Fe > P > Ti > Sr > Cu > Cr > Pb > Co > Mo > As > Cd > Be > Sn respectively. Total antioxidant activity, phenol, flavonoid and vitamin C content in methanol extract of LT plant flowers were 26.42 ± 1.68 (mM ascorbic acid g⁻¹), 13.44 ± 0.68 (mg gallic acid g⁻¹) and 4.31 ± 0.36 (mg quercetin g⁻¹), 113.73 ± 11.81 mg 100g⁻¹ respectively. In the study, DPPH IC₅₀ was 122.30 ± 7.68 µg mL⁻¹ and 87.98 ± 6.39 µg mL⁻¹ for the positive control BHT and ABTS cation radical IC₅₀ was found as 46.97 ± 2.03 ug mL⁻¹, and positive control trolox was found as 18.47 ± 2.53 ug mL⁻¹. Although DPPH and ABTS radical scavenging activity of the plant flower was lower than the positive control, it was determined that it had a good scavenging activity compared to other plant species. It is thought that high vitamin C content, presence of some important trace elements and superior and strong antioxidant capacity in terms of total phenolic, flavonoid and antioxidant activity will constitute a reference for future studies.

Key words: *Lophanthus turcicus*, trace element, mineral, antioxidant,

¹ Ahmet BAKIR (Orcid ID: 0000-0003-0797-285X), Suat EKİN (Orcid ID: 0000-0002-6502-5028), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Van, Türkiye

² Mehmet FIRAT (Orcid ID: 0000-0001-5814-614X), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Van, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Ahmet BAKIR, e-mail: ahmetcu@msn.com

Makale 20-22 Aralık 2019 tarihlerinde Van'da düzenlenen "III. Uluslararası Tarım, Hayvancılık ve Kırsal Kalkınma Kongresi'nde" sözlü sunum olarak sunulmuştur.

Geliş tarihi / Received: 07-02-2020

Kabul tarihi / Accepted: 28-04-2020

GİRİŞ

Geçmişten günümüze bitkiler hem tedavi amaçlı hem de zengin ve değerli besin içerikleri bakımından sağlığımızın korunmasında önemli birer kaynak olmuşlardır (Gürel, 2014). Yaşamın devamı için bazı fizikokimyasal reaksiyonlarda gerekli olan mineraller tüm vücut dokularında ve sıvılarında bulunan inorganik maddelerdir (Soetan et al., 2010). Bu mineraller ve bazı iz elementler enerji vermemelerine rağmen, organizmadaki işlevleri hayatidir ve olmazsa olmaz derecededir. Ancak tüm bu faydalarının yanında zaman içinde bitkilere fazla miktarda geçtiğinde toksik etki yapmakta ve nihayetinde insanlara da geçerek önemli hasarlara yol açmaktadırlar (Kahvecioğlu ve ark., 2003; Okçu ve ark., 2009). Vitaminler ise çoğunluğu insan organizması tarafından sentezlenemeyen, eksikliklerinde birçok sorunu beraberinde getiren organik olmayan bileşiklerdir (Ferrier, 2019). C vitamini izole edildiği 1930'lardan bu yana soğuk algınlığına bağlı üst solunum yolları tedavisinde önerilmektedir (Hemila ve Chalker., 2013).

LT Lamiaceae familyasına ait endemik bir bitki türüdür (Dirmenci ve ark., 2010). Lamiaceae dünya çapında dağılım gösteren 245'den fazla cins ve 7886 tür içeren çok geniş bir bitki ailesidir (Celep ve Dirmenci, 2017). Ekonomik ve tıbbi açıdan önemli birçok tür barındırır. Nane, adaçayı, biberiye, kekik ve reyhan en çok bilinen türlerindedir (Harley et al., 2004). Lamiaceae türü ülkemizde 46 cins, 586 tür ve toplam 755 takson ile temsil edilmektedir (Güner ve Aslan, 2012).

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tıbbi ve aromatik bitkileri "insanları hastalıklardan koruyan, sağlıklarını devam ettiren ve rahatsızlıklarını gideren ilaçları sağlayan bitkiler" olarak tanımlamaktadır. Bitkilerde yüksek yoğunlukta bulunan antioksidan aktiviteye sahip kimyasal bileşenler çeşitli durumlarda oluşan serbest radikalleri etkisiz hale getirerek, çeşitli hastalıkların önlenmesinde önemli rol oynarlar (Capecka et al., 2005). Bitkilerin bu içeriklerinden dolayı her geçen gün doğal antioksidan olarak kullanılmasına dönük çalışmalar hız kazanmaktadır (Faydaoğlu ve Sürücüoğlu, 2013). Ayrıca tıbbi ilaçlar kadar etkili olabilen bitkisel ilaçlar önemli endüstriyel potansiyele sahiptir ve dünya genelinde koruyucu ve iyileştirici tedavilerde kullanılmaktadır (Mimica-Dukic et al., 2004).

Bu çalışmanın amacı, zengin ve önemli bir floraya sahip olan Ülkemizin Doğu Anadolu Bölgesi'nin bir endemik bitkisi olan *LT* bitki çiçeğinin içeriğini araştırmaktır. Bu amaçla çeşitli yöntemlerle bitki çiçeğinin C vitamini içeriğini, DPPH radikali giderme kapasitesini, ABTS radikali giderme kapasitesi, toplam fenolik, flavonoid ve antioksidan aktivitesi ile mineral ve iz element seviyelerini belirlemektir.

MATERYAL VE METOT

Bitki Malzemesi ve Ekstraksiyonu

Lophanthus turcicus Dirmenci, Yıldız & Hedge bitkisinin çiçeği Van İli, Bahçesaray İlçesi, Vare Krapet Geçidi, Ceberutken Yaylası mevkiinde 2772 metre yüksekliğinde 38° 08' 59" K - 42° 52' 48" D koordinatlarında toplandı. Bitki çiçeğine ait görüntü şekil 1'de verilmiştir. *Lophanthus turcicus* Dirmenci, Yıldız & Hedge bitki çiçeğinin tanımlanması 34055 (VANF) koduyla, Van Y.Y.Ü de Arş. Gör. Mehmet FIRAT tarafından yapılmıştır.

Bitkinin toplanan çiçek kısmı güneş görmeyen serin bir yerde kurutulup bitki öğütücü süper mikser (New nova industrial kitchen equipment) ile öğütülüp toz haline getirildi. *LT* çiçeğinin metanol ekstraksiyon işlemleri için 20 gr kuru bitki çiçeği tartılıp erlene aktarıldı. Üzerine 0.4 L metanol eklenip alüminyum folyo ile kaplandıktan sonra 48 saat manyetik karıştırıcıda bırakıldı. Süzgeç kağıdı (Whatman No: 1) ile süzüldükten sonra evaporatör yardımıyla metanol uzaklaştırıldı. Son özüt için

liyofilizasyon yoluyla bir (1) gün derin dondurucuda bırakıldı. Son kuru ağırlık tartılıp özüt hazırlandıktan sonra alüminyum folyo ile kaplanıp çalışmanın yapılacağı süreye kadar buzdolabında saklandı.



Şekil 1. *Lophanthus turcicus* bitkisine ait çiçek görüntüsü

Mineral Tayini

Mineral miktarlarının belirlenmesi kuru yakma metodu kullanılarak belirlendi. Ca, K, Mg, Na ve Fe elementleri atomik absorpsiyon spektroskopisi (AAS) ile As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Sb, Se, Sn, Sr, Ti, Tl, V ve Zn elementleri ise indüktif eşleştirilmiş plazma-optik emisyon spektrometresi (ICP-OES) kullanılarak gerçekleştirildi.

Antioksidan Özellikler

Toplam Antioksidan Aktivite

LT bitkisinin çiçek kısmından hazırlanan ekstaktın toplam antioksidan kapasitesinin belirlenmesinde Prieto ve arkadaşlarının 1999 yılında antioksidan kapasitesinin kantitatif tayini için geliştirdikleri spektrofotometrik bir metot kullanıldı. Bitkinin çiçek ekstraktının metanolla seyreltilmiş farklı derişimlerdeki örneklerinden 0.2 mL alınıp üzerlerine 2 mL belirteç çözeltisi (0.6 M sülfürik asit, 28 mM sodyum fosfat ve 4 mM amonyum molibdat) eklendikten sonra 95 °C'de 90 dakika inkübe edildi. Örnekler buz banyosunda oda sıcaklığında soğutuldu ve 695 nm dalga boyunda kontrol örneğine karşı okundu. Toplam antioksidan kapasite askorbik asit standart grafiği belirlenerek hesaplandı ve örneklerin toplam antioksidan kapasiteleri mM askorbik asit g⁻¹ şeklinde verildi.

Toplam Fenolik Bileşiği Miktar Tayini

LT bitkisinin çiçek kısmından hazırlanan ekstraktın toplam fenol içeriğinin belirlenmesinde Folin-Ciocalteu (FCR) belirteci kullanıldı (Yi et al., 1997; Gamez-Meza et al., 1999). Metanol ile seyreltilerek hazırlanan çiçek ekstrakt örneklerine 0.3 mL % 2'lik Na₂CO₃ eklendikten sonra 0.1 mL folin belirteci eklendi ve 2 saat oda sıcaklığında inkübe edildi. Örneklerin absorbansları 765 nm dalga boyunda okundu. Standart eğrinin hazırlanması için farklı konsantrasyonlarda gallik asit çözeltileri kullanıldı.

Total Flavonoid İçeriğinin Belirlenmesi

LT bitkisinin çiçek kısmından hazırlanan ekstraktın flavonoid içeriğini belirlemek üzere daha önce hazırlanan çözeltinin 0.5 mL'sine 0.1 mL potasyum asetat eklendi ve üzerine 0.1 mL alüminyum nitrat ile 4.6 mL etanol eklendi. Bu işlem sonunda çözeltiler vorteksenerek 40 dakika oda sıcaklığında inkübe edildi. En sonunda örneklerin absorbansları 415 nm dalga boyunda kontrol örneğine karşı okundu.

Standart eğrinin hazırlanması için farklı konsantrasyonlarda kuersetin çözeltileri kullanıldı (Lamasion et al., 1990).

C Vitamini Tayin Yöntemi

LT bitkisinin çiçek ekstraktının C vitamini miktarının belirlenmesi, spektrofotometrik olarak 521 dalga boyunda ölçüm yapılarak gerçekleştirildi. C vitamini tayini için ilk olarak 0.5 gr *LT* bitkisinin çiçek kısmı tartılıp tüplere aktarıldı. Üzerlerine 4 mL metafosforik asit ve 2 mL okzalik asit eklenip 5 dakika 4000 rpm de santrifüj edildi. Santrifüj sonrası elde edilen süzüntüden 2 mL alınarak üzerlerine 0.05 mL tiyoüre ve 0.5 mL 2,4 dinitrofenilhidrazin eklenerek 90 °C'lik su banyosunda bekletildi. Su banyosunda çıkartılan numuneler buz banyosuna yerleştirilerek üzerlerine 2 mL sülfirik asit çözeltilisinden yavaşça eklendi. Tüpler oda sıcaklığına getirilerek vortekslendi. En sonunda spektrofotometrede 521 dalga boyunda ölçümler yapılarak absorbansları kaydedildi. Örneklerin absorptik asit derişimleri, elde edilen kalibrasyon grafiği kullanılarak hesaplandı (Brewster, 1984; Golubkina et al., 1989).

DPPH radikali giderme kapasitesi

LT bitkisinin çiçek ekstraktının, 2,2-difenil-1- pikrilhidrazil (DPPH) radikalini temizleme özelliğini belirlemek amacıyla metanolle seyreltilerek hazırlanan farklı derişimlerdeki çözeltilere % 0.004 DPPH çözeltilisinden 5 mL eklenerek 30 dakika oda sıcaklığında inkübe edildi. Örneklerin absorbansları 517 nm dalga boyunda kontrol örneğine karşı okundu (Cuendet et al., 1997; Chen et al., 2009).

ABTS Radikali Giderme Aktivitesi Tayini

LT bitkisine ait ekstraktın ABTS⁺ radikalini giderme aktivitesi hazırlanan 0,1 M'lık pH: 7,4 olan fosfat tamponu ile yapıldı. 2 mM ABTS çözeltilisi ile 2,45 mM'lık potasyum persülfat çözeltileri hazırlandı. Daha sonra hazırlanan bu iki çözeltili karıştırılıp oda sıcaklığında bekletildi. Hazırlanan çözeltili 734 nm'de spektrofotometrede absorbansı okunarak hesaplandı. Moleküllerin kararlı serbest radikali süpürme kabiliyeti bir sentetik antioksidan olan troloks ile yapıldı (Miller ve ark., 1993; Re ve ark., 1999).

BULGULAR VE TARTIŞMA

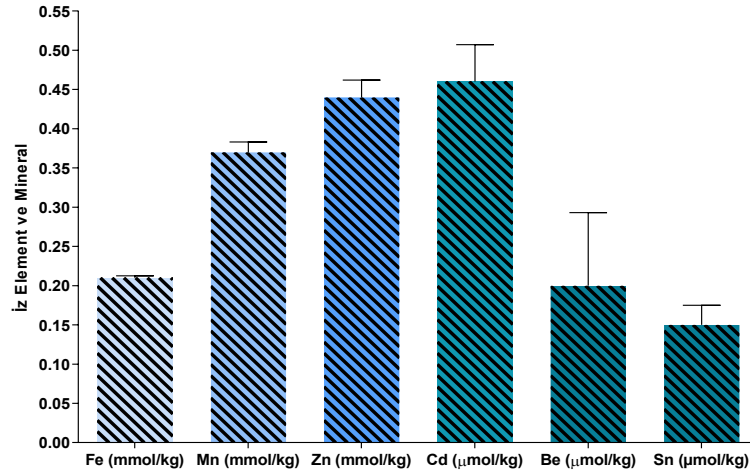
Minerallerin Miktarı

Lophanthus turcicus bitkisinin çiçek kısmına ait mineral ve iz element düzeyleri Çizelge 1'de seviyeleri ise Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'te verildi.

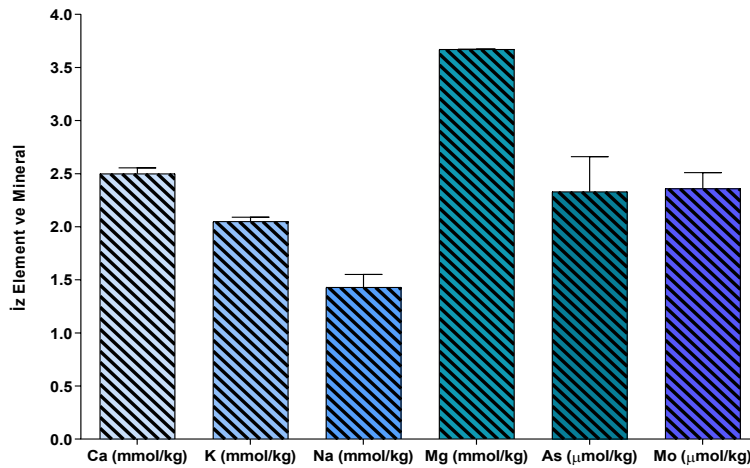
Çizelge 1. *Lophanthus turcicus* bitkisinin çiçeğine ait mineral ve iz element düzeyleri

Mineraller	<i>Lophanthus turcicus</i>	Mineraller	<i>Lophanthus turcicus</i>
Ca (mmol kg ⁻¹)	2.50 ± 0.055	Mo (µmol kg ⁻¹)	2.36 ± 0.15
As (µmol kg ⁻¹)	2.33 ± 0.33	Fe (mmol kg ⁻¹)	0.21 ± 0.0025
K (mmol kg ⁻¹)	2.05 ± 0.039	Mn (mmol kg ⁻¹)	0.37 ± 0.013
Be (µmol kg ⁻¹)	0.20 ± 0.093	Sn (µmol kg ⁻¹)	0.15 ± 0.025
Cd (µmol kg ⁻¹)	0.46 ± 0.047	P (µmol kg ⁻¹)	81.11 ± 3.51
Mg (mmol kg ⁻¹)	3.67 ± 0.0033	Zn (mmol kg ⁻¹)	0.44 ± 0.022
Co (µmol kg ⁻¹)	5.12 ± 0.15	Pb (µmol kg ⁻¹)	14.31 ± 0.83
Na (mmol kg ⁻¹)	1.43 ± 0.12	Sr (µmol kg ⁻¹)	64.22 ± 3.55
Cr (µmol kg ⁻¹)	20.45 ± 0.93	Ti (µmol kg ⁻¹)	79.03 ± 2.31
Cu (µmol kg ⁻¹)	57.87 ± 4.75		

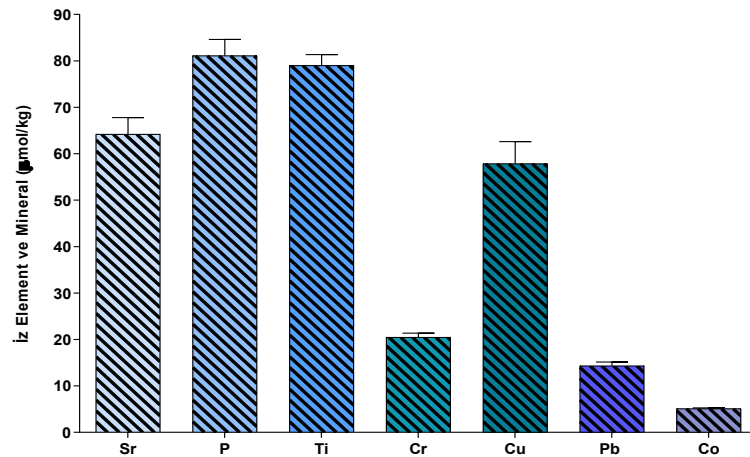
LT Dirmenci, Yıldız & Hedge bitkisinin çiçeğinin mineral düzeyleri karşılaştırıldığında $Mg > Ca > K > Na > P$ şeklinde belirlendiği, iz elementlerin ise $Zn > Mn > Fe > Ti > Sr > Cu > Cr > Pb > Co > Mo > As > Cd > Be > Sn$ şeklinde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2. *Lophanthus turcicus* bitki çiçeğinin iz element (Fe, Mn, Zn, Cd, Be ve Sn) seviyeleri



Şekil 3. *Lophanthus turcicus* bitki çiçeğinin mineral (Ca, K, Na, Mg) ve iz element (As, Mo) seviyeleri



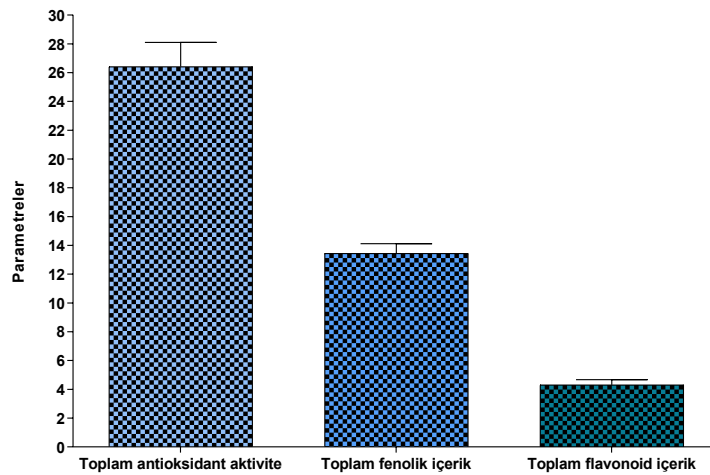
Şekil 4. *Lophanthus turcicus* bitki çiçeğinin mineral (P) ve iz element (Sr, Ti, Cr, Cu, Pb, Co) seviyeleri

C vitamini, Toplam Fenolik, Flavonoid ve Antioksidan Kapasite Düzeyleri

LT bitki çiçeğinin metanol ekstraktının C vitamini içeriği, toplam fenol, flavonoid ve antioksidan seviyeleri Çizelge 2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2. *Lophanthus turcicus* bitki çiçeğinin C vitamini, toplam fenolik, flavonoid ve antioksidan kapasiteleri düzeyleri

C Vitamini (mg 100g ⁻¹)	T. Fenol (mg gallik asit g ⁻¹)	T. Flavonoid (mg kuersetin g ⁻¹)	T. Antioksidan Kapasitesi (mM askorbik asit g ⁻¹)
113.73 ± 11.81	13.44 ± 0.68	4.31 ± 0.36	26.42 ± 1.68



Şekil 5. *Lophanthus turcicus* bitki çiçeğinin metanol ekstraktının toplam fenol, flavonoid ve antioksidan içeriği

DPPH (2,2 – difenil-1-pikrilhidrazil) Radikali Giderme Kapasitesi

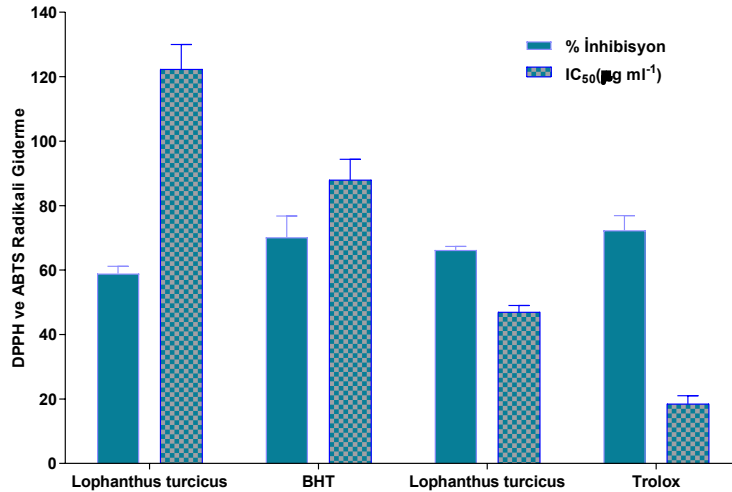
LT bitki çiçeğinin farklı derişimlerinde hazırlanan çiçek ekstraktı ve karşılaştırma amaçlı olarak kullanılan pozitif kontrolün radikali en yüksek inhibisyon yüzdeleri ile DPPH radikalini % 50 inhibe eden derişim değerleri (IC₅₀) hesaplanarak çizelge 3 ‘de verildi. Ayrıca *LT* bitkisinin çiçek ve BHT (Bütillendirilmiş hidroksi toluen) için DPPH radikalini % inhibisyon ve IC₅₀ değerlerinin derişimini gösteren grafik şekil 6’da verildi.

ABTS (2,2’Azino-bis(3-etilbenzotiyazolin-6 sülfonik asit) Radikali Giderme Kapasitesi

LT bitki çiçeğinin farklı derişimlerinde hazırlanan çiçek ekstraktı ve karşılaştırma amaçlı olarak kullanılan pozitif kontrolün radikali en yüksek inhibisyon yüzdeleri ile ABTS katyon radikalini % 50 inhibe eden derişim değerleri (IC₅₀) hesaplanarak çizelge 3 ‘de verildi. Ayrıca *LT* bitkisinin çiçek ve karşılaştırma olarak kullanılan troloks ABTS katyon radikalini % inhibisyon ve IC₅₀ değerlerinin derişimini gösteren grafik şekil 6’da verildi.

Çizelge 3. *Lophanthus turcicus* bitki çiçeğine ait metanol ekstraktı ile pozitif kontrollerin, DPPH ve ABTS radikalini % 50 inhibe eden derişimleri (IC₅₀) ve en yüksek inhibisyon yüzdeleri

	Örnekler	% İnhibisyon	IC ₅₀ (µg mL ⁻¹)
DPPH	<i>Lophanthus turcicus</i>	58.92 ± 2.23	122.30 ± 7.68
	BHT	70.20 ± 6.57	87.98 ± 6.39
ABTS	<i>Lophanthus turcicus</i>	66.27 ± 1.07	46.97 ± 2.03
	Troloks	72.38 ± 4.49	18.47 ± 2.53



Şekil 6. *Lophanthus turcicus* bitki çiçeği ekstraktı ile karşılaştırma olarak kullanılan BHT ile troloks'ın, DPPH ve ABTS radikalini % inhibisyon ve IC₅₀ değerlerinin değişimini gösteren grafik

Bu çalışma *LT* bitkisinin çiçeğindeki iz element ve mineral düzeylerini, toplam fenolik, flavonoid içeriği, C vitamini (askorbik asit) düzeyini ve antioksidan kapasitesini araştırmak için yapıldı. *LT* bitkisinin mineral içeriği Mg > Ca > K > Na > P şeklinde olduğu, iz element içeriğinin ise Zn > Mn > Fe > Ti > Sr > Cu > Cr > Pb > Co > Mo > As > Cd > Be > Sn oranında olduğu belirlenmiştir.

Organizma için önemli mineraller olan Mg, Ca, K, Na ve P elementleri sırasıyla 3.67 ± 0.0033 mmol kg⁻¹, 2.50 ± 0.055 mmol kg⁻¹, 2.05 ± 0.039 mmol kg⁻¹, 1.43 ± 0.12 mmol kg⁻¹ ve 81.11 ± 3.51 µmol kg⁻¹ olduğu tespit edilmiştir. Mg metabolik reaksiyonlarda önemli işlevinden dolayı organizmadaki tüm hücelere dağılmış, yüzlerce enzimatik reaksiyonda bir kofaktör olarak işlev yapmaktadır (Saris et al., 2000 ; Görmüş ve Ergene, 2003; Aksoy, 2016). Bu özellikle kofaktörler veya substratlar olarak nükleotidleri kullanan enzimler için önemlidir. Günlük gereksinim 310-420 mg kadar, yetişkinlerde kas ve yumuşak dokularda ise toplamda 21-28 g oranında Mg yer alır (Saris et al., 2000; Boğa, 2007; Ferrier, 2019).

Kalsiyumun kemik ve diş dokularının oluşumunda, hormonların salınmasında, kasların kasılmasında ve glikojen metabolizmasında birçok önemli işlevi vardır (Kargın et al., 2003; Hacke et al., 2011). Kalsiyum organizmada en fazla bulunan mineral olup, vücudun toplam ağırlığının % 1,5-2'sini oluşturur. Günlük gereksinim yetişkinler için 1000-2000 mg'dır (Aksoy, 2016). Birçok fizyolojik süreçlerde yaptıkları görevlerden dolayı Na ve K beraber ilişkilendirilirler. Sodyum (Na) hücre dışı, potasyum (K) ise hücre içi sıvılarda bulunan önemli katyon ve minerallerdir (Sürücüoğlu, 1992; Ferrier, 2019). Sodyum ve potasyum mineralinin organizmadaki esas işlevleri osmotik basıncı sağlamaktır. Na yetişkinler için günlük ihtiyaç 1500 mg potasyum için ise 4700 mg kadardır (Aksoy, 2016; Ferrier, 2019). Serbest fosfor metabolizmada en bol bulunan anyon konumundadır. Biyokimyacı Frank Eastheimer "*Doğa neden fosfatları seçti*" başlıklı makalesinde bu durum sorulmakta ve neredeyse her şeyi yapabilirler cevabı ile karşılaşılmaktadır. Vücut fosforunun neredeyse tamamı fosfolipitlerin yapısında yer alır (Elser, 2012; Ferrier, 2019). Fosfor mineralinin yetişkinler için günlük 700 mg düzeyinde olduğu kabul edilir (Ferrier, 2019). Canlı organizmanın hayatını idame etmesinde kritik bir konumda olan Mg, Ca, K, Na ve P gibi minerallerin *LT* bitki çiçeğindeki mevcudiyeti ve sahip olduğu oransal miktarları önemlidir. Bu minerallerin günlük alınması gereken standart değerlerde olduğu belirlenmiştir.

Eser elementler ya da mikroelementler canlı dokuda çok az miktarda bulunan (1-100 mg gün⁻¹) mikrobensinlerdir (Ferrier, 2019). Yaptığımız çalışmada önemli eser elementler olan Fe, Mn, Cr, Cu ve

Zn sırasıyla 0.21 ± 0.0025 mmol kg⁻¹, 0.37 ± 0.013 mmol kg⁻¹, 20.25 ± 0.93 µmol kg⁻¹, 57.85 ± 4.75 µmol kg⁻¹ ve 0.44 ± 0.022 mmol kg⁻¹ şeklinde olduğu tespit edilmiştir. İnsan vücudundaki demirin çoğunluğu kırmızı kan hücrelerindeki kırmızı pigment olan hemoglobinde ortaya çıkar. Hemoglobin akciğerlerden oksijeni tüm vücut dokularının hücrelerine taşır. Demir organizmada birçok proteinin bileşenidir (Ferrier, 2019). Diyetle ilişkili referans alımları (DRI) değerlerine bakıldığında yetişkinler için demir ihtiyacı 8-18 mg'dır (Andersen, 2005; Ferrier, 2019). Manganez arjinaz-I, pirüvat karboksilaz gibi birçok enzimin kofaktörüdür. Manganez için günlük alım (DRI değerlerine göre) 1,8-2,3 mg arasındadır (Ferrier, 2019). Krom elementinin vücuttaki yüksek şeker düzeyini normale düşürmesi, insülin ile beraber hareket ettiği ve insülinin etkisini güçlendirdiği yapılan çalışmalarda gösterilmiştir (Osamu, 2004; Andersen, 2005; Ferrier, 2019). Krom diyetle ilişkili referans alımlarına (DRI) göre günlük alım dozu 30-35 mg'dır (Ferrier, 2019). Bakır organizmada meydana gelen birçok işlem için önemli ve gerekli eser elementtir. Organizmada en az 30'dan fazla enzim işleminin ve protein metabolizmasının bir parçasıdır (Gooneratne and Christensen, 1997; Özbolat ve Tuli, 2016). Beyin, sinirler, bağ dokusu ve bağışıklık tepkisi için önemlidir. Bakır elementinin fazlası zehirleyicidir. Yetişkinler için günlük alım 900 µg'dır (Ferrier, 2019). Çinko tüm organizmalar için önemli bir eser elementtir. 100'den fazla enzim ve proteinin birer parçasıdır. Bu enzimler ve proteinler sindirim için gerekli bileşenlerdir. Çinkonun günlük alım miktarı 8-11 mg arasındadır (Rink and Gabriel, 2001; Osamu, 2004; Andersen, 2005; Ferrier, 2019). Yaptığımız çalışmada bu eser elementlerin önemli görüldüğü, bitkinin içeriğinde Zn, Fe, Mn, Cu ve Cr gibi elementlerinin zengin olduğu ve bu açıdan bitkinin antioksidan kapasitesine destek olabileceği belirlenmiştir. Erişkin bireyler için ihtiyaç duyulan bu eser elementler 1 ile 100 mg gün⁻¹ arası düzeydeki mikro besinler olarak düşünüldüğünde çalışmamızdaki bu eser elementlerin güvenli bir aralıkta olduğu belirlendi.

Mineraller organik vitaminler gibi mg veya µg düzeyinde ihtiyaç duyulan besinlerdir. Ancak diğer bir sınıf olan ve yetişkinler için günlük alım < 1 mg gün⁻¹ düzeyinde ihtiyaç duyulan ve ultraeser mineraller diye adlandırılan elementlerdir. Yaptığımız çalışmada ultraeser elementler olan Co ve Mo sırasıyla 5.12 ± 0.15 µmol kg⁻¹ ve 2.36 ± 0.15 µmol kg⁻¹ şeklinde tespit edilmiştir. Kobalt vitamin B₁₂ nin bir bileşeni olan ultraeser bir mineraldir. Molibden ise yağların ve ürik asit metabolizmasında rol oynayan üç enzimin (oksidazlar) işleyişi için çok önemlidir. Molibden düşük düzeyde (yetişkinler için 2 mg gün⁻¹) toksik etkiye neden olur (Andersen, 2005). Yaptığımız bu çalışmada literatürde ultraeser mineral diye tanımlanan Mo ve Co gibi elementlerin bitki içeriğinde olduğu ve ayrıca bu elementlerin miktarının güvenli bir aralıkta olduğu da tespit edilmiştir.

Yaptığımız çalışmada Sr, Pb, Ti, Sn, As, Cd ve Be elementlerinin sırasıyla 64.22 ± 3.55 µmol kg⁻¹, 14.31 ± 0.83 µmol kg⁻¹, 79.03 ± 2.31 µmol kg⁻¹, 0.15 ± 0.025 µmol kg⁻¹, 2.33 ± 0.33 µmol kg⁻¹, 0.46 ± 0.047 µmol kg⁻¹ ve 0.20 ± 0.093 µmol kg⁻¹ şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Bu elementler diğer pek çok element gibi yoğunlukları nedeniyle ağır metal diye tanımlansa da izin verilebilir sınırı aşmadığı müddetçe toksik etki göstermezler (Küçük ve Karaoğlu, 2017). Bu elementler hava, su, toprak ve besinler aracılığıyla organizmaya alınır (Dündar, 2005). Düşük miktarda (yetişkinler için 20 µg/gün) arsenik insan vücudu için gerekli bir mineraldir. Çünkü yetersizliğinde üreme sisteminde ve kalp fonksiyonunda sorunlara yol açar (Kızıldaş ve ark., 2019). Çalışmamızda arsenik elementinin güvenli aralığında olduğu tespit edilmiştir. Ancak yüksek oranda toksik etki gösteren bir elementtir. Berilyum elementi ve bileşikleri organizma için tehlikeli ve zehirli etkileri olan metallere bir tanesidir (Güven ve ark., 2004). Çalışmamızda bu elementin düşük ve güvenli aralıkta olduğu tespit edilmiştir. Dünya sağlık örgütü (WHO) tıbbi ve hoş kokulu bitkiler için Pb ve Cd konsantrasyonlarının sırasıyla 10 mg kg⁻¹ ve 0.3 mg kg⁻¹ olduğunu açıklamıştır. Çalışmamızda Pb ve Cd elementlerinin konsantrasyonunun söz konusu değerlerden düşük olduğu tespit edilmiştir. Sr, Ti ve Sn elementlerinin vücut fonksiyonlarına

herhangi bir yararı veya zararı olduğuna dair işlevine rastlanılmamıştır (Singh et al., 2010). Çünkü bilimsel anlamda canlı organizmasına yararlığı yeni yeni tanımlanan elementler olmasına rağmen, pek çok işlevi henüz tespit edilemeyen elementlerinde olduğu bir gerçektir.

Lamiaceae çok önemli tıbbi ve aromatik türleri içeren çok geniş bir ailedir (Bozin et al., 2007). Bu familyaya ait baharatlar içeriklerindeki polifenolik bileşikler sayesinde güçlü bir antioksidan olduğu bilinmekte ve birçok hastalığın tedavisinde uzun yıllardır kullanılmaktadır (Hossain et al., 2010). Bu açıdan bakıldığında bugün pek çok tıbbi ve aromatik bitki güçlü antioksidan aktiviteye sahip bileşikleri barındırması bakımından önemli kaynaklar sunmaktadır (Bozin et al., 2007). Bu çalışmanın amacı yeni bir tür olan *LT* bitki çiçeğinin doğal bir antioksidan olarak kullanımının ne düzeyde olduğunu değerlendirmektir. Çalışmamızda *LT* bitkisinin toplam fenol, flavonoid ve antioksidan kapasitesi araştırılmıştır. Bitkinin çiçek metanol ekstraktında ki toplam antioksidan aktivite, fenolik ve flavonoid içerikleri seviyeleri sırasıyla 26.42 ± 1.68 (mM askorbik asit g^{-1}), 13.44 ± 0.68 (mg gallik asit g^{-1}) ve 4.31 ± 0.36 (mg kuersetin g^{-1}) şeklinde tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında kullandığımız *LT* bitkisine en yakın cins yine aynı familyadan olan *Nepeta* cinsidir. Karaujalis et al., 2011 yılında yaptıkları çalışmada bazı *Nepeta* türleri olan *N. transcaucasia*, *N. bulgaricum*, *N. cataria* var. *citriodora* ve *N. cataria* bitkisinin total fenolik içerikleri ve antioksidan özelliklerini araştırmışlardır. Metanol ekstraktında hazırlanan çözeltilerinde toplam fenol değerleri *N. transcaucasia* 12.7 ± 0.9 GAE g^{-1} , *N. bulgaricum* 17.4 ± 1.5 GAE g^{-1} , *N. cataria* var. *citriodora* 10.4 ± 1.6 GAE g^{-1} , *N. cataria* 23.1 ± 1.0 GAE g^{-1} sonuçlarını bulmuşlardır. Mihaylova et al., 2013 yılında *Nepeta cataria* bitkisinin toplam fenol içeriğini 49.3 ± 2.7 mg GAE g^{-1} DW şeklinde tespit etmiştir. Aksoy ve ark., 2008 yılında *Salvia holaphila hedge* bitkisinin antioksidan aktivitesini 59.55 ± 0.4 mg AAE g^{-1} kuru ağırlık, toplam fenol içeriğini ise 6.66 ± 0.29 mg GAE g^{-1} olarak tespit etmişlerdir. Bayan ve Genç, 2016 yılında *Salvia verticillata subsp. amasiaca* türünün toplam fenolik değerini 140.18 ± 8.73 mg GAE g^{-1} ve toplam flavonoid değerini 51.56 ± 1.18 mg QE g^{-1} olarak tespit etmişlerdir. Yaptığımız çalışmada bulunan değerler bazı *Nepeta* türlerine göre toplam fenol içeriğinin daha yüksek olduğu, *Salvia holaphila hedge* türüne göre toplam fenol içeriğinin yüksek ancak toplam antioksidan aktivitesinin düşük olduğu ve *Salvia verticillata subsp. amasiaca* türüne göre ise hem toplam fenol hem de antioksidan aktivite bakımından düşük olduğu belirlenmiştir.

Çalışmamız kapsamında belirlediğimiz C vitamini (askorbik asit) miktarının 113.73 ± 11.81 mg $100g^{-1}$ oranında olduğu belirlenmiştir. C vitamini bazı omurgalılar için - insan da dahil - esansiyeldir ve kolayca hidrojen atomu verebilen kuvvetli bir indirgeyici ajan yani antioksidandır (Keha ve Küfrevioğlu, 2012). C vitamini hidroksilasyon reaksiyonlarında bir koenzim rolü üstlenir. Bundan dolayı yara iyileşmelerinde ve normal bağ dokusunun devamı için zaruridir. Dahası besinlerdeki Fe^{+3} - Fe^{+2} ye indirgeyerek bağırsaklardan emilimini kolaylaştırmaktadır (Aksoy, 2016; Ferrier, 2019). Yaşamın devamı için günlük ortalama 40-60 mg arasında alınması gerekir (Aksoy, 2016). Çalışmamızdaki C vitamini içeriği değerlendirildiğinde günlük alım miktarının üstünde olduğunu söyleyebiliriz.

DPPH yöntemi ilk defa 1958 yılında Blois tarafından öne sürülmüştür. DPPH hidrojen atomu verebilen bileşiklerle tepkimeye girebilen kararlı bir serbest radikaldir ve 517 nm'de maksimum absorpsiyonu oluşturur (Brand-Williams et al., 1995). Bu yöntem gıdalardaki ve birçok bitkisel ilacın antioksidan aktivitesini taramak için en basit ve en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Bu yöntemdeki aktivite, ilk konsantrasyondaki DPPH konsantrasyonunu % 50 azaltmak için gerekli olan antioksidan miktarı olan IC_{50} inhibitör konsantrasyonu olarak ifade edilir (Boligon et al., 2014). IC_{50} antioksidan aktivite başlangıçtaki DPPH derişimini % 50 azalması için harcanan antioksidan miktarını ifade eden etkin derişimdir (Brand-Williams et al., 1995). IC_{50} değeri ne kadar düşükse radikal giderici aktivite o kadar yüksektir. Yaptığımız çalışmada *LT* bitkisinin çiçek metanol ekstraktında hidrojen atomu

verebilen bileşiklerle tepkimeye girebilen kararlı bir radikal olan DPPH radikali giderme kapasitesi ele alınmıştır. Çiçek ekstraktının radikali inhibe eden inhibisyon yüzdesi $58.92 \pm 2.23 \text{ ug mL}^{-1}$, pozitif kontrol olarak kullanılan BHT için ise $70.20 \pm 6.57 \text{ ug mL}^{-1}$ bulundu. Bu değerler kıyaslandığında BHT > LT çiçek şeklinde sıralandığı ve bu durumda LT çiçek ekstraktının daha yüksek yüzde inhibisyon değerinde olduğu bulunmuştur. Çiçek ekstraktının DPPH radikali için % 50 inhibisyona uğratan IC₅₀ değeri bitki için $122.30 \pm 7.68 \text{ ug mL}^{-1}$, BHT için ise $87.98 \pm 6.39 \text{ ug mL}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir. İnhibisyon sağlayan derişik değerler kıyaslandığında LT > BHT olduğu ve BHT ekstraktının DPPH radikali için % 50 inhibisyona uğratan derişim değerinin daha düşük olduğu belirlendi. Aras ve ark., 2016 yılında *Nepeta nuda subsp.lydiae* bitkisinde IC₅₀ için 28.5 ug mL^{-1} değerini, Cigremis ve ark., 2010 yılında *Nepeta meyeri* bitkisinde IC₅₀ için 672.2 ug mL^{-1} değerini, Bayan ve Genç., 2016 yılında *Salvia verticillata subsp. amasiaca* bitkisinde IC₅₀ için $11.47 \pm 0.30 \text{ ug mL}^{-1}$ değerini, Aksoy, 2008 yılında *Salvia halophila* bitkisinde IC₅₀ için 69.84 ug mL^{-1} değerini bulmuşlardır.

ABTS çözeltisi persülfat çözeltisi ile karıştırılınca mavi/yeşil renkli ABTS^{•+} katyon radikali oluşur (Re ve ark., 1999). ABTS^{•+} radikal katyonu, DPPH gibi antioksidan varlığında belli bir dereceye kadar ve belli bir zaman aralığında renk değişimi meydana gelen kararlı bir radikaldir. Dolayısıyla antioksidanların kararlı bir yapıda olan radikali süpürme kabiliyeti, aynı şartlar ve aynı konsantrasyon kullanılacak sentetik bir antioksidan varlığında bir kıyaslamaya gidilerek bir hesaplama yapılır. Yaptığımız çalışmada LT bitkisinin çiçek metanol ekstraktında kararlı bir radikal olan ABTS^{•+} radikali giderme kapasitesi ele alınmıştır. Bitki çiçek ekstraktının radikali inhibe eden inhibisyon yüzdesi $66.27 \pm 1.07 \text{ ug mL}^{-1}$, pozitif kontrol olarak kullanılan troloks için ise $72.38 \pm 4.49 \text{ ug mL}^{-1}$ bulundu. Bu değerler kıyaslandığında troloks > LT çiçek şeklinde sıralandığı ve bu durumda sentetik olarak kullanılan troloks'un daha yüksek yüzde inhibisyon değerinde olduğu bulunmuştur. Bitki çiçek ekstraktının ABTS^{•+} radikali için % 50 inhibisyona uğratan IC₅₀ değeri bitki için $46.97 \pm 2.03 \text{ ug mL}^{-1}$, troloks için ise $18.47 \pm 2.53 \text{ ug mL}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir. İnhibisyon sağlayan derişik değerler kıyaslandığında LT > troloks olduğu ve troloks ekstraktının ABTS^{•+} radikali için % 50 inhibisyona uğratan derişim değerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. LT bitkisinin ABTS radikali giderme ile ilgili bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Ancak Tundis ve ark., 2013 yılında yaptıkları çalışmada LT bitkisine en yakın tür olan *Nepeta crossifolia* için IC₅₀ $102.9 \pm 2.9 \text{ ug mL}^{-1}$ ve *Nepeta binaludensis* için ise IC₅₀ $155.2 \pm 2.9 \text{ ug mL}^{-1}$ değerini bulmuşlardır. Salehi ve ark., 2012 yılında yaptıkları bir çalışmada *N. betonicifolia* için ABTS/troloks metanol ekstraktı IC₅₀ $236.7 \pm 6.8 \text{ ug mL}^{-1}$ ve *N.saccharata* IC₅₀ $277.1 \pm 8.5 \text{ ug mL}^{-1}$ olarak tespit etmişlerdir.

SONUÇ

LT bitkisinin çiçek özütünden elde edilen sonuçlara bakıldığında toplam antioksidan aktivite açısından üstün ve güçlü antioksidan kapasiteler gösterdiğini ve bu sonuçların, yüksek toplam fenolik, flavonoid ve C vitamini içeriği değerleri ile uyumlu olduğunu göstermiştir. Bitkinin sahip olduğu Mg, Ca, K, Na ve P gibi minerallerin oranı ve canlı organizma için çok hayati konumda olan Fe, Mn, Cu, Zn, Cr, Mo ve Co gibi iz elementlerin varlığı bitkinin antioksidan kapasitesine katkıda bulunabilir. LT bitki çiçeğinin DPPH ve ABTS radikali giderme aktivitesi pozitif kontrol olan BHT ve troloks'dan daha düşük olduğu ancak diğer bitki türleri ile kıyaslandığında iyi bir süpürme aktivitesine sahip olduğu belirlenmiştir. *Lophanthus turcicus* bitkisinin çiçeklerinin gıda ürünleri ve eczacılıkta, hoş kokulu olması açısından ise parfümeri endüstrisine katkı maddesi olarak kullanılabilmesi ve bu çalışma sonuçları verilerinin gelecek diğer çalışmalar için ise bir referans olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Aksoy A, Albayrak S, Sağdıç O, 2008. Türkiye'de Yetişen Endemik *Salvia halophila*'nın Antimikrobiyal ve Antioksidan Aktivitesinin Belirlenmesi. Türkiye 10. Gıda Kongresi, 01-04 Mayıs 2008, Erzurum.
- Aksoy M, 2016. Beslenme Biyokimyası. Alp Ofset Matbaacılık Ltd. Şti 5. baskı. s. 506-520, Ankara-Türkiye.
- Andersen SM, 2005. Vitamins and Minerals In The Traditional Greenland Diet. NERI Technical Report, 528.
- Aras A, Dogru M, Bursal E, 2016. Determination of Antioxidant Potential of *Nepeta nuda subsp. lydiae*. Analytical Chemistry Letters, 6(6), 758-765.
- Bayan Y, Genç N, 2016. *Salvia verticillata subsp. amasiaca*'nın Toplam Fenolik Madde ve Antioksidan Kapasitesinin Belirlenmesi. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5(2), 158-166.
- Boğa A, 2007. Ağır Metallerin Özellikleri ve Etki Yolları. Arşiv Kaynak Tarama Dergisi, 16 (3).
- Boligon AA, Machado MM, Athayde ML, 2014. Technical Evaluation of Antioxidant Activity. Med chem, 4(7), 517-522.
- Bozin B, Mimica-Dukic N, Samojlik I, Jovin E, 2007. Antimicrobial and Antioxidant Properties of Rosemary and Sage (*Rosmarinus officinalis L.* and *Salvia officinalis L.*, *Lamiaceae*) Essential Oils. Journal of agricultural and food chemistry, 55(19), 7879-7885.
- Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C, 1995. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. LWT-Food science and Technology, 28(1), 25-30.
- Brewster MA, 1984. Vitamins. In Clinical Chemistry, Theory, Analysis and Correlation (Edt: Kaplan, L. A., Pesce, A.J.) Mosby Company, St., Louis. USA. 656-685.
- Capecka E, Mareczek A, Leja M, 2005. Antioxidant Activity of Fresh and Dry Herbs of Some Lamiaceae Species. Food chemistry, 93(2), 223-226.
- Celep F, Dirmenci T, 2017. Systematic and Biogeographic Overview of Lamiaceae in Turkey. Natural Volatiles Essential Oils, 4(4), 14-27.
- Chen YC, Chang HS, Wang CT, Cheng FY, 2009. Antioxidative Activities Of Hydrolysates From Duck Egg White Using Enzymatic Hydrolysis. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 22(11), 1587-1593.
- Cigremis Y, Ulukanli Z, Ilcim A, Akgoz M, 2010. In Vitro Antioxidant And Antimicrobial Assays Of Acetone Extracts From *Nepeta Meyeri Benth.* Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci, 14, 661-668.
- Cuendet M, Hostettmann K, Potterat O, Dyatmiko W, 1997. Iridoid Glucosides With Free Radical Scavenging Properties From *Fagraea Blumei*. Helvetica Chimica Acta, 80(4), 1144-1152.
- Dirmenci T, Yıldız B, Hedge IC, Fırat M, 2010. *Lophanthus* (Lamiaceae) in Turkey: a new generic record and a new species. Turkish Journal of Botany, 34(2), 123-129.
- Dündar MŞ, Altundağ H, Kaygaldurak S, Şar V, Acar A, 2012. Çeşitli endüstriyel atık sularda ağır metal düzeylerinin belirlenmesi. Sakarya University Journal of Science, 16(1), 6-12.
- Elser JJ, 2012. Phosphorus: A Limiting Nutrient For Humanity? Current opinion in biotechnology, 23(6), 833-838.
- Faydaoğlu E, Sürücüoğlu M, 2013. Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Antimikrobiyal, Antioksidan Aktiviteleri ve Kullanım Olanakları. Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6(2), 233-265.
- Ferrier DR, 2019. Mikroblesinler: Minareller. Lippincott Görsel Anlatımlı Çalışma Kitapları Biyokimya. s.399, İstanbul-Türkiye.

- Gamez-Meza N, Noriega-Rodriguez JA, Medina-Juarez, LA, Ortega-Garcia J, Cazarez-Casanova R, Angulo-Guerrero O, 1999. Antioxidant Activity İn Soybean Oil Of Extracts From Thompson Grape Bagasse. Journal of the American Oil Chemists' Society, 76(12), 1445.
- Golubkina NA, Prudnik OV, 1989. C Vitamins Determination İn Food Products. Journal of Analytical Chemistry, 44 (8): 1091-1100.
- Gooneratne SR, Christensen DA, 1997. Effect Of Chelating Agents On The Excretion Of Copper, Zinc And İron İn The Bile And Urine Of Sheep. The Veterinary Journal, 153(2), 171-178.
- Görmüş S, Ergene N, 2003. Magnezyumun klinik önemi. Genel tıp dergisi, 12(2), 69-75.
- Güner A, Aslan S, 2012. Türkiye bitkileri listesi:(damarlı bitkiler). Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi Yayınları.
- Gürel İA, 2014. İlaçlara ve bitkisel ürünlere bilinçli yaklaşım. TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları. Sayfa 14-17.
- Güven A, Kahvecioğlu Ö, Kartal G, Timur S, İTÜ M, 2004. Metallerin Çevresel Etkileri-III. Metalurji Dergisi, 138, 64-71.
- Hache S, Takser L, LeBellego F, Weiler H, Leduc L, Forest JC, Lafond J, 2011. Alteration Of Calcium Homeostasis İn Primary Preeclamptic Syncytiotrophoblasts: Effect On Calcium Exchange İn Placenta. Journal of cellular and molecular medicine, 15(3), 654- 667.
- Harley RM, Atkins S, Budantsev AL, Cantino PD, Conn BJ, Grayer R, Paton AJ, 2004. The Families And Genera Of Vascular Plants. Labiatae, 6, 241-242.
- Hemilä H, Chalker E, 2013. Vitamin C For Preventing And Reating The Common Cold. Cochrane database of systematic reviews.
- Hossain MB, Rai DK, Brunton NP, Martin-Diana AB, Barry-Ryan C, 2010. Characterization Of Phenolic Composition İn Lamiaceae Spices By LC-ESI-MS/MS. Journal of agricultural and food chemistry, 58(19), 10576-10581.
- Kahvecioğlu Ö, Kartal G, Güven A, Timur S, 2003. Metallerin Çevresel Etkileri-I. Metalurji Dergisi, 136, 47-53.
- Kargin F, Seyrek K, Bildik A, Aypak S, 2004. Determination of the Levels of Zinc, Copper, Calcium, Phosphorus and Magnesium of Chios Ewes in the Aydın Region. Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences, 28(3), 609-612.
- Keha EE, Küfrelioğlu İ, 2012. Biyokimyanın Konusu, Biyomoleküller ve Hücre Yapısı. Biyokimya. s. 231-232, Erzurum-Türkiye.
- Kızıldaş H, Ekin S, Yıldız D, Mesut Pınar S, 2019. Evaluation of Antioxidant Properties, Trace Element and Mineral Composition of *Dactylorhiza umbrosa* (Kar. & Kir.) Nevski (Orchidaceae). Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(4), 2148-2156.
- Kraujalis P, Venskutonis PR, Ragazinskiene O, 2011. Antioxidant Activities And Phenolic Composition Of Extracts From Nepeta Plant Species. In Proceedings of the 6th Baltic Conference on Food Science and Technology.
- Küçük C, Karaoğlu M, 2017. Elements and Heavy Metals. Agriculture Faculty. Iğdır University, Iğdır, Turkey.
- Lamason JL, Carnat A, Petitjean C, 1990. Tannin Content and Inhibiting Activity of Elastase in Rosaceae. Ann. Pharm., 48 (6): 335-340.
- Mihaylova D, Georgieva L, Pavlov A, 2013. In Vitro Antioxidant Activity And Phenolic Composition Of Nepeta Cataria L. Extracts. International Journal of Agricultural Science and Technology, 1(4), 74-79.

- Miller NJ, Rice-Evans C, Davies MJ, Gopinathan V, Milner A. 1993. A novel method for measuring antioxidant capacity and its application to monitoring the antioxidant status in premature neonates. *Clinical science*, 84(4), 407-412.
- Mimica-Dukic N, Bozin B, Sokovic M, Simin N, 2004. Antimicrobial And Antioxidant Activities Of Melissa Officinalis L. (Lamiaceae) Essential Oil. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(9), 2485-2489.
- Okcu M, Tozlu E, Kumlay AM, Pehlivan M, 2009. Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri. *Alınleri Zirai Bilimler Dergisi*, 17(2), 14-26.
- Osamu W, 2004. What are Trace Elements? *Trace Elements*, 351.
- Özbolat G, Tuli A, 2016. Ağır Metal Toksisitesinin İnsan Sağlığına Etkileri. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 25(4), 502-521.
- Prieto P, Pineda M, Aguilar M, 1999. Spectrophotometric Quantitation Of Antioxidant Capacity Through The Formation Of A Phosphomolybdenum Complex: Specific Application To The Determination Of Vitamin E. *Analytical biochemistry*, 269(2), 337-341.
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans, C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, 26(9-10), 1231-1237.
- Rink L, Gabriel P, 2001. Extracellular And Immunological Actions Of Zinc. In *Zinc Biochemistry, Physiology, and Homeostasis* (pp. 181-197). Springer, Dordrecht.
- Salehi P, Sonboli A, Khaligh P, Mirzajani F. 2012. Essential oil composition and antioxidant activity of different extracts of *Nepeta betonicifolia* CA Meyer and *Nepeta saccharata* Bunge. *Natural product research*, 26(8), 736-743.
- Saris NEL, Mervaala E, Karppanen H, Khawaja JA, Lewenstam A, 2000. Magnesium: An Update On Physiological, Clinical And Analytical Aspects. *Clinica chimica acta*, 294 (1-2), 1-26.
- Singh NK, Devi CB, Singh TS, Singh NR, 2010. Trace Elements Of Some Selected Medicinal Plants Of Manipur. *Indian Journal of Natural Products and Resources*, 2:227-231.
- Soetan KO, Olaiya CO, Oyewole OE, 2010. The Importance Of Mineral Elements For Humans, Domestic Animals And Plants-A Review. *African journal of food science*, 4(5), 200-222.
- Sürücüoğlu MS, 1992. Kardiyovasküler Hastalıklarda Mineral ve İz Elementlerin Önemi. *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 21(1), 71-82.
- Tundis R, Nadjafi F, Menichini F, 2013. Angiotensin-Converting enzyme inhibitory activity and antioxidant properties of *Nepeta crassifolia* Boiss & Buhse and *Nepeta binaludensis* Jamzad. *Phytotherapy Research*, 27(4), 572-580.
- Yi OS, Meyer AS, Frankel EN, 1997. Antioxidant Activity Of Grape Extracts In A Lecithin Liposome System. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 74(10), 1301.

Spectroscopic Comparison of 4-Isopropyl-N, N-Bis (4-Azidophenyl) Aniline molecule (IPAPA): DFT and MEP Analysis

Ertugrul CIFTCI¹, Ahmet Cagri ATA^{1*}, Ümit YILDIKO², İsmail CAKMAK¹

ABSTRACT: Nuclear magnetic resonance, vibrational, structural and electronic properties for 4-isopropyl-N, N-Bis (4-azidophenyl) aniline (IPAPA) were determined by quantum chemical calculations of the DFT method. The results were compared with experimental ¹H-NMR spectral data. Theoretical chemical calculations and experimental values were in harmony. The band gap of HOMO - LUMO indicates that the IPAPA molecule is chemically active and has charge transfer in the monomer. In addition, molecular electrostatic potential (MEPS) maps were drawn to identify the reactive regions of the IPAPA molecule. Hybrid functional B3LYP and hybrid exchange–correlation functional named CAM-B3LYP methods of density functional theory (DFT) were selected as the study method. In both methods, molecular optimization and electronic properties were obtained by using 6-311 ++ G (d, p) base set. In addition, HOMO and LUMO energies have been used to identify spherical reactivity and to determine chemical stability.

Keywords: Triphenyl Amine, DFT, HOMO-LUMO, MEPS.

4-İzopropil-N, N-Bis (4-Azidofenil) Anilin molekülünün (IPAPA) Spektroskopik Karşılaştırması: DFT ve MEP Analizi

ÖZET: 4-izopropil-N,N-Bis (4-Azidofenil) Anilin (IPAPA) için nükleer manyetik rezonans, titreşimsel, yapısal ve elektronik özellikler DFT yönteminin kuantum kimyasal hesaplamaları ile belirlenmiştir. Sonuçlar deneysel ¹H-NMR spektral verileri ile karşılaştırıldı. Teorik kimyasal hesaplamalar ve deneysel değerler uyum içindeydi. HOMO ve LUMO'nun bant boşluğu, IPAPA molekülünün kimyasal olarak aktif olduğunu ve monomerde yük transferine sahip olduğunu gösterir. Ek olarak, moleküler elektrostatik potansiyel (MEPS) haritaları IPAPA molekülünün reaktif bölgelerini tanımlamak için çizildi. Yoğunluk fonksiyonel teorisinin (DFT), CAM-B3LYP metotları olarak adlandırılan hibrid fonksiyonel B3LYP ve hibrid değişim-korelasyon fonksiyonu çalışma yöntemi olarak seçilmiştir. Her iki yöntemde de, moleküler optimizasyon ve elektronik özellikler 6-311 ++ G (d, p) baz seti kullanılarak elde edildi. Ek olarak, HOMO ve LUMO enerjileri küresel reaktiviteyi tanımlamak ve kimyasal kararlılığı belirlemek için kullanılmıştır.

Anahtar kelimeler: Trifenil Amin, DFT, HOMO-LUMO, MEPS.

¹Ertugrul CIFTCI (Orcid ID: 0000-0001-5866-8597), Ahmet Cagri ATA (Orcid ID: 0000-0002-2296-2265), İsmail CAKMAK (Orcid ID: 0000-0002-3191-7570), Kafkas Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Kars, Türkiye
²Ümit YILDIKO (Orcid ID: 0000-0001-8627-9038), Kafkas Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Kars, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Ahmet Çağrı ATA, e-mail: ahmetata1024@gmail.com

Geliş tarihi / Received: 11-02-2020

Kabul tarihi / Accepted: 28-04-2020

INTRODUCTION

Triphenylamine (TPA) derivatives have attracted great attention due to their electroactive properties and potential applications such as hall carriers, light emitters and photoconductors. TPA derivatives are electroactive conductive materials with an easily oxidizable electroactive core and excellent hall carrying capacity (Duan et al., 2019; Yadav et al., 2020). Therefore, the investigation of the electrochemical process of TPA based materials is a very important category. The triphenylamine derivatives, which are rich in electrons, are one of the promising donor parts of the donor-acceptor species of functional molecules because of their good electron-donating and high-hall carrier properties (Gu et al., 2009; Steponaitis et al., 2019). Triphenylamine derivatives are important molecules in numerous dye-sensitive solar cells due to the unique irregularity of the three phenyl substituents, the strong electronizing agent, the high light-to-electric conversion efficiency and good hall carrying capacity, and organic electroluminescence materials (S k et al., 2019; Yoosuf et al., 2019). Properties of triphenylamine-based derivatives were investigated using absorption, fluorescence spectroscopy, thermogravimetric analysis and density functional theory calculations (Bourass et al., 2019; Priyatha et al., 2019; Qian et al., 2017; Weng et al., 2016).

Nowadays, the theoretical calculation methods used are easily applied in the laboratory environment for non-synthesized or non-synthesized molecules and the desired results can be obtained. Computational chemistry is a branch of chemistry where computers are used as an aid in solving chemical problems (Boyd, 2019). In computational chemistry, effective computer programs are used to calculate structures, molecules and solid properties. Some theoretical computational studies provide more accurate results than experimental methods. The results of the studies performed by calculation methods are very reliable (Gu et al., 2009; Priyatha et al., 2019; Yadav et al., 2019).

In this study, 4-isopropyl-N, N-Bis (4-Azidophenyl) aniline (IPAPA) molecule synthesized by our group was first drawn with GaussView 6.0 and the input file was created. The ab-initio calculations were performed in Gaussian 09 package program. Hybrid functional B3LYP and hybrid exchange–correlation functional named CAM-B3LYP methods of density functional theory (DFT) were selected as the study method. In both methods, molecular optimization and electronic properties were obtained by using 6-311 ++ G (d, p) base set. The ¹H-NMR spectrum of the molecule was compared with theoretical calculations and experimental results.

MATERIALS AND METHODS

Theoretical analysis of ¹H-NMR spectra of some triphenyl amine derivative was performed by using Chem Office and Gaussian 09 programs (M. J. Frisch, 2016). IPAPA molecule was first drawn in the ChemBioDraw program for molecule for ab-initio calculations made in the Gaussian 09 program and minimized by the Chem3D program by SYBL2 (mol2). Minimized molecules were given to Gaussian 09 program and ab-initio calculations were made for the structure.

For molecule, the gas phase was first optimized using the base set of B3LYP 6-311G ++ G (d, p). Then, for molecule, both the gas phase CAM-B3LYP 6-311 G++ (d, p) optimization and freq calculation was performed. The ¹H-NMR spectra of the molecule were compared with the experimental results by theoretical calculations.

RESULTS AND DISCUSSION

Geometry Optimization

IPAPA optimized basic state structure and total energy conversion are given in Figure 1. DFT-B3LYP / CAM-B3LYP - 6-311 G++ (d, p) optimized bond lengths, bond angles and dihedral angles

parameters of the calculated molecule are listed in Tables 1 and 2. All the values calculated theoretically from the optimized geometry of IPAPA molecule were given and compared in Figure 2-3. This means that the structure has the minimum potential energy. All bond lengths and bond angles in the phenyl rings are within the normal range.

C-C bond distances of 1.08363-1.53993 Å for DFT and 1.08310 - 1.53209 Å for CAM-B3LYP, 1.41818-1.41983 Å for DFT and 1.41386 - 1.41855 Å for CAM-B3LYP belong to the nitrogen atom bound to the phenyl ring. The C-H lengths in the aromatic ring are 1.08322-1.09602 Å and the N-N length is 1.13465-1.23075 Å. All C-C-C angles range from 118 ° to 121 °. The C-C-H angle in the compound is 119 °-120 °, C-C-N 116 °-120 °, C-N-N 118 ° and N-N-N 172 °. There are very few differences between DFT and CAM-B3LYP values. Theoretically, calculated values of some triphenyl amine compounds can give an idea of the geometry of molecular changes.

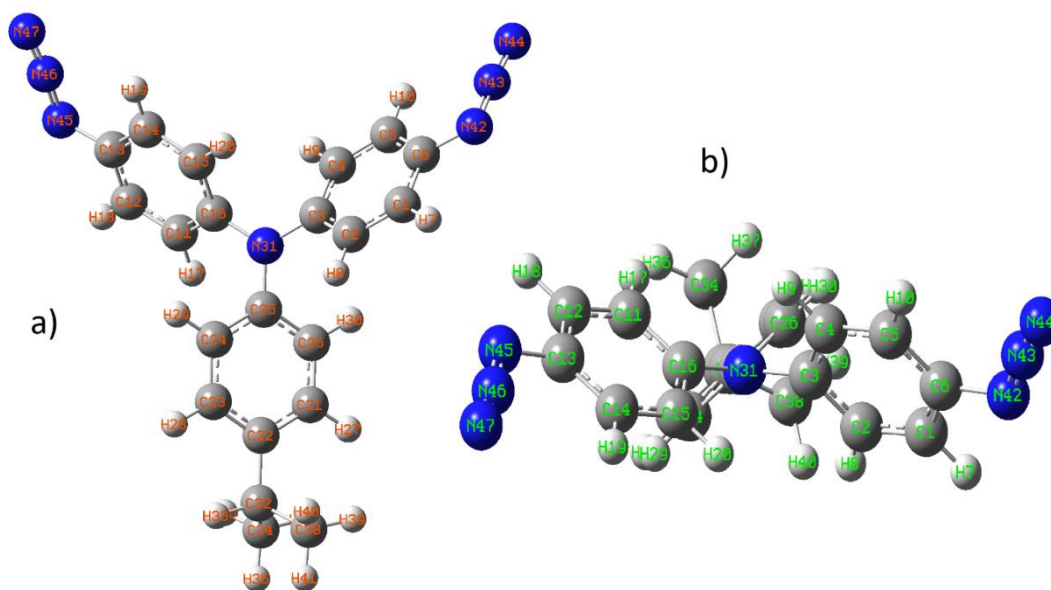


Figure 1. The three-dimensional atomic structure of IPAPA molecule is shown (a, b)

Table 1. Optimized geometrical parameters of IPAPA calculated at the B3LYP and CAM-B3LYP levels with 6-311++G(d,p) basis set

Bond Lengths (Å)	B3LYP	CAM-B3LYP	Bond Angles (°)	B3LYP	CAM-B3LYP
C1-C2	1.38735	1.38207	C1-C2-C3	120.83823	120.79397
C1-C6	1.39757	1.39065	C1-C6-C5	119.36696	119.44970
C1-H7	1.08322	1.08255	C1-C6-N42	116.50506	116.55052
C3-N31	1.41818	1.41386	C6-N42-N43	118.82183	117.74133
C6-N42	1.41977	1.41850	C2-C3-C4	118.40597	118.49869
C15-H20	1.08304	1.08251	C6-C1-H7	119.06626	118.99934
C14-H19	1.08460	1.08409	C6-C5-H10	120.54782	120.64902
N42-N43	1.23075	1.22677	N42-N43-N44	172.98864	173.90410
N43-N44	1.13465	1.12538	C1-C2-H8	119.63556	119.74498
C12-C13	1.39768	1.39078	N31-C3-C2	120.79322	120.71094
C12-H18	1.08323	1.08255	N31-C3-C4	120.80059	120.79019
C11-C12	1.38720	1.38192	C3-N31-C16	120.19963	120.21968
C13-N45	1.41983	1.41855	N31-C16-C15	120.82049	120.82449
N45-N46	1.23069	1.22673	C25-C26-H30	119.50876	119.46081
N46-N47	1.13468	1.12539	C11-C12-C13	120.33477	120.28904

Table 1. Optimized geometrical parameters of IPAPA calculated at the B3LYP and CAM-B3LYP levels with 6-311++G(d,p) basis set (continued)

C24-H29	1.08355	1.08302	C13-C14-H19	120.54168	120.64686
C23-C24	1.39254	1.38757	C12-C13-N45	116.50116	116.54348
C21-C22	1.40111	1.39466	C14-C13-N45	124.13911	124.00989
C22-C32	1.52136	1.51587	C13-N45-N46	118.82376	117.73957
C32-C34	1.53993	1.53209	C32-C34-H35	111.24436	110.65762
C32-H33	1.09602	1.09473	N45-N46-N47	172.99746	173.90600
C32-C38	1.53962	1.53184	C32-C34-H37	111.24436	111.12589
C34-H35	1.09413	1.09283	C26-C25-N31	120.64383	120.58889
C34-H36	1.09296	1.09177	C22-C32-C34	111.90613	111.75007
C34-H37	1.09413	1.09308	C32-C34-H36	111.23284	111.26713
C38-H39	1.09415	1.09308	C34-C32-C38	111.02104	110.94699
C38-H40	1.09298	1.09179	C32-C38-H39	111.31370	111.19158
C38-H41	1.09413	1.09283	C32-C38-H40	111.23292	111.26718
C26-C30	1.08363	1.08310	C32-C22-C21	121.77698	121.57295
C21-H27	1.08489	1.08429	C21-C26-H30	119.99943	120.08057
C23-H28	1.08563	1.08487	C25-N31-C16	119.92012	119.91356

Table 1 shows optimized bond angles and bond lengths of the compound selected on the basis of DFT and CAM-B3LYP / 6-311G++ (d, p). The difference is very small and shows a good fit between the two systems.

Table 2. Optimized geometrical parameters of IPAPA calculated at the B3LYP and CAM-B3LYP levels with 6-311++G(d,p) basis set

Dihedral Angles (°)	B3LYP	CAM-B3LYP	Dihedral Angles (°)	B3LYP	CAM-B3LYP
C1-C2-C3-C4	-0.19481	-0.28253	N42-C6-C1-H7	0.41423	0.35927
C1-C6-C5-C4	-0.30431	-0.38371	N45-C13-C12-H18	0.44360	0.37805
C1-C6-C5-H10	-179.34130	-179.46581	H7-C1-C2-H8	-0.29476	-0.26162
C1-C6-N42-N43	-179.65500	-179.85042	H9-C4-C5-H10	-0.12829	-0.11777
C2-C3-N31-C16	138.32142	138.57564	C24-C25-N31-C16	-43.64461	-43.29803
C6-C1-C2-H8	-179.36800	-179.38684	C22-C32-C34-H36	-56.29107	-56.38985
C6-N42-N43-N44	179.44234	179.75639	H33-C32-C34-H37	-179.30505	-179.32879
C11-C12-C13-N45	179.54793	179.52180	H27-C21-C22-C23	-179.45792	-179.53699
C11-C12-C13-C14	-0.47887	-0.48801	H35-C34-C32-H33	-59.69236	-59.77104
N31-C3-C4-H9	-0.40095	-0.29943	C22-C32-C38-H40	55.80680	56.02590
C12-C13-C14-H19	-179.36135	-179.48246	C22-C32-C34-H35	-176.51710	-176.72973
C13-N45-N46-N47	179.50126	179.75265	C22-C32-C34-H37	63.87021	63.71252

Table 2 shows optimized dihedral bond angles of the compound selected on the basis of DFT and CAM-B3LYP / 6-311G++ (d, p). The difference is very small and shows a good fit between the two systems.

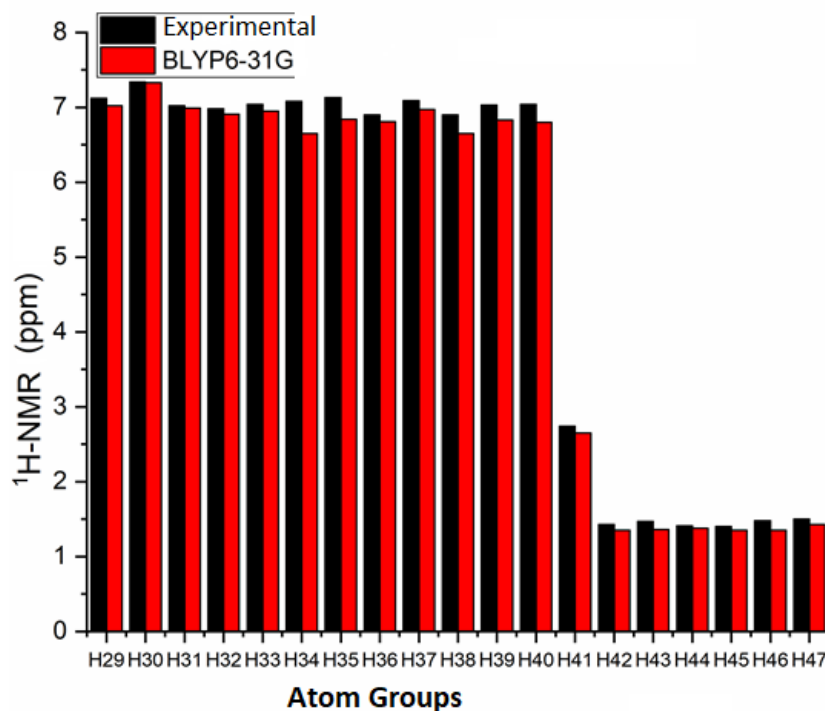


Figure 2. $^1\text{H-NMR}$ Experimental and Theoretical Chemical shift graph of IPAPA molecule

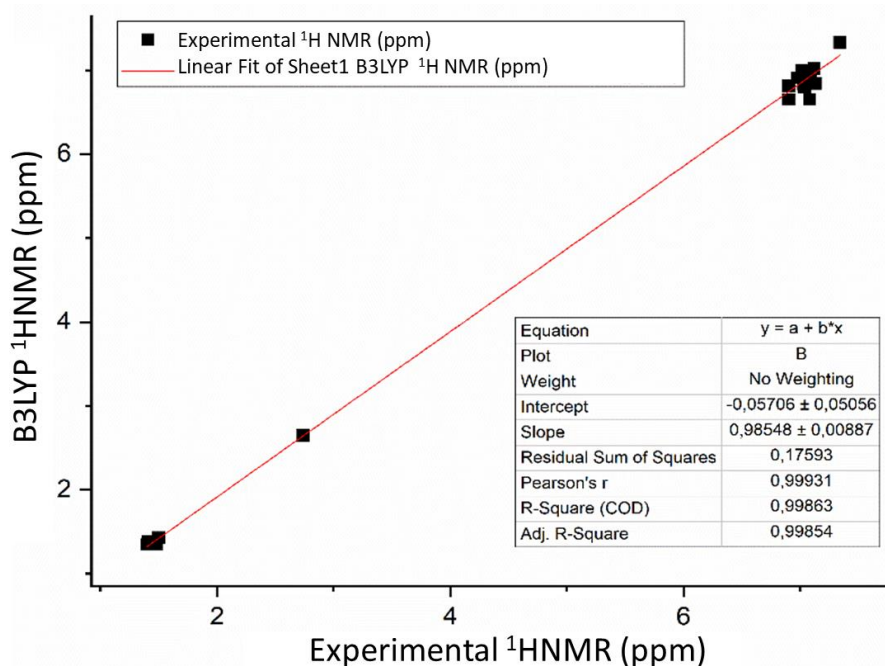


Figure 3. $^1\text{H-NMR}$ Experimental and Theoretical Calculations of IPAPA molecule are shown in the graph

Regression analysis was also performed for the compatibility of the experimental and theoretical data. In the regression analysis for the compatibility of both experimental and theoretical values, $\text{experimental}_{\text{NMR}} = a \cdot \text{theoretical}_{\text{NMR}} + b$ equation was used. According to this equation, whether two variables are compatible or not, a value should be close to or equal to 1 and b value should be close to or equal to 0.

HOMO and LUMO Analysis

HOMO shows a wide range of leading donor orbitals, while LUMO shows leading acceptor orbitals. The HOMO₋₁ and LUMO₊₁ orbitals represent the corresponding donor and acceptor levels with an energy state below and above these levels, respectively. HOMO are electrons in the outermost (highest energy) orbital that can function as an electron donor. LUMO is the innermost (lowest energy) orbital that has enough space to accept electrons and can act as an electron acceptor (Boxi et al., 2019; Damaceanu et al., 2018; Priyatha et al., 2019). Figures 4-5 are the density orbital representation of HOMO and LUMO for IPAPA. E_{LUMO+1} and E_{HOMO-1} graphs of the compound were also obtained. E_{LUMO-1} , 4776 eV - E_{HOMO} -5,3300 eV for the B3LYP method and E_{LUMO} -0.2255 eV - E_{HOMO} -6,5376 eV for the CAM-B3LYP method were calculated from the figure. E_{LUMO+1} -1,3935 eV - E_{HOMO-1} -6,6647 eV for B3LYP method and E_{LUMO+1} -0.01959 eV - E_{HOMO-1} -8.0250 eV for CAM-B3LYP method were calculated. The calculated highest filled molecular orbital (HOMO) and lowest empty molecular orbital (LUMO) energies also confirm that charge transfer occurs within the molecule (Najare et al., 2019). The energy difference between the HOMO and LUMO energies, called the energy gap, helps the chemical reactivity and the kinetic stability of the molecule. Polarization shows the reactive indexes of a molecule with hardness, electronegativity and a small boundary orbital space. Table 3 shows the chemical reactivity indices.

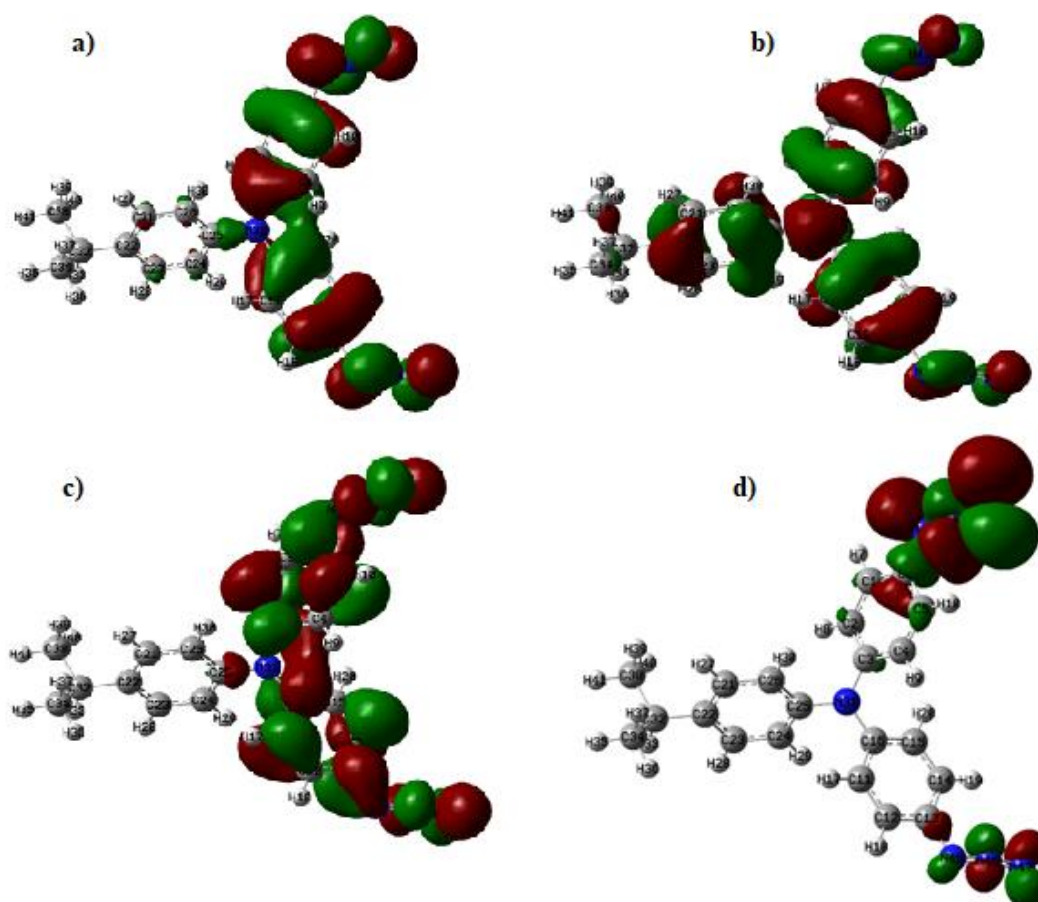


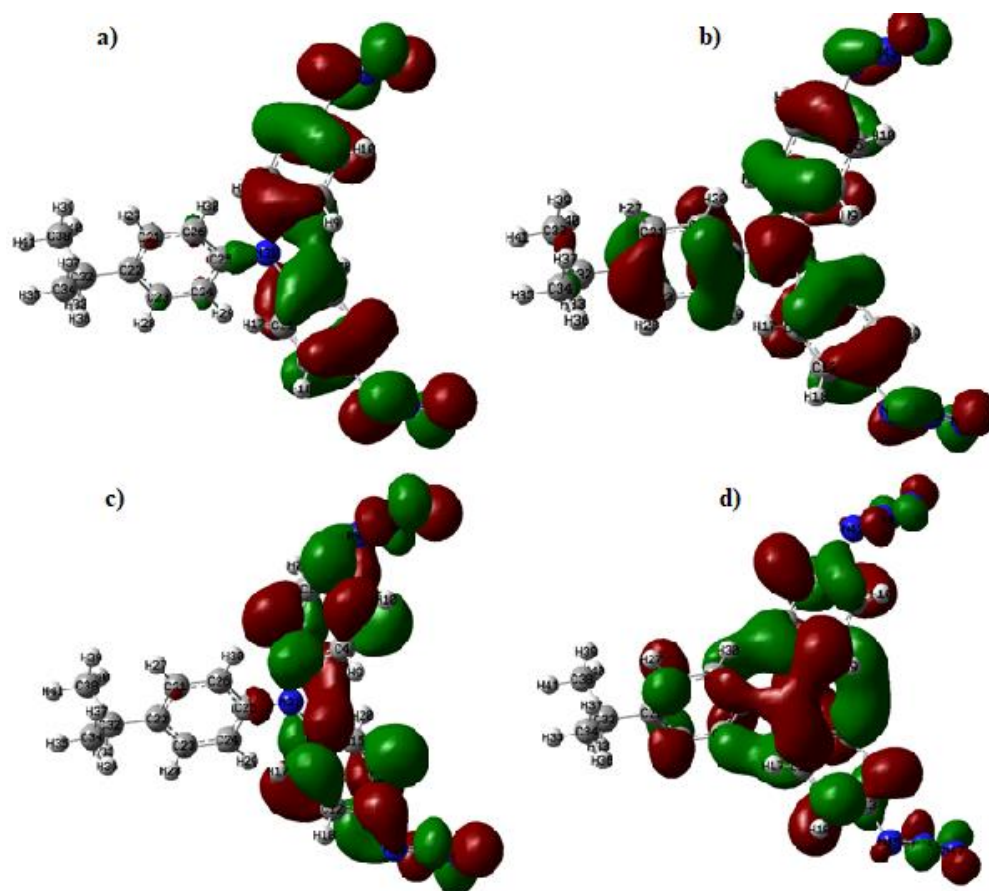
Figure 4. IPAPA molecule; a) DFT_{HOMO-1} , b) DFT_{HOMO} , c) DFT_{LUMO} , d) DFT_{LUMO+1} atomic orbital composition of a molecule

Table 3. Comparison of molecular properties of HOMO, LUMO, Energy gaps (HOMO – LUMO) and related IPAPA (au) using the DFT-CAM/B3LYP/6–311++G(d,p) method

Molecular Energy	B3LYP	CAM-B3LYP
E_{LUMO}	-1.4776	-0.2255
E_{HOMO}	-5.3300	-6.5376
Energy deficit (Δ)	-3.8524	-6.3121
Ionization Potential (I)	5.3300	6.5376
Electron Relevance (A)	1.4776	0.2255
Global Hardness (η)	-1.9262	-3.1560
Global Softness (s)	-0.9631	-1.5780
Chemical potential (μ)	3.4038	3.3815
Electronegativity (χ)	1.2388	0.6127
Global Electrophilicity (ω)	-6.0148	-1,1811

($A = -E_{LUMO}$, $= -E_{HOMO}$, $\eta = 1/2(E_{LUMO} - E_{HOMO})$, $\mu = 1/2(E_{HOMO} + E_{LUMO})$, $\omega = \mu^2/2\eta$, $S = 1/2\eta$, $\chi = (I + A)/2$, $\Delta = E_{LUMO} - E_{HOMO}$.)

Dipole moment is an important feature of the energy related to the electric field applied in the molecule. The dipole moment consists of intermolecular interactions involving the Van der Waals type dipole-dipole forces and generates strong intermolecular attraction. The dipole moment (μ) values of IPAPA molecule were calculated as 3.3628 Debye for B3LYP and 3.0239 Debye for CAM-B3LYP, respectively. Both methods show that the molecule has nonlinear properties.

**Figure 5.** IPAPA molecule; a) CAM_{HOMO-1} , b) CAM_{HOMO} , c) CAM_{LUMO} , d) CAM_{LUMO+1} atomic orbital composition of a molecule

The parameters calculated in Table 5 show the electronic dipole moment and the total dipole moment. It can be calculated using the following equation.

$$\langle \alpha \rangle = 1/3 (\alpha_{xx} + \alpha_{yy} + \alpha_{zz})$$

$$\langle \beta_{tot} \rangle = [(\beta_{xxx} + \beta_{xyy} + \beta_{xzz})^2 + (\beta_{yyy} + \beta_{yzz} + \beta_{yxx})^2 + (\beta_{zzz} + \beta_{zxx} + \beta_{zyy})^2]^{1/2}$$

Table 4. Basic set of CAM with DFT B3LYP / 6-311G++ (d, p), calculated dipole moments of electricity (Debye), (au) polarisability, β components and β tot 4-isopropyl-N, N-Bis (4- Azidophenyl) Aniline value

Parameters	B3LYP	CAM-B3LYP	Parameters	B3LYP	CAM-B3LYP	Parameters	B3LYP	CAM-B3LYP
μ_x	-3.3384	-2.9997	α_{xx}	-168.4820	-	β_{xxx}	-	-
					166.7202		129.0892	116.885
								0
μ_y	-0.3968	-0.3744	α_{yy}	-184.6869	-	β_{xxy}	9.8159	8.0053
					183.1794			
μ_z	-0.0794	-0.0742	α_{zz}	-163.3488	-	β_{xyy}	-	96.6208
					163.6825		110.2374	
$\mu_{(D)}$	3.3628	3.0239	α_{xy}	2.4855	2.5158	β_{yyy}	-37.5913	-34.0256
			α_{xz}	0.4174	0.3699	β_{xxz}	0.1053	-0.3011
			α_{yz}	-1.1425	-0.3026	β_{xyz}	-21.4529	-18.6032
			α (au)	-172,1725	-	β_{yyz}	-5.8448	-5.0772
					171,1940			
						β_{xzz}	0.7633	0.2473
						β_{yzz}	-0.2082	-0.3079
						β_{zzz}	1.0690	-1.1016
						β (esu)	2.4×10^{-32}	3.3×10^{-32}

Molecular Electrostatic Potential Surface (MEPS)

The molecular electrostatic potential surface (MEPS) are useful amounts to show charge distributions of molecules and visualize variable charged molecule regions and is plotted for the IPAPA molecule. Molecular electrostatic potential (MEPS) mapping plays an important role in investigating many features of the molecular structure. MEPS is widely used as a reactivity map to understand the hydrogen bonding interactions on organic molecules as well as electrophilic and nucleophilic reactions. Some of the molecule with negative electrostatic potential is sensitive to electrophilic attacks (Dwivedi et al., 2015; Srivastava et al., 2015). Different values of the electrostatic potential on the surface are shown in different colors (blue to red). The strongest attraction is represented by the positive (blue color) region, while the strongest repulsion is represented by the negative (red color) region. The green color indicates neutral electrostatic potential (Jayashree et al., 2019). Negative (red, orange and yellow) regions of MEPS show electrophilic reactivity and positive (blue color) ones belong to the nucleophilic reactivity region.

In this study, molecular electrostatic potential (MEPS) was coupled with 4 IPAPA maps as shown in Figure 6-7. In the case of IPAPA molecule, there are negative regions of the nitrogen atoms characterized by red in the MEPS map. IPAPA relatively large region around the nitrogen atoms of the aniline molecule represents the most negative potential region (dark red) and is suitable for electrophilic interaction. The hydrogen atom carries the maximum strength of the positive charge (dark blue). The aromatic ring region shows an almost neutral potential, most of which is represented by green colors.

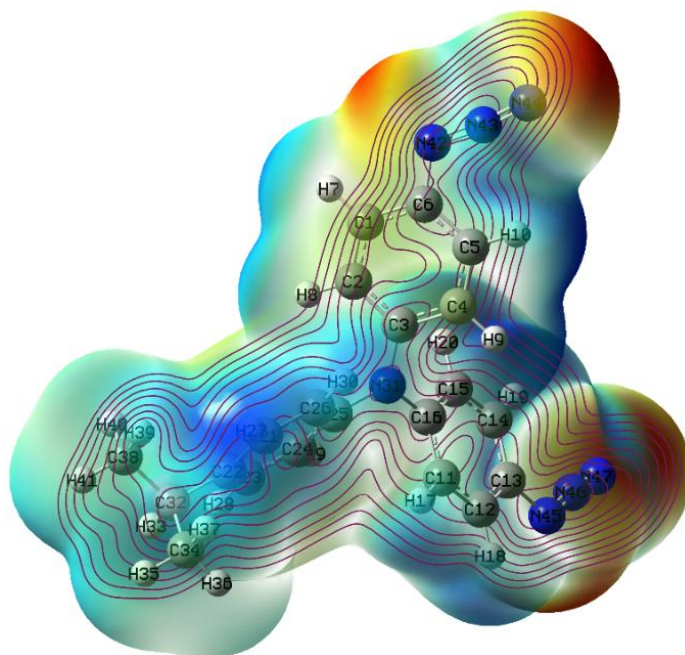


Figure 6. Molecular electrostatic potential of IPAPA

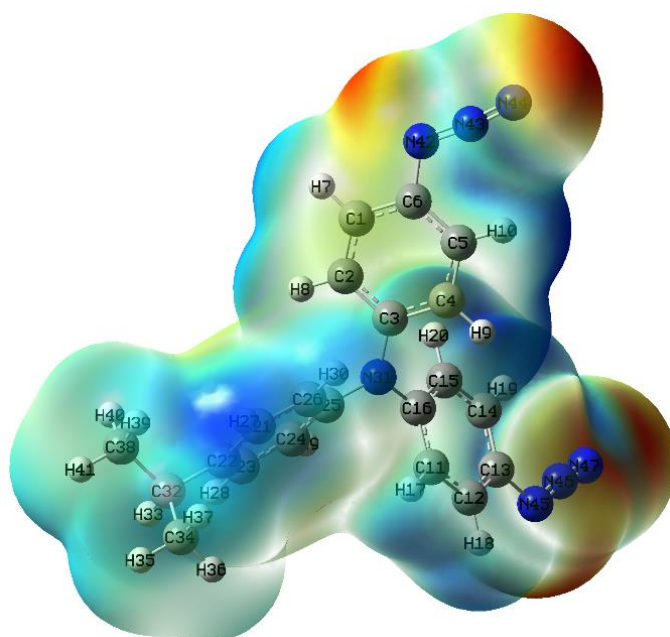


Figure 7. Molecular electrostatic potential of IPAPA

Mulliken Atomic Charges

The atomic charges play an important role in the application of quantum chemical calculations of molecular system because of the atomic charges affect dipole moment, polarizability, electronic structure, vibrational spectra and more properties for a molecular system (Télez Soto et al., 2013). The charge distribution in the atom indicates the formation of donor and acceptor pairs, including charge transfer within the molecule (Priya et al., 2019). Mulliken atom was calculated using the DFT and CAM methods in the base set B3LYP / 6-311G++ (d, p). The data obtained are presented in Figure 8-9 and Table 5. The distribution of the mullikene charge of the nitrogen atom N attached to the aromatic ring is N31 (0.852537) - (0.793107), N42 (0.355902) - (-0.033063), N43 (0.046818) - (-0.029280), N44 (-0.258854) - (-) 0.278103), N45 (0.363991) - (0.448551), N46 (0.049169) - (-0.033063), and N47 (-

0.270415) - (-0.283405) indicate a negative charge. The charge value of the H atom attached to the aromatic ring has a positive charge. Some C atoms were observed to be positive and others negative.

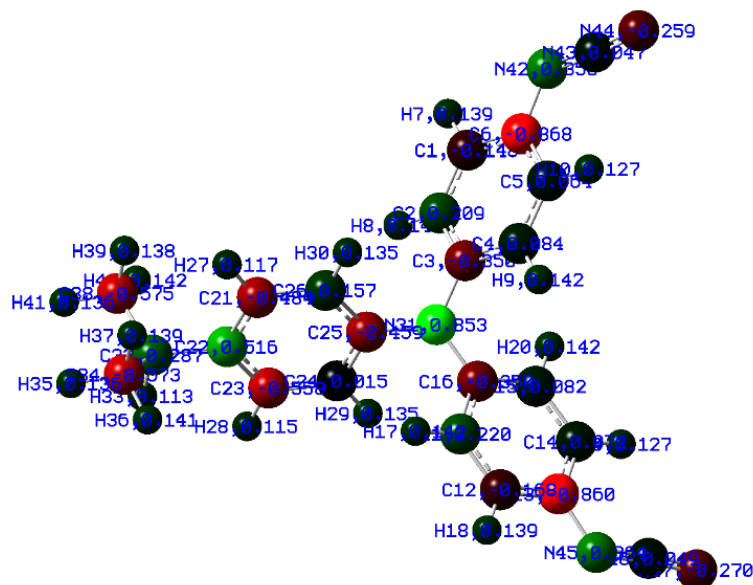


Figure 8. Mulliken atomic charges of IPAPA

Table 5. Mulliken atomic charges were calculated with B3LYP and CAM B3LYP / 6-311G++ (d,p)

	B3LYP	CAM-B3LYP		B3LYP	CAM-B3LYP
C1	-0.147582	-0.012631	N43	0.046818	-0.029280
C2	0.209087	0.079071	N44	-0.258854	-0.278103
C3	0.349759	-0.244121	N45	0.363991	0.448551
C4	0.083747	0.037754	N46	0.049169	-0.033063
C5	0.064443	0.055930	H7	0.138957	0.149517
C6	-0.868131	-0.876341	H8	0.142649	0.154376
C11	0.219670	0.124314	H9	0.141830	0.152190
C12	-0.168464	-0.047091	H10	0.127499	0.134440
C13	-0.860012	-0.889883	H17	0.142492	0.154072
C14	0.072342	0.058752	H18	0.138727	0.149690
C15	0.081539	0.033483	H19	0.127460	0.134389
C16	-0.350165	-0.262252	H20	0.142480	0.152670
C21	-0.483687	-0.277844	H27	0.117111	0.126677
C22	0.516294	0.318152	H28	0.115338	0.124321
C23	-0.558061	-0.353494	H29	0.134860	0.145142
C24	0.014625	-0.111687	H30	0.134574	0.144710
C25	-0.458647	-0.381255	H33	0.112695	0.120309
C26	0.157161	-0.070516	H35	0.135756	0.138059
C32	0.286690	0.187423	H36	0.140764	0.143610
C34	-0.572865	-0.557127	H37	0.138521	0.140009
C38	-0.575038	-0.553779	H39	0.138056	0.139249
N31	0.852537	0.793107	H40	0.142051	0.144579
N42	0.355902	0.439243	H41	0.135844	0.138082

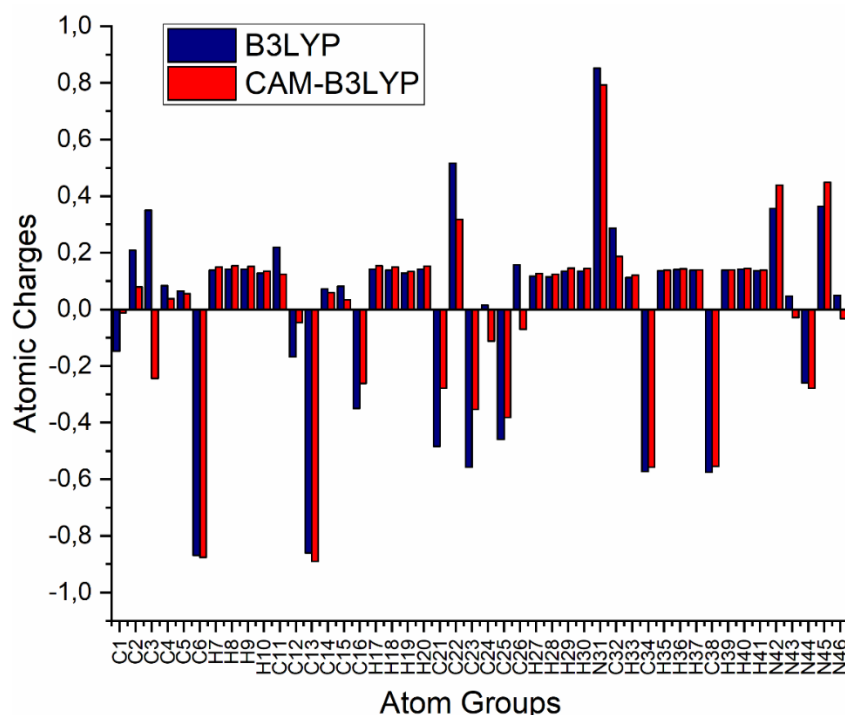


Figure 9. Comparison of IPAPA Mulliken atomic charges by two methods

CONCLUSION

In general, good agreement was obtained between experimental results synthesized in laboratory and theoretical results. In this case, it showed the reliability of the theoretical method used and good results were obtained with 6-31G ++ (d,p) basic set of B3LYP/CAM-B3LYP method for the theoretical calculation of IPAPA. Molecules were drawn in the ChemBioDraw program and transferred to Gaussian 09 program and the proton NMR data were very close to the experimental data. Thus, by considering these data for future studies, it will provide important facilities for the synthesis of molecules by minimizing the chemical consumption of the molecules to be synthesized in the future and making necessary predictions. As a result, the synthesized IPAPA were characterized by various theoretical methods and their structures were determined.

REFERENCES

- Bourass M, El Alamy, A, & Bouachrine, M. (2019). Structural and photophysical studies of triphenylamine-based nonlinear optical dyes: effects of π -linker moieties on the D- π -A structure. *Comptes Rendus Chimie*, 22(5), 373-385.
- Boxi S, Jana, D, & Ghorai, BK. (2019). Synthesis and optical properties of bipolar quinoxaline-triphenylamine based stilbene compounds. *Optical Materials: X*, 1, 100013.
- Boyd RJ. (2019). Theoretical and Computational Chemistry. In Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering: Elsevier.
- Damaceanu M-D, Constantin, C-P, Bruma, M, & Begunov, RS. (2018). The photo-optical and electrochemical activity promoted by trifluoromethyl-substituted and ortho-catenated triphenylamine core in poly(ether-imide)s. *Polymer*, 151, 34-46.
- Duan L, Chen, Y, Zong, X, Liu, R, Sun, Z, Liang, M, Wu, Q, & Xue, S. (2019). Facile synthesis of triphenylamine-based hole-transporting materials for planar perovskite solar cells. *Journal of Power Sources*, 435, 226767.
- Dwivedi A, Srivastava, AK, & Bajpai, A. (2015). Vibrational spectra, HOMO, LUMO, MESP surfaces and reactivity descriptors of amylamine and its isomers: A DFT study. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 149, 343-351.
- Gu D, Yang, G, He, Y, Qi, B, Wang, G, & Su, Z. (2009). Triphenylamine-based pH chemosensor: Synthesis, crystal structure, photophysical properties and computational studies. *Synthetic Metals*, 159(23), 2497-2501.

- Jayashree A, Narayana, B, Kumar, SM, Raghi, KR, Sarojini, BK, & Kumar, TKM. (2019). Synthesis, X-ray crystal structure, Hirshfeld surface analysis, DFT, MESP and molecular docking studies of 2-(4-bromophenyl)-1-(3-fluoro-4-methylphenyl)-4,5-diphenyl-1H-imidazole. *Chemical Data Collections*, 21, 100237.
- M. J. Frisch GWT, H. B. Schlegel, G. E. Scuseria, M. A. Robb, J. R. Cheeseman, G. Scalmani, V. Barone, G. A. Petersson, H. Nakatsuji, X. Li, M. Caricato, A. Marenich, J. Bloino, B. G. Janesko, R. Gomperts, B. Mennucci, H. P. Hratchian, J. V. Ortiz, A. F. Izmaylov, J. L. Sonnenberg, D. Williams-Young, F. Ding, F. Lipparini, F. Egidi, J. Goings, B. Peng, A. Petrone, T. Henderson, D. Ranasinghe, V. G. Zakrzewski, J. Gao, N. Rega, G. Zheng, W. Liang, M. Hada, M. Ehara, K. Toyota, R. Fukuda, J. Hasegawa, M. Ishida, T. Nakajima, Y. Honda, O. Kitao, H. Nakai, T. Vreven, K. Throssell, J. A. Montgomery, Jr., J. E. Peralta, F. Ogliaro, M. Bearpark, J. J. Heyd, E. Brothers, K. N. Kudin, V. N. Staroverov, T. Keith, R. Kobayashi, J. Normand, K. Raghavachari, A. Rendell, J. C. Burant, S. S. Iyengar, J. Tomasi, M. Cossi, J. M. Millam, M. Klene, C. Adamo, R. Cammi, J. W. Ochterski, R. L. Martin, K. Morokuma, O. Farkas, J. B. Foresman, and D. J. Fox. (2016). *Gaussian 09, Revision A.02*, Gaussian, Inc., Wallingford CT,.
- Najare MS, Patil, MK, Nadaf, AA, Mantur, S, Inamdar, SR, & Khazi, IAM. (2019). Synthesis, characterization and photophysical properties of a new class of pyrene substituted 1,3,4-oxadiazole derivatives. *Optical Materials*, 88, 256-265.
- Priya MK, Revathi, BK, Renuka, V, Sathya, S, & Asirvatham, PS. (2019). Molecular Structure, Spectroscopic (FT-IR, FT-Raman, ^{13}C and ^1H NMR) Analysis, HOMO-LUMO Energies, Mulliken, MEP and Thermal Properties of New Chalcone Derivative by DFT Calculation. *Materials Today: Proceedings*, 8, 37-46.
- Priyatha E, Sathishkumar, C, Palanisami, N, Venkatachalam, S, & Venkateswaran, R. (2019). Conjugated hole-transport molecules based on triphenylamine and aminofluorene: Synthesis, structural, solvatochromic and electrochemical properties. *Journal of Molecular Structure*, 1179, 145-153.
- Qian X, Lan, X, Yan, R, He, Y, Huang, J, & Hou, L. (2017). T-shaped (D) $_{2h}$ -A- π -A type sensitizers incorporating indoloquinoxaline and triphenylamine for organic dye-sensitized solar cells. *Electrochimica Acta*, 232, 377-386.
- Şek D, Kotowicz, S, Kula, S, Siwy, M, Szłapa-Kula, A, Małeck, JG, Maćkowski, S, & Schab-Balcerzak, E. (2019). Thermal, spectroscopic, electrochemical, and electroluminescent characterization of malononitrile derivatives with triphenylamine structure. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 210, 136-147.
- Srivastava AK, Pandey, AK, Jain, S, & Misra, N. (2015). FT-IR spectroscopy, intra-molecular C-H...O interactions, HOMO, LUMO, MESP analysis and biological activity of two natural products, triclisine and rufescine: DFT and QTAIM approaches. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 136, 682-689.
- Steponaitis M, Komskis, R, Kamarauskas, E, Malinauskas, T, Jursenas, S, & Getautis, V. (2019). Investigation of photophysical properties of triphenylamine phenylethenyl derivatives containing tertiary amine groups. *Dyes and Pigments*, 166, 122-129.
- Téllez Soto CA, Costa, AC, Ramos, JM, Vieira, LS, Rost, NCV, Versiane, O, Rangel, JL, Mondragón, MA, Raniero, L, & Martin, AA. (2013). Surface enhanced Raman scattering, electronic spectrum, natural bond orbital, and mulliken charge distribution in the normal modes of diethyldithiocarbamate copper (II) complex, [Cu(DDTC) $_2$]. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 116, 546-555.
- Weng D, Shi, Y, Zheng, J, & Xu, C. (2016). High performance black-to-transmissive electrochromic device with panchromatic absorption based on TiO $_2$ -supported viologen and triphenylamine derivatives. *Organic Electronics*, 34, 139-145.
- Yadav SB, Kothavale, S, & Sekar, N. (2019). Triphenylamine and N-phenyl carbazole-based coumarin derivatives: Synthesis, solvatochromism, acidochromism, linear and nonlinear optical properties. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 382, 111937.
- Yadav SB, Sonvane, SS, & Sekar, N. (2020). Novel blue-green emitting NLOphoric triphenylamine-imidazole based donor- π -acceptor compound: Solvatochromism, DFT, TD-DFT and non-linear optical studies. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 224, 117421.
- Yoosuf M, Pradhan, SC, Soman, S, & Gopidas, KR. (2019). Triple bond rigidified anthracene-triphenylamine sensitizers for dye-sensitized solar cells. *Solar Energy*, 188, 55-65.

The Evaluation of Inhibition Effects of Antibiotics on the Sheep Stomach Carbonic Anhydrase I and II Isozymes

Namık KILINÇ¹, Şükrü BEYDEMİR²

ABSTRACT: Carbonic anhydrases are vital class of enzymes that participate in so many essential physiological events in the organism and associated with many diseases. Inhibitors of carbonic anhydrase enzymes are used in pharmacological applications in many areas such as antiobesity, antiglaucoma, anticancer agents and anticonvulsants. So, this study focuses on the characterization of CA-I and CA-II isoenzymes purified from sheep stomach and investigating the inhibition effects of antibiotics on these enzymes. The findings show that the antibiotics studied strongly inhibit CA-I and CA-II isozymes. In our presented study, using Sepharose 4B-L-Tyrosine sulfanilamide affinity gel chromatography, carbonic anhydrase I and carbonic anhydrase II isoenzymes were purified from sheep stomach with a yield of 51.9%, 78%, respectively and specific activity of CA I and CA II are 4864.8 EU/mg and 5652.02 EU/mg, respectively. The overall purifications from sheep stomach CA I and CA II were approximately 529.4 and 615.2 fold respectively. To check the purify of the enzymes, it was conducted an electrophoretic method so-called Sodium Dodecyl Sulphate-Polyacrylamide Gel Electrophoresis (SDS-PAGE) and single bands were detected for both enzymes. Additionally, the effects of antibiotics on sheep stomach CA I and CA II isozymes activities, using both hydratase and esterase activity methods, were researched. IC₅₀ values of enrofloxacin, tylosin and ampicillin antibiotics that inhibit CA I enzyme with hydratase activity were found as 1.41, 0.033 and 1.56 mM, respectively. IC₅₀ values for CA II enzyme with hydratase activity of the same antibiotics were found as 2.47, 0.039 and 1.63 mM, respectively. Kanamycin and amikacin antibiotics inhibited both CA I and CA II enzymes with esterase activity. IC₅₀ values for CA I and CA II enzymes with esterase activity of kanamycin antibiotic were determined as 0.0488 and 0.118 mM, respectively. IC₅₀ values of amikacin for CA I and CA II enzymes with esterase activity were determined as 0.0163 and 0.036 mM, respectively.

Keywords: Sheep stomach, carbonic anhydrases, antibiotics, enzyme inhibition

¹Namık KILINÇ (Orcid ID: 0000-0002-9102-1370), Department of Medical Services and Techniques, Vocational School of Health Service, Iğdır University, Iğdır, Turkey

²Şükrü BEYDEMİR (Orcid ID: 0000-0003-3667-6902), Department of Biochemistry, Faculty of Pharmacy, Anadolu University, Eskişehir, Turkey

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Şükrü BEYDEMİR, e-mail: sukubeydemir@anadolu.edu.tr

Bu çalışma Namık KILINÇ'ın Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

Makale 27.06.2011- 02.07.2011 tarihleri arasında Erzurum'da düzenlenen "25. Uluslararası katılımlı Ulusal Kimya Kongresi'nde" poster olarak sunulmuştur.

Geliş tarihi / Received: 12-02-2020

Kabul tarihi / Accepted: 28-04-2020

INTRODUCTION

The carbonic anhydrase (CA, EC 4.2.1.1), in the class of metalloenzymes, is an enzyme that forms bicarbonate, and proton by hydration of carbon dioxide. This reaction, which can also take place without any catalyst, is quite rapid in the presence of the CA enzymes. CO₂, bicarbonate and protons are molecules/ions that are essential to all living things in many important physiological processes (Supuran, 2008). While biological membranes are highly resistant to diffusion of hydrogen ion and bicarbonate, CO₂ formed within the cell can easily pass through the membrane. This facilitated diffusion is eliminated through the carbonic anhydrase's catalytic activity (Geers and Gros, 2000).

The presence of carbonic anhydrase in different cell compartments or tissues of different species of livings (Bacteria, Archaea, and Eukarya) suggests that CAs have independently evolved at least five times with five genetically different families of enzymes known to date (Supuran, 2010). This enzyme family is divided into four subclasses according to their cellular localization: cytosolic (CA I, II, III, VII), membrane-associated (CAs IV, IX, XII, XIV), mitochondrial (CA V), and secretory (CA VI) (Potter and Harris, 2003). These enzymes are vital players in so many physiological events such as bone resorption, signal transduction, respiration, kidney, and male reproductive acidification, gluconeogenesis, and gastric acid formation (Sly and Hu, 1995). Because of all these physiological processes they involved, carbonic anhydrases have become interesting targets for inhibitor or activator synthesis. However, synthesized CA inhibitors are still not at the desired level. They show many undesirable side effects such as depression, metallic taste, metabolic acidosis, fatigue, transient myopia, weakness, gastrointestinal irritation, decreased libido, and kidney stones (Dodgson, 1987; Spencer et al., 1988; Dodgson and Cherian, 1989; Chegwiddden and Spencer, 1996; Caglayan et al., 2019).

Inhibitors of carbonic anhydrase enzymes are used in pharmacological applications in many areas such as antiobesity, antiglaucoma, anticancer agents and anticonvulsants. However, the use of these inhibitors in the design of antifungal and antibacterial agents is also a novel approach (Supuran, 2012; Liu et al., 2012; Sahin et al., 2012). The synthesis of CA enzyme inhibitors has become increasingly interesting. Sulfonamides and isoester derivatives of sulfonamides, that bind to the enzyme's active site, are the primary class of carbonic anhydrase inhibitors (Supuran, 2012). Recently, several CA inhibitors (CAIs) have been designated which have a different mechanism of action than sulfonamides. Polyamines, phenols, sulfocoumarins, and certain carboxylates have been reported to bind to the zinc coordinated water molecule in the active site of the enzyme (Ozensoy et al., 2011; Sahin et al., 2011; Şentürk et al., 2012; Gündoğdu et al., 2019).

Carbonic anhydrase enzymes are associated with cancer as well as many other diseases. CA enzymes have been reported to promote tumor growth and express in malignant tumor cells by causing increased intracellular alkalization and increased extracellular acidity (Chiche et al., 2009). In a study conducted on Gastrointestinal Stromal Tumors (GISTs), CA II a quite high activity was detected despite relatively low CA I activity (Parkkila et al., 2010).

Kanamycin and amikacin, which are a subclass of aminoglycosides, are antibiotic that treats infections caused by Gram-positive and Gram-negative bacteria by interfering with protein synthesis (Oertel et al., 2004; Zhanel et al., 2012). Enrofloxacin, which is used in both human and animal medicine, is an antimicrobial agent from the broad antimicrobial spectrum group of fluorinated quinolones and high bactericidal activity (Dimitrova et al., 2007). Tylosin is a macrolide antibiotic that is often used against Gram-positive bacteria and mycoplasmas. Tylosin is used in human medicine, as well as in the treatment of conditions caused by sensitive microorganisms in poultry, cattle, and pigs (Bagger et al.,

2000). Ampicillin is a β -lactam/ β -lactamase inhibitor with a wide spectrum of antibacterial activity against Gram-negative, Gram-positive and anaerobic bacteria (Rafailidis et al., 2007).

MATERIALS AND METHOD

Providing of Sheep Stomach and Preparation of Homogenate

Sheep stomachs used in the study were obtained fresh from a local slaughterhouse. Sheep stomachs were taken kept in ice and brought to the laboratory. Sheep stomach tissues were chopped in small pieces and washed with 0,9% NaCl liquid solution, three times. Then, stomach samples were homogenized in Tris-HCl/Na₂SO₄ buffer (pH = 8.7) to be 3 ml g⁻¹, after applying liquid nitrogen. Provided solutions were centrifuged for thirty mins at 15,000 xg. The supernatant was taken and ultracentrifuge was performed at 100 000 xg. The supernatant was used for the analysis (Kılınç et al., 2015).

Application of Sheep Stomach Homogenate to The Affinity Column and Elution of the Enzyme

The pH of the homogenate solution provided from sheep's stomach was set to 8.7. Subsequently, the solution was exerted to the affinity column and 500 mL of Tris-HCl/Na₂SO₄ (pH = 8.7) buffer solution passed through the column. In this way, the carbonic anhydrase enzymes were attached to the affinity column material and unwanted components were taken away. Then, 25 mM Na₂HPO₄/1 M NaCl (pH=6.3) buffer solution was exerted to the affinity column and CA-I enzyme was taken as an elution. Subsequently, 0.1 M NaCH₃COO.3H₂O/0.5 M NaClO₄ (pH = 5.6) solution was exerted to the affinity column and the CA-II enzyme was taken as an elution. The column's flow rate was set to 20 mL hour⁻¹ thorough a peristaltic pump. Using a fraction collector, the elutions were put into tubes in 1.5 mL and their absorbance at 280 nm was checked (Alim et al., 2015).

Dialysis

Tubes obtained from the affinity column and showing high absorbance at 280 nm were combined separately and put into dialysis bags and dialyzed with dialysis buffer (containing 1mM β -mercaptoethanol, 0.05 M Tris-SO₄ pH=7.4) for two hours. Dialyzation was performed in a cold environment (Kilinc et al., 2014).

Control of Enzyme Purity by Sodium Dodecylsulfate-Polyacrylamide Gel Electrophoresis (SDS-PAGE)

After applying purification procedures, the purity checks of sheep stomach CA enzymes obtained with the Sepharose 4B affinity column were conducted by the 3-8% batch SDS-PAGE method (Laemmli, 1970).

Specification of the Enzyme's Molecular Weight by Performing SDS-PAGE

As specified by Laemmli (1970)'s molecular weight determination method, the molecular mass determination was made as follows; Bovine erythrocyte carbonic anhydrase 29 kDa, rabbit phosphorylase B 97 kDa, bovine serum albumin 66 kDa, ovalbumin 45 kDa proteins were used as standard protein. After the electrophoresis procedures for each tissue, standard proteins' Rf values were computed and log MW-Rf standard graphics were drawn. Then, Rf values of CA enzymes obtained from stomach tissue were calculated separately and replaced by the standard chart, and the log-MW of CA-I and CA-II isoenzymes was determined. The molecular masses of the samples were determined by taking antilogarithm of these values (Beydemir et al., 2002).

Activity Determination of Carbonic Anhydrase Enzyme

Two basic methods are used to assay CA enzyme activity; The first method, so-called CO₂-hydratase activity, is the primary and physiologic activity measurement method of CAs, and the second

method, called esterase activity, is an *in vitro* method based on the spectrophotometric measurement principle.

CO₂-hydratase activity

This method is the activity measurement method used by Wilbur-Anderson, modified by Rickli *et al.* (Wilbur and Anderson, 1948). The pH changing results from the H⁺ ion released as a result of the CO₂ hydration is determined via the bromine-thymol blue indicator's color changing and is based on the measurement of the slipped by time.

Esterase activity

The fundamental of the method is briefly as follows; The carbonic anhydrase enzyme hydrolyzes p-nitrophenylacetate used as a substrate to p-nitrophenolate or p-nitrophenol, which absorbs at 348 nm. At 348 nm, p-nitrophenolate and p-nitrophenol both show the same absorbance (Armstrong et al. 1966; Verpoorte et al., 1967).

Quantitative Protein Determination by Bradford Method

The amount of quantitative protein in the prepared from sheep stomach homogenate and enzyme solutions purified by Sepharose 4B-L-tyrosine sulfanilamide affinity chromatography samples were determined by this method. In this method, bovine serum albumin is used as a standard protein and based on discovering the amount of protein using a standard graphic based on the absorbance at 595 nm (Bradford, 1976).

Kinetic Studies on CA I and CA II Isozymes Purified from Sheep Stomach Tissue

Optimum temperature

Temperature-Activity (EU mL⁻¹) graph was drawn by spectrophotometrically measuring esterase activity using digital water bath to determine the optimum temperature value of CA enzymes purified from sheep stomach (Kaya et al., 2013).

K_M and V_{max} values for p-nitrophenylacetate substrate

To determine the K_M and V_{max} values of CA I and CA II isozymes purified from sheep stomach for p-nitrophenylacetate substrate, their activities were computed under optimum conditions and Lineweaver-Burk plot was drawn and K_M and V_{max} values were calculated from this graph (Lehninger, 2005).

In Vitro inhibition studies

Antibiotics showing inhibitory effect were determined through assaying the catalytic activity of CAs with several inhibitor concentrations. Those with high inhibition effect from these antibiotics were plotted as % Activity- [I], IC₅₀ values were calculated from the equation of the curve. In order to determine the K_i values of antibiotics for which IC₅₀ values were calculated, Lineweaver-Burk plots were drawn by performing activity measurements at different concentrations of antibiotics that inhibit sheep stomach CA I and CA II isozymes with five concentrations of a suitable substrate (Kılınç et al., 2018; Alım, 2019).

RESULTS AND DISCUSSION

Carbonic anhydrase I and II isozymes were purified from sheep stomach by affinity chromatography, 51.9% and 78% yield, respectively. The purification fold was determined as 529.4 and 615.2-fold, respectively (Table 1).

Table 1. Sheep stomach CA I and CA II purification results

Purification Steps	Activity (EU mL ⁻¹)	Total Volume (mL)	Total Activity (EU)	Protein (mg mL ⁻¹)	Total Protein (mg)	Specific Activity (EU mg ⁻¹)	Yield (%)	Purification fold
Homogenate	65	40	2600	7.07	282.8	9.19	100	1
Sepharose 4B affinity chromatography CA I	90	15	1350	0.0185	0.2775	4864.8	51.9	529.4
Sepharose 4B affinity chromatography CA II	290	7	2030	0.0513	0.3591	5652.02	78	615.2

The purity control of carbonic anhydrase I and II enzymes purified from sheep stomach was checked by the batch SDS-PAGE method. As a result of the SDS-PAGE method, single bands were detected for both enzymes (Figure 1).

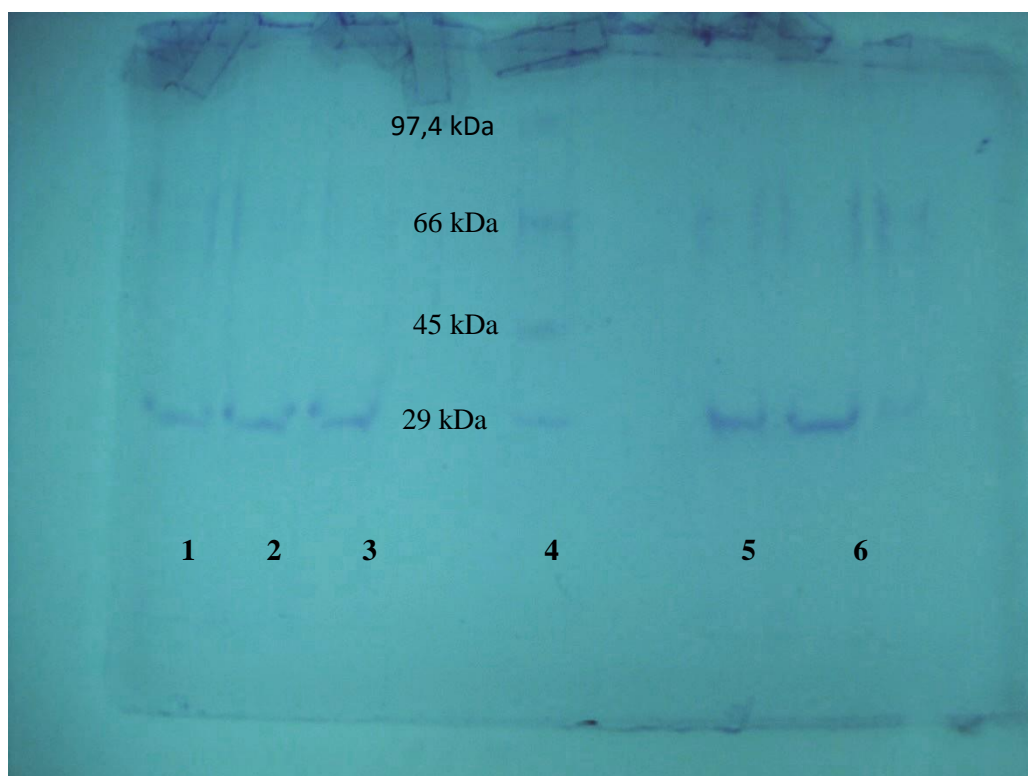


Figure 1: SDS-polyacrylamide gel electrophoresis photograph of sheep stomach carbonic anhydrase I and II isoenzymes purified by affinity chromatography * 4: standard proteins: Phosphorylase (97.4 kDa), bovine serum albumin (66 kDa), ovalbumin (45 kDa), bovine erythrocyte carbonic anhydrase (29 kDa). (1), (2) and (3) CA I, (5) and (6) CA II enzyme

The molecular weights of enzymes were calculated as 26.7 kDa with the same method. Some kinetic properties of carbonic anhydrase I and II isozymes purified from sheep's stomach were also determined. For this purpose, activity assaying at several temperatures were made for both enzymes using a digital water bath and it was determined that the optimum temperature of both enzymes was 50°C. In addition, in order to determine the K_M and V_{max} values for the p-nitrophenylacetate substrate, activity measurements were made at different substrate concentrations. Lineweaver–Burk graphs were drawn and the K_M value for carbonic anhydrase I was determined as 1.32 mM and the V_{max} value was 0.22 EU mL⁻¹. For carbonic anhydrase II, the K_M value was determined as 1.938 mM and the V_{max} value as 0.329 EU mL⁻¹ (Table 2).

Inhibition effects of antibiotics on CA-I and CA-II isoenzymes purified from sheep stomach were also investigated using both esterase and hydratase activity methods, and these antibiotics were found to inhibit sheep stomach CA-I and CA-II enzymes quite well. Inhibition effect results of antibiotics on these enzymes are given in Table 3 as a whole.

Table 2. Overall results of kinetic studies for sheep stomach CA I and CA II

	CA I	CA II
Optimum temperature (°C)	50	50
K_M (mM)	1.32	1.97
V_{max} (EU mL ⁻¹)	0.22	0.33
Determination of molecular mass (kDa) (via SDS-PAGE)	26.7	26.7

Table 3. Overall inhibition results of antibiotics that inhibit sheep stomach CA I and CA II isozymes with both esterase and hydratase activity

Antibiotics	CA I				CA II			
	Hydratase Activity	Esterase Activity		Hydratase Activity	Esterase Activity		Inhibition type	
	IC ₅₀ (mM)	IC ₅₀ (mM)	Average K _i (mM)	IC ₅₀ (mM)	IC ₅₀ (mM)	Average K _i (mM)		
Kanamycin	-	0.0488	0.147±0.061	Uncompetitive	-	0.118	0.042±0.0118	Uncompetitive
Amikacin	-	0.0163	0.042±0.015	Noncompetitive	-	0.036	0.033±0.0078	Noncompetitive
Enrofloxacin	1.410	1.32	3.850±1.982	Noncompetitive	2.470	-	-	-
Tylosin	0.033	-	-	-	0.039	-	-	-
Ampicillin	1.560	-	-	-	1.630	-	-	-

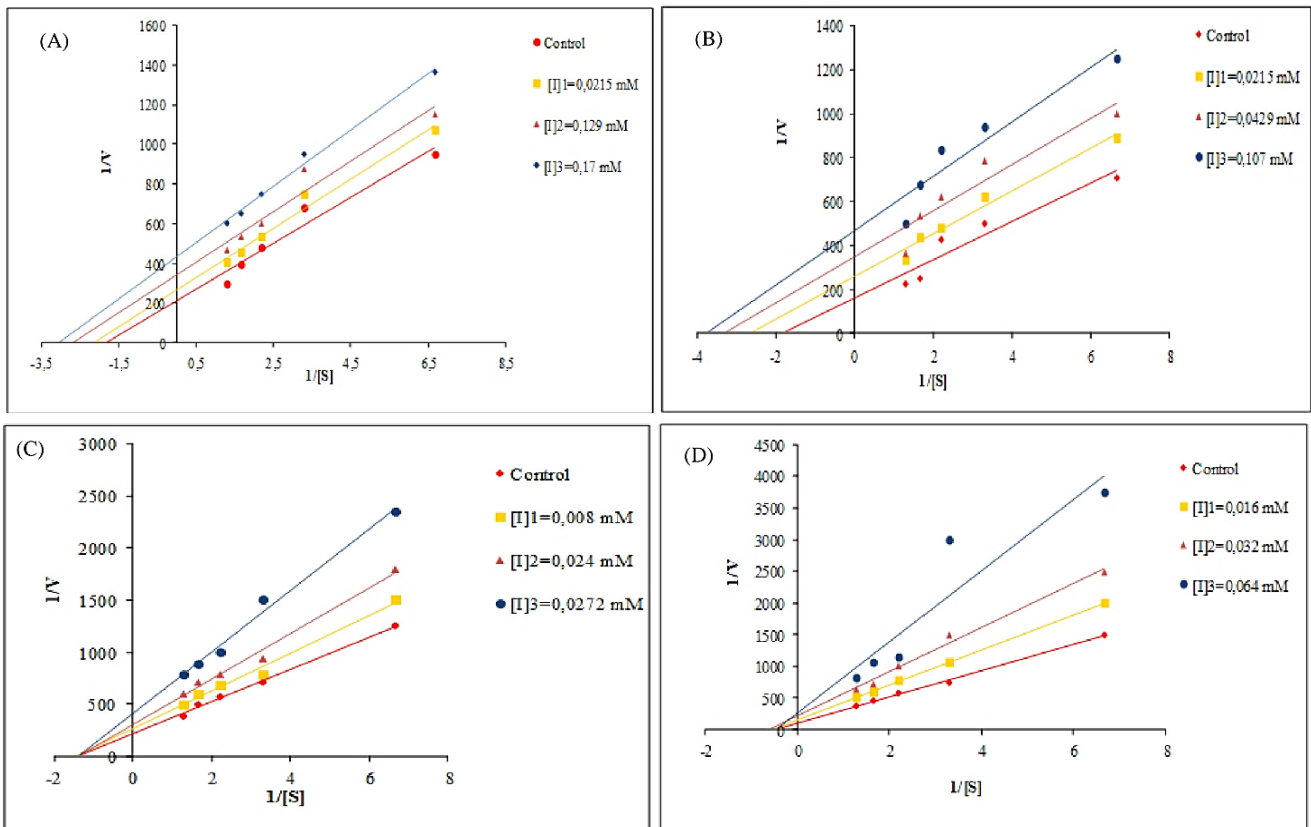


Figure 2. K_i graphs of kanamycin and amikacin that inhibit sheep stomach CA I and CA II isozymes by esterase activity*(A) and (B), K_i graphs of kanamycin on CA I and CA II, respectively. (C) and (D), K_i graphs of amikacin on CA I and CA II, respectively

The most common CA inhibitors are sulfonamides that have been in clinical use for more than 50 years as systemically effective antiglaucoma drugs and diuretics (Supuran et al., 2003). Besides, in recent years, it has been revealed that sulfonamide/sulfamate CAIs have potential as an antiobesity,

anticonvulsant, pain reliever, anti-infective, and anticancer drugs (Supuran, 2008). In recent years, it has been reported that besides sulfonamides, there are new classes of CA inhibitors that are highly effective on CA enzymes such as polyamines, phenols, sulfocoumarins, and some carboxylates (Şentürk et al., 2012; Ozensoy et al., 2011; Sahin et al., 2011). It is clear from the above information that the inhibition of carbonic anhydrase, which is associated with many diseases, with different groups of chemical molecules, is becoming an increasingly important approach. Therefore, in our research, CA I and CA II isozymes from sheep stomach were purified, some characteristics were determined and the inhibition effects, using both hydratase and esterase activity method, of some antibiotics on these enzymes were investigated. As a result of the inhibition studies conducted, the antibiotics studied have been shown to inhibit both CA I and CA II isoenzymes quite well. In the inhibition study by measuring hydratase activity, tylosin antibiotic showed the best inhibition effect with 0.033 mM IC_{50} value on CA I enzyme. IC_{50} values of other antibiotics ampicillin and enrofloxacin are with 1.41 mM and 1.56 mM, respectively. The IC_{50} values of amikacin, Kanamycin, and enrofloxacin, which are inhibitory effects with esterase activity on CA I isoenzyme, were determined as 0.016 mM, 0.048 mM, and 1.32 mM, respectively. In the inhibition study by measuring hydratase activity, tylosin antibiotic showed the best inhibition effect with 0.0387 mM IC_{50} value on the CA II enzyme. IC_{50} values of other antibiotics ampicillin and enrofloxacin are 1.63 mM and 2.47 mM, respectively. The IC_{50} values of amikacin and kanamycin, which are inhibitory effects with esterase activity on CA II isoenzyme, were determined as 0.036 mM and 0.12 mM, respectively. It is clear from the results that amikacin and kanamycin antibiotics did not show hydratase activity on both the CA I and CA II isoenzyme. While the enrofloxacin antibiotic showed both esterase and hydratase activity for CA I, it only showed hydratase activity for CA II. It was detected that there is no significant difference between the hydratase and esterase IC_{50} values of enrofloxacin. The K_i values of the amikacin antibiotic for CA I and CA II are 0.0421 mM and 0.033 mM, respectively. The inhibition type for both enzymes is non-competitive. Kanamycin, another antibiotic has CA I and CA II esterase activity, K_i values of 0.048 mM and 0.12 mM, respectively. For both enzymes, its inhibition type is un-competitive. The K_i value of enrofloxacin, which shows esterase activity only on CA I, is 3.85 mM and the inhibition type is non-competitive.

CONCLUSION

In conclusion, enzymes CA I and CA II isozymes were purified from sheep stomach, some characteristics were indicated and the inhibition effects of some of the common medically used antibiotics on these enzymes were investigated. The results showed that all the antibiotics studied showed a significant inhibition effect on CA I and CA II isozymes. In particular, amikacin and kanamycin antibiotics, which have an inhibition effect on both enzymes at the micromolar level, have been shown to be good carbonic anhydrase enzyme inhibitors. Considering that carbonic anhydrase inhibitors currently used as medicines show many side effects such as depression, metallic taste, metabolic acidosis, fatigue, transient myopia, weakness, gastrointestinal irritation, decreased libido, and kidney stones, it will be concluded how valuable and important the results are.

REFERENCES

- Alım Z, 2019. Inhibition Effect of Eosin Y on Carbonic Anhydrase (CA) I and II Isoenzymes Purified from Human Erythrocytes. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(1): 338-344.
- Alım Z, Kılınç N, İşgör MM, Şengül B, Beydemir Ş, 2015. Some Anti-Inflammatory Agents Inhibit Esterase Activities of Human Carbonic Anhydrase Isoforms I and II: An In Vitro Study. *Chemical Biology & Drug Design*, 86(4): 857-863.
- Armstrong JM, Myers DV, Verpoorte JA, Edsall JT, 1966. Purification and Properties of Human Erythrocyte Carbonic Anhydrases. *Journal of biological chemistry*, 241(21): 5137-5149.

- Baguer AJ, Jensen J, Krogh PH, 2000. Effects of the Antibiotics Oxytetracycline and Tylosin on Soil Fauna. *Chemosphere*, 40(7): 751-757.
- Beydemir Ş, Çiftçi M, Küfrevioğlu Öİ, 2002. Purification and Characterization of Glucose 6-Phosphate Dehydrogenase from Sheep Erythrocytes and Inhibitory Effects of Some Antibiotics on Enzyme Activity. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 17(4): 271-277.
- Bradford MM, 1976. A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1-2): 248-254.
- Caglayan C, Demir Y, Kucukler S, Taslimi P, Kandemir FM, Gulçin İ, 2019. The effects of hesperidin on sodium arsenite-induced different organ toxicity in rats on metabolic enzymes as antidiabetic and anticholinergics potentials: A biochemical approach. *Journal of food biochemistry*, 43(2), e12720
- Chegwidden WR, Spencer IM, 1996. Carbonic Anhydrase Provides Bicarbonate for De Novo Lipogenesis in the Locust. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 115(2): 247-254.
- Chiche J, Ilc K, Laferrière J, Trottier E, Dayan F, Mazure NM, Brahim-Horn MC, Pouysségur J, 2009. Hypoxia-Inducible Carbonic Anhydrase IX and XII Promote Tumor Cell Growth by Counteracting Acidosis Through the Regulation of the Intracellular pH. *Cancer Research*, 69(1): 358-368.
- Dimitrova DJ, Lashev LD, Yanev SG, Pandova B, 2007. Pharmacokinetics of Enrofloxacin in Turkeys. *Research in Veterinary Science*, 82(3): 392-397.
- Dodgson SJ, 1987. Inhibition of Mitochondrial Carbonic Anhydrase and Ureagenesis: A Discrepancy Examined. *Journal of Applied Physiology*, 63(5): 2134-2141.
- Dodgson SJ, Cherian K, 1989. Mitochondrial Carbonic Anhydrase is Involved in Rat Renal Glucose Synthesis. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 257(6): 791-796.
- Geers C, Gros G, 2000. Carbon Dioxide Transport and Carbonic Anhydrase in Blood and Muscle. *Physiological Reviews*, 80(2): 681-715.
- Gündoğdu S, Türkeç C, Arslan M, Demir Y, Beydemir Ş, 2019. New Isoindole-1, 3-dione Substituted Sulfonamides as Potent Inhibitors of Carbonic Anhydrase and Acetylcholinesterase: Design, Synthesis, and Biological Evaluation. *Chemistry Select*, 4(45): 13347-13355.
- Kaya ED, Söyüt H, Beydemir Ş, 2013. Carbonic Anhydrase Activity from the Gilthead Sea Bream (*Sparus Aurata*) Liver: The Toxicological Effects of Heavy Metals. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 36(2): 514-521.
- Kılınç N, Alım Z, İşgör MM, Beydemir Ş, 2014. The Impacts of Some Metals on the Activity of Corb Gill *Umbrina Cirrosa* Carbonic Anhydrase. *Hacettepe Journal of Biology & Chemistry*, 42 (4): 499-504.
- Kılınç N, İşgör MM, Şengül B, Beydemir Ş, 2015. Influence of Pesticide Exposure on Carbonic Anhydrase II from Sheep Stomach. *Toxicology and Industrial Health*, 31(9): 823-830.
- Kılınç N, Alım Z, Şengül B, İşgör MM, Beydemir Ş, 2018. Evaluation of Inhibition Effects of Some Cardiovascular Therapeutics on Human Erythrocyte Carbonic Anhydrase Isoenzymes. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(1): 90-97.
- Laemlli DK, 1970. Cleavage of Structural Proteins During in Assembly of The head of Bacteriophage. *Nature*, 227-680.
- Liu F, Martin-Mingot A, Lecornué F, Jouannetaud MP, Maresca A, Thibaudeau S, Supuran CT, 2012. Carbonic Anhydrases Inhibitory Effects of New Benzenesulfonamides Synthesized by Using Superacid Chemistry. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 27(6): 886-891.
- Oertel R, Neumeister V, Kirch W, 2004. Hydrophilic Interaction Chromatography Combined with Tandem-Mass Spectrometry to Determine Six Aminoglycosides in Serum. *Journal of Chromatography A*, 1058(1-2), 197-201.
- Özensoy Ö, Arslan M, Supuran CT, 2011. Carbonic Anhydrase Inhibitors: Purification and Inhibition Studies of Pigeon (*Columba Livia* Var. *Domestica*) Red Blood Cell Carbonic Anhydrase with Sulfonamides. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 26(5): 749-753.
- Parkkila S, Lasota J, Fletcher JA, Ou WB, Kivelä AJ, Nuorva K, Parkkila AK, Ollikainen J, Sly WS, Waheed A, Pastorekova S, Pastorek J, Isola J, Miettinen M, 2010. Carbonic Anhydrase II. A Novel Biomarker for Gastrointestinal Stromal Tumors. *Modern Pathology*, 23(5): 743.
- Potter CPS, Harris AL, 2003. Diagnostic, Prognostic and Therapeutic Implications of Carbonic Anhydrases in Cancer. *British Journal of Cancer*, 89(1): 2.
- Rafailidis PI, Ioannidis EN, Falagas ME, 2007. Ampicillin/Sulbactam. *Drugs*, 67(13): 1829-1849.
- Sahin H, Aliyazicioglu R, Yildiz O, Kolayli S, Innocenti A, Supuran CT, 2011. Honey, Polen, and Propolis Extracts Show Potent Inhibitory Activity Against the Zinc Metalloenzyme Carbonic Anhydrase. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 26(3): 440-444.

- Sahin H, Can Z, Yildiz O, Kolayli S, Innocenti A, Scozzafava G, Supuran CT, 2012. Inhibition of Carbonic Anhydrase Isozymes I and II with Natural Products Extracted from Plants, Mushrooms and Honey. *Journal Of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 27(3): 395-402.
- Sly WS, Hu PY, 1995. Human Carbonic Anhydrases and Carbonic Anhydrase Deficiencies. *Annual Review of Biochemistry*, 64(1): 375-401.
- Spencer IM, Hargreaves I, Chegwiddden WR, 1988. Effect of the Carbonic Anhydrase Inhibitor Acetazolamide on Lipid Synthesis in the Locust. *Biochemical Society Transactions*, 16: 973-974.
- Supuran CT, 2008. Carbonic Anhydrases: Novel Therapeutic Applications for Inhibitors and Activators. *Nature Reviews Drug Discovery*, 7(2): 168.
- Supuran CT, 2010. Carbonic Anhydrase Inhibitors. *Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters*. 20(12): 3467–3474
- Supuran CT, 2012. Structure-Based Drug Discovery of Carbonic Anhydrase Inhibitors. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 27(6): 759-772.
- Supuran CT, Scozzafava A, Casini A, 2003. Carbonic Anhydrase Inhibitors. *Medicinal Research Reviews*, 23(2): 146-189.
- Şentürk M, Ekinçi D, Göksu S, Supuran CT, 2012. Effects of Dopaminergic Compounds on Carbonic Anhydrase Isozymes I, II, and VI. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 27(3): 365-369.
- Verpoorte JA, Mehta S, Edsall JT, 1967. Esterase Activities of Human Carbonic Anhydrases B and C. *Journal of Biological Chemistry*, 242(18): 4221-4229.
- Wilbur KM, Anderson NG, 1948. Electrometric and Colorimetric Determination of Carbonic Anhydrase. *Journal of Biological Chemistry*, 176(1): 147-154.
- Zhanel GG, Lawson CD, Zelenitsky S, Findlay B, Schweizer F, Adam H, Walkty A, Rubinstein E, Gin AS, Hoban DJ, Lynch JP, Karlowsky JA, 2012. Comparison of the Next-Generation Aminoglycoside Plazomicin to Gentamicin, Tobramycin and Amikacin. *Expert Review of Anti-Infective Therapy*, 10(4), 459-473.

Vortex-assisted ionic liquid-based dispersive liquid-liquid micro-extraction and spectrofluorometric determination of Rhodamine B in anti-freeze, lipstick, liquid soap, matches and red pencil core

Abdullah Taner BİŞGİN^{1*}

ABSTRACT: A simple, centrifugeless vortex-assisted ionic liquid-based dispersive liquid-liquid micro-extraction method was developed for spectrofluorometric determination of Rhodamine B dye. Analytical extraction parameters including pH, type and amount of ionic liquid, salt concentration, vortex rate and time were examined and optimized. Matrix effects of potentially interfering ions and dyes were investigated and their tolerable concentrations were determined by applying optimum conditions. Detection limit and preconcentration factor were determined 0.01 $\mu\text{g L}^{-1}$ and 30, respectively. Dynamic range of the method was linear at RhB concentration range between 0.025 and 1000 $\mu\text{g L}^{-1}$. Relative standard deviations were 3.9% for the ten replicates measurements of 0.125 $\mu\text{g L}^{-1}$ Rhodamine B. The method was successfully applied to different samples including anti-freezes, liquid soap, matches, red pencil core and lipsticks. RhB concentrations of liquid and solid samples were determined between 2.05 $\mu\text{g mL}^{-1}$ and 10.05 $\mu\text{g mL}^{-1}$ and 307 $\mu\text{g g}^{-1}$ and 2.75 mg g^{-1} , respectively.

Keywords: Dispersive liquid-liquid micro-extraction, ionic liquid, rhodamine B, spectrofluorometry

Abdullah Taner BİŞGİN (Orcid ID: 0000-0002-3557-3090), Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Ulukışla Meslek Yüksekokulu, Niğde, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Abdullah Taner BİŞGİN, e-mail: atbisgin@ohu.edu.tr

Bu çalışmanın bir kısmı 1-4 Mayıs 2019 tarihlerinde Didim/AYDIN'da düzenlenen '4th International Conference on New Trends in Chemometrics and Applications' isimli konferansta sözlü sunum olarak sunulmuştur.

Geliş tarihi / Received: 13-03-2020
Kabul tarihi / Accepted: 01-05-2020

INTRODUCTION

Rhodamine B (RhB) is highly water soluble xanthene organic dye containing aromatic benzene rings. Although it has been banned to use in food and different products, it has been still used illegally in cosmetic, food, textile and industrial samples due to its low cost, stability and high effectiveness in dyeing process (Chen et al., 2014). RhB is harmful if swallowed and inhaled by human and animals. It damages to human skin and eyes if in direct contact (Ranjbari and Hadjmohammadi, 2015). Its toxicity, carcinogenicity, neurotoxicity and chronic toxicity towards human and animals have been proved (Alesso et al., 2012; Qi et al., 2014). For these reasons, detection and determination of RhB in different available products are important and essential.

Therefore, scientists in the world, especially analytical chemists have studied to determine RhB contents of commercially available products by using instrumental analytical techniques and devices including liquid chromatography-mass spectrometry (LC-MS) (Li et al., 2013; Cheng and Tsai, 2016), ultra violet-visible spectrophotometry (Unsal et al., 2014a; Unsal et al., 2014b), spectrofluorometry (Fu et al., 2015; Roostaie et al., 2017), electrochemical methods (Sun and Yang, 2017) and high performance liquid chromatography (HPLC) (Tatebe et al., 2014; Xu et al., 2016). Although chromatographic methods supply sensitive quantitative determination, it could not be available in many laboratories because the instrument price is considerably high and it has needed highly skilled and experienced operators (Bişgin, 2018; Li et al., 2020). Due to their simplicity and lower cost than other instruments, UV-visible spectrophotometry and spectrofluorometry are the attractive techniques (Bişgin, 2019a). However, these techniques have not ensured satisfactory results due to necessity for pretreatments of complicated sample matrix and the insufficient sensitivity (Liang et al., 2015). Therefore, it is very important to develop a sensitive, simple, cost-effective and rapid method for the determination of Rhodamine B (Liu et al., 2013).

Particularly, spectrofluorometry is low-cost, simple, rapid and highly sensitive. It has been widely used for direct determination of fluorescence dye like RhB. Unfortunately, complex matrix interference and low concentration of RhB limit the direct determination of RhB contents in sample. Therefore, it has great importance to apply at least one or more pretreatment process prior to the determination of trace target analyte RhB in complicated samples (Bakheet and Zhu, 2017).

In order to isolate the RhB from complex matrix sample, different separation, enrichment and purification methods including solid-phase extraction (SPE) (Su et al., 2015; Yan et al., 2017), cloud point extraction (CPE) (Ghasemi and Kaykhaii, 2016; Bişgin et al., 2018), deep eutectic solvent extraction (DES) (Wang et al., 2017; Yilmaz and Soylak, 2018) and dispersive liquid-liquid micro-extraction (DLLME) (Unsal et al., 2014a; Bağda and Tuzen, 2017) have been used and reported. DLLME method is interesting because of its simplicity, considerably high preconcentration factor, rapid and effective phase separation. In addition, this method uses only very little amounts of toxic organic solvents (Bişgin, 2019b). Therefore, chemists have developed new methods with using surfactants, ultrasonic bath, vortex and ionic liquids based on DLLME method. These are surfactant assisted dispersive liquid-liquid micro extraction (SA-DLLME) (Sadeghi et al., 2018), ultrasound assisted dispersive liquid-liquid micro extraction (UA-DLLME) (Altunay et al., 2019), vortex assisted dispersive liquid-liquid micro extraction (VA-DLLME) (Elik et al., 2017) for extraction of trace substances.

Aim of this study was to develop a VA-IL-DLLME method for extraction and spectrofluorometric determination of RhB. For this purpose, ionic liquid 1-butyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate

[C₄MIM][PF₆] and vortex were used. Several analytical parameters, affecting recovery results, were investigated and optimized. The optimized method was applied to anti-freezes, lipsticks, liquid soap, matches and red pencil core samples to determine their RhB contents. Finally, analytical characteristics and performance of the method were evaluated and compared with reported studies.

MATERIALS AND METHOD

Chemicals

Analytical grade chemicals were used in the experiments and purchased from Merck (Merck, Darmstadt, Germany) and Sigma (Sigma–Aldrich, St. Louis, MO, USA). In the preparation of buffer solutions H₃PO₄-NaH₂PO₄ for pH 2 and pH 3, HAC-NaAc for pH 4 and pH 5 and NaH₂PO₄-Na₂HPO₄ for pH 6, pH 7 and pH 8 were used.

100 µg mL⁻¹ of RhB stock dye solution was prepared and stored in refrigerator at 4 °C. More diluted dye solutions were prepared daily from the RhB stock dye solution. The chemical structure of RhB is given in Figure 1a.

NaCl, KCl and Na₂SO₄ were used as model electrolytes in the extraction experiments. Extensively used dyes and common metal ions (Table 1) were used to prepare model matrix solutions.

1-butyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate [C₄MIM][PF₆] as an ionic liquid, was used to extract RhB dye molecules from aqueous phase to organic phase. The chemical structure of [C₄MIM][PF₆] is given in Figure 1b. Pure ethanol was used for solving and diluting the bulk ionic liquid rich phase.

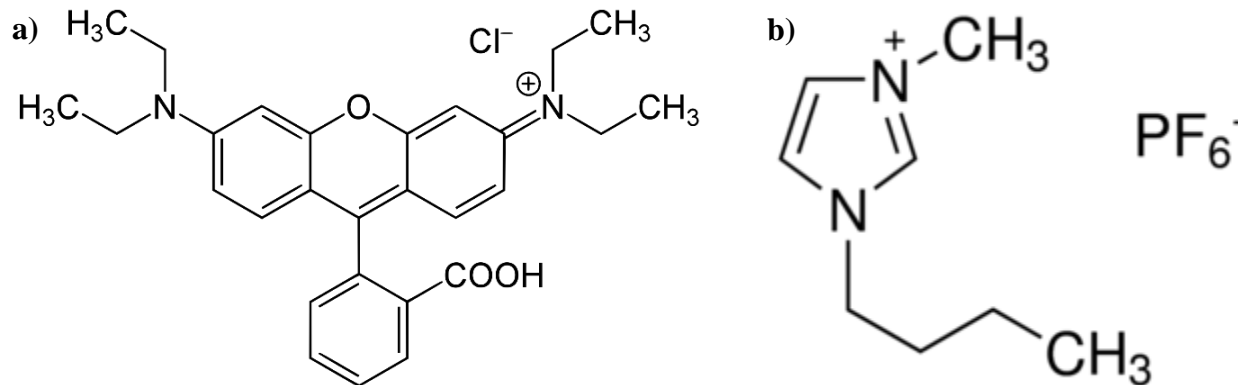


Figure 1. The chemical structures of RhB (a) and [C₄MIM][PF₆] (b)

Instruments

RhB emission measurements were performed by using Hitachi F-7100 fluorescence spectrophotometer (Hitachi, Tokyo, Japan). pH adjustments of aqueous and buffer solutions were performed with using a digital pH-meter (Hanna Instruments, USA). A Velp ZX3 model advanced vortex mixer (Velp Scientifica, Italy) was used for vortexing aqueous mixture. A double-beam Shimadzu UV-160 A (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) UV-Vis Spectrophotometer was used to determine UV-Vis spectra of the real samples.

VA-IL-DLLME Procedure

Fifteen milliliters of sample solution containing 0.250 µg of RhB and 0.3 mol L⁻¹ of KCl was buffered to pH 2.5. The solution was decanted to centrifuge tube. 240 µL of [C₄MIM][PF₆] was added to solution.

The mixture containing two clear phases was vortexed for 60 seconds at 2400 rpm. Organic fine droplets containing RhB molecules were collected bottom of the centrifuge tube after vortex process. Aqueous upper phase was removed by a syringe. Analyte rich phase was diluted to 500 μL of final volume with ethanol. RhB dye was excited at 520 nm of excitation wavelength and measured at 576 nm of emission wavelength.

Pretreatment of real samples

Anti-freeze samples: 1.0 mL of each anti-freeze samples were directly subjected to optimized method after pH adjustments.

Lipstick Samples: RhB amounts of each of 25 mg lipstick samples were dissolved with CCl_4 . RhB molecules in the organic phase were extracted to water phase by 25 mL of 0.1 mol L^{-1} NaOH with using a separatory funnel. 5 mL of extract was applied to method after pH adjustments.

Liquid soap: An amount of 10.0 g (8 mL) liquid soap sample was dried in an oven at 50 $^{\circ}\text{C}$. Dried sample was dissolved in water and diluted to 2.0 mL. The solution was analyzed with applying the developed method after filtering through blue band filter paper and adjusting pH.

Red pencil core: An amount of 12.5 mg red pencil core was accurately weighed. Then it was dissolved in pure water and subsequently filtered through blue band filter paper. The filtrate was diluted to 25 mL in a volumetric flask. Then 1.0 mL of the solution was applied to the developed method after pH adjustments.

Matches: Matches samples were weighed (10 mg) and dissolved in pure water. Then, samples were filtered through blue band filter paper and solution was diluted to 25 mL with distilled water. 1.0 mL of solution was subjected to the developed method after pH adjustments.

RESULTS AND DISCUSSION

UV-Vis, fluorescence excitation and fluorescence emission data for the determination of RhB dye in anti-freeze, red pencil core, matches, pure aqueous solution, lipstick and liquid soap samples are given in Fig. 2, Fig. 3 and Fig. 4, respectively.

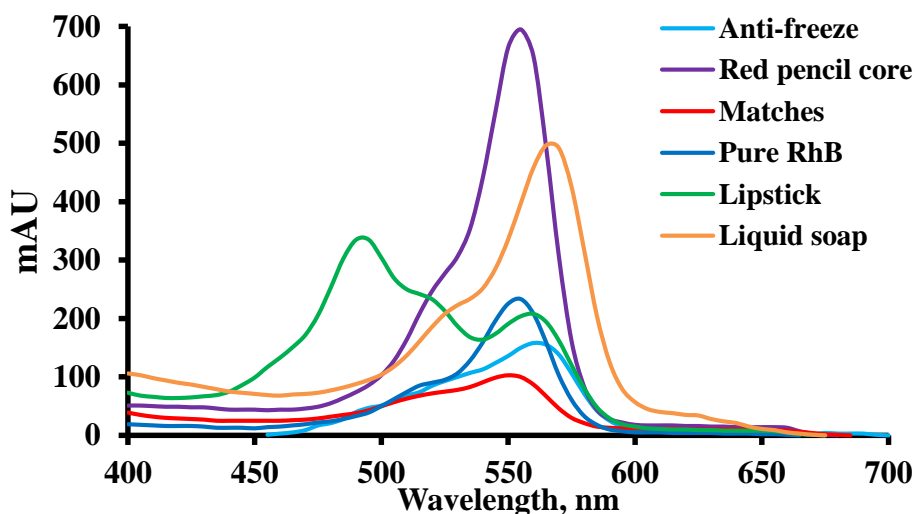


Figure 2. UV-Vis spectra of the real samples

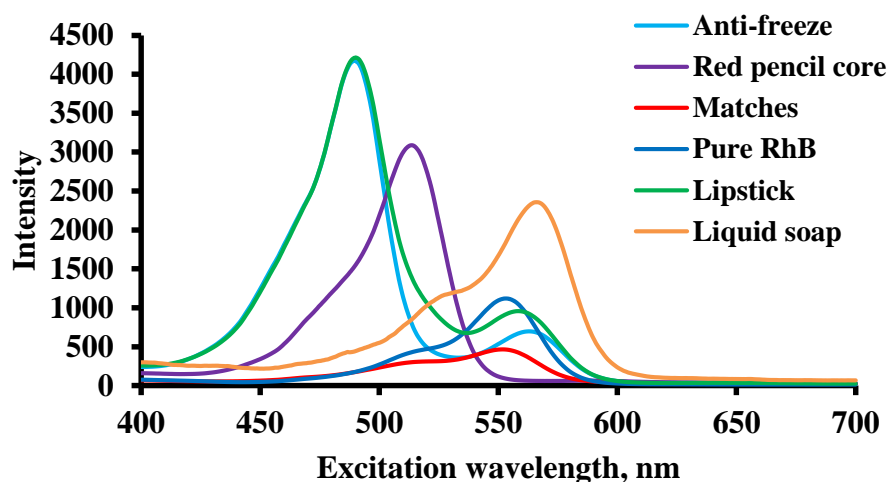


Figure 3. Fluorescence excitation spectra of the real samples

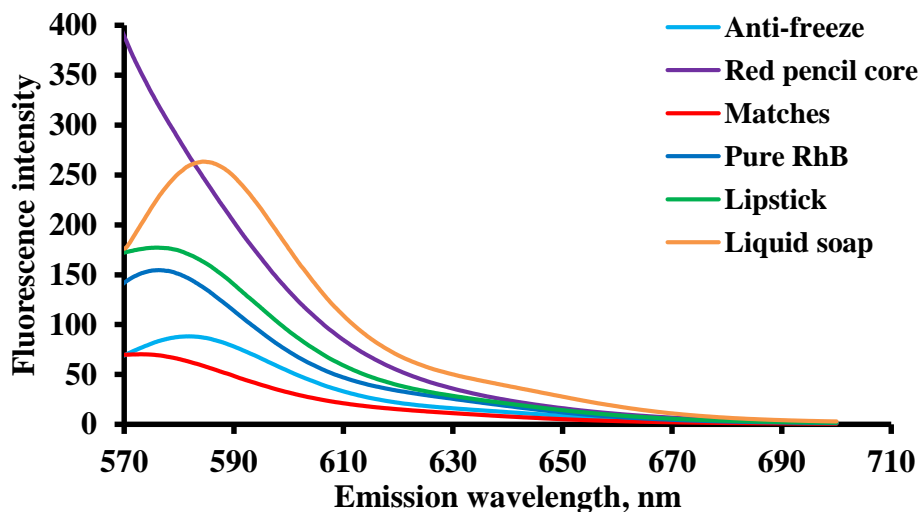


Figure 4. Fluorescence emission spectra of the real samples

Influence of pH

Aqueous media pH is important for pH sensitive and dependent dye such as RhB. The influences of pH on the extractions of RhB molecules into ionic liquid organic phase were investigated between pH 2 and pH 8 by using 15 mL of model solutions containing 0.250 μg RhB. The results are presented in Fig. 5 with standard deviations. Quantitative extractions of RhB were observed in the pH range of 2-3. In acidic media, RhB molecules were surrounded by ionic liquid molecules. Thus, RhB dye was quantitatively (>95%) extracted from large aqueous phase into small ionic liquid phase. At higher pH values, the cationic form of RhB molecules turned into to the neutral one and its recovery value decreased. Similar results were observed in literature value (Soylak et al., 2011). Therefore, all subsequent studies were performed at pH 2.5 by using $\text{H}_3\text{PO}_4/\text{NaH}_2\text{PO}_4$ buffer.

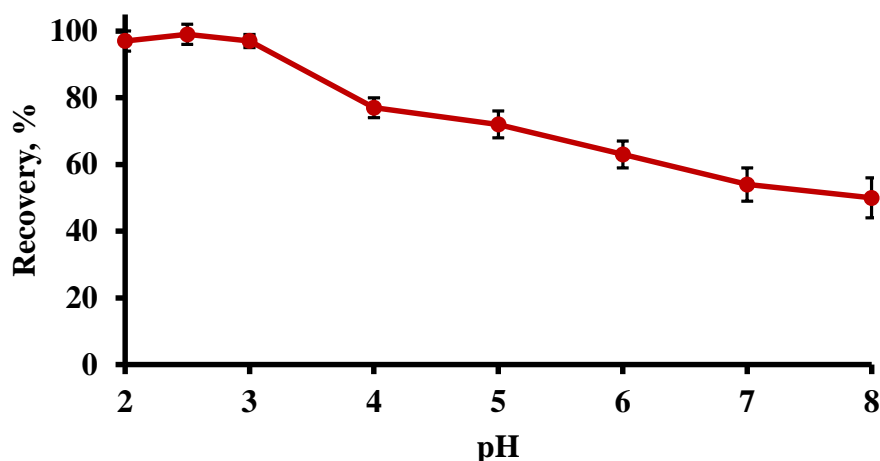


Figure 5. Influence of pH, N=4

Effect of ionic liquid amount

Ionic liquid amount is important parameter for complete extraction of RhB molecules from aqueous phase to IL rich phase. In order to extract RhB dye, $[C_4MIM][PF_6]$ and $[C_4MIM][BF_4]$ ionic liquids were used. In presence of $[C_4MIM][BF_4]$ extraction was not performed because blurred solution formed and phase separation was not obtained. Therefore, $[C_4MIM][PF_6]$ was selected and then used in all further extraction studies. IL volume was examined between 60-270 μL . Results are depicted in Fig. 6 with standard deviations. Recovery values increased with increasing IL amount up to 210 μL and then remained constant. Quantitative extraction was obtained between 210 and 270 μL . Hence, 240 μL of $[C_4MIM][PF_6]$ was chosen optimum amount for further studies.

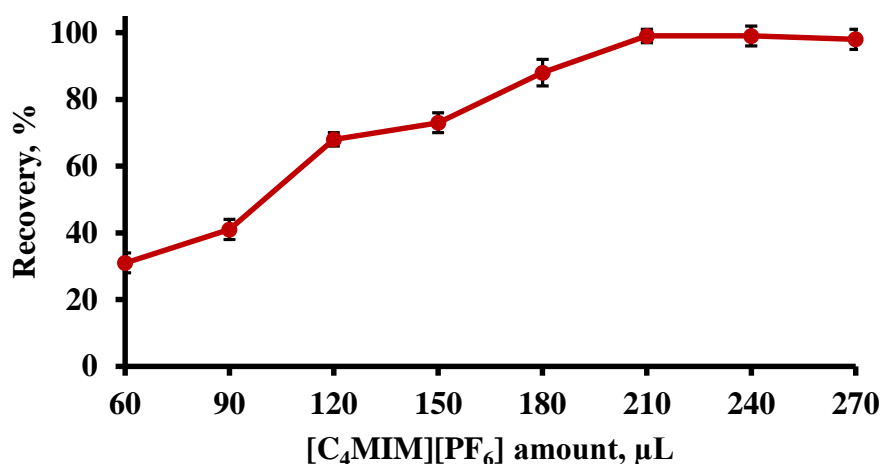


Figure 6. Effect of $[C_4MIM][PF_6]$ amount, N=4

Effect of salt concentration

Extraction efficiency usually increases with increasing ionic strength of aqueous solution because of salting out effect (Chen and Zhu, 2016). The effect of ionic strength was evaluated by using NaCl, KCl and Na_2SO_4 as model electrolytes on the extraction efficiency. In presence of KCl, stabile, repeatable and the quantitative extraction value was obtained. Therefore, KCl was selected for subsequent experiments. Salt

concentration was examined a concentration range of 0-0.04 mol L⁻¹. results are given in Fig. 7 with standard deviations. Over this concentration interval, the cloudy solution was formed. RhB recoveries increased with increasing KCl concentration up to 0.2 mol L⁻¹ and remain stable above this value. Therefore, 0.3 mol L⁻¹ of KCl concentration was applied in all further experimental studies.

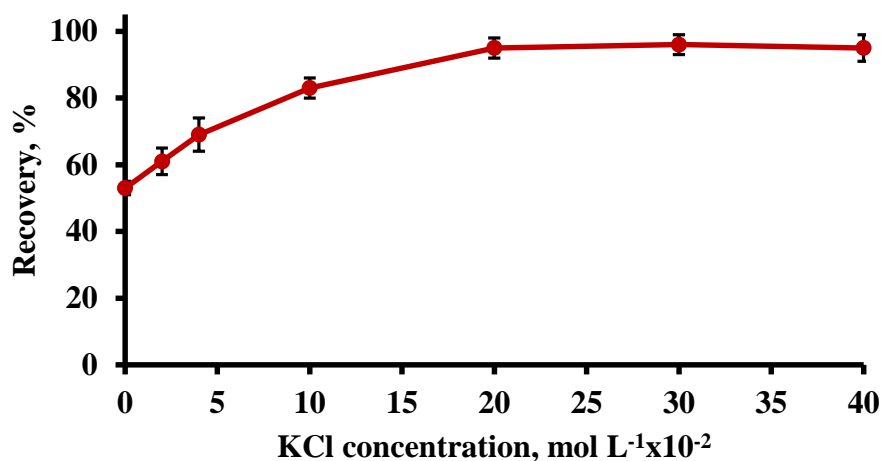


Figure 7. Effect of KCl concentration, N=4

Influence of vortex time

Optimization of vortex time is necessary to achieve equilibrium and entire dispersion of IL in aqueous phase by resulting in complete extraction of RhB molecules from aqueous phase to IL droplets. Optimized enough vortex time is the minimum time to obtain equilibrium between aqueous and IL rich phase by ensuring higher extraction efficiency (Bağda and Tuzen, 2017). Vortex time was investigated at 2400 rpm between 10 and 80 seconds. 2400 rpm was selected an optimum because enough agitation was not achieved below than this value. Results are presented in Fig. 8 with standard deviations. Recoveries increased with increasing vortex time. Quantitative extraction and sufficient formation of ionic droplets were obtained only after 50 seconds. Therefore, 60 seconds vortexing at 2400 rpm was chosen optimum for further experimental studies.

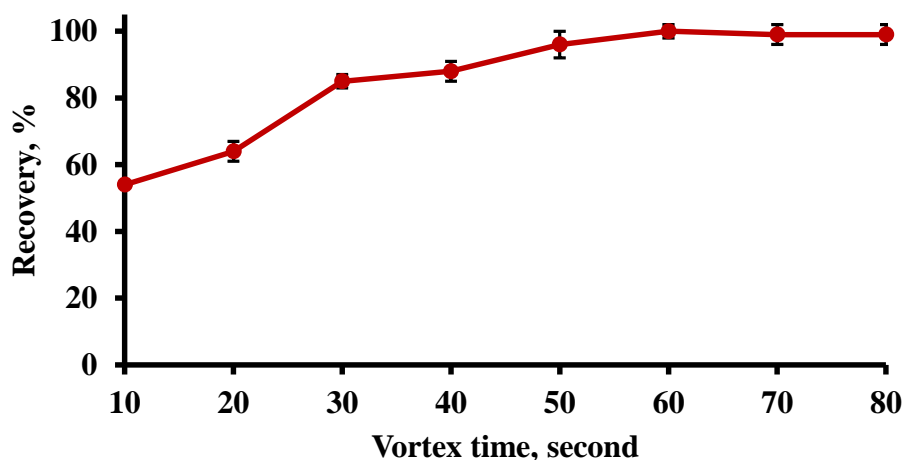


Figure 8. Influence of vortex time, N=4

Effect of matrix

It is necessary that effect of matrix components on the trace determination of analyte should be examined in detection and determination process. Interference effects of matrix components including widely used dyes, potentially available anions and cations were also examined. Results are given in Table 1 with standard deviations. Dyes and ions at concentrations levels, which are given in Table 1, did not interfere the analysis at the optimized conditions of the method. At the optimum conditions of the developed method, ionic liquid [C₄MIM][PF₆] extracted only RhB molecules as quantitative from aqueous sample solution in presence of other matrix dyes given in Table 1. This circumstance has provided the selectivity to the proposed method. In addition, fluorescence determination provided selectivity to the developed method because RhB has the fluorescence characteristic among other matrix dyes, which are given in Table 1. The used dyes in matrix study have not fluorescence characteristics therefore, any emission wavelengths, which could be interfered the fluorescence determination, were not observed by fluorescence excitation with using fluorescence spectrometer. Thus, only RhB molecules were determined applying both excitation and emission wavelength. In addition, differences between excitation and emission wavelength of RhB increased the selectivity. Moreover, excitation wavelengths and emission wavelengths are specific for each dye that has fluorescence characteristic.

Table 1. Matrix effect of the potentially interfering components, N=4

Dyes or ions	Added species	Concentration, $\mu\text{g mL}^{-1}$	Recovery, %
Tartrazine	-	4	^a 99±2
Sunset yellow	-	3	98±3
Brilliant blue	-	4	97±3
Ponceau 4R	-	1	97±4
Allura red	-	1	100±1
Co ²⁺	Co(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	100	99±2
Ni ²⁺	Ni(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	100	98±3
Na ⁺	NaNO ₃	1000	97±4
Mg ²⁺	Mg(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	1000	96±2
Cu ²⁺	Cu(NO ₃) ₂ .5H ₂ O	100	98±1
Cr ³⁺	Cr(NO ₃) ₃ .3H ₂ O	25	99±4
Cd ²⁺	Cd(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	100	99±2
K ⁺	KNO ₃	1000	98±3
Mn ²⁺	Mn(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	100	97±3
Ca ²⁺	CaCl ₂	1000	96±4
Pb ²⁺	Pb(NO ₃) ₂	100	96±1
Al ³⁺	Al(NO ₃) ₃ .9H ₂ O	50	95±2
Cl ⁻	NaCl	1000	98±3
PO ₄ ³⁻	Na ₃ PO ₄	1000	100±2
SO ₄ ²⁻	Na ₂ SO ₄	100	99±4
NO ₃ ⁻	NaNO ₃	1000	97±3

^aMean±standard deviation

Real sample applications

This VA-IL-DLLME method was applied to determine RhB contents of different samples including anti-freezes, liquid soap, lipsticks, matches and red pencil core. The standard addition technique was also used for the determination of real samples by adding 0.125 μg and 0.250 μg of RhB. First, RhB amount of each aqueous solution belonging the real samples including anti-freezes, liquid soap, lipsticks, matches and

red pencil core were determined. Then, 0.125 μg and 0.250 μg of RhB dyes were separately added to the each of same solutions of the real samples. Finally, the solutions were subjected to developed method. Recovery results and RhB contents of the analyzed samples are given in Table 2 with standard deviations. Calculated recovery results with using standard addition technique were between % 96 and % 101. RhB concentrations of anti-freezes, liquid soap, lipsticks, matches and red pencil were separately determined and calculated for each samples according to applied pretreatment procedures and necessary dilutions which were given in ‘‘Pretreatment of real samples’’ part. RhB contents of liquid and solid samples were determined between 2.05 $\mu\text{g mL}^{-1}$ and 10.05 $\mu\text{g mL}^{-1}$ and 307 $\mu\text{g g}^{-1}$ and 2.75 mg g^{-1} , respectively. The accuracy of the method with satisfactory quantitative results indicated the applicability of the method for determination of RhB in different matrix samples.

Table 2. Recoveries and RhB contents of real samples with standard addition technique, N=4

Sample	RhB added (μg)	RhB found (μg)	% Recovery	RhB content
Anti-freeze 1	-	^a 0.112 \pm 0.005	-	6.52 \pm 0.05 ($\mu\text{g mL}^{-1}$)
	0.125	0.233 \pm 0.011	98 \pm 4	
	0.250	0.359 \pm 0.018	99 \pm 3	
Anti-freeze 2	-	0.165 \pm 0.007	-	10.05 \pm 0.12 ($\mu\text{g mL}^{-1}$)
	0.125	0.279 \pm 0.014	96 \pm 4	
	0.250	0.411 \pm 0.019	99 \pm 3	
Liquid soap	-	0.202 \pm 0.008	-	2.05 \pm 0.04 ($\mu\text{g mL}^{-1}$)
	0.125	0.318 \pm 0.012	97 \pm 3	
	0.250	0.443 \pm 0.017	98 \pm 4	
Lipstick 1	-	0.245 \pm 0.009	-	465 \pm 15 ($\mu\text{g g}^{-1}$)
	0.125	0.368 \pm 0.013	99 \pm 2	
	0.250	0.485 \pm 0.023	98 \pm 4	
Lipstick 2	-	0.230 \pm 0.010	-	307 \pm 11 ($\mu\text{g g}^{-1}$)
	0.125	0.345 \pm 0.016	97 \pm 2	
	0.250	0.461 \pm 0.021	96 \pm 3	
Matches	-	0.175 \pm 0.007	-	1.07 \pm 0.06 (mg g^{-1})
	0.125	0.289 \pm 0.011	96 \pm 4	
	0.250	0.421 \pm 0.014	99 \pm 3	
Red pencil core	-	0.150 \pm 0.006	-	2.75 \pm 0.03 (mg g^{-1})
	0.125	0.269 \pm 0.010	98 \pm 2	
	0.250	0.404 \pm 0.014	101 \pm 3	

^aMean \pm standard deviation

Analytical characteristics of the method

Analytic specifications of the proposed method were investigated. Limit of detection (LOD) of the method was determined as 0.01 $\mu\text{g L}^{-1}$ for RhB dye. LOD was calculated according to (BT+3SD/m)/PF where BT is average of 21 blank solutions, SD is standard deviation of 21 blank solutions, m is slope of the calibration curve and PF is preconcentration factor. Linear dynamic range (LDR) was obtained at the concentration range between 0.025 $\mu\text{g L}^{-1}$ and 1000 $\mu\text{g L}^{-1}$ with A=631.06 C – 0.0083 equation and R²=0.9998 correlation coefficient. In the equation, A and C are absorbance unit and RhB concentration, respectively. Preconcentration factor was obtained as 30. Relative standard deviations (%RSD) was obtained as %3.9 for the ten replicates measurements of 0.125 $\mu\text{g L}^{-1}$ Rhodamine B. The method analytical characteristics were comparatively given in Table 3.

Table 3. Comparison of the method analytical features with recent reported studies

Method	Instrument	Sample	LOD ($\mu\text{g L}^{-1}$)	LDR ($\mu\text{g L}^{-1}$)	RSD (%)	PF	Reference
SPE	UV-Vis	Matches tips, water, dish washing liquid	3.94	20-300	1.16	26	Nekoeinia et al., 2016
SPE	Fluorescence	Matches tips, shampoo, eye shadow, pencil lead	0.1	0.35-5.00	8.2	33	Bagheri et al., 2013
CPE	UV-Vis	Lipstick, water, anti-freeze, waste-water	0.70	50-5000	5.0	40	Bişgin et al., 2018
DLLME	UV-Vis	Black tea, red wine, chili powder	1.48	5-450	4.7	20	Xiao et al., 2014
CPE	UV-Vis	Tap water, waste-water	0.04	30-300	6.75	28	Ghasemi and Kaykhahi, 2016
DES-LPME	UV-Vis	Lipstick, cologne, river water, nail polish cleaner	2.2	-	2.3	25	Yilmaz and Soylak, 2018
CPE	UV-Vis	Soap, soft pastel, matches tips	1.3	5-550	2.40	8.5	Pourreza et al., 2008
VA-IL-DLLME	Fluorescence	Lipstick, soap, anti-freeze, red pencil core, matches	0.01	0.025-1000	3.9	30	Present work
SPE:	Solid-phase extraction						
CPE	Cloud point extraction						
DLLME:	Dispersive liquid-liquid micro-extraction						
DES-LPME:	Deep eutectic solvent liquid phase micro-extraction						
VA-IL-DLLME	Vortex assisted ionic liquid-based dispersive liquid-liquid micro-extraction						

CONCLUSIONS

In the present proposed study, VA-IL-DLLME method was developed for extraction and spectrofluorometric determination of RhB in real samples. VA-IL-DLLME offers high extraction efficiency within a short time. The developed method is fast, simple inexpensive and uses very little amounts of toxic organic solvents when compared with other preconcentration methods such as SPE. Obtained quantitative satisfactory recovery results with analyte addition technique proved the applicability of the method to real liquid and solid samples including lipsticks, matches, anti-freezes, red pencil core and liquid soap. Moreover, present method determines the RhB concentrations of samples without applying centrifuge. At the optimum conditions of the developed method, ionic liquid $[\text{C}_4\text{MIM}][\text{PF}_6]$ extracted only RhB molecules as quantitative from aqueous sample solution in presence of other matrix dyes given in Table 1. This circumstance has provided the selectivity to the proposed method. Because of fluorescence feature of RhB and usage of spectrofluorometer in determination step, LOD value of the method was determined as too low because fluorescence detection is very sensitive and RhB has considerably high molar absorptivity coefficient. Moreover, excitation wavelengths and emission wavelengths are specific for each dye that has fluorescence characteristic. In addition, fluorescence determination provided selectivity to the developed method because RhB has the fluorescence characteristic among other matrix dyes that are given in Table 1. The used dyes in matrix study have not fluorescence characteristics therefore, any emission wavelengths, which could be interfered the fluorescence determination, were not observed by fluorescence excitation with using fluorescence spectrometer. Thus, only RhB molecules were determined applying both excitation and emission wavelength. In addition, differences between excitation and emission wavelength of RhB increased the selectivity.

REFERENCES

- Alesso M, Bondioli G, Talío MC, Luconi MO, Fernández LP, 2012. Micelles mediated separation fluorimetric methodology for Rhodamine B determination in condiments, snacks and candies. *Food Chemistry*, 134: 513–517.
- Altunay N, Elik A, Gürkan R, 2019. Monitoring of some trace metals in honeys by flame atomic absorption spectrometry after ultrasound assisted-dispersive liquid liquid microextraction using natural deep eutectic solvent. *Microchemical Journal*, 147: 49-59.
- Bagheri H, Daliri R, Roostaie A, 2013. A novel magnetic poly(aniline-naphthylamine)-based nanocomposite for micro solid phase extraction of rhodamine B. *Analytica Chimica Acta*, 794: 38-46.
- Bağda E, Tüzen M, 2017. A simple and sensitive vortex-assisted ionic liquid-dispersive microextraction and spectrophotometric determination of selenium in food samples *Food Chemistry*, 232: 98-104.
- Bakheet AAA, Zhu XS, 2017. Determination of Rhodamine B in Food Samples by Fe₃O₄@Ionic Liquids-β-Cyclodextrin Cross Linked Polymer Solid Phase Extraction Coupled with Fluorescence Spectrophotometry. *Journal of Fluorescence*, 27: 1087-1094.
- Bişgin AT, 2018. Simultaneous Preconcentration and Determination of Brilliant Blue and Sunset Yellow in Foodstuffs by Solid-Phase Extraction Combined UV-Vis Spectrophotometry. *Journal of AOAC International*, 101: 1850-1856.
- Bişgin AT, Sürme Y, Uçan M, Narin İ, 2018. Separation, Preconcentration and Spectrophotometric Determination of Rhodamine B in Industrial, Cosmetic and Water Samples by Cloud Point and Solid Phase Extraction. *Journal of Analytical Chemistry*, 73: 452-458.
- Bişgin AT, 2019a. Simultaneous Extraction and Determination of Allura Red (E129) and Brilliant Blue FCF (E133) in Foodstuffs by Column Solid-Phase Spectrophotometry. *Journal of AOAC International*, 102: 181-188.
- Bişgin AT, 2019b. Surfactant-Assisted Emulsification and Surfactant-Based Dispersive Liquid–Liquid Microextraction Method for Determination of Cu(II) in Food and Water Samples by Flame Atomic Absorption Spectrometry. *Journal of AOAC International*, 102: 1516-1522.
- Chen D, Zhao Y, Miao H, Wu Y, 2014. A novel cation exchange polymer as a reversed-dispersive solid phase extraction sorbent for the rapid determination of rhodamine B residue in chili powder and chili oil. *Journal of Chromatography A*, 1374: 268-272.
- Chen J, Zhu X, 2016. Magnetic solid phase extraction using ionic liquid-coated core-shell magnetic nanoparticles followed by high-performance liquid chromatography for determination of Rhodamine B in food samples. *Food Chemistry*, 200: 10-15.
- Cheng YY, Tsai TH, 2016. A validated LC–MS/MS determination method for the illegal food additive rhodamine B: Applications of a pharmacokinetic study in rats. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 125: 394–399.
- Elik A, Altunay N, Gürkan R, 2017. Microextraction and preconcentration of Mn and Cd from vegetables, grains and nuts prior to their determination by flame atomic absorption spectrometry using room temperature ionic liquid. *Journal of Molecular Liquids*, 247: 262-268.

- Fu DS, Wu PP, Zhong XD, Liu Q, Luo HD, Li YQ, 2015. A Simple Synchronous Fluorescence Approach for Rapid and Sensitive Determination of Rhodamine B in Chili Products. *Food Analytical Methods*, 8: 189-194.
- Ghasemi E, Kaykhahi M, 2016. Application of Micro-cloud point extraction for spectrophotometric determination of Malachite green, Crystal violet and Rhodamine B in aqueous samples. *Spectrochimica Acta A*, 164: 93–97.
- Li J, Ding XM, Liu DD, Guo F, Chen Y, Zhang YB, Liu HM, 2013. Simultaneous determination of eight illegal dyes in chili products by liquid chromatography–tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography B*, 942-943: 46-52.
- Li L, Chen W, Li H, Iqba J, Zhu Y, Wu T, Du Y, 2020. Rapid determination of fumonisin (FB1) by syringe SPE coupled with solid-phase fluorescence spectrometry. *Spectrochimica Acta A*, 226: 117549 1-6.
- Liang F, Jin D, Ma P, Wang D, Yang Q, Song D, Wang X, 2015. Rapid Determination of Rhodamine B in Chili Powder by Surface-Enhanced Raman Spectroscopy. *Analytical Letters*, 48:1918-1929.
- Liu X, Zhang X, Zhou Q, Bai B, Ji S, 2013. Spectrometric Determination of Rhodamine B in Chili Powder After Molecularly Imprinted Solid Phase Extraction. *Bulletin of the Korean Chemical Society*, 34: 3381-3386.
- Nekoeinia M, Dehkordi MK, Kolahdoozan M, Yousefinejad S, 2016. Preparation of epoxidized soybean oil-grafted Fe₃O₄–SiO₂ as a water-dispersible hydrophobic nanocomposite for solid-phase extraction of rhodamine B. *Microchemical Journal*, 129: 236–242.
- Pourreza N, Rastegarzadeh S, Larki A, 2008. Micelle-mediated cloud point extraction and spectrophotometric determination of rhodamine B using Triton X-100. *Talanta*, 77: 733-736.
- Qi P, Lin Z, Li J, Wang CL, Meng WW, Hong H, Zhang X, 2014. Development of a rapid, simple and sensitive HPLC-FLD method for determination of rhodamine B in chili-containing products. *Food Chemistry*, 164: 98-103.
- Ranjbari E, Hadjmohammadi MR, 2015. Optimization of magnetic stirring assisted dispersive liquid–liquid microextraction of rhodamine B and rhodamine 6G by response surface methodology: Application in water samples, soft drink, and cosmetic products. *Talanta*, 139: 216-225.
- Roostaie A, Allahnoori F, Ehteshami S, 2017. Composite Magnetic Nanoparticles (CuFe₂O₄) as a New Microsorbent for Extraction of Rhodamine B from Water Samples. *Journal of AOAC International*, 100: 1539-1543.
- Sadeghi M, Shiri F, Kordestani D, Mohammadi P, Alizadeh A, 2018. SBA-15/Metformin as a novel sorbent combined with surfactant-assisted dispersive liquid–liquid microextraction (SA-DLLME) for highly sensitive determination of Pb, Cd and Ni in food and environmental samples. *Journal of Iranian Chemical Society*, 15: 753–768.
- Soylak M, Unsal YE, Yilmaz E, Tuzen M, 2011. Determination of rhodamine B in soft drink, waste water and lipstick samples after solid phase extraction. *Food and Chemical Toxicology*, 49: 1796–1799.
- Su X, Li X, Li J, Liu M, Lei F, Tan X, Li P, Luo W, 2015. Synthesis and characterization of core–shell magnetic molecularly imprinted polymers for solid-phase extraction and determination of Rhodamine B in food. *Food Chemistry*, 171: 292-297.
- Sun D, Yang X, 2017. Rapid Determination of Toxic Rhodamine B in Food Samples Using Exfoliated Graphene-Modified Electrode. *Food Analytical Methods*, 10: 2046-2052.

- Tatebe C, Zhong X, Ohtsuki T, Kubota H, Sato K, Akiyama H, 2014. A simple and rapid chromatographic method to determine unauthorized basic colorants (rhodamine B, auramine O, and pararosaniline) in processed foods. *Food Science and Nutrition*, 2: 547–556.
- Unsal YE, Soylak M, Tuzen M, 2014a. Dispersive liquid–liquid microextraction–spectrophotometry combination for determination of rhodamine B in food, water, and environmental samples. *Desalination and Water Treatment*, 55: 2103-2108.
- Unsal YE, Soylak M, Tuzen M, 2014b. Spectrophotometric Detection of Rhodamine B after Separation-Enrichment by Using Multi-walled Carbon Nanotubes. *Journal of AOAC International*, 97: 1459-1462.
- Wang W, Du Y, Xiao Z, Li Y, Li B, Yang G, 2017. Determination of Trace Rhodamine B in Chili Oil by Deep Eutectic Solvent Extraction and an Ultra High-Performance Liquid Chromatograph Equipped with a Fluorescence Detector. *Analytical Science*, 33: 715-717.
- Xiao N, Deng J, Huang K, Ju S, Hu C, Liang J, 2014. Application of derivative and derivative ratio spectrophotometry to simultaneous trace determination of rhodamine B and Rhodamine 6G after dispersive liquid–liquid microextraction. *Spectrochimica Acta A*, 128: 312–318.
- Xu X, Zhang M, Wang L, Zhang S, Liu M, Long N, Qi X, Cui Z, Zhang L, 2016. Determination of Rhodamine B in Food Using Ionic Liquid–Coated Multiwalled Carbon Nanotube–Based Ultrasound-Assisted Dispersive Solid-Phase Microextraction Followed by High-Performance Liquid Chromatography. *Food Analytical Methods*, 9: 1696-1705.
- Yan J, Cen JM, Tan XC, Tan SF, Wu YY, Zhang H, Wang Q, 2017. Determination of trace rhodamine B by spectrofluorometry and magnetic solid phase extraction based on a 3D reduced graphene oxide composite. *Analytical Methods*, 9: 5433–5440.
- Yilmaz E, Soylak M, 2018. A novel and simple deep eutectic solvent based liquid phase microextraction method for rhodamine B in cosmetic products and water samples prior to its spectrophotometric determination. *Spectrochimica Acta A*, 202: 81-86.

İnsan Serum Paraoksonaz-1 (hPON1) Üzerine Bendamustin İnhibisyon Etkisi

Hakan SÖYÜT^{1*}, Yakup ULUTAŞ², Ekrem KÖKSAL²

ÖZET: hPON1, HDL ile ilişkili ve 43-45 kDa'lık bir moleküler kütleyle sahip olan bir ester hidrolazdır. Karaciğerde sentezlenir. Organofosfat ajanlarını ve sinir gazlarını hidrolize eder. LDL'nin oksidasyonuna ve lipit peroksitlerin ve bakteriyel endotoksinlerin oluşumuna karşı koruyucu bir rol oynar. LDL'nin oksidasyonunun ateroskleroz sürecinin başlangıç aşamasını oluşturması, hPON1 antioksidan özelliklerinin önemini göstermektedir. Birçok epidemiyolojik çalışma HDL kolesterol düzeyleri ile kardiyovasküler olaylar arasında ters bir ilişki olduğunu göstermiştir. Yüksek serum HDL-kolesterol ve düşük LDL-kolesterol seviyelerinin koroner kalp hastalığı ve ateroskleroz gelişimine karşı koruyucu olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, hPON1 bir HDL bileşenidir, bu nedenle koroner arter hastalığında HDL'nin koruyucu rolüne katkıda bulunur. Bu çalışmada, *in vitro* koşullarda insan serumunda hPON1 enzim aktivitesi üzerine bendamustin kemoterapik ilacının inhibisyon etkisini araştırdık.

Anahtar Kelimeler: Paraoksonaz, inhibisyon, bendamustin.

Inhibitory Effects of Bendamustine on Human Serum Paraoxonase-1 (hPON1)

ABSTRACT: hPON1 is an ester hydrolase associated with HDL and having a molecular mass of 43-45 kDa. It is synthesized in the liver. It hydrolyzes organophosphate agents and nerve gases. It plays a protective role against oxidation of LDL and formation of lipid peroxides and bacterial endotoxins. The fact that oxidation of LDL constitutes the initial stage of the atherosclerosis process demonstrates the importance of hPON1 antioxidant properties. Many epidemiological studies have shown an inverse relationship between HDL cholesterol levels and cardiovascular events. It is known that high serum HDL-cholesterol and low LDL-cholesterol levels are protective against the development of coronary heart disease and atherosclerosis. Therefore, hPON1 is a component of HDL, thus contributing to the protective role of HDL in coronary artery disease. In this research, we investigated the inhibition effects of bendamustine on hPON1 enzyme activity in the human serum *in vitro* conditions.

Keywords: Paraoxonase, inhibition, bendamustine.

¹Hakan SÖYÜT, (Orcid ID: 0000-0002-0361-7458), Uludağ Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Temel Eğitim Bölümü, Bursa, Türkiye

²Yakup Ulutaş, (Orcid ID: 0000-0002-9839-9536), Ekrem KÖKSAL, (Orcid ID: 0000-0002-1026-972X), Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Erzincan, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Hakan SÖYÜT, e-mail: hakansoyut@uludag.edu.tr

GİRİŞ

1960'larda sentezlenen hem alkilleme hem de antimetabolit özelliklerine sahip FDA onaylı bir anti-kanser ilacıdır. Bendamustin (4 {-5 [-Bis (2-kloroetil) amino] -1-metil-1-benzoimidazol-2-il} butanoik asit monohidroklörür), yapısal olarak, üç fonksiyonel gruptan oluşur: 2-kloroetilamin alkilleme grubu, benzimidazol halkası ve bütirik asit yan zinciridir. O, benzimidazol gibi bir pürini ve iki fonksiyonlu alkile edici bir azot grubunu birleştiren sitotoksik bir ajandır. 2-kloroetilamin alkilleme grubu, alkilerin azot ailesi arasında yaygın bir yapı iken, benzimidazol halkası bendamustin'e özgüdür. İlaç, lenfoma, miyelom ve meme kanseri ve germ hücre kanseri dahil olmak üzere çeşitli katı tümörlerde antitümör aktivitesine sahiptir. Bendamustin'in anti-kanser etkisini, alkilasyon yoluyla tek ve çift DNA ipliklerinin çapraz bağlanmasıyla gösterir. İntravenöz uygulamadan sonra bendamustinhidroklörür proteinlere bağlanarak karaciğer ve böbrek tarafından seçici olarak alınır. Bendamustin vücutta hidroliz ile metabolize olur ve suda oldukça kararsızdır. Yaklaşık 10 dakikalık bir yarılanma ömrüne sahip mono- ve dihidroksi türevlerine hidrolize olur. Esas olarak böbreklerden atılır, karaciğerde metabolize edilir ve safra yoluyla az miktarda atılır. Bendamustin'in neden olduğu DNA hasarının diğer alkilerin neden olduğu hasardan daha geniş ve uzun ömürlü olduğu gösterilmiştir (Khan ve ark., 2016).

Paraoksonaz (hPON) ailesi üç genden oluşur: PON1, PON2 ve PON3. İnsan PON kromozom 7 üç farklı gen tarafından kodlanır. Memeli türlerinde, hPON genleri, dizilerinin % 79-95'i amino asit düzeyinde ve % 81-95'i nükleotid düzeyinde benzerdir. PON2, ailenin en yaşlı üyesi olarak tanımlanmaktadır. hPON3 ve hPON1 büyük olasılıkla gen replikasyonunun sonucudur. hPON1 ve hPON3'ün her ikisi de yüksek yoğunluklu lipoprotein (HDL) partikülleri ile ilişkilidir ve antioksidan ve antiinflamatuvar özellikler gösterir. hPON2 ve hPON3, mitokondriyal süperoksit anyon üretimini ve endoplazmik retikulum (ER) strese bağlı apoptozu modüle eden hücre içi enzimlerdir. (Furlong ve ark., 2016).

hPON1 öncelikle karaciğerde eksprese edilir ve yüksek yoğunluklu lipoprotein (HDL) içinde birleştirilir. İnsan hPON2'si kalp, karaciğer, akciğer, testis, akciğer, plasenta, mide, ince bağırsak, dalak, böbrek, vasküler endotel hücreleri, vasküler düz kas hücreleri ve makrofajlar gibi farklı dokularda eksprese edilir. hPON2, plazma zarında, endoplazmik retikulumda ve elektron taşıma zincirinin doğru çalışması için gerekli olan iç mitokondriyal zarında lokalizedir. Karaciğere ek olarak, böbrekte hPON3 ekspresyonu tespit edilmiştir. Önceki çalışmalar, hPON1'e benzer şekilde, insan hPON3'ün HDL yüzeyinde lokalize olduğunu bildirmiştir (Aviram ve Rosenblat 2008)

hPON1 düşük yoğunluklu lipoprotein (LDL)'yi lipit peroksidasyonuna karşı korur. LDL'nin ROS veya hücrel enzimler tarafından oksidasyonu, ateroskleroze ilk aşamasında yer alan aterosklerotik bir modifikasyon olarak kabul edilir. hPON1'in HDL ve biyolojik membranları da lipit peroksidasyonuna karşı korur. hPON1 eksik farelerde lipoprotein oksidasyonu ve inflamasyona karşı daha yüksek bir duyarlılık gösterilmiştir, oysa hPON1'i aşırı eksprese eden fareler iltihap ve ateroskleroza daha dirençlidir. Serumdaki düşük bir hPON1 aktivitesi, denekleri daha yüksek bir oksidatif strese maruz bırakır (Deakin ve ark., 2011). Oksitlenmiş lipidlerin hPON1 tarafından hidrolizinin bu enzimin laktonaz aktivitelerinden kaynaklandığı bildirilmiştir. hPON1'in antioksidan rolü, peroksidaz aktivitesiyle de ilişkilendirilmiştir, bu da yağ asitleri hidroperoksitler, kolesteril ester hidroperoksitler ve hidrojen peroksidin (H₂O₂) nötralizasyonuna yol açar (Ferretti ve ark., 2010). Akciğer kanseri, gastrointestinal kanser, meme ve jinekolojik kanser, prostat, mesane kanseri, merkezi sinir sistemi tümörleri, Hodgkin dışı lenfoma ve akut lenfoblastik lenfoma (ALL) gibi farklı kanser türlerinden etkilenen hastaların serumunda hPON1 aktivitesi önemli ölçüde düşüktür. hPON1 aktivitesindeki bir azalma, enzimin

antioksidan rolünü olumsuz yönde etkileyebilir ve daha yüksek oksidatif strese maruz bırakabilir (Barrera, 2012).

Anti-kanser ilaçlarının hPON1 üzerindeki etkisi geniş bir şekilde araştırılmamıştır. Kemoterapötik bir ilaç olan siklofosamid ile tedavi edilen sıçanlarda böbrek hPON1 aktivitesinde iki kat artış gösterilmiştir. Aksine, saflaştırılmış hPON1 kullanıldığında, kemoterapötik ajanlarla (setuksimab, paklitaksel, etoposid, dosetaksel ve ifosfamid) inkübasyonlar sırasında *in vitro* olarak azalmış bir hPON1 aktivitesi gözlenmiştir. Oksidatif stres ve inflamasyon, kanserin gelişmesinde ve kemoterapinin prognozunu belirlemede rol oynayan önemli faktörler olarak kabul edilir. Kanser hastalarında hPON1 aktivitesinde bir azalma oksidatif stres belirteçlerinde bir artışa sebep olmuştur. Herhangi bir ilaç, hPON1 enzim aktivitesinde de bir azalmaya neden olursa, oksidatif stresin artmasından dolayı ateroskleroz dahil birçok vasküler hastalık oluşabilir (Alım ve Beydemir 2016; Ferretti ve ark., 2015).

Bu çalışmada, kanser tedavisinde yaygın olarak kullanılan bendamustin'in hPON1 enzim aktivitesi üzerindeki *in vitro* inhibisyon etkisini araştırdık.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

DEAE-Sephadex A50, Sepharose 4B, 1-naftilamin, paraokson, protein reaktifleri ve elektroforez için kullanılan kimyasallar Sigma Chemical Co.'dan elde edildi. Diğer tüm kimyasal maddeler Sigma-Aldrich veya Merck'ten elde edilir. Bendamustin, Bursa Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Onkoloji Bölümünden temin edildi.

Paraoksonaz aktivite ölçümü

İnsan serumu örnekleri, Erzincan Mengücekgazi Araştırma Hastanesi'nden temin edildi. hPON1 aktivitesi 25 °C'de 1 mM CaCl₂ içeren 50 mM glisin / NaOH (pH 10.5) içinde paraokson (diethyl p-nitrofenil fosfat) (1 mM) ile belirlenmiştir. hPON1 aktivite ölçümü, 412 nm'de p-nitrofenolün tahminine dayandırılmıştır. hPON1 aktivitesini hesaplamak için p-nitrofenolün molar ekstinksiyon katsayısı (pH 10.5'te $\epsilon = 18.290 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$) kullanılmıştır. Bir enzim birimi, 25 °C'de 1 μmol substrat hidrolizini katalize eden enzim miktarı olarak tanımlandı. Aktivite ölçümü spektrofotometre (CHEBIOS UV-VIS) kullanılarak yapıldı.

Anti-kanser ilacı için *in vitro* çalışmalar

Bendamustin ilacının inhibitör etkilerini inceledik. Bu ilaç, kullanılan her konsantrasyon için üç kez test edildi. hPON1 aktiviteleri, farklı ilaç konsantrasyonlarının varlığında ölçüldü. Bir inhibitör olmadığında kontrol aktivitesinin % 100 olduğu varsayıldı. Bendamustin için, % Aktivite-[Konsantrasyon] grafikleri çizildi ve eğrinin denkleminde IC_{50} ve K_i değerleri hesaplandı.

BULGULAR VE TARTIŞMA

hPON1, organofosfat ve lakton gibi esterleri hidrolize eden kalsiyum bağımlı bir esterazdır. hPON1, molekül ağırlığı 43-45 kDa olan bir glikoproteindir. Esas olarak karaciğer tarafından sentezlenir. hPON1 insan vücudundaki antioksidan savunma mekanizmalarından biridir. İnsan vücudundaki paraoksonlar da dahil olmak üzere reaktif oksijen türleri için birçok temizleme sistemi vardır. hPON1 canlı metabolizmasında reaktif oksijen türlerini temizleyerek LDL, HDL ve makrofajları oksidatif strese karşı korur. Bu nedenle, hPON1 kardiyovasküler hastalıkları önler (Golmanesh ve ark., 2008).

hPON1 aktivitesi ile ilaçlar arasındaki etkileşimler üzerine yapılan birçok çalışma vardır. Şimdiye kadar, statinler hPON1 üzerinde en çok çalışılan farmakolojik moleküllerdir. Bu çalışmalar, çeşitli

statinlerin oksidatif stresi düşürerek ve hPON1 aktivitesini artırarak yararlı etkilerinin olabileceğini göstermektedir. hPON1 aktivitesinin, oksidatif stres sınırlamasının bir sonucu olarak statinler tarafından artırılması mümkündür. Statinler genellikle hPON1 için faydalı görünmektedir. Pravastatin, simvastatin ve atorvastatin, hPON1 aktivitesi üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir. (Malin ve ark., 2001; Kumar, 2010; Nagila ve ark., 2009). Aspirin, vasküler hastalıkların tedavisinde ve önlenmesinde yaygın olarak kullanılır. Aspirinin hPON1 aktivitesi üzerinde faydalı etkileri olabileceği test edildi. Aspirin kullanımı, koroner arter hastalığı olan hastalarda hPON1 aktivitesini anlamlı şekilde arttırdı (Bhattacharyya ve ark., 2008). Valsartan ve barnidipinin hPON1 aktivitesi üzerinde etkisi olmadığı bulunmuştur. (Saisho ve ark., 2006; Spirou ve ark., 2006). Başka bir çalışmada ise, gentamisin sülfat ve sefazolin sodyum hPON1 aktivitesini azaltmıştır. (Sinan ve ark., 2006) Laboratuvarımızda çeşitli enzim-antikanser ilaç etkileşimi çalışmaları yapılmıştır.

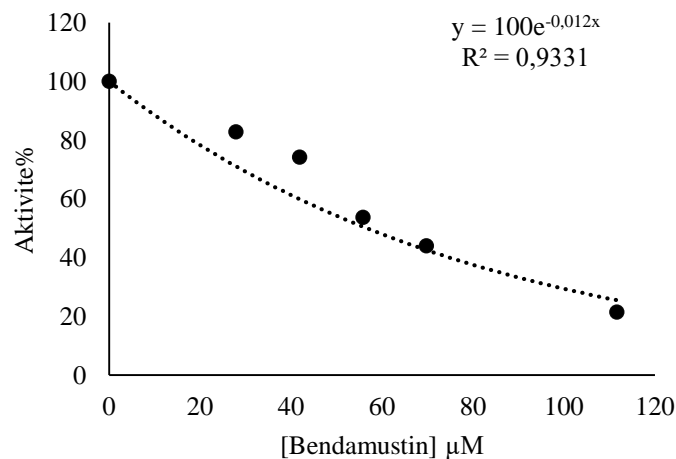
Örneğin, Türkeş ve arkadaşları (2016), bazı anti-kanser ilaçlar, (1) palonosetron hidroklorür, (2) bevacizumab ve (3) siklofosamid'in hPON1'in üzerine *in vitro* etkilerini incelemiştir. Anti-kanser ilaçların insan serumu hPON1 için güçlü inhibitörler olması çok önemlidir. Palonosetron hidroklorür diğer anti-kanser ilaçlarla karşılaştırıldığında enzim aktivitesini belirgin şekilde inhibe ettiği tespit edildi. İlaçların inhibisyon sırası, 1 > 2 > 3 olarak belirlenmiştir (Türkeş ve ark., 2016).

Anti-kanser ilaç olan bendamustin paraoksonaz aktivitesi üzerinde inhibisyon etkisi çalışmaları yapıldı. Bendamustin için IC₅₀ değeri, %Aktivite-[I] grafiği yardımıyla 0.057 mM olarak belirlendi (Tablo 1 ve Şekil 1). Çalışmamızda insan serum hPON1 enzimi üzerine inhibisyon etkisi bendamustin için K_i sabitinin belirlenmesi işleminde Lineweaver-Burk grafikleri kullanılmıştır. K_i sabiti 0.26 mM olarak belirlendi (Tablo 1 ve Şekil 2). İnhibisyon türü yarışmasızdır.

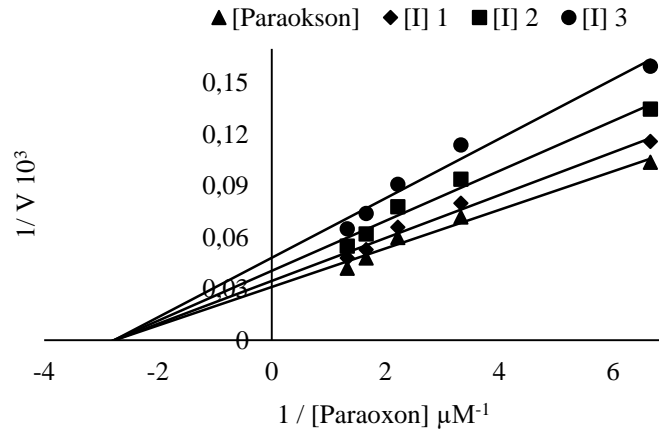
İnhibisyon çalışmaları sonucunda bendamustin'in hPON1 enzimini inhibe ettiği gözlemlendi.

Çizelge 1. IC₅₀ ve K_i değerleri

İnhibitör	IC ₅₀ (mM)	K _i (mM)	İnhibisyon türü
Bendamustin	0.057	0.26 ± 0.84	Yarışmasız



Şekil 1. hPON1 enzim aktivitesi üzerine bendamustin'in inhibisyon etkisini gösteren ve IC₅₀ değerinin belirlenmesi için kullanılan %Aktivite-[Konsantrasyon] grafiği



Şekil 2. İnsan serum hPON1 enzimi aktivitesi üzerine bendamustin'in etkisini gösteren ve K_i sabitinin belirlenmesi için kullanılan Lineweaver-Burk grafiği

SONUÇ

Sonuç olarak, bendamustin'in hPON1 üzerindeki *in vitro* etkilerini araştırdık. hPON1 ile bendamustin arasındaki ilişki hakkında herhangi bir literatürle karşılaşmadık. Bununla birlikte, paraoksonaz enziminin ekspresyonunun ve aktivitesinin kanser hastalıkları için kritik olduğu bilinmektedir. Birçok çalışma, farklı kanser hastalarda hPON1 aktivitelerinde bir azalma olduğunu göstermiştir. hPON1, antioksidan savunma ve hücre davranışının düzenlenmesinde yer alan çok işlevli enzimdir. Ayrıca, hPON1 aktivitesi kardiyovasküler hastalıklara karşı koruma sağlar. Bendamustin kanser tedavisinde kemoterapötik ilaç olarak kullanılır. Kanser tedavisinde uygulandığında, özellikle aterosklerotik lezyonları olan hastalarda bazı metabolik bozukluklara neden olabilirler. Ancak, sonuçlarımız bazı *in vivo* çalışmalarla doğrulanmalıdır.

KAYNAKLAR

- Alim Z, Beydemir S, 2016. Some anticancer agents act on human serum paraoxonase-1 to reduce its activity. *Chemical Biology & Drug Design*, 88: 188–196.
- Aviram M, Rosenblat M, 2008. Paraoxonases (PON1, PON2, PON3) analyses *in vitro* and *in vivo* in relation to cardiovascular diseases. *Methods in Molecular Biology*, 477: 259–276.
- Barrera G, 2012. Oxidative stress and lipid peroxidation products in cancer progression and therapy. *ISRN Oncology*, 2012: 137289.
- Bhattacharyya T, Nicholls SJ, Topol EJ, Zhang R, Yang X, Schmitt D, Fu X, 2008. Relationship of paraoxonase 1 (PON1) gene polymorphisms and functional activity with systemic oxidative stress and cardiovascular risk. *Journal of the American Medical Association*, 299: 1265–1276.
- Deakin SP, Bioletto S, Bochaton-Piallat M., James RW, 2011. HDL-associated paraoxonase-1 can redistribute to cell membranes and influence sensitivity to oxidative stress. *Free Radical Biology and Medicine*, 50: 102–109.
- Ferretti G, Bacchetti T, Masciangelo S, Bicchiega V, 2010. HDL-paraoxonase and membrane lipid peroxidation: a comparison between healthy and obese subjects. *Obesity*, 18: 1079–1084
- Ferretti G, Bacchetti T, Sahebkar A, 2015. Effect of statin therapy on paraoxonase-1 status: a systematic review and meta-analysis of 25 clinical trials. *Progress in Lipid Research*, 60: 50–73
- Furlong CE, Marsillach J, Jarvik GP, Costa LG, 2016. Paraoxonases-1, -2 and -3: what are their functions? *Chemico-Biological Interactions*, 259: 51–62.

- Golmanesh L, Mehrani H, Tabei M, 2008. Simple procedures for purification and stabilization of human serum paraoxonase-1. *Journal of Biochemical and Biophysical Methods*, 70:1037-1042.
- Khan I, Gothwal A, Sharma AK, Qayum A, Singh SK, Gupta U, 2016. Biodegradable nano-architectural PEGylated approach for the improved stability and anticancer efficacy of bendamustine. *International Journal of Biological Macromolecules*, 92: 1242–1251.
- Kumar A, 2010. Effects of simvastatin on paraoxonase 1 (PON1) activity and oxidative stress. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 3: 310-314.
- Malin R, Laaksonen R, Knuuti J, Janatuinen T, Vesalainen R, Nuutila P, Lehtimaki T, 2001. Paraoxonase genotype modifies the effect of pravastatin on high-density lipoprotein cholesterol. *Pharmacogenetics*, 11: 625-633.
- Nagila A, Permpongpaiboon T, Tantrarongroj S, Porapakham P, Chinwattana K, Deakin S, Porntadavity S, 2009. Effect of atorvastatin on paraoxonase1 (PON1) and oxidative status. *Pharmacological Reports*, 61: 892-898.
- Saisho Y, Komiya N, Hirose H, 2006. Effect of valsartan, an angiotensin II receptor blocker, on markers of oxidation and glycation in Japanese type 2 diabetic subjects: blood pressure-independent effect of valsartan. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 74: 201–203.
- Sinan S, Kockar F, Gencer N, Yildirim H, Arslan O, 2006. Effects of some antibiotics on paraoxonase from human serum *in vitro* and from mouse serum and liver *in vivo*. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 29: 1559–1563.
- Spirou A, Rizos E, Liberopoulos EN, 2006. Effect of barnidipine on blood pressure and serum metabolic parameters in patients with essential hypertension: a pilot study. *Journal of Cardiovascular Pharmacology and Therapeutics*, 11: 256–261.
- Türkeş C, Söyüt H, Beydemir Ş, 2016. In vitro inhibitory effects of palonosetron hydrochloride, bevacizumab and cyclophosphamide on purified paraoxonase-I (hPON1) from human serum. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 42: 252–257.

Süstitüe Fenetilaminlerin Bazı Simetrik ve Asimetrik Üre Türevlerinin Sentezi

Bünyamin ÖZGERİŞ^{1*}

ÖZET: Bu çalışmada, süstitüe fenetilaminlerden (**8-12**) karbonildiimidazol (CDI) ile ılıman şartlarda simetrik ve asimetrik bazı üre türevleri (**13-22**) sentezlenmiştir. Bunun için öncelikle süstitüe fenetilaminler karbonildiimidazol ile su içerisinde reaksiyona sokulmuş ve imidazolid ara ürününün oluşmasından sonra ikinci bir süstitüe fenetilamin (**8-12**) verilerek hedef ürünler (**13-22**) % 43 - % 66 arasında verimlerle sentezlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Simetrik üre, asimetrik üre, süstitüe fenetilamin, karbonildiimidazol.

Synthesis of Some Symmetrical and Non-Symmetrical Urea Derivatives of Substituted Phenethylamines

ABSTRACT: In this study, some symmetrical and non-symmetrical urea derivatives (**13-22**) have been synthesized from substituted phenethylamines (**8-12**) with carbonyldiimidazole (CDI) under mild conditions. For this purpose, substituted phenethylamines were reacted with carbonyldiimidazole in water, and after the formation of the imidazolide intermediate, the corresponding products (**13-22**) have been synthesized in yields between 43% - 66% by giving a second substituted phenethylamine (**8-12**).

Keywords: Symmetrical urea, non-symmetrical urea, substituted phenethylamine, carbonyldiimidazole.

¹Bünyamin ÖZGERİŞ (Orcid ID: 0000-0002-3783-6501), Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, Erzurum, Türkiye

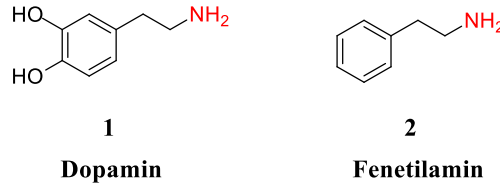
*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Bünyamin ÖZGERİŞ, e-mail: bunyamin.ozgeris@erzurum.edu.tr

Geliş tarihi / Received: 07-02-2020

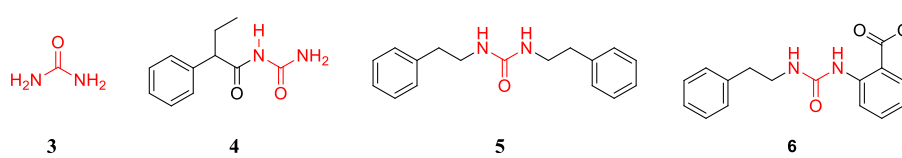
Kabul tarihi / Accepted: 05-05-2020

GİRİŞ

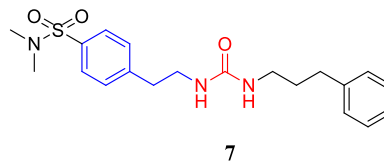
Vücudumuzda doğal yollarla oluşan organik bileşikler bulunup, bunların eksik veya fazla olması durumunda çeşitli hastalıklar ortaya çıkmaktadır. Dopamin (**1**) de bu tarz organik bileşiklerden olup nörotransmitter olarak görev yapan amin grubu içeren fenolik bir bileşiktir (Sellami ve ark., 2013). Dopamin (**1**), oksidan ve serbest radikallere karşı beyinde antioksidan savunma sistemi sağlayarak merkezi sinir sistemindeki hasarları engellemektedir (Klegeris ve ark., 1995). Dopamine benzer yapıdaki bileşikler de amin fonksiyonel grubu içerirler ve bu bileşiklerden biri de Fenetilamin (**2**) dir (Cannon, 1985). Fenetilamin ve türevlerinin psikoaktif ilaç ve uyarıcı etkilerinin olduğu bilinmektedir (Hanson ve ark., 2005).



İlk kez 1828 yılında Alman kimyacı Friedrich Wöhler tarafından laboratuvar ortamında sentetik olarak elde edilen üre (**3**), H_2NCONH_2 kimyasal yapısına sahiptir ve tarım, endüstri, otomobil, laboratuvar, tıp gibi uygulama alanlarında kullanılmaktadır (Madhava ve ark., 2012). Türevleri antibiyotik, antikanser, antiaterosklerotik, antifungal, antibakteriyel, antiHIV, antikonvulsan, antiviral ve analjezik gibi geniş spektrumda biyolojik aktiviteler göstermektedir (Pochampally ve ark., 2014). Laburide ticari adıyla piyasaya sürülen ve üre grubu içeren Pheneturide (**4**) antikonvulsan bir ilaçtır (Byrne ve ark., 1999). Bir simetrik üre türevi olan N,N'-difenetilüre (**5**) bileşiğinin 3T3-L1 hücrelerinde PPAR γ ekspresyonunu düzenleyerek adiposit farklılaşmasını desteklediği bildirilmiştir (Choi ve ark., 2011). Bir başka çalışmada ise Boonlarppradab ve arkadaşları fenetilamin halkası içeren ve asimetrik bir üre türevi olan 2-(3-fenetil-ürido)-benzoik asit metil ester (**6**) bileşiğinin KB, MCF-7, NCI-H187 ve Vero hücre hattı sitotoksik testlerinde aktif olduğunu bulmuşlardır (Boonlarppradab ve ark., 2016).



Manickam ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada fenetilamin grubu içeren asimetrik üre türevi (**7**) bileşiğini sentezlemişler ve bu bileşiğin sistolik kalp yetmezliğinin tedavisinde kardiyak miyosin aktivatörlerinin keşfi için yeni bir iskelet olduğunu kanıtlamışlardır (Manickam ve ark., 2018).



Bahsedildiği üzere birçok biyolojik aktivite içeren bu tarz bileşiklerin sentezi üzerine de oldukça kapsamlı çalışmalar geçmişten günümüze kadar süregelmiştir. Literatürde son yıllarda simetrik ve asimetrik üre türevlerinin sentezi için çevreye daha zararsız olan dialkil temelli değişim yöntemleri (Diaz ve ark., 2007) ve aminlerin oksidatif karbonilasyonu (Tundo ve Selva, 2002) gibi birçok yöntem geliştirilmiş olmasına rağmen, ürelerin hızlı ve kolay bir şekilde sentezlenmesi için fosgen, trifosgen (McMorris ve ark., 2010), 1,1'-karbonildiimidazol (CDI) (Chaturvedi, 2005), karbonilimidazolyum tuzu, kloroformatlar, izosiyanatlar (McMorris ve ark., 2010) veya karbamoilklorürler kullanılmaktadır. Bu reaktiflerin çoğu önemli dezavantajlar içermektedir. Fosgen ve trifosgen yüksek derecede toksik ve neme duyarlıyken, karbamoil klorür ve izosiyanatlar da ticari olarak temin edilebilirliği açısından

sınırlıdır. Bunlar arasında 1,1'-karbonildiimidazol nispeten hafiftir ve en çok kullanılan reaktif maddedir. Ayrıca bu reaktifler reaksiyonlarda bir çözücü ile beraber kullanılmaktadır. Padiya ve grubunun yapmış oldukları çalışmanın yöntemine göre ise yukarıda dezavantajlarından bahsedilen reaktiflerin yerine daha ılıman koşullara sahip olan 1,1'-karbonildiimidazol ve çözücü yerine de suyun kullanılması ile simetrik ve asimetrik üre türevlerinin sentezi yapılabilmektedir (Padiya ve ark., 2012).

Bu çalışmada potansiyel biyolojik aktif, fenetilamin halkası içeren simetrik ve asimetrik üre türevlerinin sentezi, fosgen vb. gibi dezavantajları olan reaktiflerin yerine 1,1'-karbonildiimidazol (CDI) ile daha ılıman koşullarda ve reaksiyonlar çevreye duyarlı bir şekilde su içerisinde gerçekleştirilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

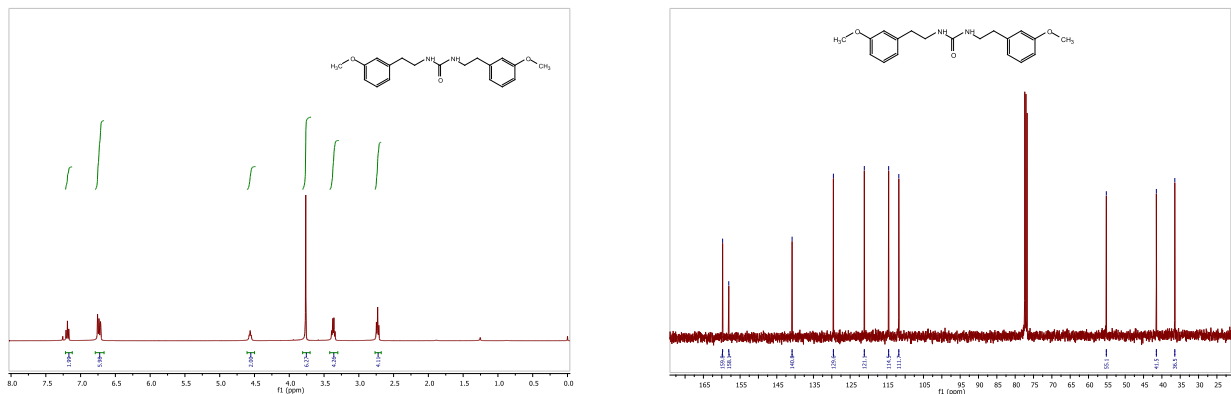
Materyaller ve Cihazlar

Bu çalışmada kullanılan bütün kimyasallar ticari olarak temin edilmiş olup ayrıca herhangi bir saflaştırma işlemi yapılmamıştır. ^1H NMR ve ^{13}C NMR spektrumları 400 (100) MHz Varian cihazı ile alınmış ve internal standart olarak SiMe_4 ile δ biriminde rapor edilmiştir. IR spektrumları PerkinElmer Infrared Spektroskopi (FT-IR) cihazında ATR'de alınmıştır. Maddelerin erime noktaları da Thermo Scientific IA9100 cihazında belirlenmiştir.

Bileşiklerin Sentezi

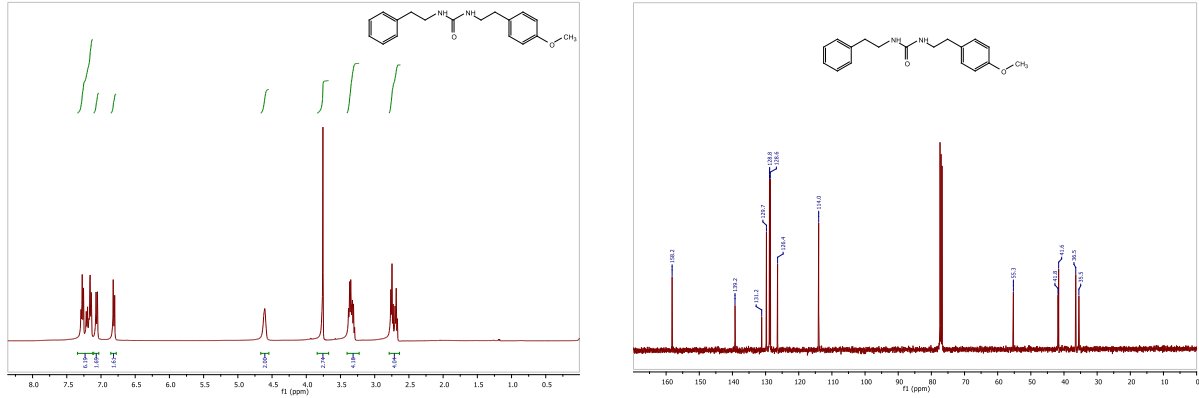
Simetrik ve asimetrik üre türevlerinin sentezi için genel prosedür: Sübstütie fenetilaminler (8–12) (1.0 mmol) oda sıcaklığında su içine alındı ve 0 °C' de karıştırıldı. Bu sıcaklıkta reaksiyon karışımına 1,1'-karbonildiimidazol (CDI) (1.2 mmol) eklendi. Reaksiyon karışımı, 0 °C' de 1 saat karıştırıldı ve daha sonra oda sıcaklığına getirildi. TLC ile takip edilen reaksiyonda karbonilimidazolid ara ürününün tamamen oluşmasından sonra, simetrik üre için aynı fenetilamin, asimetrik üre için de farklı fenetilaminler (1.2 mmol) eklenmiştir. Reaksiyon karışımı oda sıcaklığında karıştırıldı ve TLC ile takip edildi. Reaksiyonun tamamlandığı tespit edilince karışım süzüldü, elde edilen çökelti soğuk suyla yıkandı ve kurutuldu. Saf olmayan bazı türevler EtOAc/Hekzan (25:75) çözücü sistemi üzerinden kolon kromatografisi ile saflaştırıldı. Sentezlenen ürünlere ait veriler aşağıdaki gibidir.

1,3-Bis(3-metoksifenetil)üre (13): Beyaz renkli katı madde. Verim (0.69 g, % 64); Erime noktası: 123-125 °C; IR (v, cm^{-1}): 3339, 2913, 2327, 2301, 1658, 1587. ^1H NMR (400 MHz, CDCl_3) δ 7.22 – 7.12 (m, 2H, ArH), 6.79 – 6.66 (m, 6H, ArH), 4.56 (t, J = 5.5 Hz, 2H, NH), 3.77 (s, 6H, OCH_3), 3.37 (q, J = 12.9, 6.7 Hz, 4H, CH_2), 2.73 (t, J = 6.9 Hz, 4H, CH_2). ^{13}C NMR (100 MHz, CDCl_3) δ 159.8 (CO), 158.1 (2C), 140.8 (2C), 129.6 (2CH), 121.1 (2CH), 114.5 (2CH), 111.7 (2CH), 55.1 (2 OCH_3), 41.5 (2 CH_2), 36.5 (2 CH_2).



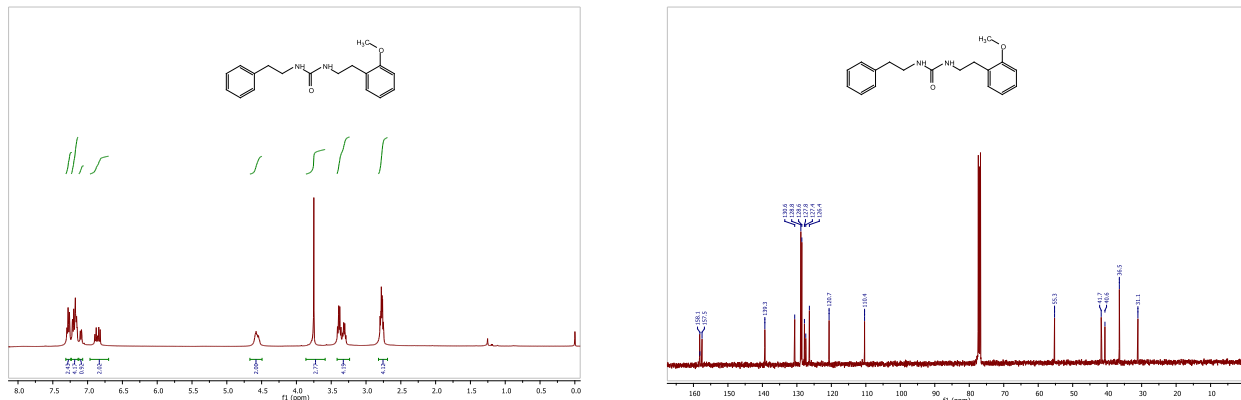
Şekil 1. 1,3-bis(3-metoksifenetil)üre (13)'ün ^1H ve ^{13}C NMR spektrumu.

1-(4-Metoksifenetil)-3-fenetilüre (14): Beyaz renkli katı madde. Verim (0.58 g, % 47); Erime noktası: 117-119 °C; IR (v, cm⁻¹): 3332, 2901, 2305, 2289, 1641, 1579. ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃) δ 7.34 – 7.12 (m, 5H, ArH), 7.06 (d, J = 8.5 Hz, 2H, ArH), 6.81 (d, J = 8.5 Hz, 2H, ArH), 4.61 (s, 2H, NH), 3.75 (s, 3H, OCH₃), 3.40 – 3.23 (m, 4H, CH₂), 2.79 – 2.64 (m, 4H, CH₂). ¹³C NMR (100 MHz, CDCl₃) δ 158.2 (CO ve C), 139.2 (C), 131.2 (C), 129.7 (2CH), 128.8 (2CH), 128.6 (2CH), 126.4 (CH), 114.0 (2CH), 55.3 (OCH₃), 41.8 (CH₂), 41.6 (CH₂), 36.5 (CH₂), 35.5 (CH₂).



Şekil 2. 1-(4-metoksifenetil)-3-fenetilüre (14)'ün ¹H ve ¹³C NMR spektrumu.

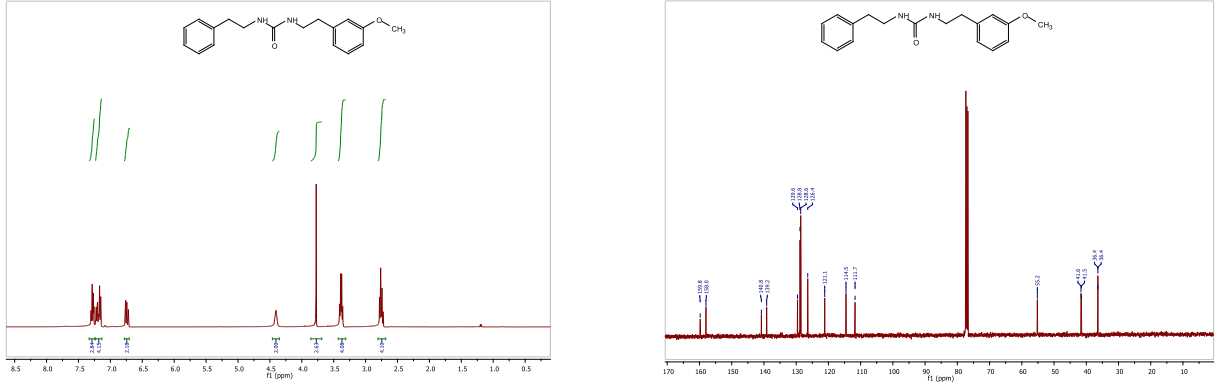
1-(2-Metoksifenetil)-3-fenetilüre (15): Beyaz renkli katı madde. Verim (0.64 g, % 52); Erime noktası: 90-92 °C; IR (v, cm⁻¹): 3330, 2922, 2355, 2311, 1685, 1594. ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃) δ 7.31 – 7.24 (m, 2H, ArH), 7.23 – 7.14 (m, 4H, ArH), 7.09 (dd, J = 7.3, 1.5 Hz, 1H, ArH), 6.97 – 6.70 (m, 2H, ArH), 4.67 – 4.49 (m, 2H, NH), 3.76 (s, 3H, OCH₃), 3.42 – 3.24 (m, J = 28.2, 12.8, 6.7 Hz, 4H, CH₂), 2.82 – 2.69 (m, 4H, CH₂). ¹³C NMR (100 MHz, CDCl₃) δ 158.1 (CO), 157.5 (C), 139.3 (CH), 130.6 (CH), 128.8 (2CH), 128.6 (2CH), 127.8 (C), 127.4 (C), 126.4 (CH), 120.7 (CH), 110.4 (CH), 55.3 (OCH₃), 41.7 (CH₂), 40.6 (CH₂), 36.5 (CH₂), 31.1 (CH₂).



Şekil 3. 1-(2-metoksifenetil)-3-fenetilüre (15)'in ¹H ve ¹³C NMR spektrumu.

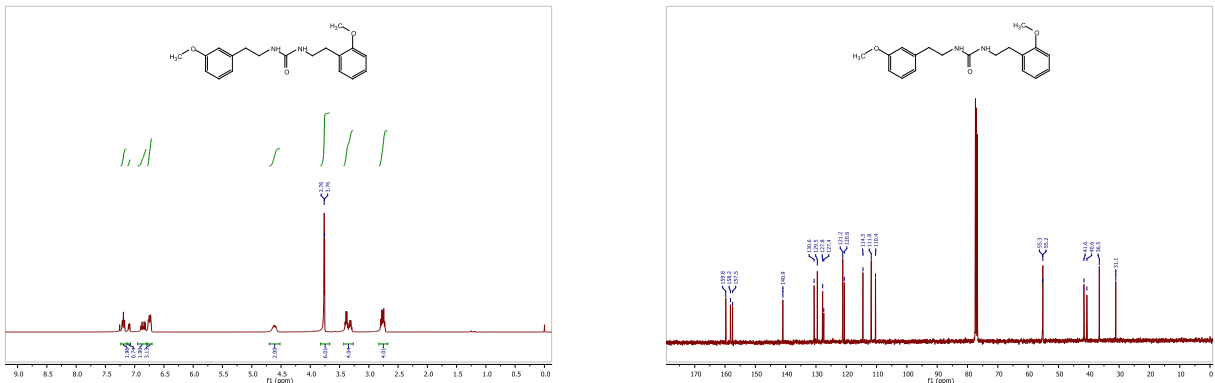
1-(3-Metoksifenetil)-3-fenetilüre (16): Beyaz renkli katı madde. Verim (0.53 g, % 43); Erime noktası: 80-82 °C; IR (v, cm⁻¹): 3337, 2925, 2323, 2308, 1654, 1586. ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃) δ 7.33 – 7.24 (m, 3H, ArH), 7.23 – 7.13 (m, 4H, ArH), 6.78 – 6.71 (m, 2H, ArH), 4.41 (bs, 2H, NH), 3.79 (s, 3H, OCH₃), 3.38 (m, 4H, CH₂), 2.75 (m, 4H, CH₂). ¹³C NMR (100 MHz, CDCl₃) δ 159.8 (CO),

158.0 (C), 140.8 (C), 139.2 (C), 129.6 (CH), 128.8 (2CH), 128.6 (2CH), 126.4 (CH), 121.2 (CH), 114.5 (CH), 111.7 (CH), 55.2 (OCH₃), 41.6 (CH₂), 41.5 (CH₂), 36.41 (CH₂), 36.39 (CH₂).



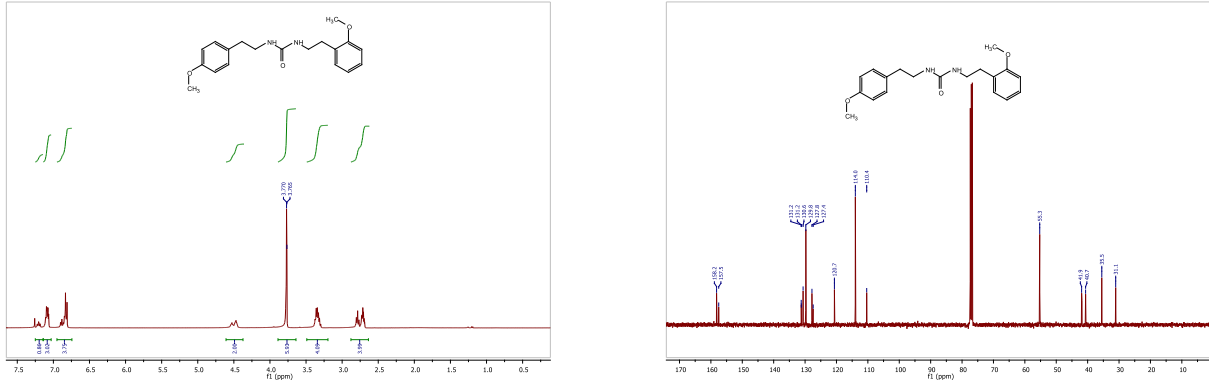
Şekil 4. 1-(3-metoksifenetil)-3-fenetilüre (16)'nin ¹H ve ¹³C NMR spektrumu.

1-(2-Metoksifenetil)-3-(3-metoksifenetil)üre (17): Beyaz renkli katı madde. Verim (0.72 g, % 66); Erime noktası: 94-96 °C; IR (v, cm⁻¹): 3341, 2927, 2329, 2297, 1655, 1555. ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃) δ 7.24 – 7.14 (m, 2H, ArH), 7.09 (dd, J = 7.3, 1.6 Hz, 1H, ArH), 6.95 – 6.80 (m, 2H, ArH), 6.78 – 6.70 (m, 3H, ArH), 4.70 – 4.52 (m, 2H, NH), 3.76 (s, 3H, OCH₃), 3.756 (s, 3H, OCH₃), 3.43 – 3.27 (m, 4H, CH₂), 2.83 – 2.68 (m, 4H, CH₂). ¹³C NMR (100 MHz, CDCl₃) δ 159.8 (CO), 158.2 (C), 157.5 (C), 140.9 (C), 130.6 (CH), 129.5 (CH), 127.8 (CH), 127.4 (C), 121.2 (CH), 120.6 (CH), 114.5 (CH), 111.8 (CH), 110.4 (CH), 55.3 (OCH₃), 55.2 (OCH₃), 41.6 (CH₂), 40.6 (CH₂), 36.5 (CH₂), 31.1 (CH₂).



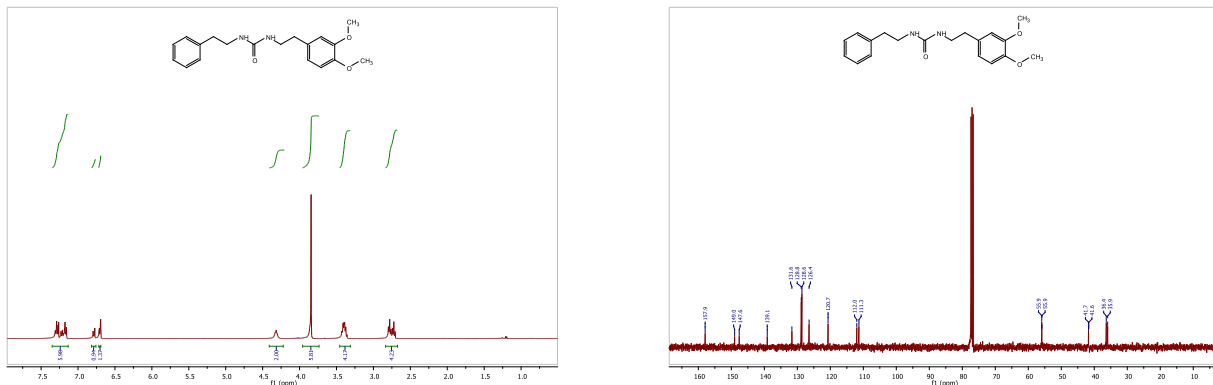
Şekil 5. 1-(2-metoksifenetil)-3-(3-metoksifenetil)üre (17)'nin ¹H ve ¹³C NMR spektrumu.

1-(2-Metoksifenetil)-3-(4-metoksifenetil)üre (18): Beyaz renkli katı madde. Verim (0.65 g, % 60); Erime noktası: 124-126 °C; IR (v, cm⁻¹): 3338, 2897, 2366, 2288, 1654, 1511. ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃) δ 7.25 – 7.14 (m, 1H, ArH), 7.14 – 7.03 (m, 3H, ArH), 6.95 – 6.74 (m, 4H, ArH), 4.61 – 4.37 (m, 2H, NH), 3.77 (s, 3H, OCH₃), 3.765 (s, 3H, OCH₃), 3.49 – 3.20 (m, 4H, CH₂), 2.88 – 2.64 (m, 4H, CH₂). ¹³C NMR (100 MHz, CDCl₃) δ 158.2 (CO), 157.5 (C), 131.2 (C), 131.196 (C), 130.6 (CH), 129.8 (2CH), 127.8 (CH), 127.4 (C), 120.7 (CH), 114.0 (2CH), 110.4 (CH), 55.3 (2OCH₃), 41.9 (CH₂), 40.7 (CH₂), 35.5 (CH₂), 31.1 (CH₂).

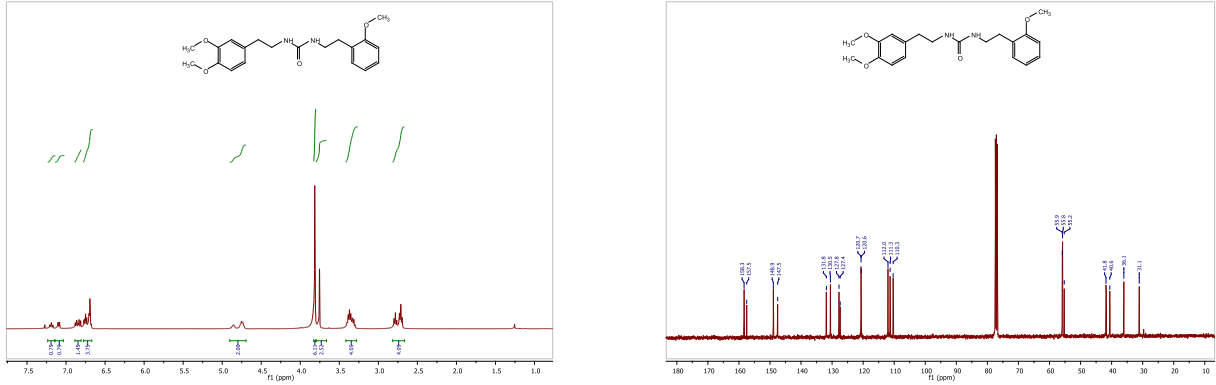


Şekil 6. 1-(2-metoksifenetil)-3-(4-metoksifenetil)üre (18)'in ^1H ve ^{13}C NMR spektrumu.

1-(3,4-Dimetoksifenetil)-3-fenetilüre (19): Beyaz renkli katı madde. Verim (0.61 g, % 45); Erime noktası: 139-141 °C; IR (ν , cm^{-1}): 3340, 2899, 2317, 2285, 1609, 1575. ^1H NMR (400 MHz, CDCl_3) δ 7.35 – 7.13 (m, 6H, ArH), 6.82 – 6.76 (m, 1H, ArH), 6.72 – 6.69 (m, 1H, ArH), 4.32 (bs, 2H, NH), 3.84 (s, 6H, OCH_3), 3.46 – 3.31 (m, 4H, CH_2), 2.84 – 2.67 (m, 4H, CH_2). ^{13}C NMR (100 MHz, CDCl_3) δ 157.9 (CO), 149.0 (C), 147.6 (C), 139.1 (C), 131.6 (C), 128.8 (2CH), 128.6 (2CH), 126.4 (CH), 120.7 (CH), 112.0 (CH), 111.3 (CH), 55.92 (OCH_3), 55.86 (OCH_3), 41.7 (CH_2), 41.6 (CH_2), 36.4 (CH_2), 35.9 (CH_2).

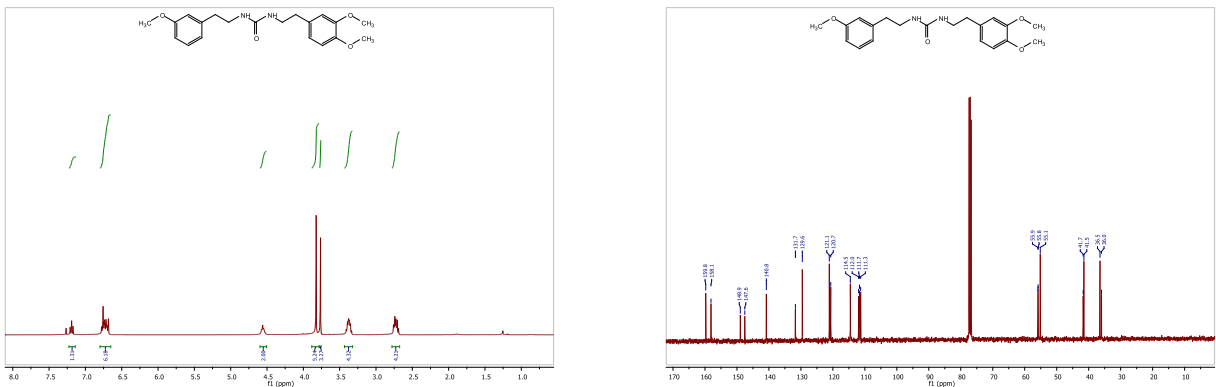


1-(3,4-Dimetoksifenetil)-3-(2-metoksifenetil)üre (20): Beyaz renkli katı madde. Verim (0.47 g, % 48); Erime noktası: 102-104 °C; IR (ν , cm^{-1}): 3342, 2899, 2376, 2312, 1688, 1558. ^1H NMR (400 MHz, CDCl_3) δ 7.24 – 7.15 (m, 1H, ArH), 7.08 (dd, $J = 13.3, 7.4$ Hz, 1H, ArH), 6.89 – 6.81 (m, 1H, ArH), 6.78 – 6.67 (m, 4H, ArH), 4.90 – 4.69 (m, 2H, NH), 3.81 (s, 6H, 2OCH_3), 3.77 (s, 3H, OCH_3), 3.42 – 3.28 (m, 4H, CH_2), 2.75 (dt, $J = 27.7, 7.0$ Hz, 4H, CH_2). ^{13}C NMR (100 MHz, CDCl_3) δ 158.3 (CO), 157.5 (C), 148.9 (C), 147.5 (C), 131.8 (C), 130.5 (CH), 127.8 (CH), 127.4 (C), 120.7 (CH), 120.6 (CH), 112.0 (CH), 111.3 (CH), 110.3 (CH), 55.9 (OCH_3), 55.8 (OCH_3), 55.2 (OCH_3), 41.8 (CH_2), 40.6 (CH_2), 36.1 (CH_2), 31.1 (CH_2).



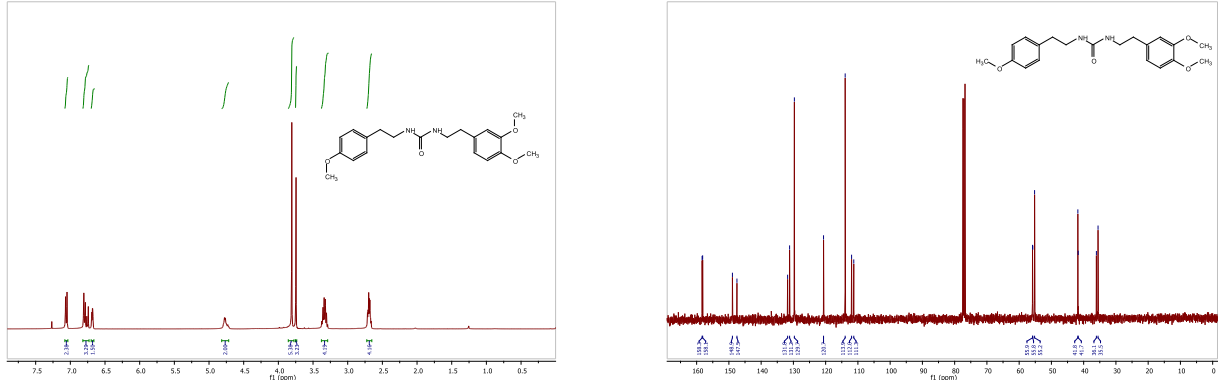
Şekil 8. 1-(3,4-dimetoksifenetil)-3-(2-metoksifenetil)üre (20)'nin ^1H ve ^{13}C NMR spektrumu.

1-(3,4-Dimetoksifenetil)-3-(3-metoksifenetil)üre (21): Beyaz renkli katı madde. Verim (0.59 g, % 50); Erime noktası: 104-106 °C; **IR** (ν , cm^{-1}): 3342, 2892, 2315, 2275, 1678, 1515. **^1H NMR (400 MHz, CDCl_3)** δ 7.19 (t, $J = 7.8$ Hz, 1H, ArH), 6.80 – 6.65 (m, 6H, ArH), 4.60 – 4.51 (m, 2H, NH), 3.80 (s, 6H, 2OCH₃), 3.76 (s, 3H, OCH₃), 3.43 – 3.32 (m, 4H, 2CH₂), 2.73 (ddd, $J = 17.4, 8.7, 5.0$ Hz, 4H, 2CH₂). **^{13}C NMR (100 MHz, CDCl_3)** δ 159.8 (CO), 158.1 (C), 148.9 (C), 147.6 (C), 140.8 (C), 131.7 (C), 129.6 (CH), 121.1 (CH), 120.7 (CH), 114.5 (CH), 112.0 (CH), 111.7 (CH), 111.3 (CH), 55.9 (OCH₃), 55.8 (OCH₃), 55.1 (OCH₃), 41.7 (CH₂), 41.5 (CH₂), 36.5 (CH₂), 36.0 (CH₂).



Şekil 9. 1-(3,4-dimetoksifenetil)-3-(3-metoksifenetil)üre (21)'in ^1H ve ^{13}C NMR spektrumu.

1-(3,4-Dimetoksifenetil)-3-(4-metoksifenetil)üre (22): Beyaz renkli katı madde. Verim (1.0 g, % 56); Erime noktası: 140-142 °C; **IR** (ν , cm^{-1}): 3341, 2895, 2317, 2303, 1681, 1524. **^1H NMR (400 MHz, CDCl_3)** δ 7.06 (d, $J = 8.5$ Hz, 2H, ArH), 6.83 – 6.74 (m, 3H, ArH), 6.69 (dd, $J = 4.8, 1.7$ Hz, 2H, ArH), 4.86 – 4.67 (m, 2H, NH), 3.81 (s, 3H, OCH₃), 3.75 (s, 3H, OCH₃), 3.74 (s, 3H, OCH₃), 3.41 – 3.27 (m, 4H, CH₂), 2.74 – 2.65 (m, 4H, CH₂). **^{13}C NMR (100 MHz, CDCl_3)** δ 158.3 (CO), 158.1 (C), 148.9 (C), 147.5 (C), 131.8 (C), 131.2 (C), 129.7 (2CH), 120.7 (CH), 113.9 (2CH), 112.0 (CH), 111.3 (CH), 55.9 (OCH₃), 55.8 (OCH₃), 55.2 (OCH₃), 41.8 (CH₂), 41.7 (CH₂), 36.1 (CH₂), 35.5 (CH₂).

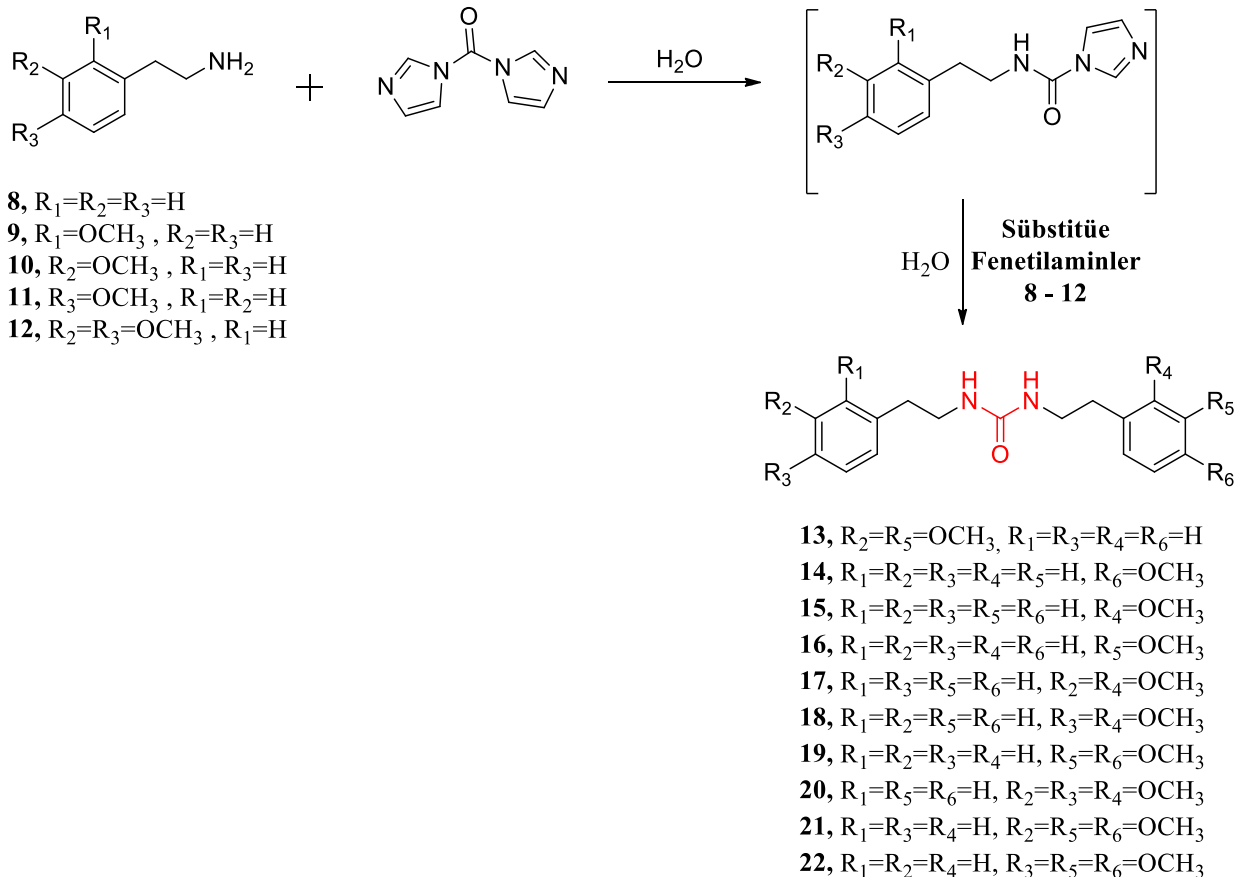


Şekil 10. 1-(3,4-dimetoksifenetil)-3-(4-metoksifenetil)üre (22)'nin ^1H ve ^{13}C NMR spektrumu.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Fenetilaminlerin özellikle asimetrik türevlerinin sentezi trifosgen veya izosiyanat gibi reaktiflerle gerçekleştirilebilmektedir. Ancak bu reaktiflerin dezavantajları vardır. Fosgen oldukça zehirli bir reaktif iken bunun yerine daha az zararlı reaktif olan trifosgen kullanılmaktadır fakat halen kullanımı sınırlıdır.

Literatürde Padiya ve ark., (2012) tarafından bildirilen yöntemde fosgen, trifosgen, izosiyanat gibi reaktiflerin yerine daha ılıman koşullara sahip olan 1,1'-karbonildiimidazol (CDI)'nin kullanılması hem zararlı reaktif kullanılmaması açısından hem de kolay temin edilebilirliği açısından avantajlıdır. Literatür taraması yapıldığında sübtitüe fenetilaminlerin simetrik ve asimetrik üre türevlerinin sentezi ve karakterizasyonu ile alakalı herhangi bir bilimsel bilgiye rastlanılmamıştır. Hedef ürünlerin sentezi bahsedilen literatür yöntemi ile % 43 - % 66 arası verimlerle ilk kez gerçekleştirilmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. Sentezi gerçekleştirilen üre türevleri (13-22).

SONUÇ

Sonuç olarak; potansiyel biyolojik aktif bileşikler olarak düşünülen süstitüe fenetilaminlerin simetrik ve asimetrik üre türevlerinin (13-22) sentezi ilk kez literatüre kazandırılmıştır. Bu sentezler esnasında fosgen, trifosgen vb. gibi zararlı reaktifler kullanılmamış ayrıca organik bir çözücü yerine reaksiyonlar su içerisinde gerçekleştirilmiştir. Bu da hem zaman hem de kimyasal sarfiyatı açısından bir avantaj sağlamıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Erzurum Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından “2019/15” kodlu proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Boonlarpradab C, Suriyachadkun C, Supothina S, Laksanacharoen P, 2016. Amethysione and amethysamide, new metabolites from *Streptosporangium amethystogenes* BCC 27081. *The Journal of Antibiotics*, 69: 459-463.
- Byrne B, Rotchild R, 1999. ¹H NMR studies of drugs with achiral and chiral lanthanide shift reagents: applications to the anticonvulsant pheneturide. *Chirality*, 11 (7): 529-535.
- Cannon JG, 1985. Dopamine agonists: structure-activity relationships. *Progress in Drug Research*, 29: 303-414.
- Chaturvedi D, 2011. Recent Developments on the Carbamation of Amines. *Current Organic Chemistry*, 15 (10): 1593-1624.
- Choi SS, Cha BY, Kagami I, Lee YS, Sasaki H, Suenaga K, Teruya T, Yonezawa T, Nagai K, Woo JT, 2011. N,N'-diphenethylurea isolated from Okinawan ascidian *Didemnum molle* enhances adipocyte differentiation in 3T3-L1 cells. *The Journal of Antibiotics*, 64: 277-280.
- Diaz DJ, Darko AK, White LM, 2007. Transition Metal-Catalyzed Oxidative Carbonylation of Amines to Ureas. *European Journal of Organic Chemistry*, 2007 (27): 4453-4465.
- Hanson GR, Venturelli PJ, Fleckenstein AE, 2005. *Drugs and society*. Jones and Bartlett Publishers, 9. Baskı, S. 588, Ontario-CANADA.
- Klegeris A, Korkina LG, Greenfield SA, 1995. Autoxidation of dopamine: a comparison of luminescent and spectrophotometric detection in basic solutions. *Free Radical Biology & Medicine*, 18: 215-222.
- Madhava G, Subbaiah KV, Sreenivasulu R, and Naga Raju C, 2012. Synthesis of novel urea and thiourea derivatives of diphenylphosphoramidate and their antimicrobial activity. *Der Pharmacia Lettre*, 4 (4): 1194-1201.
- Manickam M, Jalani HB, Pillaiyar T, Boggu PR, Sharma N, Venkateswararao E, Li YJ, Jeon ES, Son MJ, Woo SH, Jung SH, 2018. Design and synthesis of sulfonamidophenylethylureas as novel cardiac myosin activator. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 143: 1869-1887.
- McMorris TC, Chimmani R, Alisala K, Staake MD, Banda G, Kelner MJ, 2010. Structure-activity studies of urea, carbamate, and sulfonamide derivatives of acylfulvene. *Journal of Medicinal Chemistry*, 53 (3): 1109-1116.
- Padiya KJ, Gavade S, Kardile B, Tiwari M, Bajare S, Mane M, Gaware V, Varghese S, Harel D, and Kurhade S, 2012. Unprecedented “In Water” Imidazole Carbonylation: Paradigm Shift for Preparation of Urea and Carbamate. *Organic Letters*, 14 (11): 2814-2817.
- Pochampally J, Valeru A, Macha R, Kishorekumar A, Tigulla P, Gandu B, Gangagnirao A, 2014. Design, Efficient new synthesis, evaluation of antimicrobial activity and molecular modelling studies of novel aryl substituted urea derivatives. *Der Pharma Chemica*, 6 (2): 269-282.
- Sellami M, Chaari A, Aissa I, Bouaziz M, Gargouri Y, 2013. Newly synthesized dopamine ester derivatives and assessment of their antioxidant, antimicrobial and hemolytic activities. *Process Biochemistry*, 48: 1481-1487.
- Tundo P, Selva M, 2002. *The Chemistry of Dimethyl Carbonate*. *Accounts of Chemical Research*, 35 (9): 706-716.

The Determination of Inhibition Effect of Extracts of *Thymbra sintonisii* Bornm. et Aznav. Subsp on Angiotensin Converting Enzyme

Tuğba GÜR^{1*}, Fatih KARAHAN², Zehra BAŞ³, Vedat TÜRKOĞLU²

ABSTRACT: Angiotensin converting enzyme (ACE, peptidyl dipeptidase A, EC 3.4.15.1) has got a significant role in the arrangement of blood pressure. ACE inhibitors usually play a part in the therapies of hypertension. Hypertension is an significant cardiovascular risk factor. The main purpose of the treatment is to reduce the incidence of hypertension. In this study, the inhibition effect of butanol and water extracts of *Thymbra sintonisii* Bornm. et Aznav. Subsp on angiotensin converting enzyme (ACE) activity in human plasma was investigated. ACE activity was calculated at 345 nm spectrophotometrically. Extracts of *Thymbra sintonisii* Bornm. et Aznav. subsp plant with water and butanol were made. The effectiveness of these extracts on ACE activity was researched. Water and butanol extracts of *Thymbra sintonisii* indicated inhibition impact on ACE. IC₅₀ values for water and butanol extracts of *Thymbra sintonisii* was measured to be 1.696 mg mL⁻¹ and 0.395 mg mL⁻¹ respectively. Inhibition type for water and butanol extracts of *Thymbra sintonisii* from Lineweaver-Burk chart was defined to be non-competitive inhibition. Synthetic ACE inhibitors are utilized in the therapy of hypertension. On the other hand, synthetic ACE inhibitors exhibit a large number of adverse effects. Therefore, ACE inhibitors have been newly researched from native herbs. These conclusions demonstrate that water and butanol extracts of *Thymbra sintonisii* plant may have an ACE inhibition capacity.

Keywords: Angiotensin converting enzyme, Inhibition, *Thymbra sintonisii*, Hypertension.

¹Tuğba GÜR (Orcid ID: 0000-0001-7220-0210), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu, Van, Türkiye.

²Fatih KARAHAN (Orcid ID: 0000-0002-4907-3935), Vedat TÜRKOĞLU (Orcid ID: 0000-0002-0935-1195), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Fak. Kimya Bölümü, Biyokimya ABD, Van, Türkiye,

³Zehra BAŞ (Orcid ID: 0000-0002-4071-9744), Van yüzüncü Yıl Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Van, Türkiye.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tuğba GÜR, e-mail:tugbagur@yyu.edu.tr

Makale 10-13 Ekim 2018 tarihlerinde Van'da düzenlenen "Uluslararası Müzik, Dans ve Sağlık Kongresi'nde" Sözlü sunum (Abstract) olarak sunulmuştur.

INTRODUCTION

Hypertension is a major health problem that concerns more than 25 percent of the world (Kearney et al., 2005). It has got very common and serious condition that can lead to many health problem can be complicated. Hypertension is a serious cause of heart failure, peripheral vascular disease, renal failure, cerebrovascular, angina and cardiovascular diseases. The rate of these diseases increases compared to blood pressure.

Renin-angiotensin system is included in the arrangement of blood pressure and electrolyte metabolism. Renin is synthesized from jukstaglomerular cells of the kidney with a decrease in the blood pressure and volume of the kidney (Onat et al., 2006). Renin acts on the angiotensinogen in the liver and helps in the formation of Angiotensin I. The angiotensin converting enzyme (ACE, EC 3.4.15.1) transforms Angiotensin I into Angiotensin II, which is a direct vasoconstrictor, inactivates bradykinin, which is also a vasodilator. This powerful vasoconstrictor, angiotensin II, increases blood pressure by playing a role in the release of aldosterone by the adrenal cortex, the central nervous system, the sympathetic nervous system and the Na-steroid steroid (Li et al., 2003). High ACE activity causes to increased concentration of angiotensin II and hypertension. ACE is seen as part of the homeostatic mechanism responsible for maintaining blood pressure and electrolyte balance. Two specific ACE inhibitors, lisinopril and captopril, inhibit ACE and inhibit the transformation of angiotensin I to angiotensin II and have important roles in treating hypertension and protecting the electrolyte balance (Carretero and Oparil, 2000).

There are also other ACE inhibitors used in addition to drugs such as lisinopril and captopril. However, the drugs used as these inhibitors have many side effects. Therefore, the economic, safe and without adverse effects of ACE inhibitors from medicinal plants can provide an remarkable opportunity to find new potential pathways in the development of antihypertensive drugs. The plants are usually used as they are safe and preventable with a little adverse effects. For this reason, more efficient, scientifically complementary treatment pathways with the minimum repercussions are being researched (Leong et al., 2013). For example, the inhibition effects on ACE activity of *n*-hexane, methanol, and chloroform of *Asperul glomerata*, *Prangos asperula*, *Calamintha organifolia*, *Satureja thymbra*, *Sideritis perfoliata*, *Hyssopus officinalis*, *Marrubium radiatum*, *Erythraea centaurium*, and *Salvia acetabulosa* were studied. Some of these plants, *Marrubium radiatum* and *Salvia acetabulosa* methanol extracts showed a powerful inhibitory effect to ACE with IC_{50} of 72.7 and 52.7 $\mu\text{g mL}^{-1}$, respectively (Loizzo et al., 2008). In one work, the impact of fatty acids isolated from *Nigella sativa* on pure ACE in human plasma was examined and the five isolated fractions indicated inhibition effect on ACE. The IC_{50} constants of the fractions were determined to be 1.597 mg mL^{-1} (Fr 1), 0.053 mg mL^{-1} (Fr 2), 0.527 mg mL^{-1} (Fr 4), 0.044 mg mL^{-1} (Fr 5), and 0.136 mg mL^{-1} (Fr 6) (Basi and Turkoglu, 2018).

One of the plants used for medical purposes is *Thymbra Sintenisii* Bornm. et Aznav. The family Labiatae has got an significant role as a origin of medical and fragrant herbs of merchant significance. *Thymbra L.* is located within these aromatic genus. *Thymbra* (Labiatae) is demonstrated by the following 2 species and 4 taxa in the Flora of Turkey: *T. spicata* L. (var. *spicata*, var. *intricata* P.H.Davis) and *T. sintenisii* Bornm. & Aznav. (subsp. *sintenisii*, subsp. *isaurica* P.H.Davis). Type of TS is a Mediterranean plant known for many years, with its hirsute purple flowering, shrub appearance. Tea or oil is used for analgesic effect in stomach pains. Regarding antiparasitic, antiseptic and blood circulation effects the *Thymbra Sintenisii* plant is used. In South Eastern Anatolia the plant's dried leaves and inflorescences are named as Zahter or Sater and are consumed as an antiseptic and inducing plant tea. It contains a variety of aromatic compounds mainly are carvacrol and thymol. In many of studies carvacrol,

antioxidant, antibacterial, insecticides, anthelmintic, cholesterol-lowering, analgesic, antifungal, liver protective, and anti-carcinogenic properties such as has been shown (Fakilli and Özgüven, 2012; Prasanth et al., 2014; Akkol et al., 2009; Koparal and Zeytinoğlu, 2003).

Our aim in the work is to research and evaluate antihypertensive properties *Thymbra Sintonisii* Bornm. et Aznav via ACE inhibition. In the study, it was performed inhibition of ACE enzyme activity from human plasma. For this, it was prepared water and butanol extractions of *Thymbra Sintonisii* Bornm. The impact of these extracts on ACE inhibition was researched. To date, there is no study on the ACE inhibitory effect of water and butanol extracts of *Thymbra Sintonisii* Bornm. et Aznav. Therefore, we believe that this study contributes to the literature about this plant.

MATERIALS AND METHODS

Chemical Materials

HepesNa, N-[3-(2-Furyl) acryloyl]-L-phenylalanyl-glycyl-glycine (FAPGG), were purchased from Sigma-Aldrich. Butanol, methanol, chloroform, and hexane were obtained from VWR Chemicals. Entire other chemicals used were obtained from either Merck or Sigma-Aldrich.

Plant Materials

Thymbra sintonisii plant used in this study was purchased a local herbal store located in Mardin, Turkey. (August, 2018). The plant was identified and deposited at the Yüzüncü Yıl University, Faculty of Science, Department of Chemistry, Van, Turkey.

Preparation of the human plasma

Blood samples used to prepare human specimens were supplied from the Van Red Crescent Blood Center of Turkey. The blood specimens were put into tubes including EDTA, then the tubes were centrifuged 15 minute and 1500 rpm. The plasma was meticulously taken from the blood. And then plasma was again centrifuged for 1 hour (4°C, 8500 rpm) to uproot the ghosts and intact cells. The resulting plasma was then stored for using in the experiment.

Activity Determination

ACE activity was gauged spectrophotometrically at 345 nm by the decrease in the absorbance at 35°C accordingly the procedure of Holmquist, Bünning and Riordan (1979). 50 mM HepesNa buffer, 0.3 M NaCl, 10 µM ZnCl₂ and 1 mM FAPGG added to the assay cuvette. One unit of activity was defined as the quantity of ACE that produces a $\Delta A_{345} / \text{min.}$ of 1.0 (Andújar-Sánchez et al., 2003; Holmquist et al., 1979).

Preparation of Plant Extracts

Thymbra sintonisii Bornm. et Aznav. Subsp was dried in the shade. *Thymbra sintonisii* was levigated with a blender. 37 g of the powder of *Thymbra sintonisii* was weighed and extracted by chloroform and methanol (CHCl₃: MeOH 1:1) for 3 days and the CHCl₃: MeOH was evaporated. Subsequently, A two-phase mixture was attained by adding 200 mL of bidistilled water: hexane (1:1) to the attained dry specimen. This biphasic mixture was poured to the division funnel and shaken and allowed to stand for division of the phases and these phases were meticulously separated from the tap of the division funnel. This procedure has been recurrent for three times.

Thereafter the hexane phase was evaporated, the resulting water phase was fractionated by adding 100 mL of ethyl acetate and the phases were splitted with a division funnel. This method has been recurrent for three times. The ethyl acetate phases were then assembled and evaporated in the evaporator and a dry sample was attained. After that, the ethyl acetate phase was removed, the resulting water phase

was fractionated by adding 100 mL of butanol and the phases were separated with a separatory funnel. This method has been recurrent for three times. The butanol phases were then assembled and evaporated in the evaporator and a dry specimen was attained 38 mg was received from the resulting dry sample and dissolved in 3 mL of bidistilled water. This manner the butanol extract was attained.

For all that the solvent was removed in the last water phase and a dry sample was attained. 45 mg was received from the resulting dry specimen and dissolved in 1 mL of bidistilled water. The water extract was provided in this way. The extracts were kept at 4 °C then the extracts were used in the evaluation.

ACE Inhibition Assay

In this study, human plasma was preferred to evaluate ACE activity. Two tubes were received as blind and specimen and 100 µL of plasma containing ACE was incorporated to each tube. Then, 900 µL of HEPES buffer (50 mM HEPES, 0.3 M NaCl, 10 µM ZnCl₂ pH 7.5) was incorporated to the blind tube without substrate (FAPGG) and stirred. The spectrophotometer was reset with a blind cuvette. To the specimen tube, 50 mM HEPES buffer (pH 7.5), inhibitor (plant extracts) and 1 mM substrate (FAPGG) were added to be total volume to 1000 µL and stirred and absorbance at 345 nm was measured. The specimen tube was incubated for 30 minutes at 35 °C. Then 30 minutes, the absorbance of the tubes at 345 nm was determined and the quantity of reduce in absorbance was measured.

$$A (\text{ACE Activity}) = (\Delta\text{OD}/0.517) \times (V_c/V_e) \times f,$$

where ΔOD is the reduce in the absorbance at 345 nm per minute, V_c is total reaction volume, V_e is the volume of enzyme solution (plasma hemolysate), f is the dilution coefficient, and 0.517 is the millimolar absorption coefficient of FAPGG.

The ACE inhibitory activity (inhibition %) was found from the calibration curve and computed by the following equation:

$$\% \text{ ACE inhibition} = \text{Uninhibited activity} - \text{Inhibited activity} / \text{Uninhibited activity} \times 100$$

RESULTS AND DISCUSSION

The *Thymbra sintonisii* plant material was successively extracted by maceration using methanol and chloroform (CHCl₃:MeOH 1:1). The crude extract was obtained from solvent evaporation under vacuum. And then water and butanol extracts were composed by using this crude material. We investigated the inhibitory activities of water and butanol extracts of *Thymbra sintonisii* Bornm. et Aznav on ACE in human plasma.

Herein, the impact of water and butanol extracts of *Thymbra sintonisii* on ACE activity were researched. Water and butanol extracts of *Thymbra sintonisii* plant demonstrated inhibition effect on Angiotensin Converting Enzyme. IC₅₀ valuations for water and butanol extracts of *Thymbra sintonisii* were designated as 1.696 mg mL⁻¹ and 0.395 mg mL⁻¹, respectively (Figure 1, 2). The inhibition type for inhibitors was found as non-competitive with Lineweaver-Burk chart (Figure 3, 4).

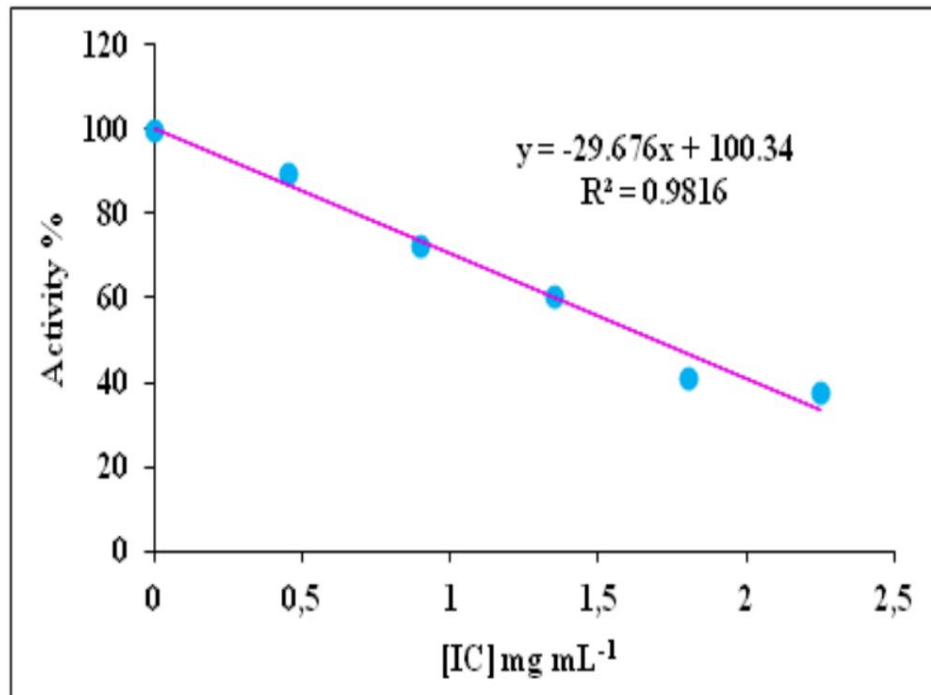


Figure 1. The inhibition impact of *Thymbra sintonisii* water extracts on the ACE. Five dissimilar *Thymbra sintonisii* water extracts (from 0.45 to 2.25 mg mL⁻¹) on ACE activity were designated.

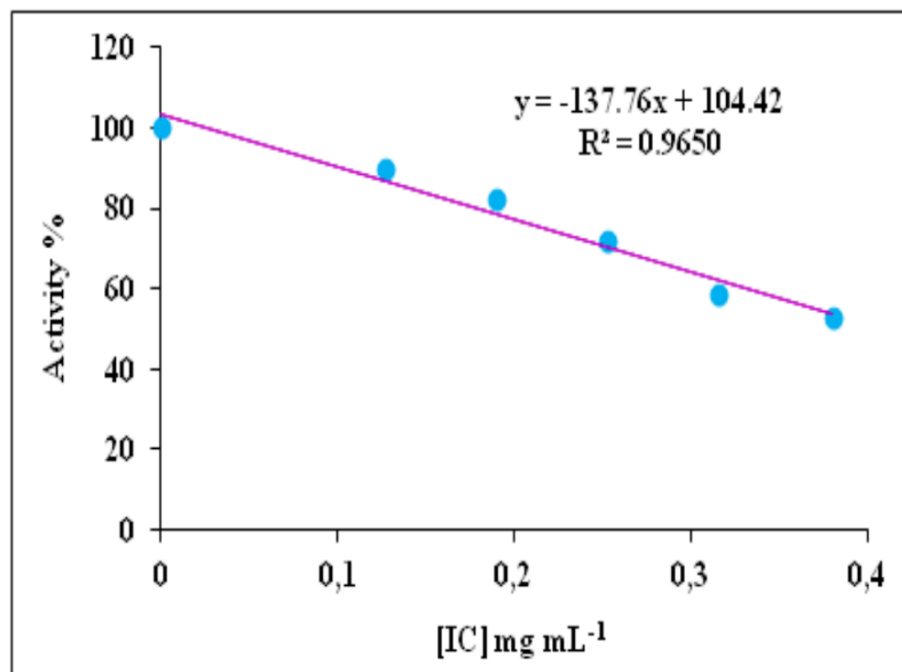


Figure 2. The inhibition impact of *Thymbra sintonisii* butanol extracts on the ACE. Five dissimilar *Thymbra sintonisii* butanol extracts (from 0.13 to 0.38 mg mL⁻¹) on ACE activity were designated.

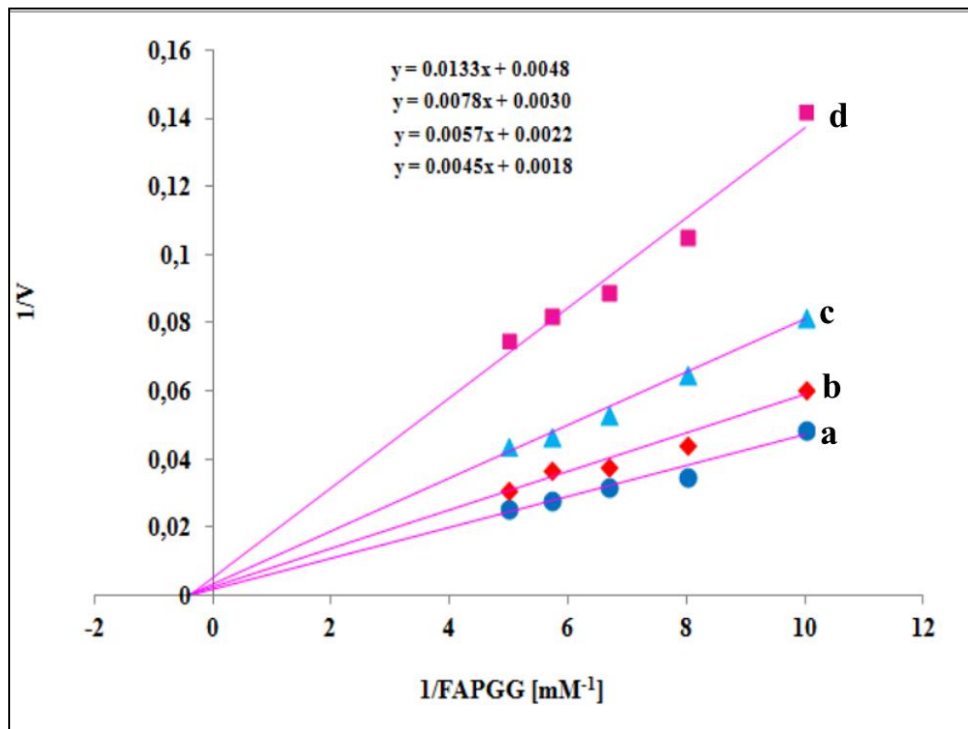


Figure 3. Lineweaver-Burk chart by five distinct substrate concentrations (FAPGG) and three different *Thymbra sintonisii* water extract concentrations (control (a), 0.45 mg mL⁻¹ (b), 1.35 mg mL⁻¹ (c), 2.25 mg mL⁻¹ (d) used for the definition of inhibition sort.

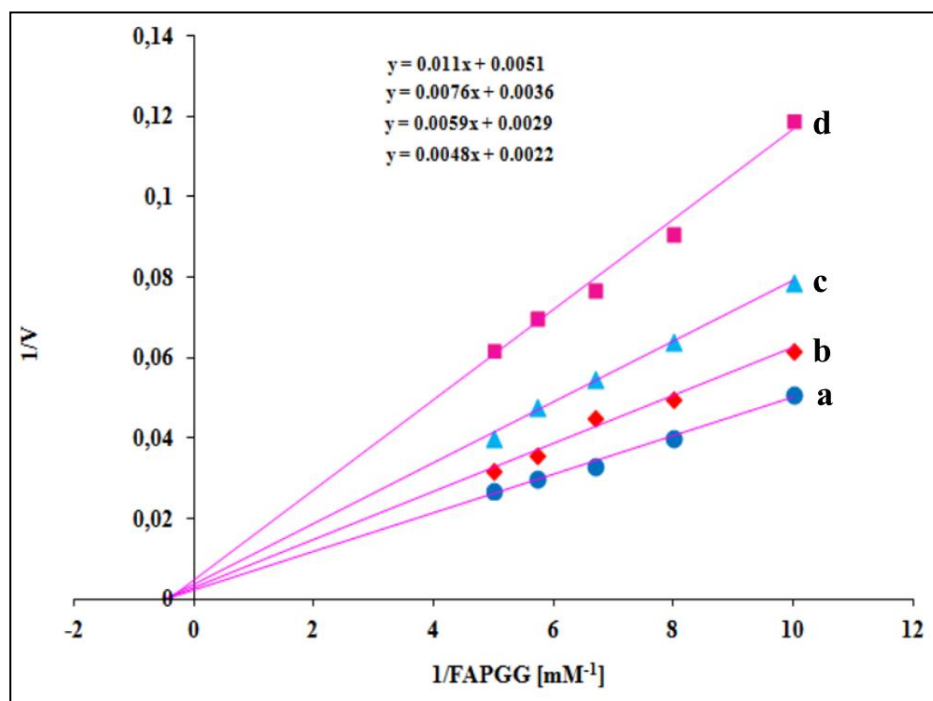


Figure 4. Lineweaver-Burk chart by five dissimilar substrate concentrations (FAPGG) and three dissimilar *Thymbra sintonisii* butanol extract concentrations (control (a), 0.13 mg mL⁻¹ (b), 0.25 mg mL⁻¹ (c), and 0.38 mg mL⁻¹ (d) used for the definition of inhibition sort.

Plants and bioactive materials that obtained of herbs were employed as conventional medication to treat diseases throughout history. In these days, treatment with plants still continues significantly in various cultures. According to World Health Organization datas, almost 80 % of people around the world uses plants for primary health care. The herbal substances even have got a significant place in health care for remaining 20 % (Ranilla et al., 2010). Hypertension is a widespread progressive disrupt causing to some chronic diseases like that cardiovascular disease, stroke, renal disease and diabetes. ACE inhibitory medicines are the first class therapeutics since decades. However, exposure to drugs for a certain period of time may lead to repercussions such as lack of power, tiredness, sleepiness, inability, cool hands and feet, crisis, sleeplessness, unusual heartthrobs, skin itching, dried mouth, dizziness, coughing, and angioneurotic edema (Israili and Hall, 1992). Some new options have been discovered obviously that can replace of these medicines. Many plants like Garlic (*Allium sativum*), Lime blossom (*Tilia europea*), Kudzu (*Pueraria lobata*), Mistletoe (*Viscum album*), Valerian (*Valeriana officinalis*), and Saffron (*Crocus sativus*) could be used as a natural source for developing newer therapeutic agents. Nowadays, native substances and their reproductions contain more than 50 % of all drugs in clinical application (Raji et al., 2012).

In this study, the impact of *Thymbra sintonisii* plant extracts on ACE was researched. Water and butanol extracts of *Thymbra sintonisii* plant demonstrated inhibitor impact on ACE. *Thymbra sintonisii* Bornm et. Aznav is used a medically plant in Anatolia, Turkey. Meanwhile, this herb has germicidal, and stimulative impacts. In many studies conducted with plants, the inhibitory impact was shown on ACE enzyme. According to a study was realized the inhibition impact of hydroalcoholic extracts of *N. jatamansi*, *P. ferulacea* and *M. vulgare* on ACE activity. IC₅₀ values of these plants were found as 2.147 mg mL⁻¹, 4.057 mg mL⁻¹ and 0.791 mg mL⁻¹, respectively. The minimum value of IC₅₀ was *M. Vulgare* (Namjoyan et al., 2015). In our study IC₅₀ values for water and butanol extracts of *Thymbra sintonisii* plant were found as 1.696 mg mL⁻¹ and 0.395 mg mL⁻¹, respectively According to our study, inhibitory impact of water and butanol extracts of *Thymbra sintonisii* is more than their plants extracts. So, the inhibitor values of our study are the best compared to other studies.

The drugs was used in hypertensive treatment has side effects so, investigations was turned into biological sources such as herb extracts. It has been demonstrated that the methanolic extracts of *Musa X paradisiaca* inhibited ACE activity by 68.63%–98.3% (Acharya et al., 2016). In other work, the ACE-inhibitory effect of citrus leaf extracts were showed in rats fed with palm oil heated five times (Siti et al., 2017). Besides herb extracts, food sourced ACE-inhibitory peptides as using an option to synthetical medicines and are regarded ideally accepted class of bioactive peptides (Jimsheena and Gowda, 2011). In South Africa, twenty traditional plants were investigated against to ACE for their antihypertensive properties. Among these plants, *Adenopodia spicata* leaves were showed the most inhibitory effect (97%) (Duncan et al., 1999). In another work, butanol and water extracts of *Juniperus excelsa* Bieb. fruits inhibited ACE activity purified from human plasma. IC₅₀ values for water and butanol extracts of *Juniperus excelsa* fruits were designated as 5.790 mg mL⁻¹ and 2.858 mg mL⁻¹ respectively (Basi et al., 2019). In a study examining the efficacy of both GSSG and GSH on human plasma ACE activity, GSSG peptide demonstrated activator impact. GSH demonstrated inhibitor impact on ACE efficiency and lisinopril was utilized as specific inhibitor. IC₅₀ values for lisinopril and GSH were calculated as 0.781 nM and 16.2 μM, respectively (Basi and Turkoglu, 2019).

At the same time, many recent studies have investigated the inhibition effect on ACE activity of peptides from natural sources. For example, in one study, Three ACE inhibitor peptides were isolated from broccoli protein hydrolysates and identified as IPPAYTK, LVLPGELAK and

TFQGPPHGIQVER. The IC₅₀ values of these peptides were 23.5, 184.0, and 3.4 μM, respectively (Dang et al., 2019). The Gly-Val-Gly-Ser-Pro-Tyr hexapeptide obtained from the pearl oyster (*Pinctada fucata*) shell protein hydrolyzate showed an inhibition effect on ACE and the IC₅₀ value was found to be 5.82 μg mL⁻¹ (Sasaki et al., 2019). SAGGYIW and APATPSFW peptides isolated from wheat gluten had a significant inhibition effect on ACE activity with IC₅₀ values of 0.002 mg mL⁻¹ and 0.036 mg mL⁻¹, respectively (Zhang et al., 2020). In other words, natural sources and natural compounds obtained from these sources constitute an important research area as ACE inhibitors.

Enzyme efficiency is determined in the tampon system. The polarity has a big significance in terms of creation a homogeneous solution in the tampon medium. In our work, water and butanol phase extracts inhibited the enzyme efficiency. At the same time, because of the nanostructures of butanol, the polar molecules have a great affinity for this solvent. Therefore, butanol extract had a significant effect on ACE activity.

CONCLUSION

Traditional herbal teas are usually used by the people in the water by boiling or brewing method is prepared. The polar phase was more effective in our study. This situation is explained above. This study may be a preliminary study with this plant. In later times, the active substance isolation of *Thymbra sintonisii* Bornm. et Aznav plant can be made and their effects on this enzyme can be investigated.

REFERENCES

- Acharya J, Karak S, De B, 2016. Metabolite Profile and Bioactivity of Musa X Paradisiaca L. Flower Extracts. J. Food Biochem, 40:724–730.
- Akkol EK, Avcı G, Kucukkurt I, Keles H, Tamer U, Ince S, Yesilada E, 2009. Cholesterol-reducer, antioxidant and liver protective effects of *Thymbra spicata* L. var. *Spicata*. J Ethnopharmacol, 126:314-319.
- Andújar-Sánchez M, Cámara-Artigas A, Jara-Pérez V, 2003. Purification of angiotensin 1 converting enzyme from pig lung using concanavalin-A sepharose chromatography. Journal of Chromatography B, 783:247-252.
- Basi Z, Turkoglu N, Turkoglu V, Karahan F, 2019. In vitro effect of ethyl acetate, butanol and water extracts of *Juniperus excelsa* Bieb. on Angiotensin Converting Enzyme purified from human plasma. Chemical Papers, 73:2525–2533.
- Basi Z, Turkoglu V, 2018. Purification of angiotensin-converting enzyme from human plasma and investigation of the effect of some active ingredients isolated from *Nigella sativa* L. Extract on the enzyme activity. Biomedical Chromatography, 32: 4175.
- Basi Z, Turkoglu V, 2019. In vitro effect of oxidized and reduced glutathione peptides on angiotensin converting enzyme purified from human plasma. Journal of Chromatography B, 1104:190–195.
- Carretero OA, Oparil S, 2000. Essential hypertension. Part I: definition and etiology. Circulation, 101:329–335.
- Dang Y, Zhou T, Hao L, Cao J, Sun Y, Pan D, 2019. In vitro and in vivo Studies on the angiotensin-converting enzyme inhibitory activity peptides isolated from broccoli protein hydrolysate. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 67(24): 6757-6764.
- Duncan AC, Jager AK, Van Staden J, 1999. Screening of Zulu medicinal plants for angiotensin converting enzyme (ACE) inhibitors, J Ethnopharmacol, 68:63–70.
- Fakıllı O, Özgüven M, 2012. Inventory of researches on thyme (*Thymus vulgaris* L) in Turkey. ÇÜ Fen Mühendislik Bil Derg, 27:54-66.

- Holmquist B, Bünning P, J.F. Riordan JF, 1979. A continuous spectrophotometric assay for angiotensin converting enzyme. *Analytical Biochemistry*, 95:540-548.
- Israili ZH, Hall WD, 1992. Cough and angioneurotic edema associated with angiotensin-converting enzyme inhibitor therapy, A review of the literature and pathophysiology. *Ann Inter Med*, 117:234-42.
- Jimsheena VK, Gowda LR, 2011. Angiotensin I-Converting Enzyme (ACE) Inhibitory Peptides Derived from Arachin by Simulated Gastric Digestion. *Food Chem*, 125:561–569.
- Kearney PM, Whelton M, Reynolds K, Muntner P, Whelton PK, He J, 2005. Global burden of hypertension: analysis of worldwide data. *Lancet*, 365: 217–223.
- Koparal AT, Zeytinoğlu M, 2003. Effects of carvacrol on a human non-small cell lung cancer (NSCLC) cell line A549. *Cytotechnology*, 43:149-154.
- Leong XF, Mustafa MR, Jaarin K, 2013. *Nigella sativa* and its protective role in oxidative stress and hypertension. *Evidence based Complementary and Alternative Medicine*, 2013:120732.
- Li GH, Le GW, Shi YH, Shrestha S, 2003. Angiotensin I – converting enzyme inhibitory peptides derived from food proteins and their physiological and pharmacological effects. *Nutr. Res*, 24: 469–486.
- Loizzo MR, Saab AM, Tundis R, Menichini F, Bonesi M, Piccolo V, Statti GA, de Cindio B, Houghton PJ, Menichini F, 2008. In vitro inhibitory activities of plants used in Lebanon traditional medicine against angiotensin converting enzyme (ACE) and digestive enzymes related to diabetes. *J Ethnopharmacol.*, 119:109-16.
- Namjoyan F, Azemi ME, Abdollahi E, Goudarzi N, Nikan K, 2015. Angiotensin I Converting Enzyme Inhibitory Activities of Hydroalcoholic Extracts of *Nardostachys jatamansi*, *Prangos ferulacea* and *Marrubium vulgare*. *Jundishapur J Nat Pharm Prod*, 10:17255.
- Onat T, Emerk K, Sözmén E, 2006. İnsan Biyokimyası. Palme Yayıncılık, s.813, Ankara.
- Prasanth RV, Ravi Vital K, Varsha P, Satyan S, 2014. Review on *Thymus vulgaris* traditional uses and pharmacological properties. *Med Aromat Plants*, 3:164-167.
- Raji IA, Mugabo P, Obikeze K, 2012. Effect of *Tulbaghia violacea* on the blood pressure and heart rate in male spontaneously hypertensive Wistar rats. *J Ethnopharmacol*, 140:98–106.
- Ranilla LG, Kwon VI, Apostolidis E, Shetty K, 2010. Phenolic compounds, antioxidant activity and in vitro inhibitory potential against key enzymes relevant for hyperglycemia and hypertension of commonly used medicinal plants, herbs and spices in Latin America. *Bioresour Technol*, 101:4676–89.
- Sasaki C, Tamura S, Tohse R, Fujita S, Kikuchi M, Asada C, Nakamura Y, 2019. Isolation and identification of an angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptide from pearl oyster (*Pinctada fucata*) shell protein hydrolysate. *Process Biochemistry*, 77: 137-142.
- Siti HN, Kamisah Y, Nur Iliyani MI, Mohamed S, Jaarin K, 2017. Citrus Leaf Extract Reduces Blood Pressure and Vascular Damage in Repeatedly Heated Palm Oil Diet-Induced Hypertensive Rats. *Biomed. Pharmacother*, 87:451–460.
- Zhang P, Chang C, Liu H, Li B, Yan Q, Jiang Z, 2020. Identification of novel angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitory peptides from wheat gluten hydrolysate by the protease of *Pseudomonas aeruginosa*. *Journal of Functional Foods*. 65: 103751.

Antioxidant Potential and Tyrosinase Inhibitory Properties of Quebecol as Natural Phenolic Compound

Parham TASLIMI^{1*}

ABSTRACT: In this paper, we investigated the antioxidant potential of Quebecol *in vitro* using several assays. These; Cu²⁺-Cu⁺ reducing, DPPH[•] scavenging, Fe³⁺-Fe²⁺ reducing, ABTS^{•+} scavenging. The IC₅₀ amounts of the Quebecol in the DPPH[•] and ABTS^{•+} methods were 14.78 and 5.38 µg mL⁻¹, respectively. Tyrosinase enzyme is a functional oxidase that is extensively divided in nature. It is the main enzyme in melanin synthesis and also is involved in designating the color of mammalian hair and skin. Recently, there has been a remarkable concern to study the inhibitory activity of the tyrosinase enzyme and some inhibitory molecules isolated from natural sources. For tyrosinase enzyme, Quebecol and kojic Acid (Standard) as natural phenols have IC₅₀ values of 4.64 and 9.28 µM.

Key words: Quebecol, antioxidant activity, tyrosinase, enzyme inhibition,

Doğal Fenolik Bileşik Olarak Quebecol'un Antioksidan Potansiyeli ve Tirozinaz İnhibitör Özellikleri

ÖZET: Yapılan bu çalışmada, Quebecol'un *in vitro* antioksidan özelliklerini farklı testler kullanarak araştırıldı. Bunlar; Cu²⁺-Cu⁺ indirgenme, DPPH[•] radikal giderme, Fe³⁺-Fe²⁺ indirgenme, ABTS^{•+} radikal giderme. DPPH[•] ve ABTS^{•+} testlerindeki Quebecol'un IC₅₀ değerleri sırasıyla 14.78 ve 5.38 µg mL⁻¹ elde edildi. Tirozinaz enzimi, doğada yaygın olarak bulunan fonksiyonel bir oksidazdır. Melanin sentezindeki ana enzimdir ve bu enzim aynı zamanda memeli kıllarının ve cildinin renginin belirlenmesinde önemli rol oynar. Son zamanlarda, tirozinaz enziminin ve bu enzimin doğal kaynaklardan izole edilen bazı inhibitör moleküllerin, aktivitesini incelemek için fazla çalışma bulunmamaktadır. Son zamanlarda, tirozinaz enziminin ve doğal kaynaklardan izole edilen bazı inhibitör moleküllerin inhibitör aktivitesini incelemek çok öneme sahiptir. Tirozinaz enzimi için, doğal fenoller olarak Quebecol ve kojik Asit (Standart), 4.64 ve 9.28 uM'lik IC₅₀ değerlerine sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Quebecol; antioksidan aktivite; tirozinaz; enzim inhibisyonu

¹Parham TASLIMI (Orcid ID: 0000-0002-3171-0633), Department of Biotechnology, Faculty of Science, Bartın University, Bartın, Turkey

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Parham TASLIMI, e-mail: ptaslimi@bartin.edu.tr, parham_taslimi_un@yahoo.com

INTRODUCTION

Recently, increasing concerns about food and nutrition have led to research efforts by the food and university industries to find new bioactive agents that are active in the human diet (Gülçin et al., 2005a). In addition, many of the foods used traditionally and familiarly with a molecular approach, such as foods, have been traded in Canadian handicrafts (especially in the province of Quebec) and maple syrup (Li and seeram, 2011; Ball, 2007). Lee and Siram have just recorded a new polyphenolic (Figure 1). The partridge is named. Natural phenolic compounds are naturally present, and the plant's secondary metabolites are present in almost all plant materials, such as plant-based foods. These compounds appear to be a complete part of the human and animal diets (Elmastaş et al., 2005; Gülçin et al., 2005b).

Nutritional tissues live (or have existed), and are also produced under constant oxidative stress from reactive oxygen species, free radicals, and peroxides as exogenous (light and heat) and endogenous (transport metals and H_2O_2). In fact, many of these tissues have developed antioxidant systems to control lipid oxidation catalysts, free radicals, secondary decomposition products, and oxidation mediators. Antioxidant molecules such as phenolic acids, carotenoids, flavonoids, and tocopherols, which can inhibit Fe^{3+} / AA oxidation, clear free radicals and act as reducing agents (Gülçin et al., 2005c; Gülçin, 2005).

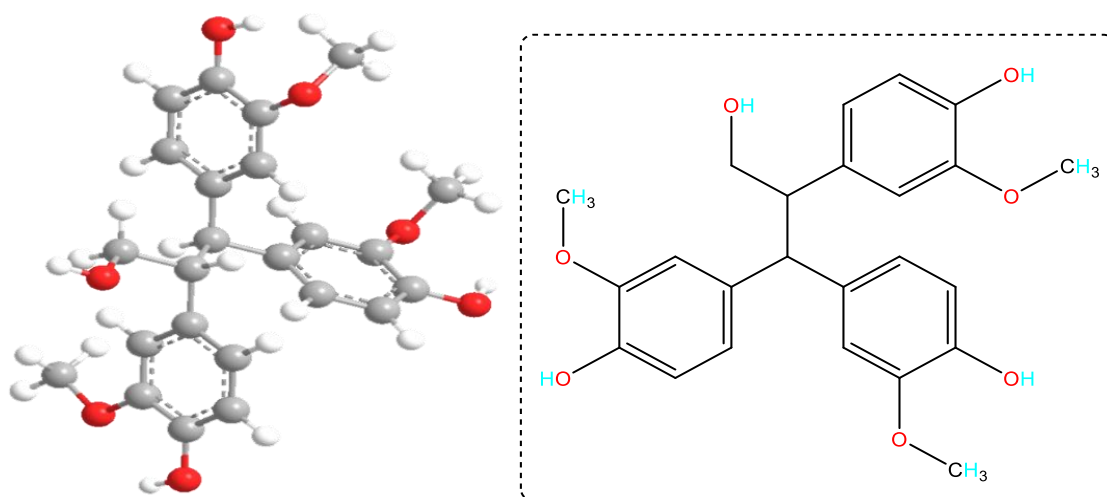


Figure 1. Structure of Quebecol compound

Melanogenesis is a physiological mechanism that leads to the production of melanin pigment, which plays an important role in preventing sunburn. However, the production of melanin in human skin is a major mechanism of light protection against ultraviolet light. Excessive return of epidermal pigments can cause a variety of high blood pressure disorders, such as age spots, melasma, and locations. Be actinic damage (Espin and Wichers, 1999; Mastumoto et al., 2018). As a copper enzyme, tyrosinase catalyzes two separate reactions waiting for melanin biosynthesis, L-tyrosine molecule hydroxylation to L-dopa, and oxidation of the L-dopa molecule to dopukinone, which is highly reactive and can also be automatically converted to melanin. Be. Therefore, regulating melanin synthesis by inhibiting tyrosinase is a common study topic in preventing high blood pressure (Zolghadri et al., 2019; Tanaka et al., 2019).

In this study, we have investigated the *in vitro* inhibition effects of Quebecol and kojic Acid (as Standard) as natural phenol on tyrosinase enzyme. The significant target of this paper, is compared its antioxidant activity to related standard molecules including BHT, BHA, trolox and α -tocopherol (for antioxidant activities).

MATERIALS AND METHODS

Antioxidant methods

Fe³⁺ reducing

To assess the ability of Fe₃ to reduce the composition of the partridge, the method of reducing Fe³⁺(CN⁻)₆ to Fe²⁺(CN⁻)₆ was utilized and also performed according to former studies (Gülçin et al., 2006a; Gülçin, 2006). According to the results, when the reduction ability decreases, the absorption of more values shows.

Cupric ions (Cu²⁺)

Mineral ions (Cu₂), which use the power measurement method, have been used as the second way to reduce the ability of cobblestones to combine. The ability to reduce Cu₂ was done conforming to the assay explained by Apak et al. (Apak et al., 2007) With low modifications and in accordance with previous studies (Gülçin, 2006; Elmastaş et al., 2006). Sampling was determined at 450 nm in 30 min.

DPPH[•] scavenging activity

DPPH inhibitory activity was determined from the composition of the particle as described earlier. Finally, the absorption amount was determined at 517 nm in the spectroscopy (Gülçin et al., 2006b).

ABTS^{•+} assay

ABTS radical cation was generated by the interaction of ABTS (7 mL⁻¹) and K₂S₂O₈ (2.45 mL⁻¹) [85] described previously [86,87]. This solution was diluted with methanol until the absorbance in the samples reached 0.750 - 0.05 at 734 nm. Then, 1 mL of ABTS^{•+} solution was supplemented to 3 mL of novel symmetric sulfamides and control solutions. The extent of decolorization is calculated as a percentage reduction of absorbance. ABTS radical inhibition activity from the composition of the particle utilizing the spectroscopic method described by Re et al. (Re et al., 1999) and was performed according to previous studies.

Tyrosinase enzyme activity

The inhibitory activity of the natural compound against tyrosinase was studied (Ishioka et al., 2019; Ros et al., 1993). The produced dopacrum values were determined by measuring the absorption rate at 475 nm using the VersaMaxTM display microplate (molecular devices, USA). Kojic acid (50µM) was used as a positive control.

RESULTS and DISCUSSION

Antioxidant results

Antioxidant compounds can be classified in several ways. Due to their activity, they can be classified as non-enzymatic and enzymatic antioxidants. These work by destroying and decomposing free radical molecules. Indeed, antioxidant enzymes convert dangerous oxidizing products into multi-stage mechanism and in the presence of manufacturers such as zinc, manganese, copper, and iron into multi-stage mechanism into water and hydrogen peroxide (H₂O₂) (Gülçin et al., 2004a). Some examples of non-enzymatic include vitamin E, vitamin C, carotenoids, and glutathione. The cells of the complete aerobic organism in nature have antioxidant defense systems such as antioxidant nutrients to repair or eliminate defective compounds. Antioxidant compounds can protect human cells from radicals and the effects of ROS (Gülçin et al., 2004b). Also, reactive oxygen species (RNS) and ROS can cause DNA

harm which can alter mutations. Antioxidant compounds are extensively utilized as food additives for protecting food oxidative reduction. ROS agents contain free radicals such as hydroxyl radicals, anion superoxide radicals, and non-radical types such as hydrogen peroxide and single oxygen (Gülçin et al., 2004c). Recently, the interest in studying natural antioxidants due to their use in food or pharmaceuticals to replace synthetic antioxidant compounds, which are limited due to their side effects like carcinogenicity, is of great interest in studying natural antioxidants. In this work, several measurements of various antioxidants based on various reaction processes were utilized to detect the strong antioxidant of the particle.

- i. In Fe^{3+} (CN^-) reduction method 6, the reducing power of biologically active compounds indicates their electron donor capacity. The Fe^{3+} (CN^-) reduction method identifies 6 antioxidant effects of each molecule as a reduction in the ability to react (Gülçin, 2008). Quebecol compound had potent reducing activity using $\text{Fe}^{3+}(\text{CN}^-)_6$ reduction and with the standards (α -tocopherol, Trolox, BHT, and BHA). It can be observed in Table 1 and Figure 2 that the Fe^{3+} reducing capacity of Quebecol compound and the standard compounds were: BHA (2.418 ± 0.022 , r^2 : 0.9602) > BHT (1.930 ± 0.012 , r^2 : 0.9793) > Trolox (1.766 ± 0.013 , r^2 : 0.9638) > α -Tocopherol (1.512 ± 0.017 , r^2 : 0.9424) > Quebecol (1.164 ± 0.011 , r^2 : 0.9963) at the same concentration ($30 \mu\text{g mL}^{-1}$).
- ii. CUPRAC is an affordable, simple, selective, fast, and stable and antioxidant that is useful for a extensive range of polyphenol molecules as well as for thiols, artificial antioxidant compounds (Gülçin et al., 2008). Mineral ions (Cu^{2+}) that reduce the strength of 30 micrograms per milliliter of the concentration of the cobblestone compound and the standard reducing agents are shown in Table 1 and Figure 2. Cupric ions (Cu^{2+}) reducing capacity of Quebecol compound and standards were: BHA (2.443 ± 0.027 , r^2 : 0.9834) > BHT (2.003 ± 0.004 , r^2 : 0.9966) > Quebecol (1.354 ± 0.018 , r^2 : 0.9703) > Trolox (1.208 ± 0.005 , r^2 : 0.9811) > α -Tocopherol (1.059 ± 0.182 , r^2 : 0.9072) at the same concentration ($30 \mu\text{g mL}^{-1}$).
- iii. DPPH is based on measuring the ability to reduce antioxidant compounds compared to DPPH radicals (Köksal and Gülçin 2008). Table 2 and Figure 3 show half maximal radical scavenging concentrations (IC_{50}) of Quebecol and the reference radical scavenger agents like BHT, Trolox, BHA, and α -tocopherol. IC_{50} values were $8.63 \mu\text{g mL}^{-1}$ (r^2 : 0.9814) for BHT, $11.03 \mu\text{g mL}^{-1}$ (r^2 : 0.9783) for BHA, $23.04 \mu\text{g mL}^{-1}$ (r^2 : 0.9966) for α -Tocopherol, $18.24 \mu\text{g mL}^{-1}$ (r^2 : 0.9580) for Trolox, $14.78 \mu\text{g mL}^{-1}$ (r^2 : 0.9812) for Quebecol.
- iv. As with DPPH free radical tracking activity, a lower value of IC_{50} indicates higher ABTS^+ activity. Another improved method for determining fine dust is ABT^{*+} activity. ABTS radicals are produced in an $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8/\text{ABTS}$ system (Köksal et al., 2009). IC_{50} values for Quebecol and control agents like trolox, α -tocopherol, BHT, and BHA were $5.38 \mu\text{g mL}^{-1}$ (r^2 : 0.9710) for Quebecol, $4.06 \mu\text{g mL}^{-1}$ (r^2 : 0.9903) for BHT, $4.61 \mu\text{g mL}^{-1}$ (r^2 : 0.9618) for BHA, $6.80 \mu\text{g mL}^{-1}$ (r^2 : 0.9831) for Trolox, $9.52 \mu\text{g mL}^{-1}$ (r^2 : 0.9682) for α -Tocopherol. (Table 2 and Figure 3).

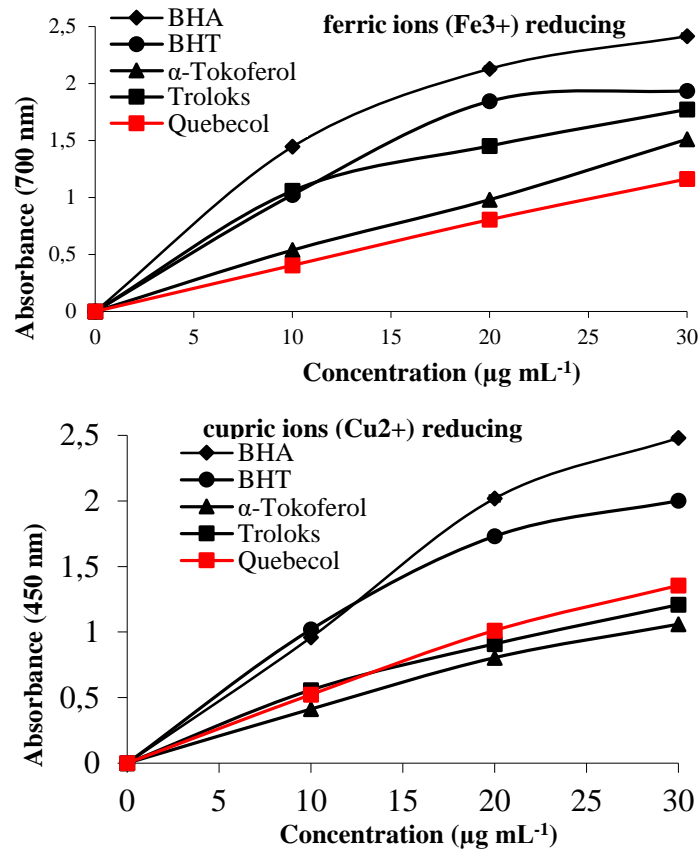


Figure 2. Reducing power graphs of ferric ions (Fe³⁺), and CUPRAK reducing capacity.

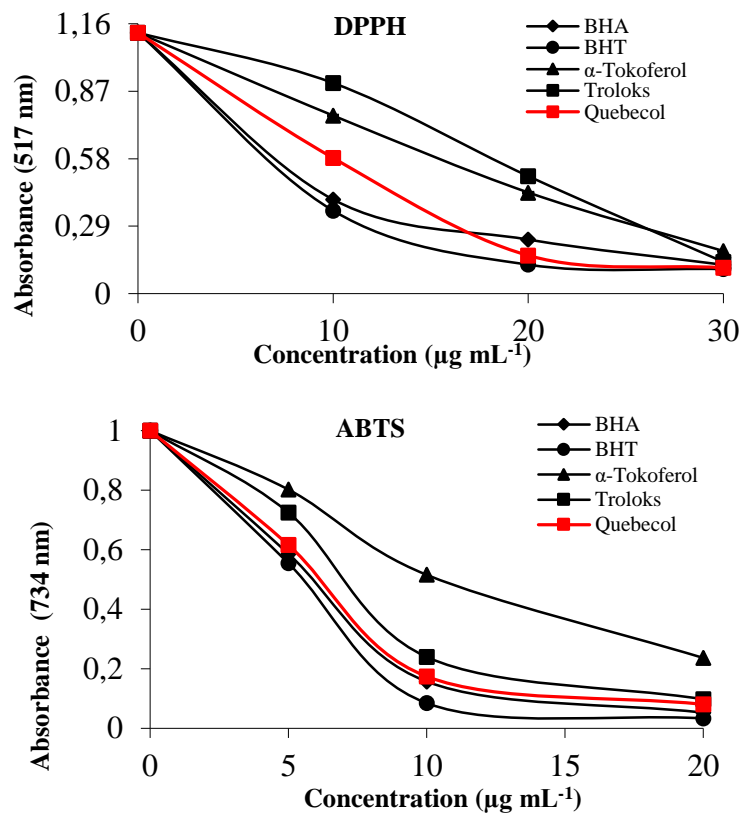


Figure 3. Radical scavenging graphs of DPPH· and ABTS⁺ methods.

Table 1. Determination of reducing power assays.

Antioxidants	Fe ³⁺ -Fe ²⁺ reducing		Cu ²⁺ -Cu ⁺ reducing	
	λ_{700}	R ²	λ_{450}	R ²
BHA	2.41±0.025	0.9602	2.443±0.027	0.9834
BHT	1.930±0.011	0.9793	2.001±0.002	0.9966
α -Tocopherol	1.510±0.015	0.9424	1.059±0.182	0.9072
Trolox	1.766±0.013	0.9638	1.208±0.003	0.9811
Quebecol	1.164±0.011	0.9963	1.354±0.018	0.9703

Table 2. Determination of IC₅₀ amounts of natural compound and standards for radical scavenging DPPH· and ABTS⁺.

Antioxidant Compounds	DPPH· scavenging	R ²	ABTS ⁺ scavenging	R ²
BHA	11.03	0.9783	4.61	0.9618
BHT	8.63	0.9814	4.06	0.9903
α -Tocopherol	23.04	0.9966	9.52	0.9682
Trolox	18.24	0.9580	6.80	0.9831
Quebecol	14.78	0.9812	5.38	0.9710

Enzyme results

Tyrosinase inhibitor compounds are utilized to therapy of hyperpigmentation diseases, skin whitening, and age spots, whereas tyrosinase activator compounds cause the enhance of melanogenesis that can protect the skin from UV harm (Wang et al., 2014). For tyrosinase enzyme, Quebecol and kojic Acid (Standard) as natural phenols have IC₅₀ values of 4.64 and 9.28 μ M (Table 1). For tyrosinase, IC₅₀ amounts of kojic acid as positive control and Quebecol the following order: Quebecol (4.64 μ M, r²: 0.9219) < kojic acid (9.28 μ M, r²: 0.9889). In addition to treating pigment disorders, tyrosinase inhibitors are also used to control insects and the food industry. Additionally, the tyrosinase enzyme has important roles in the developmental and defense functions of insects. Involved in sclerotization in insects, wound healing, melanogenesis, and parasite encapsulation. The importance and development of tyrosinase inhibitors have become an alternative method of pest control. Indeed, In the food, tyrosinase is crucial in controlling the economics and quality of vegetables and fruits (Hung et al., 2006; Chen et al., 2017).

Table 3. Tyrosinase inhibitory results of a natural compound

Natural Compounds	Tyrosinase Enzyme	
	IC ₅₀ (μ M)	R ²
Quebecol	4.64±0.62	0.9219
Kojic acid (as Standard)	9.28±1.15	0.9889

CONCLUSIONS

The decrease of DNA damage, chronic diseases, mutagenesis, growth, inhibition of pathogenic bacterial is mostly associated with the termination of radical molecules propagation in biochemical systems. The antioxidant potential is widely used as a feature for medicinal components. In this research, the antioxidant activity of Quebecol was compared to BHT, BHA, α -tocopherol, and Trolox. Quebecol as tyrosinase inhibitor compound can be attractive in medicinal industries and cosmetics as

depigmentation factors and also in agriculture and food industries as antibrowning molecule. Natural product compounds from animals, microbes, plants, and minerals have long been a traditional source for the therapy of human diseases. In the past decades, the study on natural product compounds for the pharmaceutical industry had reduced due to multiple challenges.

Conflict of interest statement

The author is no conflicts of interest.

REFERENCES

- Apak R, Güçlü K, Demirata B, Özyürek M, Esin Çelik S, Bektaşoğlu B, Işıl Berker K, Özyurt D. 2007. Comparative evaluation of various total antioxidant capacity assays applied to phenolic compounds with the CUPRAC assay. *Molecules*, 12: 1496-1547.
- Ball DW. 2007. The Chemical Composition of Maple Syrup. *J. Chem. Edu.* 84: 1647
- Chen J, Liu S, Huang Z, Huang W, Li Q, Ye Y. 2017. Molecular inhibitory mechanism of dihydromyricetin on mushroom tyrosinase. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*. 1-13
- Elmastaş M, Gülçin İ, Beydemir Ş, Küfrevioğlu Öİ, Aboul-Enein HY. 2006. Radical scavenging activity and antioxidant capacity of bay leaf extracts. *Analytical Letters*, 39: 47-65.
- Elmastaş M, Gülçin İ, Öztürk L, Gökçe İ. 2005. Investigation of antioxidant properties of spearmint (*Mentha spicata* L.). *Asian Journal of Chemistry*, 17: 137-148.
- Espín J.C, and Wichers HJ. 1999. Slow-binding inhibition of mushroom (*Agaricus bisporus*) tyrosinase isoforms by tropolone. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47 (7): 2638–2644.
- Gülçin İ, 2005. The antioxidant and radical scavenging activities of black pepper (*Piper nigrum*) seeds. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 56: 491-499.
- Gülçin İ, Berashvili D, Gepdiremen A. 2005a. Antiradical and antioxidant activity of total anthocyanins from *Perilla pankenensis* decne. *Journal of Ethnopharmacology*, 101: 287-293.
- Gülçin İ, Beydemir Ş, Alici HA, Elmastaş M, Büyükkokuroğlu ME, 2004a. *In vitro* antioxidant properties of morphine. *Pharmacological Research*, 49: 59-66.
- Gülçin İ, Beydemir Ş, Hisar O. 2005b. The effect of α -tocopherol on the antioxidant enzymes activities and lipid peroxidation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), *Acta Veterinaria Hungarica*, 53: 425-433.
- Gülçin İ, Beydemir Ş, Şat İG, Küfrevioğlu Öİ. 2005c. Evaluation of antioxidant activity of cornelian cherry (*Cornus mas* L.). *Acta Aliment Hung.* 34: 193-202.
- Gülçin İ, Elias R, Gepdiremen A, Boyer L. 2006a. Antioxidant activity of lignans from fringe tree (*Chionanthus virginicus* L.). *European Food Research*. 223: 759-767.
- Gülçin İ, Küfrevioğlu Öİ, Oktay M, Büyükkokuroğlu ME, 2004b. Antioxidant, antimicrobial, antiulcer and analgesic activities of nettle (*Urtica dioica* L.). *Journal of Ethnopharmacology*, 90: 205-215.
- Gülçin İ, Mshvildadze V, Gepdiremen A, Elias R. 2006b. Screening of antiradical and antioxidant activity of monodesmosides and crude extract from *Leontice smirnowii* tuber. *Phytomedicine*, 13: 343-351.
- Gülçin İ, Şat İG, Beydemir Ş, Küfrevioğlu Öİ, 2004c. Evaluation of the *in vitro* antioxidant properties of extracts of broccoli (*Brassica oleracea* L.). *Italian Journal of Food Sciences*, 16 (1): 17-30.
- Gülçin İ, Tel AZ, Kirecci E. 2008. Antioxidant, antimicrobial, antifungal and antiradical activities of *Cyclotrichium niveum* (Boiss.) Manden and Scheng. *International Journal of Food Properties*, 11: 450-471.

- Gülçin İ. 2006. Antioxidant and Antiradical Activities of L-Carnitine. *Life Sciences*, 78: 803–811.
- Gülçin İ. 2006. Antioxidant activity of caffeic acid (3,4-dihydroxycinnamic acid). *Toxicology*, 217: 213-220.
- Gülçin İ. 2008. Measurement of antioxidant ability of melatonin and serotonin by the DMPD and CUPRAC methods as trolox equivalent. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 23: 871-876.
- Huang XH, Chen QX, Wang Q, Song KK, Wang J, Sha L, Guan X. 2006. Inhibition of the activity of mushroom tyrosinase by alkylbenzoic acids *Food Chemistry*, 94: 1-6
- Ishioka W, Oonuki S, Iwadate T, Nihei K. 2019. Resorcinol alkyl glucosides as potent tyrosinase inhibitors. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 29(2): 313–316.
- Köksal E, Gülçin İ, Öztürk Sarıkaya SB, Bursal E. 2009. On the *in vitro* antioxidant activity of silymarin. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 24: 395–405.
- Köksal E, Gülçin İ. 2008. Antioxidant activity of cauliflower (*Brassica oleracea* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32: 65-78.
- Li L, Seeram NP. 2011. Quebecol, a novel phenolic compound isolated from Canadian maple syrup. *Journal of Functional Foods*. 3: 125-128.
- Matsumoto T, Nakajima T, Iwadate T, Nihei K. 2018. Chemical synthesis and tyrosinase-inhibitory activity of isotachioside and its related glycosides. *Carbohydrate Research*, 465: 22–28.
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. 26: 1231-1237.
- Ros JR, Rodríguez-López JN, García-Cánovas F. 1993. Effect of L-ascorbic acid on the monophenolase activity of tyrosinase. *Biochemistry Journal*, 295: 309-312
- Tanaka Y, Suzuki M, Kodachi Y, Nihei K. 2019. Molecular design of potent, hydrophilic tyrosinase inhibitors based on the natural dihydroxyresveratrol skeleton. *Carbohydrate Research*, 472: 42-49.
- Wang T, Zhang G, Yan J, Gong D. 2014. Inhibitory effect of morin on tyrosinase: insights from spectroscopic and molecular docking studies. *Food Chemistry*., 163: 226-233
- Zolghadri S, Bahrami A, Hassan Khan MT, Munoz-Munoz J, Garcia-Molina F, Garcia-Canovas F, Saboury AA. 2019. A comprehensive review on tyrosinase inhibitors. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 34 (1): 279–309.

Preparation of Metal Complexes of 4,5-Dichlorophthalic Acid as Nanoscale and Electronic Properties

Mehmet Salih KESKIN¹, Ümit YILDIKO², Derya GÜNGÖRDÜ SOLĞUN³, Mehmet Salih AĞIRTAŞ^{3*}

ABSTRACT: Here phthalic acid metal complexes with acid function were synthesized. Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), X-ray diffraction analysis (XRD), Scanning electron microscopy-Energy Dispersive Spectrometry (SEM+EDS) devices were used for structure analysis. The structural parameters of the copper and zinc complexes of 4,5-dichlorophthalic acid were determined by the LanL2DZ basis set of B3LYP method. Electronic properties such as HOMO (highest occupied molecular orbital) and LUMO (lowest unoccupied molecular orbital) energies and molecular electrostatic potential (MEP) were obtained. Stability, charge delocalization of molecules resulting from hyperconjugative interactions were analyzed using natural bond orbital (NBO) analysis. The comparison of the theoretical and experimental FT-IR spectra of Zn and Cu-4,5-dichlorophthalic acid (DCPA) were made and $R = 0.97204$ for Cu and $R = 0.97929$ for Zn complex were found in linear fit studies. Two characterization results were found to be consistent.

Key words: Phthalic acid derivative, synthesis, metal, electronic properties.

Nano-Ölçekli Olarak 4,5-Diklorftalik Asit Metal Komplekslerinin Hazırlanması ve Elektronik Özellikler

ÖZET: Burada asit fonksiyonlu ftalik asit metal kompleksleri sentezlendi. Yapı analizi için Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR), X-ışını kırınım analizi (XRD), Taramalı elektron mikroskopisi-Enerji Dağıtıcı Spektrometresi (SEM + EDS) cihazları kullanılmıştır. 4,5-diklorftalik asidin bakır ve çinko komplekslerinin yapısal parametreleri, B3LYP yönteminin LanL2DZ baz seti ile belirlenmiştir. HOMO (en yüksek işgal edilen moleküler orbital) ve LUMO (en düşük işgal edilmeyen moleküler orbital) enerjileri ve elektron yoğunluk dağılım potansiyeli (MEP) gibi elektronik özellikler elde edildi. Hiperkonjugatif etkileşimlerden kaynaklanan moleküllerin stabilitesi, yük delokalizasyonu, doğal bağ orbital (NBO) analizi kullanılarak analiz edildi. Zn ve Cu-4,5-diklorftalik asidin (DCPA) teorik ve deneysel FT-IR spektrumlarının karşılaştırılması yapıldı ve Cu için $R = 0.97204$ ve Zn kompleksi için $R = 0.97929$ doğrusal çalışmalar formunda bulundu. İki karakterizasyon sonucunun tutarlı olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Ftalik asit türevi, sentez, metal, elektronik özellikler

¹Mehmet Salih KESKIN (Orcid ID: 0000-0001-9862-1590), Siirt Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Bilim Bölümü, Siirt, Türkiye

²Ümit YILDIKO (Orcid ID: 0000-0001-8627-9038), Kafkas Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Kars, Türkiye

³Derya GÜNGÖRDÜ SOLĞUN (Orcid ID:0000-0001-9492-5669), Mehmet Salih AĞIRTAŞ (Orcid ID: 0000-0003-1296-2066), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Bilim Fakültesi, Kimya Bölümü, Van, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Mehmet Salih AĞIRTAŞ, e-mail: salihagirtas@hotmail.com

INTRODUCTION

Phthalic acid and its derivatives are industrially needed chemical compounds. This compound and its derivatives are used in many fields such as paint, detergent, photocatalytic, cosmetic (Liu L.-C. et al., 2014). Due to technological developments and increasing world population, the new chemical demand has also increased. The use of phthalic acid derivatives in the reduction of toxic pollutants such as Cr (VI) by modifying them on the TiO₂ surface is of interest for research (Liu H. et al., 2011). In this study, it is considered that especially prepared compounds can be used as support materials. There are studies based on phthalic acid supported synthesis of silver nanoparticles. It is used for sensor studies. However, similar copper and zinc nanoparticles are not found in the literature. Zinc and copper-containing phthalic acid derivatives may also be used as sensors or catalyst support (Detsri and Seeharaj, 2017). The theoretical chemical calculations of DFT B3LYP have been studied well and consistently (Cabir et al., 2020; Prabhakaran et al., 2015; Priya et al., 2019; Rocha et al., 2015). Theoretical studies have been used in many studies on organo metal compounds (El Bourakadi et al., 2019; Kumar et al., 2019; Pandey et al., 2017; Solğun et al., 2020). It is also important to understand the behavior of the more dense phases of the complexes (Cabir et al., 2019; Jayaprakash et al., 2011; Mihçioğur and Özpozan, 2017). 4,5-dichlorophthalic acid and its complexes have been the most frequent subject of experimental research due to their importance in the industry. To the best of our knowledge, literature review has shown that there are no their DFT studies.

In this study, structural analyzes were calculated theoretically. Molecular geometry optimized structural parameters and HOMO - LUMO band gap, MEP and NBO analyzes were calculated by B3LYP method. Local and global chemical reactivity descriptors were calculated. The comparison of the theoretical and experimental FT-IR spectra of Zn and Cu-DCPA were made and the results of the two characterizations were found to be consistent.

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL SECTION

Preparation of the copper complex (1)

0.227 g of 4,5-dichlorophthalic acid was dissolved in 10 ml of ethanol. Then 0.200 g of NaOH was added to the medium and stirred. To this mixture was added 0.190 g of CuCl₂ dissolved in 15 ml of ethanol. The green solution turned to light green and began to precipitate. Stirring was continued at room temperature for 2 hours. The reaction was then stopped and filtered. Washed with ethanol. It was dried at 40 ° C. Yield: 0.575 g. EN > 320 ° C. IR spectrum (cm⁻¹): 1612, 1544, 1400, 1323, 1170, 1128, 1005, 920, 900, 844, 808, 617.

Preparation of the zinc complex (2)

0.227 g of 4,5-dichlorophthalic acid was dissolved in 10 ml of ethanol. Then 0.200 g of NaOH was added to the medium and stirred. To this mixture was added 0.190 g of ZnCl₂ dissolved in 15 ml of ethanol. The white solution began to precipitate. Stirring was continued at room temperature for 2 hours. The reaction was then stopped and filtered. It was washed with ethanol. It was dried at 40 ° C. Yield: 0.487 g. EN > 320 ° C. IR spectrum (cm⁻¹): 1612, 1544, 1400, 1398, 1323, 1170, 1128, 1003, 920, 900, 844, 808, 617.

Computational Study

The potential energy profile of the compound was determined using the B3LYP / LanL2DZ method to find stable optimization. Theoretical calculations were made with the Gaussian-09 package program (M. J. Frisch, 2016), which promotes geometry optimization of B3LYP correlation

functionality. The resulting stable conformers were further optimized using LanL2DZ basis sets. Thermodynamic properties and energy of the compound were determined using optimized geometry.

RESULTS AND DISCUSSION

Phthalic acid derivatives are chemical compounds needed in the chemical industry. Especially these derivatives can be used in many fields such as detergent, paint, photocatalytic, cosmetics. Technological advances and increased comfort, new chemical demand has also increased. Bringing phthalic acid derivatives to nanoscale may also allow the application of new functional properties. Metal complexes modified with DCPA (4,5-dichlorophthalic acid) are synthesized in Figure 1. DCPA is an aromatic-carboxylic acid capable of resonating only a pair of electrons on carbonyl and oxygen. As is known, the carboxylate moiety (-COO) is a common and popular functional group for the stabilization of NPs (Henglein and Giersig, 1999; Rawat et al., 2017).

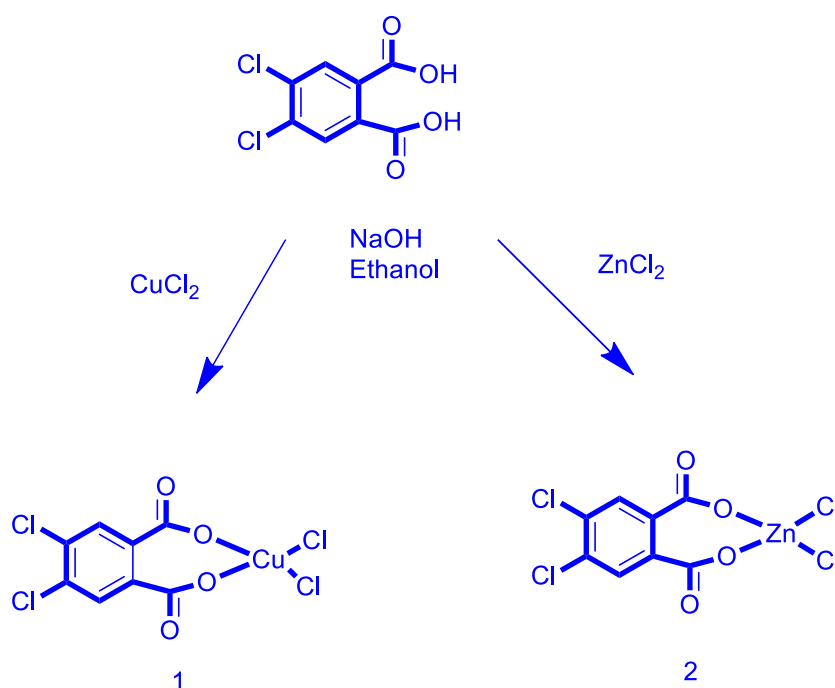


Figure 1. Synthesis of metal complexes

The size and particle morphology of Zn and Cu complexes of DCPA were examined using SEM + EDS analysis (Figure 2,3). These images show that the compounds have reached nano dimensions. These data show that the compounds can be used to form active catalysts on surfaces.

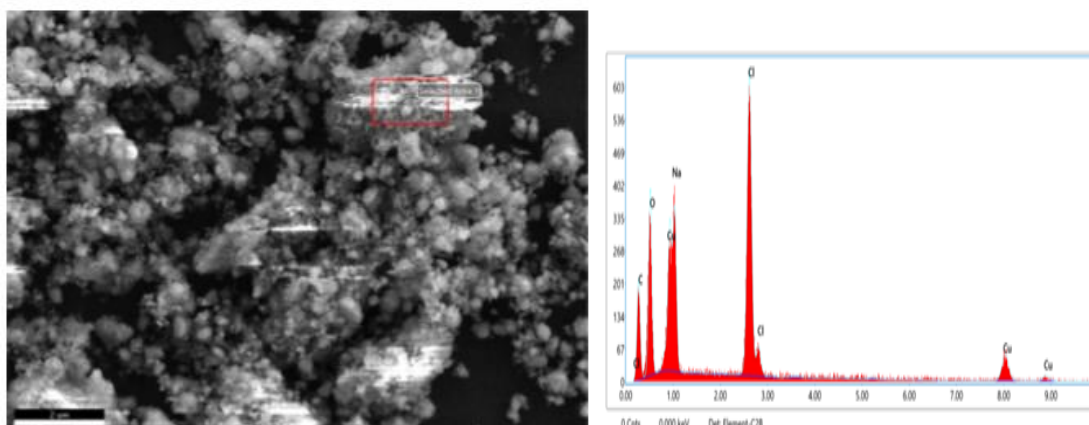


Figure 2. SEM image of the copper complex with EDS

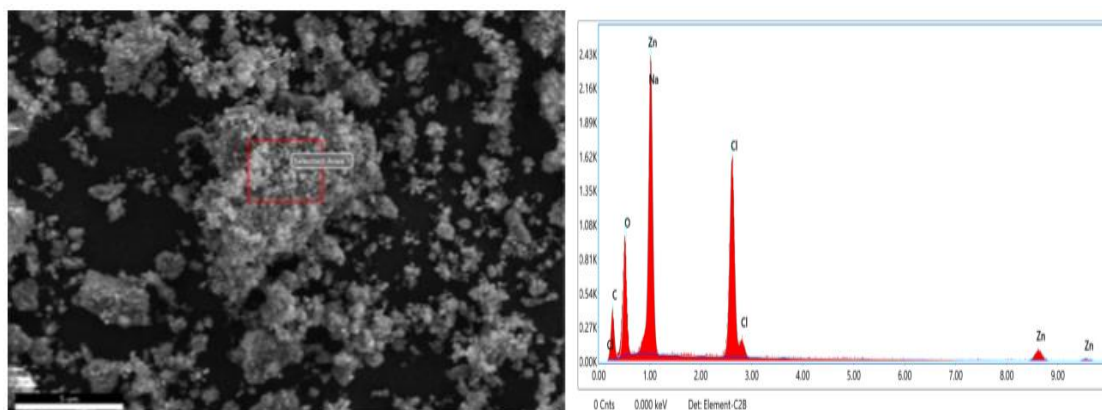


Figure 3. SEM image of the zinc complex with EDS

X-ray diffractometer (XRD) was used to analyze the crystallographic structure of the Zn and Cu complexes of DCPA. XRD diagrams of these compounds are given in Figure 4. XRD patterns also confirm the structure.

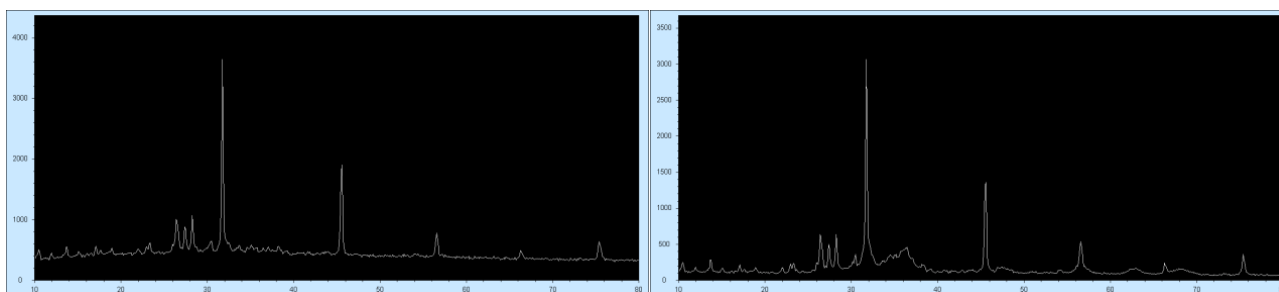


Figure 4. XRD patterns of the compound 2 (left) and 1 (right)

Molecular Geometry

The most stable geometry of the compounds was optimized by the B3LYP method using higher level basis sets such as LanL2DZ. The optimized geometry of the Cu and Zn complexes is shown in Figure 5. Cu-Cl groups in Cu-4,5-dichloro phthalic acid groups were in the range of Cu19-C17 2.334 Å for the DFT method, and Zn17-Cl18 2.450 Å for Zn-4,5-dichloro phthalic acid. In both complexes, bonding distance of O atom to metal atoms was found very close. When the bond angles O-Cu-Cl were examined, it was found 111.76 and O-Zn-Cl 131.16.

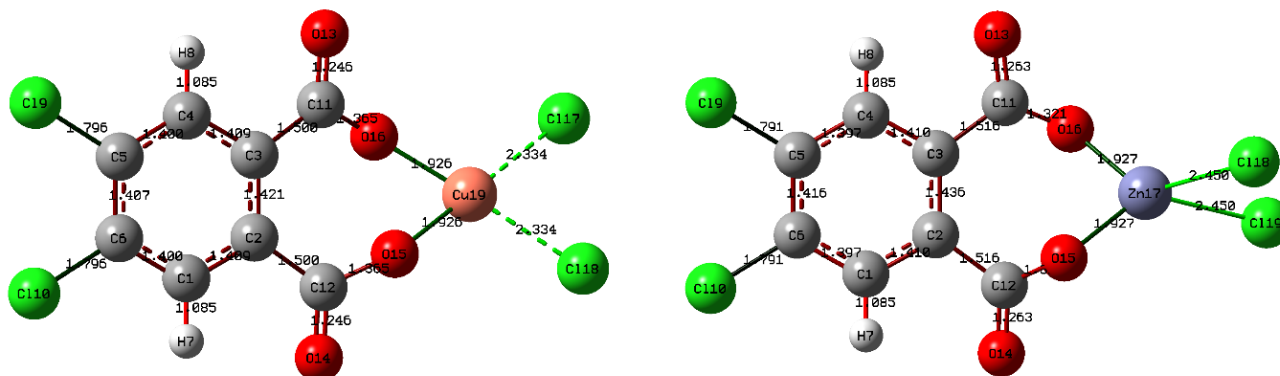


Figure 5. Optimized geometry of 4,5-dichlorophthalic acid complexes

Frontier Molecular Orbitals [HOMO-LUMO]

Both HOMO and LUMO are the main orbitals involved in chemical stability (Demir and Akman, 2017; Prabhakaran et al., 2015; Srivastava et al., 2015). HOMO represents the ability to give an electron and LUMO represents the ability to become an electron acceptor. The four important molecular orbitals (MOs) for complex molecules are HOMO, LUMO and, the highest and second highest filled orbital (HOMO -1) and the lowest and lowest second empty orbital (LUMO + 1), respectively (Demir and Akman, 2017; Khajehzadeh and Moghadam, 2017; Prabhakaran et al., 2015; Rocha et al., 2015; Srivastava et al., 2015). These orbital energies were calculated by the B3LYP / LanL2DZ method and the figures are shown in Figure 6.

Table 1. Comparison of HOMO, LUMO, energy gaps (HOMO - LUMO) and related Zn and Cu complex DCPA molecular properties

Molecules Energy	Cu- DCPA	Zn- DCPA
E_{LUMO}	-6.4753	-7.5679
E_{HOMO}	-8.2389	-8.0917
Energy Gap (Δ) $E_{HOMO} - E_{LUMO}$	1.7636	0.5238
Ionization Potential ($I = -E_{HOMO}$)	8.2389	8.0917
Electron Affinity ($A = -E_{LUMO}$)	6.4753	7.5679
Chemical hardness ($\eta = (I - A)/2$)	0.8818	0.2619
Chemical softness ($s = 1/2 \eta$)	0.4409	0.1309
Chemical Potential ($\mu = (I + A)/2$)	-7.3571	-7.8298
Electronegativity ($\chi = (I + A)/2$)	3.7376	-3.2839
Electrophilicity index ($\omega = \mu^2/2 \eta$)	30.6911	117.0404

According to the calculated band gap, the large LUMO - HOMO value shows a hard molecule and the small LUMO - HOMO value shows a soft molecule structure. The chemical stability of the synthesized molecules also depends on the hardness, the decrease in bandwidth will make the molecule even more reactive. Frontier molecular orbitals calculations lead to show the reactivity and kinetic stability of the molecule. The LUMO - HOMO energy difference of DCPA was calculated in B3LYP / LanL2DZ. The HOMO energy of the Cu complex compound is -8.2389 eV and the LUMO energy is -6.4753 eV. The energy difference between LUMO and HOMO was 1.7636 eV. The HOMO energy of the Zn complex compound is -8.0917 eV and the LUMO energy is -7.5679 eV. The energy difference between LUMO and HOMO was 0.5238 eV. The Zn complex is more reactive than the Cu complex.

Vibration Analysis

FT-IR spectra of Zn and Cu complex DCPA were obtained by DFT method using LANL2DZ basis set. The theoretical and experimental FT-IR spectra of Zn and Cu-DCPA were compared. R = 0.97204 for Cu and R = 0.97929 for Zn complex were found in linear fit studies. Two characterization results were found to be consistent. Comparison of the theoretical and experimental FT-IR frequencies are shown in Figure 7,8.

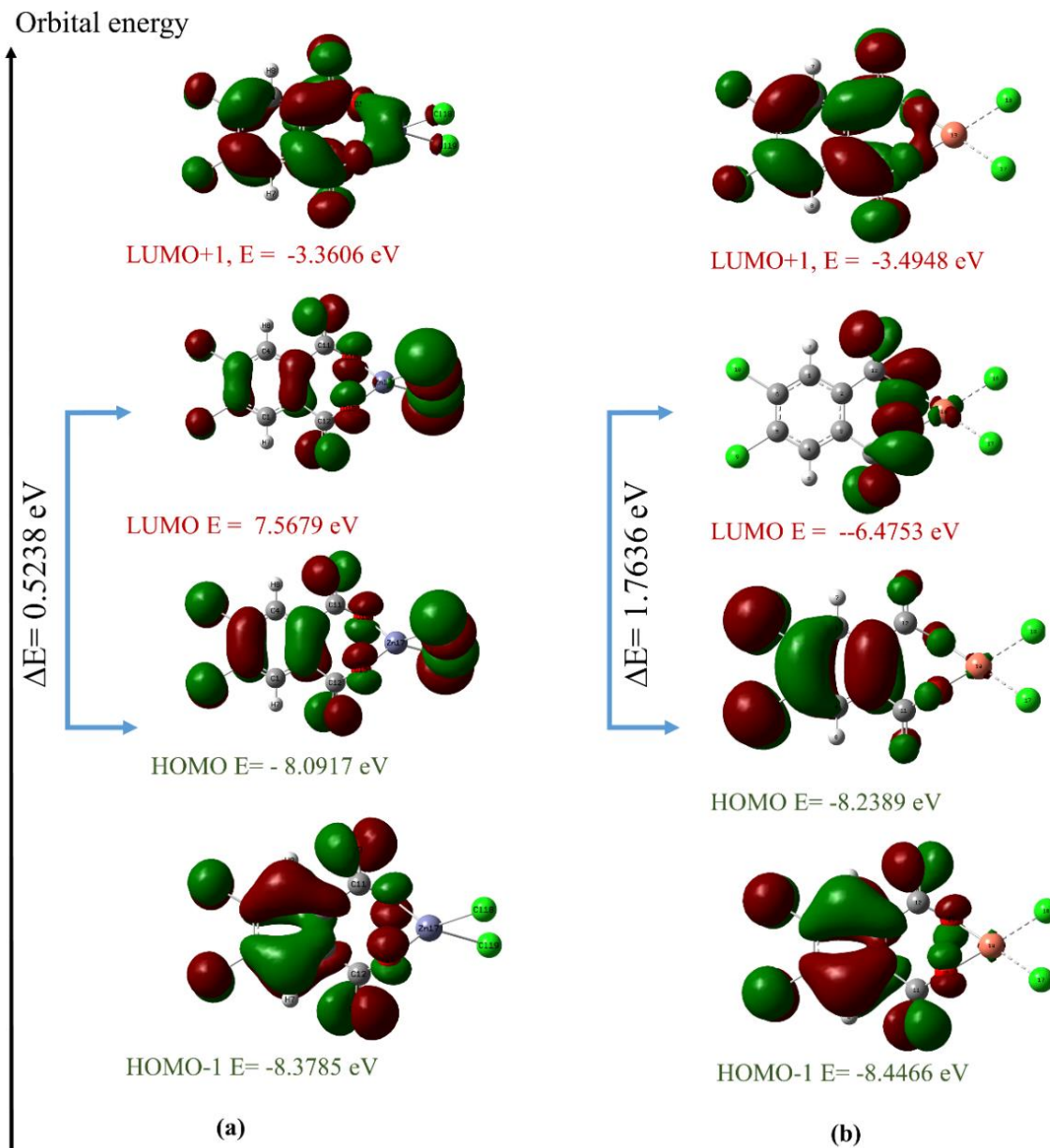


Figure 6. Frontier molecular orbitals of Zn (a) and Cu (b) complexes of 4,5-dichlorophthalic acid

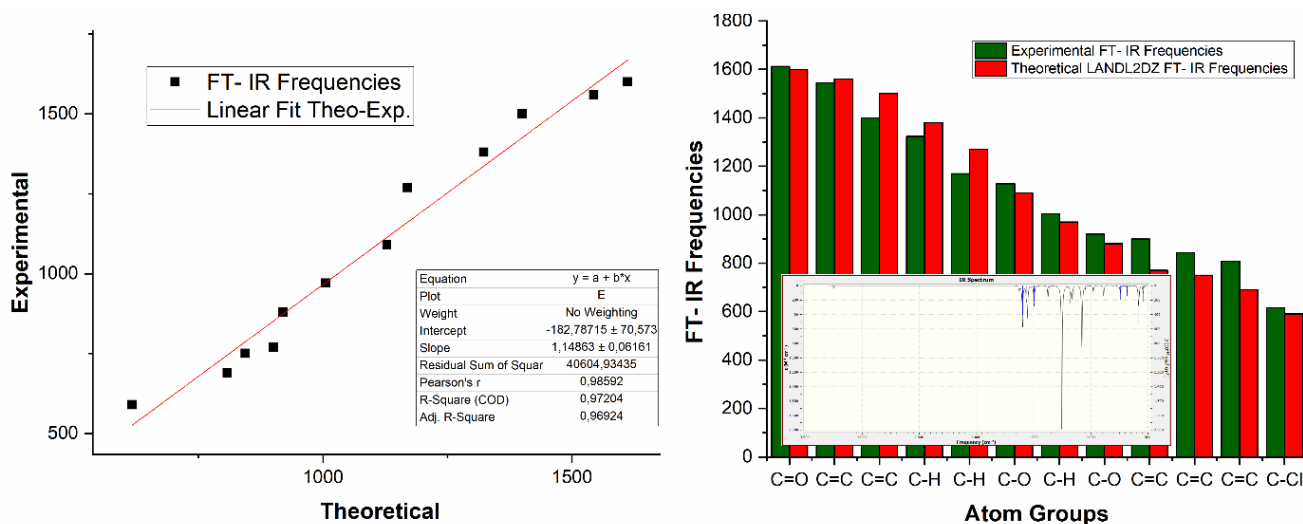


Figure 7. Comparison of theoretical and experimental FT-IR spectrum of Cu-DCPA

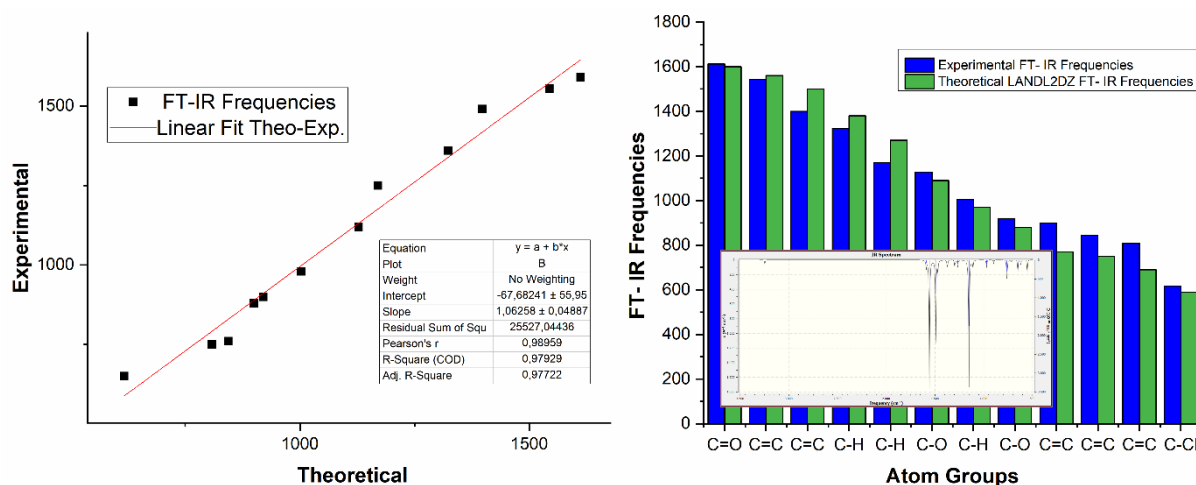


Figure 8. Comparison of theoretical and experimental FT-IR spectrum of Zn-DCPA

Molecular Electrostatic Potential (MEP)

In this study, molecular electrostatic potential (MEP) maps were obtained for both complexes. As shown in Figure 9, MEP maps of the Compound were mapped with the basis set LanL2DZ. It shows that the central atom has positive region regions characterized by the blue color around it. The contour map of the compounds verifies the negative and positive regions in accordance with the electrostatic surface potential (ESP) (Jayaprakash et al., 2011; Khajehzadeh and Moghadam, 2017; Saravanan et al., 2014; Srivastava et al., 2015; Vennila et al., 2016).

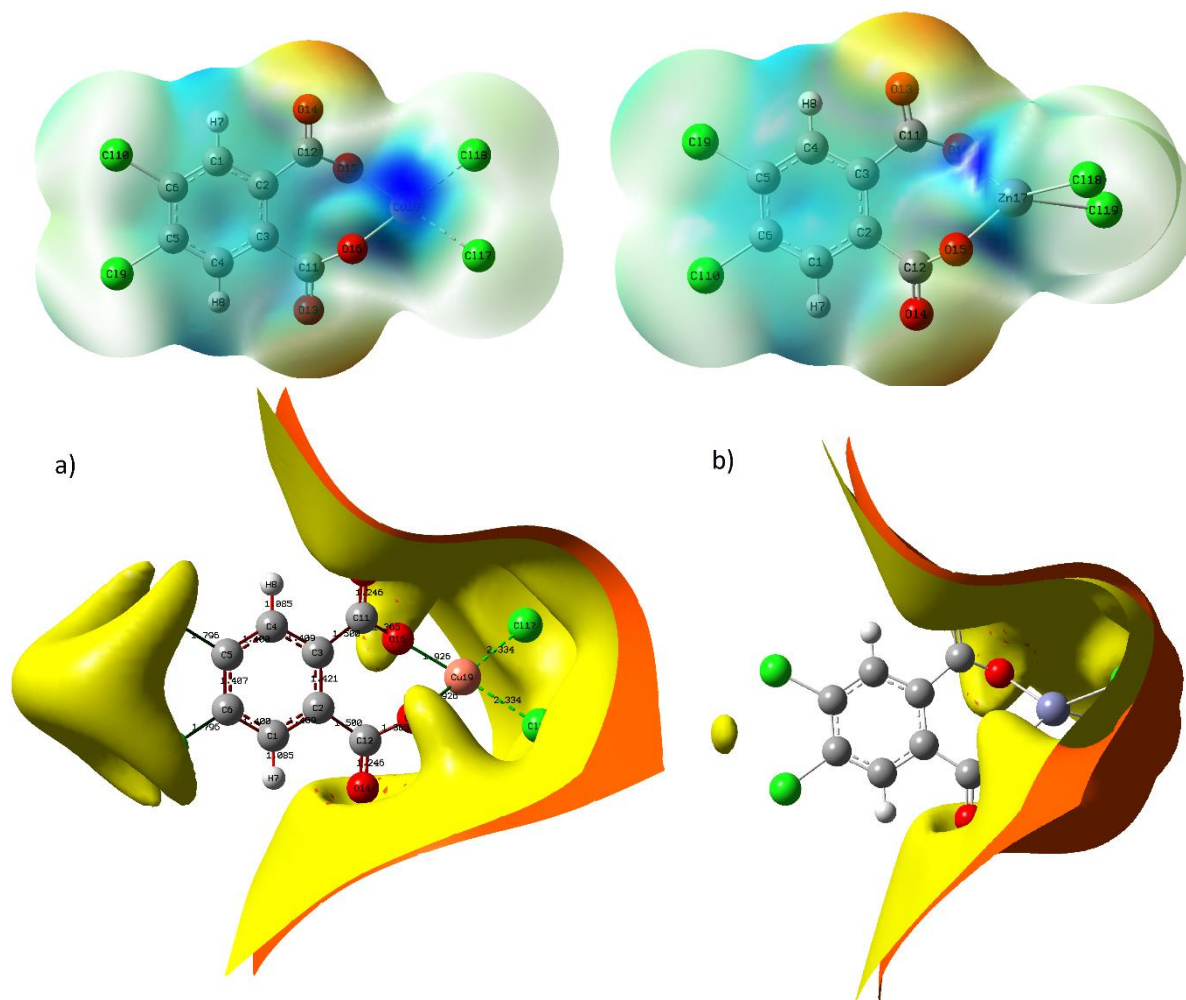


Figure 9. Molecular surface maps of Cu and Zn complex DCPA compounds

Natural Bond Orbital (NBO) Analysis

The total stabilization energies of C1-C2 (occ. 0.79811)- C3-C4 (occ. 0.16115) $\sigma \rightarrow \sigma^*$ is 9.83 kcal mol⁻¹ and C12-O15 (occ. 1.98331) - Zn17-Cl18 (occ. 0.16881) $\sigma \rightarrow \sigma^*$ 0.23 kcal mol⁻¹ were calculated. C5-C6 (occ. 0.77158) and C1-C2 (occ. 0.14989) between $\pi \rightarrow \pi^*$ 9.98 kcal mol⁻¹. CR1-Cu19 (occ. 0.99921) and C11-O16 (occ. 0.05184) were calculated as $\sigma \rightarrow \sigma^*$ 0.99 kcal mol⁻¹. Between C5-C6 (occ. 0.77158) and C1-C2 (occ. 0.14989) $\pi \rightarrow \pi^*$ 9.98 kcal mol⁻¹, CR1-Cu19 (occ. 0.99921) and C11-O16 (occ. 0.05184) $\sigma \rightarrow \sigma^*$ 0.99 kcal mol⁻¹ were calculated. The high values of E⁽²⁾ stabilization energies from the NBO analysis of the metalo complex compounds indicate the stability and π -electrons delocalization of the molecules (Eşme and Sağdıncı, 2017; Khajehzadeh and Moghadam, 2017; Mathammal et al., 2015; Pandey et al., 2017). The natural electron configuration of Zn – Cu complex compounds DCPA was calculated as Cu 19 = [core] 4s^(0.18)3d^(4.40)4p^(0.33) and Zn 17= [core] 4s^(0.35) 3d^(9.97) 4p^(0.56)5p^(0.01). The results analyzed are given in Table 2,3.

Table 2. Selected NBO results of Cu - complex compounds DCPA

NBO(i)	Type	ED/e	NBO(j)	Type	ED//e	E(2) ^a (Kcal/mol)	E (j)-E(i) ^b (a.u.)	F (i, j) ^c (a.u)		
C1-C2	σ	0.98195	C1-C6	σ^*	0.01424	1.09	1.24	0.047		
			C1-H7	σ^*	0.00753	0.58	1.25	0.034		
			C6-Cl10	σ^*	0.01668	2.35	0.89	0.058		
			C12-O15	σ^*	0.04486	1.06	0.94	0.041		
	π	0.79811	C3-C4	π^*	0.16115	9.83	0.29	0.068		
			C12-O14	π^*	0.11460	7.59	0.24	0.056		
C1-C6	σ	0.98670	C1-H7	σ^*	0.00753	0.66	1.26	0.036		
			C2-C12	σ^*	0.03817	1.96	1.06	0.058		
			C5-Cl9	σ^*	0.01668	2.37	0.91	0.059		
C1-H7	σ	0.98438	C1-C2	σ^*	0.01080	0.40	1.05	0.026		
			C2-C3	σ^*	0.01439	2.98	1.05	0.024		
			C6-Cl10	σ^*	0.01661	0.33	0.70	0.019		
C5-C6	σ	0.98670	C1-C6	σ^*	0.01425	1.22	1.29	0.050		
			C1-H7	σ^*	0.00746	1.24	1.30	0.051		
	π	0.77158	C1-C2	π^*	0.14989	9.98	0.32	0.072		
			C3-C4	π^*	0.14989	9.98	0.32	0.072		
C6-Cl10	σ	0.99052	C1-C2	σ^*	0.01080	1.80	1.18	0.058		
			C4-C5	σ^*	0.01425	2.12	1.18	0.063		
C11-O13	σ	0.99551	C2-C3	σ^*	0.01439	0.90	1.53	0.047		
			π	0.92270	C2-C3	π^*	0.01439	0.31	0.90	0.021
					C3-C4	π^*	0.14989	1.31	0.40	0.031
CR1-C1	σ	0.99946	C2-C3	σ^*	0.01439	0.46	10.60	0.089		
			C2-C12	σ^*	0.04043	0.36	10.41	0.079		
			C5-C6	σ^*	0.02421	0.51	10.61	0.094		
			C6-Cl10	σ^*	0.01661	0.28	10.26	0.068		
CR1-O14	σ	0.99994	C2-C12	σ^*	0.04043	0.27	19.26	0.092		
CR1-Cu19	σ	0.99921	C11-O16	σ^*	0.05184	0.99	4.59	0.087		
			C12-O15	σ^*	0.05184	1.02	4.59	0.088		
LP1-Cl10	σ	0.99445	C1-C6	σ^*	0.01425	1.01	1.18	0.044		
			C5-C6	σ^*	0.02421	0.81	1.17	0.039		
LP2-Cl10	σ	0.98544	C1-C2	σ^*	0.01080	0.32	0.83	0.021		
			C1-C6	σ^*	0.01425	1.98	0.83	0.051		
			C4-C5	σ^*	0.01425	0.31	0.83	0.020		
			C5-C6	σ^*	0.02421	2.63	0.83	0.059		
			C5-C6	σ^*	0.02421	6.98	0.29	0.063		
LP3-Cl10	σ	0.93030	C5-C6	σ^*	0.02421	6.98	0.29	0.063		
LP1-O16	σ	0.95134	C3-C11	σ^*	0.04043	4.46	0.78	0.075		
			C11-O13	σ^*	0.01721	1.38	0.92	0.046		

Table 3. Selected NBO results of Zn - complex compounds DCPA

NBO(i)	Type	ED/e	NBO(j)	Type	ED//e	E(2) ^a (Kcal/mol)	E (j)-E(i) ^b (a.u.)	F (i, j) ^c (a.u)
C1-C2	σ	1.96155	C1-C6	σ^*	0.02745	1.98	1.24	0.044
			C1-H7	σ^*	0.01354	1.07	1.24	0.033
			C6-Cl10	σ^*	0.03231	4.69	0.89	0.058
			C12-O15	σ^*	0.06665	1.68	0.97	0.036
C1-C6	σ	1.97280	C1-H7	σ^*	0.01354	1.26	1.26	0.036
			C2-C12	σ^*	0.06646	4.57	1.06	0.063
			C5-C19	σ^*	0.03231	4.62	0.91	0.058
C1-C6	π	1.63987	C1-C6	π^*	0.34451	0.64	0.29	0.012
			C4-C5	π^*	0.34451	20.94	0.29	0.070
C1-H7	σ	1.97038	C1-C2	σ^*	0.02368	0.79	1.05	0.026
			C2-C3	σ^*	0.03197	5.91	1.07	0.071
			C6-Cl10	σ^*	0.03231	0.61	0.70	0.018
C5-C6	σ	1.98369	C1-C6	σ^*	0.02745	2.31	1.28	0.049
			C1-H7	σ^*	0.01354	2.49	1.29	0.051
C6-Cl10	σ	1.98102	C1-C2	σ^*	0.02368	3.49	1.18	0.057
			C4-C5	σ^*	0.02745	4.17	1.17	0.063
			C2-C3	σ^*	0.03197	1.19	1.33	0.036
C11-O13	σ	1.96013	C2-C3	π^*	0.03197	1.40	0.87	0.031
			C3-C4	π^*	0.02368	1.29	0.85	0.030
	CR1-C1	σ	1.99891	C2-C3	σ^*	0.03197	0.95	10.63	0.091
C2-C12				σ^*	0.06646	0.88	10.42	0.087
C5-C6				σ^*	0.04829	1.01	10.60	0.093
C6-Cl10				σ^*	0.03231	0.56	10.26	0.068
CR1-C12	σ	1.99917	C1-C2	σ^*	0.02368	0.63	10.78	0.074
			C2-C3	σ^*	0.03197	0.60	10.80	0.072
			C12-O14	σ^*	0.05805	0.65	10.51	0.075
LP1-Cl10	σ	1.98882	C1-C6	σ^*	0.02745	1.97	1.17	0.043
			C5-C6	σ^*	0.04829	1.62	1.17	0.039
LP2-Cl10	σ	1.97091	C1-C2	σ^*	0.02368	0.63	0.83	0.021
			C1-C6	σ^*	0.02745	4.02	0.83	0.051
			C4-C5	σ^*	0.02745	0.62	0.83	0.020
			C5-C6	σ^*	0.04829	5.30	0.82	0.059
			C1-C6	σ^*	0.02745	13.93	0.31	0.062
LP1-O16	σ	1.90400	C3-C11	σ^*	0.06646	3.07	1.09	0.052
C2-C12	σ	1.97022	C11-O13	σ^*	0.05805	0.52	1.01	0.021
			Zn17-Cl19	σ^*	0.16881	0.24	0.96	0.014
			Zn17-Cl18	σ^*	0.16881	0.23	1.11	0.015
C12-O15	σ	1.98331	Zn17-Cl19	σ^*	0.16881	0.12	1.11	0.011
			Zn17-Cl18	σ^*	0.16881	0.10	10.56	0.030
CR1-C12	σ	1.99917	Zn17-Cl18	σ^*	0.16881	0.10	1.09	0.010
LP1-O13	σ	1.60745	Zn17-Cl18	σ^*	0.16881	0.10	1.09	0.010
LP5-Zn17	σ	1.96913	Zn17-Cl18	σ^*	0.16881	6.74	0.88	0.071
LP1-Cl19	σ	1.99182	Zn17-Cl19	σ^*	0.16881	5.25	0.82	0.061

CONCLUSIONS

In this study, zinc and copper phthalic acid complexes with surface analysis and characterization were reported. These compounds may have the potential to be used as support materials to obtain effective catalysts or reducing agents. The structure of complex DCPAs was optimized by the B3LYP method using LanL2DZ basis sets. The energy gap between LUMO and HOMO was 1.7636 eV in the Cu complex and 0.5238 eV in the Zn complex. Global and local reactivity descriptors NBO values and MEP maps were defined using DFT method. $R = 0.97204$ for Cu and $R = 0.97929$ for Zn complex were found in linear fit studies. The theoretical and experimental FT-IR results were found to be consistent.

ACKNOWLEDGMENTS

Authors thanks to Van Yuzuncu Yıl University Office of Scientific Research Projects for the financial support to his research laboratory.

REFERENCES

- Cabir B, Yildiko, U, Ağırtaş, MS. (2019). Synthesis, DFT analysis, and electronic properties of new phthalocyanines bearing ETAEO substituents on peripheral position. *Journal of Coordination Chemistry*, 72(17): 2997-3011.
- Cabir B, Yildiko, U, Ağırtaş, MS, Horoz, S. (2020). Computational DFT calculations, photovoltaic properties and synthesis of (2R, 3S)-2, 3, 4-trihydroxybutoxy substituted phthalocyanines. *Inorganic and Nano-Metal Chemistry*, 50 (9): 816-827.
- Demir P, Akman, F. (2017). Molecular structure, spectroscopic characterization, HOMO and LUMO analysis of PU and PCL grafted onto PEMA-co-PHEMA with DFT quantum chemical calculations. *Journal of Molecular Structure*, 1134: 404-415.
- Detsri E, Seeharaj, P. (2017). Colorimetric detection of glutathione based on phthalic acid assisted synthesis of silver nanoparticles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 533: 125-132.
- El Bourakadi K, El Mehdi Mekhzoum, M, Boéré, RT, El Kacem Qais, A, Bouhfid, R. (2019). Synthesis, characterization and DFT studies of 6-bis(2-(thiazol-4-yl)-benzimidazol-1-yl)hexane hemihydrate crystal: Experimental and theoretical investigation. *Journal of Molecular Structure*, 1202: 127253.
- Eşme A, Sağdıç, SG. (2017). Spectroscopic (FT-IR, FT-Raman, UV-Vis) analysis, conformational, HOMO-LUMO, NBO and NLO calculations on monomeric and dimeric structures of 4-pyridazinecarboxylic acid by HF and DFT methods. *Journal of Molecular Structure*, 1147: 322-334.
- Henglein A, Giersig, M. (1999). Formation of Colloidal Silver Nanoparticles: Capping Action of Citrate. *The Journal of Physical Chemistry B*, 103(44): 9533-9539.
- Jayaprakash A, Arjunan, V, Jose, SP, Mohan, S. (2011). Vibrational and electronic investigations, thermodynamic parameters, HOMO and LUMO analysis on crotonaldehyde by ab initio and DFT methods. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 83(1): 411-419.
- Khajehzadeh M, Moghadam, M. (2017). Molecular structure, FT IR, NMR, UV, NBO and HOMO-LUMO of 1-(3-(dimethylamino)propyl)-1-(4-fluorophenyl)-1,3-dihydroisobenzofuran-5-carbonitrile by DFT/B3LYP and PBEPBE methods with LanL2DZ and 6-311++G(d,2p) basis sets. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 180: 51-66.
- Kumar S, Radha, A, Kour, M, Kumar, R, Chouaih, A, Pandey, SK. (2019). DFT studies of disubstituted diphenyldithiophosphates of nickel(II): Structural and some spectral parameters. *Journal of Molecular Structure*, 1185: 212-218.
- Liu H, Zhou, Y, Huang, H, Feng, Y. (2011). Phthalic acid modified TiO₂ and enhanced photocatalytic reduction activity for Cr(VI) in aqueous solution. *Desalination*, 278(1): 434-437.
- Liu L-C, Xing, F, Bai, Y, Shao, M, Li, M, Zhu, S. (2014). Synthesis, structure, thermal stability and luminescence of five 2D coordination polymers based on 4-(4-oxypyridinium-1-yl) phthalic acid and transition metal ions. *Journal of Molecular Structure*, 1067: 74-82.
- Frisch M J, GWT, Schlegel HB, G. E. Scuseria, M. A. Robb, J. R. Cheeseman, G. Scalmani, V. Barone, G. A. Petersson, H. Nakatsuji, X. Li, M. Caricato, A. Marenich, J. Bloino, B. G. Janesko, R. Gomperts, B. Mennucci, H. P. Hratchian, J. V. Ortiz, A. F. Izmaylov, J. L. Sonnenberg, D. Williams-Young, F. Ding, F. Lipparini, F. Egidi, J. Goings, B. Peng, A. Petrone, T. Henderson, D. Ranasinghe, V. G. Zakrzewski, J. Gao, N. Rega, G. Zheng, W. Liang, M. Hada, M. Ehara, K. Toyota, R. Fukuda, J. Hasegawa, M. Ishida, T. Nakajima, Y. Honda, O. Kitao, H. Nakai, T. Vreven, K. Throssell, J. A. Montgomery, Jr., J. E. Peralta, F. Ogliaro, M. Bearpark, J. J. Heyd, E. Brothers, K. N. Kudin, V. N. Staroverov, T. Keith, R. Kobayashi, J. Normand, K. Raghavachari, A. Rendell, J. C. Burant, S. S. Iyengar, J. Tomasi, M. Cossi, J. M. Millam, M. Klene, C. Adamo, R. Cammi, J. W. Ochterski, R. L. Martin, K. Morokuma, O. Farkas, J. B. Foresman, and D. J. Fox. (2016). Gaussian 09, Revision A.02, Gaussian, Inc., Wallingford CT,.

- Mathammal R, Monisha, NR, Yaraswini, S, Krishnakumar, V. (2015). Molecular structure, vibrational analysis (FT-IR, FT-Raman), NMR, UV, NBO and HOMO–LUMO analysis of N,N-Diphenyl Formamide based on DFT calculations. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 139: 521-532.
- Mihçioğur Ö, Özpozan, T. (2017). Molecular structure, vibrational spectroscopic analysis (IR & Raman), HOMO-LUMO and NBO analysis of anti-cancer drug sunitinib using DFT method. *Journal of Molecular Structure*, 1149: 27-41.
- Pandey M, Muthu, S, Nanje Gowda, NM. (2017). Quantum mechanical and spectroscopic (FT-IR, FT-Raman, ¹H, ¹³C NMR, UV-Vis) studies, NBO, NLO, HOMO, LUMO and Fukui function analysis of 5-Methoxy-1H-benzo[d]imidazole-2(3H)-thione by DFT studies. *Journal of Molecular Structure*, 1130: 511-521.
- Prabhakaran M, Prabakaran, AR, Gunasekaran, S, Srinivasan, S. (2015). DFT studies on vibrational spectra, HOMO–LUMO, NBO and thermodynamic function analysis of cyanuric fluoride. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 136: 494-503.
- Priya MK, Revathi, BK, Renuka, V, Sathya, S, Asirvatham, PS. (2019). Molecular Structure, Spectroscopic (FT-IR, FT-Raman, ¹³C and ¹H NMR) Analysis, HOMO-LUMO Energies, Mulliken, MEP and Thermal Properties of New Chalcone Derivative by DFT Calculation. *Materials Today: Proceedings*, 8: 37-46.
- Rawat KA, Singhal, RK, Kailasa, SK. (2017). One-pot synthesis of silver nanoparticles using folic acid as a reagent for colorimetric and fluorimetric detections of 6-mercaptopurine at nanomolar concentration. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 249: 30-38.
- Rocha M, Di Santo, A, Arias, JM, Gil, DM, Altabef, AB. (2015). Ab-initio and DFT calculations on molecular structure, NBO, HOMO–LUMO study and a new vibrational analysis of 4-(Dimethylamino) Benzaldehyde. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 136: 635-643.
- Saravanan RR, Seshadri, S, Gunasekaran, S, Mendoza-Meroño, R, Garcia-Granda, S. (2014). Crystallographic, experimental (FT-IR and FT-RS) and theoretical (DFT) investigation, UV–Vis, MEP, HOMO–LUMO and NBO/NLMO of (E)-1-[1-(4-Chlorophenyl)ethylidene]thiosemicarbazide. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 121: 268-275.
- Solğun DG, Keskin, MS, Yıldırım, Ü, Ağırtaş, MS. (2020). DFT analysis and electronic properties, and synthesis of tetra (9-phenyl-9H-xanthen-9-yl) oxy peripheral-substituted zinc phthalocyanine. *Chemical Papers*, 74: 2389-2401.
- Srivastava AK, Pandey, AK, Jain, S, Misra, N. (2015). FT-IR spectroscopy, intra-molecular C–H···O interactions, HOMO, LUMO, MESP analysis and biological activity of two natural products, trichlisine and rufescine: DFT and QTAIM approaches. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 136, 682-689.
- Vennila P, Govindaraju, M, Venkatesh, G, Kamal, C. (2016). Molecular structure, vibrational spectral assignments (FT-IR and FT-RAMAN), NMR, NBO, HOMO-LUMO and NLO properties of O-methoxybenzaldehyde based on DFT calculations. *Journal of Molecular Structure*, 1111: 151-156.

Amfiprotik ve Dipolar Aprotik Çözücülerde 3-(4-Aril) Propiyonik Asit Türevlerinin Asitlik Kuvvetleri

Zafer OCAK^{1*}

ÖZET: Beş adet 3-(4-aril) propiyonik asit türevinin asitlik özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmada amfiprotik çözücülerden etanol, *tert*-butanol ve su, dipolaraprotik çözücülerden *N,N* dimetilformamid (DMF), aseton kullanılmıştır. Bileşikler tetrabutylamonyum hidroksidin (TBAH) metanoldeki çözeltisi ile titre edilmiş ve titrasyonlarda dönüm noktasının belirlenmesinde potansiyometrik metod, asitliğin belirlenmesinde yarı nötralizasyon metodu kullanılmıştır. Titrasyon eğrilerinin beklendiği gibi S şeklinde olduğu belirlenmiştir. Çizelge ve grafikler kullanılarak propiyonik asit türevlerinin amfiprotik ve dipolar aprotik çözücülerdeki asitlik kuvvetleri hesaplanmıştır. Çözücülerde elde edilen pK_a değerlerinin farklandırıldığı görülmüştür. Bileşiklerin asitlik kuvvetlerine çözücü, moleküler yapı, otoprotoliz sabiti, dielektrik sabiti ve çözücünün seviyeleme-farklandırma etkileri tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: 3-(4-aril) propiyonik asit, amfiprotik çözücü, asitlik kuvveti, yarı nötralizasyon metodu

The Acidity Strengths of 3-(4-Aryl) Propionic Acid Derivatives in Amphiprotic and Dipolar Aprotic Solvents

ABSTRACT: The acidic properties of five 3-(4-aryl) propionic acid derivatives were investigated. In this study, ethanol, *tert*-butanol and water were used as an amphiprotic solvent. Aceton and *N,N*-dimethylformamide (DMF) were preferred as a dipolar aprotic solvent. Compounds were titrated with tetrabutylammonium hydroxide (TBAH) in methyl alcohol and titrimetric analyses were used potentiometric method determining the end-points, half-neutralization method determining acidity. Typical S-shaped titration graphs excepted were determined. The acidity strengths of propionic acid derivatives in amphiprotic and dipolar aprotic solvents were calculated using tables and graphs. The pK_a values obtained in the solvents were found to be differentiated. The effects of solvent, molecular structure, autoprotolysis constant dielectric constant, and leveling-differentiation effects of the solvents upon acidity strength of the compounds were discussed.

Keywords: 3-(4-aryl) propionic acid, amphiprotic solvent, acidity strength, half-neutralization method

¹Zafer OCAK (Orcid ID: 0000-0002-6604-9814), Kafkas Üniversitesi, Dede Korkut Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Kars, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Zafer OCAK, e-mail:zafcak@gmail.com

Geliş tarihi / Received: 22-01-2020

Kabul tarihi / Accepted: 27-05-2020

GİRİŞ

Potansiyometrik titrasyonlar basit ve düşük maliyetli olması nedeniyle asitlik sabitlerinin tayininde en yaygın kullanılan yöntemlerdendir (Reijenga et al., 2013). Asit ya da baz molekülünün ayrışma sabiti K_a / K_b nin genellikle negatif logaritması olan pK_a / pK_b olarak ifade edilir (Huang et al., 2017). pK_a tayininde temel prensip moleküldeki iyonlaşmış ve iyonlaşmamış grup oranı ve sulu ortamın katkısıdır (Zafar et al., 2014). Evrensel olarak bir sabit gibi adlandırılmasına rağmen, pK_a sıcaklık (T), iyonik güç (I) ve çözücünün polaritesi ile farklılık gösteren dielektrik sabitine (ϵ) bağlı olduğundan gerçekte sabit değildir (Reijenga et al., 2013; Amirdehi et al., 2017). Asit ayrışma sabiti, farklı pH değerlerindeki çözeltilerde moleküllerin iyonlaşma derecesini gösteren, birçok analitik yöntemde önemli olan pH'ı belirlemede, analitik kimyada deney koşullarının optimizasyonunda ve en önemlisi fizikokimyasal özelliklerin tanımlanmasında önemli bir parametredir (Kumar and Babu, 2006; Zafar et al., 2014; Hadjeb and Barkat 2017). Çünkü iyonlaşmış ve iyonlaşmamış yapıların fizikokimyasal özellikleri genellikle farklıdır (Huang et al., 2017). pK_a değerinin belirlenmesi, birçok kimyasal, biyolojik, çevresel ve farmasötik kullanımları (Meloun et al., 2007; Kiani et al., 2014) özellikle yaşam ve malzeme bilimlerinde, ilaç endüstrisi ve diğer Ar-Ge odaklı çalışmalarda oldukça önemlidir (Pilarski et al., 2015). Çizelge 1. incelendiğinde ilerleyen zaman içinde spektrometri, kondüktometri, elektrofores, NMR, polarometri, kalorimetri, teorik vb birçok farklı metod geliştirildi. Kondüktometri kuvvetli elektrolit numuneler için, voltametri indirgeme potansiyeli olanlar için, UV spektroskopisi iyonizasyon bölgesinde kromofor madde içerenler, kalorimetri ısı değişimi oluşturan maddeler için geçerlidir. Hesaplamalı metod fiziksel koşullar bakımından kısıtlanmadığı şartlarda iken polarimetri ve reaksiyon kinetiği gibi metotlar literatürde nadir görülmektedir (Reijenga et al., 2013). Ancak potansiyometrik metod dönüm noktası tayininde belirtilen kısıtlamaları içermez, Dolayısıyla basitlik doğruluk ve hassasiyeti nedeniyle bu metodlar arasında en yaygın kullanılan metottur (Zafar et al., 2014).

Çizelge 1. pK_a tayininde kullanılan metodların kuvvetli (++) ve (--) zayıf noktaları (Reijenga et al., 2013)

	pK_a aralığı	Maliyet/zaman	Hassasiyet	T, I ve ϵ
Potansiyometri	--	++	+	+
Kondüktometri	-	+	+	-
Voltametri	+	+	+	+
Kalorimetri	++	+	+	+
NMR	++	--	++	-
Elektroforez	+	+	++	++
HPLC	-	+	+	+
Çözünürlük	+	--	+	-
Spektrometri	+	+	++	++
Fluorometri	+	+	--	+
Polarimetri	+	+	+	+
Hesaplamalı	++	-	--	--
Kinetik	-	-	+	+

T: Sıcaklık; I: İyonik Kuvvet; ϵ : Dielektrik sabiti

E280 ya da propiyonik asit, süt ürünleri ve sirke gibi gıdaların doğal bir parçasıdır. Gıdada antimikrobiyal madde ya da lezzet arttırıcı bir katkı maddesi, insan metabolizmasının bileşenlerindedir (Anonim, 2019). Renksiz, keskin, aşındırıcı ve kokusu hoş olmayan bir maddedir. Vücudumuzda sindirilmeden kalın bağırsağa ulaşan diyet lifleri gibi besin maddelerinin fermente edilmesi sonucu elde

edilen ara ürünlerdendir. Ter bezleri mikroorganizmalar yardımıyla propiyonik asit üretir; bu sebeple insan teri propiyonik asit gibi kokmaktadır (Anonim, 2019). Propiyonik asit herbisit üretiminde, yapay meyve tatları üretiminde ayrıca gıda, hayvan yemi ve tahıllar için koruyucu olarak kullanılır (Kumar and Babu, 2006).

Araştırmada su ve susuz ortamdaki asitlik kuvvetleri ilk kez tayin edilerek özellikle asitler-bazlar ve tampon çözeltiler konusunda katkı sağlayan 3-(4-aril) propiyonik asit türevlerinin amfiprotik ve dipolar aprotik çözücülerdeki asidik kuvvetleri çalışılmıştır. Titrant olarak TBAH'in metanoldeki çözeltisi kullanılmıştır. Dönüm noktası tayini için potansiyometrik titrasyon metodu uygulanmıştır (Yüksek et al., 2013; Almeida et al., 2015; Bolong et al., 2016; Taskiran et al., 2017; Katea and Basavaraju, 2018). Amfiprotik ve dipolar aprotik ortamlardaki asitlikleri yarı nötralizasyon yöntemiyle tayin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar çözücü etkisi, yapı etkisi, dielektrik sabiti ve otoprotoliz sabitleri yardımıyla çözücülerdeki asidik özellikleri incelenmiştir.

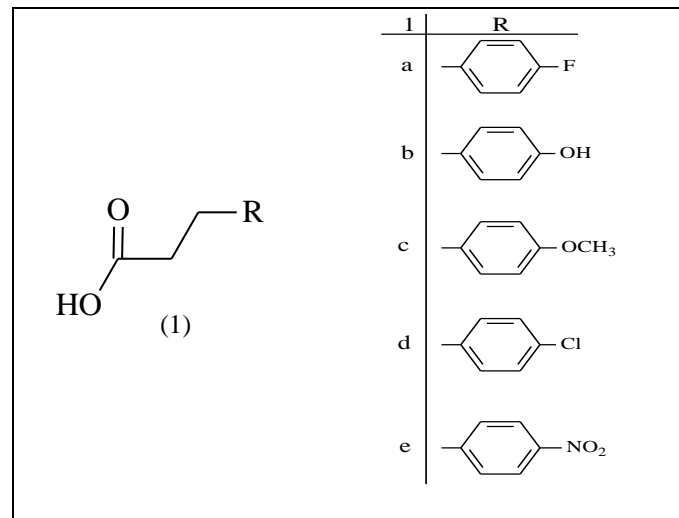
MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışılan Maddeler

Asitlik kuvvetleri tayin edilen 3-(4-aril) propiyonik asit türevi beş adet Şekil 1. de verilen bileşik kullanılmıştır.

- 3-(4-florofenil) propiyonik asit (1a),
- 3-(4-hidroksifenil) propiyonik asit (1b),
- 3-(4-metoksifenil) propiyonik asit (1c),
- 3-(4-klorofenil) propiyonik asit (1d),
- 3-(4-nitrofenil) propiyonik asit (1e).

Bileşikler Aldrich ve Acros firmalarından satın alınmıştır.



Şekil 1. 3-(4-aril) propiyonik asit bileşikleri.

Çözücüler

3-(4-aril) propiyonik asit türevlerinin asitlik sabitlerinin tayininde amfiprotik çözücü olarak etanol, su, tert-butanol, dipolar aprotik çözücülerden DMF ve aseton kullanılmıştır. TBAH ve 3-(4-aril) propiyonik asit türevlerinin çözücülerdeki çözünürlüğü, çözücülerin geniş potansiyel aralığı, oda şartlarında çalışma imkânı çözücülerin seçiminde önemli etken olmuştur. TBAH'in metanoldeki 0.05 N'lik çözeltisi titrant olarak tercih edilmiştir. Etanol, aseton DMF ve tert-butanol Merck firmasından satın alınmıştır.

Titrant

Titrant olarak TBAH asitlere karşı geniş ölçüde kullanılan bir baz olmuştur. TBAH'ın metanoldeki standart 0,05 N'lik çözeltisi kullanılmıştır.

Cihazlar

Yapılan çalışmada Mettler Toledo SevenGo pro pH/ORP/Ion metre kullanılmıştır. Kullanılan pH metrenin pH okumalarındaki hassasiyeti ± 0.002 iken mV ölçümündeki hassasiyeti ± 0.1 , ve kesinlik ± 0.2 verilmiştir. Çalışmalarda kombine pH elektrodu (LE438-DIN) kullanılmıştır. Titrant ilavesi için 50 μ L lik mikropipet kullanılmıştır.

Hazırlanan çözeltiler

3-(4-aril) propiyonik asit türevlerinin 10^{-3} M 100 mL'lik çözeltileri aseton, tert-butanol, su, DMF ve etanolde hazırlanmıştır. Metanoldeki TBAH'ın 0.05 N 250 mL'lik çözeltisi titrant olarak kullanılmıştır.

Yöntem

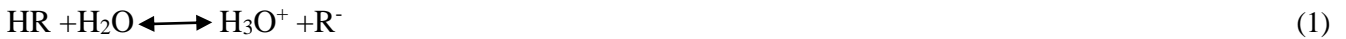
Kullanılan pH metrenin kalibrasyonu için pH=7 ve pH=10 olan iki tampon çözelti kullanılmıştır. Potansiyometrik titrasyonlar 25°C'de gerçekleştirilmiştir. 3-(4-aril) propiyonik asit türevi bileşiklerin amfiprotik ve dipolar aprotik çözücülerdeki 10^{-3} M'lık çözeltisinden 17 mL alınmıştır. Asit çözeltisi manyetik karıştırıcı ile karıştırılarak homojen hale getirilmiştir. Mikropipet ile her defasında 0.05 mL titrant, karışmakta olan asit çözeltisine ilave edilmiştir. 3-(4-aril) propiyonik asit türevlerinin amfiprotik ve dipolar aprotik çözücülerindeki 10^{-3} M'lık çözeltisi 0.05 N TBAH ile titre edilmiş ve sonuçlar mL TBAH'a karşı mV grafiği olarak ifade edilmiştir.

Asitlik sabitlerinin tayini

Yarı nötralizasyon metodu

Titrasyon verileri yardımıyla çizilen mL TBAH- pH ve mL TBAH -mV titrasyon grafikleri çizilmiştir. Dönüm noktaları tespit etmek için mL TBAH- $\Delta E/\Delta V$ (birinci türev) ve mL TBAH- $\Delta^2 E/\Delta V^2$ (ikinci türev) grafikleri kullanılmıştır. Bu değerlerden de yarı nötralizasyon noktaları hesaplanmıştır.

Sulu çözeltisindeki zayıf asitlerin dengesi,



$$K_a = \frac{[H_3O^+][R^-]}{[HR]} \text{ olarak yazılmıştır.} \quad (2)$$

Tampon çözeltide,

$$pH = pK_a + \log \frac{[R^-]}{[HR]} \quad (3)$$

yarı nötralizasyonda,

$$[R^-] = [HR] \quad (4)$$

olduğundan,

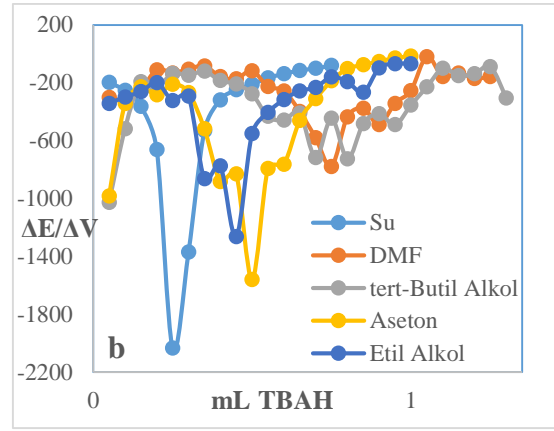
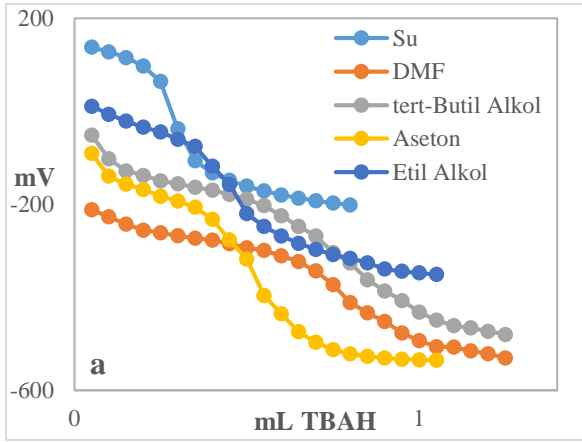
$$pH = pK_a \quad (5)$$

şeklinde belirtilmiştir (Gündüz, 2001; Alkan et al., 2014; Yokuş et al., 2015).

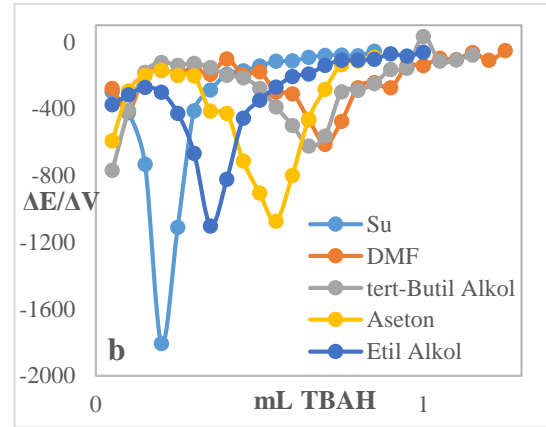
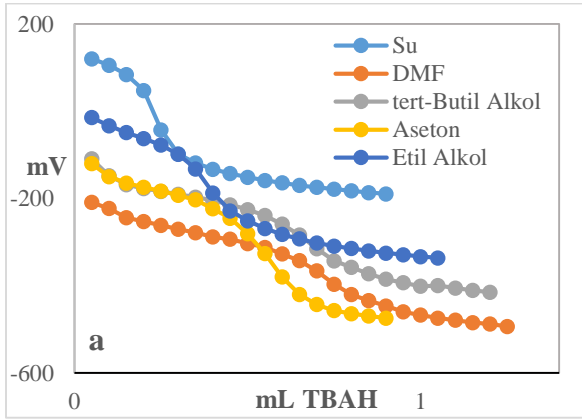
BULGULAR VE TARTIŞMA

3-(4-aril) propiyonik asit türevlerinin 10^{-3} M'lık amfiprotik (su, tert-butanol, etanol) ve dipolar aprotik, (DMF, aseton) çözücü ortamlarında titrant olarak metanoldeki 0.05 N TBAH çözeltisinin

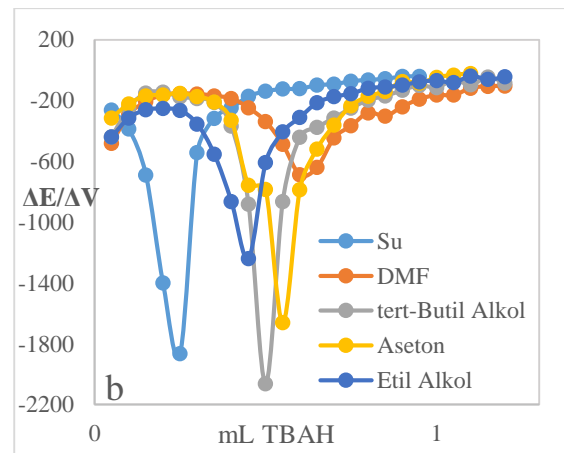
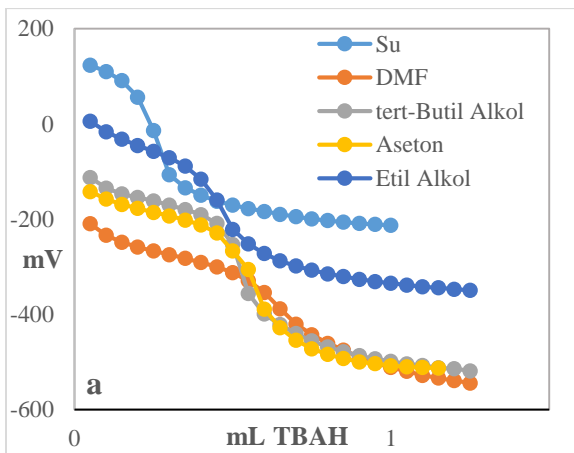
titrasyonu ile elde edilen sonuçlardan faydalanılarak çizilen mL (TBAH)'a karşı mV olarak grafikler Şekil 2-6'da verilmiştir.



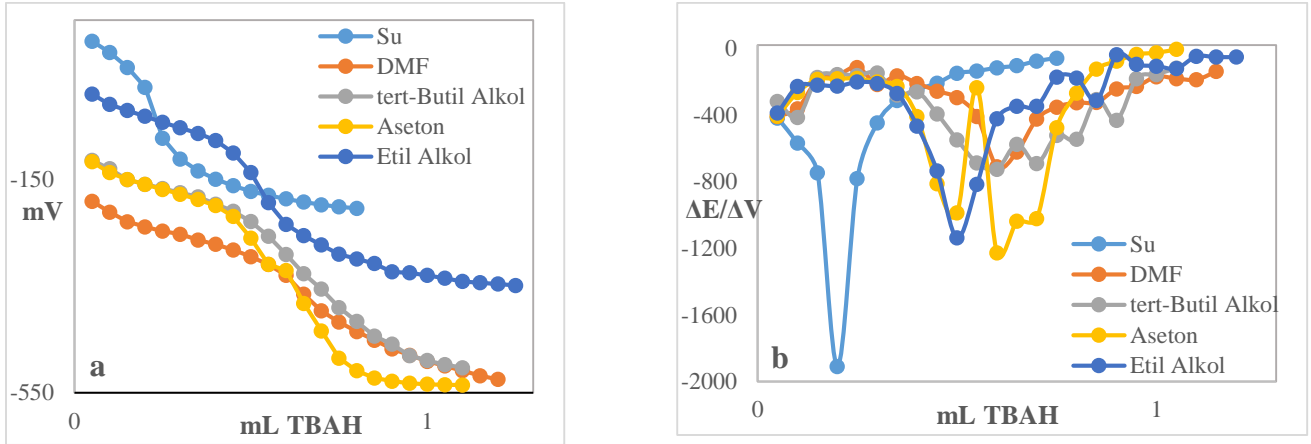
Şekil 2. 3-(4-florofenil) propiyonik asidin amfiprotik ve dipolar aprotik çözücülerdeki a) mL (TBAH)- mV grafikleri b) 1. türev grafikleri.



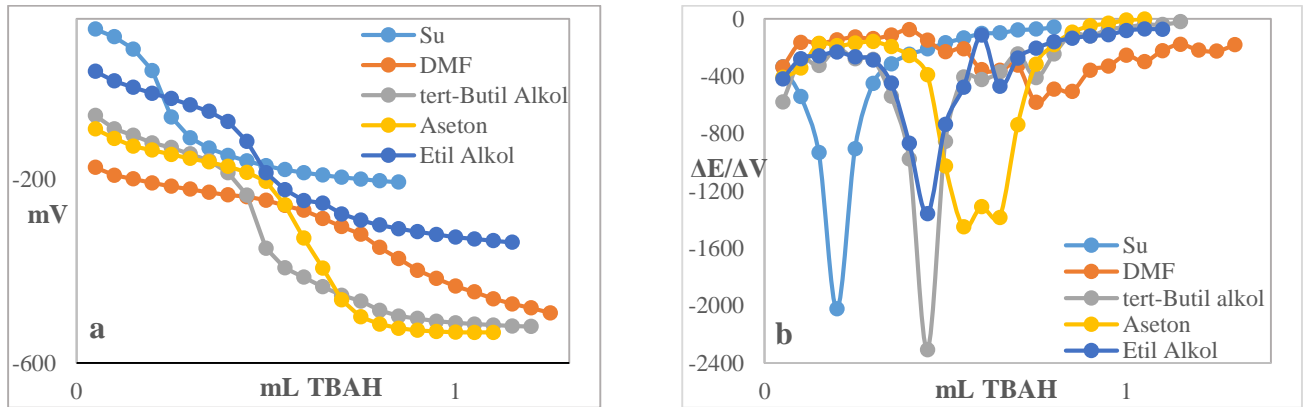
Şekil 3. 3-(4-hidroksifenil) propiyonik asidin amfiprotik ve dipolar aprotik çözücülerdeki a) mL (TBAH)- mV grafikleri b) 1. türev grafikleri.



Şekil 4. 3-(4-metoksibenzoil) propiyonik asidin amfiprotik ve dipolar aprotik çözücülerdeki a) mL (TBAH)- mV grafikleri b) 1. türev grafikleri.



Şekil 5. 3-(4-klorobenzil) propiyonik asidin amfiprotik ve dipolar aprotik çözücülerdeki a) mL (TBAH)- mV grafikleri b) 1. türev grafikleri.



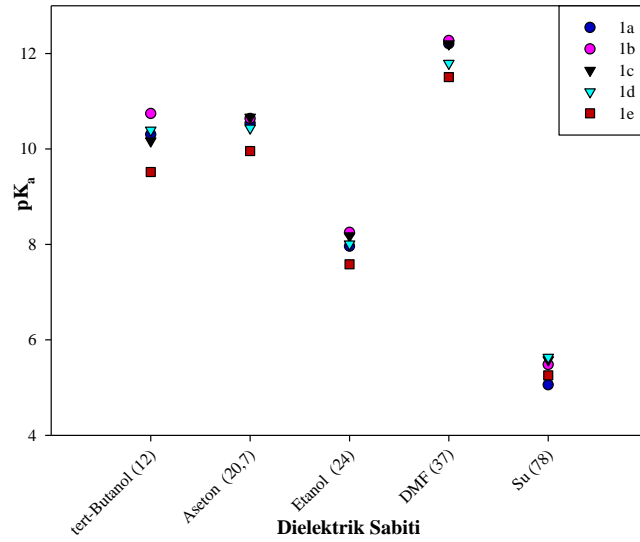
Şekil 6. 3-(4-nitrofenil) propiyonik asidin amfiprotik ve dipolar aprotik çözücülerdeki a) mL (TBAH)- mV grafikleri b) 1. türev grafikleri.

Yarı nötralizasyon potansiyellerine göre tayin edildiği grafikler excel programında çizilmiştir (Özil et al., 2010; Ocak, 2018; Lisa et al., 2019). Hesaplanan H_{np} ve pK_a değerleri Çizelge 2. de verilmiştir.

Çizelge 2. 3-(4-aril) propiyonik asit türevlerinin amfiprotik ve dipolar aprotik çözücülerindeki asitlik kuvvetleri.

BİLEŞİK	Su		Etanol		tert-Butanol		Aseton		DMF	
	pK _a	H _{np}	pK _a	H _{np}	pK _a	H _{np}	pK _a	H _{np}	pK _a	H _{np}
a	5.059	121.7	7.962	-39.3	10.307	-169.4	10.541	-182.4	12.207	-274.8
b	5.483	105.7	8.253	-55.5	10.743	-193.6	10.639	-187.7	12.273	-278.4
c	5.581	100.5	8.181	-51.4	10.168	-161.7	10.667	-189.4	12.202	-274.5
d	5.634	89.7	8.006	-41.8	10.394	-174.2	10.439	-176.7	11.795	-251.9
e	5.255	110.9	7.582	-18.2	9.518	-125.6	9.959	-150.0	11.508	-236.0

3-(4-aril) propiyonik asit türevlerinin amfiprotik ve dipolar aprotik çözücülerde potansiyometrik titrasyon ile tayin edilen asitlik kuvvetleri; fonksiyonel gruplar, otoprotoliz sabiti, Şekil 7. ile gösterilen dielektrik sabiti ve seviyeleme-farklandırma etkisi incelenmiştir.



Şekil 7. 1 bileşikleri için pK_a - dielektrik sabiti grafiği.

Farklı çözücülerdeki asitlik kuvveti sıralamasında kullanılan en önemli parametre dielektrik sabitidir. Beş çözücüdeki teorik asitlik kuvveti sıralamasının tert-butanol < etanol < aseton < DMF < su olması gerektiği belirtilmiş ancak teorik sonuçlar (özellikle dipolar aprotik çözücülerde) elde edilememiştir.

- 1a: Su > Etanol > tert butanol > Aseton > DMF
 1b: Su > Etanol > Aseton > tert butanol > DMF
 1c: Su > Etanol > tert butanol > Aseton > DMF
 1d: Su > Etanol > tert butanol > Aseton > DMF
 1e: Su > Etanol > tert butanol > Aseton > DMF

Literatürde amfiprotik çözücüler için verilen asitlik kuvveti sıralaması (tert-butanol < etanol < su) ile çalışma sonuçlarının uyum gösterdiği belirlenmiştir.

- 1a: Su > Etanol > tert butanol
 1b: Su > Etanol > tert butanol
 1c: Su > Etanol > tert butanol
 1d: Su > Etanol > tert butanol
 1e: Su > Etanol > tert butanol

Teorik olarak dipolar aprotik çözücülerden DMF ortamında bileşiklerin asidik kuvvetinin asetona göre daha fazla olması beklenirken deney sonuçları teorik sıralamanın aksi bir sonuç göstermiştir. Bu durum aşağıdaki gibi açıklanabilir.

Aseton ve N,N- dimetilformamid gibi dipolar aprotik ortamlar liyonyum iyonu oluşturur ancak liyat iyonu oluşturmazlar. HR asit (Moleküler) ve S çözücü ise DMF (protofilik çözücü) aşağıdaki dengeleri oluşturmuştur.



Eşitlik 6. da verilen dengeler için protofilik çözücüler kullanıldığında (1) ve (2) numaralı denge büyük oranda yazıldığı yöne kayarken (3) numaralı denge çok az sağa kayar. (3) numaralı dengede

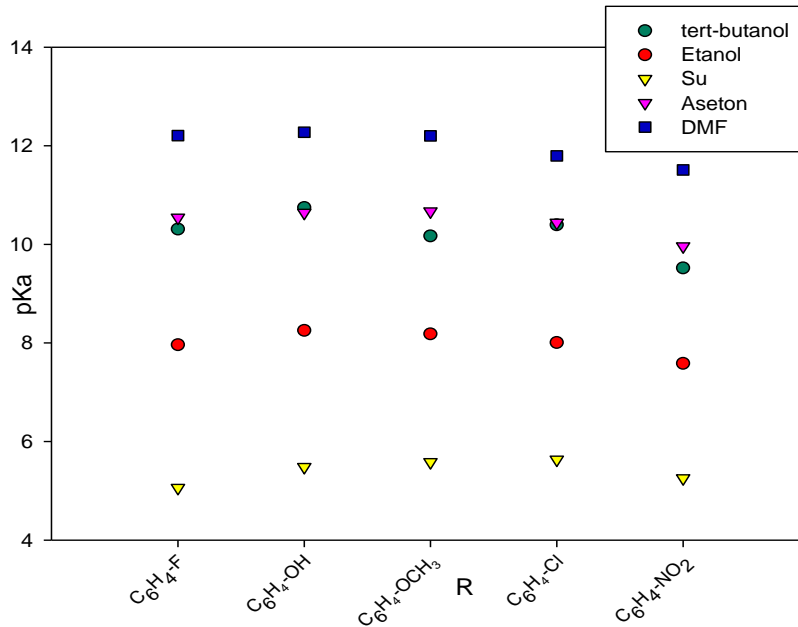
serbest ortamdaki en kuvvetli asit SH^+ dir. Bu tür, titrantla direkt reaksiyon verir. Bununla birlikte aseton gibi protobik çözücü durumunda Eşitlik 6. da denge çok az sağa kayar. (3) numaralı denge ise çok az miktarda sağa kayar. Bu durumda protobik çözücüdeki SH^+ çok daha kuvvetli asittir.

Çizelge 3. Çözücülerin potansiyel aralıkları ve 3-(4-aril) propiyonik asit türevi ölçülen Hnp değerleri.

Çözücü	Potansiyel Aralığı (mV) ^a		Potansiyel Aralığı (mV) ^a		Potansiyel Aralığı (mV) ^b	1 Tipi Bileşiklerin Ölçülen Hnp Aralığı
	-300	+240	-317	+222		
Su	-300	+240	-317	+222	500	89.0 ↔ 121.0
DMF	-1000	+270	-900	+237	1300	-236.0 ↔ -278.0
Aseton	-970	+660	-965	+598	1550	-150.0 ↔ -189.4
Etanol	-	-	-597	+60	-	-18.2 ↔ -55.5
tert-butanol	-	-	-	-	1200	-125.0 ↔ -193.6

^a(Hakli et al., 2008) , ^b(Loeppert et al., 1979)

Otoprotoliz sabiti dikkate alındığında, tert-butanol, etanol, DMF, aseton ve su ortamında bileşiklerin Hnp değerleri ve çözücülerin potansiyel aralıkları Çizelge 3. deki veriler ile kıyaslandığında zayıf asidik olduğu görülmüştür.



Şekil 8. 1 tipi bileşiklerin pKa değerlerinin R gruplarına göre değişim grafiği.

Sonuçlar incelendiğinde 3-(4-aril) propiyonik asit türevlerinin çözücülerde farklılandığı saptanmıştır. Şekil 8. deki 3-(4-aril) propiyonik asit türevlerinin farklı R grupları ile çözücülerdeki tayin edilen pKa değerleri arasında yapı etkisi dikkate alındığında aşağıdaki veriler elde edilmiştir.

- Su** : -C₆H₄F > -C₆H₄NO₂ > -C₆H₄OH > -C₆H₄OCH₃ > -C₆H₄Cl
Etanol : -C₆H₄NO₂ > -C₆H₄F > -C₆H₄Cl > -C₆H₄OCH₃ > -C₆H₄OH
Tert-butanol : -C₆H₄NO₂ > -C₆H₄OCH₃ > -C₆H₄F > -C₆H₄Cl > -C₆H₄OH
Aseton : -C₆H₄NO₂ > -C₆H₄Cl > -C₆H₄F > -C₆H₄OH > -C₆H₄OCH₃
DMF : -C₆H₄NO₂ > -C₆H₄Cl > -C₆H₄OCH₃ > -C₆H₄F > -C₆H₄OH

SONUÇ

Araştırmada elde edilen veriler sonucunda; propiyonik asit türevi bileşiklerin çözücülerin tümünde zayıf asidik olduğu saptanmıştır. Dielektrik sabitine göre asitlik kuvveti sıralandığında DMF ve aseton ortamında teorik sıralamaya uygun olmadığı (Yüksek et al., 2006; Arslantaş et al.,2012), diğer ortamlarda uygun olduğu belirlenmiştir. Beş bileşik tüm çözücülerde farklıdır. Ancak molekül etkisi bakımından incelenmiş fonksiyonel gurupların asidik protona uzaklığı ve çözücü etkisi nedeniyle anlamlı bir fark oluşmadığı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Alkan M, Gürbüz A, Yüksek H, Gürsoy Kol Ö, Ocak Z, 2014. Synthesis and Non-Aqueous Medium Titrations of Some New 3-Alkyl(Aryl)-4-[2-(4-Methoxybenzoxy)- 3-Methoxy]-Benzylidenamino-4,5-Dihydro-1*H* -1,2,4-Triazol-5-Ones. *Caucasian Journal of Science*, 1: 138-147.
- Almeida V R, Szpoganicza B, Bonneville S, 2015. Potentiometric Titration and Out-Of-Equilibrium pH Response of the Biotite-Water System. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 26 (9): 1848-1860.
- Amirdehi M A, Pousti M, Asayesh F, Gharib F, Greener J, 2017. Solvent Effects on Acid–Base Equilibria of Propranolol and Atenolol in Aqueous Solutions of Methanol: UV-Spectrophotometric Titration and Theory. *Journal of Solution Chemistry*, 46:720–733.
- Anonim, 2019. Propiyonik Asit ,(E280) [\(https://ansiklopedi.halisinden.com/Propiyonik Asit \(E280\)\)](https://ansiklopedi.halisinden.com/Propiyonik Asit (E280)) (Erişim Tarihi:14.01.2020).
- Arslantaş A, Yüksek H, Gürsoy Kol Ö, Ocak Z, Tomruk Z, Calapoğlu M, 2012. Study of Antioxidant Properties and DNA Interaction of Some Novel 4,5-Dihydro-1*H* -1,2,4-Triazol-5-One Derivates. *Asian Journal of Chemistry*, 24(8): 3327-3334.
- Bolong W, Fengxia Z, Xiaoning M, Fengjuan Z, 2016. Determination of Chloride in Infant Formula and Adult/Pediatric Nutritional Formula by Potentiometric Titration: Single-Laboratory Validation, First Action 2015.07. *Journal of Association of Official Agricultural Chemists International*, 99 (1): 198-203.
- Gündüz T, 2001. İnrümental Analiz. Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, s.936-940, Ankara-Türkiye.
- Hadjeb R, Barkat D, 2017. Determination of acid dissociation constants of some substituted salicylideneanilines by spectroscopy. Application of the Hammett relation. *Arabian Journal of Chemistry*, 10: S 3646–S3651.
- Hakli O, Ertekin K, Ozer M S, Aycan S, 2008. Determination of p*K*_a Values of Clinically Important Perfluorochemicals in Nonaqueous Media. *Journal of Analytical Chemistry*, 63(11): 1051–1056.
- Huang K, Xu Y, Lu W, Yu S, 2017. A Precise Method for Processing Data to Determine the Dissociation Constants of Polyhydroxy Carboxylic Acids via Potentiometric Titration. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 183:1426–1438.
- İslamoğlu F, Karaali N, Tanyel T, 2016. Calculation of Acid Dissociation Constants And Biological Activities In Some Pyrimidine Derivatives As Known Drug Active Substance. *International Journal of Pharmaceutical, Chemical And Biological Sciences*, 6(4):455-464.
- Katea A S, Basavaraju K C, 2018. A simple potentiometric titration method for estimation of maleic anhydride in high molecular weight styrene-maleic anhydride copolymer. *Polymer Testing*, 65: 369–373.

- Kiani F, Izadi H, Tahermansouri, Koohyar F, 2014. Determination of acidic dissociation constants of glutamine and isoleucine in water using ab initio methods. *Türk Biyokimya Dergisi [Turkish Journal of Biochemistry–Turk J Biochem]*, 39(4): 503–515.
- Kumar S, Babu BV, 2006. A Brief Review on Propionic Acid: A Renewal Energy Source. *Proceedings of National Conference on Environmental Conservation, Plani, September 1-3, 2006*, pp: 459-464.
- Lisa T, Chansyanah D, Marina S, Nina K, Andrian S, 2019. Using Potentiometric Acid-Base Titration to Determine pK_a from Mangosteen Pericarps Extract. *Periódico Tchê Química*, 16, 768-773.
- Loeppert R. H, Zelazny LW, Volk B. G, 1979. Titration of pH-Dependent Sites of Kaolinite In Water and Selected Nonaqueous Solvents. *Clays and Clay Minerals*, 27 (1): 57-62.
- Meloun M, Bordovska S, Syrový T, 2007. A novel computational strategy for the pK_a estimation of drugs by non-linear regression of multiwavelength spectrophotometric pH-titration data exhibiting small spectral changes. *Journal of Physical Organic Chemistry*, 20: 690–701.
- Ocak Z, 2018. Solvent and molecular structure effect on the acidity of 2-furoic acid derivatives. *1st International Balkan Chemistry Congress, Edirne, September 17-21*, pp:40.
- Özil M, İslamoğlu F, Mentеше F, Kahveci B, 2010. Microwave-Assisted Synthesis of Novel 2,4-Dihydro-5-[4-(trifluoromethyl)phenyl]-3H-1,2,4-triazol-3-ones and Potentiometric Determination of Their pK_a in Nonaqueous Solvents. *Helvetica Chimica Acta*, 93(10): 1967-1974.
- Pilarski B, Kaliszan R, Wyrzkowski D, Młodzianowski J, Balinska A, 2015. General Analytical Procedure for Determination of Acidity Parameters of Weak Acids and Bases. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 1- 8.
- Reijenga J, Hoof A, Loon A, Teunissen B, 2013. Development of Methods for the Determination of pK_a Values. *Analytical Chemistry Insights*, 8: 53–71.
- Taskiran D T, Urut GÖ, Ayata S, Alp S, 2017. Spectrofluorimetric and Potentiometric Determination of Acidity Constants of 4-(4'-Acetyloxy-3'-Methoxybenzylidene)- 5-Oxazolone Derivatives. *Journal of Fluoresc*, 27:521–528.
- Yokuş Ö A, Yüksek H, Kol Ö G, Karaoğlu Ş A, 2015. Synthesis and Biological Evaluation of New 1,2,4-triazole Derivatives with Their Potentiometric Titrations. *Medicinal Chemistry Research*, 24:2813–2824.
- Yüksek H, Akyıldırım O, Kol Ö G, 2013. Synthesis and In Vitro Antioxidant Evaluation of New 1,3,5-Tri- {2-methoxy-4-[(4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-yl)-azomethine]-phenoxy-carbonyl}-Benzene Derivatives. *Journal of Chemistry*, 1–8.
- Yüksek H, Küçük M, Alkan M, Bahçeci Ş, Kolaylı S, Ocak Z, Ocak U, Şahinbaş E, Ocak M, 2006. Synthesis and Antioxidant Activities of Some New 4-(4-Hydroxy-benzyliden-amino)-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-one Derivatives with Their Acidic Properties. *Asian Journal of Chemistry*, 18(1):539-550.
- Zafar S, Akhtar S, Tariq T, Mushtaq N, Akram A, Ahmed A, Arif M, Naeem S, Anwar S, 2014. Determination of pK_a values of new phenacyl-piperidine derivatives by potentiometric titration method in aqueous medium at room temperature ($25\pm 0.5^\circ\text{C}$). *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 27 (4): 925-929.

Adsorption of Aniline from Aqueous System by Highly Fluorinated Polymers of Intrinsic Microporosity (PIM-2)

Bekir SATILMIŞ^{1*}

ABSTRACT: Polymers of Intrinsic Microporosity (PIMs) are documented as suitable materials for organic adsorption applications. Intrinsic porous structure along with a solution-processability behaviour make them attractive for the adsorption of organic contaminants from water. In this research, PIM-2 powder was synthesised and the exploitation of PIM-2 for aniline removal was studied using a batch adsorption process. The effect of several variables were explored including initial aniline concentration, adsorption time and temperature. Adsorption reached the equilibrium after five hours and experimental adsorption capacity ($q_{e, exp}$) was found as 79.7 mg g⁻¹ for aniline at pH 6 and 298K. Isotherm (Langmuir, Freundlich and Liu) and kinetic models (pseudo first order and pseudo second order) and elovich model were applied using non-linear regression analysis. In addition, various errors analysis approaches were used to determine the most appropriate isotherm and kinetic models. Pseudo second order model and Liu isotherm fitted well for aniline adsorption. Maximum adsorption capacity (q_m) were computed as 82.4 mg g⁻¹ for aniline at pH 6 and 298 K based on the Liu adsorption model. Thermodynamic studies revealed that the adsorption process was physical, spontaneous and exothermic.

Keywords: Polymers of Intrinsic Microporosity (PIM-2), aniline, adsorption, kinetic, isotherm, thermodynamic.

¹ Bekir SATILMIŞ (Orcid ID: 0000-0002-3704-8628), Kirsehir Ahi Evran University, Vocational School of Health Services, Department of Medical Services and Techniques, Kirsehir, Turkey

*Corresponding Author: Bekir SATILMIŞ, e-mail: bekir.satilmis@ahievran.edu.tr

INTRODUCTION

Aniline is a broadly employed organic precursor for producing polymeric materials, pharmaceuticals, rubber accelerators, pigments, and dyes (Rahdar et al., 2020; Yi et al., 2020). It is an extremely toxic compound that can cause serious damage on human body as it can react with the blood and convert haemoglobin into methaemoglobin. Long-term exposure to aniline may cause a blood disorder for the human body (Midda et al., 2018). It also poses a threat to the aquatic environment since it is a persistent chemical with bio-accumulative potential (Zeng and Huang, 2020). In recent years, aniline demand has increased in parallel with the industrial developments. Increased usage of aniline has also raised its emission into the aquatic environment (Gao et al., 2015). Thus, the removal of aniline from water has a practical significance. Various removal methods have been proposed including adsorption (An et al., 2010), biodegradation (Gheewala and Annachhatre, 1997) and oxidation (Sriprom et al., 2014). Adsorption by porous materials is a commonly used method due to the simplicity and efficiency against other methods.

Polymers of intrinsic microporosity (PIMs) are novel polymeric compounds which display excellent properties due to their rigid and contorted assemblies (Budd et al., 2004). They exhibit high surface area and high free volume (Budd et al., 2005; McKeown et al., 2005). They also show solution-processability which makes them distinguishable against other porous materials since most of the porous adsorbents are insoluble. A number of PIM polymers have been synthesised but PIM-1 has gained the main attention as it can be synthesised using commercially available monomers. It can also be generated in different forms owing to the high molecular weight (Budd et al., 2008). Recently, PIM-1 has been used for aniline removal from air and water in the form of fiber, powder and film (Satilmis and Uyar, 2018). The study shows that powder and fiber adsorption capacities and kinetics are quite close to each other while the film form shows slower adsorption. Additionally, handling simplicity makes the fiber more practical for real-time applications. Recently, we have synthesised high surface area PIM-2 polymer using commercially available monomers; Decafluorobiphenyl (DFBP) and 5,5',6,6'-Tetrahydroxy-3,3,3',3'-tetramethyl-1,1'-spirobisindane (TTSBI) by improving the previous synthesis method (Sato et al., 2018; Satilmis and Uyar, 2019). PIM-2 is soluble in common laboratory solvents such as tetrahydrofuran, chloroform and tetrachloroethane. Hence, we have presented the successful production of electrospun PIM-2 fibers (Satilmis and Uyar, 2019) and PIM-2 dense membranes (Fuoco et al., 2020). Since the membrane production of PIM-2 was not possible until recently, its adsorptive properties have not been examined in detailed yet.

Therefore, in the present research, we synthesised PIM-2 polymer and subsequently the aniline adsorption performance of PIM-2 from water was explored. To our knowledge, no one has studied the aniline removal efficiency of PIM-2 from water. As we predicted, PIM-2 can effectively remove aniline from an aqueous system. Ability to produce PIM-2 in dense and fibrous membrane forms may enable its practical use in various separation applications. Furthermore, the effect of operating conditions on the adsorption process was studied prior to determining adsorption isotherms, kinetic models and thermodynamic constants.

MATERIALS AND METHODS

Materials

5,5',6,6'-Tetrahydroxy-3,3,3',3'-tetramethyl-1,1'-spirobisindane (98%, TTSBI) and potassium carbonate (99.0%, anhydrous, K_2CO_3) were purchased from Alfa Aeser. TTSBI was recrystallized based on the reported procedure (Satilmis and Uyar, 2019). Decafluorobiphenyl (99%, DFBP), methanol

(≥99.9%, MeOH), aniline (99%) and dimethylformamide (99.8%, DMF), were received from Sigma Aldrich and used as purchased.

Synthesis and characterization of PIM-2

Synthesis and characterization of PIM-2 polymer was carried out as described in our previous study (Satilmis and Uyar, 2019). Briefly, TTSBI, K₂CO₃, and anhydrous DMF were mixed in a flask under argon atmosphere. Then, complete dissolution was achieved by heating the mixture to 100 °C. Meanwhile, DFBP was dissolved in anhydrous DMF and this solution was injected into the reaction mixture. The reaction was executed at 100 °C for 48 h and the product was treated with an aqueous HCl (5% v/v) before drying at 150 °C for overnight.

Methods

FT-IR spectrum was recorded on a Bruker Vertex 70 FT-IR spectrometer. ¹H NMR spectrum was compiled using a Bruker (DPX-400 MHz) NMR spectrometer in CDCl₃. Thermal changes of PIM-2 powder were investigated using TA Q500 thermogravimetric analyser under nitrogen atmosphere. Quantitative determination of aniline was accomplished by Genesis10s UV-Vis spectrometer.

Sorption studies

Aniline stock (500 mg L⁻¹) was prepared in deionized water. Genesis 10s UV-Vis spectrometer was used to record the absorbance values of calibration solutions at 280 nm (λ_{max}). Adsorption experiments were conducted in 20 mL aniline solutions in the concentration ranging from 50 to 500 mg L⁻¹ using a batch process. 10 mg PIM-2 powder was placed in aniline solutions and stirred for 5h. 100 μL solution was taken and diluted by water. Adsorbed aniline, q_e (mg g⁻¹), was calculated using equation 1.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{w} \quad (1)$$

where, C_0 (mg L⁻¹), and C_e (mg L⁻¹) exhibits the solution concentrations at the initial and at the equilibrium, respectively. V (L) is the volume of aniline solution and w (g) represents the amount of PIM-2. All adsorption experiments were conducted as triplicates and mean values were used.

The effect of contact time was studied using 50 and 500 mg L⁻¹ aniline solution for 5 h. The impact of initial concentration was investigated in the range of 50 to 500 mg L⁻¹. The effect of temperature was explored using the solution temperatures of 283, 298, 313 K at natural pH.

Non-linear regression analysis method was applied to calculate the constants of isotherms and kinetic models. Microsoft Excel (Solver add-in) was operated to predict the data. As stated recently (Lima et al., 2019), the non-linear method is indispensable for obtaining correct parameters, particularly for thermodynamic parameters. Experimental and calculated equilibrium data was also compared by means of the correlation coefficient (R^2), chi-square test (χ^2) and the relative error (Δq) methods as displayed in Equation 2-5 (Günay et al., 2007; Foo and Hameed, 2010).

$$SSE = \sum_{i=1}^n (q_{e,cal} - q_{e,exp})_i^2 \quad (2)$$

$$R^2 = \frac{(q_{e,exp} - \bar{q}_{e,cal})^2}{\sum (q_{e,exp} - \bar{q}_{e,cal})^2 + (q_{e,exp} - q_{e,cal})^2} \quad (3)$$

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(q_{e,cal} - q_{e,exp})^2}{q_{e,exp}} \quad (4)$$

$$\Delta q (\%) = \sqrt{\sum \frac{[(q_{e,exp} - q_{e,cal})/q_{e,exp}]^2}{N - 1}} \times 100 \quad (5)$$

where $(q_{e,exp})$, $(q_{e,cal})$ and $(\bar{q}_{e,cal})$ represent experimental, calculated and the mean value of calculated equilibrium capacities, respectively. The number of measurements was denoted by N.

RESULTS AND DISCUSSION

Characterization of PIM-2

Polymers of intrinsic microporosity (PIMs) have attained adequate consideration owing to their high surface area and high free volume. Although the first-generation PIM polymers (PIM-(1-6)) have been reported in 2004, the reported procedure only enables the production of PIM-1 with a high molecular weight. PIM-1 could be produced using commercially available monomers and it is soluble in common laboratory solvents such as chloroform and tetrahydrofuran. A combination of high molecular weight and solution-processability enable the production of PIM-1 in different forms including powder (Budd et al., 2008), fiber (Satilmis and Uyar, 2018) and film forms (Budd et al., 2008). Hence, various application opportunities are possible for PIM-1 including adsorption, catalysis, gas separation and sensor (McKeown and Budd, 2006). Although PIM-2 shows similar properties with PIM-1 such as synthesis from commercial monomers (Figure 1a), solubility in common organic solvents, high surface area ($600 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) and high free volume, the production of PIM-2 with a high molecular weight was managed only recently (Satilmis and Uyar, 2019). Therefore, the adsorptive properties of PIM-2 have not been investigated in detail yet. For this reason, we have first synthesised and characterized PIM-2 based on the reported procedure (Satilmis and Uyar, 2019). The purity of PIM-2 was confirmed using FT-IR and ^1H NMR spectroscopies and TGA technique.

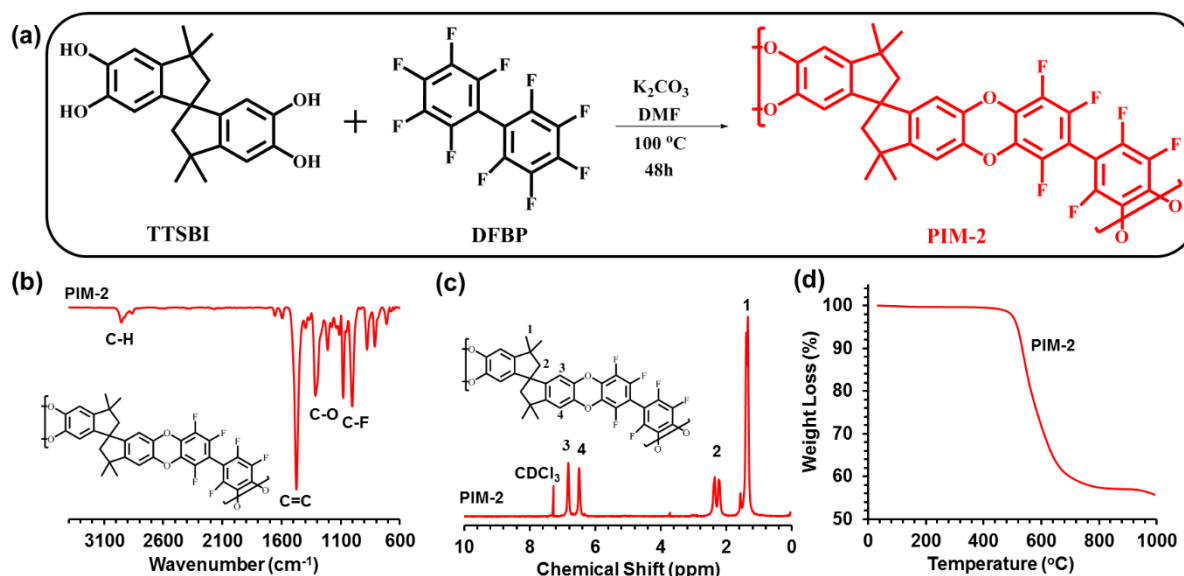


Figure 1. (a) Synthesis path of PIM-2, (b) FT-IR and (c) ^1H NMR spectra and (d) TGA of PIM-2

FT-IR spectrum of PIM-2 is presented in Figure 1b showing aliphatic C-H peaks ($\sim 3000 \text{ cm}^{-1}$), aromatic C-C stretches (1491 cm^{-1}), C-O (1299 cm^{-1}) and C-F (1076 and 995 cm^{-1}) vibrations (Sato et

al., 2018). ^1H NMR spectrum of PIM-2 is displayed in Figure 1c exhibiting characteristic PIM peaks arise from TTSBI units which are aliphatic protons (1.0 to 2.5 ppm: H1 and H2) and aromatic protons (6.1-7.0 ppm: H3, H4) (Sato et al., 2018; Satilmis and Uyar, 2019). Moreover, thermal behaviour of PIM-2 was studied using TGA to ensure no residuals remain in the polymer. As displayed in Figure 1d, PIM-2 shows no weight loss before 500 °C after which backbone degradation occurs (Satilmis and Uyar, 2019). Following that we have examined the affinity of PIM-2 against aniline in a batch adsorption process.

Effect of contact time

The relationship between the contact time and aniline uptake onto PIM-2 is demonstrated in Figure 2a using two different initial aniline concentrations (50 and 500 mg L⁻¹). It is apparent that the adsorbed amount increased instantly with the time. Approximately 56% of adsorption occurred at the first 30 min and the equilibrium was accomplished within 300 min after which the adsorption remained almost constant. This behaviour could be interpreted by the vacancy of the active sites on the PIM-2. Initially, active sites were unoccupied and the availability was reduced by the time (Harrache et al., 2019; Igberase et al., 2019).

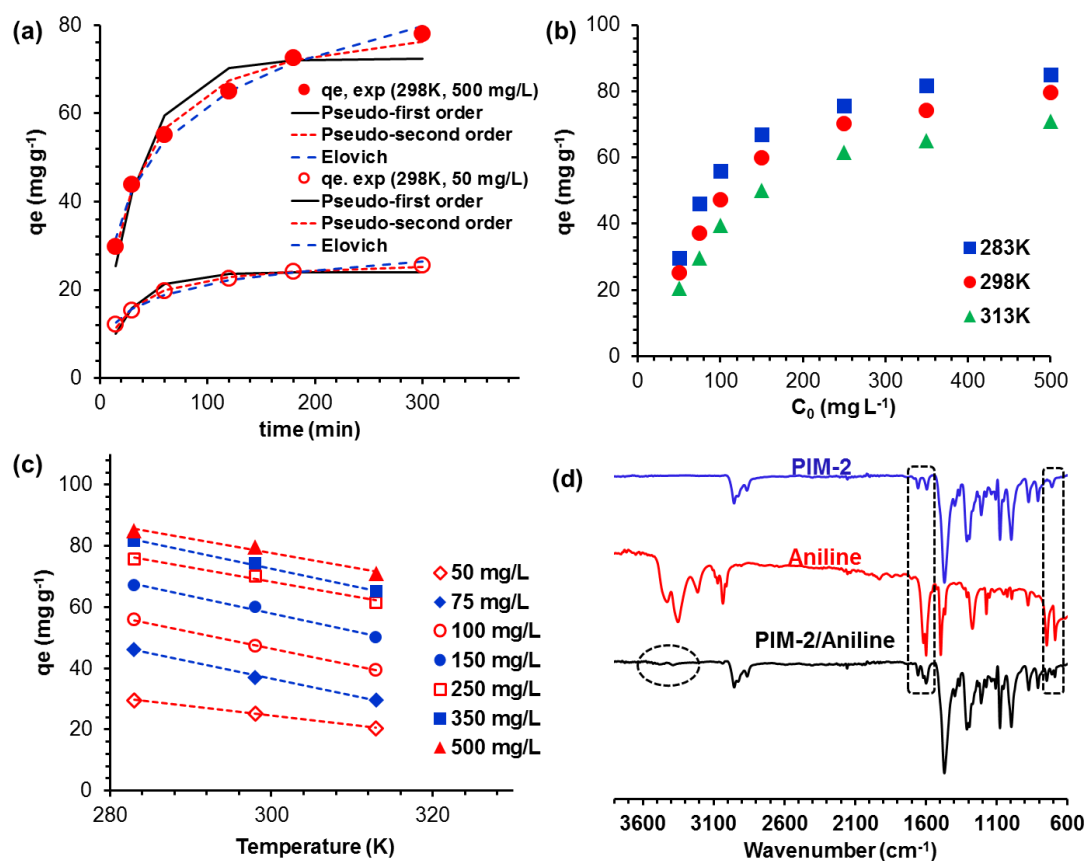


Figure 2. (a) Effect of contact time and applied kinetic models, (b) effect of initial aniline concentration and (c) effect of temperature on the adsorption of aniline onto PIM-2. (d) FT-IR spectra of PIM-2, aniline and PIM-2 after in contact with aniline.

Effect of initial concentration

Figure 2b illustrates the relationship between initial aniline concentrations and equilibrium adsorption capacity of PIM-2 at three different temperatures. As displayed in Figure 2b, increasing the

initial concentration causes a marked increase in the adsorption. When it was elevated from 50 to 500 mg L⁻¹, the maximum uptake was raised from 25.2 to 79.7 mg g⁻¹ at 298 K. Similar trends were also observed at 283 and 313 K temperatures.

Impact of temperature

The effect of temperature on the adsorption was assessed at 283, 298 and 313 K. Adsorption capacities reduced with increased temperature at various concentrations, as depicted in Figure 2c. The equilibrium capacity reduced from 85.1 to 71 mg g⁻¹ at 500 mg L⁻¹ aniline concentration when the solution temperature was elevated from 283 to 313 K. This indicates that low temperature favors the aniline removal by PIM-2 and is exothermic in nature.

Adsorption kinetics

The adsorption kinetic is a vital parameter for choosing optimum operating conditions. Figure 2a exhibits the relationship between equilibrium adsorption (q_e) capacity and contact time. Finding the variables by linear regression method brings some drawbacks as it presumes that the scatter around the line obeys Gaussian distribution. On the other hand, using a non-linear regression method provides more reliable data but it also requires a more complex mathematical approach. Therefore, in the present study, three non-linear kinetic models were employed; pseudo-first-order (PFO) (Lagergren, 1898), pseudo-second-order (PSO) (Ho and McKay, 1999), and Elovich equation (McLintock, 1967) models. Applied equations for the stated models are presented in Table 1.

The interaction between adsorbent (PIM-2) and adsorbate (aniline) could be deduced from the best fitting kinetic model. When one aniline molecule interacts with one active site of PIM-2, this is usually described by PFO model (Liu et al., 2017; Khan et al., 2018). On the other hand, if it interacts with two active sites of PIM-2, it usually follows the PSO model. Elovich equation is mostly valid for heterogeneous surfaces and is used to describe chemisorption kinetic (McLintock, 1967). Calculated kinetic parameters and their error analysis data are demonstrated in Table 1. It has been stated that the comparison of kinetic data by a single analysis method may cause misinterpretation of the data (Lima et al., 2015). Thus, using a combination of these analysis methods is necessary to detect the best model. In general, the highest value of R² and the lowest values of SSE, χ^2 and Δq would reveal the best model. In the beginning, the adsorption kinetic was studied using 500 mg L⁻¹ initial aniline concentration to distinguish the best kinetic model. However, PSO model and Elovich model could not be distinguished within the precision of data presented in Figure 2a. As displayed in Table 1, while the highest value of R² and the lowest value of Δq are obtained in the PSO model, Elovich model shows the lowest values of SSE and χ^2 . A possible reason for this inconsistency was thought to be originated from diluting problems. Therefore, we have performed the same experiments with 50 mg L⁻¹ initial aniline concentrations to reduce the error from the experiment. However, the precision of the data was still insufficient to distinguish between the two models. Since we are aiming to measure small concentration differences in a short time, the solubility or the volatility of the aniline in water may affect the UV results. Consequently, we used FT-IR spectroscopy to understand whether the interaction between PIM-2 and aniline is physical or chemical. In the case of chemical interactions (chemisorption), new vibrations should be observed in aniline adsorbed PIM-2 spectrum. Figure 2d shows the FT-IR spectra of PIM-2, aniline and PIM-2 after in-contact with aniline samples. As can be seen, no new vibrations or shifts can be distinguished from the spectra, which suggests that the interaction between PIM-2 and aniline is physical. Thus, we have concluded that the PSO model is more suitable for defining the adsorption process.

Table 1. Kinetic equations and obtained data for aniline adsorption onto PIM-2 using 50 and 500 mg L⁻¹ initial aniline solutions.

Kinetic model	Equation*	Parameter	Aniline (500 mg L ⁻¹)	Aniline (50 mg L ⁻¹)
Pseudo First Order Model	$q_t = q_{e,cal}(1 - \exp(-k_1 t))$	$q_e, \text{exp.}(\text{mg g}^{-1})$	78.0	25.6
		$k_1 (\text{min}^{-1})$	0.029	0.037
		$q_{e\text{-model}} (\text{mg g}^{-1})$	72.5	24.0
		SSE	101.3	10.9
		R^2	0.943	0.927
		χ^2	1.91	0.65
Pseudo Second Order Model	$q_t = \frac{q_{e,cal}^2 k_2 t}{1 + q_{e,cal} k_2 t}$	$\Delta q (\%)$	9.1	9.3
		$k_2 (\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1})$	0.0004	0.0018
		$q_{e\text{-model}} (\text{mg g}^{-1})$	83.5	26.9
		SSE	13.9	1.0
		R^2	0.999	0.999
		χ^2	0.24	0.10
Elovich	$q_t = \frac{1}{b} \ln ab + \frac{1}{b} \ln t$	$\Delta q (\%)$	3.0	3.8
		$\beta (\text{g mg}^{-1})$	0.062	0.216
		$a (\text{mg g}^{-1} \text{min}^{-1})$	7.61	4.61
		SSE	10.2	1.9
		R^2	0.994	0.986
		χ^2	0.22	0.09
		$\Delta q (\%)$	3.3	3.1

*: $q_{e, cal}$ represents calculated adsorption capacity. The uptake at time t is denoted by q_t . k_1 , k_2 , and k_i are the rate constants. a and b are the rate constants of the Elovich model

Adsorption isotherms

Aniline adsorption onto PIM-2 was determined as a function of aniline concentration at the equilibrium (Figure 3) to explain the adsorption process (Ahmadi et al., 2019). Data was analyzed by three isotherm models (Langmuir (Langmuir, 1916), Freundlich (Freundlich, 1906), and Liu (Liu et al., 2003)) using the non-linear approach. The non-linear equations, values of estimated isotherm constants and their statistical parameters are represented in Table 2 for respective isotherm models. Figure 3 displays the experimental and calculated aniline uptakes by PIM-2 for three different temperatures; 283K, 298K and 313K.

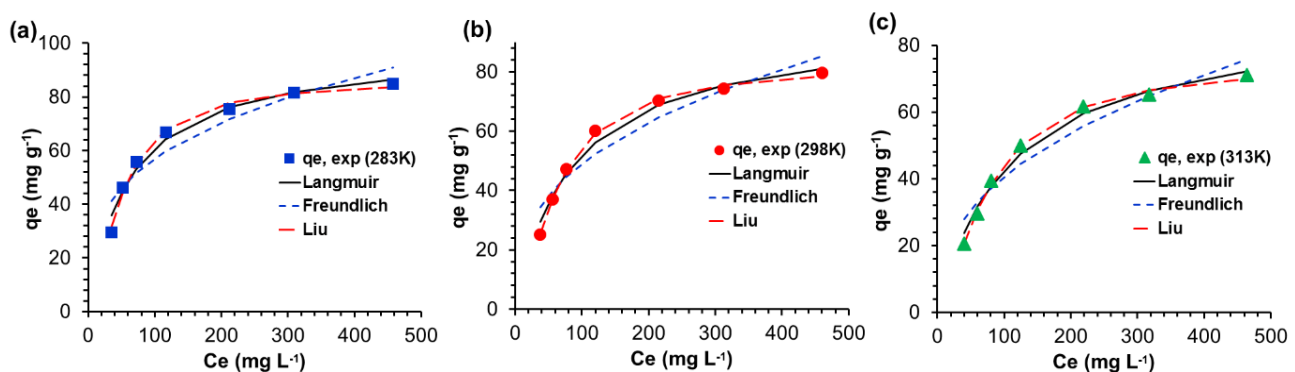
**Figure 3.** Comparison of adsorption isotherms for aniline adsorption on PIM-2 at (a) 283K, (b) 298K and (c) 313K

Table 2. Isotherm equations and obtained data for aniline adsorption onto PIM-2

Isotherm	Equation*	Parameters	Aniline		
			Temperature (K)		
			283	298	313
Langmuir	$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e}$	q_m (mg g ⁻¹)	98.1	96.0	89.3
		K_L (L mg ⁻¹)	0.016	0.012	0.009
		R_L	0.11	0.14	0.18
		SSE	0.55	0.63	0.69
		R^2	57.92	42.22	31.18
		χ^2	0.977	0.983	0.986
		Δq (%)	1.606	1.136	0.971
Freundlich	$q_e = K_F C_e^{1/n}$	$1/n$	9.00	7.76	7.78
		K_F (L g ⁻¹)	0.31	0.36	0.41
		SSE	13.78	9.30	6.23
		R^2	260.78	219.46	159.09
		χ^2	0.904	0.919	0.932
		Δq (%)	6.38	5.55	4.68
			17.40	16.88	16.97
Liu	$q_e = \frac{q_m (K_{Liu} C_e)^{n_{Liu}}}{1 + (K_{Liu} C_e)^{n_{Liu}}}$	q_m (mg g ⁻¹)	86.36	82.36	75.19
		K_{Liu} (L mg ⁻¹)	0.020	0.016	0.013
		n_{Liu}	1.54	1.51	1.46
		SSE	16.92	4.58	5.19
		R^2	0.993	0.998	0.998
		χ^2	0.342	0.067	0.106
		Δq (%)	3.67	1.33	2.01

*: q_m is the equilibrium uptake, C_e (mg L⁻¹) is the aniline concentration at the equilibrium. K_L , K_F , K_{Liu} are the constants. n_{Liu} is the model exponent of Liu isotherm. $1/n$ is the adsorption intensity

Regarding isotherm models, Langmuir and Freundlich are the most used two-parameter isotherm models. Langmuir isotherm proposes that the adsorption happens merely a single layer on the homogenous adsorbent surface. Hence, following the monolayer formation no further adsorption takes place. Freundlich isotherm suggests the heterogeneity of the adsorbent surface (Foo and Hameed, 2010). Additionally, Liu isotherm is a three-parameter isotherm model which incorporates Langmuir and Freundlich models (Liu et al., 2003; Lima et al., 2015). Thus, the infinite adsorption by Freundlich and the monolayer adsorption by Langmuir are discarded by Liu model. Besides, Liu model does not have any limitation considering the exponent value (n_{Liu}), which can be any positive value unlike other three-parameter isotherm models such Sips and Redlich-Peterson isotherms exponents (Lima et al., 2015). Therefore, these three isotherm models were selected to investigate the most appropriate model for aniline adsorption onto PIM-2. Considering the isotherm models, Liu isotherm model have the greatest correlation coefficients (R^2) and the lower statistical errors compared to Langmuir and Freundlich models. The experimental and calculated values show the best correlation in Liu model, which indicates the coexistence of heterogenous and monolayer surface conditions. Table 2 shows the calculated q_m values and isotherm parameters for aniline adsorption at different temperatures.

Adsorption thermodynamics

Studying adsorption in different temperatures provides valuable information about thermodynamic parameters (Gibbs free energy; ΔG° , enthalpy change; ΔH° , and entropy change; ΔS°) and, thus, the practicality of the adsorption process. The estimation of these parameters is usually achieved using the Van't Hoff equation (Equation 6) (Ghosal and Gupta, 2017; Lima et al., 2019). Thus, the basic requirement for obtaining correct thermodynamic parameters is to use correct equilibrium constant values (K).

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K \quad (6)$$

where R indicates the gas constant, T shows temperature (K) and K represents thermodynamic equilibrium constant.

Equation 6 can be combined with Equation 7 by considering the 3rd principle of the thermodynamics to derive Equation. 8.

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ \quad (7)$$

$$\ln K = -\frac{\Delta H^\circ}{RT} + \frac{\Delta S^\circ}{R} \quad (8)$$

Ultimately, enthalpy (ΔH°) and entropy (ΔS°) values could be deduced from the plot of $\ln K$ versus $1/T$. Adsorption literature provides various ways to obtain equilibrium constants. However, as reported recently (Lima et al., 2019), most of these methods may generate incorrect equilibrium constants. Lima et al. (Lima et al., 2019) have demonstrated that correct equilibrium constant could only be attained by acquiring adsorption isotherms at various temperatures and then generating their non-linear fittings. Then, the dimensionless equilibrium constant could be derived from the equilibrium constant of the best fitted isotherm (Equation 9).

$$K = \frac{K_L \times 1000 \times \text{molecular weight of adsorbate}}{\gamma} \quad (9)$$

According to isotherm data, Liu isotherm gave the best fit for the adsorption of aniline onto PIM-2. Hence, equilibrium constants (K) were derived from Liu constants (K_{Liu}). Plots of $\ln K$ against $1/T$ (Figure 4) provides ΔH° and ΔS° values (Table 3) based on the Equation 8. The negative value of ΔH° ($-10.8 \text{ kJ mol}^{-1}$) reveals that the adsorption is an exothermic process. The positive value of ΔS° ($24.4 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$) denotes an improved randomness at the solid/solution interface. Additionally, ΔG° values were in the range of -17.7 to $-18.4 \text{ kJ mol}^{-1}$ showing the adsorption of aniline onto PIM-2 is spontaneous and physical as the free energy change is lower than 40 kJ mol^{-1} (Satilmis, 2020).

Consequently, the present study showed that PIM-2 exhibits similar adsorption properties with PIM-1 polymer which showed high aniline uptake reported recently (161.2 mg g^{-1}) (Satilmis and Uyar, 2018). The previous study with PIM-1 was mainly focussed on the adsorption capacity rather than the kinetic and thermodynamic studies. Regarding the equilibrium time, both polymers can reach the maximum aniline uptake within the 5h. Although PIM-2 capacity is lower than that of PIM-1, it displays greater adsorption capacity than many other adsorbents. Indeed, Table 4 displays the most promising polymer-based materials/resins and their maximum adsorption capacities for the removal of aniline. As can be seen, the adsorption capacity (q_m) of these polymers can reach up to 1059 mg g^{-1} (AZO-POP-1) (Zhou et al., 2018). However, all these polymeric adsorbents are produced by crosslinking which makes resulting material insoluble and unprocessable. Thus, they can only be used in the powder form. One of

the most remarkable features of PIMs is that they could be produced in the fiber form which provides a significant advantage over other insoluble adsorbents in practical applications (Satilmis and Uyar, 2019). PIM-1 and PIM-2 could be used as promising supports for these high-performance materials for further application purposes. Moreover, PIM-2 could be considered even better material than PIM-1 since the fiber production by electrospinning can be scaled up easily with respect to PIM-1 (Satilmis and Uyar, 2019).

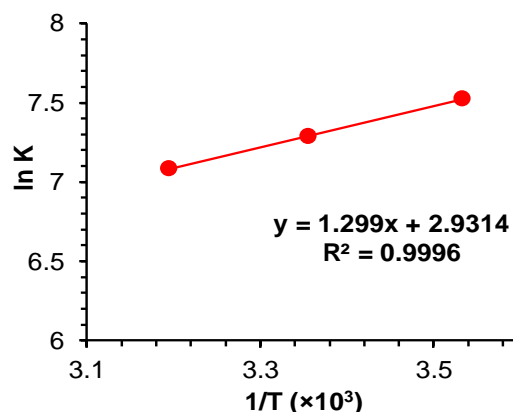


Figure 4. Plot of ln K versus 1/T for aniline adsorption on PIM-2

Table 3. Calculated values of K and thermodynamic parameters.

Isotherm	Parameters	Aniline		
		Temperature (K)		
		283	298	313
Liu	ln K	7.52	7.29	7.08
	ΔH (kJ mol ⁻¹)		-10.8	
	ΔS (J K ⁻¹ mol ⁻¹)		24.4	
	ΔG (kJ mol ⁻¹)	-17.70	-18.06	-18.43

Table 4. Comparison of polymer-based adsorbents for aniline removal.

Adsorbent	Experimental conditions		q_m (mg g ⁻¹)	Ref
	T (K)	pH		
β -CD polymer crosslinked by citric acid (P1)	303	n.a	9.69	(Zhao et al., 2009)
PMMA/SiO ₂	273	8	140	(An et al., 2010)
Calix[6]-1,4-crown-based polymer	298	6-10	214.2	(Guo et al., 2012)
Hyper-cross-linked resin modified with phenolic hydroxyl group (GQ03)	293	n.a	188.3	(Xiao and Long, 2012)
Sawdust- β -CD polymers	288	7	84	(Hu et al., 2014)
Molecularly imprinted polymers (MIPs)	298	7	0.76	(Huang et al., 2014)
Phenol-modified hyper-cross-linked resins (HCP-P-5%)	298	n.a	169.2	(Kuang et al., 2017)
Azo-linked porous organic polymers (AZO-POP-1)	293	n.a	1059	(Zhou et al., 2018)
Electrospun PIM-1 fiber	293	6	161.2	(Satilmis and Uyar, 2018)
ST-DVB-WH57	303	n.a	327.5	(Yu et al., 2018)
Porous hyper-cross-linked polymers modified with phenolic hydroxyl groups (PHBA-HCLP)	298	n.a	184.8	(Wang et al., 2018)
Polydivinylbenzene cryogels	298	n.a	333.3	(Guo et al., 2019)
PS-PH-HCP	303	n.a	178.8	(Gan et al., 2019)
Anisole-modified hyper-cross-linked resin (PS-AI-HCLR)			200.6	(Zeng and Huang, 2020)
PIM-2 powder	298	6	82.4	This work

CONCLUSIONS

PIM-2 was assessed as a potential adsorbent for aniline removal from water. Adsorption isotherm and kinetic models were analysed by non-linear regression analysis method. Additionally, obtained data were compared using several error analysis methods to determine the best model. Liu isotherm offers the highest accuracy for predicting the adsorption of aniline onto PIM-2. The equilibrium adsorption capacity (q_m) was determined as 82.4 mg g^{-1} at pH 6 and 298K. The kinetic process can be predicted by the pseudo second-order kinetic model. Calculated thermodynamic parameters suggested spontaneous and exothermic process and adsorption is more favorable at low temperature.

REFERENCES

- Ahmadi M, Mohammadian M, Khosravi-Nikou MR, Baghban A, 2019. Experimental, Kinetic, and Thermodynamic Studies of Adsorptive Desulfurization and Denitrogenation of Model Fuels Using Novel Mesoporous Materials. *Journal of Hazardous Materials*, 374: 129-139.
- An F, Feng X, Gao B, 2010. Adsorption Property and Mechanism of Composite Adsorbent PMMA/SiO₂ for Aniline. *Journal of Hazardous Materials*, 178 (1): 499-504.
- Budd PM, Ghanem BS, Makhseed S, McKeown NB, Msayib KJ, Tattershall CE, 2004. Polymers of Intrinsic Microporosity (PIMs): Robust, Solution-Processable, Organic Nanoporous Materials. *Chemical Communications*, (2): 230-231.
- Budd PM, McKeown NB, Fritsch D, 2005. Free Volume and Intrinsic Microporosity in Polymers. *Journal of Materials Chemistry*, 15 (20): 1977-1986.
- Budd PM, McKeown NB, Ghanem BS, Msayib KJ, Fritsch D, Starannikova L, Belov N, Sanfirova O, Yampolskii Y, Shantarovich V, 2008. Gas Permeation Parameters and Other Physicochemical Properties of a Polymer of Intrinsic Microporosity: Polybenzodioxane PIM-1. *Journal of Membrane Science*, 325 (2): 851-860.
- Foo KY, Hameed BH, 2010. Insights into the Modeling of Adsorption Isotherm Systems. *Chemical Engineering Journal*, 156 (1): 2-10.
- Freundlich H, 1906. Over the Adsorption in Solution. *Journal of Physical Chemistry*, 57: 385-471.
- Fuoco A, Satilmis B, Uyar T, Monteleone M, Esposito E, Muzzi C, Tocci E, Longo M, De Santo MP, Lanč M, Friess K, Vopička O, Izák P, Jansen JC, 2020. Comparison of Pure and Mixed Gas Permeation of the Highly Fluorinated Polymer of Intrinsic Microporosity PIM-2 under Dry and Humid Conditions: Experiment and Modelling. *Journal of Membrane Science*, 594: 117460.
- Gan Y, Chen G, Sang Y, Zhou F, Man R, Huang J, 2019. Oxygen-Rich Hyper-Cross-Linked Polymers with Hierarchical Porosity for Aniline Adsorption. *Chemical Engineering Journal*, 368: 29-36.
- Gao D-W, Hu Q, Pan H, Jiang J, Wang P, 2015. High-Capacity Adsorption of Aniline Using Surface Modification of Lignocellulose-Biomass Jute Fibers. *Bioresource Technology*, 193: 507-512.
- Gheewala SH, Annachatre AP, 1997. Biodegradation of Aniline. *Water Science and Technology*, 36 (10): 53-63.
- Ghosal PS, Gupta AK, 2017. Determination of Thermodynamic Parameters from Langmuir Isotherm Constant-Revisited. *Journal of Molecular Liquids*, 225: 137-146.
- Günay A, Arslankaya E, Tosun İ, 2007. Lead Removal from Aqueous Solution by Natural and Pretreated Clinoptilolite: Adsorption Equilibrium and Kinetics. *Journal of Hazardous Materials*, 146 (1): 362-371.
- Guo F, Wang Y, Chen X, Chen M, He W, Chen Z, 2019. Supermacroporous Polydivinylbenzene Cryogels with High Surface Area: Synthesis by Solvothermal Postcrosslinking and Their Adsorption Behaviors for Carbon Dioxide and Aniline. *Journal of Applied Polymer Science*, 136 (27): 47716.
- Guo H, Yang F, Chai X, Jiao Z, Li C, 2012. Synthesis of Novel Calix[6]-1,4-Crown-Based Netty Polymer and Its Excellent Adsorption Capabilities for Aniline Derivatives. *Iranian Polymer Journal*, 21 (7): 451-456.
- Harrache Z, Abbas M, Aksil T, Trari M, 2019. Thermodynamic and Kinetics Studies on Adsorption of Indigo Carmine from Aqueous Solution by Activated Carbon. *Microchemical Journal*, 144: 180-189.

- Ho YS, McKay G, 1999. Pseudo-Second Order Model for Sorption Processes. *Process Biochemistry*, 34 (5): 451-465.
- Hu Q, Gao D-W, Pan H, Hao L, Wang P, 2014. Equilibrium and Kinetics of Aniline Adsorption onto Crosslinked Sawdust-Cyclodextrin Polymers. *Rsc Advances*, 4 (75): 40071-40077.
- Huang Y, Xu Y, He Q, Cao Y, Du B, 2014. Rapid Removal of Aniline from Contaminated Water by a Novel Polymeric Adsorbent. *Water Environment Research*, 86 (1): 20-27.
- Igberase E, Ofomaja A, Osifo PO, 2019. Enhanced Heavy Metal Ions Adsorption by 4-Aminobenzoic Acid Grafted on Chitosan/Epichlorohydrin Composite: Kinetics, Isotherms, Thermodynamics and Desorption Studies. *International Journal of Biological Macromolecules*, 123: 664-676.
- Khan EA, Shahjahan, Khan TA, 2018. Adsorption of Methyl Red on Activated Carbon Derived from Custard Apple (*Annona Squamosa*) Fruit Shell: Equilibrium Isotherm and Kinetic Studies. *Journal of Molecular Liquids*, 249: 1195-1211.
- Kuang W, Liu Y-N, Huang J, 2017. Phenol-Modified Hyper-Cross-Linked Resins with Almost All Micro/Mesopores and Their Adsorption to Aniline. *Journal of Colloid and Interface Science*, 487: 31-37.
- Lagergren S, 1898. About the Theory of So Called Adsorption of Soluble Substances. *Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar*, 24 (4): 1-39.
- Langmuir I, 1916. The Constitution and Fundamental Properties of Solids and Liquids. Part I. Solids. *Journal of the American Chemical Society*, 38 (11): 2221-2295.
- Lima ÉC, Adebayo MA, Machado FM, 2015. Carbon Nanomaterials as Adsorbents for Environmental and Biological Applications. *Carbon Nanostructures*. Springer, pp. 33-71, Brazil.
- Lima EC, Hosseini-Bandegharai A, Moreno-Piraján JC, Anastopoulos I, 2019. A Critical Review of the Estimation of the Thermodynamic Parameters on Adsorption Equilibria. Wrong Use of Equilibrium Constant in the Van't Hoof Equation for Calculation of Thermodynamic Parameters of Adsorption. *Journal of Molecular Liquids*, 273: 425-434.
- Liu Y, Liu X, Dong W, Zhang L, Kong Q, Wang W, 2017. Efficient Adsorption of Sulfamethazine onto Modified Activated Carbon: A Plausible Adsorption Mechanism. *Scientific Reports*, 7 (1): 12437.
- Liu Y, Xu H, Yang S-F, Tay J-H, 2003. A General Model for Biosorption of Cd²⁺, Cu²⁺ and Zn²⁺ by Aerobic Granules. *Journal of Biotechnology*, 102 (3): 233-239.
- McKeown NB, Budd PM, 2006. Polymers of Intrinsic Microporosity (PIMs): Organic Materials for Membrane Separations, Heterogeneous Catalysis and Hydrogen Storage. *Chemical Society Reviews*, 35 (8): 675-683.
- McKeown NB, Budd PM, Msayib KJ, Ghanem BS, Kingston HJ, Tattershall CE, Makhseed S, Reynolds KJ, Fritsch D, 2005. Polymers of Intrinsic Microporosity (PIMs): Bridging the Void between Microporous and Polymeric Materials. *Chemistry-a European Journal*, 11 (9): 2610-2620.
- McLintock IS, 1967. The Elovich Equation in Chemisorption Kinetics. *Nature*, 216 (5121): 1204-1205.
- Midda MO, Srivastava VC, Kushwaha JP, 2018. Modelling Single and Binary Adsorptive Behaviour of Aniline and Nitrobenzene onto Granular Activated Carbon. *Physics and Chemistry of Liquids*, 58 (2): 150-163.
- Rahdar A, Rahdar S, Labuto G, 2020. Environmentally Friendly Synthesis of Fe₂O₃@SiO₂ Nanocomposite: Characterization and Application as an Adsorbent to Aniline Removal from Aqueous Solution. *Environmental Science and Pollution Research*, 27 (9): 9181-9191.
- Satilmis B, 2020. Amidoxime Modified Polymers of Intrinsic Microporosity (PIM-1); a Versatile Adsorbent for Efficient Removal of Charged Dyes; Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Studies. *Journal of Polymers and the Environment*, 28 (3): 995-1009.
- Satilmis B, Uyar T, 2018. Removal of Aniline from Air and Water by Polymers of Intrinsic Microporosity (PIM-1) Electrospun Ultrafine Fibers. *Journal of Colloid and Interface Science*, 516: 317-324.
- Satilmis B, Uyar T, 2019. Development of Superhydrophobic Electrospun Fibrous Membrane of Polymers of Intrinsic Microporosity (PIM-2). *European Polymer Journal*, 112: 87-94.

- Sato H, Nakajo S, Oishi Y, Shibasaki Y, 2018. Synthesis of Linear Polymer of Intrinsic Microporosity from 5,5',6,6'-Tetrahydroxy-3,3',3'-Tetramethylspirobisindane and Decafluorobiphenyl. *Reactive & Functional Polymers*, 125: 70-76.
- Sriprom P, Assawasaengrat P, Neramittagapong A, Neramittagapong S, 2014. Catalytic Wet-Air Oxidation of Aniline Removal from Synthetic Wastewater. *Advanced Materials Research*, 931-932: 32-36.
- Wang X, Mao X, Huang J, 2018. Hierarchical Porous Hyper-Cross-Linked Polymers Modified with Phenolic Hydroxyl Groups and Their Efficient Adsorption of Aniline from Aqueous Solution. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 558: 80-87.
- Xiao G, Long L, 2012. Efficient Removal of Aniline by a Water-Compatible Microporous and Mesoporous Hyper-Cross-Linked Resin and Xad-4 Resin: A Comparative Study. *Applied Surface Science*, 258 (17): 6465-6471.
- Yi Z, Huajie L, Mingchun L, Meihua X, 2020. Adsorption of Aniline on Aminated Chitosan/Graphene Oxide Composite Material. *Journal of Molecular Structure*, 1209: 127973.
- Yu W, Xu C, Yin C, Yu S, Sun W, Xie C, Xian M, 2018. Mechanism of Aniline Adsorption on Post-Crosslinked Resins: Pore Structure and Oxygen Content. *Water Science and Technology*, 78 (10): 2096-2103.
- Zeng X, Huang J, 2020. Anisole-Modified Hyper-Cross-Linked Resins for Efficient Adsorption of Aniline from Aqueous Solution. *Journal of Colloid and Interface Science*, 569: 177-183.
- Zhao D, Zhao L, Zhu C-S, Shen X, Zhang X, Sha B, 2009. Comparative Study of Polymer Containing B-Cyclodextrin and -CooH for Adsorption toward Aniline, 1-Naphthylamine and Methylene Blue. *Journal of Hazardous Materials*, 171 (1): 241-246.
- Zhou J-X, Luo X-S, Liu X, Qiao Y, Wang P, Mecerreyes D, Bogliotti N, Chen S-L, Huang M-H, 2018. Azo-Linked Porous Organic Polymers: Robust and Time-Efficient Synthesis Via NabH₄-Mediated Reductive Homocoupling on Polynitro Monomers and Adsorption Capacity Towards Aniline in Water. *Journal of Materials Chemistry A*, 6 (14): 5608-5612.

Panel Konumu ve Açısının Fotovoltaik Panel Karakteristiği Üzerine Etkisi

Kadir GELİŞ^{1*}, Eda Feyza AKYÜREK², Mehmet YOLADI²

ÖZET: Enerji kaynaklarının hızla tükendiği ve enerji verimliliğinin her geçen gün daha da önemli olduğu günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının temel unsuru olan güneşten maksimum faydayı sağlamak ve güneşten faydalanan sistemlerin daha anlaşılır hale gelmesi hakkında çalışmalar yapmak kaçınılmazdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan fotovoltaik hücreler içinde bulunan yarı iletken malzemeler vasıtasıyla güneş ışınımını elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Bitmez tükenmez bir enerji kaynağı olarak anılan güneşten maksimum faydanın sağlanması ve güneş ışınlarından enerji elde edilmesi konusu bilim insanlarının temel ilgi alanlarından birisi haline gelmiştir. Bu çalışmada da yapay bir ışık kaynağı kullanılarak 120 W gücündeki bir fotovoltaik panelin yapay ışık kaynağı ile fotovoltaik paneller arasındaki mesafe (0.8 m-1.4 m-2 m) ve yapay ışık kaynağı ile fotovoltaik paneller arasındaki açının (0°- 20°- 40°) değişimi ile fotovoltaik panel karakteristiği arasında deneysel bir çıkarım yapmak üzere çalışmalar yapılmıştır. Sonuçlar yapay ışık kaynağı ile fotovoltaik panel arasındaki mesafenin artması ile güç üretiminin azaldığını ve fotovoltaik panel ile yapay ışık kaynağı arasındaki açının artışı ile güç üretiminin azaldığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: panel açısı, panel konumu, fotovoltaik panel karakteristiği, polarizasyon eğrisi

Effect Of Panel Position And Angle On Photovoltaic Panel Characteristics

ABSTRACT: In today's world, where energy resources are rapidly depleted and energy efficiency is becoming more and more important, it is inevitable to work on providing the maximum benefit from the sun, which is the main element of renewable energy sources, and to make the systems benefiting from the sun more understandable. It converts solar radiation into electrical energy by means of semiconductor materials in photovoltaic cells, one of the renewable energy sources. The issue of providing maximum benefit from the sun, which is known as an inexhaustible energy source, and obtaining energy from the sun rays has become one of the main areas of interest of scientists. In this study, by using an artificial light source, the distance between the artificial light source and photovoltaic panels (0.8 m-1.4 m-2 m) of a 120 W photovoltaic panel and the angle between the artificial light source and photovoltaic panels (0 °- 20 °- 40 °) and an experimental inference between the photovoltaic panel characteristic. The results showed that power generation decreased with increasing distance between the artificial light source and the photovoltaic panel, and the power generation decreased with the increase in the angle between the photovoltaic panel and the artificial light source.

Keywords: panel angle, panel position, photovoltaic panel characteristic, polarization curve

¹ Kadir GELİŞ (Orcid ID: 0000-0001-8612-2233), Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bolu, Türkiye

² Eda Feyza AKYÜREK (Orcid ID: 0000-0003-4007-6846), Mehmet YOLADI (Orcid ID: 0000-0002-4729-0768), Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Kadir GELİŞ, e-mail: kadirgelis@ibu.edu.tr

GİRİŞ

Elektrik neredeyse her yerde kullanıldığı için günlük yaşantımız için çok önemlidir. Artan nüfus oranıyla ilişkili olarak elektriğe talep artmaktadır. Artan nüfusun yanı sıra, çevreye duyarlı yeni ürünlerdeki (örneğin elektrikli araçlar) araştırma, geliştirme ve yenilikler de elektrik talebini artırmıştır. Bu nedenle, daha fazla elektriğin temin edilmesi çok gereklidir (Saracoglu ve ark., 2018). Uluslararası Enerji Ajansı'na (IEA) 2014'e göre, toplam enerji talebinin 2012 ile 2035 yılları arasında % 32 artması bekleniyor. Bununla birlikte, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının (hidroelektrik, jeotermal, rüzgâr, güneş, okyanus vb.) aynı dönemlerde % 73 artarken, yenilenemeyen enerji kaynakların gelecekte tükeneceği öngörülüyor. Mevcut santraller tarafından üretilen elektrik enerjisi nüfus gereklilikleri için yetersizdir, bu nedenle çevre dostu alternatif bir elektrik kaynağı bulunmalıdır. Sonuç olarak artan küresel ısınma ve zararlı çevresel gaz emisyonlarının yanı sıra fosil yakıt rezervlerinin hızla tükenmesi, birçok politikacı ve araştırmacıyı gelecekteki tüketim için alternatif enerji kaynakları aramaya motive etmiştir. Ayrıca son yıllarda, küresel toplumu yenilenebilir enerji kaynaklarına odaklanmaya zorlayan iklim değişikliği tehlikeleri ve enerji güvenliği konularında artan farkındalık olmuştur. Güneş enerjisi teknolojilerinin kullanımı, CO₂ emisyonlarını azaltarak ve fosil yakıt enerji santrallerinden kaynaklanan kirliliği azaltarak çevremize yardımcı olabilir. Fotovoltaik hücreler, güneş radyasyonunu elektriğe dönüştürmek için kullanılan yaygın bir güneş enerjisi teknolojisidir. Fotovoltaik (PV) hücrelerin performansı büyük ölçüde yönüne, hücre eğim açısına, optik ve geometrik özelliklere, makro ve mikro iklim koşullarına, coğrafi konuma ve kullanım süresine bağlıdır (Gopinathan, 1991). Bununla birlikte, PV sistemleri için optimal özelliklerin (ör. Boyut, yer) belirlenmesi araştırmacılar için önemli bir sorundur. Yenilenebilir enerji kaynağı olarak PV sistemlerde fotovoltaik hücrelerin kullanılması ile santrallerin ihtiyaç duyduğu enerjiyi elde etmesi amaçlanmaktadır. Ancak güç üretiminin değişken yapısından dolayı maksimum enerjiye ihtiyaç durumunda daha dik bölgelere ve daha sık şekilde yerleştirilmesi, ayrıca yedekleme kapasitesine duyulan ihtiyaç nedeniyle elektrik sistemleri için ek maliyetleri beraberinde getirmiştir. Bu maliyetleri azaltmanın bir yolu da tüm sistemdeki PV'den toplam üretimi artırmak için PV panellerinin kurulum açılarının, güneş ışınlarını dik alabilecek şekilde farklı konumlandırılması olabilir. Eğim açılarının üretimi yaz ve kış aylarında değişebilir ve azimutun doğudan batıya değişimi gün içinde üretimi kısmen değiştirebilir, sabah veya öğleden sonra saatlerinde üretimi artırabilir. Bununla birlikte, sabit monteli PV panelleri için, yıl boyunca PV panelinin toplam çıktısını en üst düzeye çıkaran bir açı kombinasyonu vardır ve bu açı kombinasyonundan her sapma toplam çıktı kaybına yol açar (Hartner ve ark., 2015). Son yıllarda, literatürde güneş pilleri ve güneş kolektörleri için optimum eğim açısını içeren çalışmalar yapılmıştır. Birçok çalışma, fotovoltaik hücre oryantasyonu ve eğiminin performansı üzerindeki etkisine odaklanmaktadır; PV dizilerinin yatay olarak açısı olarak tanımlanan eğim açısı, sabit bir PV dizisinin toplanabilir radyasyonunu etkileyen baskın bir parametredir. Morad ve arkadaşları (2018) Bağdat'ta bulunan 3 ilde fotovoltaik hücreler için hem aylık hem de yıllık optimum eğim açısını tahmin etmek için çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada, matematiksel modeller, elde edilen maksimum güneş enerjisi yoğunluğuna bağlı olarak optimum eğim açısını bulmak için mühendislik denklem çözücü EES tarafından kullanılmış ve programlanmıştır; eğim açısı 0 ° ila 90 ° arasındadır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, tüm bu şehirler için optimum eğim açısının 31 ° için aynı olduğunu göstermektedir. Aylık eğim açısının bir aydan diğerine farklı olduğu belirtilmiştir. Soulayman (1991) ise yaptığı çalışmada optimum eğim açısı neredeyse enleme eşit olduğunu belirtmiştir. Vilela (2003) ve arkadaşları toplanan günlük güneş enerjisinin, doğu-batı izleme sistemine sahip bir güneş PV panelinde sabit bir sisteme göre %19-24 daha yüksek olduğu bildirmiştir. Ulgen (2006) PV dizisinin optimum oryantasyonunun, kuzey yarımkürede güneşe bakan ekvatora doğru

yönlendirilmesi gerektiğini ve optimum eğim açısının sadece enleme bağlı olduğunu bildirmiştir. Skeiker (2009) yaptığı çalışmada Suriye'de yılda 12 kez PV hücresinin eğim açısının değişmesinin, yatay bir yüzeye sabitlenmiş bir güneş kolektöründen yaklaşık %30 daha fazla güneş radyasyonu sağladığını göstermiştir. Kacira ve ark. (2004) ve arkadaşları Şanlıurfa'da (37° Kuzey) birincisi sabit bir eğim açısında ve ikincisi iki eksenli bir güneş takip sistemine monte edilmiş iki PV paneli kullanarak, PV panellerin optimum eğim açısını araştırdı. Sonuçlarına göre, aylık optimum eğim açısı Haziran'da 13° ile Aralık'ta 61° arasında değişmektedir. Karanfil ve arkadaşları (2016) tarafından yapılan çalışmada Bilecik şehri için eğim açıları güneş açıları kullanılarak hesaplanmış ve eğim açılarının matematiksel değerleri deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. PV panellerinin güneş açılarına bağlı olarak aylık, mevsimsel ve yıllık optimum sabit eğim açılarını matematiksel analiz ile hesaplanmıştır. Deneysel çalışmada ise, Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos için optimum sabit eğim açıları, 10°, 20°, 30°, 40°, 50° ve 60° eğim açılarına yerleştirilen PV paneller ile belirlenmiştir. Sonuçlar da deneysel sonuçların matematiksel sonuçlardan yaklaşık 11° farklı olduğunu belirtilmiştir. Farkın, sıcaklık, toz ve kir gibi bazı çevresel faktörlerden kaynaklandığı düşünülmüştür. PV panellerinden maksimum güç elde etmek için panellerin optimum eğim açısını belirlemede toz gibi çevresel faktörlerin de dikkate alınması gerektiği sonucuna varılmıştır. Emin (2017) tarafından yapılan çalışmada farklı eğim açılarındaki ünitelerin (15°-30°-45° ve 60°), üretmiş oldukları enerjinin miktarı anlık, günlük ve aylık hesaplanmıştır ve karşılaştırma yapılmıştır. Sonuçta elde edilen verilere göre eğim açısının etkisiyle oluşan enerji miktarındaki farklılık % olarak belirlenmiştir. Panellerin yıl boyunca 15° eğimle konumlandırılması durumunu diğer açılar ile kıyaslandığında yılın ilk 4 ve son 4 ayı yaklaşık % 7-10 enerji kayıplarına yol açtığı diğer 4 aylık sürede diğer eğim açılarına göre daha avantajlı olduğu belirtilmiştir. Literatürden de anlaşılacağı üzere PV paneller ile kaynak arasındaki etkileşim oldukça önemlidir. PV panel ile ışık kaynağı arasındaki açı, panelin doğru konumlandırılması ancak bu etkileşimin doğru anlaşılması ile mümkündür. Yanlış projelendirilmiş PV santrallerinde birçok olumsuzlukla karşılaşılır, bunların en başında parametrelerin doğru seçilmemesinden kaynaklı amorti sürelerinin uzamasıdır. Mevcut santrallerden birim zamanda alınan enerji miktarını artırarak bu amorti sürelerini kısaltmak optimum yerleşim yeri ve optimum açıların elde edilmesi ile iyileştirilebilir.

Bu çalışmada da yapay bir ışık kaynağı kullanılarak 120 W gücündeki bir fotovoltaik panelin yapay ışık kaynağı ile fotovoltaik paneller arasındaki mesafe (0.8 m-1.4 m-2 m) ve yapay ışık kaynağı ile fotovoltaik paneller arasındaki açının (0°-20°-40°) değişimi ile fotovoltaik panel karakteristiği arasında deneysel bir çıkarım yapmak üzere çalışmalar yapılmış ve bu farklı durumlar için polarizasyon eğrileri elde edilerek yorumlanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

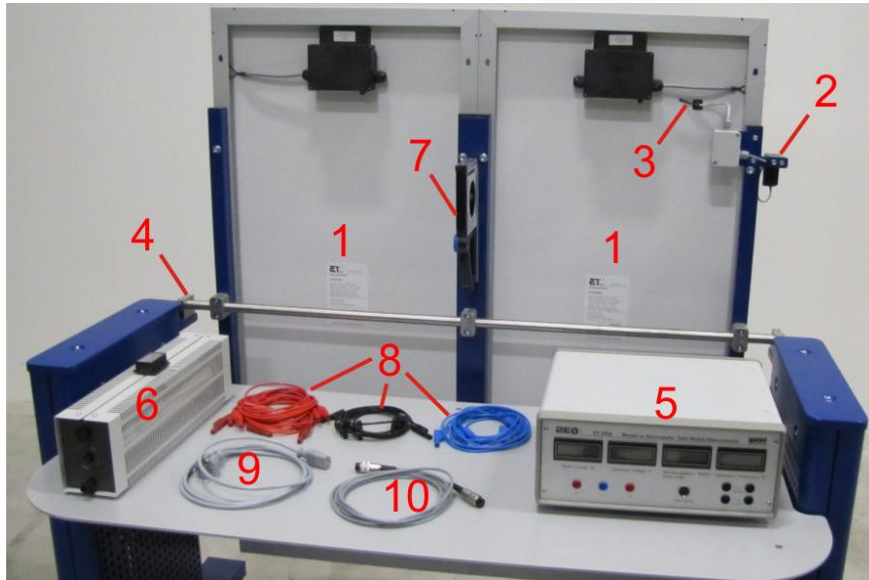
Deneyler esnasında kullanılan deney setinin genel görüntüsü Şekil 1'de, deney düzeneğini oluşturan temel bileşenler ise Şekil 2'de verilmiştir.

Deney setinde 8 kW gücünde yapay ışık kaynağı kullanılmıştır. Yapay ışık kaynağı ile oluşturulan ışının yüzeye düşen miktarı piranometre ile ölçülmüştür. Hem deney seti hem de yapay ışık kaynağı tekerlekli ve hareket edebilir kabiliyettedir. Yapay ışık kaynağı ve panel arasındaki mesafe bu iki sistem uygun konuma alınarak yapılmıştır. Sistem üzerinde panelin hareket etmesini sağlayan ve üzerinde dijital açölçer bulunan mekanizma bulunmaktadır. Yapay ışık kaynağı ve panel arasındaki açı bu açölçer kullanılarak manuel olarak oluşturulmuştur. Sistemin açık devre voltajı 18 V'tur, açık devre voltajından daha düşük voltajlara inebilmeyi sağlamak amacıyla sistemde 20A'lik bir reosta bulunmaktadır. Sistem tarafından oluşturulan gerilim, akım ve ışınım yoğunluğu değerlerinin

kaydedildiği bir veri toplama ünitesi bulunmaktadır. Şekil 2 de numaralandırılarak sunulan deney sisteminin temel ekipmanları Çizelge 1’de verilmiştir.



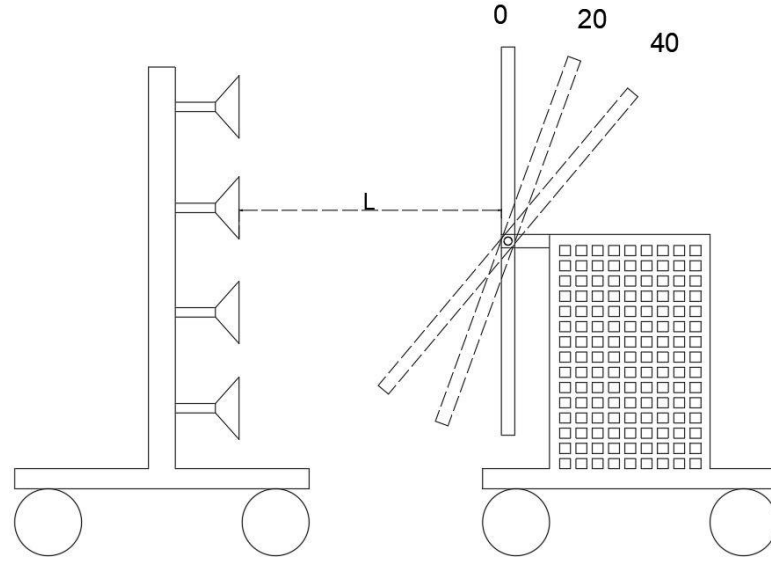
Şekil 1. Deney düzeneğinin genel görüntüsü



Şekil 2. Deney düzeneğinin bileşenleri

Çizelge 1. Deney setinde kullanılan temel ekipmanlar

Ekipman	Ekipman İsmi
1	Fotovoltaik Modüller
2	Piranometre
3	Sıcaklık Sensörü
4	Açı ayarlamak için sıkma bloğu
5	Veri toplama ünitesi
6	Reosta
7	Dijital açı ölçęi
8	Bağlantı Kabloları
9	Güç Kablosu
10	Veri toplama ünitesi bağlantı kablosu



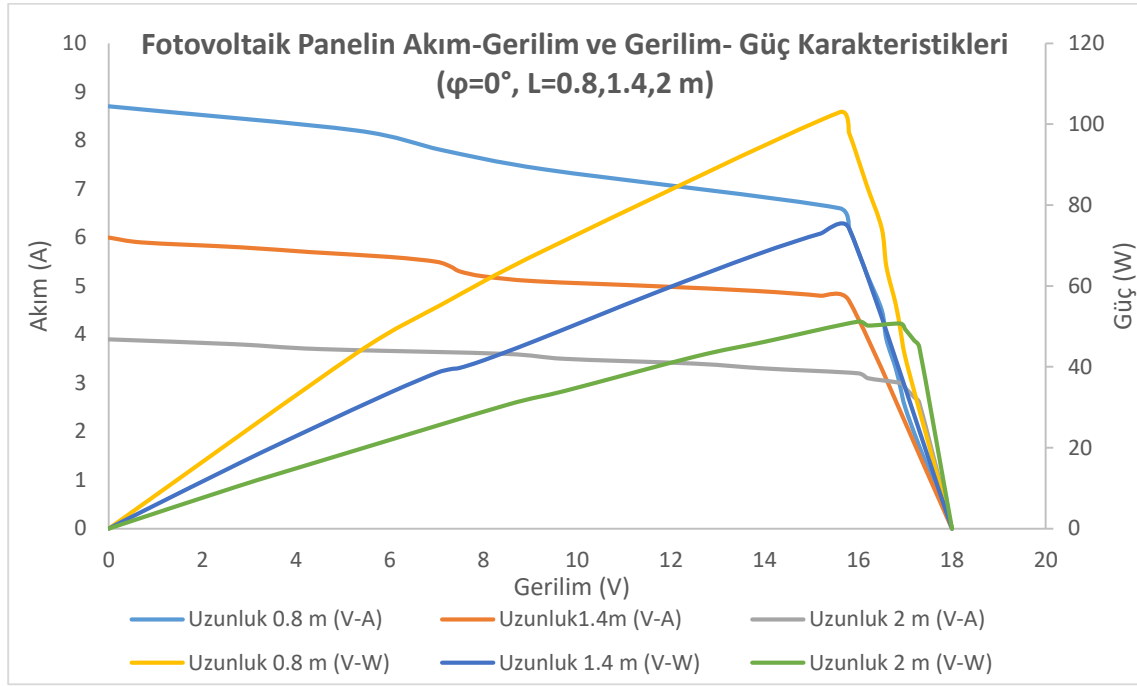
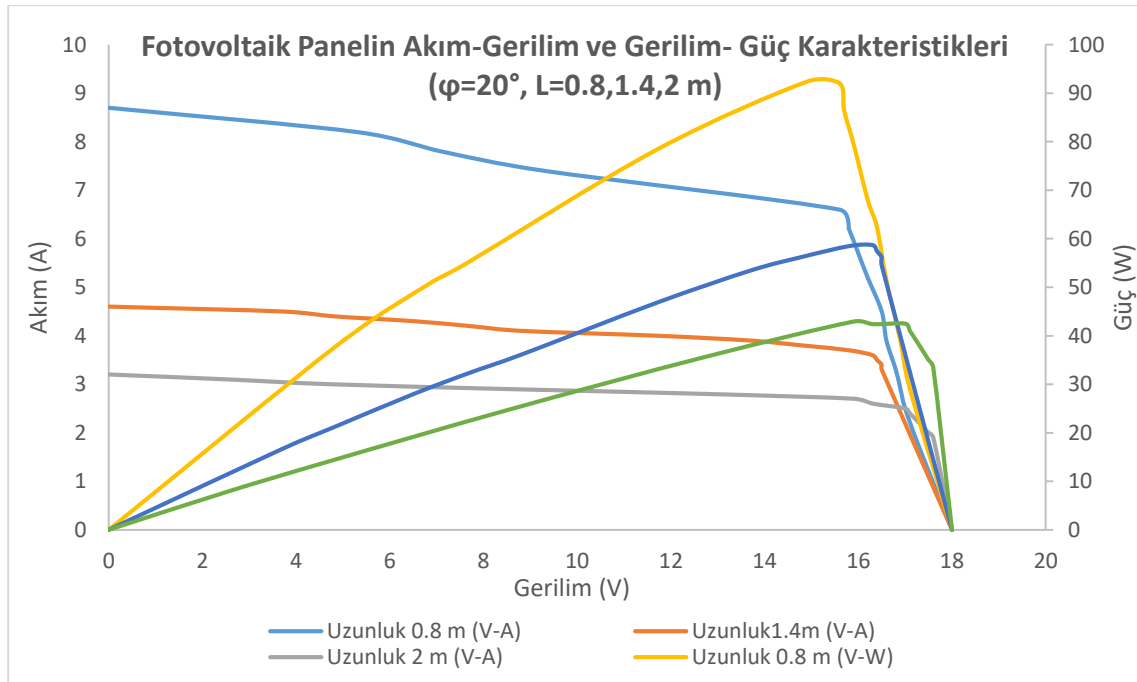
Şekil 3. Farklı mesafe ve açı değerlerinin gösterimi

Şekil 3'te verilen L yapay ışık kaynağı ile fotovoltaik panel arasındaki mesafenin değerini temsil etmektedir. Deneylerde mesafe 0.8 m, 1.4 m ve 2 m olarak ölçümler yapılmıştır. Yapay ışık kaynağı ile fotovoltaik panel arasındaki açı ise şekilde gösterildiği üzere 0°, 20° ve 40° derece olarak değiştirilmiştir.

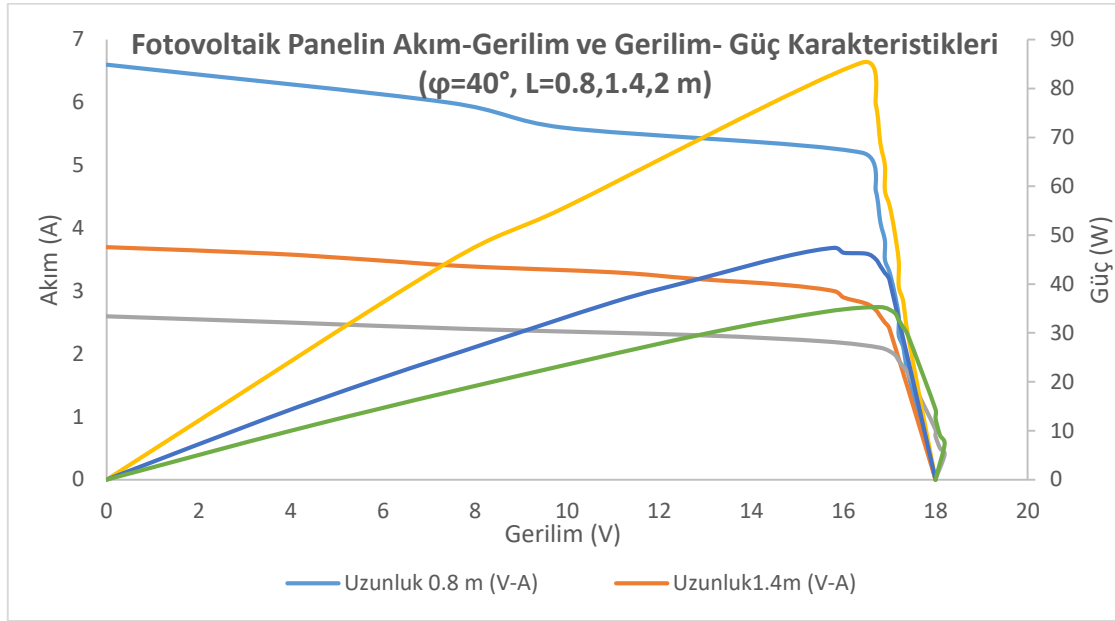
BULGULAR VE TARTIŞMA

Deneylerin belirtilen parametreler dikkate alınarak tamamlanması ile farklı durumlar için elde edilen polarizasyon eğrileri Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiş ve yorumlanmıştır.

Şekil 4'te Φ değerinin 0° de sabit tutulduğu, fotovoltaik panel ile yapay ışık kaynağının arasındaki mesafenin 0.8, 1.4 ve 2 m olacak şekilde değiştirildiği durum için Akım-Gerilim ve Gerilim-Güç grafikleri sunulmuştur. Grafikten de anlaşılacağı üzere mesafenin artışı ile aynı gerilim değerinde elde edilen akım değeri ve güç değeri düşmektedir. 0.8 metreden 1.4 m ye çıkan mesafe ile maksimum güç değeri 102.96'dan 74.26 ya düşmüştür. 0.8 metreden 2 m ye çıkan mesafe ile maksimum güç değeri 102.96'dan 50.7 ye düşmüştür.

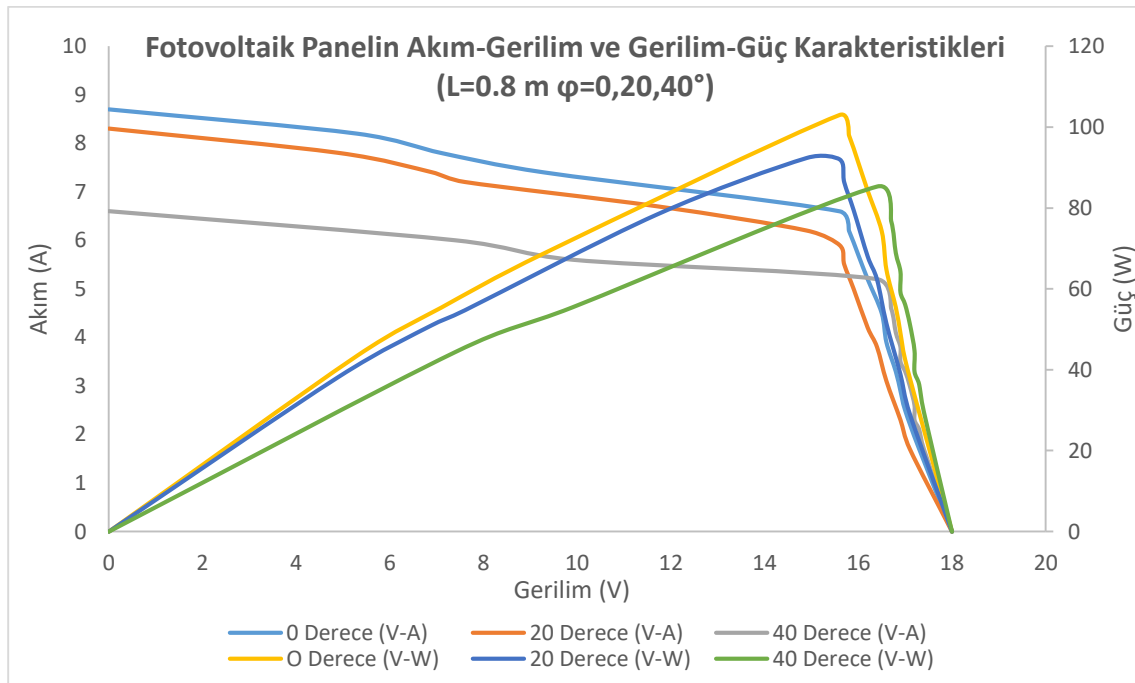
Şekil 4. $\Phi=0$, $L=0.8, 1.4, 2$ m için polarizasyon eğrileriŞekil 5. $\Phi=20$, $L=0.8, 1.4, 2$ m için polarizasyon eğrileri

Şekil 5'te Φ değerinin 20° de sabit tutulduğu, fotovoltaik panel ile yapay ışık kaynağının arasındaki mesafenin 0.8, 1.4 ve 2 m olacak şekilde değiştirildiği durum için Akım-Gerilim ve Gerilim-Güç grafikleri sunulmuştur. Grafikten de anlaşılacağı üzere mesafenin artışı ile aynı gerilim değerinde elde edilen akım değeri ve güç değeri düşmektedir. 0.8 metreden 1.4 m ye çıkan mesafe ile maksimum güç değeri 92.38 den 58.68 e düşmüştür. 0.8 metreden 2 m ye çıkan mesafe ile maksimum güç değeri 92.38 den 42.5'e düşmüştür.



Şekil 6. $\Phi=40$, $L=0.8, 1.4, 2$ m için polarizasyon eğrileri

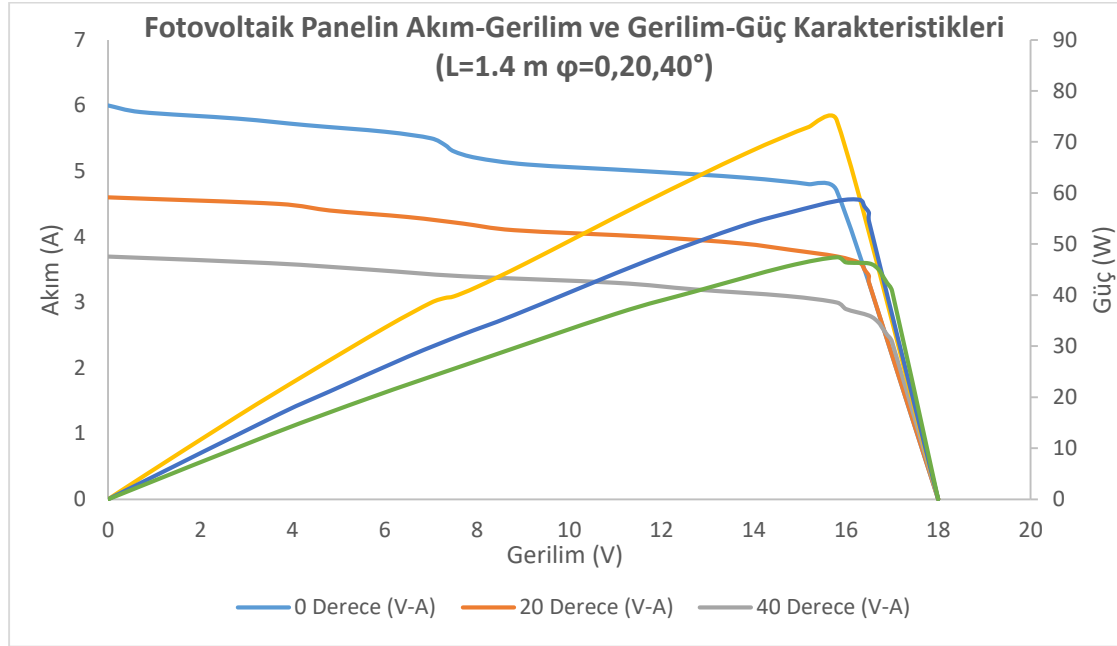
Şekil 6'da Φ değerinin 40° de sabit tutulduğu, fotovoltaik panel ile yapay ışık kaynağının arasındaki mesafenin 0.8, 1.4 ve 2 m olacak şekilde değiştirildiği durum için Akım-Gerilim ve Gerilim-Güç grafikleri sunulmuştur. Grafikten de anlaşılacağı üzere mesafenin artışı ile aynı gerilim değerinde elde edilen akım değeri ve güç değeri düşmektedir. 0.8 metreden 1.4 m ye çıkan mesafe ile maksimum güç değeri 85.28 den 47.4'e düşmüştür. 0.8 metreden 2 m ye çıkan mesafe ile maksimum güç değeri 85.28 den 35.28'e düşmüştür.



Şekil 7. $L=0.8$ m, $\Phi =0, 20, 40^\circ$ için polarizasyon eğrileri

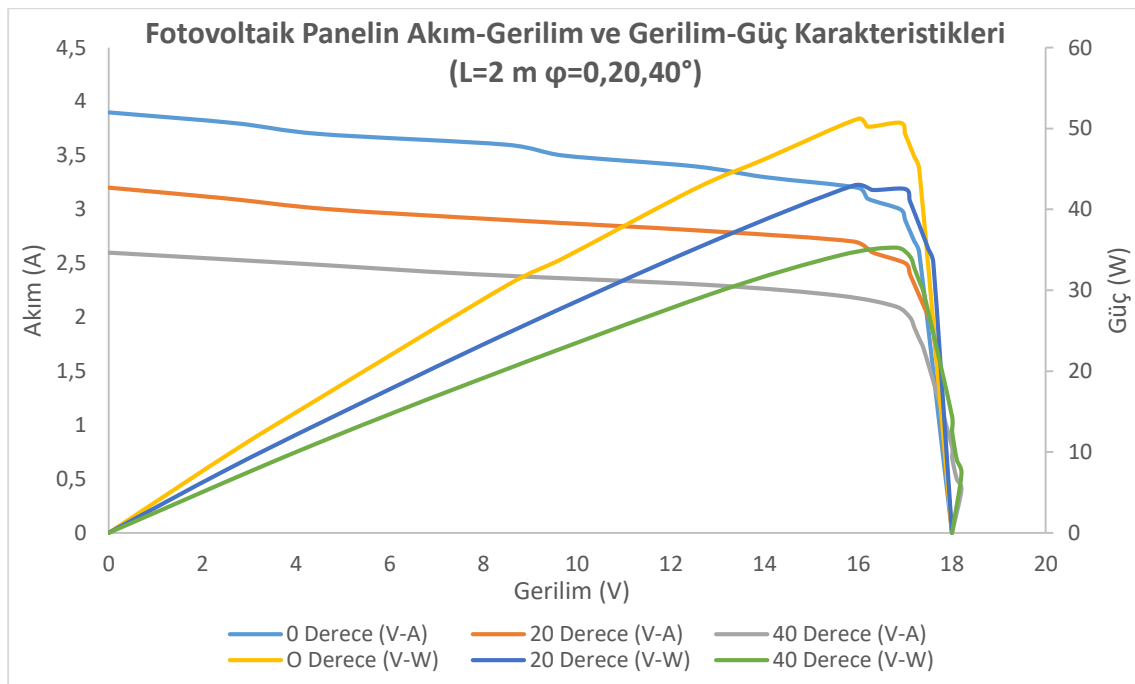
Şekil 7'de L değerinin 0.8 m de sabit tutulduğu, fotovoltaik panel ile yapay ışık kaynağının arasındaki açının 0, 20 ve 40° olacak şekilde değiştirildiği durum için Akım-Gerilim ve Gerilim-Güç grafikleri sunulmuştur. Grafikten de anlaşılacağı üzere açının artışı ile aynı gerilim değerinde elde edilen

akım değeri ve güç değeri düşmektedir. 0° den 20° ye çıkan açı ile maksimum güç değeri 102.96'dan 92.38'e düşmüştür. 0° den 40° ye çıkan açı ile maksimum güç değeri 102.96'dan 85.28'e düşmüştür.



Şekil 8. $L=1.4$ m, $\Phi =0, 20, 40^\circ$ için polarizasyon eğrileri

Şekil 8'de L değerinin 1.4 m de sabit tutulduğu, fotovoltaik panel ile yapay ışık kaynağının arasındaki açının $0, 20$ ve 40° olacak şekilde değiştirildiği durum için Akım-Gerilim ve Gerilim-Güç grafikleri sunulmuştur. Grafikten de anlaşılacağı üzere açının artışı ile aynı gerilim değerinde elde edilen akım değeri ve güç değeri düşmektedir. 0° den 20° ye çıkan açı ile maksimum güç değeri 74.26' dan 58.68'e düşmüştür. 0° den 40° ye çıkan açı ile maksimum güç değeri 74.26' dan 47.4'e düşmüştür.



Şekil 9. $L=2$ m, $\Phi =0, 20, 40^\circ$ için polarizasyon eğrileri

Şekil 9'da L değerinin 2 m de sabit tutulduğu, fotovoltaik panel ile yapay ışık kaynağının arasındaki açının 0, 20 ve 40° olacak şekilde değiştirildiği durum için Akım-Gerilim ve Gerilim-Güç grafikleri sunulmuştur. Grafikten de anlaşılacağı üzere açının artışı ile aynı gerilim değerinde elde edilen akım değeri ve güç değeri düşmektedir. 0° den 20° ye çıkan açı ile maksimum güç değeri 50.7'den 42.5'a düşmüştür. 0° den 40° ye çıkan açı ile maksimum güç değeri 50.7'den 35.28'e düşmüştür.

SONUÇ

Nüfusun, sanayileşmenin ve konfor seviyesinin artışı ile birlikte enerjiye olan talepte sürekli artmaktadır. Bu sebeple enerjinin verimli kullanılması ve doğru projelendirmeler çok önemli hale gelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan fotovoltaik hücreler hakkında yapılan bu deneysel çalışma ile elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- Yapay ışık kaynağı ile fotovoltaik panel arasındaki mesafenin artması ile güç ve akım üretiminin azalmıştır
- Yapay ışık kaynağı ile Fotovoltaik panel arasındaki açının artışı ile güç ve akım üretiminin azalmıştır
- Φ değerinin 0° de sabit tutulduğu, fotovoltaik panel ile yapay ışık kaynağının arasındaki mesafenin 0.8, 1.4 ve 2 m olduğu durumlarda sistemde oluşan maksimum güçler sırasıyla 102.96, 74.26, 50.7 olarak tespit edilmiştir. Yani uzaklık 1.75 kat artırıldığında(0.8 den 1.4 m ye) güç değerinde % 27,87'lik bir azalma, uzaklık 3.125 kat artırıldığında(0.8 den 2 m ye) güç değerinde %50.76'lık bir azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- Φ değerinin 20° de sabit tutulduğu, fotovoltaik panel ile yapay ışık kaynağının arasındaki mesafenin 0.8, 1.4 ve 2 m olduğu durumlarda sistemde oluşan maksimum güçler sırasıyla 92.38, 58.68, 42.5 olarak tespit edilmiştir. Yani uzaklık 1.75 kat artırıldığında(0.8 den 1.4 m ye) güç değerinde % 36.48'lik bir azalma, uzaklık 3.125 kat artırıldığında(0.8 den 2 m ye) güç değerinde % 54'lük bir azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- Φ değerinin 40° de sabit tutulduğu, fotovoltaik panel ile yapay ışık kaynağının arasındaki mesafenin 0.8, 1.4 ve 2 m olduğu durumlarda sistemde oluşan maksimum güçler sırasıyla 85.28, 47.4, 35.28 olarak tespit edilmiştir. Yani uzaklık 1.75 kat artırıldığında(0.8 den 1.4 m ye) güç değerinde %44.4'lük bir azalma, uzaklık 3.125 kat artırıldığında(0.8 den 2 m ye) güç değerinde % 58.63'lük bir azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- L değerinin 0.8m de sabit tutulduğu, fotovoltaik panel ile yapay ışık kaynağının arasındaki açının 0°, 20° ve 40° olduğu durumlarda sistemde oluşan maksimum güçler sırasıyla 102.96, 92.38, 85,28 olarak tespit edilmiştir. Yani açı 0° den 20° ye çıkarıldığında güç değerinde %10.28'lik bir azalma, açı 0° den 40° ye çıkarıldığında güç değerinde %17.17'lik bir azalma meydana gelmiştir.
- L değerinin 1.4 m de sabit tutulduğu, fotovoltaik panel ile yapay ışık kaynağının arasındaki açının 0°, 20° ve 40° olduğu durumlarda sistemde oluşan maksimum güçler sırasıyla 74.26, 58.68, 47.4 olarak tespit edilmiştir. Yani açı 0° den 20° ye çıkarıldığında güç değerinde %29.98'lik bir azalma, açı 0° den 40° ye çıkarıldığında güç değerinde %36.17' lik bir azalma meydana gelmiştir.
- L değerinin 2m de sabit tutulduğu, fotovoltaik panel ile yapay ışık kaynağının arasındaki açının 0°, 20° ve 40° olduğu durumlarda sistemde oluşan maksimum güçler sırasıyla 50.7, 42.5, 35.28 olarak tespit edilmiştir. Yani açı 0° den 20° ye çıkarıldığında güç değerinde %16.17'lik bir azalma, açı 0° den 40° ye çıkarıldığında güç değerinde % 30.41'lik bir azalma meydana gelmiştir.
- Yukarıdaki sayısal verilerden de anlaşılacağı üzere uzaklıktan ziyade panel ile ışık kaynağının etkileşim açılarının performansına olan etkisi daha fazladır. Bu sonuç bize yapılan projelendirmelerde ışık kaynağı ile panel arasındaki açılardırmanın çok önemli olduğu çıkarımını sunmaktadır.

KAYNAKLAR

- Morad A, Al-Sayyab A. M, Abdulwahid M. A, 2018. Optimisation of tilted angles of a photovoltaic cell to determine the maximum generated electric power: A case study of some Iraqi cities. *Case Studies in Thermal Engineering*, 12(July), 484–488.
- Bilgili M, Dağtekin M. 2017. Fotovoltaik Piller İle Elektrik Üretiminde Uygun Eğim Açısının ve Yıllık Oluşan Enerji Farkının Belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 6 (Özel Sayı (BSM 2017)), 156-167.
- Gopinathan K, 1991. Optimization Of Tilt Angle Of Solar Collectors For Maximum Irradiation On Sloping Surfaces. *International Journal of Solar Energy*, 10(1–2): 51–61.
- Hartner M, Ortner A, Hiesl A, Haas R, 2015. East to west - The optimal tilt angle and orientation of photovoltaic panels from an electricity system perspective. *Applied Energy*, 160: 94–107.
- Kacira M, Simsek M, Babur Y, Demirkol S, 2004. Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey. *Renewable Energy*, 29(8): 1265–1275.
- Karafil A, Ozbay H, Kesler M, Parmaksiz H, 2016. Calculation of optimum fixed tilt angle of PV panels depending on solar angles and comparison of the results with experimental study conducted in summer in Bilecik, Turkey. *ELECO 2015 - 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering*, 971–976.
- Saracoglu B, Ohunakin O, Adelekan O. S, Gill D. S, Atiba J, Okokpujie O. E, Atayero A. A, 2018. A framework for selecting the location of very large photovoltaic solar power plants on a global/supergrid. *Energy Reports*, 4: 586–602.
- Skeiker K, 2009. Optimum tilt angle and orientation for solar collectors in Syria. *Energy Conversion and Management*, 50(9): 2439–2448.
- Soulayman S. S, 1991. On the optimum tilt of solar absorber plates. *Renewable Energy*, 1(3–4): 551–554.
- Ulgen K, 2006. Optimum tilt angle for solar collectors. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 28(13): 1171–1180.
- Vilela O. C, Fraidenraich N, Tiba C, 2003. Photovoltaic pumping systems driven by tracking collectors. Experiments and simulation. *Solar Energy*, 74(1): 45–52.

Optimization of the Effect of Cutting Parameters on the Cutting Force in the Gradual Turning Process by Taguchi Method

Oğur İYNEN¹, Abidin ŞAHİNOĞLU², Mustafa ÖZDEMİR^{3*}, Volkan YILMAZ⁴

ABSTRACT: In this experimental study, AISI 4140 steel was subjected to machining experiments on the CNC lathe. The effect of cutting forces (radial force (F_x), tangential force (F_y) and feed force (F_z)) depending on the cutting parameters were investigated experimentally. As cutting parameters, three different cutting speeds (V) (100 m min⁻¹, 140 m min⁻¹ and 180 m min⁻¹), feed rates (f) (0.08 mm rev⁻¹, 0.12 mm rev⁻¹ and 0.16 mm rev⁻¹) and cutting depths (a) (0.5 mm, 0.9 mm and 1.3 mm) were preferred. The experimental design was made according to the Taguchi L9 vertical array. The effects of cutting parameters on cutting forces and contribution rates were analyzed by analysis of variance (ANOVA). The effect levels of cutting parameters on cutting forces were determined using the S/N ratio. Optimum cutting parameters are defined. After ANOVA analysis, it was determined that the feed rate was effective on the radial force and tangential force, while the depth of cut was effective on the feed force. According to the verification experiments, it was seen that the optimization was successfully applied.

Keywords: AISI 4140, Taguchi, cutting forces, machinability

¹Oğur İYNEN (Orcid ID: 0000-0003-1096-1836), Bozok University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering, Yozgat, Turkey E mail: ogur.iynen@bozok.edu.tr

²Abidin ŞAHİNOĞLU (Orcid ID: 0000-0003-0040-442X), Department of Mechanical and Metal Technology, Çankırı Karatekin University, Çankırı, Turkey, E mail: abidinsahinoglu@gmail.com

³Mustafa ÖZDEMİR (Orcid ID: 0000-0002-7340-0940), Department of Machine and Metal Technology, Vocational School of Technical Sciences, Yozgat Bozok University, Yozgat, Turkey, E mail: mustafa.ozdemir@bozok.edu.tr

⁴Volkan YILMAZ (Orcid ID: 0000-0002-8937-6527), Gazi University, Faculty of Technology, Manufacturing Engineering, Ankara, Turkey E mail: volkan@gazi.edu.tr

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Mustafa ÖZDEMİR, e-mail: mustafa.ozdemir@bozok.edu.tr

INTRODUCTION

AISI 4140 steel is one of the most commercially used cast steels. This material has approximately 10% usage in the machining industry. Also, this steel is a chrome-molybdenum steel, which is a low alloy steel. This material is also called medium carbon steel, alloy steel, low alloy structural steel and forged quality steel. AISI 4140 steels; Crankshaft, axle shaft, sleeve, automobile and aircraft construction, gear and wheel construction, machine tool, bolts, nuts etc. it has widespread use in parts (Demir, 2004; Höke et al., 2014, Kesti, 2009, Karayel and Nalbant, 2014). When the literature studies are examined, it is revealed that many studies have been carried out on stainless steels. Neşeli et al. turned AISI 4140 steel using carbide inserts under dry cutting conditions. According to the results of the analysis, it was seen that the a was the most effective parameter on all cutting force components (Neşeli et al., 2012). In the experimental study conducted by Özel et al., The effect of V , f , tool nose radius and workpiece hardness on surface roughness and cutting force were investigated experimentally in AISI H13 steel finishing turning (Özel et al., 2005). Panzera et al. investigated the effect of cutting parameters (V , f and a) of AISI 4340 steel on dry turning with coated carbide insert. In addition, the effects of cutting parameters on cutting force were investigated using ANOVA analysis results (Panzera et al., 2012). Jayant and Kumar used hardened steel AISI 4140 in their experimental study. The most appropriate cutting parameters were determined in the data obtained by using ANOVA and Taguchi Method (Jayant and Kumar, 2008). Yallese et al. have defined statistical models of cutting forces in machining AISI H11 hot work tool steel (50 HRC) material in dry cutting conditions. They created mathematical models with multiple linear regression and Response Surface Methodology (RSM) and determined the most effective cutting parameters on cutting forces (Aouici et al., 2010). Suresh et al. investigated the effect of cutting parameters (V , f , a and cutting time) on cutting forces, tool wear and surface roughness using the RSM method in turning of AISI 4340 hardened steel (Suresh et al., 2012). Abou-El-Hosseinb et al. conducted an experimental study to estimate the forces that occurred during the machining of AISI P20 tool steel. They evaluated the effects of four input parameters on the cutting force with RSM (Hosseinb et al., 2007). Aouici et al. experimentally examined the effect of V , f , a and workpiece hardness on surface roughness and cutting force components in hard turning operations. The mathematical model of the cutting force and surface roughness components has been developed using RSM (Aouici et al., 2012). Statistical analysis of surface roughness and cutting forces were carried out by RSM in hard turning of AISI 52100 bearing steel by Bouacha et al. The effect of cutting parameters on cutting forces and surface roughness was analyzed by ANOVA (Bouacha et al., 2010). An experimental study on the impact of cutting parameters (V , f and a) on hard turning of MDN250 steel on cutting forces and surface roughness has been conducted by Lalwani et al. (Lalwani et al., 2008). Rao et al. examined the effects of cutting parameters (V , f and a) on cutting force and surface roughness when machining AISI 1050 steel material with ceramic coated tools. In the design of the experiment, he used Taguchi L27 and ANOVA analysis. According to the experimental results obtained, the f has been shown to affect both the cutting force and the surface roughness value (Rao et al., 2013). In this experimental study, the effect of V , f and a parameters on AISI 4140 material on cutting forces were analyzed using the Taguchi method. The studies on AISI 4140 in the literature are especially finishing turning studies. No work on the machinability of this material with TCMT 16T304 NN LT 1000 cutting tool at high feed and depths of cut is available. In addition, in the AISI 4140 material, a large part of the sawdust is used for rough turning. However, there are few studies on cutting parameters and insert selection in the rough

turning of this material. This experimental study was carried out to overcome these shortcomings in the literature.

MATERIALS AND METHODS

Materials

In this experimental study, the effect of three different V (100 m min^{-1} , 140 m min^{-1} and 180 m min^{-1}), three different f (0.08 mm rev^{-1} , 0.12 mm rev^{-1} and 0.16 mm rev^{-1}) and three different a (0.5 mm , 0.9 mm ve 1.3 mm) on cutting forces (F_x , F_y and F_z) in the CNC turning machine of AISI 4140 steel was investigated. The chemical composition of the material used in the experimental study is shown in Table 1. It is of great importance to determine how much cutting parameters have an impact on which cutting force on the lathe. Because the cutting force on each axis causes a different wear mechanism. Also, the cutting force on each axis has a different effect on the workpiece. Therefore, it is necessary to measure the cutting forces by keeping them separate from each other. Therefore, in studies in the literature, similarly, three different cutting forces are measured in turning experiments. It is possible to calculate the total cutting forces. However, the calculation of these forces separately gives more detailed information about the manufacturing process.

Table 1. Chemical composition of AISI 4140 steel used in the experiments.

Constituent	Percentage present (%)
C	0.41
Mn	0.83
Si	0.21
Cr	0.9
S	0.026
P	0.029
Mo	0.18

Experimental procedure

The experimental study was done on GOODWAY GS-260Y (15 kW motor power) model CNC lathe. In turning experiments, TTJNL 2525 M16 type tool holder and TCMT 16T304 NN LT 1000 cutting tools produced by LAMINA Technology company were used. The material used in the experiments is 80 mm in diameter and 160 mm in length. For each experiment, a 15 mm material was removed on the workpiece. Dry cutting conditions were preferred in the machining test. Figure 1 shows the experimental setup, where the experimental work is done. The cutting force measurements were measured with the Swiss-made KISTLER TYPE 9129AA model dynamometer connected to the CNC machine tool and KISTLER TYPE 5070 amplifier.

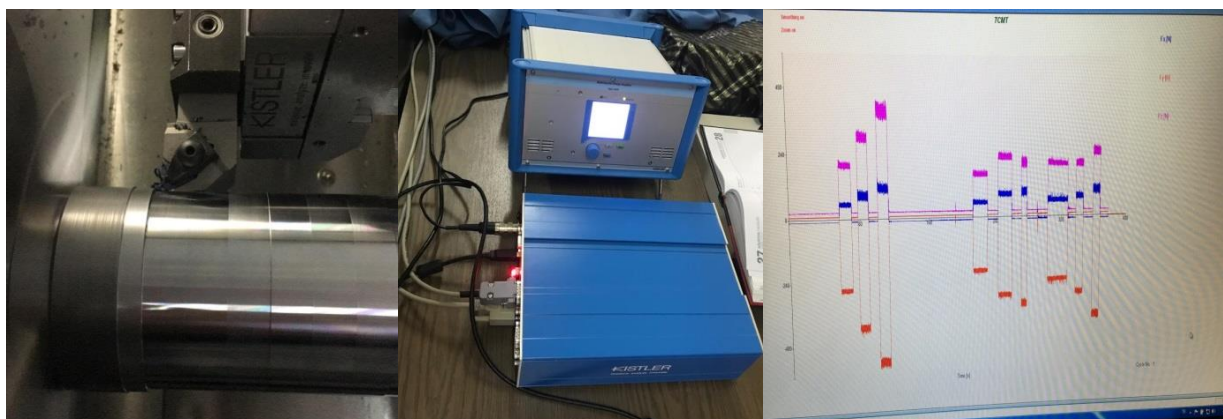


Figure 1. Experimental setup and cutting force measuring device

Taguchi experiment design method is an experiment design method that minimizes the number of experiments that makes experimental studies shorter and easier. The Taguchi method is an experimental design method developed by Dr. Genichi Taguchi. Due to its benefits, this method has been widely used in the European and American industry after 1980s. Thanks to this method, it can be done with fewer experiments than the full factorial method, which is the optimization of long and expensive experiments. It is a method that can determine the effectiveness of the parameters in experimental studies, as well as reducing the experiment time and reducing the cost of the experiment. While preparing the experimental work plan, the parameters to be used in the experiments and their levels are determined. Then, the system is created by selecting the orthogonal arrays suitable for their degrees of freedom. In the interpretation of the experimental studies, it is converted to the performance characteristic known as S/N (signal / noise) ratio. The most commonly used performance characteristics are the smallest (the smallest, the best), the biggest best (The biggest, the best) and the nominal best (Nominal best). In this study, in determining S/N values, since the cutting force values are desired to be the smallest, the formula corresponding to the “smallest best” principle given in Equation 1 is used (Ross, 1988; Gür et al., 2019; Savaş et al., 2016; Özdemir, 2019).

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

In the study, three different V (100 m min⁻¹, 140 m min⁻¹ ve 180 m min⁻¹), three different f (0.08 mm rev⁻¹, 0.12 mm rev⁻¹ ve 0.16 mm rev⁻¹) and three different depths of cut (0.5 mm, 0.9 mm ve 1.3 mm) were taken as cutting parameters. While 27 (3x3x3) experiments should be done with the classical method, 9 experiments were designed by using Taguchi L9 vertical array. Each experiment was repeated 3 times and the arithmetic mean of the values was taken (Table 2).

In the experimental study, 3 different cutting speeds, 3 different feed rates and 3 different depths of cut were preferred. Therefore, 27 different experiments are required in full factorial experimental design. Taguchi L9 experiment design was preferred to reduce the number of experiments, reduce the time of the experiment and reduce the costs of the experiment. L9 experiment design was decided by examining the literature studies. Minitab 16.0 software was used in the experimental design and statistical analysis according to the Taguchi method.

Table 2. Control factors and their levels

Factors	Symbol	Unit	Level 1	Level 2	Level 3
Cutting speed	V	m min ⁻¹	100	140	180
Feed rate	f	mm rev ⁻¹	0.08	0.12	0.16
Depth of cut	a	mm	0.5	0.9	1.3

RESULTS AND DISCUSSION

Table 3 shows the cutting force values obtained from the experiments performed according to the Taguchi L9 vertical array and the S/N ratios of these values. Minitab 16.0 statistical software program was used to analyze the effects of cutting parameters on cutting forces. S/N ratio and variance analysis (ANOVA) were created at 95% confidence level. The level with the highest value in S/N ratio for each control factor means the best level for that factor. The lowest forces (53.95 N, 207.5 N and 162 N) corresponding to the values (S/N = -34.6398, S/N = -46.3404 and S/N = -44.1903) for F_x, F_y, F_z respectively has been identified. The cutting parameters giving the lowest cutting force value on F_x; It was observed that the V of 180 m min⁻¹, the f of 0.08 mm rev⁻¹ and the 0.9 mm a (V3-f1-a3). For F_y

and F_z , 140 m min^{-1} V , 0.08 mm rev^{-1} f and 0.9 mm a ($V_2-f_1-a_2$) are the cutting parameters corresponding to the lowest forces.

Table 3. L9 orthogonal array, experimental results and their S/N ratios for cutting forces

Number of Experiments	Machining Parameters			Measured cutting forces			S/N Ratios		
	V	f	a	F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)	F _x (dB)	F _y (dB)	F _z (dB)
1	100	0.08	0.5	61.92	248.7	202.1	-35.8366	-47.9135	-46.1113
2	100	0.12	0.9	86.18	306.1	226.2	-38.7081	-49.7173	-47.0899
3	100	0.16	1.3	114.10	549.9	391.5	-41.1457	-54.8057	-51.8546
4	140	0.08	0.9	55.91	207.5	162.0	-34.9498	-46.3404	-44.1903
5	140	0.12	1.3	86.25	415.4	300.7	-38.7152	-52.3693	-49.5627
6	140	0.16	0.5	101.40	392.5	248.7	-40.1208	-51.8768	-47.9135
7	180	0.08	1.3	53.95	270.7	198.2	-34.6398	-48.6498	-45.9421
8	180	0.12	0.5	76.74	300.5	202.9	-37.7004	-49.5569	-46.1456
9	180	0.16	0.9	94.46	340.7	206.1	-39.5050	-50.6474	-46.2816

The S/N response table is used to analyze the effect of each control factor on cutting forces. In Figure 2-Figure 4, as a result of the analysis obtained, S/N effect levels of cutting parameters to cutting forces are given. It shows the optimum levels of control factors for optimum cutting force values. The best level for the control factors is shown according to the largest S/N ratio in all levels of that control factor. According to this analysis, the levels and S/N ratios of the cutting parameters that give the optimum F_x , F_y and F_z values are factor V (Level 3; S/N = -37.28; -49.62; -46.12), factor f (Level 1; S/N = -35.14; -47.63; -45.41) and factor a (Level 2; S/N = -37.72; -48.90; -45.85) determined as. In other words, as seen in Figure 2, the optimum F_x value was obtained at a V of 180 m min^{-1} (V_3), f of 0.08 mm rev^{-1} (f_1) and a (a_2) of 0.9 mm . While the most effective control factors on F_x in order of importance are the f , V and a , while the most effective control factors on F_y and F_z are determined as the f , a and V (Figure 3 and Figure 4).

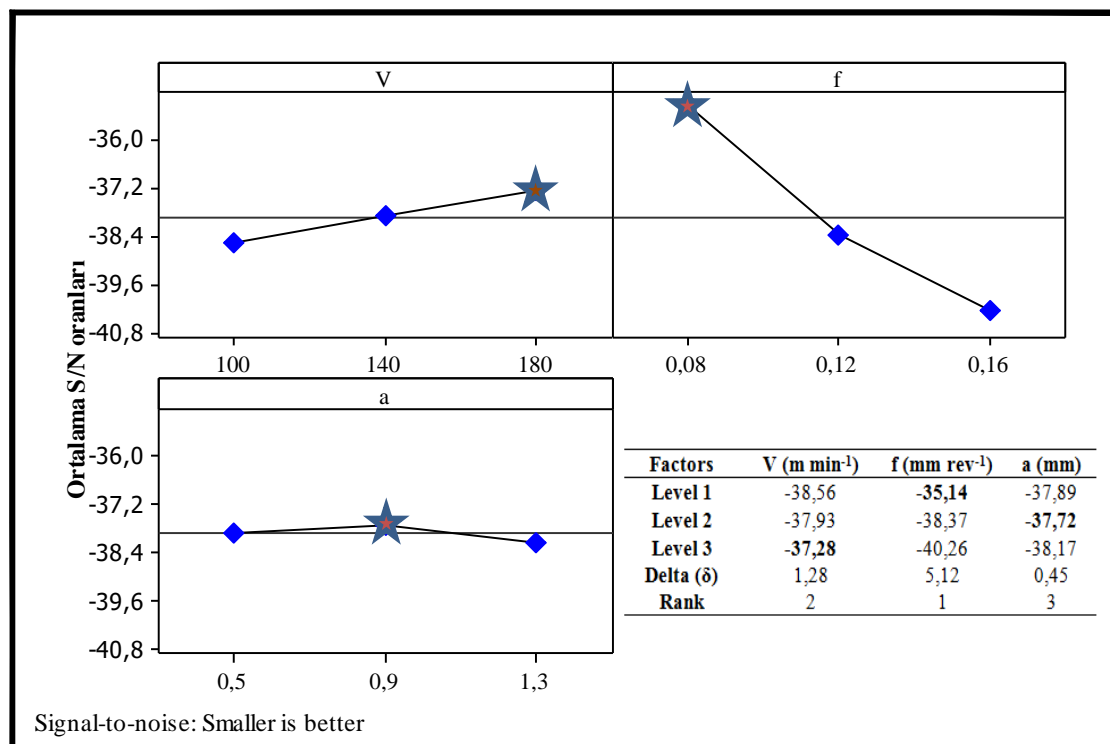


Figure 2. Main Impact Graph for S/N Ratios, (F_x)

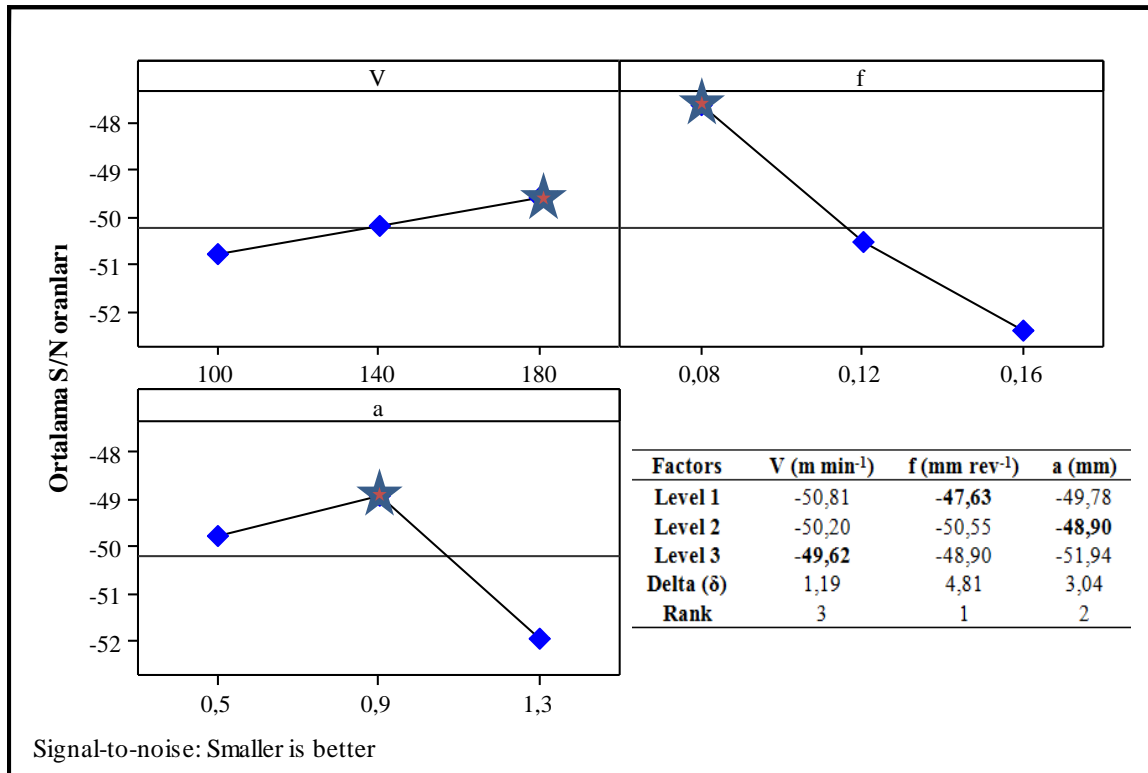


Figure 3. Main Impact Graph for S/N Ratios, (Fy)

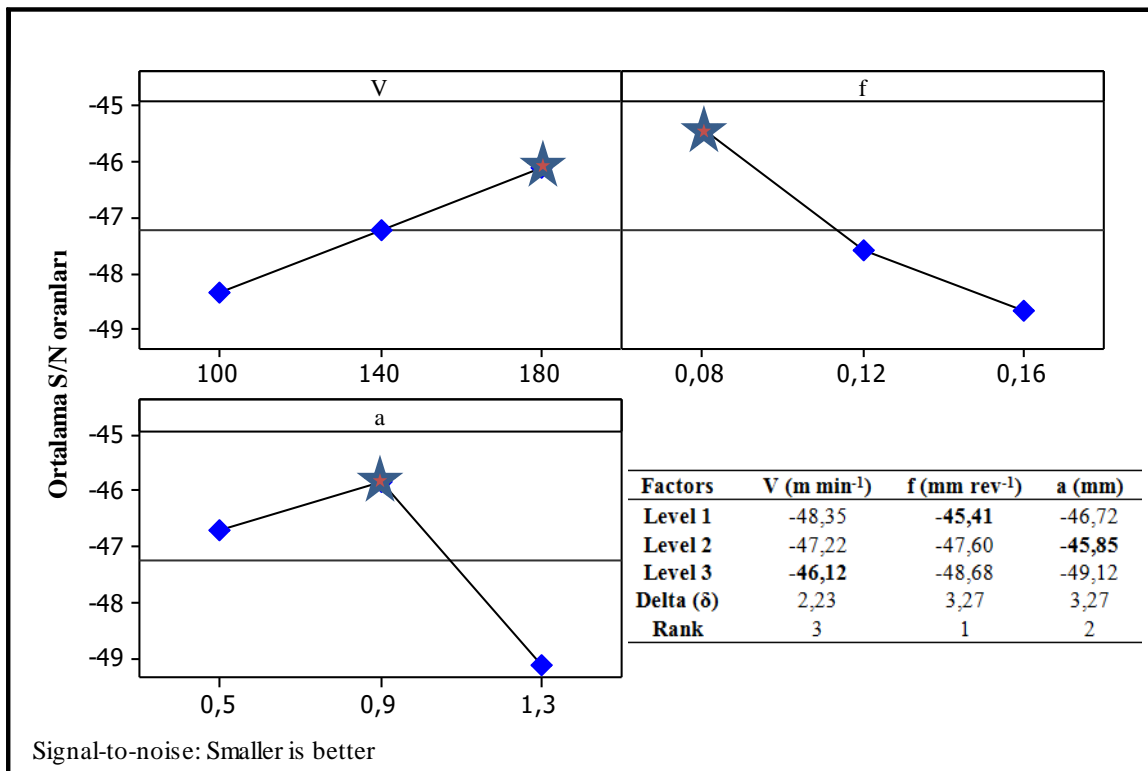


Figure 4. Main Impact Graph for S/N Ratios, (Fz)

The surface graph in Figure 5 shows the effects of cutting parameters on F_x , F_y and F_z . As seen in the graphs in Figures 5a, 5b, 5d, 5e, 5g and 5h, the cutting force decreases with increasing V . The reason for the decrease in cutting force values due to the increase in V is the increase in temperature in the cutting zone with increasing V . Depending on the increasing temperature, thermal softening occurs and plastic deformation is easier to machining. Therefore, cutting forces are decreasing (Taşlıyan et al.,

2007; Meddour et al., 2018; Özçatalbaş, 2002; Kurt and Şeker, 2005; Çakır, 1999; Akkurt, 2004). The amount of reduction in cutting force may differ depending on the material type, machining conditions and V range studied. As seen in Figures 5c, 5f and 5i, as the f increases, the cutting force values increase. It is observed that there is a direct proportional relationship between increasing f values and F_x , F_y , F_z . Depending on the f and the increase in a, the increase on F_x , F_y and F_z is an expected condition. In order to reduce the cutting forces, the f value must be reduced. Low a and low f values are preferred especially in finish turning operations. Thus, a better surface quality is obtained.

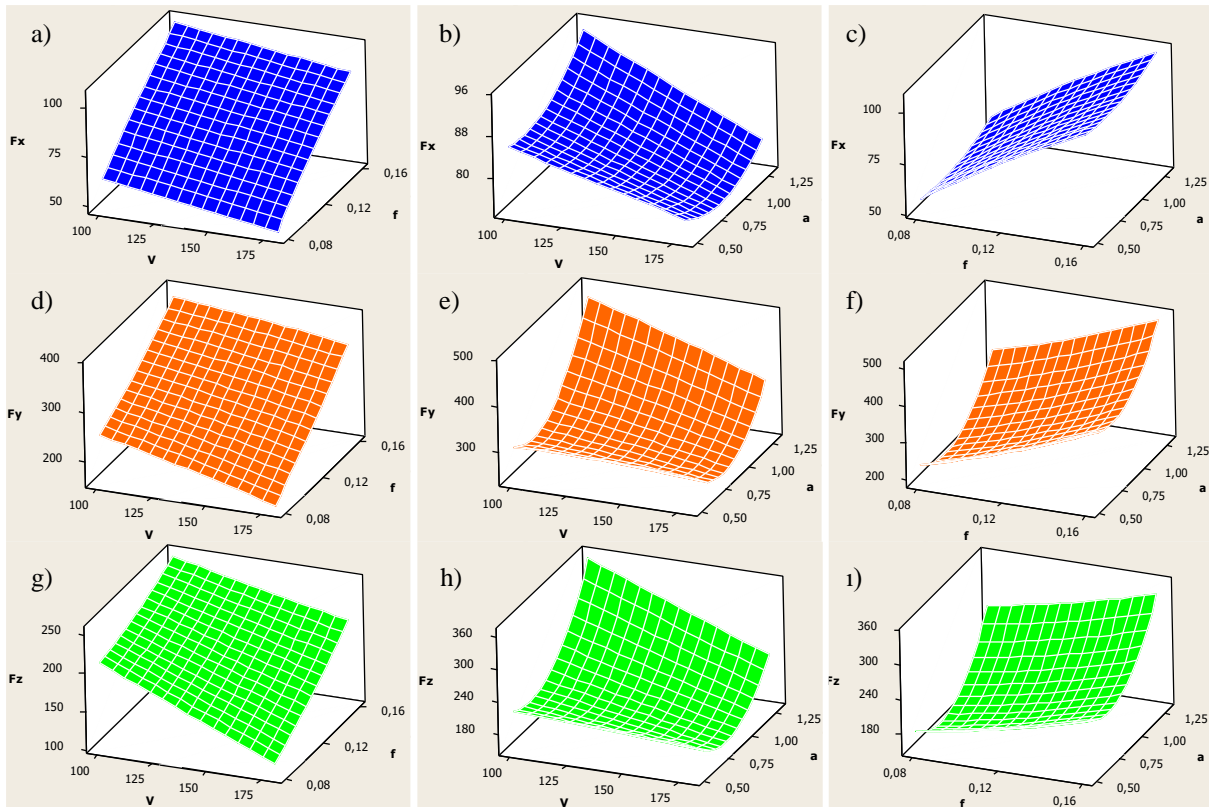


Figure 5. Effect of cutting parameters on F_x , F_y and F_z

Variance analysis (ANOVA) was performed to explain the effect amounts of cutting parameters used in the experimental design on cutting forces (F_x , F_y and F_z). The effect quantities of cutting parameters used in experimental design on cutting forces (F_x , F_y and F_z) were analyzed with variance analysis (ANOVA). The ANOVA values obtained show the effect rate of factors V, f and a on the cutting force. Table 4-Table 6 shows the ANOVA results performed in the 95% confidence interval of F_x , F_y and F_z . When Table 4a is examined, it is seen that the a is not effective on the cutting force in terms of $p < 0.05$ significance value. The f and the V are significant in the 95% confidence interval. As can be seen in Table 4a, the effect of the f on the F_x force is 93.42% and the effect of the V is 5.73%. So the most effective factor on F_x is the f, followed by V. When Table 4b is examined, it is seen that V, f and a are significant in terms of $p < 0.05$ significance value. When the contribution rates of cutting parameters on F_y are examined, it is seen that the most effect is the f with 67.57%, this is the a with 28.17%, and finally the V with the effect rate of 4.11%. According to Table 4c, when the factors on the F_y value are listed according to the degree of effect, it is seen that there is the f, a and V. The effect rates of cutting parameters on F_z force are; a is 41.32%, f is 40.04% and V is 17.94%.

Table 4. ANOVA Results for Taguchi L9 Experiment Design

a- Anova Results for Fx							
Factor	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	% contr.
V	2	2.4644	2.4644	1.2322	42.58	0.023	5.73
f	2	40.1570	40.1570	20.0785	693.83	0.001	93.42
a	2	0.3050	0.3050	0.1525	5.27	0.159	0.71
Error	2	0.0579	0.0579	0.0289			0.13
Total	8	42.9843					100.00
S= 0.1701 R ² =% 99.9 R ² (pred)=% 99.5							
b- Anova Results for Fy							
V	2	2.1397	2.1397	1.0698	26.25	0.037	4.11
f	2	35.2042	35.2042	17.6021	431.84	0.002	67.57
a	2	14.6787	14.6787	7.3394	180.06	0.006	28.17
Error	2	0.0815	0.0815	0.0408			0.16
Total	8	52.1041					100.00
S=0.2019 R ² =% 99.8 R ² (pred)=% 99.4							
c- Anova Results for Fz							
V	2	7.4521	7.4521	3.7261	25.54	0.038	17.94
f	2	16.6324	16.6324	8.3162	57.01	0.017	40.04
a	2	17.1645	17.1645	8.5822	58.83	0.017	41.32
Error	2	0.2918	0.2918	0.1459			0.70
Total	8	41.5407					100.00
S=0.3819 R ² =% 99.3 R ² (pred)=% 97.2							

In the experiments performed after the design of the Taguchi L9 experiment, the effect of cutting parameters on the cutting force was analyzed. At the final stage of the Taguchi design, optimization experiments were carried out. In this experimental study, optimum cutting parameters were determined. Then, 3 optimization tests were carried out to ensure the accuracy of the experiments. In accordance with the standards of turning tests, the tests were repeated 3 times. After this optimization, 180 m min⁻¹ V, 0.08 mm rev⁻¹ f and 0.9 mm a factors are seen as the most suitable parameter for cutting forces. Verification experiments were carried out using parameter levels V3-f1-a2. As a result of the experiments, Fx value was reached with 96.7%, Fy 97.5% and Fz with 96.9% estimated values.

Table 5. Optimization test results for cutting forces

Factor	Level	Fx (N)		Fy (N)		Fz (N)	
		Prediction	Experimental	Prediction	Experimental	Prediction	Experimental
V3	180						
f1	0.08						
a2	0.9	48.74	50.37	157.26	161.16	112.73	109.25

CONCLUSION

Findings obtained as a result of the experimental study examining the effect of AISI 4140 material on V, f and a parameters on cutting forces (Fx, Fy and Fz) are stated below. As a result of the experiments, it was observed that the lowest cutting force on Fx was 53.95 N, the V of 180 m min⁻¹, the f of 0.08 mm rev⁻¹ and the a of 1.3 mm. In Fy and Fz values, 140 m min⁻¹ V, 0.08 mm rev⁻¹ f and 0.9 mm a factors, respectively; It was observed that it corresponds to the force values of 207 N and 162 N.

As the V increases, Fx, Fy and Fz are decreasing, Fx, Fy, Fz increase with increasing the f and a. It was observed that there is an inverse proportional relationship between the V and f on cutting forces.

One of the most effective parameters on F_x and F_y is the f . The effect rate of the f on F_x and F_y , respectively; 93.42% and 67.57%. On F_z , the a effect rate was found to be 41.32%. The second effective parameters on F_x , F_y and F_z are 5.73% V , 28.17% a and 40.04% f , respectively. The factors that have the least effect on cutting forces (F_x , F_y and F_z) and contribution rates were seen as 0.71% a , 4.11% f and 17.94% V .

Optimum cutting parameters according to S/N ratios; 180 m min⁻¹ V , 0.05 mm rev⁻¹ f and 0.09 mm a ($V3-f1-a2$). As a result of the verification experiments, F_x , F_y and F_z values were estimated at 96.7%, 97.5% and 96.9% proximity rates, respectively.

REFERENCES

- Abou-El-Hossein KA, Kadrigama K, Hamdi M, Benyounis KY, 2007. Prediction of cutting force in end-milling operation of modified AISI P20 tool steel, *Journal of Materials Processing Technology* 182:241-247.
- Akkurt M, 2004. Talaş kaldırma yöntemleri ve Takım tezgâhları, Birsen Yayın Evi, İstanbul.
- Aouici H, Yallese MA, Fnides B, Mabrouki T, 2010. Machinability investigation in hard turning of AISI H11 hotwork steel with CBN tool, *Mechanika* 86:71-77.
- Aouici H, Yallese MA, Chaoui K, Mabrouki T, Rigal JF, 2012. Analysis of surface roughness and cutting force components in hard turning with CBN tool: prediction model and cutting conditions optimization, *Meas. J. Int. Meas. Confed.* 45:344–353.
- Bouacha K, Yallese MA, Mabrouki T, Rigal JF, 2010. Statistical analysis of surface roughness and cutting forces using response surface methodology in hard turning of AISI 52100 bearing steel with CBN tool, *Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials* 28:349–361.
- Çakır C, 1999. Modern talaşlı imalatın esasları, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayınları, Bursa 140: 1-110.
- Demir B, 2004. Ç4140 çeliğinden çift-fazlı çelik üretilebilirliğinin incelenmesi. *Teknoloji Dergisi*, 7(1):121-127.
- Gür AK, Taşkaya S, Özay Ç, 2019. Ramor 500 Çeliğinde Isıl İşlemin Mikroyapı, Mikrosertlik ve Abrasiv Aşınma Direncine Etkisinin Taguchi Metoduyla Değerlendirilmesi, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 8(3): 1045-1056.
- Höke G, Şahin İ, Çinici H, Fındık T, 2014. Kriyojenik işlemin SAE 4140 çeliğin mekanik özellikleri üzerine etkisi. *Selçuk Teknik-Online Dergi*, 13(2):25-37.
- Jayant A, Kumar V, 2008. Prediction of surface roughness in CNC turning operation using taguchi design of experiments, *Journal of the Institution of Engineers, Production Engineering Division* 88:19-25.
- Karayel B, Nalbant M, 2014. Effects of feedrate, cutting speed and cutting tools on average surface roughness, tool life and wear in turning of AISI 4140 material. *Electronic Journal of Machine Technologies*, 11:11-26.
- Kesti E, (2009). Ç - 4140 Çeliğinin, Mikro Yapı Ve Mekanik Özelliklerine Su Verme Ortamının Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 99s.
- Kurt A, Seker U, 2005. The effect of chamfer angle of polycrystalline cubic boron nitride cutting tool on the cutting forces and the tool stresses in finishing hard turning of AISI 52100 steel, *Materials and Design* 26:351-356.

- Lalwani DI, Mehta NK, Jain PK, 2008. Experimental investigations of cutting parameters influence on cutting forces and surface roughness in finish hard turning of MDN250 steel, *Journal of materials processing technology* 206:167-179.
- Meddour I, Yallese MA, Bensouilah H, Khellaf A, Elbah M, 2018. Prediction of surface roughness and cutting forces using RSM, ANN, and NSGA-II in finish turning of AISI 4140 hardened steel with mixed ceramic tool. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 97(5–8):1931–1949.
- Neşeli S, Asıltürk İ, Yıldız S, Sağlam H, 2012. Tornalama İşleminde Cevap Yüzey Metodu ile Kesme Kuvvetlerinin Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Modellenmesi. 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, Ankara.
- Özçatalbaş Y, 2002. The Effects of Tool Wear and Mechanical Properties of Workpiece Material on Surface Roughness and Cutting Forces, *Journal of Polytechnic* 4:47-52.
- Özdemir M, 2019. Optimization with Taguchi Method of Influences on Surface Roughness of Cutting Parameters in CNC Turning Processing, *Mechanika* 25:397-405.
- Özel T, Hsu TK, Zeren E, 2005. Effects of cutting edge geometry, workpiece hardness, feed rate and cutting speed on surface roughness and forces in finish turning of hardened AISI H13 steel, *Int J Adv Manuf Technol* 25:262–269.
- Panzer TH, Souza PR, Rubio JCC, Abrao AM, Mansur TR, 2012. Development of a three-component dynamometer to measure turning force, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 62:913-922.
- Rao, D. C. J., Rao, D. D. N. and Srihari, P. (2013). Influence of cutting parameters on on cutting force and surface finish in turning operation. *International Conference On Design and Manufacturing* 64:1405-1415.
- Ross PJ, 1988. *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, Mc-Graw-Hill, New York.
- Savas V, Ozay C, Ballıkaya H, 2016. Experimental investigation of cutting parameters in machining of 100Cr6 with tangential turn-milling method. *Adv. Manuf.*, 4(1): 97–104.
- Suresh R, Basavarajappa S, Gaitonde VN, Samuel GL, 2012. Machinability investigations on hardened AISI 4340 steel using coated carbide insert, *Int. J. Refract. Metals Hard Mater.* 33:75–86.
- Taşliyan A, Acarer M, Şeker U, Gökıaya H, Demir B, 2007. Inconel 718 Süper Alaşımının İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvveti Üzerindeki Etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi* 22(1):1-5.

The Effect of Fill Rate on Mechanical Properties of PLA Printed Samples

Arslan KAPTAN^{1*}, Fuat KARTAL²

ABSTRACT: Three-dimensional (3D) printers are a rapidly developing technology used in many fields today. Polylactic acid (PLA) is one of the most researched and used biodegradable polymers to date. PLA stands out as a biomaterial in other industries due to its many benefits, as it replaces conventional petrochemical-based polymers. The main purpose of this study is; to investigate the effect of different fill rates (5%, 50% and 100%) on the mechanical properties of samples produced from PLA in 3D printers. For each filling ratio, 5 samples were produced for bending test defined by ASTM D-790 standard and tensile tests defined by ASTM D-638 standard. In this study, it is aimed to model a printer producing with stacking technology and to compare the effects of occupancy rate on mechanical properties in the modeled 3D printer.

Keywords: 3D printer, polylactic acid (PLA), fused deposition modeling

¹Arslan KAPTAN (**Orcid ID:** 0000-0002-2431-9329), Sivas Cumhuriyet University, Sivas Technical Sciences Vocational School, Program of Rail System Machine, Sivas, Turkey

²Fuat KARTAL (**Orcid ID:** 0000-0002-2567-9705), Kastamonu University, Engineering and Architecture Faculty, Department of Mechanical Engineering, Kastamonu, Turkey

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Arslan KAPTAN, e-mail: akaptan@cumhuriyet.edu.tr

INTRODUCTION

3D printer is a machine that transforms 3D computer data into real objects (Bellini and Güçeri, 2003; Puebla, 2012; Schöppner and KTP, 2011). This technology can produce geometries that traditional manufacturing methods cannot be realized (Fodran et al., 1996; Schöppner and KTP, 2011; Puebla et al., 2012). 3D printer technology is not a new technology, but its first application dates back to 1984, but in the past 20 years, this method has not received much attention outside the field of rapid prototyping. With the RepRap project that started in 2006, it reached much larger masses. Thanks to this project, many ordinary users, hobbyists, people with a do-it-yourself culture have a 3D printer. Even three years after the start of the project, many companies have managed to spread the technology to a much wider audience by making use of the RepRap project to produce and sell open source 3D printers (Bellini and Güçeri, 2003; Schöppner and KTP, 2011; Puebla, 2012). 3D printers work with a production method called additive manufacturing. Although many raw materials are used for printing, thermoplastic materials, which are generally referred to as filaments, are used. One of the most commonly used thermoplastics in 3D printers is PLA (Fodran et al., 1996; Schöppner and KTP, 2011; Ziemian et al., 2012). It stands out with its biocompatible and biodegradable properties and low cost. It is one of the most preferred thermoplastics in personal care products, kitchenware and biomedical industry in the food packaging industry. The mechanical properties of the parts produced in the 3D printer vary depending on parameters such as layer thickness, table temperature, nozzle temperature, nozzle diameter, filling density, direction of printing. Parameters need to be optimized to obtain mechanical performance from parts produced in 3D printers (Fodran et al., 1996; Montero et al., 2001; Bellini and Güçeri, 2003; Schöppner and KTP, 2011; Puebla 2012; Ziemian et al., 2012). Çelebi et al. (2017) compared the strength values by making tensile and bending tests in 3D printer according to different occupancy rates. They determined that the tensile strength of the samples with the same fill rate up to 50%. As a result, they concluded that there were micro cracks that occurred during the printing process. They suggested that the ambient temperature be kept constant during production, the temperature difference between the table and the nozzle is low, the cooling fan speed is not high, and that the product is treated precisely when removing it from the tray. Günay et al. (2020) melt agglomeration from PLA + material produced using 3D printer by modeling in samples, the print speed, fill rate, and scan angle They examined the effects of tensile strength on variance analysis. In addition, using the Taguchi methodology, the optimum have determined the process parameters. Evlen et al. (2018) printed 54 test samples in total using three different occupancy rates (10%, 30% and 50%) and two different working environments (open and closed system). They subjected their samples to tensile test and shore hardness test. As a result of the study, they determined that the samples written in the closed system had a lower hardness value than the samples written in the open system, and their tensile strengths and % elongation were higher. Öz et al. (2018) investigated the effect of the print fill rate on the pull damage load of the parts printed in the 3D printer. They chose occupancy rates as 15%, 50% and 100% for the parts they printed. From the experimental results they obtained, they revealed that there was a significant increase in damage loads due to the increase in occupancy rates. Evlen et al. (2019) modeled a printer producing with deposition modelling technology and examined the effects of occupancy rate on the mechanical properties of the modeled 3D printer. As a result of their measurements, they have seen that the hardness value in PET and PLA materials is directly proportional to the material's fullness rate, and the hardness of the materials increases as the fullness rate increases. They determined that the roughness and tensile values of the samples produced from PLA and PET materials were inversely proportional to each other,

and that the roughness and tensile strength values were in the opposite direction from 10% to 20% filling rate.

3D printers are useful to underline that printing parameters play a very important role in the emergence of these areas of use. For example, if you are going to produce a prototype that will be used in the automotive supplier industry, it will be desired to be durable since the part will load on it. Or vice versa, visuality rather than strength will come to the fore in 3D parts to be produced in a company in the model sector. In this case, you have to master how you should apply your parameters according to your usage area.

We can collect the printing parameters under five main headings. These:

- Fill Rate
- Number of Shells
- Layer Thickness
- Extruder Temperature
- Print Speed

It is developing and renewing day by day, so different parameters appear in 3D printing processes. This may vary depending on the brand and software of the 3D printer, but the main parameters mentioned above will often remain the same. On the other hand, it would be better not to change the parameters other than those without knowing how to affect the 3D printer and printing.

MATERIALS AND METHODS

Materials

PLA is the most used 3D printer material according to current statistics (Fodran et al., 1996; Montero et al., 2001; Bellini and Güçeri, 2003; Schöppner and KTP, 2011; Puebla, 2012; Ziemian et al., 2012). The main reason for preferring this material is that it is easy to work as it can melt at low temperatures as seen in Table 1. It is also another advantage that PLA material is much less likely to be bent when printing. Therefore, it does not require the use of a heater table. Unlike Akrylonitril Butadin Stiren (ABS) material, PLA is produced from products containing starch, not oil origin. PLA material is also frequently used in the medical industry in implants and prostheses (Fodran et al., 1996; Montero et al., 2001; Bellini and Güçeri, 2003; Schöppner and KTP, 2011; Puebla, 2012; Ziemian et al., 2012; Evlen et al., 2020).

Table 1. Technical characteristics of PLA (Ziemian et al., 2012)

Features	Polylactic Acid (PLA)	Unit
Density	1.24	g cm^{-3}
Tensile Strength	50-70	MPa
Elasticity Module	3-4	GPa
Breaking Elongation	2-10	%
Bending Strength	100	MPa
Bending Modulus	4-5	GPa
Impact Strength (Izod, notched)	3-7	
Hardness (Rockwell-H)	70-90	kg m^{-2}
Melting temperature	180	$^{\circ}\text{C}$
Glass Transition Temperature	60-70	$^{\circ}\text{C}$

Preparation of Test Samples

Dream maker 3D printer and ESUN PLA plus filament shown in Figure 1 were used for the production of the test samples. Solid models of tensile and bending samples in accordance with ASTM D-638 (Figure 2.a) and ASTM D-790 (Figure 3.a) standards were created at Solidworks 2015 program,

and transferred to the 3D printing program shown in Figure 2.b and Figure 3.b. The created solid model was transferred in Slic3r 3D printer slicing program, and after the position of the sample on the printer tray and other production parameters were entered, printing of the samples was started. The tray was heated up to 50 °C to prevent the produced samples from sticking to the printer tray. The samples with the same occupancy rate were produced in one go by writing in groups of 5.



Figure 1. Dream maker 3D printer where tensile and bending samples are produced

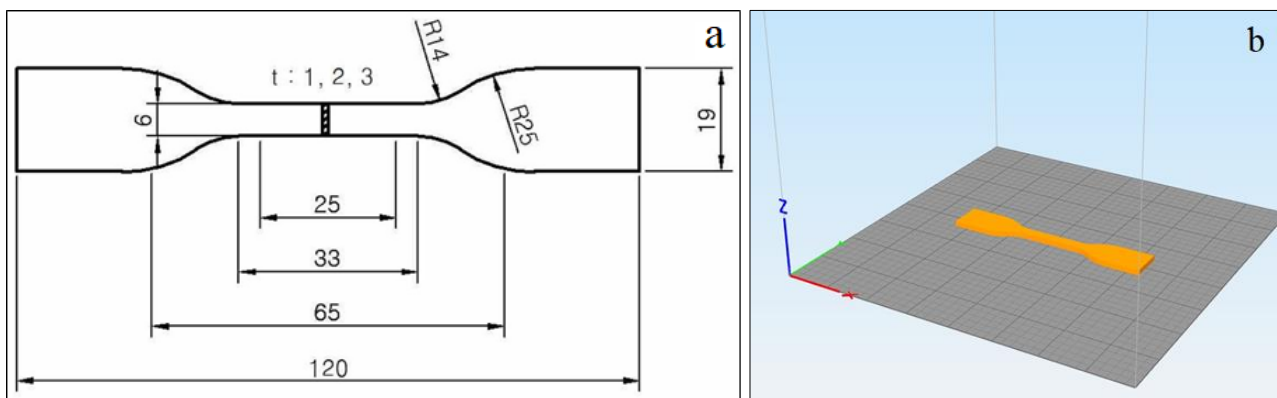


Figure 2. Tensile test sample (a) drawing in accordance with ASTM D-638 (b) 3D printing (ASTM, 1989)

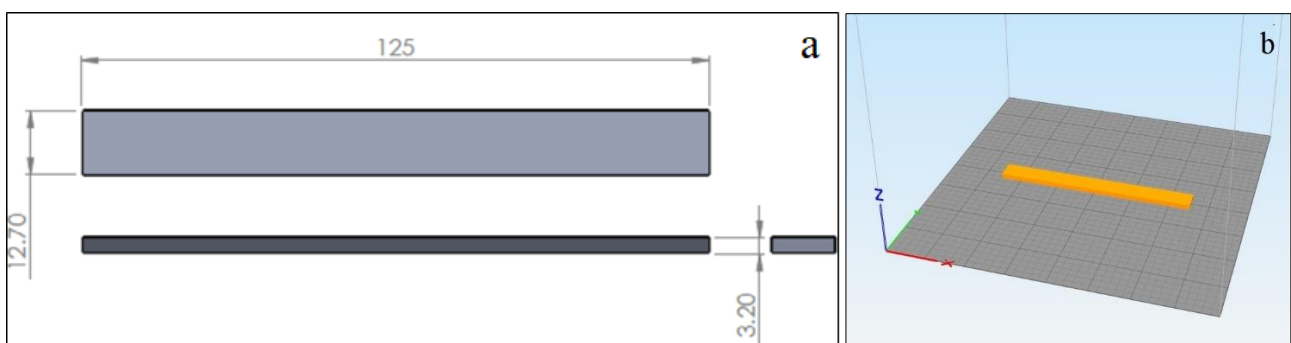


Figure 3. Bending test sample (a) drawing in accordance with ASTM D-790 (b) 3D printing (ASTM, 2003)

5 tensile specimens produced from PLA at 5%, 50% and 100% occupancy rates, respectively, in ASTM D-638 standard, and at 5%, 50% and 100% occupancy rates, respectively, in ASTM D-790

standard a total of 30 test samples, including the bending sample, were prepared in the 3D printer. Findings obtained by applying tensile and bending tests to the prepared samples were examined.

Tensile Test

With the ASTM D-638 standard, the samples clamped to the upper and lower jaws in the Shimadzu Autograph AGS-X 100KN model tensile tester, as shown in Figure 4.a, were subjected to shrinkage at a rate of 5 mm/min as shown in Figure 4.b. The tensile strength, flexibility modulus and percent elongation values of the samples were determined using the same stress rate for the samples at all occupancy rates.

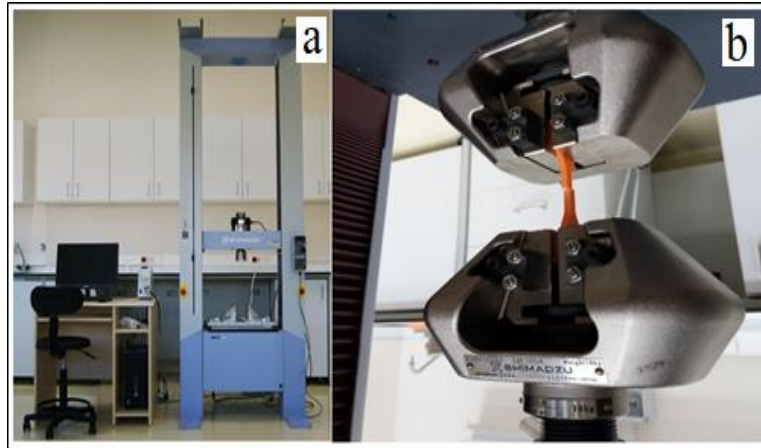


Figure 4. Tensile testing (a) tensile testing setup (b) tensile tested sample

Bending Test

In the Shimadzu Autograph AGS-X 100KN model pulling device, the ASTM D-790 standard bending process was performed at 5 mm/min by determining the distance between the supports to be 16 times the sample thickness as required by the standard (Figure 5.a). Figure 5.b shows the 3D printed part with bending test completed. The bending strength, bending modulus and elongation amounts of the samples were determined using the same bending speed in the samples at all occupancy rates.

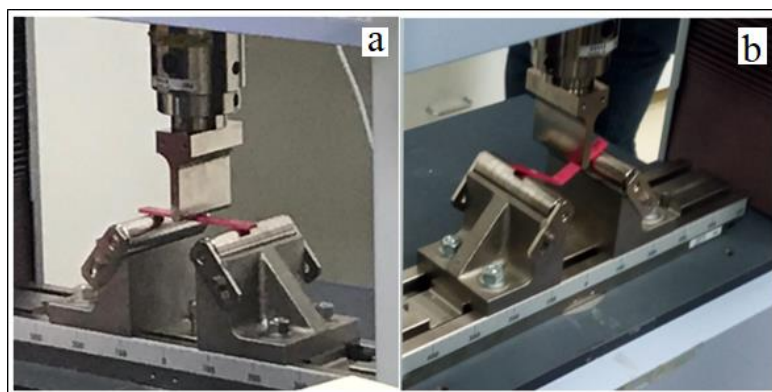


Figure 5. Bending testing (a) placing the sample on the instrument (b) test result

RESULTS AND DISCUSSION

In this study, the effects of raw materials and production parameters used in 3D printers, which are widely used today and will be used in many fields in the coming years, were investigated. The behavior of the PLA used in these printers, which have gradually entered our homes and are quite easy to reach, has been examined in different parameters and at different occupancy rates. Considering that it

is also possible to produce PLA with different physical properties and obtain the desired performance value, the mechanical properties of the samples that we prepared from the PLA filament used in the printer have been examined by making pulling and bending tests. Tensile curves of samples with 5%, 50% and 100% fill rates are given in Figure 6.

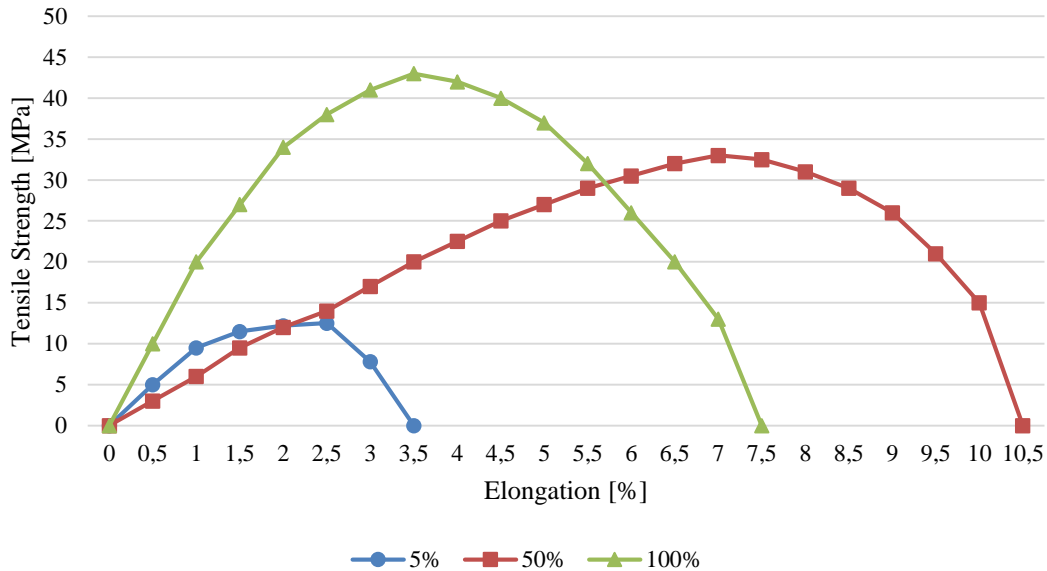


Figure 6. Tensile curve of samples with 5%, 50% and 100%

The results obtained are summarized in Table 2. In line with these results, differences in tensile strengths of samples with the same occupancy rate up to 50% were determined. The reason for the difference is that micro cracks occur during 3D printing. It has been suggested that the ambient temperature is kept constant during production, the temperature difference between the table and the nozzle is low, the cooling fan speed is not high and that the product is treated precisely during separation from the tray. When the bending test results were examined, it was observed that the effect of occupancy rate on the maximum force during cracking started was quite small. It is thought that the occupancy rate can be decreased in a reasonable amount in order to reduce the cost without compromising the mechanical properties in the products that will be subjected to compression force.

Table 2. Bending and tensile test results

Solidity ratio	Tensile Strength [MPa]			Bending Strength [MPa]		
	5%	50%	100%	5%	50%	100%
Sample 1	5	32	42	63	82	97
Sample 2	8	24	36	61	79	98
Sample 3	9	28	21	70	83	96
Sample 4	7	27	25	69	81	103
Sample 5	9	25	33	68	79	101
Average	7.6	27.2	31.4	66.2	80.8	99

When the effects of bending strength are analyzed, it is seen in Figure 7 that at least 61 MPa strength was obtained at 5% fullness, while at least 79 MPa at 50% fullness and at least 96 MPa at 100% fullness.

Build time, filament length amount and plastic weight spent in tensile and bending test samples produced in different filling ratios are given in Table 3. The output variables here may show a nonlinear

change depending on the geometric structure of the part produced. The filling rate selection should be determined by the user according to the material to be used and the physical conditions.

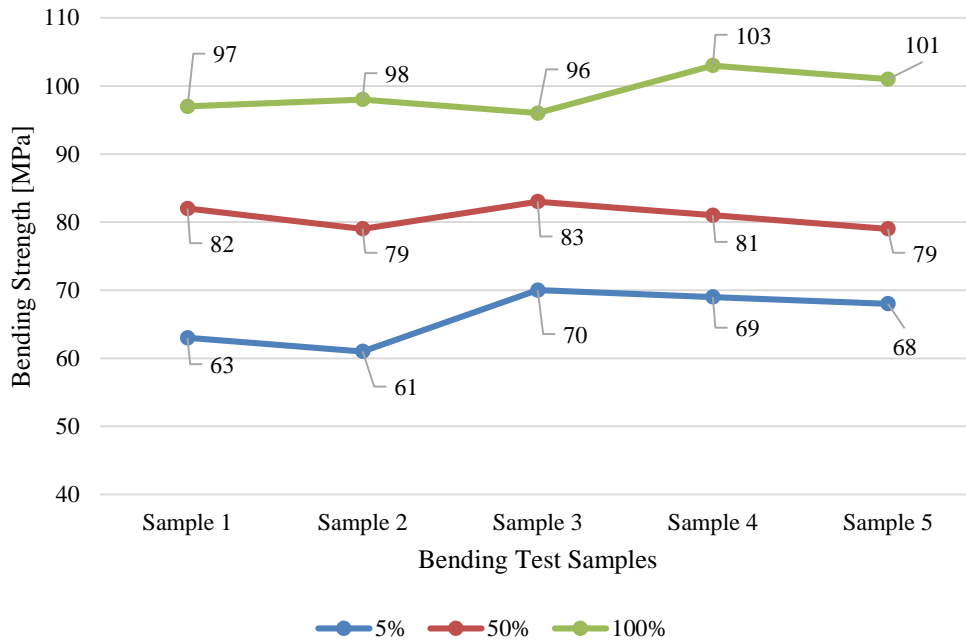


Figure 7. Effect of filling rates of samples on bending strength

Table 3. Manufacturing outputs.

Manufacturing Outputs	Tensile Test Samples			Bending Test Samples		
	5%	50%	100%	5%	50%	100%
Build time	15 min.	19 min.	24 min.	14 min.	18 min.	23 min.
Filament length	1057.1 mm	1462.4 mm	1969.1 mm	993.4 mm	1368.7 mm	1836.8 mm
Plastic weight	3.18 g	4.40	5.92 g	2.99 g	4.12 g	5.52 g

The most important criterion that determines the strength of the model is the filling ratio. The more full your model will be, the more resistant it will be. Of course, the type of filament used will also affect durability. Even if the model is designed as 100% full, it can be adjusted with the 3D printer interface at the desired occupancy rate. The cell sizes of the spaces between 30-40% occupancy rate and 100% occupancy rate in 3D printing do not change much. For this reason, 10-50% occupancy rate will be sufficient to produce high strength models with less material. If only model or figure will be produced, the model may not need to have high strength since it will not be subjected to heavy processes or stress. Therefore, it may be thought that it would be sufficient to select the internal filling rate at 10% levels.

CONCLUSION

The results and suggestions obtained from the study can be listed as follows:

- The main result of this experimental research study is that it is demonstrated that high strength values can be achieved with 50% occupancy rate. Compared to the results obtained from 100% occupancy rate; It has been determined that it has an average of 3/4 strength in tensile strength. Thus, it has been determined that acceptable tensile strengths can be achieved by using half the raw material in product manufacturing.

- In the results of bending strength, it has been shown that it has resistance values at 3/5 times the 100% occupancy rate even at 5% occupancy rate. Based on this result, it is an important amount of raw material savings to obtain approximate results for the bending strengths of 100% filling ratio without

more raw material with 5% filling rate of parts produced from the 3D printer that will be exposed to bending.

- The lightness of the produced parts is another positive side. An assembly system consisting of many parts, parts manufactured in all parts at low occupancy rates will mean that the assembled system will be developed more lightly and compactly.

- One of the important results obtained from the study is the cost of the raw material used in the 3D printer, and the plastic wastes it produces after its use. Using less raw material also means creating less plastic waste in order to demonstrate that the products can reach the desired resistance values with a lower filling rate. Thus, it has been demonstrated that the low filling rate is both a good strength and a more environmentalist approach.

- Another dimension of product printing with 3D printers is the amount of energy consumed during the manufacture of the product. The amount of plastic consumed per product will also decrease as the amount of plastic that needs to be melted will be less with lower filling rates. In the production process, work can be done to determine the amount of electricity consumed according to occupancy rates.

- On the other hand, how long the layered production technique in 3D printers is required per product. Increasing occupancy rates in terms of time planning is a factor that will increase the product manufacturing time. Therefore, the effect of occupancy rates on unit product manufacturing time can also be investigated.

- The 3D printer's uptime will also increase depreciation costs and directly affect the overall life of the printer. Prints at a low fill rate will shorten the printer's uptime and wear, etc. It will also contribute to the reduction of such problems. Prints at different fill rates can be determined to determine the life of the printer.

REFERENCES

- ASTM, 1989. D 638. Standard test method for tensile properties of plastic (metric). American Society for Testing and Materials Standard.
- ASTM, 2003. D 790–03. Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. American Society for Testing and Materials Standard.
- Bellini A, Güçeri S, 2003. Mechanical characterization of parts fabricated using fused deposition modeling. *Rapid Prototyping Journal*. 9(4): 252–264.
- Çelebi A, Demirdal S, Akbulut M, 2017. Influence of fill rates on the mechanical properties of polylactic acid (PLA) specimen produced by 3D printing. *International Symposium on 3D Printing Technologies*, 3-4 April 2017, Karabük.
- Evlen H, Erel G, Yılmaz E, 2018. Investigation on the effect of the open and closed systems, *Journal of Polytechnic*, 21(3), 651-662.
- Evlen H, Özdemir MA, Çalışkan A, 2019. Effects of filling percentage on mechanical properties of PLA and PET materials. *Journal of Polytechnic*, 22(4), 1031-1037.
- Fodran E, Koch M, Menon U, 1996. Mechanical and dimensional characteristics of fused deposition modeling build styles, *International Solid Freeform Fabrication Symposium*, 1996, California.
- Günay M, Gündüz S, Yılmaz H, Yaşar N, Kaçar R, 2020. Optimization of 3D printing operation parameters for tensile strength PLA based sample, *Journal of Polytechnic*, 23(1), 73-79.
- Montero M, Roundy S, Odell D, Ahn SH, Wright PK, 2001. Material characterization of fused deposition modeling (FDM) ABS by designed experiments. *Society of Manufacturing Engineers*, 10 13552540210441166.

- Öz Ö, Aydın M, Kara AS, Sancak MS, 2018. Determination of the infill ratio effect on the failure loads of the printed parts, *International Journal Of 3D Printing Technologies And Digital Industry*, 2(1), 32-39.
- Puebla K, Arcaute K, Quintana R, Wicker RB, 2012. Effects of environmental conditions, aging, and build orientations on the mechanical properties of ASTM type I specimens manufactured via stereolithography. *Rapid Prototyping Journal*, 18(5), 374-388.
- Schöppner V, KTP KP, 2011. Mechanical properties of fused deposition modeling parts manufactured with Ultem 9085. In *Proceedings of 69th Annual Technical Conference of the Society of Plastics Engineers*, 7(2):1294-1298.
- Ziemian C, Sharma M, Ziemian S, 2012. Anisotropic mechanical properties of ABS parts fabricated by fused deposition modelling. *Mechanical engineering*, 23. 159-180.

İHA Kanatlarında Kullanılan Cam ve Karbon Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Yapısal Performanslarının Sayısal Simülasyonlar ile İncelenmesi

Ahmet Mesut ÖZTÜRK^{1*}, Ömer GÜNDOĞDU¹

ÖZET: Kompozit malzemeler yüksek özgül mukavemet, korozyon direnci, titreşim sönümlenme kabiliyeti gibi birçok avantajlı özelliğe sahip oldukları için başta havacılık ve otomotiv olmak üzere birçok sektörde sıklıkla tercih edilmektedirler. Bu çalışma kapsamında kompozit malzeme ve metalik malzemelerin birlikte oluşturduğu bir insansız hava aracı kanadının yapısal davranışı teorik olarak incelenmiştir. Çalışmada iki farklı kanat geometrisi üzerinde durulmuştur. Birincisi, flap ve aileron bulundurmeyen yekpare bir kabuğa sahip kanat geometrisidir. Bu kanat geometrisi Model 1 olarak isimlendirilmiştir. İkincisi ise üzerinde flap ve aileron kontrol yüzeylerini ve ilgili tüm yapısal elemanlarını barındıran kanat geometrisidir ve bu kanat geometrisi ise Model 2 olarak adlandırılmıştır. Referans alınan teorik kanat modelini yapısal olarak geliştirmek amacıyla farklı malzeme sistemlerinin kullanıldığı yeni teorik kanat modelleri oluşturulmuştur. Bu modeller yatay uçuş seyir şartları ve maksimum statik basınç yükü altında yapısal analizlere tabi tutulmuş en uygun konfigürasyonlar ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: ANSYS®, statik analiz, doğal frekans, sonlu elemanlar yöntemi, kompozit malzeme, insansız hava aracı, yapısal analiz, akış analizi.

Investigation of Structural Performances of Composite Materials Reinforced by Glass and Carbon Fibers Used on Unmanned Aerial Vehicles Using Numerical Simulations

ABSTRACT: Composite materials are often preferred in many industries such as aviation and automotive since they have many advantageous properties such as high specific strength, high corrosion resistance and ability to absorb vibration. In this study, a research for structural behaviour is theoretically done on an unmanned aerial vehicle wing composed of composite materials and metallic materials. Two different wing geometries are considered in the study. The first of these is the wing geometry without control surfaces that are flap and aileron. This wing geometry is mentioned as Model 1. The second of these is the wing geometry with flap, aileron and related components. The second wing geometry is mentioned as Model 2. New wing models composed of different material systems are created and analysed under different loads in order to develop reference wing model. These loads are the loads calculated under level flight cruise conditions and maximum static pressure loading conditions. In this way, the optimum configurations of the wing models are obtained.

Keywords: ANSYS®, static analysis, natural frequency, finite element method, composite materials, unmanned aerial vehicle, structural analysis, flow analysis.

¹ Ahmet Mesut ÖZTÜRK (0000-0003-0847-4895), Ömer GÜNDOĞDU (0000-0003-2656-4181), Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Ahmet Mesut ÖZTÜRK, e-mail: ahmetmesut.ozturk@ogr.atauni.edu.tr

Bu çalışma Ahmet Mesut ÖZTÜRK'ün Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

GİRİŞ

Kompozit malzemelerin, havacılık sektörünün ayrılmaz bir parçası haline gelmesi 1903 yılında Wright kardeşlerin yaptıkları ilk başarılı uçuş deneyi ile mümkün olmuştur (Soutis, 2005). Starke ve Staley (1996) hava araçlarında mukavemetin ağırlığa oranının, malzeme seçimi yapılırken göz önüne alınması gereken kritik önemde bir konu olduğunu, bu yüzden kompozit malzemelerin tercih edildiğini ifade etmiştir. Havacılık endüstrisinde kompozit malzeme kullanımı konusunda yapılmış birçok çalışma literatürde mevcuttur. Starnes ve Haftka (1979) kompozit kanatların ön tasarımı konusunda burkulma, mukavemet, sehim kısıtlarına yönelik olarak bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada göz önüne alınan malzeme sistemleri tümüyle graphite-epoxy, boron-epoxy kiriş profil başlıklı (spar caps) graphite-epoxy ve tümüyle alüminyum malzemedir. Bu çalışmada kompozit malzeme tasarımlarının alüminyum tasarımlar üzerinde bir avantaja sahip olduğu ve bu avantajın kompozit malzeme tasarımlarının yalnızca küçük miktarda kütle artışı ile ilave kısıtları karşılayabilmesi olduğu ortaya konulmuştur.

Griffin ve ark. (1981) kompozit bir aileronun ayrıntılı tasarımını yapmışlardır. Bu aileron tasarımı, iç yapıya mekanik olarak bağlanmış tek parça halindeki üst ve alt kabuklara sahip çok kaburgalı bir konfigürasyondur. İç yapının üzerini kapatan kabukları, ön kirişi ve kaburgaları, dokuma ve şerit halindeki graphite/epoxy kompozit malzemededen imal etmişlerdir. Bu tasarım geliştirilmesi planlanan alüminyum aileron ile kıyaslandığında ağırlıkta %23'lük bir düşüş sağlamıştır. Bu kompozit aileronun metal ailerondan %50 daha az bağlantı elemanı ve parça içermesinin yanında maliyet bakımından metal aileron ile rekabet edebilir pozisyonda olduğu değerlendirilmiştir. Kompozit aileronun yapısal bütünlüğü, yapısal analizler ve geniş çaplı bir test programı ile tahkik edilmiştir. Kompozit malzeme tabakaları için sonlu eleman modelleri ve özel bilgisayar programları kullanarak kompozit aileron üzerinde statik, arızaya karşı emniyetlilik ve titreşim analizleri yapılmıştır. Son olarak tasarımın kritik detayları, aileronun tam ölçekli alt bileşen ve alt montaj sistemleri üzerinde statik ve yorulma testleri ile tahkik edilmiştir.

Romano ve ark. (2009) alüminyum aileronların yerine kullanılabilecek CFRP bir aileron geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri yeni CFRP aileronun tasarımı için P180 Avanti uçağında kullanılan mevcut alüminyum aileronu referans almışlardır. RTM (Reçine Transfer Kalıplama) yöntemi kullanılarak üretilen bu yeni kompozit tabakalı yapıyı alüminyum parça ile aynı geometriye, fonksiyonel performansa ve bağlantı tertibatına sahip olacak şekilde tasarlamışlardır. Çalışmada hem basitleştirilmiş hem de detaylı bir tasarım yaklaşımı takip edilerek geliştirilen iteratif bir tasarım metodolojisi kullanılmış ve sonuçta optimize edilmiş bir aileron konsepti ortaya konulmuştur. Bu konsept hem yapısal alt parçaların sayısında ciddi bir düşüşe hem de daha hafif yapısal alt parçaların tasarlanmasına olanak vermiştir.

Sepe ve ark. (2017) kompozit malzemededen imal edilmiş, statik yükler altındaki yatay bir stabilizer parçasının mekanik davranışını incelemişlerdir. Stabilizerin yapısal bileşenleri petek yapıdaki bir çekirdek malzeme (HRH-10-1/8-4.0) içeren kompozit sandviç panellerden (HTA 5131/RTM 6) imal edilmiştir. Bu sandviç kabuk yapılar RTM (Reçine Transfer Kalıplama) yöntemi ile üretilmiştir. Bu stabilizerin mekanik dayanımını belirlemek için kritik aerodinamik uçuş yükü deneysel olarak oluşturulmuş ve stabilizere uygulanmıştır. Deneysel testlerde kullanılabilecek eşdeğer ve daha basit olan bir yük vektörünün şiddetini, yönünü ve dağılımını kalibre etmek amacıyla deneysel çabaları azaltma amaçlı ve sonlu elemanlar yöntemine (FEM) dayalı sayısal bir model geliştirilmiştir. NASTRAN® kodu kullanılarak yapılan FEM analizi, petek yapıdaki çekirdek kısmın eşdeğer bir ortotropik plaka kullanılarak modellenmesine ve kompozit sandviç plakalardan oluşan kabukların her bir tabakanın

takviye açılarının, malzeme özelliklerinin tanımlanması yoluyla modellenmesine imkan tanımıştır. Son olarak sayısal ve deneysel sonuçlar kıyaslanmış ve sonuçlarda iyi bir uyum elde edilmiştir.

Patterson ve Grenstedt (2018) yüksek irtifada ve yüksek hızlarda seyredilebilen bir insansız hava aracı için 6 metrelik karbon fiber bir kanadı tek bir kürlenme prosesi ile imal etmişlerdir. Kanat kabuğuna ait iki adet kalıp, doğrudan malzeme üzerine işlenmiş kalıp geometrisine sahip ve düşük yoğunluklu bir kalıp malzemesi (tooling board) kullanılarak oluşturulmuştur. Bu şekilde malzeme işleme süresi ve maliyetinden tasarruf sağlamışlardır. Firar kenarı boşluğunu oluşturmak için ise alüminyum bir ek parça kullanmışlardır. Kanat içerisindeki altı adet kaburgayı konumlandırmak için polystyrene köpükten yapılmış üç adet çıkartılabilir model kullanmışlardır. Kürlenme işlemi ve bu modellerin kabuktan sökülmesinden sonra iç kaburgaları oluşturulmuş içi boş bir kanat elde etmişlerdir. Üretilen kanat kabuğunda bazı kusurlar tespit etmelerine rağmen genel olarak yapısal özellikleri çok iyi durumda olan parçalar üretmişlerdir. Sonuç olarak kullandıkları bu yöntemin karmaşık kompozit parçalar üretmek için muazzam bir potansiyeli olduğunu kanıtlamışlardır.

Bu makaleye konu olan teorik çalışmada ise belirlenen 3 farklı kompozit malzemenin 1.5 m açıklıklı bir insansız hava aracı kanadının yapısal elemanlarında kullanılmaları halinde, farklı statik basınç yükleri altında kanat yapısal performansı üzerindeki etkileri incelenmiş ve farklı malzeme konfigürasyonlarından oluşan kanat modellerinden en başarılı olanı belirlenmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

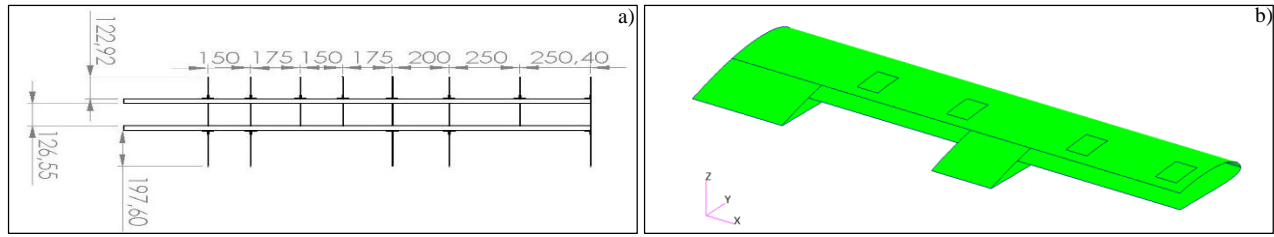
Bu çalışmaya konu olan tüm yapısal analizler sonlu elemanlar paket programlarından ANSYS® kullanılarak yapılmıştır. Yapısal analizlerde kullanılacak olan kanat katı modelleri ise her bir kanat parçası SolidWorks® programında oluşturularak ve bu parçaların montajları yapılarak elde edilmiştir. Daha sonra kanat katı modellerindeki metalik kısma ait katı model ve kompozit parçalara ait yüzey modeller ANSYS® Workbench programındaki ilgili modüllere ayrı ayrı aktarılmıştır. Metalik kısma ait malzeme özelliklerinin tanımlanması ve mesh oluşturma işlemleri Mechanical/ANSYS® analiz modülünde yapılmıştır. Kompozit parçalara ait sonlu elemanlar modelleri ise analizi yapılacak olan kompozit malzemelerin mekanik ve fiziksel özellikleri göz önünde bulundurularak ANSYS® Composite PrepPost (Pre) modülünde oluşturulmuştur. Bu işlemlerin ardından ANSYS® Workbench programında metalik aksam ve kompozit parçalar montaj edilerek analizin yapılacağı sisteme aktarılmışlardır. Öte yandan montaj işlemleri tamamlanan kanat modelleri kullanılarak statik basınç dağılımının elde edileceği kanat yüzeyleri Fluent/ANSYS® programında bir dizi modelleme işlemleri ile oluşturulmuş ve akış analizleri yapılarak her iki kanat modeli için de statik basınç yükleri hesaplatılmıştır. Son olarak, hesaplanan yükler ilgili analiz sistemlerine transfer edilerek kanat yapısal analizleri yapılmıştır.

Kanat Katı Modelinin Oluşturulması

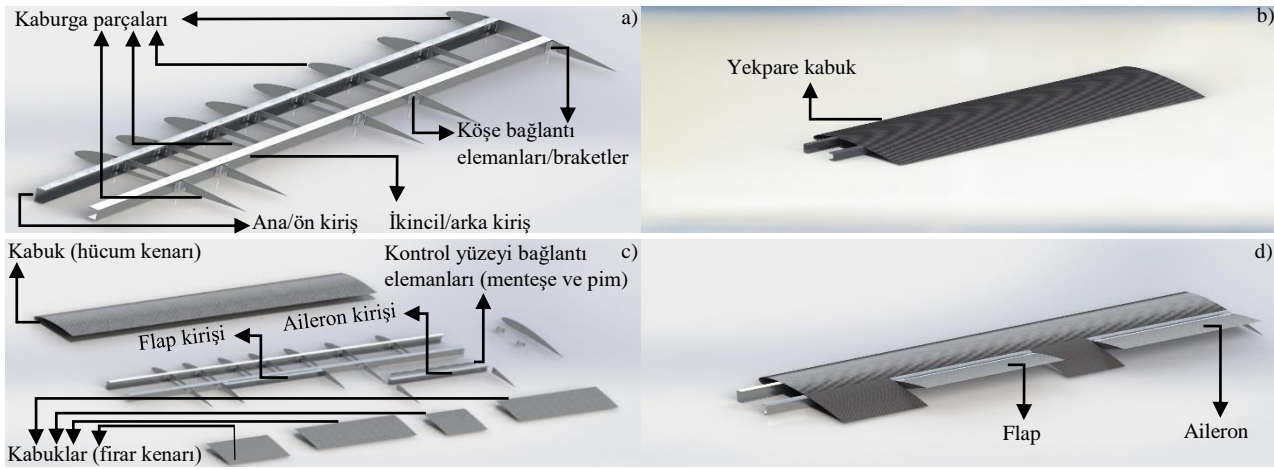
Bu çalışmada yeni bir kanat geometrisi tasarımı yapılmamış bunun yerine TÜBİTAK 107M103 projesinde İnsuyu (2010), Ünlüsoy (2010) ve Sakarya (2010) tarafından tasarımı yapılan bir insansız hava aracına ait kanat geometrisi üzerinde çalışılmıştır. Kanat CAD geometrisi oluşturulurken Ünlüsoy (2010) tarafından yapısal tasarımı yapılan kanada ait ölçüler kullanılmıştır (Şekil 1.a).

Analizler kontrol yüzeyi içermeyen yekpare yapıda bir kabuğa sahip olan Model 1 ile flap ve aileron kontrol yüzeylerine sahip olan Model 2 kanat geometrisi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Model 1 geometrisi ve ilave kontrol yüzeyi geometrileri hariç Model 2 kanat geometrisi bu çalışmanın başlangıç noktası olarak kabul edilen ve referans model olarak göz önüne alınan kanat geometrisi ile aynı iç yapı geometrisine sahiptir. Model 1 ile referans alınan teorik model arasındaki tek fark kabuk

geometrilerindeki kontrol yüzeylerine ait kısımların farklı olmasıdır (Şekil 1.b). Şekil 2’de Model 1 ve Model 2 kanat geometrilerine ait katı modeller sunulmuştur.



Şekil 1. a) Model 1, Model 2 ve referans alınan teorik model geometrileri için kanat ölçüleri (mm) b) Referans alınan teorik kanat modeline ait kabuk geometrisi (Ünlüsoy, 2010)



Şekil 2. a) Model 1 iç yapı b) Model 1 dış yapı c) Model 2 yapısal elemanları d) Model 2 montaj sonrası görünüm

Kanat İç Yapısı İçin Malzeme Seçimi

Bu çalışmada kanat iç yapısında farklı malzeme konfigürasyonları oluşturacak şekilde 3 farklı metalik malzeme tercih edilmiştir. Bu metalik malzemelere ait fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Kanat iç yapısında kullanılan metalik malzemelere ait mekanik ve fiziksel özellikler

	Mg alaşımı (ANSYS veri tabanı)	Alüminyum 7075-T651 (Ünlüsoy, 2010)	Alüminyum 2024-T3 (Ünlüsoy, 2010)
Yoğunluk	1800 kg m ⁻³	2810 kg m ⁻³	2780 kg m ⁻³
Elastisite modülü	45 GPa	71.7 GPa	73.1 GPa
Kayma modülü	16.7 GPa	26.9 GPa	28 GPa
Poisson oranı	0.35	0.33	0.33
Çekme mukavemeti	255 MPa	572 MPa	483 MPa
Akma mukavemeti	193 MPa	503 MPa	385 MPa

Kanat Dış Yapısı/Kabuk ve Kompozit Kaburgalar İçin Malzeme Seçimi

Günümüzde yüksek mukavemet/ağırlık, rijitlik/ağırlık oranlarına sahip olan sürekli elyaf takviyeli polimer matrisli kompozitler, havacılık ve otomotiv gibi hafif yapısal parçalara ihtiyaç duyan sektörlerde kullanım sahaları bulmuşlardır. Bu sektörlerde imalatı yapılan ürünlerde kompozit malzemelerin kullanılması üretilecek parça sayısını azaltarak bakım ve onarım süreçlerinde ihtiyaç duyulan yedek parça adedi ve çeşitliliğinin azalmasını sağlamakta ve ürünlerin servis ömrü maliyetlerinin büyük oranda aşağı çekilmesini sağlamaktadır (Blanchard ve Fabrycky, 2006).

Bu çalışma kapsamında farklı malzeme konfigürasyonları oluşturmak ve analizlerin yapılacağı yükleme şartları altında en yüksek rijitlik/ağırlık oranını yakalamak amacıyla 3 farklı kompozit malzemeden faydalanılmıştır. Kanat kabuğunu ve kompozit olarak modellenmesi planlanan kaburgaları

modellemede kullanılacak olan kompozitlere ait fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 2’de sunulmuştur. Bu çalışmada kompozit kanat kabukları modellenirken kabuk tabakalarına ait takviye açılımları için kanat kirişlerine paralel olacak şekilde kanat açıklığı doğrultusunda 0° açılı bir referans eksen belirlenmiştir. Bu referans eksen kaburga parçaları için ise kanat profilini temsil eden airfoil üzerinde hücum ve firar kenarlarını birleştiren veter hattına paralel olacak şekilde firar kenarına doğru yönlendirilmiştir. (Öztürk, 2019).

Çizelge 2. Kanat tasarımında kullanılan sürekli elyaf takviyeli kompozitlere ait mekanik ve fiziksel özellikler

	Epoxy E-Glass Wet (ANSYS veri tabanı)	Epoxy Carbon UD Prepreg (ANSYS veri tabanı)	Teorik 7781 E-Glass Fabric – Araldite LY5052 Resin / Aradur HY5052 Hardener (Ünlüsoy, 2010)
Yoğunluk (ρ)	1850 kg m ⁻³	1540 kg m ⁻³	1772 kg m ⁻³
Elastisite modülü (E_1)	35000 MPa	2.09x10 ⁵ MPa	22100 MPa
Elastisite modülü (E_2)	9000 MPa	9450 MPa	22400 MPa
Majör Poisson oranı (ν_{12})	0.28	0.27	0.15
Kayma modülü (G_{12})	4700 MPa	5500 MPa	3790 MPa
Kayma modülü (G_{13})	4700 MPa	5500 MPa	2960 MPa
Kayma modülü (G_{23})	3500 MPa	3900 MPa	2960 MPa

Statik Basınç Yükünün Tayini ve Kanat Sonlu Elemanlar Modeline Uygulanması

Üç boyutlu akış analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için Model 1 ve Model 2 kanat geometrileri kullanılarak sonlu hacimler modelleri (Fluent/ANSYS® modelleri) oluşturulmuştur. Çizelge 3’te bu geometriler üzerinde sonlu hacimler modellerinin kurulabilmesi amacıyla oluşturulan ağ yapısı (mesh) bilgileri, akış modelleri ve kullanılan çözücüye ait bilgiler paylaşılmıştır.

Çizelge 3. Kanat sonlu hacimler modellerine ait mesh bilgileri ile Fluent’te kullanılan akış model ve çözücü bilgileri

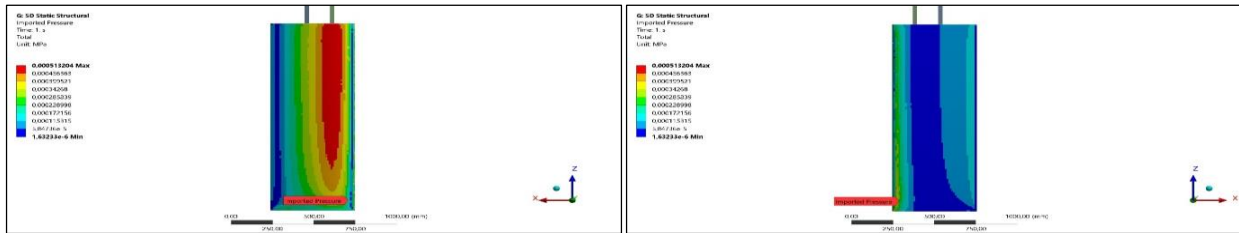
Mesh Yöntemi	Automatic Method (Hibrit Meshleme)	Akışkan Yoğunluğu	Sabit (Sıkıştırılmaz Akış kabulü)
Mesh Elemanları	Tetrahedron (Karmaşık katı modellerde tercih edilmektedir.)	Çözücü	Zamandan Bağımsız Basınç Tabanlı Çözücü
Relevance Center	Medium	Akış Modeli	Standard k- ϵ (Türbülanslı Viskoz Akış)
Mesh Eleman/Düğüm Sayısı	299 859/55 548 (Model 1)	Çözüm Algoritması	Coupled

Hem Model 1 hem de Model 2 kanat geometrileri için bu tercihlerle oluşturulan sonlu hacimler modelleri yatay uçuş seyir şartları altında akış analizlerine tabi tutularak üzerlerindeki basınç dağılım konturları elde edilmiştir. Daha sonra kanat akış analizlerinin yapılması sonucu elde edilen basınç dağılımı değerlerinin kanat sonlu elemanlar modeline statik basınç yükü olarak aktarılması işlemi gerçekleştirilmiştir. Kanat sonlu hacimler modellerine ve kabukların ACP modülünde oluşturulan sonlu elemanlar modellerine ait mesh kalitelerinin yüksek ve birbiri ile uyumlu olması bu işlemin yüksek doğrulukla gerçekleştirilebilmesi için büyük önem arz etmektedir (Öztürk, 2019). Kanat sonlu eleman modellerine uygulanan statik basınç yükleri Şekil 3 ve Şekil 4’te her iki kanat geometrisi içinde sunulmuştur.

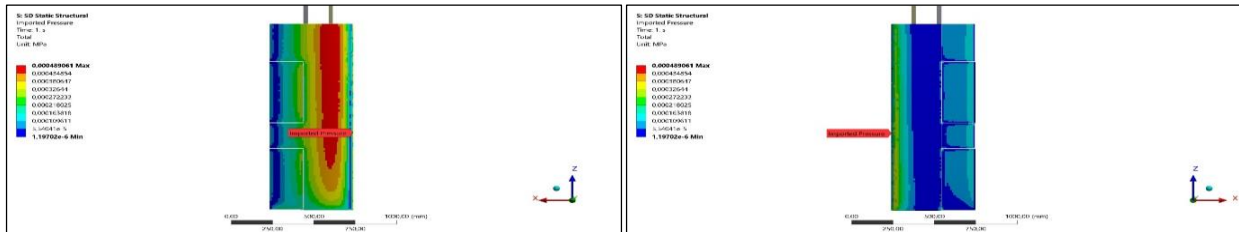
Kanat İç Yapısına Ait Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması

Mesh yapısında hexahedron elemanlar tercih edilmiştir. Bu elemanlar katı ve yüzey modellemede en çok tercih edilen eleman türüdür ancak bu elemanlar, aşırı çarpılmaya maruz kalırlarsa diğer bir deyişle elemanın yüzeylerini oluşturan düğüm noktaları ait oldukları düzlemden büyük miktarda ayrılırlarsa gerçek bir yükleme durumunda meydana gelmesi mümkün olmayan yüksek gerilme sonuçları verebilmektedirler (Ovalı ve Esen, 2017). Yapılan genel ve bölgesel meshleme ayarlarından sonra meshlemenin uygunluk düzeyinin belirlenmesi amacıyla ANSYS® tarafından sunulan belirli mesh

değerlendirme kriterleri bulunmaktadır. İyi bir mesh ve dolayısıyla daha hassas ve doğru sonuçlar elde edebilmek amacıyla mutlaka bu kriterlere göre bir değerlendirme yapılması gerekmektedir. Kanat metalik iç yapısına ait meshin değerlendirilmesi için en çok kabul gören “Skewness Kriteri” seçilmiştir. Bu kriterde optimum eleman boyutu ile aktif eleman boyutu karşılaştırılmakta diğer bir ifade ile olması gereken eleman boyutu ile gerçek boyut arasındaki farka bakılarak bir değerlendirme yapılmaktadır. Çizelge 4’den görüldüğü üzere maksimum skewness değeri 0.80-0.94 aralığında ve kabul edilebilir seviyededir. Ortalama skewness değeri ise 0.25-0.50 aralığında ve çok iyi mesh seviyesindedir (Ovalı ve Esen, 2017).



Şekil 3. Model 1 geometrisine ait sonlu eleman modeli statik basınç yükü



Şekil 4. Model 2 geometrisine ait sonlu eleman modeli statik basınç yükü

Çizelge 4. Ağ yapısı ölçeği ve değerleri

Ağ Yapısı Ölçeği (Mesh Metric)	Skewness
Minimum	1.3057×10^{-10}
Maksimum	0.91846
Ortalama	0.3748
Standart Sapma	0.25034

Sınır Şartının Uygulanması

Kanat kirişleri gövdeye farklı şekillerde bağlanabilir. Bu çalışmada kanat kirişlerinin gövdeye ankastre bağlandığı kabul edilmiştir. Dolayısıyla çözdürülecek sistemde bir adet sınır şartı mevcuttur. Bu şart, kanadın kök kısmında kirişlerin uç kısımlarından sabitlenmesi yani tüm serbestlik derecelerinin kısıtlanmasıdır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Kanat Yapısal Analizlerine Giriş

Bu kısımda öncelikle Model 1 geometrisine ve referans alınan teorik kanat modeli ile aynı malzeme özelliklerine sahip olan kanat modeline ait analiz sonuçlarının Ünlüsoy (2010) tarafından tasarlanan teorik kanat modeline ait analiz sonuçları ile karşılaştırması yapılmıştır. Burada amaç üzerinde yapısal davranış inceleme çalışmalarının yapıldığı kanat modelinin orijinal teorik modele ne kadar yaklaştığının belirlenmesidir. Referans alınan modelle karşılaştırılması yapılan kanat modeli için Model 1 ismi kullanılmıştır. Daha sonra kanat ağırlığında düşüş sağlamak ve daha rijit kanat modelleri elde etmek amacıyla Model 1 ve Model 2 geometrilerine sahip yeni kanat modelleri üzerinde teorik olarak yapısal davranış inceleme çalışmaları yapılmıştır. Kabuklar ve kaburgalar için en uygun kompozit model tasarımlarını ortaya koyabilmek amacıyla ACP veri tabanında bulunan kompozit malzemelerden faydalanılmıştır. Ortaya konulan yeni kompozit tasarımların analizleri yine Mechanical/ANSYS®

modülünde statik basınç yükleri altında gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda ortaya konulan bu yeni kanat modelleri için kanat geometrilerini ifade etmesi amacıyla Model 1 ve Model 2 isimlerinin kullanılması ve bu modellere ait konfigürasyonları nitelemesi amacıyla model isimlendirmelerinin sonlarına harf verilmesi uygun görülmüştür.

Model 1 Analiz Sonuçları

Referans alınan teorik kanat modeli ile aynı malzeme seçimlerini barındıran Model 1 için parça malzeme bilgileri Çizelge 5’te sunulmuştur.

Çizelge 5. Model 1 için yapısal elemanlara ait malzeme ve kalınlık bilgileri (Ünlüsoy, 2010)

Yapısal eleman	Malzeme	Kalınlık (mm)
Ana giriş	Alüminyum 7075-T651	2.4
İkincil giriş	Alüminyum 7075-T651	2.4
Köşe bağlantı elemanları	Alüminyum 7075-T651	1.65
Kabuk	7781 E-Glass Fiber Araldite LY5052 Reçine	1.08 (4 katman)
Kaburgalar	Alüminyum 2024-T3	0.8

Model 1 için modal analiz sonuçları

Model 1 için serbest titreşim analizleri yapılmış ve ilk dört doğal frekans değerleri ile mod biçimleri elde edilmiştir. Model 1 için modal analiz sonuçları Ünlüsoy (2010) tarafından yapılan çalışmada sonlu elemanlar yöntemiyle bulunan değerler ile birlikte Çizelge 6’da sunulmuştur.

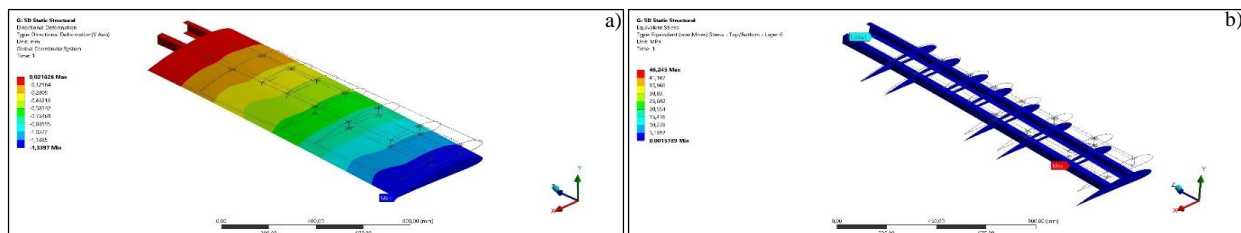
Çizelge 6. Sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen doğal frekans değerleri ve mod biçimleri

Mod Biçimi	Doğal Frekanslar (Model 1)	Doğal Frekanslar (Ünlüsoy, 2010)
1. Düzlem Dışı Eğilme	16.887 Hz	17.29 Hz
1. Düzlem İçi Eğilme	56.317 Hz	56.42 Hz
1. Burulma	76.553 Hz	63.16 Hz
2. Düzlem Dışı Eğilme	107.16 Hz	106.67 Hz

Model 1 için statik analiz sonuçları

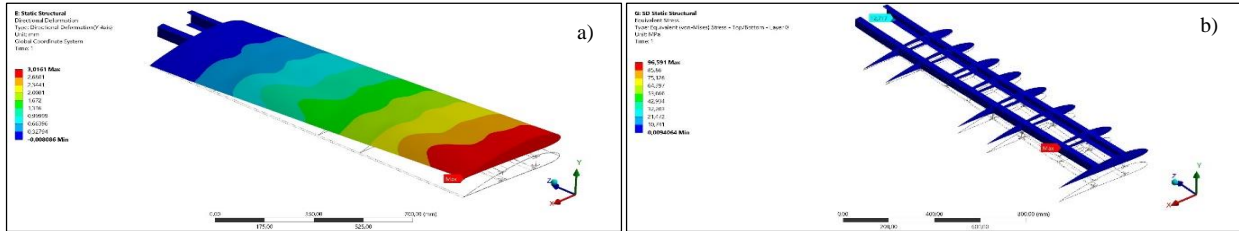
Model 1 için statik analizler kanat yalnızca kendi ağırlığı etkisi altında, yatay uçuş seyir durumu statik basınç yükü altında ve maksimum statik basınç yüklemesi (pull-down maneuver) durumunda yapılmıştır (Ünlüsoy, 2010). Bu yükler altında kanat sehimi değerleri, iç metalik yapıya ait maksimum gerilme değerleri ve bu gerilme değerlerine ait lokasyonlar belirlenmiştir.

Kanat yalnızca kendi ağırlığı etkisi altındayken, kanat uç kısmında maksimum sehimi değeri 1.3397 mm olarak meydana gelmiştir. Ünlüsoy (2010) tarafından yapılan çalışmada bu sonuç 1.3 mm olarak meydana gelmiştir. Şekil 5’te bu yüklemeye altında kanatta meydana gelen sehimi değerleri ve kanat iç yapısında meydana gelen gerilme dağılımı gösterilmektedir. İç yapıda maksimum gerilme değeri 46.245 MPa olarak ikincil giriş ve orta kısımdaki kaburga parçasını bağlayan bir köşe bağlantı elemanında meydana gelmiştir. Ana giriş kök kısmında ise en büyük gerilme değeri 5.5551 MPa olarak meydana gelmiştir. Referans alınan modelde ise bu değer ana giriş kök kısmında ve 9.87 MPa olarak meydana gelmiştir.

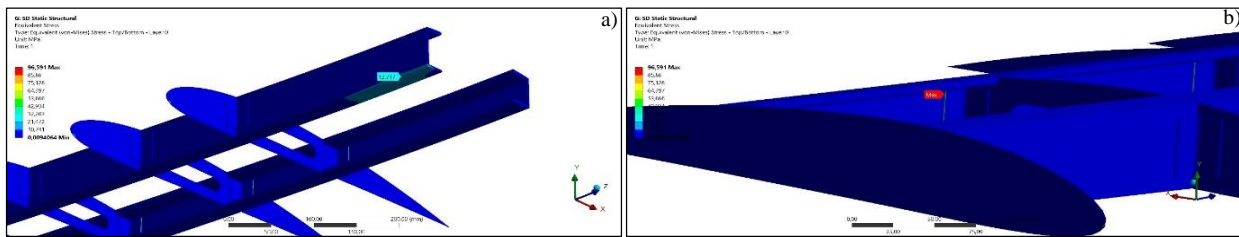


Şekil 5. Model 1 için kendi ağırlığı etkisi altında meydana gelen a) deformasyon değerleri ve b) iç yapı gerilme dağılımı

Yatay uçuş seyir şartları altında hesaplanan statik basınç yükü uygulandığında maksimum sehim değeri kanat uç kısmında 3.0161 mm olarak meydana gelmiştir (Şekil 6.a). Referans alınan teorik kanat modeli için ise bu değer kanat uç kısmında ve 3.71 mm olarak meydana gelmiştir. İç yapıda meydana gelen maksimum gerilme değeri 96.591 MPa olarak ikincil kiriş ve orta kısımdaki kaburga parçasını bağlayan bir köşe bağlantı elemanında meydana gelmiştir. Ana kiriş kök kısmında ise en büyük gerilme değeri 12.717 MPa olarak meydana gelmiştir (Şekil 7.a). Referans alınan modelde ise bu maksimum gerilme değeri ana kiriş kök kısmında ve 32.4 MPa olarak meydana gelmiştir.



Şekil 6. Model 1 için yatay uçuş seyir şartları altında kanat a) deformasyon değerleri ve b) iç yapı gerilme dağılımı



Şekil 7. Model 1 için yatay uçuş seyir şartları altındayken a) ana kiriş kök kısmında meydana gelen maksimum gerilme değeri ile lokasyonu ve b) köşe bağlantı elemanında meydana gelen maksimum gerilme değeri ile lokasyonu

Kanat tasarımı için maksimum yük faktörü 5 olarak belirlenmiştir (İnsuyu, 2010; Ünlüsoy, 2010). Bu maksimum statik basınç yüklemesini oluşturmak amacıyla akış analizinde Model 1 için hava giriş hızı, tasarımı yapılan insansız hava aracının normal seyir hızının yaklaşık 2 katı olan 75 m s^{-1} 'ye çıkarılmıştır. Bu şekilde kanat üzerine etkiyen düşey doğrultudaki kuvvet değeri yaklaşık olarak 5 katına çıkarılmıştır. Elde edilen statik basınç yükü kanat yüzeyine etkiyen kuvvet bileşenleri cinsinden ifade edilerek Çizelge 7'de sunulmuştur.

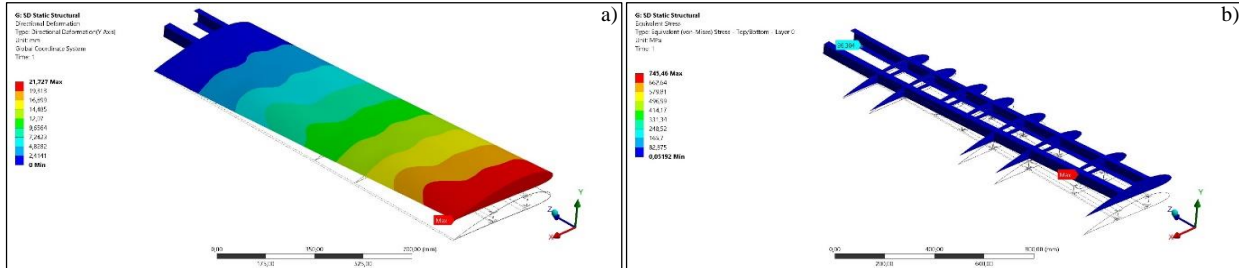
Çizelge 7. Kuvvet bileşenleri cinsinden maksimum statik basınç yükü

X-bileşeni	36.025 N
Y-bileşeni	1015.2 N
Z-bileşeni	6×10^{-4} N

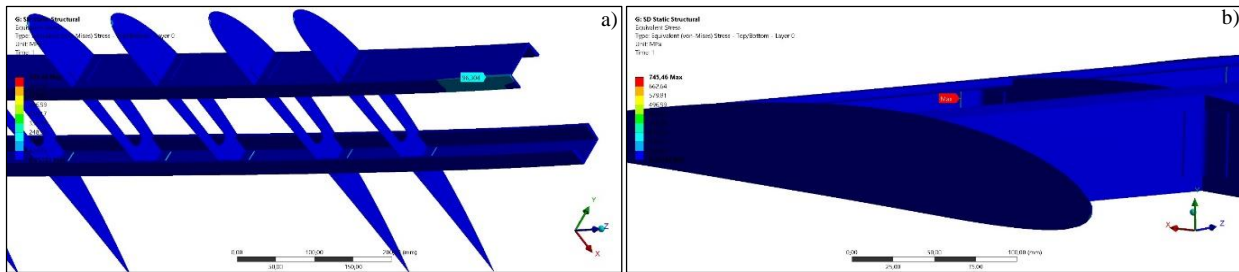
Sonuç olarak Y yönündeki kuvvet 1015.2 N olarak meydana gelmiştir. Bu kuvvet değeri söz konusu insansız hava aracı ağırlığının yarısının yaklaşık 5 katı değerindedir (Ünlüsoy, 2010). Ayrıca maksimum yüklemeye sebebiyet veren bu manevra (pull-down maneuver) esnasında kanada etkiyen kaldırma kuvveti ile kanada ait ağırlık kuvvetinin yönü aynı olmaktadır (Anderson, 1999). Yüklemeler bu şekilde oluşturulduktan sonra statik analizler gerçekleştirilmiş ve Şekil 8'den görüldüğü üzere kanat uç kısmında maksimum sehim değeri 21.727 mm olarak elde edilmiştir. Bu değer referans alınan model için Ünlüsoy (2010) tarafından 26.3 mm olarak bulunmuştur. İç yapıda meydana gelen maksimum gerilme değeri 745.46 MPa olarak ikincil kiriş ve orta kısımdaki kaburga parçasını bağlayan bir köşe bağlantı elemanında meydana gelmiştir (Şekil 8.b). Ana kiriş kök kısmında ise en büyük gerilme değeri

96.304 MPa olarak meydana gelmiştir (Şekil 9.a). Referans alınan modelde ise maksimum gerilme değeri ana kiriş kök kısmında ve 221 MPa olarak meydana gelmiştir.

Üç tip yükleme altında yapılan statik analizler için kanat uç kısmında meydana gelen maksimum sehim değerleri ile ana kiriş kök kısmında meydana gelen maksimum gerilme değerleri, referans alınan teorik kanat modeline ait sehim ve gerilme değerleri ile birlikte Çizelge 8’de sunulmuştur.



Şekil 8. Model 1 için maksimum yük faktörü ile hesaplanan manevra yükü altında a) sehim değerleri ve b) gerilme dağılımı



Şekil 9. Model 1 için maksimum yük faktörü ile hesaplanan manevra yükü altında a) ana kiriş kök kısmında meydana gelen maksimum gerilme değeri ile lokasyonu ve b) köşe bağlantı elemanında meydana gelen maksimum gerilme değeri

Çizelge 8. Model 1 için yapılan statik analizlere ait sonuçlar

Yükleme tipi	Maksimum sehim (Model 1)	Maksimum sehim (Ünlüsoy, 2010)	Maksimum gerilme (Model 1)	Maksimum gerilme (Ünlüsoy, 2010)
1	1.3397 mm	1.3 mm	5.555 MPa	9.87 MPa
2	3.0161 mm	3.71 mm	12.72 MPa	32.4 MPa
3	21.727 mm	26.3 mm	96.304 MPa	221 MPa

Teorik Kanat Modelinin Geliştirilmesi ve Yapısal Davranış İnceleme Çalışmalarına Ait Analiz Sonuçları

Model 1A, Model 1 ile aynı geometriye ve kompozit kabuğa sahip olmakla birlikte iç metalik yapıda bulunan tüm parçaların malzemesi Çizelge 1’de özellikleri verilen Mg alaşımıdır. Yatay uçuş seyir şartları altında Model 1 geometrisine sahip tüm modellerde meydana gelen maksimum sehim değerleri, maksimum gerilme değerleri ve kanat toplam kütleleri aşağıda çizelgeler halinde sunulmuştur (Çizelge 9-16).

Çizelge 9. Model 1A için yatay uçuş seyir şartları altında gerçekleştirilen statik analiz sonuçları

Kanat modeli	Maksimum sehim (mm)	İç metalik yapıda maksimum gerilme (MPa)	Kabukta maksimum gerilme (MPa)	Kanat toplam kütlesi (kg)
Model 1A	4.4602	93.348	5.648	5.1738

Çizelge 10. Model 1B yapısal elemanları için malzeme bilgileri

Komponent	Malzeme
Kirişler	Mg alaşımı
Kaburgalar	Mg alaşımı
Köşe bağlantı elemanları	Mg alaşımı
Kabuk	Epoxy E-Glass Wet (0/0/0/0) Tabaka kalınlığı: 0.27 mm

İHA Kanatlarında Kullanılan Cam ve Karbon Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Yapısal Performanslarının Sayısal Simülasyonlar ile İncelenmesi

Çizelge 11. Model 1B için yatay uçuş seyir şartları altında gerçekleştirilen statik analiz sonuçları

Kanat modeli	Maksimum sehim (mm)	İç metalik yapıda maksimum gerilme (MPa)	Kabukta maksimum gerilme (MPa)	Kanat toplam kütlesi (kg)
Model 1B	4.0794	83.712	8.3882	5.3043

Çizelge 12. Model 1B için kabuktaki tabakaların takviye açılarının değiştirilmesi ile elde edilen statik analiz sonuçları

Tabaka takviye açıları	Maksimum sehim (mm)	İç yapıda meydana gelen maksimum gerilme (MPa)	Kabukta meydana gelen maksimum gerilme (MPa)
0/0/0/0	4.079	83.71	8.38
0/45/-45/90	4.494	93.97	7.70
45/45/45/45	4.801	101.2	4.27
-45/-45/-45/-45	4.812	102.2	5.05
90/90/90/90	5.007	107.3	4.19

Çizelge 13. Model 1C yapısal elemanları için malzeme bilgileri

Komponent	Malzeme
Kirişler	Mg alaşımı
Kaburgalar	Epoxy Carbon UD Prepreg Tabaka kalınlığı: 0.2 mm (90/90/90/90)
Köşe bağlantı elemanları	Mg alaşımı
Kabuk	Epoxy Carbon UD Prepreg Tabaka kalınlığı: 0.27 mm (0/0/0/0)

Çizelge 14. Model 1C için yatay uçuş seyir şartları altında gerçekleştirilen statik analiz sonuçları

Kanat modeli	Maksimum sehim (mm)	İç metalik yapıda maksimum gerilme (MPa)	Kabukta maksimum gerilme (MPa)	Kaburgalarda maksimum gerilme (MPa)	Kanat toplam kütlesi (kg)
Model 1C	3.0992	68.509	31.108	83.113	4.7582

Çizelge 15. Model 1 geometrisine sahip diğer kanat modelleri için yapısal eleman malzeme bilgileri

	Model 1D	Model 1E	Model 1F	Model 1G	Model 1H
Kirişler	Al-7075	Al-7075	Al-7075	Al-7075	Al-7075
Kaburgalar	Epoxy Carbon UD Prepreg Tabaka kalınlığı: 0.2 mm (0/0/0/0)	Epoxy Carbon UD Prepreg Tabaka kalınlığı: 0.2 mm (45/45/45/45)	Epoxy Carbon UD Prepreg Tabaka kalınlığı: 0.2 mm (-45/-45/-45/-45)	Epoxy Carbon UD Prepreg Tabaka kalınlığı: 0.2 mm (90/90/90/90)	Epoxy Carbon UD Prepreg Tabaka kalınlığı: 0.2 mm (90/90/90/90)
Braketler	Al-7075	Al-7075	Al-7075	Al-7075	Al-7075
Kabuk	Epoxy Carbon UD Prepreg Tabaka kalınlığı: 0.36 mm (0/0/0/0)	Epoxy Carbon UD Prepreg Tabaka kalınlığı: 0.36 mm (0/0/0/0)	Epoxy Carbon UD Prepreg Tabaka kalınlığı: 0.36 mm (0/0/0/0)	Epoxy Carbon UD Prepreg Tabaka kalınlığı: 0.36 mm (0/0/0/0)	Epoxy Carbon UD Prepreg Tabaka kalınlığı: 0.27 mm (0/0/0/0)

Çizelge 16. Model 1 geometrisine sahip diğer kanat modelleri için yatay uçuş seyir şartları altında statik analiz sonuçları

Kanat modelleri	Maksimum sehim (mm)	İç metalik yapıda maksimum gerilme (MPa)	Kabukta maksimum gerilme (MPa)	Kaburgalarda maksimum gerilme (MPa)	Kanat toplam kütlesi (kg)
Model 1D	1.927	72.48	14.67	23.88	6.7633
Model 1E	1.890	70.06	14.58	43.56	6.7633
Model 1F	1.893	70.22	14.59	41.14	6.7633
Model 1G	1.817	66.60	13.99	46.92	6.7633
Model 1H	2.087	78.57	16.50	54.30	5.8934

Model 2A için yapısal elemanlara ait malzeme bilgileri Çizelge 17’de maksimum yük faktörü ile hesaplanan manevra yükü altında gerçekleştirilen statik analiz sonuçları ise Çizelge 18’de sunulmuştur. Kanat hücum kenarındaki kompozit kabuk takviyeli tabaka hasar kriterlerinden Maksimum Gerilme Kriteri’ne göre analiz edilmiş ve yapılan bu yüklemenin şiddetinin küçük bir miktar artırılması halinde

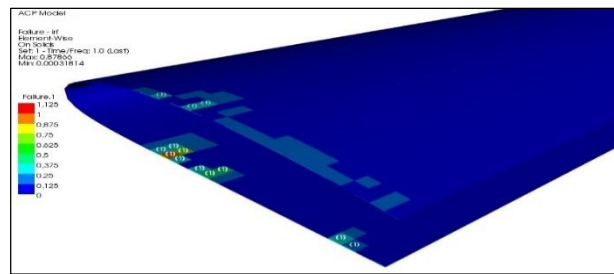
Şekil 10'da turuncu ile işaretlenen eleman ve civarındaki bölgede hasarın meydana gelmesinin kaçınılmaz olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca iç yapıda maksimum gerilme değeri 395,1 MPa olarak ikincil kiriş ve orta kısımdaki kaburga elemanını bağlayan bir köşe bağlantı elemanında meydana gelmiştir. Bu gerilme değeri köşe bağlantı elemanı malzemesinin 193 MPa olan akma mukavemet değerinin çok üzerindedir ve kalıcı hasarın meydana geleceği açıktır.

Çizelge 17. Model 2A yapısal elemanları için malzeme bilgileri

Komponent	Malzeme
Ana ve ikincil kiriş	Mg alaşımı
Kontrol yüzeyi (flap-aileron) kirişleri	Mg alaşımı
Köşe bağlantı elemanları	Mg alaşımı
Kontrol yüzeyi bağlantı elemanları (menteşeler ve pimler)	Mg alaşımı
Kaburgalar	Epoxy Carbon UD Prepreg Tabaka kalınlığı: 0.2 mm (90/90/90/90)
Kabuklar	Epoxy Carbon UD Prepreg Tabaka kalınlığı: 0.27 mm (0/0/0/0)

Çizelge 18. Model 2A için maksimum yük faktörü ile hesaplanan manevra yükü altında gerçekleştirilen statik analiz sonuçları

Kanat modeli	Maksimum sehim (mm)	İç metalik yapıda maksimum gerilme (MPa)	Kabukta maksimum gerilme (MPa)	Kaburgalarda maksimum gerilme (MPa)	Kanat toplam kütlesi (kg)
Model 2A	19.795	395.1	224.33	125.46	5.2719



Şekil 10. Model 2A için maksimum yük faktörü ile hesaplanan manevra yükü altında hücum kenarındaki kompozit kabukta belirlenen kritik tabaka ve bölgeler

Model 2B, Model 2 kanat geometrisine sahip olmakla birlikte kompozit kabuğun ve tüm kaburga parçalarının malzemesi Çizelge 2'de sunulan Epoxy Carbon UD Prepreg'dir. Model 2B için kanat iç ve dış yapısına ait eleman malzeme bilgileri Çizelge 19'da sunulmuştur. Model 2B için kanat toplam kütlesi Mechanical/ANSYS®'te 6.4071 kg olarak hesaplanmıştır.

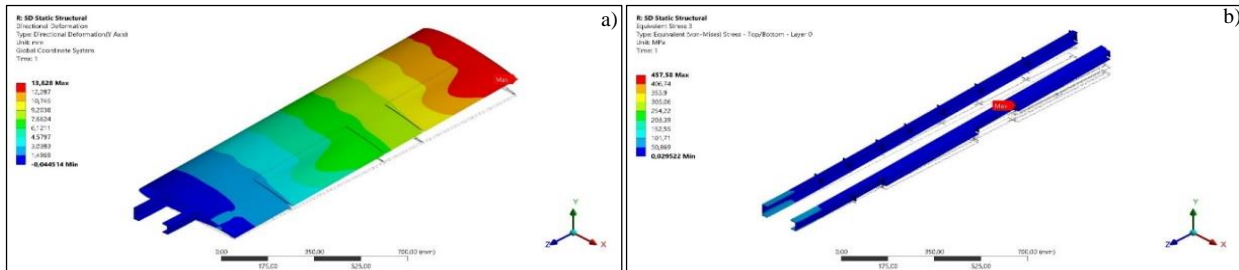
Çizelge 19. Model 2B yapısal elemanları için malzeme bilgileri

Komponent	Malzeme
Ana ve ikincil kiriş	Alüminyum 7075-T651
Kontrol yüzeyi (flap-aileron) kirişleri	Mg alaşımı
Köşe bağlantı elemanları	Alüminyum 7075-T651
Kontrol yüzeyi bağlantı elemanları (menteşeler ve pimler)	Mg alaşımı
Kaburgalar	Epoxy Carbon UD Prepreg Tabaka kalınlığı: 0.2 mm (90/90/90/90)
Kabuklar	Epoxy Carbon UD Prepreg Tabaka kalınlığı: 0.27 mm (0/0/0/0)

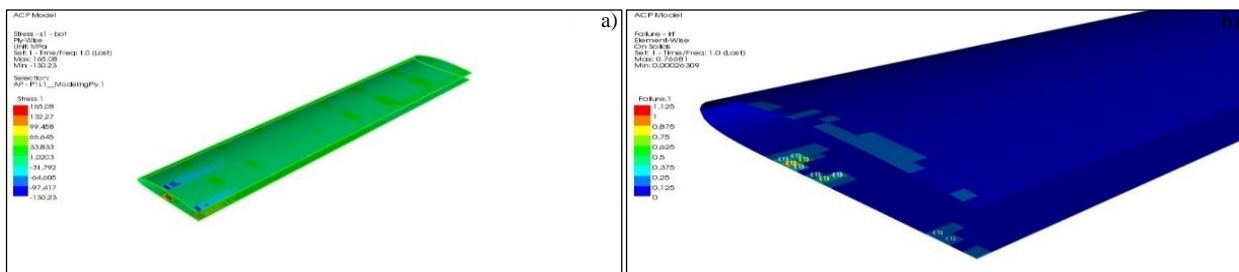
Maksimum yük faktörü ile hesaplanan manevra yükü altında Model 2B'de kanat uç kısmında meydana gelen maksimum sehim değeri 13.828 mm'dir. Bu yükleme altında iç yapıda meydana gelen gerilme dağılımı Şekil 11'da sunulmuştur. İç yapıda maksimum gerilme değeri 457.58 MPa olarak

ikincil kiriş ve orta kısımdaki kaburga elemanını bağlayan bir köşe bağlantı elemanında meydana gelmiştir. Bu gerilme değeri köşe bağlantı elemanı malzemesinin 503 MPa olan akma mukavemet değerinin altındadır ve eleman hasara uğramaz. Şekil 12’de ise hücum kenarındaki kompozit kabuğa ait en alttaki tabakanın (1. tabaka) alt yüzeyinde meydana gelen gerilme dağılımı gösterilmiştir. Bu görselde hücum kenarındaki kompozit kabukta meydana gelen 165.08 MPa maksimum gerilme değeri ve lokasyonu sunulmuştur. ACP modülünde bu kabuk parçası takviyeli tabaka hasar kriterlerinden Maksimum Gerilme Kriteri’ne göre analiz edilmiştir. Bu analiz sonucunda maksimum statik basınç yükü altında kabukta hasar meydana gelmediği tespit edilmiştir. Yüklemin şiddetinin daha da artırılması halinde kritik tabakada hasarın meydana gelmesi olası olan bölge belirlenmiş ve Şekil 12.b’de gösterilmiştir. ACP modülünde kompozit kaburgaların da gerilme analizleri yapılmış ve sonuçlar Şekil 13’te sunulmuştur. Kaburga parçaları üzerinde maksimum gerilme değeri 187.17 MPa olarak flap kontrol yüzeyine ait bir kaburga parçasının flap kirişi ile temas ettiği bölgede tabaka alt yüzeyinde meydana gelmiştir. Benzer şekilde ACP modülünde bu kaburga parçası takviyeli tabaka hasar kriterlerinden Maksimum Gerilme Kriteri’ne göre analiz edilmiştir. Bu analiz sonucunda hasarı temsil eden hiçbir kırmızı renkli eleman tespit edilmemiştir. Burada kırmızı renkli eleman tabaka hasarına sebep olan gerilmelerin kombinasyonunu ifade eden Eşitlik 1’de hasara karşılık gelen 1 değerine tekabül etmektedir (Vasiliev ve Morozov, 2001). Ayrıca Şekil 13.c’den görüldüğü üzere bu kaburga parçasında kritik tabakadaki kritik bölgelerde değerler yine hasarı ifade eden 1 değerinden çok uzaktır ve dolayısıyla kaburga parçası bu yüklemeye altında hasara uğramaz. Son olarak üzerinde geliştirme çalışmaları yapılan Model 1’e ait bazı sonuçlar Model 2B’ye ait sonuçlar ile kıyaslanarak Çizelge 20’de sunulmuştur.

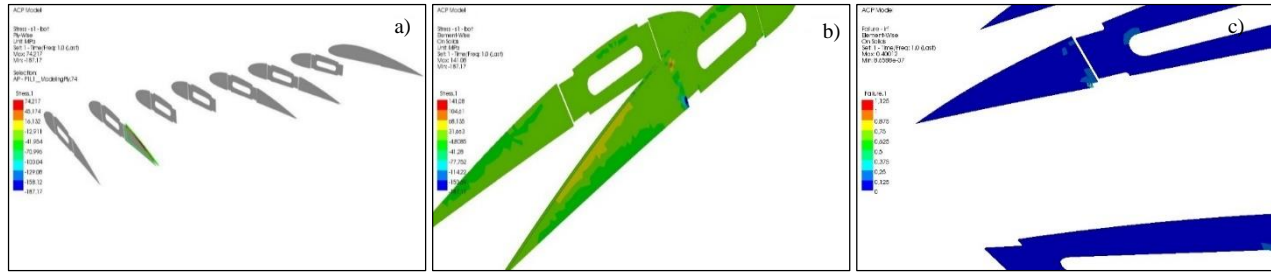
$$F(\sigma_1, \sigma_2, \tau_{12}) = 1 \quad (1)$$



Şekil 11. Model 2B için maksimum yük faktörü ile hesaplanan manevra yükü altında a) deformasyon değerleri ve b) iç metalik yapıda meydana gelen gerilme dağılımı



Şekil 12. Model 2B için maksimum yük faktörü ile hesaplanan manevra yükü altında hücum kenarındaki kompozit kabukta a) meydana gelen gerilme dağılımı ve b) belirlenen kritik tabaka ve bölgeler



Şekil 13. Model 2B için maksimum yük faktörü ile hesaplanan manevra yükü altında maksimum gerilme değerinin meydana geldiği a) kaburga parçası, b) kaburga parçasında oluşan gerilme dağılımı ve c) kaburga parçasında belirlenen kritik bölgenin detay görünümü

Çizelge 20. Model 1 ile Model 2B'nin karşılaştırmalı sonuçları

	Model 1	Model 2B
İç yapı geometrileri	Aynı	Aynı
Flap-aileron kontrol yüzeyleri	Yok (Yekpare kabuk var)	Var
Kanat toplam kütlesi	6.1675 kg	6.4071 kg
Kanat uç kısmında maksimum sehim değeri	21.727 mm	13.828 mm
İç yapıda maksimum gerilme değeri	96.304 MPa	457.58 MPa
İç yapıda hasar durumu	Hasar yok	Hasar yok

SONUÇ

Bu çalışmanın amacı sıradan metalik malzemelerin kullanıldığı kanat modellerine göre çok daha hafif ve rijit olan yeni kanat modelleri ortaya koyabilmektir. Çalışmanın ilk kısmında gerek yükleme şartlarının oluşturulmasında gerekse kanat geometrisinin modellenmesinde meydana gelen farklılıkların, Model 1'e ait analiz sonuçları ile referans alınan teorik kanat modeline ait analiz sonuçları arasında sebebiyet verdiği ayrışma ortaya konulmuştur. Modal analiz sonuçları göz önüne alındığında burulma mod biçimine ait doğal frekans değeri dışında bulunan tüm doğal frekans değerlerinin referans alınan teorik kanat modeline ait doğal frekans değerlerine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Burulma mod biçimine ait doğal frekans değerinde ise %21.2'lik bir fark oluşmuştur. Bu ayrışma Model 1'de bulunan parçalara ait bazı ölçülerin referans alınan kanadın parçalarına ait ölçülerden maksimum 2 mm'ye kadar farklılık göstermesi ve Model 1'in yekpare kabuğunun referans alınan modele ait kabuğa kıyasla toplamda 762 gr'lık kütle fazlasının olması gibi yapısal farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Karşılaştırması yapılan her iki kanat modeli birer sürekli sistem olarak düşünüldüğünde Model 1 sistem kütesinin referans alınan sistemin kütle değerinden farklılık göstermesinin karşılaştırılan sistemlerin hareket denklemlerinde ve dolayısıyla bu hareket denklemlerinden elde edilen frekans denklemlerinde yer alan yoğunluk gibi kütleyle bağlı değişkenlerde ciddi bir farklılık meydana getireceği açıktır. Dolayısıyla bu durumda doğal frekanslarda ayrışma meydana gelmesi beklenen bir sonuçtur. Model 1 için yapılan statik analizlerde ise kendi ağırlığı etkisi altında ve yatay uçuş seyir şartları altında kanat uç kısmında meydana gelen sehim değerleri referans alınan teorik kanat modeline ait sehim değerlerine oldukça yakın çıkmıştır. Maksimum yük faktörü ile hesaplanan manevra yükü altında meydana gelen sehim değerinde ise %17.39'luk bir fark meydana gelmiştir. Çizelge 8'den görüldüğü üzere ana giriş kök kısmında meydana gelen maksimum gerilme değerlerinde yüklemenin şiddetinin artmasıyla birlikte referans değerler karşısında büyük oranda sapmalar meydana gelmiştir. Ayrıca Şekil 9.b'den görüldüğü üzere ikincil giriş ve orta kısımdaki kaburga parçasını bağlayan bir köşe bağlantı elemanında anormal derecede yüksek gerilmeler ortaya çıkmıştır. Modal analiz ve statik analiz sonuçlarında ortaya çıkan bu ve diğer farklılıklar şu sebeplerden kaynaklanmaktadır:

- ❖ Referans alınan kanat sonlu elemanlar modelinin 2 boyutlu kabuk ve 1 boyutlu giriş elemanlar ile modellenmiş olmasına karşın bu çalışma kapsamında oluşturulan Model 1'in mesh yapısında

tümüyle 3 boyutlu hexahedron elemanların kullanılması ve katı model üzerinde analizlerin gerçekleştirilmiş olması,

- ❖ Bu hexahedron elemanların katı ve yüzey modellemede en çok tercih edilen eleman türü olmasına rağmen aşırı çarpılmaya maruz kaldığında gerçek bir yükleme durumunda meydana gelmesi mümkün olmayan yüksek gerilme değerleri gösterebilmesi,
- ❖ Köşe bağlantı elemanlarının katı modelleri oluşturulurken, gerilme yığılmasını önlemek amacıyla köşe bağlantı elemanlarının düşey doğrultudaki kenarlarına radius verme işleminde oluşturulan yayların çizim hassasiyetinin düşük kalması ve kaba bir çokgen oluşturacak şekilde çizilmesinden ötürü köşe bağlantı elemanlarında keskin kenarlar meydana getirerek gerilme yığılmalarına sebebiyet vermesi,
- ❖ Kirişler ve temas ettiği köşe bağlantı elemanlarının kontak bölgelerinde program kısıtlarını sağlamak amacıyla mesh kalitesinden ödün verilmesi ve bunun sonucunda kontak halindeki yüzeylerde düğüm noktalarının çakışmaması nedeniyle gerilmelerin bir yüzeyden diğerine hatalı olarak aktarılması,
- ❖ Yapısal olarak ise kanat parçalarında referans alınan modeldeki parçaların ölçülerine göre yer yer maksimum 2 mm'ye kadar farklılıklarının bulunması,
- ❖ Referans alınan teorik kanat modelinde sınır şartı uygulama noktalarının kanat kök kısmında ve kirişlerin uç kısımlarından belirli bir mesafe uzaklıkta bulunmasına karşın Model 1'de sınır şartının tam olarak kirişlerin uç kısımlarından uygulanması,
- ❖ Referans alınan teorik kanat modelinde kontrol yüzeyi bulunmamasına rağmen Model 1'de bu kontrol yüzeylerine ait kısımları kapatan yekpare kabuk bünyesinde toplamda 762 gr'luk ilave bir kütlenin bulunması.

Çalışmanın son kısmında ise mevcut teorik model üzerinde yapılan yapısal değişiklikler ile oluşturulan yeni kanat modelleri incelenerek en yüksek rijitlik/ağırlık oranına sahip teorik kanat modeli ortaya konulmuştur. Bu amaçla Model 1 geometrisini geliştirerek gerçek görev şartlarında görev yapabilmesine imkan tanıyan flap ve aileron kontrol yüzeyleri tasarlanmış ve Model 2 geometrisi ortaya konulmuştur. Kompozit flap ve aileron tasarımı yapılırken Sakarya (2011) tarafından yapılan çalışmada modellenen kontrol yüzey geometrileri referans alınmıştır. Bu çalışma kapsamında analizlere dahil edilen, ıslak serme yöntemi ile üretilen ve prepregler kullanılarak üretilen kompozit malzemelerden hangilerinin kompozit kabuk ve kaburgalarda daha yüksek özgül mukavemet sağladığı araştırılmıştır. Model 1 ve Model 2 geometrilerine sahip yeni kanat modelleri üzerinde gerçekleştirilen statik analizlere ait sonuçlar ve kanat toplam ağırlıkları bu amaçla kıyaslanmış ve Model 2B'nin maksimum yük faktörü ile hesaplanan manevra yükü altında dahi yüksek rijitliğini hasar görmeksizin koruduğu belirlenmiştir. Çizelge 20'den görüldüğü üzere bu yükleme altında kanat uç kısmında maksimum sehim değeri 13.828 mm olmuştur. Ayrıca üzerinde geliştirme çalışmaları yapılan Model 1 kütlesinin 6.1675 kg olarak hesaplanmış olmasına karşın flap ve aileron kontrol yüzeylerini barındıran Model 2B'nin kütlesi 6.4071 kg olmuştur. Bu değer Model 1'in kütlesinden sadece 239.6 gr daha fazladır. Sonuç olarak Model 2B bu çalışmada ortaya konulan en başarılı kanat modeli olmuştur.

KAYNAKLAR

- Anderson Jr JD, 1999. Aircraft Performance and Design. McGraw-Hill Inc, pp. 580, Boston, USA.
Blanchard BS, Fabrycky WJ, 2006. System Engineering and Analysis. Pearson Prentice Hall, pp. 816, New Jersey, USA.
Griffin CF, Fogg LD, Dunning EG, 1981. Advanced composite aileron for L-1011 transport aircraft: Design and analysis. NASA, Technical Report; NASA-CR-165635, NAS 1.26:165635, LR-29635

- İnsuyu ET, 2010. Aero-Structural Design and Analysis of an Unmanned Aerial Vehicle and its Mission Adaptive Wing. Middle East Technical University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Master Thesis (Printed).
- Ovalı İ, Esen C, 2017. ANSYS® Workbench. Kodlab Yayın Dağıtım Yazılım ve Eğitim Hizmetleri San. ve Tic. Ltd. Şti., s. 21-26, İstanbul-Türkiye.
- Öztürk AM, 2019. Kompozit Malzemeden Mamul İnsansız Hava Aracı Parçalarının Yapısal Analizi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Patterson JB, Grenestedt JL, 2018. Manufacturing of a composite wing with internal structure in one cure cycle. *Composite Structures*, 206: 601-609.
- Romano F, Fiori J, Mercurio, U, 2009. Structural design and test capability of a CFRP aileron. *Composite Structures*, 88 (3): 333-341.
- Sakarya A, 2011. Multidisciplinary Design of An Unmanned Aerial Vehicle Wing. Middle East Technical University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Master Thesis (Printed).
- Sakarya E, 2010. Structural Design and Evaluation of an Adaptive Camber Wing. Middle East Technical University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Master Thesis (Printed).
- Sepe R, Citarella R, De Luca A, Armentani E, 2017. Numerical and Experimental Investigation on the Structural Behaviour of a Horizontal Stabilizer under Critical Aerodynamic Loading Conditions. *Advances in Materials Science and Engineering*, ID 1092701.
- Soutis C, 2005. Carbon fiber reinforced plastics in aircraft construction. *Materials Science and Engineering:A*, 412 (1-2): 171-176.
- Starke Jr EA, Staley JT, 1996. Application of modern aluminum alloys to aircraft. *Progress in aerospace Sciences*, 32 (2-3): 131-172.
- Starnes Jr JH, Haftka RT, 1979. Preliminary Design of Composite Wings for Buckling, Strength, and Displacement Constraints. *Journal of Aircraft*, 16 (8): 564-570.
- Ünlüsoy L, 2010. Structural Design and Analysis of The Mission Adaptive Wings of An Unmanned Aerial Vehicle. Middle East Technical University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Master Thesis (Printed).
- Vasiliev VV, Morozov EV, 2001. *Mechanics and Analysis of Composite Materials*. Elsevier Science Ltd., pp. 271-283, The Boulevard Langford Lane Kidlington Oxford-UK.

Helisel İç Borulu Isı Değiştiricilerde Isı Transferi ve Basınç Düşümü Analizinin Deneysel Olarak İncelenmesi

Tarkan KOCA^{1*}, Aykut ZEDELİ¹

ÖZET: Bir ısı değiştiricisinde en önemli amaç sıcak suyun çıkış sıcaklık değeri ile soğuk suyun çıkış sıcaklık değerinin birbirine çok yakın olmasıdır. Yapılan bütün çalışmalarda bu hedefe ulaşmaya çalışılmıştır. Sıcaklıklar birbirine yaklaştırmaya çalışıldıkça basınç düşümleri de meydana gelmektedir. Basınç düşümlerinin artması sisteme işletme masrafı olarak yansımakta ve maliyeti artırmaktadır. Bu çalışmada helis sayısı farklı olan helisel iç borulu ısı değiştiricisinin dik konumlandırılmasıyla ısı transferinin artırılması deneysel olarak ele alınmıştır. Dik konumlandırılan ısı değiştiricisindeki ısı transferi miktarını ve basınç düşümünü analiz etmek için deney seti kurulmuştur. Isı transferi ve basınç düşümü farklı kapasite oranlarında, farklı debilerde analiz edilmiştir. Helisel iç borular bakırdan imal edilmiştir. Isı değiştiricisinin dış borusu ise çelik malzemeden imal edilmiştir. Isıtıcı ile elde edilen sıcak su besleme tankından ısı değiştiricideki helisel bakır borulara yönlendirilerek üstten girmekte ve alttan çıkmaktadır. Soğuk su ise ısı değiştiriciye alttan girip üstten çıkmaktadır. Bu şekilde akış düzeni oluşturularak akışın zıt yönlü olması sağlanmıştır. Isı değiştiricisinde kullanılan helisel bakır boruların helis sayıları artırılarak ısı transferinde bir iyileşme deneylerden elde edilen sonuçlarla oluşturulan grafiklerde görülmüştür. Deneylerden elde edilen sonuçlarla literatürde verilen değerler arasında uyum olduğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Isı transferi, dikey ısı değiştiricileri, helisel borular içinden akış.

Analysis of Heat Transfer and Pressure Drop in Vertical Heat Exchangers with Helical Inner Pipe

ABSTRACT: The most important aim of a heat exchanger is that the outlet temperature of the hot water and the outlet temperature of the cold water are very close to each other. This goal has been tried to be reached in all studies. As the temperatures are tried to come closer together, pressure drops occur also. The increase in pressure drops is reflected in the system as operating costs and increases the cost. In this study, increasing the heat transfer by vertical positioning of the helical inner tube heat exchanger with different helix numbers has been handled experimentally. Experiment set was installed to analyze the amount of heat transfer and pressure drop in the vertical positioned heat exchanger. Heat transfers and pressure drops were analyzed at different capacity rates and at different flow rates. Helical inner pipes are made of copper. The outer tube of the heat exchanger is made of steel. The hot water obtained by the heater is directed from the feeding tank to the helical copper pipes in the heat exchanger and enters from the top and exits from the bottom. In this way, the flow order is created and the flow is provided in opposite directions. In the graphics created with the results obtained from the experiments, an increase in heat transfer was observed by increasing the helix numbers of the spiral copper pipes used in the heat exchanger. There was a match between the results obtained from the experiments and the values given in the literature.

Keywords: Heat transfer, vertical heat exchangers, flow through helical pipes

¹Tarkan KOCA (Orcid ID: 0000-0002-6881-4153), Aykut ZEDELİ (Orcid ID: 0000-0002-8385-7303), İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Bölümü, Malatya, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tarkan KOCA, e-mail: tarkan.koca@inonu.edu.tr

Bu çalışma Aykut ZEDELİ'nin Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

Geliş tarihi / Received: 19-05-2020

Kabul tarihi / Accepted: 22-06-2020

GİRİŞ

Enerji; bir sistemin, kendisi dışında etkinlik üretme kabiliyeti, değişikliklere neden olabilme yeteneği veya sistemde bulunan mevcut iş yapabilme kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir söylemle, enerji bir sistemin iş ve ısı verebilme yeteneğidir. Enerji, günümüz dünyasında insanların yaşamlarını devam ettirebilmesi için, yaşam konfor standartlarını üst seviyede konumlandırması açısından çok önemli bir konuma sahiptir. Sınırsız insan ihtiyaçlarının karşılanması için kaynak yaratmadaki çözüm sürecinde enerji büyük öneme sahiptir. Bu maksatla enerji, değişik miktar ve yöntemlerle sürekli üretilmekte ve tüketilmektedir; üretimde girdi olarak, tüketimde ise bir maliyet unsuru olarak yer alır. Bu yönüyle ekonomide önemli bir hamle oyuncusu haline gelen enerji ülkelerin gelişmişlik düzeyinin göstergesi ve kalkınmayı doğrudan etkileyen bir faktör olarak kabul edilmektedir. Endüstride, kimya sanayiinde, enerji sektöründe çok yaygın olarak kullanılan ısı değiştiricilerinde en önemli konu ısı transferi miktarının optimum düzeyde iyileştirilmesi ve böylece daha düşük miktarda enerji sarfiyatı ile daha fazla ısı transferi yapabilme kabiliyetine erişmektir. Bunu gerçekleştirmek için ise, sıcak akışkan ile soğuk akışkan arasında ısı transferi miktarının en yüksek düzeyde, ısı geçiş olayının en verimli durumda ve bu sürecin maddi olarak en ucuz şekilde gerçekleşmesi gerekmektedir. Özellikle ısı transferi uygulama sistemlerinde ısı değiştiricileri önemli bir yer kaplar (Dal, 2019). Farklı sıcaklıklarda bulunan iki veya daha fazla akışkan arasında ısı transferini sağlayan cihazlara ısı değiştirici denilmektedir (Genceli, 1999). Özellikle endüstride ve enerji sektöründe kazanlarda ve yardımcı teçhizatlarda ısı transferinin, dolayısıyla kazan veriminin artırılması için farklı tasarımda ısı değiştirici kullanımı oldukça fazladır. Isı değiştiriciler bir çok alanda kullanılmakta olup, endüstride daha çok kanatlı-borulu ısı değiştiricileri ile karşılaşmaktadır (Kırtepe ve ark, 2018). İç içe borulu ısı değiştiricilerinde iç borunun giriş bölümüne dairesel delikli tip dönel akış üreticisi yerleştirilerek, bu elemanların ısı transferine ve basınç düşümüne etkisini deneysel olarak incelenmiş ve deney sonuçlarında ısı transferinin iyileştiğini ve az miktarda basınç düşümünün olduğunu gözlemlenmiştir (Kavak ve ark., 2000). İç içe borulu ısı değiştirgeçlerinde ısı transferinin artırılması için içteki boru helisel bir boru seçilmiş ve bu boruyu döndürerek ısı transferine ve basınca etkisi incelenmiş ve Nu sayısı için ampirik denklemler üretilmiştir (Biçer ve ark., 1998). Helezon şekilli türbülötörlerin; ısı transferi, sürtünme kaybı ve ısı performans faktörü özelliklerine etkileri boru içerisinde incelenmiştir. Dokuz farklı Helezon şekilli türbülötör eğilme oranı ($y / W = 3.0$), üç farklı derinlik oranı ($DR = d / W = 0.11, 0.22$ ve 0.33), her biri üç farklı genişlik oranıyla ($0.11, 0.22$ ve 0.33) denenmiştir. Deneyler, 1000 ila 20.000 aralığındaki Reynolds sayısı ile tekrarlanmıştır. Çalışma sıvısı olarak su kullanılmıştır. İncelenen aralıkta; helezon şekilli türbülötör Nusselt sayısını düz boruya göre türbülanslı akışta 2.6 kat, laminar akışta ise 12.8 kat arttırdığı gözlemlenmiştir. Bunlar türbülanslı akışta 1.29, laminar akışta ise 4.88 maksimum performans faktörüne karşılık gelmektedir (Eiamsa ve ark., 2010). Genellikle metal plakalardan oluşan plakalı ısı değiştirgeçlerinde bütün plakalar dört açıklığa sahip olup, akışı yönlendiren contalar mevcuttur. Bu kanallardan geçen akışkanlar ısı transferi yapmış olur (Zhang ve ark., 2019). Gövde borulu ısı değiştiricilerinde helis açılarının etkileri incelenmiştir (Gao ve ark., 2015). Isı değiştiricilerinde geometrik unsurların ısı transferi üzerine etkileri incelenmiştir (Alimoradi ve ark., 2017). İç içe borulu ısı değiştiricileri endüstrinin birçok alanında tasarımının kolay olması kurulum ve bakım maliyetlerinin düşük olması nedeniyle çok fazla tercih edilmektedir (Omidi ve ark., 2017). İç içe borulu tip bir ısı değiştirici tasarlayarak deneysel bir sistem kurmuş ve eşmerkezli iç içe borulu ısı eşanjörlerinin iç borusunda sıcak hava, dış taraftaki boruda ise sıcak havaya zıt yönde su akacak şekilde deneyleri yapmıştır (Daştan, 2012). İç içe borulu ısı değiştiricilerinde iç boruya dalga şerit geometrili türbülötörler yerleştirilerek deneyler yapılmış ve ısı verimliliğinin arttığı gözlemlenmiştir (Pourahmad ve

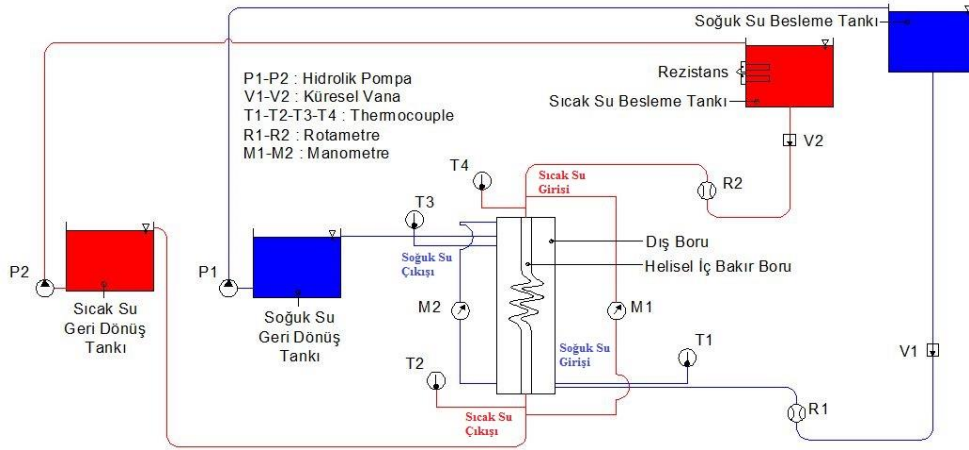
ark., 2016). Isı değiştiricilerinde kullanılan parçaların ısı transferi üzerine etkileri araştırılmış ve öneriler verilmiştir (Ammar ve ark., 2018). İç içe borulu ısı değiştiricilerinde farklı boru ölçülerinin ve akış şekillerinin bu tür ısı değiştiricilerinin üretimi için zor olmayacağı belirtilmiştir. (Mirzaei ve ark., 2017). Farklı plaka yüzey açısına sahip plakalı ısı değiştiricilerin ekserji kaybı analizi deneysel olarak incelenmiş ve plaka yüzey açısı $\beta=60^\circ$ için en yüksek ısı transfer miktarı 3.7 kW, en düşük ısı transfer miktarı 3 kW olarak elde edilmiştir (Kılıç, 2017). Farklı plaka yüzey açıları olan plakalı ısı değiştiricilerinin (PID) ısı geçiş ve etkinlik değerleri deneysel olarak incelenmiş ve en yüksek toplam ısı transfer değeri 42227 W ve etkinlik değeri 0.74 olarak belirlenmiştir (Kılıç ve ark., 2019). Türbülans oluşturan kanatlar, borulara yerleştirilmiş ve boş boru ile karşılaştırılmış olup sürtünme faktörü ve Nusselt sayısına etkileri araştırılmıştır (Karagöz ve ark., 2017). Dairesel halka türbülatorünün bir ısı eşanjör borusundaki ısı transferi ve sıvı sürtünme özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır (Kongkaitpaiboon ve ark., 2010). Isı eşanjörünün termal performansını iyileştirmeye yönelik araştırmalar yapılmış ve farklı kanat yüzeyinin ısı transferi ve basınç düşmesi üzerindeki etkileri irdelenmiş ve önerilerde bulunulmuştur (Mangrulkar ve ark., 2019). Helisel iç borulu ısı değiştiricisinde 5 farklı tipteki helisel iç boruya dönme hareketi vererek ısı transferi miktarı değişimi ve basınç düşümü üzerine çalışma yapmıştır. Çalışma sonunda ısı transferi miktarının devir arttıkça arttığını fakat bununla birlikte basınç düşümü de yaşandığını gözlemlemiştir (Koca, 2007). Çift borulu ısı değiştirici, gövde borulu ısı değiştirici ve plakalı ısı değiştirici için termodinamik analiz yapılmış olup kıyaslanan ısı değiştirici tiplerinden birim alan için en yüksek performanslı olanı çift borulu ısı değiştirici olduğu tespit edilmiştir (Akyürek ve ark., 2020).

Bu çalışma ile ele alınan ısı değiştirici modellemesi için çeşitli geometriler tasarlanmış ve deneysel ortamda çözümlenerek optimum ısı değiştiricisi olarak helisel iç boru geometrisi belirlenmiştir. Bu çalışma ile hedeflenen amaç ise ele alınan ısı değiştiricisi helisel iç boru tipi için belirlenen toplam beş farklı geometride en etkin ve verimli ısı değiştirici tipinin deneysel olarak belirlenmesidir. Yapılan bu deneysel çalışmadaki ısı değiştiricilerin farklı tasarım koşullarında modellemesi de diğer çalışmalara ilave olarak bir bilgi kaynağı oluşturacaktır. Bu araştırmada zıt akışlı gövde borulu tek geçişli tip ısı değiştirici tasarlanıp imal edilerek deneysel bir sistem kurulmuştur.

MATERYAL VE YÖNTEM

Deney Düzenegi

Deney düzenegi ana elemanları dış çelik boru ve içine geçen farklı helis sayılı bakır borular olup; dıştaki çelik borunun dış çapı 80 mm iç çapı 66 mm'dir. Dış borunun içine geçen farklı helis sayısındaki (2 helisli, 3 helisli, 4 helisli, 5 helisli) bakır boruların dış çapı 19 mm, iç çapı ise 16 mm'dir. Helis adımı her boruda sabit olup 7.5 mm ve helis çapı ise 54 mm olarak imal edilmiştir. Şekil 1'de görüldüğü gibi soğuk su dikey konumlandırılan dış boruya alttan girip üst taraftan çıkmaktadır, sıcak su ise bakır boruya üst taraftan girip alt taraftan çıkmaktadır. Bu durum sayesinde deney düzeneginde zıt akış sağlanmıştır. Dış boruya kaynakla sabitlenmiş flanş ve stabiliteyle birlikte sızdırmazlığı sağlaması için aynı ölçülerde flanş aynası imal edilerek eş eksenli olarak bakır boruların sıkı geçeceği delikler açılmıştır. Dış borunun her iki ucundan eşit mesafede delikler açılmış ve besleme tankından gelen suyun boru içine girişini sızdırmaz kılmak adına nipelli bağlantıyı sağlaması için somun kaynak yapılmıştır. Dış borunun içinden geçen suyun sıcaklığını ölçmek için giriş ve çıkışa termokupllar yerleştirilmiş ve sıcaklık değerleri sayısal kontrol cihazlarından okunmuştur.



Şekil 1. Deneysel Düzenek

Deneysel Yapılması

Yapılan deney çalışması 4(dört) farklı helisel iç bakır boru kullanılarak yapılmış olup her bir helisel iç bakır boru için aynı dış boru kullanılmıştır. Helisel iç borulardan farklı olarak düz bakır boru ile de deney yapılmıştır. Önce düz bakır boru ve ardından sırasıyla 2 helisli, 3 helisli, 4 helisli ve 5 helisli bakır borularla deney gerçekleştirilmiştir. Yapılan deney çalışmasında sıcak suyun debisinin soğuk suyun debisine oranı \dot{V}_h/\dot{V}_C kapasite oranı olarak kabul edilmiş ve 4 (dört) farklı kapasite oranı için deney çalışmaları yapılmıştır. Hacimsel debi deney düzeneğinde bulunan rotametrelerin hemen önüne yerleştirilen küresel vanalar aracılığıyla kontrol edilmiştir. Sıcak suyun debisinin soğuk suyun debisine orana kapasite oranı olarak kabul edilmiştir. Kapasite oranları 0.25; 0.5; 0.75 ve 1 olarak seçilmiştir. Yapılan deney çalışmalarında sıcak ve soğuk akış türbülanslı tiptedir. İlk olarak düz bakır boru sisteme bağlanıp deneyler bu düz bakır boru için yapılmıştır. Gerekli düşü miktarını sağlamak için deney düzeneğinden 8 metre yüksekte konumlandırılan su tanklarına su dolumu yapılmış ve sıcak su temini için sıcak su besleme tankında mevcut olan termostatlı rezistanslar çalıştırılarak suyun istenilen sıcaklığa gelmesi sağlanmıştır. Her bir helisel iç bakır boru için yapılan deneylerde sıcak su giriş sıcaklık değerinin birbirine yakın olmasına (± 2 °C) deney sonunda kıyaslama yapılabilmesi için dikkat edilmiştir. İlk deney yapılmadan önce sistem çalıştırılmış ve akışkan hareketi sağlanmıştır. Besleme tankından gelip ısı değiştiriciden geçen akışkanların geri dönüş tanklarına dolmasına müteakip pompalar vasıtasıyla besleme tanklarına basılması işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu proses her farklı tip iç boru deneyi başlamadan önce sistem 15 dakika süreyle ölçüm yapılmadan çalıştırılmıştır. Her deney sonunda sıcak suyun istenilen sıcaklığa gelmesi için bir süre bekleme yapılmış ve termostatlı rezistanslar ile istenilen sıcaklık değerleri sağlanmıştır. Yapılan deney çalışmasında ilk olarak debi sıcak ve soğuk su için eşit alınıp kapasite oranının 1(bir) olması sağlanmış ve bu değer için deney yapılmıştır. Debi değeri hem soğuk hem de sıcak su için kelebek vanalar yardımıyla kontrol edilerek 1000 L h^{-1} , 1100 L h^{-1} , 1200 L h^{-1} , 1300 L h^{-1} ve 1400 L h^{-1} olarak seçilmiş ve bu değerlerde deney çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Beş farklı debi değerinde yapılan deneylerin tümünde akış türbülanslıdır. Deney düzeneği rejime girdikten sonra düzeneğe termokupllarla bağlı olan sayısal kontrol cihazlarından belirli sürelerde (10- 20 saniye aralığında) ölçüm değerleri okunup kaydedilmiştir. Kaydedilen bu ölçüm değerlerinde veya bağlantı noktalarında hata olup olmadığı kontrol edilmiştir. Çizelge 1’de deneyde kullanılan ölçüm cihazlarının özellikleri ve belirsizlikleri verilmiştir.

Çizelge 1. Deneyler Sırasında Kullanılan Ekipman Özellikleri

Ekipman	Teknik Özellikler	Belirsizlik
Termokupl	J Tipi, DIN 43710 ve IEC 60584 standartlarında Ölçüm Aralığı: 0-200 °C, Doğruluk : ± 0,4 – 0,5 °C	0.42 °C
Rotametre	Değişken alan tipi, şamandıralı, Soğuk su: 250 L h ⁻¹ Sıcak su: 250 L h ⁻¹ , Doğruluk : ± 4 – 6 L h ⁻¹	4.8 L h ⁻¹
Sayısal Kontrol Cihazı	DIN 43710 standartlarında, Güç sarfı: 7 W Okuma hızı: 2 Okuma saniye ⁻¹ , A S ⁻¹ Çevrim: 16 bit Doğruluk sınıfı: 0,005	0.005

BULGULAR VE TARTIŞMA

Deney setinde dış boru dik konumlandırılmış ve karşıt akış sağlanarak deneyler yapılmıştır. İçerisinden sıcak suyun geçtiği helisel boruya sıcak su; zemin kotuna göre daha yüksek seviyeden girip daha düşük seviyeden çıktığı için giriş ve çıkış değerleri arasında basınç düşümü değil basınç artışı yaşanmaktadır. Çizelge 2’de farklı kapasite oranlarında farklı iç borularda soğuk su ve sıcak su için Reynolds sayıları verilmiştir. Deneylerde sıcak su ve soğuk su için ayrı ayrı Reynolds değerleri saptanmış ve deneylerin türbülanslı akımda gerçekleşmesi sağlanmıştır.

Çizelge 2. Farklı kapasite oranlarında ve farklı iç borularda Reynolds değerleri

Kapasite Oranı	Düz Boru		2 Helisli Boru		3 Helisli Boru		4 Helisli Boru		5 Helisli Boru	
	Sıcak Su	Soğuk Su	Sıcak Su	Soğuk Su	Sıcak Su	Soğuk Su	Sıcak Su	Soğuk Su	Sıcak Su	Soğuk Su
$\dot{V}_h/\dot{V}_c=0.25$	14262.48	4684.49	14287.54	4694.3	14299.72	4697.01	14289.26	4699.74	14350.22	4720.09
$\dot{V}_h/\dot{V}_c=0.5$	28532.42	4686.94	28577.49	4693.22	28610.71	4697.15	28578.85	4701.62	28717.86	4717.32
$\dot{V}_h/\dot{V}_c=0.75$	42785.27	4688.44	42867.02	4694.07	42926.44	4698.77	43033.13	4703.76	43076.12	4718.79
$\dot{V}_h/\dot{V}_c=1$	61335.02	5200.68	57803.8	5249.05	57993.11	5278.87	57997.52	5310.92	49787.99	5317.15

Çizelge 3’te tüm deneyler için farklı kapasite oranlarında ve farklı iç borularda soğuk su ve sıcak suda oluşan basınç düşüm değerleri verilmiştir. Basınç düşüm değerlerinde yer alan negatif (-) işaretli değerler basınç artışını göstermektedir.

Çizelge 3. Farklı kapasite oranlarında ve farklı iç borularda Ortalama Basınç Değişim Miktarları (kPa).

Kapasite Oranı	Düz Boru		2 Helisli Boru		3 Helisli Boru		4 Helisli Boru		5 Helisli Boru	
	Sıcak Su	Soğuk Su	Sıcak Su	Soğuk Su	Sıcak Su	Soğuk Su	Sıcak Su	Soğuk Su	Sıcak Su	Soğuk Su
$\dot{V}_h/\dot{V}_c=0.25$	-4.24	4.80	-2.98	5.39	-2.62	5.65	-2.08	6.21	0.85	7.57
$\dot{V}_h/\dot{V}_c=0.5$	-3.57	4.80	-2.69	5.30	-2.23	5.49	-1.84	6.05	0.37	7.36
$\dot{V}_h/\dot{V}_c=0.75$	-2.98	4.80	-2.42	5.09	-2.08	5.38	-1.44	5.87	0.02	6.45
$\dot{V}_h/\dot{V}_c=1$	-2.34	4.80	-2.0	5.01	-1.97	5.04	-1.12	5.55	-0.45	6.08

Çizelge 4’te farklı kapasite oranlarında ve farklı iç borularda sıcak su ve soğuk su için ortalama ısı transferi miktarı verilmiştir. Aynı kapasite oranında helis sayısı arttıkça ısı transferi miktarı artmaktadır.

Çizelge 4. Farklı kapasite oranlarında ve farklı iç borularda Ortalama Isı Transferi Miktarları (J s⁻¹).

Kapasite Oranı	Düz Boru		2 Helisli Boru		3 Helisli Boru		4 Helisli Boru		5 Helisli Boru	
	Sıcak Su	Soğuk Su	Sıcak Su	Soğuk Su	Sıcak Su	Soğuk Su	Sıcak Su	Soğuk Su	Sıcak Su	Soğuk Su
$\dot{V}_h/\dot{V}_c=0.25$	3388.41	9506.72	3387.44	9474.87	3624.97	9684.2	4233.41	9633.34	5932.09	10195.8
$\dot{V}_h/\dot{V}_c=0.5$	6763.41	9515.99	6760.68	9523.32	7257.45	9715.61	8501.55	9679.1	12022.7	10123.8
$\dot{V}_h/\dot{V}_c=0.75$	10178.5	9563.73	10137.2	9572.39	10821.3	9705.99	12708.7	9839.58	18124.1	10251.2
$\dot{V}_h/\dot{V}_c=1$	13696.9	9630.18	13698.3	9659.33	14635	9920.7	17170.6	10370.4	24673.8	10477.5

Çizelge 5’te farklı kapasite oranlarında beş helisli borunun diğer iç borular ile ısı transferi miktarı kıyaslanması görülmektedir. Düz bakır boruya oranla en fazla ısı transferi artış miktarının 5 helisli bakır boruda kapasite oranı (C=1) olduğu durumda %80.14 düzeyinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 5. Beş helisli borunun diğer borulara göre ortalama ısı transferi miktarı değişimi ($J s^{-1}$) ve yüzdesi

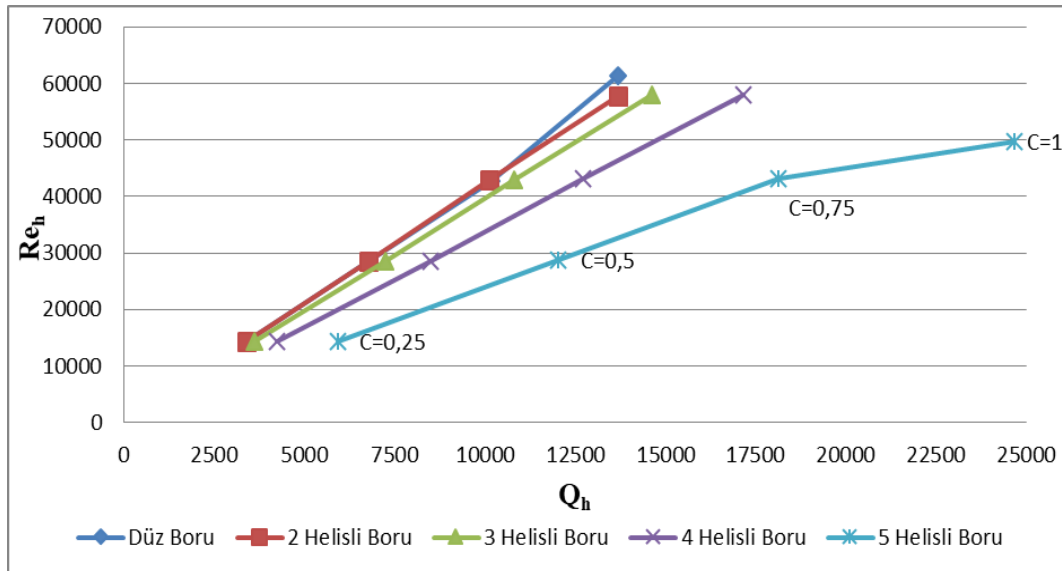
Kapasite Oranı	Düz Boruya Oranla		2 Helisli Boruya Oranla		3 Helisli Boruya Oranla		4 Helisli Boruya Oranla	
	Değişim	Yüzdesi	Değişim	Yüzdesi	Değişim	Yüzdesi	Değişim	Yüzdesi
$\dot{V}_h/\dot{V}_c=0.25$	2544	%74	2545	%75	2308	%63.6	1699	%40.07
$\dot{V}_h/\dot{V}_c=0.5$	5259	%76	5162	%77	4782	%66.01	3521	%41.4
$\dot{V}_h/\dot{V}_c=0.75$	7946	%77.56	7617	%76.7	7303	%67.48	5416	%42.61
$\dot{V}_h/\dot{V}_c=1$	10977	%80.14	10675	%80.1	10038	%68.04	7503	%44.09

Çizelge 6’da farklı kapasite oranlarında beş helisli borunun diğer iç borular ile basınç düşüş miktarı kıyaslanması görülmektedir. Düz bakır boruya oranla en fazla basınç düşüşü artış miktarının 5 helisli bakır boruda kapasite oranı ($C=1$) olduğu durumda %80.76 düzeyinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 6. Beş helisli borunun diğer borulara göre ortalama basınç değişim miktarı (kPa) ve yüzdesi

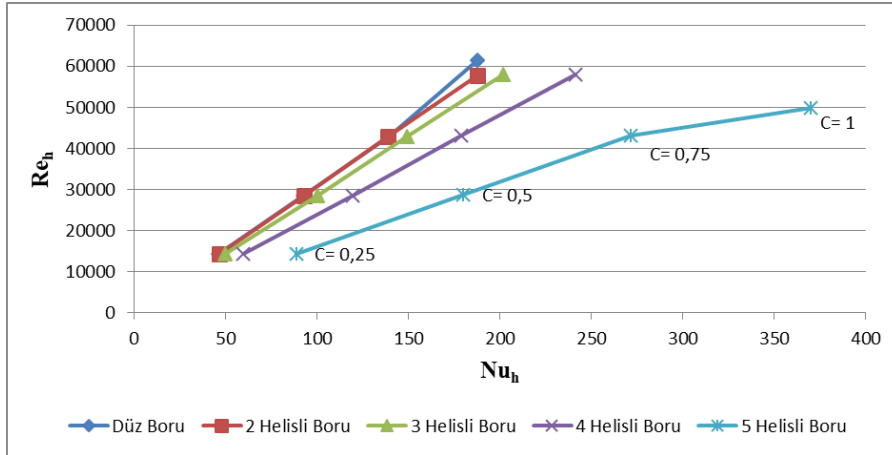
Kapasite Oranı	Düz Boruya Oranla		2 Helisli Boruya Oranla		3 Helisli Boruya Oranla		4 Helisli Boruya Oranla	
	Değişim	Yüzdesi	Değişim	Yüzdesi	Değişim	Yüzdesi	Değişim	Yüzdesi
$\dot{V}_h/\dot{V}_c=0.25$	5.08	%119.81	3.82	%128.18	3.46	%132.06	2.92	%140.38
$\dot{V}_h/\dot{V}_c=0.5$	3.94	%110.36	3.06	%113.75	2.6	%116.59	2.21	%120.1
$\dot{V}_h/\dot{V}_c=0.75$	3	%100.67	2.44	%100.82	2.1	%100.96	1.46	%101.38
$\dot{V}_h/\dot{V}_c=1$	1.89	%80.76	1.56	%77.61	1.52	%77.15	0.67	%59.82

Şekil 2’de görüleceği üzere gerçekleşen en yüksek ısı transferi 5 helisli iç bakır boruda gerçekleşmektedir. Kapasite oranının 1 olduğu durumda yani $\dot{V}_h/\dot{V}_c=1$ olduğunda en yüksek miktarda ısı transferinin gerçekleştiği görülmektedir. Kapasite oranı arttıkça ortalama ısı transferi miktarı her tip boruda genel olarak artmaktadır.



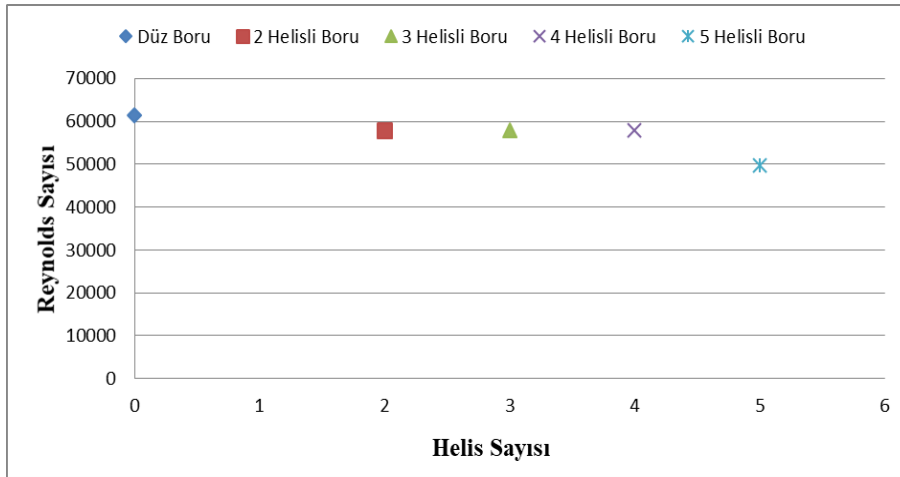
Şekil 2. Sıcak su için farklı kapasite oranlarında ortalama ısı transferi miktarı-Reynolds sayısı değişimi

Şekil 3’te görüleceği üzere Reynolds sayısı ile Nusselt sayısı doğru orantılı artmaktadır. Helis sayısı artmasından kaynaklı ısı transferi miktarı ve Nusselt sayısındaki artış görülmektedir. Kapasite oranı arttıkça farklı tip borularda ortalama Reynolds sayılarıyla birlikte ortalama Nusselt sayılarında da artış gözlenmektedir.



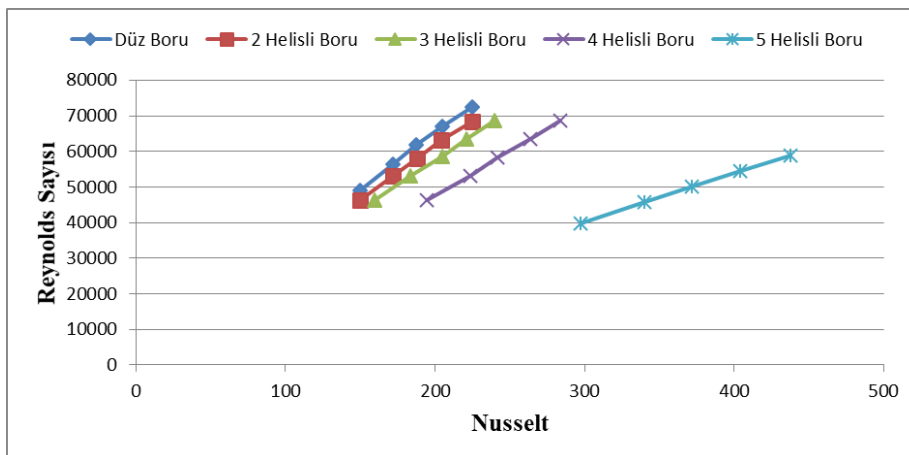
Şekil 3. Farklı İç Borularda Farklı Kapasite Oranlarında Reynolds Sayısı ile Nusselt Sayısı Değişimi

Şekil 4'te görüleceği üzere ortalama Reynolds sayısı iç borulardaki helis sayısı arttıkça azalmaktadır. Helis sayısı arttıkça iç boru içinde dolaşan sıcak suyun hızındaki düşmeden kaynaklı ortalama Reynolds sayısındaki azalma grafikte gösterilmiştir



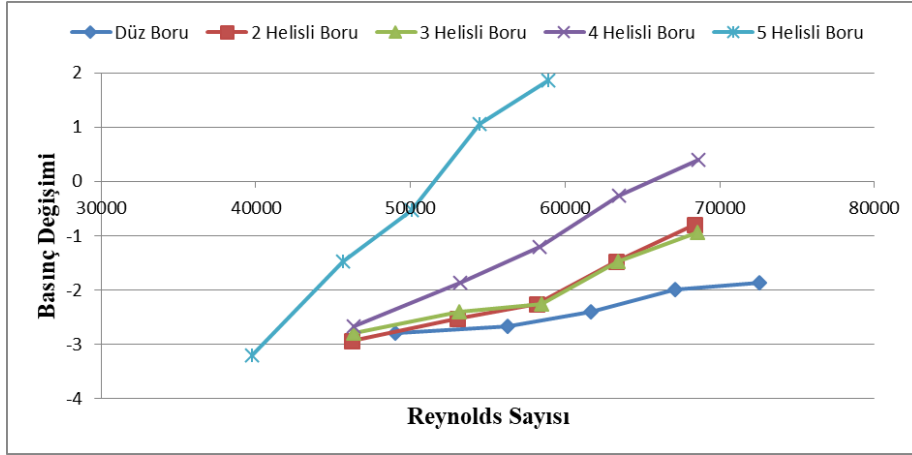
Şekil 4. Farklı Helis Sayısındaki İç Borularda Ortalama Reynolds Sayısı Değişimi

Şekil 5'te kapasite oranının 1 (C=1) olmasının sağlandığı 5 farklı hacimsel debi oranında farklı iç borulardaki deneysel verilerden elde edilen Reynolds sayısı ve Nusselt sayısının değişimi gösterilmiş olup hacimsel debinin artmasıyla birlikte Reynolds sayısı ile Nusselt sayısı doğru orantılı arttığı görülmektedir.



Şekil 5. Farklı iç borularda farklı hacimsel debi değerlerinde Reynolds sayısı ile Nusselt sayısı değişimi

Şekil 6'da basınç değişiminin Reynolds sayısı değişimi görülmektedir. Deney setindeki dış borunun dikey konumlandırılmış olmasından kaynaklı yer çekimi etkisiyle basınç düşümleri negatif yönlüdür, yani artış görülmektedir. Ancak yer çekiminin oluşturduğu potansiyel hesaplanıp göz ardı edildiğinde doğal olarak 5 helisli iç bakır boruda en çok basınç düşümü olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Farklı iç borularda farklı hacimsel debi değerlerinde Reynolds sayısı ile basınç değişimi

Deney Sonuçlarının Teorik Sonuçlarla Karşılaştırılması

Isı değiştiricilerinde ısı transferi miktarının hesaplanmasında sınır tabaka şartlarında, süreklilik denklemi, momentum ve enerjinin korunumu denklemlerinin çözümlenmesi yapılmalıdır. Bu tip denklemler uygun sınır şartları belirlenerek çözülür. Isı değiştiricilerinde sıcaklık dağılımı sıkıştırılmaz akışkanlar için aşağıda gösterildiği gibi çözülür.

Enerjinin Korunumu Denklemi

Silindirik koordinatlarda üç boyutlu enerji denklemi şu şekildedir.

$$\rho \cdot c_p \cdot \left[\frac{\partial T}{\partial t} + U_r \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{U_\theta}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial \theta} + U_z \cdot \frac{\partial T}{\partial z} \right] = k \left[\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) - \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + \mu \cdot q \quad (1)$$

Süreklilik Denklemi (Continuity Equation)

Süreklilik denklemi silindirik yapılarda sıkıştırılmaz akışkanlar için şu şekildedir.

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial(r \cdot U_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial(U_\theta)}{\partial \theta} + \frac{\partial(U_z)}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

Navier - Stokes Denklemi (Navier - Stokes Equation)

Silindirik yapılarda sıkıştırılmaz akışkanlar için Navier-Stokes denklemi "r" bileşenine bağlı olarak şu şekilde yazılır.

$$\rho \cdot \left[\frac{\partial U_r}{\partial t} + U_r \cdot \frac{\partial U_r}{\partial r} + \frac{U_\theta}{r} \cdot \frac{\partial U_r}{\partial \theta} - \frac{U_\theta^2}{r} + U_z \cdot \frac{\partial U_r}{\partial z} \right] = -\frac{\partial P}{\partial r} + \rho \cdot g_r + \mu \cdot \left[\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \cdot \frac{\partial U_r}{\partial r} \right) - \frac{U_r}{r^2} - \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 U_r}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \cdot \frac{\partial U_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 U_r}{\partial z^2} \right] \quad (3)$$

Silindirik yapılarda sıkıştırılmaz akışkanlar için Navier-Stokes denklemi "θ" bileşenine bağlı olarak şu şekilde yazılır.

$$\rho \cdot \left[\frac{\partial U_r}{\partial t} + U_r \cdot \frac{\partial U_r}{\partial r} + \frac{U_\theta}{r} \cdot \frac{\partial U_r}{\partial \theta} - \frac{U_\theta^2}{r} + U_z \cdot \frac{\partial U_r}{\partial z} \right] = -\frac{\partial P}{\partial \theta} + \rho \cdot g_\theta + \mu \cdot \left[\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \cdot \frac{\partial U_\theta}{\partial r} \right) - \frac{U_\theta}{r^2} - \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 U_\theta}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \cdot \frac{\partial U_r}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 U_\theta}{\partial z^2} \right] \quad (4)$$

Silindirik yapılarda sıkıştırılmaz akışkanlar için Navier-Stokes denklemi “z” bileşenine bağlı olarak şu şekilde yazılır.

$$\rho \cdot \left[\frac{\partial U_z}{\partial t} + U_r \cdot \frac{\partial U_z}{\partial r} + \frac{U_\theta}{r} \cdot \frac{\partial U_z}{\partial \theta} + U_z \cdot \frac{\partial U_z}{\partial z} \right] = -\frac{\partial P}{\partial z} + \rho \cdot g_z + \mu \cdot \left[\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \cdot \frac{\partial U_z}{\partial r} \right) - \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 U_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 U_z}{\partial z^2} \right] \quad (5)$$

Deneysel Sonuçlarının Doğrulanması

Yapılan bu çalışmada yapılan deneylerden elde edilen sonuçlarla literatürdeki deneysel çalışmalardan elde edilen teorik sonuçlar karşılaştırarak doğruluğu incelenecektir.

Bu çalışmada ısı, iç boruda akan sıcak sudan boru dışında zıt yönde akan soğuk suya aktarılmaktadır. Zıt akışta transfer edilen ısı miktarı;

$$\dot{Q}_h = \dot{m}_h \cdot C_{ph} (T_{hg} - T_{hç}) \quad (6)$$

Enerjinin korunumu kanunundan ısı taşınım katsayısı;

$$\dot{Q}_h = h \cdot A_y \cdot \Delta T'_{\log} \text{ dan } \rightarrow h = \frac{\dot{Q}_h}{A_y \cdot \Delta T_{\log}} \quad (7)$$

Burada;

$$\Delta T_{\log} = \frac{(T_{hg} - T_{yg}) - (T_{hç} - T_{yç})}{\ln \frac{(T_{hg} - T_{yg})}{(T_{hç} - T_{yç})}} \quad (8)$$

Ayrıca Reynolds sayısı;

$$Re_h = \frac{\rho \cdot V_h \cdot d_{eş}}{\mu_h} \quad (9)$$

Nusselt sayısı;

$$Nu = \frac{h \cdot d_{eş}}{k} \quad (10)$$

Sürtünme faktörü;

$$f = \frac{\Delta P}{\left(\frac{L}{d_{eş}}\right) \left(\frac{\rho \cdot V^2}{2}\right)} \quad (11)$$

Literatürdeki Nusselt Sayısı deneysel ifadeleri aşağıda verilmiştir;

Gnielinski'ye göre;

Daha küçük Reynolds sayılarında geçerli olan bu bağıntı $0.5 < Pr < 2000$ ve $2300 < Re < 5 \times 10^6$ aralığında geçerlidir. Denklem (13)'te f ile gösterilen sürtünme katsayısı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$f = (0.79 \ln Re - 1,64)^{-2} \quad (12)$$

$$Nu = \frac{\left(\frac{f}{8}\right) \cdot (Re - 1000) \cdot Pr}{1 + 12.7 \left(\frac{f}{8}\right)^{1/2} \cdot (Pr^{2/3} - 1)} \quad (13)$$

Sieder ve Tate'ye göre;

Fiziksel özelliklerin değişimi göz önüne alınarak $0.7 < Pr < 16700$ aralığında $Re > 10000$ ve $L/D \geq 10$ için;

$$Nu = 0.027 \cdot Re^{4/5} \cdot Pr^{1/3} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^{0.14} \quad (14)$$

Burada μ_s yüzey sıcaklığında diğer fiziksel özellikler ortalama akışkan sıcaklığında alınmalıdır. Bu bağıntı hem sabit yüzey sıcaklığı hem de sabit ısı akısı için kullanılabilir. Denklem (13) ve Denklem (14)'ün hesap sonuçlarında %25 kadar hata payı vardır. Daha karmaşık ama daha az hatalı bağıntı Petukhov tarafından oluşturulmuştur.

Petukhov'a göre;

$0.5 < Pr < 2000$ aralığında $10^4 < Re < 5 \times 10^6$ değerleri için geçerli olan bağıntıda f sürtünme katsayısını göstermekte olup Moody diyagramından bulunabileceği gibi pürüzsüz borular için Denklem (15)'te gösterildiği gibi hesaplanabilir.

$$f = (1.82 \log_{10} Re - 1.64)^{-2} \quad (15)$$

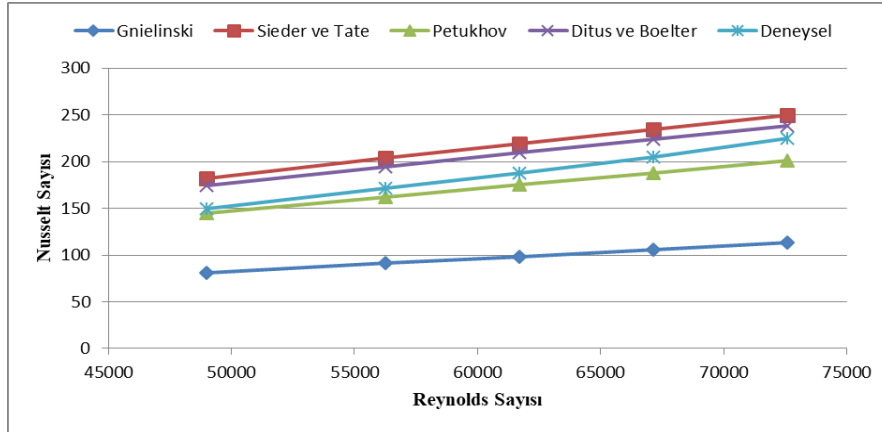
$$Nu = \frac{\left(\frac{f}{8}\right) \cdot Re \cdot Pr}{1.07 + 12.7 \cdot \left(\frac{f}{8}\right)^{1/2} \cdot (Pr^{2/3} - 1)} \quad (16)$$

Ditus ve Boelter'e göre;

Ditus ve Boelter boru içinde tam gelişmiş türbülanslı akış halinde $Re > 10000$, $0.7 < Pr < 160$ aralığında $L/D \geq 10$ için Denlem (17)'de verilen bağıntıyı vermişlerdir. Boru içindeki akışkanın ısınması halinde $n=0.4$ soğuması halinde ise $n=0.3$ 'tür. Bu bağıntıda fiziksel özellikler ortalama akışkan sıcaklığındadır.

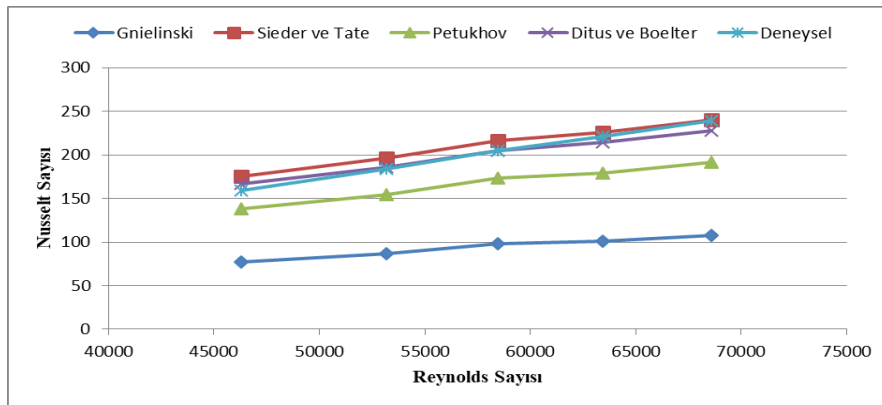
$$Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^n \quad (17)$$

Şekil 7' de düz boru ile yapılan deneylerde elde edilen Reynolds sayılarının teorik olarak hesaplanan Nusselt sayılarının değişimi gösterilmektedir. Değerler karşılaştırıldığında deney sonuçlarına göre elde edilen Nusselt sayıları teorik olarak hesaplanan Nusselt sayılarının arasında yer alıp Petukhov ile Ditus ve Boelter' in vermiş olduğu eşitliğe yakın seyir izlemiştir.



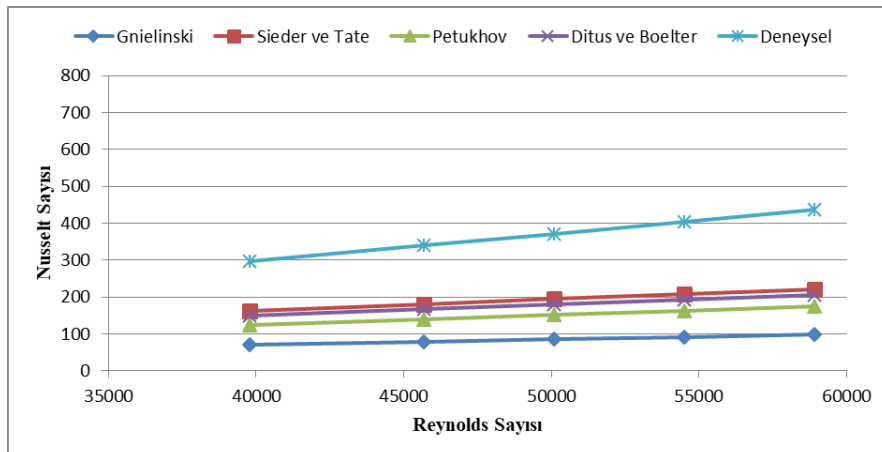
Şekil 7. Düz boru deneylerinde elde edilen Reynolds sayıları ile teorik olarak hesaplanan Nusselt sayılarının değışimi

Şekil 8’ de 3 helisli boru ile yapılan deneylerde elde edilen Reynolds sayılarının teorik olarak hesaplanan Nusselt sayılarının değışimini göstermekte olup, deney sonuçlarına göre elde edilen Nusselt sayıları teorik olarak hesaplanan Nusselt sayılarının arasında yer alıp Sieder ve Tate ile Ditus ve Boelter’ in vermiş olduğu eşitliğe yakın seyir izlemiştir.



Şekil 8. 3 Helisli boru deneylerinde elde edilen Reynolds sayıları ile teorik olarak hesaplanan Nusselt sayılarının değışimi

Şekil 9’ da 5 helisli boru ile yapılan deneylerde elde edilen Reynolds sayılarının teorik olarak hesaplanan Nusselt sayılarının değışimi gösterilmektedir. Değerler karşılaştırıldığında deney sonuçlarına göre elde edilen Nusselt sayıları teorik olarak hesaplanan Nusselt sayılarının üzerinde yer alıp Sieder ve Tate ile Ditus ve Boelter’ in vermiş olduğu eşitliğe paralel olarak seyir izlemiştir.



Şekil 9. 5 Helisli boru deneylerinde elde edilen Reynolds sayıları ile teorik olarak hesaplanan Nusselt sayılarının değışimi

SONUÇ

Isı transferindeki artış miktarını en iyi sağlayan boru tipinin beş helisli iç bakır boru olduğu ancak diğer borulara oranla basınç düşümünde artışın daha fazla olduğu sonuçlardan gözlenmiştir. Beş helisli iç bakır borudaki ısı transferi artış miktarı düz iç bakır boruya oranla % 80.14 daha fazladır. Helisel iç bakır boru tiplerinde meydana gelen basınç düşümleri helis sayısına bağlı olarak artmaktadır. Akışkanın helisel iç bakır boru içerisinde helislerden geçmesi sebebiyle yolunun uzaması ve akışkanın dönmemesinin, giriş ve çıkış arasında basınç düşümü meydana gelmesine sebebiyet verdiği değerlendirilmiştir. Yapılan deney çalışmasında helisel iç bakır boruların helis sayısı arttıkça ısı transferi miktarı da artmaktadır. Isı transferi miktarı artarken bununla birlikte basınç düşümü değerlerinde de artış gözlenmektedir. Basınç düşümü açısından yeni sistemler yapılarak iyi sonuçlar alınabilir. Sistemin dikey olarak tasarlanmış olmasının da etkisiyle basınç düşüm değerleri helis sayısı arttıkça büyük oranda artmaktadır. Yapılan deney çalışmasında dış boru dikey konumlandırılarak sistemde oluşması öngörülen basınç düşüm miktarının daha az seviyede olması düşünülmüştür. Dış borunun dikey konumlandırılmasıyla oluşan basınç düşüm miktarı literatürdeki dış borusu yatay konumlandırılmış ısı değiştiricilerle kıyaslandığında basınç düşüm miktarı açısından iyileştirme sağlamadığı görülmüştür, ancak dış borunun dikey konumlandırılarak karşıt akış oluşturulması ısı transfer miktarı açısından ciddi oranlarda iyileştirme sağlamıştır.

Bu çalışmadan elde edilen deneysel verilerle teorik sonuçlar birbiriyle uyum içerisindedir. Ayrıca literatürde benzer boru ve kanatçıklarla yatay olarak tasarlanan sistemler için ısı transferi artışı yakın olmasına rağmen basınç düşümü değerlerinde yaşanan artışlar karşılaştırıldığında, benzer sistemlere göre daha fazla basınç düşümü değerleri görülmektedir. Bu çalışmada iç boru helis sayılarının artmasıyla ısı transferi miktarlarında artış sağlanmıştır ancak basınç düşümü açısından farklı sistemler tasarlanarak daha iyi sonuçlar alınabilir.

Yapılacak ısı transferi artış miktarını yükseltmek için helisel iç bakır boruların helis sayısı ve helis adımları artırılabilir ve böylelikle daha fazla ısı transferi yüzey alanı elde edilerek daha düşük konstrüksiyon boyutlarında ısı transferi miktarı üst seviyelere çıkarılabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2019-1924 numaralı proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Akyürek E, Geliş K, Yoladı M, 2020. Farklı Tip Isı Değiştiriciler için Termodinamik Analiz. Journal of the Institute of Science and Technology, 10 (2): 1202-1212.
- Alimoradi A, Veysi F, 2017. Optimal and Critical Values of Geometrical Parameters of Shell and Helically Coiled Tube Heat Exchanger. Case Studies in Thermal Engineering, 73–78.
- Ammar A, Abda C, Kareema MQ, Naji SZ, 2018. Performance Analysis of Shell and Tube Heat Exchanger: Parametric Study. Case Studies in Thermal Engineering, 12: 563-568.
- Bıçer Y, Yıldız C, Pehlivan D, 1998. Effect of Twisted Strips on Heat Transfer and Pressure Drop in heat Exchangers. Energy Convers, 39: 331-336
- Dal A, 2019. Düz Plakalı Borulu Bir Isı Değiştiricisinin Optimum Kanatçık Aralığının Sayısal Analizi. Ömer Halis demir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(1): 479-501.
- Daştan ÇF, 2012. Isı Eşanjörlerinde Isı Transferi İyileştirme Yöntemlerinin Sayısal ve Deneysel Olarak İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

- Eiamsa-ard S, Seemawute P, Wongcharee K, 2010. Influences of Peripherally-Cut Twisted Tape Insert on Heat Transfer and Thermal Performance Characteristics in Laminar and Turbulent Tube Flows. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 34: 711–719.
- Gao B, Bi Q, Nie Z, Wu J, 2015. Experimental Study of Effects of Baffle Helix Angle on Shell-Side Performance of Shell-and-Tube Heat Exchangers with Discontinuous Helical Baffles. *Exp. Therm. Fluid Sci.*, 48–57.
- Genceli OF, 1999. Isı Değiştiricileri. Birsen Yayın Evi, İstanbul, 424 s.
- Karagöz Ş, Abdi H, Ömeroğlu G, 2017. Yatay Borulardaki Isı Transferine Türbülötörlerin Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(2): 810-817.
- Kavak E, Biçer Y, Yıldız C, 2000. İç İç Borulu Isı Değiştirgeçlerinde Dönel Akış Üreticisi Pervanelerin Isı Transferi ve Basınç Düşüşüne Etkisinin İncelenmesi. Fırat üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü V.Ulusal Sempozyumu, Elazığ.
- Kılıç B, 2017. Farklı Plaka Yüzey Açısına Sahip Plakalı Isı Değiştiricilerin Ekserji Analizi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(1): 283-290.
- Kılıç B, İpek O, 2019. Plakalı Isı Değiştiricilerinde Isı Geçişi ve Etkinliğin Deneysel Olarak İncelenmesi ve Yapay Sinir Ağlarının (YSA) Uygulanması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(1): 399-412.
- Kırtepe E, Özbalta N, 2018. Kanatlı-Borulu Isı Değiştiricilerde Belirsizlik Analizi. *Dümf Mühendislik Dergisi*, 9 (1): 161 - 175.
- Koca T, 2007. Dönel Helisel İç Borularda Isı Transferi ve Basınç Düşümü Analizi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Kongkaitpaiboon V, Nanan K, Eiamsa-Ard S, 2010. Experimental Investigation of Convective Heat Transfer and Pressure Loss in A Round Tube Fitted with Circular-Ring Turbulators. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37: 568–574.
- Mangrulkar CK, Dhoble A.S, Chamoli S, Gupta A, Gawande VB, 2019. Recent Advancement in Heat Transfer and Fluid Flow Characteristics in Cross Flow Heat Exchangers. *Renew Sustain Energy Reviewer*, 113:1-31.
- Mirzaei M, Hajabdollahi H, Fadakar H, 2017. Multi-Objective Optimization of Shell-and-Tube Heat Exchanger by Constructal Theory. *Appl. Therm. Eng.*, 125: 9–19.
- Omidi M, Farhadi M, Jafari M, 2017. A Comprehensive Review on Double Pipe Heat Exchangers. *Appl. Therm. Eng.*, 110: 1075–1090.
- Pourahmad S, Pesteei SM, 2016. Effectiveness-Ntu Analyses in A Double Tube Heat Exchanger Equipped with Wavy Strip Considering Various Angles. *Energy Conversion and Management*, 123: 462-469.
- Zhang J, Zhu X, Mondejar ME, Haglind F, 2019. A Review of Heat Transfer Enhancement Techniques in Plate Heat Exchangers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101: 305-328.

Analysis of The Dynamics of The Classical Epidemic Model with Beta Distributed Random Components

Tulay KESEMEN¹, Mehmet MERDAN², Zafer BEKIRYAZICI^{3*}

ABSTRACT: In this study, the classical epidemic model of Kermack and McKendrick is analyzed with beta distributed random components. A random analysis is done for the deterministic epidemic model by transforming the parameters and initial values of the system to random variables with beta distribution. The approximations for the expectations of the model variables are compared with the deterministic results to comment on the randomness of the cases with random parameters and random initial values. Results for some numerical characteristics of these two cases are also given to investigate the accuracy of the approximations for the expected values.

Keywords: SIR Model, Random Effect, Beta Distribution, Moment, Random Differential Equation.

Klasik Salgın Hastalık Modeli Dinamiklerinin Beta Dağılımına Sahip Rastgele Bileşenlerle İncelenmesi

ÖZET: Bu çalışmada Kermack ve McKendrick'in klasik salgın hastalık modeli beta dağılımına sahip rastgele bileşenlerle incelenmektedir. Deterministik model için sistemin parametreleri ve başlangıç koşulları beta dağılımına sahip rastgele değişkenlere dönüştürülerek bir rastgele inceleme yapılmaktadır. Model değişkenlerinin beklenen değerleri için elde edilen yaklaşımlar deterministik sonuçlarla karşılaştırılarak rastgele başlangıç koşulları ve rastgele parametre içeren durumların rastgele yapıları hakkında yorum yapılmaktadır. Beklenen değerlerin yaklaşımlarının doğruluğunun incelenmesi için iki durumun bazı sayısal karakteristiklerinin sonuçları da verilmektedir.

Anahtar Kelimeler: SIR Modeli, Rastgele Etki, Beta Dağılımı, Moment, Rastgele Diferansiyel Denklem.

¹Tulay KESEMEN (Orcid ID: 0000-0002-8807-5677), Department of Mathematics, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey,

²Mehmet MERDAN (Orcid ID: 0000-0002-8509-3044), Department of Mathematical Engineering, Gümüşhane University, Gümüşhane, Turkey

³Zafer BEKIRYAZICI (Orcid ID: 0000-0001-5671-9995) Department of Mathematics, Recep Tayyip Erdogan University, Rize, Turkey,

*Sorumlu Yazar/ Corresponding Author: e-mail: zafer.bekiryazici@erdogan.edu.tr

INTRODUCTION

The SIR model, also known as the classical epidemic model, is a milestone in mathematical epidemiology studies. It enables the investigation of disease dynamics through the analysis of the compartments of any population under consideration. The total population is divided into 3 compartments (Susceptible – Infected – Recovered) and the changes in these compartments over time are analyzed to monitor the course of the disease. SIR model was introduced by Kermack and McKendrick in early 1900s and takes its name from the capital letters of the compartments (Kermack and McKendrick, 1927). Various other models have been formed from the classical model by adding new compartments and parameters to analyze many other diseases and events in medicine, biology etc. (Khan et al., 2015; Merdan et al., 2017). SIS (Susceptible – Infected – Susceptible), SEIR (Susceptible – Exposed – Infected – Recovered) and MSEIR (Passively immune – Susceptible – Exposed – Infected – Recovered) are some of the derivatives of the classical epidemic model (Hethcote, 2000).

A vast majority of the literature on mathematical modeling studies in various fields of science are made on a deterministic level. That is, the randomness of the real life course of events is ignored in these studies. The recent works are focused on a fractional and/or numerical perspective for modeling studies (Araz and Durur, 2018; Yokus and Yavuz, 2018; Dokuyucu et al., 2018; Singh et al., 2018; Prakasha et al., 2019; Dokuyucu, 2019; Durur et al., 2019; Rasool et al., 2019; Yokus, 2019; Durur, 2019; Yokus, 2020). However, it is known that some components of modeling studies in epidemiology, biochemistry and etc. are determined through statistical investigations and hence possess a, non-negligibly, random nature. In this study, we will be transforming some components of the deterministic classical epidemic model to random variables with beta distribution to represent the real life randomness of some events in the mathematical models. The motivation of such an analysis is the previous studies of the authors which contain similar random modeling and analyses of influenza and bacterial resistance (Merdan and Khaniyev, 2008; Merdan et al., 2017). The transformation of the parameters and initial values to random variables enables the modeling of a random scenario for disease transmission, where the disease spreads in the population randomly or where the population is structured of randomly distributed susceptible and infected individuals. Beta distribution has previously been used to describe the dispersion of data about sunshine data and HIV transmission probability (Wiley et al., 1989; Suleiman et al., 1999). Since Beta distribution has been used for the distributions of such random events in various fields and because of the fact that we can arrange the parameters of this distribution to obtain a symmetrical continuous distribution in a limited support with a bell shaped density for certain parameters, Beta distribution will be used to for the random parameters and the random initial values.

The outline of the paper is as follows: The classical epidemic model will be introduced in the next section on a deterministic level. In the following sections, the random models with random parameters and random initial data will be given, respectively. In the last three parts, results for the expectations of these two random models will be compared and a conclusion will be given, along with the results of the simulations.

MATERIALS AND METHODS

The Deterministic Classical Epidemic Model

The deterministic model in (Hethcote, 2000) is used in this study. Here, s, i, r are the population compartments denoting the susceptible, infected and recovered humans, respectively. $n(t)$ denotes the total population:

$$\begin{aligned}\frac{ds}{dt} &= -\beta i \frac{s}{n}, & s(0) &= s_0 \geq 0, \\ \frac{di}{dt} &= \beta i \frac{s}{n} - \gamma i, & i(0) &= i_0 \geq 0, \\ \frac{dr}{dt} &= \gamma i, & r(0) &= r_0 \geq 0.\end{aligned}\tag{1}$$

We use the general “fixed population” assumption of compartmental models:

$$s(t) + i(t) + r(t) \rightarrow \text{fixed}.$$

Dividing all population groups by $n(t)$, we form a new set of variables: $S(t), I(t), R(t)$. Since $R(t) = 1 - S(t) - I(t)$, the non-dimensionalized model is obtained as:

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= -\beta IS, \\ \frac{dI}{dt} &= \beta IS - \gamma I.\end{aligned}\tag{2}$$

The parameters of the model are given as follows: β denotes the contact rate and has the deterministic value 1 while γ denotes the recovery rate and has the value $1/3$. These parameter values are used along with initial conditions: $S(0) = 0.99, I(0) = 0.01$ for the numerical simulations. The values of the parameters have been taken from (Hethcote, 2000). It should also be noted that the time t , is given in days.

SIR Model with Beta Distributed Random Parameters

The general beta distribution is a continuous distribution with left and right shape parameters a and b , a location parameters c and a scale parameter d . The random variable X has the general beta distribution with parameters (a, b) in (c, d) , if it has the probability density function

$$f(x) = \frac{1}{B(a, b)d^{a+b-1}} (x - c)^{a-1} (c + d - x)^{b-1}, x \in (c, c + d), a > 0, b > 0.$$

We will be using a symmetrical general Beta distribution by choosing identical left and right shape parameters ($a = b$), since we will be assuming equal dispersion of the data around the deterministic value of the model parameters and initial values.

The parameters of system (2) will be transformed into random variables with symmetrical general Beta distribution to model the randomness of the values of recovery and contact rates in real life. The expected value of a general Beta distributed random variable X^* with parameters (a, b, c, d) is given as (Bekiryazici et al., 2016)

$$E(X^*) = c + d \frac{a}{a + b}.$$

The parameters of system (2), β and γ are transformed into random variables β^*, γ^* such that

$$\begin{aligned}\beta^* &= c_1 + d_1 Z_1, \\ \gamma^* &= c_2 + d_2 Z_2,\end{aligned}$$

where Z_1, Z_2 are independent random variables with standard Beta distribution having the parameters $(a_i, b_i), i = 1, 2$ and $c_i, d_i, i = 1, 2$ are the lower bounds and lengths of their supports, respectively. Since the deterministic values are $\beta = 1$ and $\gamma = 1/3$, we determine the parameters of the general Beta distributions $(a_i, b_i, c_i, d_i), i = 1, 2$ such that $E(\beta^*) = 1$ and $E(\gamma^*) = 1/3$. If the new parameters β^*, γ^* are written in the system (2), we get the random model with random parameters:

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= -\beta^*IS, \\ \frac{dI}{dt} &= \beta^*IS - \gamma^*I,\end{aligned}\tag{3}$$

along with the initial values $S(0) = 0.99, I(0) = 0.01$. Since $S(t)$ and $I(t)$ are determined through the random equations in (3), they become random variables as well. If we denote a generally Beta distributed random variable $X^* \sim gBeta(c, d, a, b)$, for $\gamma^* \sim gBeta\left(\frac{19}{60}, \frac{1}{30}, 4, 4\right)$ and $\beta^* \sim gBeta(0.99, 0.02, 3, 3)$; (where $gBeta$ denotes a generally distributed random variable)

$$\begin{aligned}E(\gamma^*) &= c_1 + d_1 \frac{a_1}{a_1 + b_1} = \frac{19}{60} + \frac{1}{30} \frac{4}{4+4} = \frac{1}{3}, \\ E(\beta^*) &= c_2 + d_2 \frac{a_2}{a_2 + b_2} = 0.99 + 0.02 \frac{3}{3+3} = 1.\end{aligned}$$

If we place the random variables $\gamma^* = c_1 + d_1 Z_1 = \frac{19}{60} + \frac{1}{30} Z_1, \beta^* = 0.99 + 0.02 Z_2$ in the system (3), where $Z_1 \sim Beta(4, 4)$ and $Z_2 \sim Beta(3, 3)$ are independent, we get

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= -(0.99 + 0.02 Z_2)IS, \\ \frac{dI}{dt} &= (0.99 + 0.02 Z_2)IS - \left(\frac{19}{60} + \frac{1}{30} Z_1\right)I,\end{aligned}\tag{4}$$

along with the initial values $S(0) = 0.99, I(0) = 0.01$. System (4) can be simulated in MATLAB by using the command 'betarnd(A, B)'. The "betarnd(A, B)" command in MATLAB generates standard Beta distributed random variables with parameters A, B .

RESULTS AND DISCUSSION

SIR Model with Beta Distributed Random Initial Values

For the second random model, the initial values of (2) will be transformed into random variables with symmetrical general Beta distribution. The initial values

$$S(0) = S_0 = 0.99, \quad I(0) = I_0 = 0.01,$$

will be similarly randomized. By selecting the new random initial values S_0^* and I_0^* as

$$S_0^* \sim gBeta(0.98, 0.02, 3, 3), \quad I_0^* \sim gBeta(0, 0.02, 4, 4).$$

Since S_0 and I_0 represent the initial fractions of susceptible and infected humans, they have to be in the interval $(0, 1)$. The supports of the new random initial values were determined accordingly:

$$S_0^* \in (0.98, 1), \quad I_0^* \in (0, 0.02).$$

Using the new initial values, we obtain the second model:

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= -\beta IS, \quad S_0^* \sim gBeta(0.98, 0.02, 3, 3), \\ \frac{dI}{dt} &= \beta IS - \gamma I, \quad I_0^* \sim gBeta(0, 0.02, 4, 4),\end{aligned}\tag{5}$$

where $\beta = 1$ and $\gamma = 1/3$. Once again, we will simulate system (5) in MATLAB by using the command 'betarnd(A, B)'.

Comparison of Random Characteristics

Differential Transformation Method (DTM) is a popular scheme for analyzing the approximate solutions of differential equations (Pukhov, 1982; Zhou, 1986). The mean square convergence of random DTM has been previously given by Villafuerte and Cortés (Villafuerte and Cortés, 2013). Using

Differential Transformation Method, we can obtain approximate analytical solution of system (2) and then introduce the random parameters and initial values that are general Beta distributed to investigate the random characteristics (Khudair, Haddad and Khalaf, 2016). Using $n = 2$ iterations, the approximate analytical solution of $S(t)$ in the random model with random parameters is obtained as (we will use $S^*(t), I^*(t)$ for the model with random parameters and $S^{**}(t), I^{**}(t)$ for the model with random initial values to distinguish these two cases):

$$\begin{aligned} S^*(t) &= 0.99 - 0.0099\beta t + (-0.004851\beta^2 + 0.00495\beta\gamma)t^2, \\ I^*(t) &= 0.01 + (0.0099\beta - 0.01\gamma)t + (0.004851\beta^2 - 0.0099\beta\gamma + 0.005\gamma^2)t^2. \end{aligned}$$

Similarly for the random model with random initial conditions, (using $n = 2$ iterations), we get:

$$\begin{aligned} S^{**}(t) &= S_0 - S_0 I_0 t + \left(-\frac{1}{2} S_0^2 I_0 + \frac{1}{6} S_0 I_0 + \frac{1}{2} S_0 I_0^2\right) t^2, \\ I^{**}(t) &= I_0 + \left(S_0 I_0 - \frac{1}{3} I_0\right) t + \left(\frac{1}{2} S_0^2 I_0 - \frac{1}{3} S_0 I_0 - \frac{1}{2} S_0 I_0^2 + \frac{1}{18} I_0\right) t^2. \end{aligned}$$

Hence, by the expected values of $S(t)$ with random parameters and initial values can be compared as below. The expectation of $S(t)$ with random parameters is:

$$\begin{aligned} E(S^*(t)) &= E(0.99 - 0.0099\beta t + (-0.004851\beta^2 + 0.00495\beta\gamma)t^2) \\ &= 0.99 - 0.0099E(\beta)t - (0.004851E(\beta^2) + 0.00495E(\beta)E(\gamma))t^2, \\ E(S^{**}(t)) &= E\left(S_0 - S_0 I_0 t + \left(-\frac{1}{2} S_0^2 I_0 + \frac{1}{6} S_0 I_0 + \frac{1}{2} S_0 I_0^2\right) t^2\right) \\ &= E(S_0) - E(S_0)E(I_0)t + \left(-\frac{1}{2} E(S_0^2)E(I_0) + \frac{1}{6} E(S_0)E(I_0) + \frac{1}{2} E(S_0)E(I_0^2)\right) t^2. \end{aligned}$$

Higher moments of a random variable $X^* \sim gBeta(c, d, a, b)$ can be obtained by using the equality,

$$X^* = c + dZ, Z \sim Beta(a, b) \Rightarrow E((X^*)^k) = E((c + dZ)^k),$$

and the higher moment formulas of a standard Beta random variable $Z \sim Beta(a, b)$ (Feller, 1968):

$$E(Z^k) = \frac{a(a+1) \dots (a+(k-1))}{(a+b)(a+b+1) \dots (a+b+(k-1))}.$$

Using this equality and the fact that $E((X^*)^k) = E((c + dZ)^k)$, we obtain the first three moments of the general beta distributed random variables β^*, γ^*, S_0^* and I_0^* as:

$$\begin{aligned} \beta^* &\sim gBeta(0.99, 0.02, 3, 3) \\ &\Rightarrow E(\beta^*) = 1, E(\beta^{*2}) \simeq 0.9999, E(\beta^{*3}) \simeq 1, E(\beta^{*4}) \simeq 0.9606. \\ \gamma^* &\sim gBeta(19/60, 1/30, 4, 4) \\ &\Rightarrow E(\gamma^*) \simeq 0.3333, E(\gamma^{*2}) \simeq 0.1108, E(\gamma^{*3}) \simeq 0.0371, (\gamma^{*4}) \simeq 0.0101. \\ S_0^* &\sim gBeta(0.98, 0.02, 3, 3) \\ &\Rightarrow E(S_0^*) = 0.99, E(S_0^{*2}) = 0.98, E(S_0^{*3}) \simeq 0.9703, E(S_0^{*4}) \simeq 0.9224. \\ I_0^* &\sim gBeta(0, 0.02, 4, 4) \\ &\Rightarrow E(I_0^*) = 0.01, E(I_0^{*2}) = 0, E(I_0^{*3}) \simeq 1.3334 \times 10^{-6}, E(I_0^{*4}) \simeq 1.6970 \times 10^{-8}. \end{aligned}$$

The results have been obtained for the approximations of $S(t)$ and $I(t)$ in the deterministic model and the random models with random parameters and initial values (Tables 1, 2).

The results show that for the first 36 hours of the disease ($t \in (0, 1.5)$), the results for the random and deterministic models are almost the same. Hence, DTM has provided accurate approximation formulas for the early expectations of the model components. Although the formulas for the expectations of the model components $S(t)$ and $I(t)$ may continue to provide accurate results for $t > 0$, the nonlinearity and the fact that this model consists of coupled differential equations may increase the error in the approximate results as t gets larger.

Table 1. Results for $S(t)$ in the models (2), (4) and (5) for $t \in (0,1.5)$.

t	$S(t)$	$E(S^*(t))$	$E(S^{**}(t))$
0	0.9900	0.9900	0.9900
0.1	0.9890	0.9890	0.9890
0.2	0.9879	0.9879	0.9879
0.3	0.9867	0.9867	0.9867
0.4	0.9855	0.9855	0.9855
0.5	0.9842	0.9842	0.9841
0.6	0.9828	0.9828	0.9827
0.7	0.9813	0.9813	0.9812
0.8	0.9797	0.9797	0.9796
0.9	0.9780	0.9780	0.9779
1.0	0.9762	0.9762	0.9761
1.1	0.9744	0.9744	0.9742
1.2	0.9724	0.9724	0.9722
1.3	0.9703	0.9703	0.9701
1.4	0.9680	0.9680	0.9678
1.5	0.9657	0.9657	0.9654

Table 2. Results for $I(t)$ in the models (2), (4) and (5) for $t \in (0,1.5)$.

t	$I(t)$	$E(I^*(t))$	$E(I^{**}(t))$
0	0.0100	0.0100	0.0100
0.1	0.0107	0.0107	0.0107
0.2	0.0114	0.0114	0.0114
0.3	0.0122	0.0122	0.0122
0.4	0.0130	0.0130	0.0130
0.5	0.0139	0.0139	0.0139
0.6	0.0148	0.0148	0.0148
0.7	0.0158	0.0158	0.0158
0.8	0.0168	0.0168	0.0169
0.9	0.0179	0.0179	0.0180
1.0	0.0191	0.0191	0.0192
1.1	0.0203	0.0203	0.0205
1.2	0.0217	0.0216	0.0218
1.3	0.0230	0.0230	0.0232
1.4	0.0245	0.0245	0.0247
1.5	0.0260	0.0260	0.0263

It can also be seen that the difference between the deterministic results and the random results are higher for the case with random initial values. This is due to the width of the supports of the randomized model components, β^*, γ^*, S_0^* and I_0^* . The supports are $\gamma^* \in \left(\frac{19}{60}, \frac{21}{60}\right)$, $\beta^* \in (0.99, 1.01)$, $S_0^* \in (0.98, 1)$ and $I_0^* \in (0, 0.02)$. While the random effects for β^*, γ^* and S_0^* are similar

and around 5% of the deterministic value, I_0^* has a much larger random effect of 100%. This amount of randomness in the random initial data has caused a difference in the results for models (4) and (5).

Simulations

The deterministic solutions for the deterministic model (2) can be found in the referred study (Hethcote, 2000). The comparison of the expectations for the models with random initial data and random parameters can be seen in Figure 1.

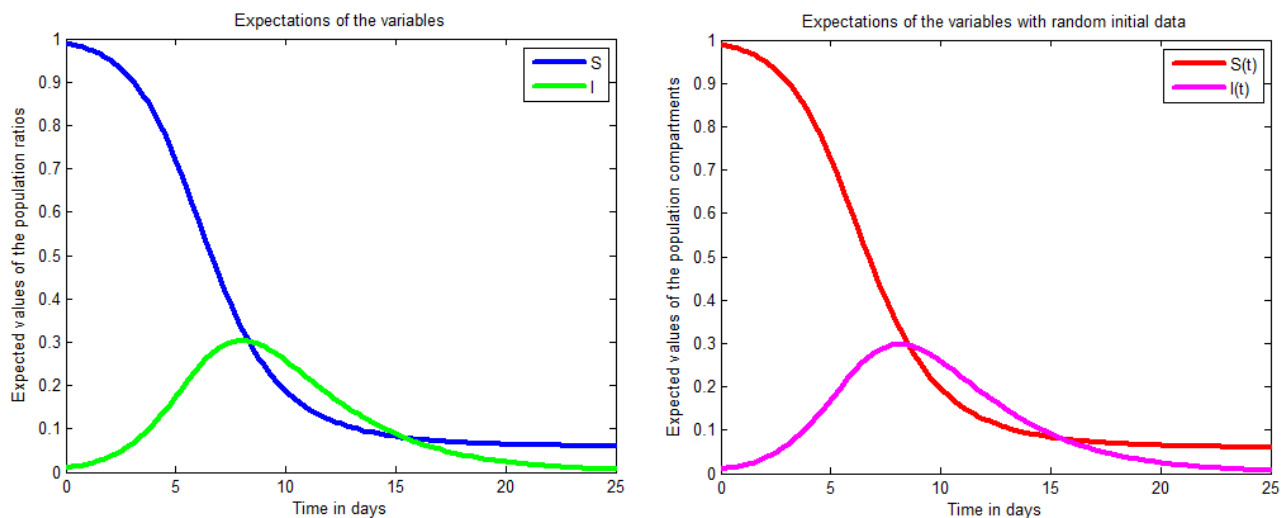


Figure 1. Expectations of the variables with random parameters (left) and random initial values (right).

Figure 2 shows the effects of a higher random effect in model (5) through the confidence intervals. Once again, the effects of the larger support for the random initial data can be seen in the graphs for confidence intervals. Although the expected values are similar for the cases with random parameters and random initial values, the 99% confidence intervals are remarkably larger in the second case.

The effects of a greater randomness in the case with random initial data can also be seen by analyzing the coefficients of variation in both cases. In the model with random parameters, the maximum standard deviation for $S(t)$ is obtained at $t = 7.5$ with a value of 0.009086 and since $E(S(t)) = 0.3865$ at $t = 7.5$ we see that the coefficient of variation can go up to about 2.35%; whereas for the model with random initial data, the maximum standard deviation for $S(t)$ is obtained at $t = 6.5$ with a value of 0.08224 and considering $E(S(t)) = 0.529$ for $t = 6.5$, it is seen that the coefficient of variation is around 15.55%. Similarly for $I(t)$ in the model with random parameters, maximum standard deviation is 0.006685 and the expectation is $E(I(t)) = 0.2878$ at $t = 7$ which corresponds to a coefficient of variation around 2.32%, whereas in the model with random initial data, maximum standard deviation is 0.04127 and the expectation is $E(I(t)) = 0.2013$ at $t = 5.5$ which corresponds to a coefficient of variation around 20.50%. The results are given in Table 3.

Table 3. Coefficient of variations for $S(t)$ and $I(t)$ in both cases, calculated at the instants of their largest standard deviations.

	$S(t)$	$I(t)$
Random Parameters	0.0235	0.0232
Random Initial Data	0.1555	0.2050

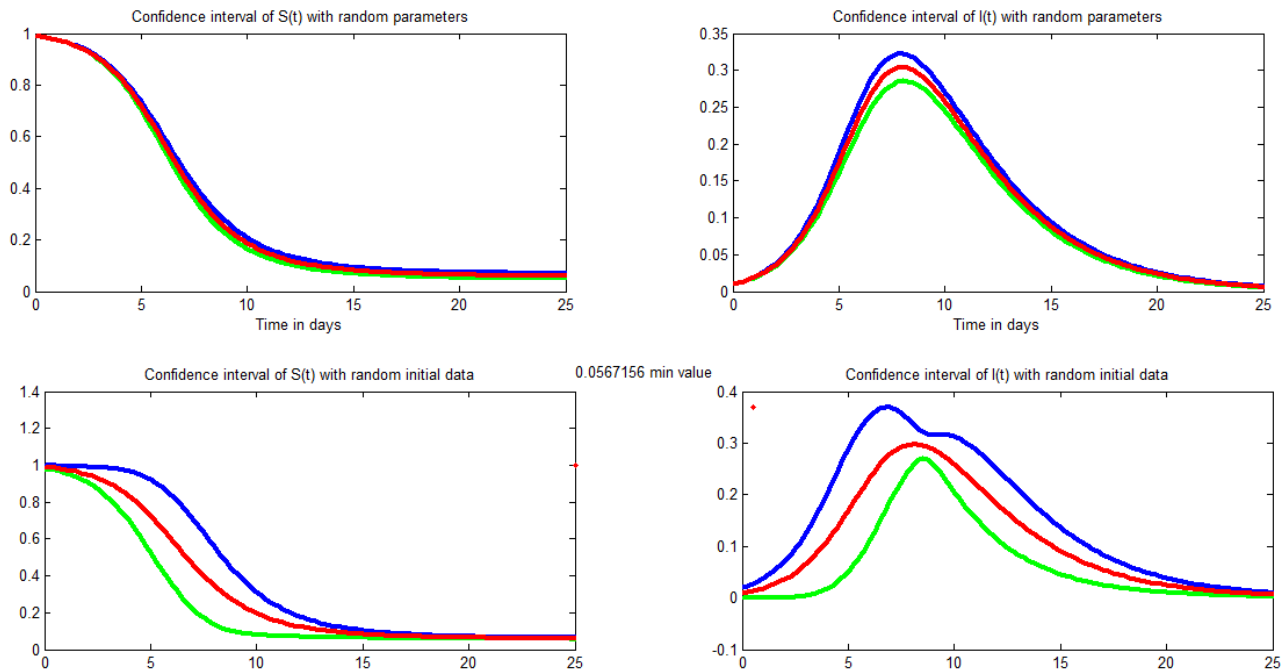


Figure 2. Confidence intervals of $S(t)$ and $I(t)$ with random parameters (upper graphs) and random initial data (lower graphs) are given. The three curves in each graphs denote the upper bound of the confidence interval, expected value and the lower bound of the confidence interval, from top to bottom, respectively.

CONCLUSION

In this study, we used the classical epidemic model of Kermack and McKendrick with the parameters and initial values of the referred study by H.W. Hethcote. We obtained two random models consisting of differential equations with random parameters and random initial values, respectively. We compared the results for the expectation formulas obtained by DTM in both random models. The coefficients of variation were also considered for the random models (4) and (5). It is seen that the approximations for the expected values in both random cases were accurate in the first 36 hours ($t \in (0,1)$). The random models have been simulated in MATLAB using $N > 100000$ simulations and the expectations for both models proved similar results to the deterministic results given by H.W. Hethcote. The confidence intervals for the random models and the variation coefficients show that there is a higher amount of randomness in the results for the case with random initial values. This has been a result of the amount of random effects that were added to the initial value I_0 . When the results for the expectations obtained from the simulations and the approximations by DTM are considered, it can be concluded that the models with random parameters and random initial data produce similar results with the deterministic results. Hence, the random models are meaningful and may be used to model the real life randomness of various phenomena that can be modeled by using this epidemiological model.

The model with random parameters suggest that the infected fraction of the population is expected to assume its maximum value of 0.303 at $t = 7.75$, whereas the susceptible fraction at this time is expected to be 0.3584. Using the model assumption $S(t) + I(t) + R(t) = 1$, it can be found that $R(t) = 0.3584$ at $t = 7.75$. Thus the model with random parameters suggests that at most 30.3% of the population is expected to be infected, with a 0.64% deviation in this expectation since $\text{std}(I(t)) = 0.006364$ for $t = 7.75$. For the model with random initial data, $\max(I(t)) = 0.2981$ at $t = 8$ and since $S(t) = 0.3446$ at this time, $R(t) = 0.3573$ for $t = 8$. However, $\text{std}(I(t)) = 0.01444$ at $t = 8$ means there may be about 1.4% deviation in this expectation within the model with random initial data. It

should be noted that the numerical differences are a result of the amount of random effects used for the random parameters and random initial data. Similar analysis can be made for mathematical models of other diseases or events and different distributions can be used for the random effects to analyze or compare the random results under varying conditions.

REFERENCES

- Araz SI, Durur H, 2018. Galerkin Method for Numerical Solution of Two Dimensional Hyperbolic Boundary Value Problem with Dirichlet Conditions. *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi* 4(1):1-11.
- Bekiryazici Z, Merdan M, Kesemen T, Khaniyev T, 2016. Mathematical Modeling of Biochemical Reactions Under Random Effects. *Turkish Journal of Mathematics and Computer Science* 5:8-18.
- Dokuyucu MA, 2019. A fractional order alcoholism model via Caputo-Fabrizio derivative. *AIMS Mathematics* 5(2):781–797.
- Dokuyucu MA, Celik E, Bulut H, Baskonus HM, 2018. Cancer treatment model with the Caputo-Fabrizio fractional derivative. *The European Physical Journal Plus* 133(3):92.
- Durur H, 2020. Different types analytic solutions of the (1+ 1)-dimensional resonant nonlinear Schrödinger's equation using (G'/G)-expansion method. *Modern Physics Letters B* 34(03):2050036.
- Durur H, Şenol M, Kurt A, Taşbozan O, 2019. Zaman-Kesirli Kadomtsev-Petviashvili Denkleminin Conformable Türev ile Yaklaşık Çözümleri. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 12(2):796-806.
- Feller W, 1968. *An Introduction to Probability Theory and Its Applications* (volume 1, 3rd edition). John Wiley & Sons. New York.
- Hethcote HW, 2000. The mathematics of infectious diseases. *SIAM review* 42(4):599-653.
- Kermack WO, McKendrick AG, 1927. A contribution to the mathematical theory of epidemics. *Proceedings of the Royal Society of London A: mathematical, physical and engineering sciences* 115(772):700-721.
- Khan MA, Badshah Q, Islam S, Khan I, Shafie S, Khan SA, 2015. Global dynamics of SEIRS epidemic model with non-linear generalized incidences and preventive vaccination. *Advances in Difference Equations* 2015(1):88.
- Khudair AR, Haddad SAM, Khalaf SL, 2016. Mean Square Solutions of Second-Order Random Differential Equations by Using the Differential Transformation Method. *Open Journal of Applied Sciences* 6:287–297.
- Merdan M, Bekiryazici Z, Kesemen T, Khaniyev T, 2017. Comparison of stochastic and random models for bacterial resistance. *Advances in Difference Equations* 2017(1):133.
- Merdan M, Khaniyev T, 2008. On the behavior of solutions under the influence of stochastic effect of avian-human influenza epidemic model. *International Journal of Biotechnology & Biochemistry* 4(1):75-100.
- Prakasha DG, Veerasha P, Baskonus HM, 2019. Analysis of the dynamics of hepatitis E virus using the Atangana-Baleanu fractional derivative. *The European Physical Journal Plus* 134(5):241.
- Pukhov G, 1982. Differential Transforms and Circuit theory. *Circuit Theory and Applications* 10:265–276.
- Rasool G, Zhang T, Shafiq A, Durur H, 2019. Influence of chemical reaction on Marangoni convective flow of nanoliquid in the presence of Lorentz forces and thermal radiation: A numerical investigation. *Journal of Advances in Nanotechnology* 1(1):32.

- Singh J, Kumar D, Hammouch Z, Atangana A, 2018. A fractional epidemiological model for computer viruses pertaining to a new fractional derivative. *Applied Mathematics and Computation* 316:504-515.
- Suleiman MY, Hlaing Oo WM, Wahab MA, Zakaria A, 1999. Application of beta distribution to Malaysian sunshine data. *Renewable Energy* 18:573-579.
- Villafuerte L, Cortés JC, 2013. Solving Random Differential Equations by Means of Differential Transform Methods. *Advances in Dynamical Systems and Applications* 8(2):413-423.
- Wiley JA, Herschkorn SJ, Padian NS, 1989. Heterogeneity in the probability of HIV transmission per sexual contact: The case of male-to-female transmission in penile-vaginal intercourse. *Statistics in Medicine* 8:93-102.
- Yokus A, 2019. Numerical Solutions of Time Fractional Korteweg--de Vries Equation and Its Stability Analysis. *Communications Faculty of Sciences University of Ankara Series A1 Mathematics and Statistics* 68(1):353-361.
- Yokus, A, 2020. Truncation and Convergence Dynamics: KdV Burgers Model in the Sense of Caputo Derivative, *Boletim da Sociedade Paranaense de Matematica*, doi: 10.5269/bspm.47472.
- Yokus A, Yavuz M, 2020. Novel comparison of numerical and analytical methods for fractional Burger-Fisher equation. *Discrete & Continuous Dynamical Systems - S*, doi: 10.3934/dcdss.2020258.
- Zhou JK, 1986. *Differential Transformation and its application for Electrical Circuits*. Huarjung University Press. Wuuhahn. China.

Salkowski Eğrisinin Birim Darboux Vektörünün Sabban Çatısından Elde Edilen Smarandache Eğrileri

Melek UZUN¹, Süleyman ŞENYURT^{2*}

ÖZET: Bu çalışmada ilk olarak Salkowski eğrisine ait birim Darboux vektörünün birim küre yüzeyi üzerinde çizdiği küresel eğrinin Sabban çatısı oluşturuldu. Daha sonra bu çatı konum vektörü olarak alınarak Smarandache eğrileri tanımlandı. Son olarak da her bir Smarandache eğrisinin geodezik eğrilikleri hesaplanarak esas eğrinin Frenet aparatlarına bağlı ifadeleri elde edildi. Maple programı ile çizimleri yapıldı.

Anahtar Kelimeler: Salkowski eğrisi, Darboux vektörü, Smarandache eğrileri, Sabban çatısı

Smarandache Curves According to Sabban Frame Generated by the Spherical Indicatrix Curves of the Unit Darboux Vector of Salkowski Curve

ABSTRACT: In this paper, we investigate special Smarandache curves according to Sabban frame of unit Darboux vector belonging to Salkowski curve. We also created Sabban frame belonging to this curve. We defined Smarandache curves generated by the position vector of the Sabban curves. Finally we calculated geodesic curvatures of these Smarandache curves.

Keywords: Salkowski curve, Darboux vector, Smarandache curves, Sabban frame

¹ Melek UZUN (Orcid ID: 0000-0002-1598-1345), Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu, Türkiye

² Süleyman ŞENYURT (Orcid ID: 0000-0003-1097-5541), Ordu Üniversitesi, Fen- Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Ordu, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Süleyman ŞENYURT, e-mail: ssenyurt@odu.edu.tr

GİRİŞ

Erich Salkowski, (1881-1943) bir Alman matematikçidir. 1909'da "Zur Transformation von Raumkurven" isimli çalışmasında eğriliği sabit, torsiyonu sabit olmayan eğriler ailesini tanımlamıştır (Salkowski, 1909). Literatürde bu tür eğriler Salkowski eğrileri olarak bilinmektedir. 2009'da J. Monterde, Salkowski eğrisinin asli normalinin sabit doğrultu ile sabit açı yaptığını göstermiştir (Monterde, 2009). 2008'de M.Turgut ve S.Yılmaz, Minkowski space- time uzayında Smarandache eğrilerini tanımlamışlar bu tür eğrilerin özelliklerini vermişlerdir (Turgut ve Yılmaz, 2008). Daha sonra Öklid uzayında Smarandache eğrileri tanımlanmış ve yeni açılımlar elde edilmiştir (Ali, 2010; Bektaş ve Yüce, 2013; Şenyurt ve Sivas, 2013; Şenyurt ve Öztürk, 2018). 1990'da J.Koenderink, küresel bir eğrinin Sabban çatısına göre geodezik eğriliği tanımlamış (Koenderink,1990). Daha sonraki yıllarda S. Gür ve S. Şenyurt Salkowski eğrisinin küresel gösterge eğrilerinin Frenet vektörlerini ve geodezik eğriliklerini (Gür ve Şenyurt, 2010), M. Tosun ve K. Taşköprü küresel bir eğrinin Sabban çatısından elde edilen Smarandache eğrilerinin geodezik eğriliklerini (Tosun ve Taşköprü, 2014) hesaplamışlardır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Diferansiyellenebilir herhangi bir α eğrisinin Serre- Frenet vektörleri, eğrilikleri ve Frenet formülleri sırasıyla

$$T = \frac{\alpha'}{\|\alpha'\|}, \quad N = B \wedge T, \quad B = \frac{\alpha' \wedge \alpha''}{\|\alpha' \wedge \alpha''\|},$$

$$\kappa = \frac{\|\alpha' \wedge \alpha''\|}{\|\alpha'\|^3}, \quad \tau = \frac{\det(\alpha', \alpha'', \alpha''')}{\|\alpha' \wedge \alpha''\|^2},$$

$$T' = \kappa N, \quad N' = -\kappa T + \tau B, \quad B' = -\tau N$$

bağıntısıyla verilir. Eğri birim hızlı ise Frenet vektörleri

$$T = \alpha', \quad N = \frac{\alpha''}{\|\alpha''\|}, \quad B = T \wedge N$$

şeklinde olur (Sabuncuoğlu, 2006). Frenet vektörleri parametreye bağlı olarak eğri boyunca bir eksen etrafında döndüğü varsayılır. Bu eksene eğrinin Darboux (ani dönme) eksenini, bu eksenin yön ve doğrultusunu veren vektöre de Darboux vektörü adı verilir ve W ile gösterilir. Bu vektör

$$W = \tau T + \kappa B$$

bağıntısıyla verilir (Fencel, 1951). Bu vektör yönündeki birim vektör C ile gösterilirse

$$C = \frac{\tau}{\sqrt{\kappa^2 + \tau^2}} T + \frac{\kappa}{\sqrt{\kappa^2 + \tau^2}} B$$

olur. B ile W vektörleri arasındaki açı θ ile gösterilirse

$$C = \sin \theta T + \cos \theta B, \quad \cos \theta = \frac{\kappa}{\sqrt{\kappa^2 + \tau^2}}, \quad \sin \theta = \frac{\tau}{\sqrt{\kappa^2 + \tau^2}},$$

şeklinde bulunur (Fencel, 1951).

γ vektörünün birim küre yüzeyi üzerinde çizdiği eğrinin teğet vektörü t , γ ile t nin vektörel çarpımı $d = \gamma \wedge t$ ile gösterilsin. Bu vektörlerin oluşturduğu $\{\gamma, t, d\}$ ortonormal sistemine Sabban çatısı denir (Koenderink, 1990; Taşköprü ve Tosun, 2014). Bu çatıya göre Sabban formülleri,

$$\gamma' = t, \quad t' = -\gamma + \kappa_g d, \quad d' = -\kappa_g t, \quad \kappa_g = \langle t', d \rangle$$

şeklinde verilir. Burada K_g küresel eğrinin geodezik eğriliğidir (Koenderink, 1990).

Tanım 2.1: Herhangi bir $m \neq \pm \frac{1}{\sqrt{3}}$, $m \neq 0$ ve $n = \frac{m}{\sqrt{1+m^2}}$, m bir reel sayı, olmak üzere

$$\gamma_m(t) = \frac{1}{\sqrt{1+m^2}} \left(\begin{array}{l} -\frac{1-n}{4(1+2n)} \sin((1+2n)t) - \frac{1+n}{4(1-2n)} \sin((1-2n)t) - \frac{1}{2} \sin(t), \\ \frac{1-n}{4(1+2n)} \cos((1+2n)t) + \frac{1+n}{4(1-2n)} \cos((1-2n)t) + \frac{1}{2} \cos(t), \frac{1}{4m} \cos(2nt) \end{array} \right)$$

şeklinde tanımlı eğriye Salkowski eğrisi denir. Bu eğrisinin Frenet vektörleri ve eğrilikleri

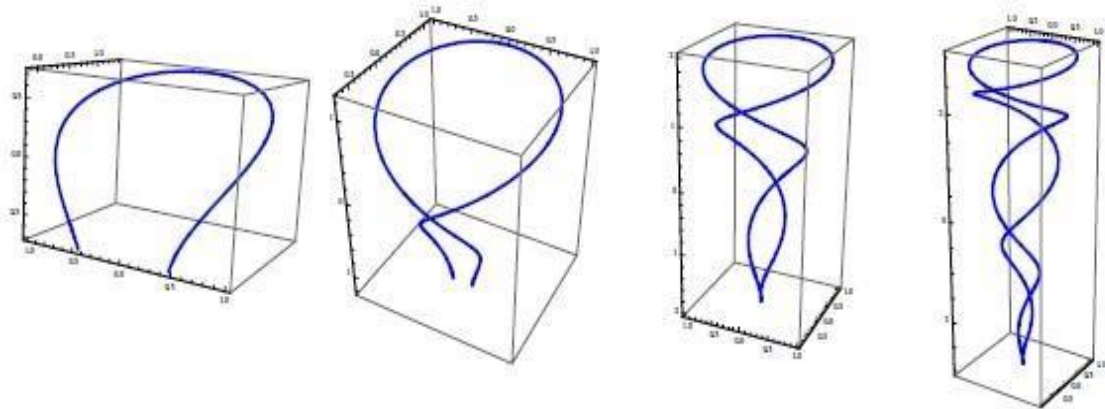
$$T = \left(\cos(t) \cos(nt) + n \sin(t) \sin(nt), \sin(t) \cos(nt) - n \cos(t) \sin(nt), \frac{n}{m} \sin(nt) \right)$$

$$N = n \left(\frac{\sin(t)}{m}, \frac{\cos(t)}{m}, -1 \right)$$

$$B = \left(-\cos(t) \sin(nt) + n \sin(t) \cos(nt), -\sin(t) \sin(nt) - n \cos(t) \cos(nt), \frac{n}{m} \cos(nt) \right),$$

$$\kappa = 1 \text{ ve } \tau = \tan(nt), \quad \|\gamma'_m(t)\| = \frac{\cos(nt)}{\sqrt{1+m^2}}$$

şeklinde verilir (Salkowski, 1909; Monterde, 2008). $m = \frac{1}{3}, \frac{1}{5}, \frac{1}{8}, \frac{1}{16}$ değerleri için Salkowski eğrisine ait grafikler Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Salkowski eğrisi

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada ilk olarak Salkowski eğrisine ait Frenet vektörlerinin, etrafında döndüğü birim Darboux vektörü ifade edildi. Daha sonra bu vektörün birim küre yüzeyi üzerinde çizdiği küresel eğrisinin Sabban çatısı oluşturularak Smarandache eğrileri tanımlandı. Son olarak her bir Smarandache eğrisi Salkowski eğrisinin Frenet aparatları cinsinden ifadesi verilerek geodezik eğrilikleri hesaplandı ve grafikleri çizildi.

Salkowski eğrisinin eğriliği $\kappa = 1$ ve torsiyonu $\tau = \tan(nt)$ olduğundan bu eğrinin birim Darboux vektörü

$$C = \frac{\tau}{\sqrt{\kappa^2 + \tau^2}} T + \frac{\kappa}{\sqrt{\kappa^2 + \tau^2}} B,$$

$$C = \frac{\tan(nt)}{\sqrt{1 + \tan^2(nt)}} T + \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2(nt)}} B,$$

$$C = \sin(nt)T + \cos(nt)B$$

şeklinde bulunur. Burada T ve B vektörü yerlerine yazılır ve gerekli işlemler yapılırsa

$$C = \left(-\sin(2nt)\cos(t) + n\cos(2nt)\sin(t), -\sin(2nt)\sin(t) - n\cos(2nt)\cos(t), \frac{n}{m}\cos(2nt) \right)$$

olur. C vektörün birim küre yüzeyi üzerinde çizdiği küresel eğri $\alpha_C(t) = C$ ile gösterilsin. Türev alınırsa T_C teğet vektörü

$$\frac{d\alpha_C}{ds} \frac{ds}{dt} = n\cos(nt)T + \sin(nt)T' - n\sin(nt)B + \cos(nt)B',$$

$$T_C = \cos(nt)T - \sin(nt)B.$$

T ve B vektörlerinin eşitleri burada yerine yazılırsa T_C teğet vektörü

$$T_C = \left(-\cos(t)\cos(2nt) - n\sin(2nt)\sin(t), -\sin(t)\cos(2nt) + n\sin(2nt)\cos(t), -\frac{n}{m}\sin(2nt) \right)$$

şeklinde bulunur. C ve T_C vektörleri vektörel çarpılırsa $C \wedge T_C = N$ olur. T_C vektörünün türev alınır ve sonra $C \wedge T_C$ ile iç çarpılırsa K_g geodezik eğriliği,

$$T_C' = -\sin(nt)T + \frac{1}{n}\sec(nt)N - \cos(nt)B,$$

$$K_g = \left\langle T_C', C \wedge T_C \right\rangle = \frac{\sec(nt)}{n}$$

olur. Buna göre C vektörünün küre yüzeyi üzerinde çizdiği küresel eğrinin Sabban formülleri

$$C' = T_C, \quad T_C' = -C + \frac{\sec(nt)}{n} C \wedge T_C, \quad (C \wedge T_C)' = -\frac{\sec(nt)}{n} T_C$$

şeklinde elde edilir.

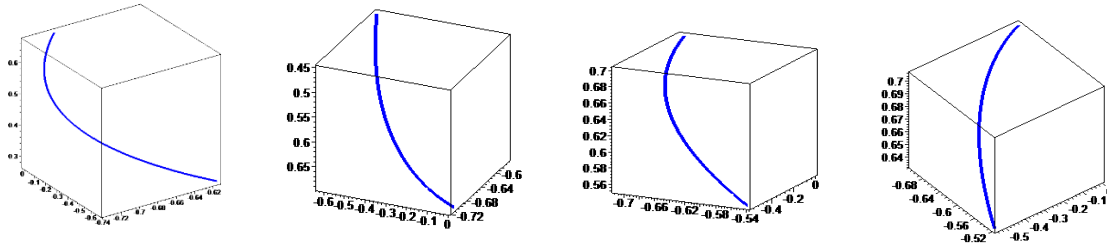
Tanım3.1: Salkowski eğrisine ait birim Darboux vektörünün birim küre yüzeyi üzerinde çizdiği küresel eğrisinin Sabban çatısı $\{C, T_C, C \wedge T_C\}$ olsun.

$$\beta_1(t) = \frac{1}{\sqrt{2}}(C + T_C)$$

şeklinde tanımlı $\beta_1(t)$ vektörünün çizdiği regüler eğriye CT_C Smarandache eğrisi denir. Burada C ve T_C nin yerine değerleri yazılırsa $\beta_1(t)$ eğrisi

$$\beta_1(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\begin{array}{l} n \sin(t)(\cos(2nt) - \sin(2nt)) - \cos(t)(\cos(2nt) + \sin(2nt)), \\ -\sin(t)(\sin(2nt) + \cos(2nt)), \frac{n}{m}(\cos(2nt) - \sin(2nt)) \end{array} \right)$$

şeklinde bulunur (Şekil 2).



Şekil 2. $m = \frac{1}{3}, \frac{1}{5}, \frac{1}{8}, \frac{1}{16}$ değerleri için $\beta_1(t)$ Smarandache eğrisi

Teorem 3.1: $\beta_1(t)$ Smarandache eğrisinin $K_g^{\beta_1}$ geodezik eğriligi

$$K_g^{\beta_1} = \frac{n^5 \sqrt{2}}{\sqrt{(2n^2 + \sec^2(nt))^5}} \left(\frac{\sec^5(nt)}{n^5} + \frac{4\sec^3(nt)}{n^3} + 4\frac{\sec(nt)}{n} + \frac{2n^2 \cos^2(nt) \sin(nt) + \sin(nt)}{n^2 \cos^4(nt)} \right)$$

bağıntısıyla verilir.

İspat: $\beta_1(t)$ eğrisinin türevi alınırsa T_{β_1} teğet vektörü

$$T_{\beta_1} = \frac{-C + T_C + K_g C \wedge T_C}{\sqrt{2 + K_g^2}}$$

olur. T_{β_1} ile C vektörünün vektörel çarpımı $C \wedge T_{\beta_1} = \frac{-K_g T_C + C \wedge T_C}{\sqrt{2 + K_g^2}} \cdot T_{\beta_1}$ in türevi

$$T_{\beta_1}' = \frac{\sqrt{2}}{(2 + K_g^2)^2} \left((K_g K_g' - K_g^2 - 2) C + (-K_g^4 - 3K_g^2 - K_g K_g' - 2) T_C + (K_g^3 + 2K_g + 2K_g') C \wedge T \right)$$

dır. T_{β_1}' , $C \wedge T_{\beta_1}$ ve K_g ifadeleri geodezik eğrilik bağıntısında yerine yazılırsa $K_g^{\beta_1}$ hesaplanmış olur.

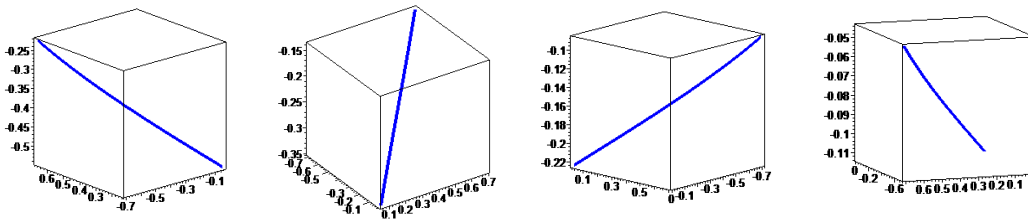
Tanım 3.2: Salkowski eğrisine ait birim Darboux vektörünün birim küre yüzeyi üzerinde çizdiği küresel eğrisinin Sabban çatısı $\{C, T_C, C \wedge T_C\}$ olsun.

$$\beta_2(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} (T_C + C \wedge T_C)$$

şeklinde tanımlı $\beta_2(t)$ vektörünün çizdiği regüler eğriye $T_C C \wedge T_C$ - Smarandache eğrisi denir. Burada T_C ve $C \wedge T_C$ nin yerine değerleri yazılırsa $\beta_2(t)$ eğrisi

$$\beta_2(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} -\cos(t) \cos(2nt) - n \sin(2nt) \sin(t) + \frac{n}{m} \sin(t), \\ -\sin(t) \cos(2nt) + n \sin(2nt) \cos(t) + \frac{n}{m} \cos(t), -n - \frac{n}{m} \sin(2nt) \end{pmatrix}$$

şeklinde bulunur (Şekil 3).



Şekil 3. $m = \frac{1}{3}, \frac{1}{5}, \frac{1}{8}, \frac{1}{16}$ değerleri için $\beta_2(t)$ Smarandache eğrisi

Teorem 3.2: $\beta_2(t)$ Smarandache eğrisinin $K_g^{\beta_2}$ geodezik eğriliği

$$K_g^{\beta_2} = \frac{\sqrt{2} n^5 \left(4 \left(\frac{\sec^5(nt)}{n^5} + \frac{\sec^3(nt)}{n^3} \right) + \frac{2 \sin(nt) + \cos^2(nt)}{\cos^3(nt)} \right)}{(n^2 + 2 \sec^2(nt))^{\frac{5}{2}}}$$

bağıntısıyla verilir.

İspat: $\beta_2(t)$ eğrisinin türevi alınırsa T_{β_2} teğet vektörü

$$T_{\beta_2} = \frac{-C - K_g T_C + K_g (C \wedge T_C)}{\sqrt{1 + 2K_g^2}}$$

olur. T_{β_2} ile C vektörü vektörel çarpılırsa $C \wedge T_{\beta_2} = \frac{-K_g T_C - K_g (C \wedge T_C)}{\sqrt{1 + 2K_g^2}}$ bulunur. T_{β_2} nin türevi

$$T_{\beta_2}' = \frac{\sqrt{2}(2K_g^3 + 2K_g K_g' + K_g)C + \sqrt{2}(-2K_g^4 - 3K_g^2 - K_g' - 1)T_C + \sqrt{2}(-2K_g^4 - K_g^2 + K_g')(C \wedge T_C)}{(\sqrt{1 + 2K_g^2})^2}$$

dır. T_{β_2}' , $C \wedge T_{\beta_2}$ ve K_g ifadeleri geodezik eğrilik bağıntısında yerine yazılırsa $K_g^{\beta_2}$ hesaplanmış olur.

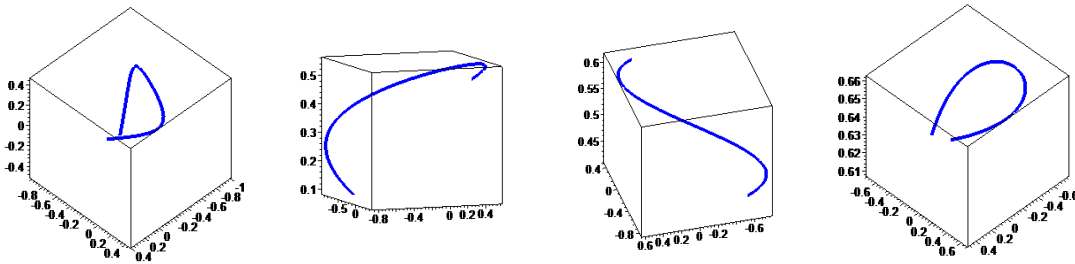
Tanım 3.3: Salkowski eğrisine ait birim Darboux vektörünün birim küre yüzeyi üzerinde çizdiği küresel eğrisinin Sabban çatısı $\{C, T_C, C \wedge T_C\}$ olsun.

$$\beta_3(t) = \frac{1}{\sqrt{2}}(C + C \wedge T_C)$$

şeklinde tanımlı β_3 vektörünün çizdiği regüler eğriye $CC \wedge T_C$ - Smarandache eğrisi denir. Burada C ve $C \wedge T_C$ nin yerine değerleri yazılırsa β_3 eğrisi

$$\beta_3(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(-\sin(2nt)\cos(t) + n\cos(2nt)\sin(t) + \frac{n}{m}\sin(t), -\sin(2nt)\sin(t) - n\cos(2nt)\cos(t) + \frac{n}{m}\cos(t), \frac{n}{m}\cos(2nt) - n \right)$$

şeklinde bulunur (Şekil 4).



Şekil 4. $m = \frac{1}{3}, \frac{1}{5}, \frac{1}{8}, \frac{1}{16}$ değerleri için $\beta_3(t)$ Smarandache eğrisi

Teorem 3.3: $\beta_3(t)$ Smarandache eğrisinin $K_g^{\beta_3}$ geodezik eğriliği

$$K_g^{\beta_3} = \frac{\sqrt{2} \sec(nt)}{n - \sec(nt)}$$

bağıntısıyla verilir.

İspat: $\beta_3(t) = \frac{1}{\sqrt{2}}(C + C \wedge T_C)$ ifadesini türevi alınırsa T_{β_3} teğet vektörü

$T_{\beta_3} = T_C$ olur. Bu ifade C ile vektörel çarpılırsa $C \wedge T_{\beta_3} = C \wedge T_C$. T_{β_3} ün türevi alınırsa

$$T_{\beta_3}' = -\frac{\sqrt{2}C + \sqrt{2}K_g(C \wedge T_C)}{1 - K_g}$$

Olur. T_{β_3}' , $C \wedge T_{\beta_3}$ ve K_g ifadeleri geodezik eğrilik bağıntısında yerine yazılırsa $K_g^{\beta_3}$ elde edilir.

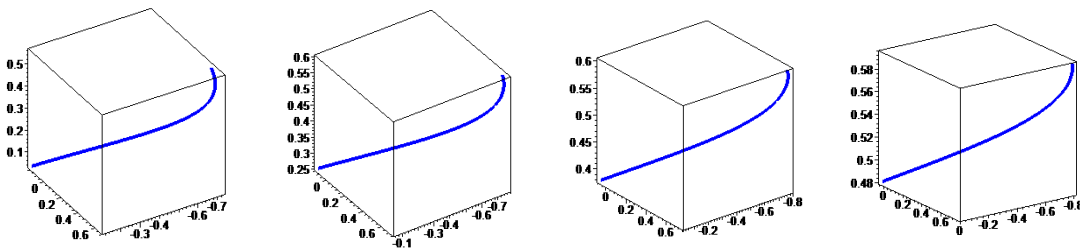
Tanım 3.4: Salkowski eğrisine ait birim Darboux vektörünün birim küre yüzeyi üzerinde çizdiği küresel eğrisinin Sabban çatısı $\{C, T_C, C \wedge T_C\}$ olsun.

$$\beta_4(t) = \frac{1}{\sqrt{3}}(C + T_C + C \wedge T_C)$$

şeklinde tanımlı β_4 vektörünün çizdiği regüler eğriye $CT_C C \wedge T_C$ Smarandache eğrisi denir. Burada C, T_C ve $C \wedge T_C$ vektörlerinin yerine değerleri yazılırsa β_4 eğrisi

$$\beta_4(t) = \frac{1}{\sqrt{3}} \left(\begin{array}{l} n \sin(t)(\cos(2nt) - \sin(2nt)) - \cos(t)(\cos(2nt) + \sin(2nt)) + \frac{n}{m} \sin(t), \\ -\sin(t)(\sin(2nt) + \cos(2nt)) + \frac{n}{m} \cos(t), n \left(\frac{\cos(2nt)}{m} - \frac{\sin(2nt)}{m} - 1 \right) \end{array} \right)$$

şeklinde bulunur (Şekil 5).



Şekil 5. $m = \frac{1}{3}, \frac{1}{5}, \frac{1}{8}, \frac{1}{16}$ değerleri için $\beta_4(t)$ Smarandache eğrisi

Teorem 3.4: $\beta_4(t)$ Smarandache eğrisinin $K_g^{\beta_4}$ geodezik eğriliği

$$K_g^{\beta_4} = \frac{\sqrt{3}n^5 \left(\begin{array}{l} 4 \frac{\sec^5(nt)}{n^5} - 8 \frac{\sec^4(nt)}{n^4} + 12 \frac{\sec^3(nt)}{n^3} - 8 \frac{\sec^2(nt)}{n^2} + 4 \frac{\sec(nt)}{n} + 2 \sec^3(nt) \tan(nt) \\ -2 \sec^2(nt) \tan(nt) + 2 \sec(nt) \tan(nt) \end{array} \right)}{4\sqrt{2} \left(n^2 - \sec(nt)n + \sec^2(nt) \right)^{\frac{5}{2}}}$$

İspat: $\beta_4(t)$ eğrisinin türevi alınırsa T_{β_4} teğet vektörü

$$T_{\beta_4} = \frac{1}{\sqrt{2}\sqrt{1-K_g+K_g^2}} \left(-C + (1-K_g)T_C + K_g(C \wedge T_C) \right)$$

olur. Bu ifade C ile vektörel çarpılırsa $C \wedge T_{\beta_4} = \frac{-K_g T_C + (1-K_g)C \wedge T_C}{\sqrt{2}\sqrt{1-K_g+K_g^2}}$

bulunur. T_{β_4} ün türevi alınırsa

$$T_{\beta_4}' = \frac{\sqrt{3} \left(\begin{aligned} & \left(2K_g^3 - 4K_g^2 + 2K_g K_g' - K_g' + 4K_g - 2 \right) C + \left(-2K_g^4 + 2K_g^3 - 4K_g^2 - K_g K_g' - K_g' + 2K_g - 2 \right) T_C \\ & + \left(-2K_g^4 + 4K_g^3 - 4K_g^2 - K_g K_g' + 2K_g' + 2K_g \right) C \wedge T_C \end{aligned} \right)}{4(1-K_g+K_g^2)}$$

olur. T_{β_4}' , $C \wedge T_{\beta_4}$ ve K_g ifadeleri yerlerine yazılırsa $K_g^{\beta_4}$ elde edilir.

SONUÇ

Bu çalışmada ilk olarak Salkowski eğrisine ait Frenet vektörlerinin, etrafında döndüğü birim Darboux vektörü ifade edildi. Daha sonra bu vektörün birim küre yüzeyi üzerinde çizdiği küresel eğrisinin Sabban çatısı oluşturularak Smarandache eğrileri tanımlandı. Son olarak da her bir Smarandache eğrisini Salkowski eğrisinin Frenet aparatları cinsinde ifadesi verilerik geodezik eğrilikleri hesaplandı ve Maple programı ile her bir eğrinin grafikleri çizildi.

KAYNAKLAR

- Ali A.T, 2010. Special Smarandache Curves in the Euclidean Space. International Journal of Mathematical Combinatorics, 2: 30-36.
- Bektaş Ö, Yüce S, 2013. Special Smarandache Curves According to Darboux Frame in E3. Romanian Journal of Mathematics and Computer Science, 3(1): 48-59.
- Fenchel W, 1951. On the differential geometry of closed space curves. Bull Amer Math Soc, 57: 44-54.
- Gür S, Şenyurt S, 2010. Frenet Vectors and Geodesic Curvatures of Spheric Indicators of Salkowski Curve in E3. Hadronic Journal, 33(5): 485.
- Monterde J, 2009. Salkowski curves revisited: A family of curves with constant curvature and non- constant torsion. Computer Aided Geometric Design, 26: 271-278.
- Sabuncuoğlu S, 2006. Diferensiyel Geometri. NobelYayıncıları, No:258, s.60-78, Ankara – Türkiye Salkowski E.L, 1909. Zur Transformation von Raumkurven. Mathematisch Annalen, 4(66): 517-557.
- Şenyurt S, Sivas S, 2013. Smarandache eğrilerine ait bir uygulama. Ordu University Journal of Science ve Technology, 3(1): 46-60.
- Şenyurt S, Öztürk B, 2018. Smarandache Curves of Salkowski Curve According to Frenet Frame. Turkish Journal of Mathematics and Computer Science, 10: 190-201.
- Taşköprü K, Tosun M, 2014. Smarandache curves according to Sabban frame on S2. Boletim da Sociedade Paranaense de Matematica, 32(1): 51-59.
- Turgut M, Yılmaz S, 2008. Smarandache Curves in Minkowski Space-Time. International J.Math. Combin., 3(2008): 51-55.

Ortak Bertrand-B İsogeodezik Eğriye Sahip Yüzey Aileleri

Kebire Hilal AYWACI¹, Gülnur ŞAFFAK ATALAY^{2*}

ÖZET: Bu çalışmada 3-boyutlu Öklid uzayında parametrik denklemi ile verilen yüzey üzerinde eğriliği sıfırdan farklı olan bir eğrinin Bertrand B-çiftinin bu yüzey üzerinde isogeodezik olması için gerekli ve yeterli şartlar elde edilerek, ortak Bertrand-B isogeodezik eğri yüzey aileleri problemi ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bertrand-B eğri, Bishop-2 çatısı, isogeodezik eğri, parametrik yüzey.

Surface Family With A Common Bertrand-B Isogeodesic Curve

ABSTRACT: In this paper, we construct a surface family possessing a Bertrand B pair of a given curve as an geodesic curve. Using the Bishop-2 frame frame of the given Bertrand B curves, we present the surface as a linear combination of this frame and analyse the necessary and sufficient condition for a given curve such that its Bertrand B pairs is both parametric and geodesic on a parametric surface. Finally, we present some interesting examples to show the validity of this study.

Keywords: Bertrand B-curves, Bishop-2 Frame, isogeodesic curve, parametric surface.

¹ Kebire Hilal AYWACI (Orcid ID: 0000-0002-5114-5475), Şehit Metehan Atmaca Anadolu Lisesi, Milli Eğitim Bakanlığı, Suluova-Amasya, Türkiye

² Gülnur ŞAFFAK ATALAY (Orcid ID: 0000-0003-4168-1642), Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik Eğitimi Bölümü, Samsun, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Gülnur ŞAFFAK ATALAY, e-mail: gulnur.saffak@omu.edu.tr

Makale 31 Ağustos-3 Eylül 2019 tarihlerinde Samsun'da düzenlenen "32. Ulusal Matematik Sempozyumu'nda" sözlü sunum olarak sunulmuştur.

Geliş tarihi / Received: 01-03-2020

Kabul tarihi / Accepted: 12-05-2020

GİRİŞ

Bağlantılı eğriler karşılıklı noktalarında bir eğrinin Frenet vektörlerinden biri ile diğer eğrinin Frenet vektörlerinden birinin denk olduğu eğrilerdir. Böyle eğrilerin iyi bilinen iki örneği evolüt-involüt eğriler ve Bertrand eğrileridir. 1668 yılında C. Huygens daha kusursuz bir saat yapmaya çalışırken involütleri keşfetmiştir. $\forall s \in I$ için α ve $\tilde{\alpha}$ eğrilerinin karşılıklı noktalarındaki teğetleri ortogonal ise $(\alpha, \tilde{\alpha})$ ikilisine ise evolüt-involüt çifti denir (Millman ve Parker, 1977). Diferansiyel geometride önemli bir yeri olan diğer eğri 1850 yılında J.Bertrand tarafından bulunan Bertrand eğrilerdir. Bertrand eğrisinin her noktasındaki asli normal vektörü Bertrand çifti denilen diğer bir eğrinin asli normal vektörüdür. Yerlikaya ve Aydemir (2016) ,Öklid uzayında Bertrand-B eğri çiftini ise ilk tanımlayarak Bertrand-B eğrilerinin özelliklerini ve bazı karakterizasyonlarını elde etmişlerdir.

Geodezik eğrili yüzey ailesinin bulunma problemi ilk kez 2003 yılında ortaya konulmuş ve Wang ve ark. (2004) tarafından ortak geodezik eğriye sahip yüzey ailelerinin parametrik temsili incelenmiştir. Kasap ve ark. (2008) ortak geodezik eğriye sahip yüzey aileleri ile ilgili genellemelere yer vermiştir. Bayram ve Kasap (2014) ortak geodezik eğriye sahip hiperyüzeyleri incelemiştir. Ergün ve Bayram (2016) tabii liftin geodezik olması için gerekli ve yeterli koşulları vermiştir. Son zamanlarda ise Atalay (2018), E^3 üç boyutlu Öklid uzayında ortak Mannheim isogeodezik ve isoasimptotik eğriye sahip yüzey ailelerinin bulunması problemini ve Ayvacı (2019) ortak Mannheim B-isogeodezik ve isoasimptotik eğriye sahip yüzey ailelerinin bulunması problemini incelemiştir ve konuyu regle yüzeylere de taşımıştır. Özel olarak bu regle yüzey içerisinde açılabilir olması için gerekli ve yeterli şartları vermiştir.

L. Bishop 1975 yılında alternatif paralel çatı olarak adlandırdığımız Bishop çatısını tanımlamıştır. Bishop' un çalışmasına göre bu çatının kurulabilmesi için eğrinin C^2 sınıfından olması yeterlidir (Bishop, 1975). Bu ise eğrinin Frenet çatısının kurulamadığı noktalar da dahil olmak üzere eğri boyunca Bishop çatısının kurulabileceğini göstermektedir. 2010 yılında ise Yılmaz ve Turgut Serret-Frenet çatısı ile bağlantılı olan B binormal vektör alanını kullanarak Bishop-2 çatısını tanımlamıştır.

Bu çalışmada, 3-boyutlu Öklid uzayında parametrik denklemi ile verilen yüzey üzerinde eğriliği sıfırdan farklı olan bir eğrinin Bertrand-B çiftinin bu yüzey üzerinde isogeodezik olması için gerekli ve yeterli şartlar elde edilerek, ortak Bertrand-B isogeodezik eğriye sahip yüzey aileleri problemi ele alınmıştır ve çalışmayı destekleyen çeşitli örnekler verilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu kısımda ilk olarak çalışma ile ilgili temel tanım ve teoremlere yer verilecektir.

Tanım 1: $\alpha: I \subseteq \mathbb{R} \rightarrow E^3$ birim hızlı bir eğri ve $K > 0$ olsun. α eğrisinin her noktasında T, N, B vektör alanları ikişer ikişer birbirine diktir ve α eğrisinin *Frenet çatı alanları* olarak adlandırılır (O'Neill, 1966).

Tanım 2: $\alpha: I \subseteq \mathbb{R} \rightarrow E^3$ birim hızlı bir eğri ve $\forall s \in I$ için $\alpha''(s) \neq 0$ olsun. $\forall s \in I$ için $B'(s) = -\tau(s)N(s)$ olarak tanımlı τ reel değerli fonksiyonuna α eğrisinin *burulma fonksiyonu*, herhangi bir $s \in I$ için $\tau(s)$ değerine de α eğrisinin $\alpha(s)$ noktasındaki *burulması* denir (O'Neill, 1966).

Tanım 3: $\alpha: I \subseteq \mathbb{R} \rightarrow E^3$ birim hızlı bir eğri ve $K > 0$ ise Frenet formülleri

$$\begin{bmatrix} T' \\ N' \\ B' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & K & 0 \\ -K & 0 & \tau \\ 0 & \tau & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T \\ N \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

şeklindedir (O'Neill, 1966).

Tanım 4: $M \subseteq E^3$ bir yüzey ve α bu yüzey üzerinde bir eğri olsun. α'' vektörü $\forall p \in M$ noktası için M ye dik ise α ya M üzerinde bir *geodezik eğri* denir (O'Neill, 1966).

Tanım 5: $\alpha: I \subseteq \mathbb{R} \rightarrow E^3$ birim hızlı bir eğri ve α eğrisi boyunca Gram-Schmidt yöntemi ile ortonormalleştirilmiş iki paralel normal vektör alanı N_1 ve N_2 olsun. Bu durumda $\{T, N_1, N_2\}$ çatısına α eğrisinin *Bishop çatısı* denir. Bu çatı için türev formülleri,

$$\begin{bmatrix} T' \\ N_1' \\ N_2' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & k_1 & k_2 \\ -k_1 & 0 & 0 \\ -k_2 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T \\ N_1 \\ N_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

şeklindedir. Burada k_1 ve k_2 , α eğrisinin *Bishop eğrilikleri* olarak adlandırılır ve

$$K(s) = \sqrt{k_1^2(s) + k_2^2(s)}, \quad \angle(N_1, N) = \gamma \text{ olmak üzere}$$

$$\begin{cases} \theta(s) = \arctan \frac{k_2}{k_1}, \\ \tau(s) = -\frac{d\gamma(s)}{ds}, \\ k_1(s) = K \cos \gamma(s), \\ k_2(s) = K \sin \gamma(s) \end{cases}$$

dır (Bishop, 1975).

Tanım 6: Birim hızlı bir α eğrisinin Frenet ve Bishop elemanları $\{T, N, B, K, \tau\}$ ve $\{T, N_1, N_2, k_1, k_2\}$ olsun. Frenet ve Bishop çatısı arasındaki ilişki

$$\begin{cases} T = \alpha', \\ N = \cos \theta N_1 + \sin \theta N_2, \\ B = -\sin \theta N_1 + \cos \theta N_2 \end{cases} \quad (3)$$

şeklindedir (Bishop, 1975).

Tanım 7: α , 3-boyutlu Öklid uzayında verilen birim hızlı bir eğri olsun. α eğrisinin Bishop-2 çatısı $\{\xi_1, \xi_2, B\}$ olmak üzere türev formülleri

$$\begin{bmatrix} \xi_1' \\ \xi_2' \\ B' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\epsilon_1 \\ 0 & 0 & -\epsilon_2 \\ \epsilon_1 & \epsilon_2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \\ B \end{bmatrix} \quad (4)$$

şeklinde tanımlıdır. Burada ϵ_1, ϵ_2 Bishop-2 eğrilikleri olarak adlandırılır (Yılmaz ve Turgut, 2010).

Tanım 8: $\alpha: I \subseteq \mathbb{R} \rightarrow E^3$ birim hızlı bir eğri ve α eğrisinin Frenet çatısı $\{T, N, B\}$, Bishop-2 çatısı $\{\xi_1, \xi_2, B\}$ olmak üzere α eğrisinin Frenet ve Bishop-2 çatısı arasındaki ilişki

$$\begin{bmatrix} T \\ N \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \theta(s) & -\cos \theta(s) & 0 \\ \cos \theta(s) & \sin \theta(s) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \\ B \end{bmatrix} \quad (5)$$

şeklindedir. Burada

$$K = \theta'(s), \quad \tau = \sqrt{\epsilon_1^2(s) + \epsilon_2^2(s)} \quad (6)$$

olmak üzere,

$$\theta(s) = \arctan\left(\frac{\epsilon_2(s)}{\epsilon_1(s)}\right),$$

$$\begin{cases} \epsilon_1(s) = -\tau(s) \cos \theta(s), \\ \epsilon_2(s) = -\tau(s) \sin \theta(s) \end{cases}$$

şeklindedir (Yılmaz ve Turgut, 2010).

Tanım 9: $\varphi: D \subseteq E^2 \rightarrow E^3$

$$(u, v) \rightarrow \varphi(u, v)$$

ile tanımlanan $\varphi(D) \subseteq E^3$ yüzeyi verilsin. Yüzey üzerinde

$$v = v_0 = \text{sabit için } \varphi(u, v_0) = \alpha(u),$$

$$u = u_0 = \text{sabit için } \varphi(u_0, v) = \beta(v)$$

eğrilerine sırasıyla u -parametre eğrisi ve v -parametre eğrisi denir (O'Neill, 1966). E^3 de $\varphi = \varphi(u, v)$ yüzeyi üzerinde isoparametrik bir eğri sabit u veya v parametre değerlerine sahip olan eğrilerdir. Diğer bir deyişle u_0 veya v_0 öyle parametrelerdir ki $\varphi(u_0, v) = \beta(v)$ veya $\varphi(u, v_0) = \alpha(u)$ dır.

E^3 de $\varphi = \varphi(u, v)$ yüzeyi üzerinde $\alpha(u)$ eğrisinin *isogeodezik* olması demek hem geodezik hem de parametrik eğri olması demektir (Kasap ve ark., 2008).

Tanım 10: α ve α^* birim hızlı eğriler olmak üzere α ve α^* eğrilerinin yay uzunluğu parametreleri sırasıyla s ve s^* , Bishop-2 çatısı $\{\xi_1, \xi_2, B\}$ ve $\{\xi_1^*, \xi_2^*, B^*\}$ olsun. Eğer α ve α^* eğrilerinin B Bishop-2 vektörü ile B^* Bishop-2 vektörü lineer bağımlıysa α^* eğrisine, α eğrisinin *Bertrand-B çifti*;

(α, α^*) eğri çiftine ise *Bertrand-B çifti* denir.

Buradan hareketle (α, α^*) *Bertrand -B çifti* arasında

$$\alpha^*(s^*) = \alpha(s) + \lambda(s)B(s) \quad (7)$$

bağıntısı yazılır (Yerlikaya ve Aydemir, 2016).

Tanım 11: α eğrisinin Bishop-2 çatısı $\{\xi_1, \xi_2, B\}$, α^* eğrisinin Bishop-2 çatısı $\{\xi_1^*, \xi_2^*, B^*\}$ olmak üzere bu çatılar arasındaki ilişki

$$\begin{cases} \xi_1^* = \cos \mu \xi_1 + \sin \mu \xi_2, \\ \xi_2^* = -\sin \mu \xi_1 + \cos \mu \xi_2 \end{cases} \quad (8)$$

şeklindedir. Burada μ, α ve α^* in karşılıklı noktalarında ξ_1 ve ξ_1^* arasındaki açıdır (Yerlikaya ve Aydemir, 2016).

BULGULAR VE TARTIŞMA

$\alpha = \alpha(s)$, $\varphi(s, v)$ yüzeyi üzerinde $\{\xi_1, \xi_2, B\}$ Bishop-2 çatısı ile verilen birim hızlı bir eğri olsun. $\|\alpha''(s)\| \neq 0$ olarak alalım. α nın Bertrand-B eğri çifti olan α^* eğrisinin $\varphi(s, v)$ yüzeyi üzerinde isogeodezik olma şartları incelenecektir.

α^* eğrisinin Bishop-2 çatısı $\{\xi_1^*, \xi_2^*, B^*\}$ olmak üzere $\varphi(s, v)$ yüzeyi,

$$\varphi(s, v) = \alpha^*(s) + [x(s, v)\xi_1^* + y(s, v)\xi_2^* + z(s, v)B^*] \quad (9)$$

şeklinde yazılır.

α^* , α nın Bertrand B-eğri çifti olduğundan

$$\alpha^*(s^*) = \alpha(s) + \lambda(s)B(s) \quad (10)$$

olup burada λ sıfırdan farklı bir sabittir.

Eşitlik 7. , Eşitlik 8. ve Eşitlik 10. kullanıldığında, (9) denklemi

$$\begin{aligned} \varphi(s, v) = & \alpha(s) + (\lambda + z(s, v))B(s) + (x(s, v) \cos \mu(s) - y(s, v) \sin \mu(s)) \xi_1(s) \\ & + (x(s, v) \sin \mu(s) + y(s, v) \cos \mu(s)) \xi_2(s) \end{aligned} \quad (11)$$

şeklinde elde edilir. Buradan Eşitlik 5. ve Frenet ve Bishop çatısı arasındaki ilişki kullanıldığında,

$$\begin{aligned} \varphi(s, v) = & \alpha(s) + (x(s, v) \sin(\theta - \mu)(s) - y(s, v) \cos(\theta - \mu)(s))T(s) \\ & + (x(s, v) \cos(\theta - \mu)(s) + y(s, v) \sin(\theta - \mu)(s))N(s) + (\lambda + z(s, v))B(s) \end{aligned} \quad (12)$$

elde edilir.

Şimdi α nın Bertrand B-eğri çifti olan α^* eğrisinin $\varphi(s, v)$ yüzeyi üzerinde isogeodezik olma şartlarını inceleyelim:

İlk olarak bu Bertrand-B eğri çiftinin parametrik olması gerektiğinden $v = v_0$ için $v_0 \in [K_1, K_2]$;

$$x(s, v_0) = y(s, v_0) \equiv 0, \quad z(s, v_0) = -\lambda, \quad L_1 \leq s \leq L_2, \quad (13)$$

olmalıdır. İkinci olarak α eğrisinin Bertrand-B çiftinin $\varphi(s, v)$ yüzeyi üzerinde geodezik olması için $v_0 \in [K_1, K_2]$ olmak üzere, $n(s, v_0) // N(s)$ olmalıdır. Burada n , $\varphi = \varphi(s, v)$ yüzeyinin normali ve N , $\alpha(s)$ eğrisinin asli normalidir. $\varphi = \varphi(s, v)$ yüzeyinin normal vektörü

$$n(s, v) = \frac{\partial \varphi(s, v)}{\partial s} \times \frac{\partial \varphi(s, v)}{\partial v} \quad (14)$$

ile tanımlı olup Eşitlik 6. ve Eşitlik 12. kullanılarak $v = v_0$ için α^* eğrisi boyunca normal vektörü

$$n(s, v_0) = \Phi_1(s, v_0)T(s) + \Phi_2(s, v_0)N(s) + \Phi_3(s, v_0)B(s) \quad (15)$$

elde edilir. Burada

$$\left\{ \begin{aligned} \Phi_1(s, v_0) &= -\lambda \tau \frac{\partial z(s, v_0)}{\partial v}, \\ \Phi_2(s, v_0) &= -\frac{\partial z(s, v_0)}{\partial v}, \\ \Phi_3(s, v_0) &= \frac{\partial x(s, v_0)}{\partial v} \cos(\theta - \mu)(s) + \frac{\partial y(s, v_0)}{\partial v} \sin(\theta - \mu)(s) \\ &+ \lambda \tau \frac{\partial x(s, v_0)}{\partial v} \sin(\theta - \mu)(s) - \lambda \tau \frac{\partial y(s, v_0)}{\partial v} \cos(\theta - \mu)(s) \end{aligned} \right. \quad (16)$$

olup geodeziklik şartından

$$\tau = 0, \quad \frac{\partial z(s, v_0)}{\partial v} \neq 0$$

ve

$$\frac{\partial x(s, v_0)}{\partial v} \cos(\theta - \mu)(s) + \frac{\partial y(s, v_0)}{\partial v} \sin(\theta - \mu)(s) = 0$$

elde edilir. Buradan $\beta(s) \neq 0$ olmak üzere,

$$\begin{cases} x(s, v) = (v - v_0)\beta(s) \sin(\theta - \mu)(s), \\ y(s, v) = -(v - v_0)\beta(s) \cos(\theta - \mu)(s) \end{cases} \quad (17)$$

elde edilir.

Böylece aşağıdaki teoremi ifade edebiliriz:

Teorem : $\alpha = \alpha(s)$, $L_1 \leq s \leq L_2$ aralığında eğriliği sıfırdan farklı bir eğri ve $\alpha^*(s)$, $L_1 \leq s \leq L_2$ aralığında α nın Bertrand-B çifti olsun. α^* eğrisi yüzey üzerinde isogeodeziktir ancak ve ancak

$$\begin{cases} x(s, v_0) = y(s, v_0) \equiv 0, & z(s, v_0) = -\lambda, & \lambda \neq 0, \\ x(s, v_0) = (v - v_0)\beta(s) \sin(\theta - \mu)(s), \\ y(s, v) = -(v - v_0)\beta(s) \cos(\theta - \mu)(s), & \beta(s) \neq 0, \\ \tau = 0, & \frac{\partial z(s, v_0)}{\partial v} \neq 0 \end{cases} \quad (18)$$

dır. Burada $K_1 \leq v$, $v_0 \leq K_2$ ($v_0 = \text{sabit}$) olup θ , α eğrisinin T ve ξ_1 vektörü arasındaki açıdır. μ ise α eğrisinin ξ_1 ve ξ_2 vektörleri arasındaki açıdır.

Eşitlik 13. ve Eşitlik 17. durumları birleştirildiğinde φ yüzeyi üzerinde α eğrisinin Bertrand-B eğri çiftinin isogeodezik olması için gerekli ve yeterli şartlar elde edilmiş olur. Burada $x(s, v)$, $y(s, v)$, $z(s, v)$ sapma fonksiyonlarını şartları sağlayacak şekilde her farklı seçilişinde aynı Bertrand-B isogeodezik eğrisine sahip yüzey ailesinin bir üyesi elde edilir.

Örnek 1: $\alpha(s) = (\cos s, \sin s, 0)$ birim hızlı eğrisini alalım. $\tau(s) = 0$, $K(s) = 1$ dir. Ayrıca Eşitlik 6. dan c sabit olmak üzere,

$$K(s) = \frac{d\theta}{ds} = 1 \quad \text{olup buradan} \quad \theta(s) = s + c$$

elde edilir.

$\alpha = \alpha(s)$ eğrisinin Frenet çatısı

$$\begin{cases} T(s) = (-\sin s, \cos s, 0), \\ N(s) = (-\cos s, -\sin s, 0), \\ B(s) = (0, 0, 1) \end{cases}$$

şeklindedir.

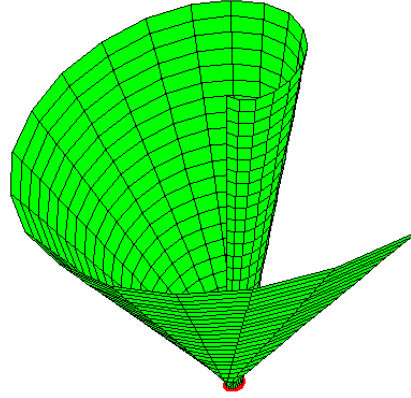
a) Eğer sapma fonksiyonları

$x(s, v) = 0$, $y(s, v) = 0$, $z(s, v) = -\lambda + v$ ve $v_0 = 0$, $\beta(s) = 1$, $\mu = 1$ olarak seçilirse isogeodeziklik şartı sağlanmış olur.

Dolayısıyla ortak Bertrand-B isogeodezikli yüzey ailesinin bir üyesi

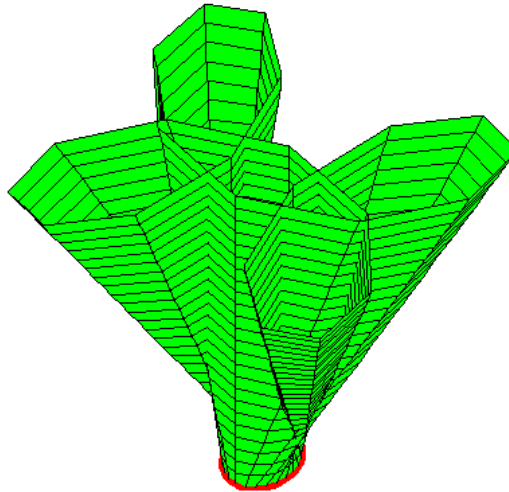
$$\varphi_1(s, v) = (\cos s - v \sin s, \sin s + v \cos s, v)$$

olup bu yüzeyin grafiği $0 \leq s \leq 2\pi$ ve $0 \leq v \leq 2\pi$ alınarak Şekil 1. ile verilir.



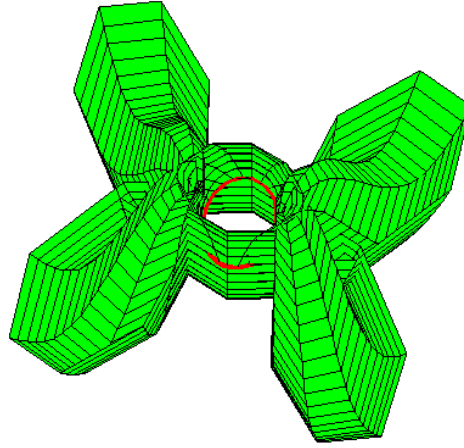
Şekil 1. Ortak Bertrand B-isojeodezikli yüzey ailesinin bir üyesi.

b) Eğer sapma fonksiyonları $x(s, v) = v \sin(2s) \sin s$, $y(s, v) = -v \sin(2s) \cos s$,
 $z(s, v) = -\lambda + v$ ve $v_0 = 0$, $\beta(s) = \sin(2s)$, $\mu = 0$ olarak seçilirse isogeodeziklik şartı sağlanmış olur. Dolayısıyla ortak Bertrand-B isogeodezikli yüzey ailesinin bir başka üyesi
 $\varphi_2(s, v) = (\cos s - v \sin s \sin(2s), \sin s + v \cos s \sin(2s), v)$
şeklinde elde edilir. $0 \leq s \leq 2\pi$ ve $0 \leq v \leq 2\pi$ için bu yüzeyin grafiği de Şekil 2. deki gibidir.



Şekil 2. Ortak Bertrand B- isogeodezikli yüzey ailesinin bir üyesi.

c) Eğer sapma fonksiyonları $x(s, v) = v \sin(2s) \sin s$, $y(s, v) = -v \sin(2s) \cos s$,
 $z(s, v) = -\lambda + \sin v$ ve $v_0 = 0$, $\beta(s) = \sin(2s)$, $\mu = 0$ olarak seçilirse isogeodeziklik şartı sağlanmış olur. Dolayısıyla ortak Bertrand-B isogeodezikli yüzey ailesinin bir başka üyesi
 $\varphi_3(s, v) = (\cos s - v \sin s \sin(2s), \sin s + v \cos s \sin(2s), \sin v)$
şeklinde olup $0 \leq s \leq 2\pi$ ve $0 \leq v \leq 2\pi$ için bu yüzeyin grafiği Şekil 3. ile verilmiştir.



Şekil 3. Ortak Bertrand B- isogeodezikli yüzey ailesinin bir üyesi.

SONUÇ

3-boyutlu Öklid uzayında parametrik denklemi ile verilen yüzey üzerinde eğriliği sıfırdan farklı olan bir eğrinin Bertrand-B çiftinin bu yüzey üzerinde isogeodezik olması için gerekli ve yeterli şartlar elde edilerek ortak Bertrand-B isogeodezik eğrili yüzey aileleri problemi elde edildi. 3 boyutlu Öklid uzayında herhangi bir yüzey için elde edilen bu şartlar yüzeyin regle yüzey olması durumu da araştırılarak bu regle yüzey içerisinde açılabilir olanları da ayrıca incelenen çalışmalarımız arasındadır. Ayrıca bu çalışmada elde edilen sonuçların karşılıkları 3-boyutlu Minkowski uzayında ya da yüksek boyutlu çeşitli uzaylarda araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Atalay GŞ, Kasap E, 2016. Surfaces family with common Smarandache geodesic curve according to Bishop frame in Euclidean space, Mathematical Science and Applications E-Notes., 4 , 1.
- Atalay GŞ, E. Kasap, 2017. Surfaces family with common Smarandache geodesic curve, Journal of Science and Arts (JOSA), 4, 41.
- Atalay GŞ, 2018. Surfaces family with a common Mannheim geodesic curve. Journal of Applied Mathematics and Computation, 2(4),155-165.
- Atalay GŞ, 2018. Surfaces family with a common Mannheim asymptotic curve. Journal of Applied Mathematics and Computation, 2(4),145-154.
- Ayvacı KH, 2019. Ortak Mannheim-B İsogeodezikli ve İsoasimptotikli Yüzey Ailesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Bayram E, Kasap E, 2014. Hypersurface family with a common isogeodesic, Studies and Research Series Mathematics and Informatics, 24, 2, 12.
- Bertrand J, 1850. Mémoire sur la théorie des courbes à double courbure, Comptes Rendus 36, Journal de Mathématiques Pures et Appliquées 15, 332–350.
- Bishop RL, 1975. There is more than one way to Frame a curve. The American Mathematical Monthly, 82(3), 246.
- Ergün E, Bayram E, 2016. Surface family with a common natural geodesic lift, Int. J. Math. Combin., 1, 2.
- Kasap E, Akyildiz FT, Orbay K, 2008. A generalization of surfaces family with common spatial geodesic, Applied Mathematics and Computation, 201, 781-789.
- Millman RS, George DP, 1977. Elements of Differential Geometry, Prentice-Hall.
- O'Neill B, 1966. Elementary Differential Geometry, Academic Press Inc., New York.
- Wang GJ, Tang K, Tai CL, 2004. Parametric representation of a surface pencil with a common spatial geodesic, Comput. Aided Des. 36 (5), 447-459.

- Yerlikaya F, Karaahmetođlu S, Aydemir İ, 2016. On the Bertrand B-Pair Curve in 3-Dimensional Euclidean Space, Journal of Science and Arts, 3(36), 215-224.
- Yılmaz S, Turgut M, 2010. A new version of Bishop frame and an application to spherical images, Journal of Mathematical Analysis and Applications, 371(2), 764-776.

M-Estimations of Shape and Scale Parameters by Order Statistics in Least Informative Distributions on q-deformed logarithm

Mehmet Niyazi ÇANKAYA^{1*}

ABSTRACT: The maximum \log_q likelihood estimation (MLqE) method is used to estimate robustly parameters recently. In robust estimation method, the least informative distribution (LID) proposed by Huber is a convex combination of two probability density functions f_0 and f_1 . In this study, the recently proposed least informative distributions (LIDs) in MLqE are used to estimate parameters. This paper also studies on the objective functions proposed by maximum \log_q -likelihood principle (MLqE) originally derived by \log_q -likelihood. The role and capability of order statistics in LIDs in MLqE are examined while getting the estimates of shape and scale parameters. The distance measure for evaluation of fitting performance is given to choose a value for the parameter q in \log_q when the objective functions derived from MLqE are used. The simulation and real data application are given. Thus, we compare the fitting performance of objective functions constructed by MLE on \log , MLqE on \log_q and LIDs with order statistics in MLqE. We observed that order statistic chosen for density f_1 in LID in MLqE has a new objective function to fit the data sets. In the simulation, we make two contaminations into artificial data sets. The first contamination is inliers derived by order statistics and the second one is outliers. Thus, we observe that the new objective function can give satisfactory results.

Keywords: Distribution, efficiency, estimation, order statistics, robustness.

¹ Mehmet Niyazi ÇANKAYA (Orcid ID: 0000-0002-2933-857X), Uşak Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Uluslararası Ticaret Bölümü, 1. Eylül Kampüsü, Uşak, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Mehmet Niyazi ÇANKAYA, mehmet.cankaya@usak.edu.tr

INTRODUCTION

M-estimation is a very general method based on likelihood estimation method to estimate the model parameters of underlying distribution. Maximum likelihood estimation (MLE) method can have logarithm (\log) function to proceed the analytical tractability while getting the estimators of parameters. In MLE, \log function can be replaced by \log_q so we have a generalized form of \log . The parameter q is responsible to have different forms of \log . The robust estimation based on the objective function is originally proposed by (Huber, 1964). The robust estimation is a generalization of maximum log-likelihood estimation method. In the robust method, the objective functions which can give better fitting than probability density function $f(x; \theta)$ are used for modeling. The generalized likelihood estimation method works mainly a mapping form of a p.d. function $f(x; \theta)$, i.e., $\rho(x; \theta) = \Lambda(f(x; \theta))$. If Λ is chosen as \log function, then log-likelihood principle (LP) works. One can choose \log_q function for Λ . In this case, LP still works but the different forms of p.d. function $f(x; \theta)$ is obtained due to the properties of the function Λ . According to the chosen function Λ , ρ can be a member of escort distribution (Jizba, 2004). The origin of objective functions is mainly based on the escort distributions which do not have the normalizing constant that makes a function defined on the interval $[0,1]$. LIDs are a member of the escort distributions as a rich family. Different examples of objective functions can be read from (Huber, 1981; Shevlyakov et al., 2008; Ni and Huo, 2009; Hampel et al. 2011; Andrews and Hampel, 2015) and references therein.

The objective function which will be used to model the data set should adjust the efficiency. In this direction, we will propose objective functions which use the role of order statistics (OS) and the parameter q . OS is responsible to fit data set by means of many p.d. functions. In our case, the objective function has a p.d. function from OS but it also has the properties of underlying distribution. Our case is mainly based on LID proposed by (Huber, 1964). The generalized form of LIDs for arbitrary p.d. functions has recently been studied by (Çankaya and Korbel, 2018). Note that M-functions from (Huber, 1981; Ni and Huo, 2009; Hampel et al. 2011; Andrews and Hampel, 2015) are mainly strict functions and they are not flexible to get the different forms of functions. They have strict tuning constant which can only conduct some part of function instead of scanning the function completely. For example, Huber M-objective function is a strict function and it is normal in the middle and Laplace at the tails on the real line (Huber, 1964). In our study, we can have a neighborhood of a function by means of parameter q . Further, LIDs based on \log_q are capable to fit data set efficiently as well because LIDs in \log_q have two p.d. functions f_0 and f_1 which work with the parameter q which is responsible to have different forms of functions. Note that using parameter q is advantage to manage efficiency and robustness (Çankaya and Korbel, 2018).

The main aim of this study is to use the objective functions based on \log_q . In this perspective, we apply the order statistics (OS) to LIDs in MLqE to test the role and capability of OS for the estimations of parameters. Thus, we also test the performance of OS at LID in MLqE. Further, OS can give an advantage to manage efficiency and so the data sets can be fitted well. We can also manage robustness via parameter q in \log_q . Since LIDs in MLqE have the underlying distribution f_0 and the contaminated distribution f_1 , we consider to use order statistics for f_1 in order to manage the robustness and efficiency at the same time. The estimators are produced by use of the objective functions from M-functions. Since the estimators are produced by use of likelihood type estimation method, they can be called as M-estimators. The numerical values of M-estimators are replaced by parameters of the underlying distribution F_0 which is cumulative distribution function (c.d. function). Thus, the probability value (p-

value) of Kolmogorov-Smirnov (KS) test statistic for the underlying distribution F_0 is computed (Huber-Carol et al., 2012). We can observe the role of p-values of KS in order to adjust the tuning constant q . This can be an alternative approach if the integrals in information geometry (Çankaya and Korbel, 2018; Bozdoğan, 1987, Csaki, 1981; Çankaya and Korbel, 2017) are computational extensive and cannot be convergence to finite value, which is an another approach given by this paper when compared with OS used for f_1 in LID.

The remainder of this study is as follows: Materials and methods give the tools used to estimate the parameters in a p.d. function $f(x_i; \theta)$. We introduce the well-known OS and the popular Weibull distribution. We express the goodness of fit test how to test the fitting competence. The optimization as important stage at the computational evaluation of objective functions is carried out by genetic algorithm. Simulation is provided to show how the procedure OS in LID works especially. The real data application is provided. Thus, we observe the cooperative cross-checking between the p-values of KS test statistic and illustrative figures for the evaluation of fitting performance. The last section is divided for the conclusion.

MATERIALS AND METHODS

Maximum log and \log_q likelihood estimation methods

The well-known maximum likelihood estimation (MLE) method is given by

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

where $x_i, i = 1, 2, \dots, n$ are observations and n is a sample size drawn from a hypothetical parametric model f . In the MLE method, the main working principle is based on the p.d. function $f(x_i; \theta)$, because the parameters θ are estimated via using the likelihood function L .

In order to get analytically simple expressions, we can take the log function of both sides of the given expression in equation (1). Thus, we have the following expression given by

$$\log(L(\theta; x)) = \sum_{i=1}^n \log(f(x_i; \theta)). \quad (2)$$

The maximum \log_q likelihood estimation method (Ferrari and Yang, 2010; Giuzio et al., 2016) is a generalization of the log-likelihood estimation method in the M-functions (Huber, 1964; Hampel et al. 2011). The maximum \log_q likelihood estimation (MLqE) method is given by

$$\log_q(L(\theta; x)) = \sum_{i=1}^n \log_q(f(x_i; \theta)), \quad (3)$$

where $q \in \mathbb{R} \setminus \{1\}$. $\log_q(f) = \frac{f^{1-q} - 1}{1-q}$ is derived from Tsallis q-entropy (Tsallis, 1988; Elze, 2004). In MLqE method, let us introduce a part again as the following form:

$$\rho_{\log_q}(x; \theta) = \log_q(f_0(x; \theta)), \quad (4)$$

which is an objective function based on \log_q . If $q \rightarrow 1$, ρ_{\log_q} drops to $\rho_{\log}(x; \theta) = \log(f_0(x; \theta))$ is a part from MLE method. \log_q is a strictly monotonic function (Huber, 1964; Çankaya and Korbel, 2018).

Since M-estimation method in M-function is a generalization of ML estimation method, we can consider to use M-functions to estimate the parameters θ of function f simultaneously as well. M-functions in (Hampel et al. 2011) are strict/rigid functions and they do not have a rich family when compared by MLqE method, because MLqE can be applied for any p.d. function $f(x; \theta)$. Further, it is noted that $f(x; \theta)$ can be an escort distribution or p.d. function. The working principle of modeling is based on the objective functions. These are mainly escort distributions and it is not essential to have a normalizing constant in an escort distribution (Jizba, 2004; Jizba and Korbel, 2016; Çankaya and Korbel, 2017).

Order statistics

Let X be a random variable whose distribution function (d.f.) and probability density function (p.d. function) are $F(x; \theta)$ and $f(x; \theta)$ respectively. Let X_1, X_2, \dots, X_n have independent and identical d.f. $F(x; \theta)$ and p.d. function $f(x; \theta)$. $X_{1:n} \leq X_{2:n} \leq \dots \leq X_{n:n}$ denote the order statistics (OS) of these random variables. For $1 \leq r \leq n$, the p.d. function of $X_{r:n}$ is given by

$$f_{r:n}(x; \theta) = \frac{n!}{(r-1)!(n-r)!} [F(x; \theta)]^{r-1} [1 - F(x; \theta)]^{n-r} f(x; \theta), n, r \in \mathbb{Z}^+, \quad (5)$$

factorials are replaced by $n! = \Gamma(n + 1)$, $(r - 1)! = \Gamma(r)$ and $(n - r)! = \Gamma(n - r + 1)$, $n, r > 0$ (Arnold, 1992; Prudnikov, 1986).

Least informative distributions

The least informative distribution (LID) is given by

$$f_\varepsilon(x; \theta) = (1 - \varepsilon)f_0(x; \theta) + \varepsilon f_1(x; \theta). \quad (6)$$

f_ε indicates the contaminated distribution. The constant ε is the contamination rate. f_0 is the underlying distribution and f_1 is the contamination into underlying distribution f_0 and so f_1 is a contamination distribution (Huber, 1964; Huber, 1981).

Least informative distributions based on \log_q

The following objective function is derived by using LIDs and MLqE method

$$\rho_{\log_q}(f_0(x; \theta), f_1(x; \theta)) = f_0(x; \theta)^{-q} (f_1(x; \theta) - f_0(x; \theta)), \quad (7)$$

where f_0 and f_1 are p.d. function. If f_1 is zero, then equation (7) is $-f_0^{1-q}$. The main part in \log_q can be obtained. Thus, we can see the role of f_1 . Since f_1 exists in the LIDs in MLqE, the objective function can have a high fitting capability on a data set. It is possible to apply different distributions into LIDs in MLqE (Godambe, 1960). Note that LIDs in MLqE have a big framework when one wants to use it for modeling (Gelfand and Fomin, 1963; Suyari, 2006; Çankaya and Korbel, 2018; Huber, 1964; Huber, 1981). Note that when OS form in equation (5) for a p.d. function $f(x; \theta)$ is chosen for $f_1(x; \theta)$ at LID in MLqE, we can have a new objective functions to fit data set efficiently. In the working principle of

LIDs including any f_0 and f_1 at the same time, it is not essential to have a strict/rigid function which can be used to fit data set.

Weibull distribution

Weibull distribution is flexible and has main parameters which are shape and scale in a parametric model. The c.d. function of the Weibull distribution is given by

$$F(x; a, b) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{x}{b}\right)^a\right\}, x > 0; a, b > 0. \quad (8)$$

The p.d. function $f(x) = \frac{d}{dx}F(x)$ is given by

$$f(x, a, b) = \frac{a}{b} \left(\frac{x}{b}\right)^{a-1} \exp\left\{-\left(\frac{x}{b}\right)^a\right\}, x > 0; a, b > 0, \quad (9)$$

a and b are the shape and scale parameters respectively, it is represented by $W(a, b)$ (Rinne, 2008). Since Weibull distribution is a member of exponential family and also Weibull has a kernel $\exp\left(-\left(\frac{x}{b}\right)^a\right)$, finiteness of integral is satisfied (Malik, 1992; Prudnikov et al., 1986; Çankaya, 2018). Thus, we can use $W(a, b)$ for modeling. We will use $W(a, b)$ in our numerical experiment.

M-estimation method based on the objective functions from M-functions

In the M-estimation method, the objective function ρ is minimized according to parameters θ . M-estimators $\hat{\theta}$ from M-functions ρ are produced by

$$\hat{\theta} := \sum_{i=1}^n \rho(x_i; \theta) \quad (10)$$

$$\arg \min \theta$$

$x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ is a vector of observations (Huber, 1964; Huber, 1981).

Goodness of fit test: Distance measures for evaluation of fitting performance

Since the main nature of distribution structure of a real data set is not known exactly, the different objective functions which can be alternative or accommodate to each other should be used for analyzing a real data set. The objective functions will be used to estimate the parameters of p.d. function $f(x; \theta)$. Let us remind that LIDs in \log_q have underlying and contamination distributions. Researcher should keep the characteristic of underlying p.d. distribution f_U or c.d. distribution F_U , because we prefer to get robust and efficient M-estimates from M-functions which can be insensitive to contamination into underlying distribution. Since the main characteristic of a real data set can be expressed by means of underlying distribution, we can use the cumulative distribution (c.d.) functions for any statistical distributions to detect the performance of robustness and efficiency. As it is expected, we can use this approach to evaluate the fitting performance if M-estimates from M-functions are plugged into to c.d. function $F_U(x; \hat{\theta}_M)$. $\hat{\theta}_M$ are M-estimators produced by objective or M-functions. $\hat{\theta}_M := \hat{\theta}_{M_0}$ are values called as M-estimates from M-estimators $\hat{\theta}_M$. Note that the information criteria (ICs) based on \log and \log_q such as Akaike and Bayesian ICs should not be used, because \log and \log_q are based on the different sense and they are not comparable to determine the fitting performance of the objective functions. For this reason, we prefer to use distance measure evaluated from underlying distributions. Since we use the c.d. functions, c.d. functions for Weibull, normal, etc. are defined on the closed interval $[0,1]$, that is, they are at a same base for comparison among M-estimates plugged into $F_U(x; \hat{\theta}_{M_0})$.

represent the estimates which are numerical values obtained after the optimization of objective functions in equations (2), (4) and (7) according to parameters θ is performed.

$$KS = \max_{1 \leq i \leq n} \left| F_U(x_{(i)}; \hat{\theta}_M) - \frac{i}{n+1} \right| \quad (11)$$

is Kolmogorov-Smirnov (KS) test statistic. KS test statistic gets the maximum value of differences evaluated by absolute distance between $F_U(x_{(i)}; \hat{\theta}_M)$ and $\frac{i}{n+1}$. The biggest value of p-value of KS test statistic indicates that the best fitting is accomplished by underlying distribution function $F_U(x_{(i)}; \hat{\theta}_{M_0})$. $x_{(i)}$ represents the ordered form from smallest to highest values for variable x . i indicates a number for the order in the sample size n , i.e., $i = 1, 2, \dots, n$ (Huber-Carol et al. 2012; Huber, 1964; Huber, 1981). The different values for q are tried until the highest p-value of KS test statistic is obtained. f_0 is assumed to be a hypothetical model which can be real nature of observations in a data set. Note that using f_0 is an idea proposed by Huber's variance covariance matrix (Huber, 1964; Huber, 1981). This is why we prefer to use KS statistic as an alternative way to Huber's variance covariance matrix in information geometry. Thus, computational error for evaluating the integral of Fisher information (FI) in information geometry (Çankaya and Korbel, 2018) can be skipped. We choose OS which has an extensive analytical expression in expected value of FI. Since main function is $W(a, b)$, we can use c.d. function $F_U(x_{(i)}; \hat{\theta}_{M_0})$ of $W(a, b)$ to get p-value of KS test statistic. Using KS is simple and effective way to determine value of parameter q .

Numerical experiment: Simulation and real data applications

Knowing the design of the artificial random numbers from a p.d. function $f(x; \theta)$ is an important indicator to observe the fitting performance of the proposed objective functions. OS into LIDs in MLqE is used. Artificial data sets and real data set which has non-known behavior are used. We apply objective functions derived by equations (2), (4) and (7) to estimate the shape and scale parameters. Since we use order statistic for p.d. function f_1 in the LID in MLqE, we add some ordered artificial data set from the same artificial data set. Inliers and outliers are derived by items in order:

1. `xxx=randWei(n,au,bu)`; 2. `xx=sort(xxx)`;for `j=1:nc` `xc(j)=xx(ceil(n*r))`; `xc(j)=2*xc(j)`; end 4. `x=[xx(1:nu) xc]`;

'nc' and 'xc' represent the number of sample size and artificial data set for contamination, respectively. \mathbf{x} is a vector of artificial numbers. \mathbf{x} has contamination from some ordered data set for `xxx`. r is a rate of order. r is taken as 1 which shows the biggest last value of `xx` to generate outliers.

'randWei' is a written function in MATLAB2013a. $F(x) = y$, y is uniformly distributed random variable defined on interval $[0,1]$. The artificial numbers for variable x of F are generated by $x = F^{-1}(u)$ (Huber-Carol et al., 2012). Thus, we have artificial numbers for distribution F with 'au' and 'bu' which show values of parameters for underlying distribution f_0 . We use $W(a, b)$ with 'au' and 'bu'. Since Weibull is flexible and the popular distribution for modeling a data set and is finite for $x \rightarrow \infty$ (Malik, 1992), it can be used for fitting. We can also observe the performance of Weibull when it is applied to LID in MLqE and MLqE.

Optimization of M-functions

MLE, MLqE and LID in MLqE have their corresponding M-functions with parameters θ . Optimization is a process to find the global point of function $G(x; \theta)$ minimized according to parameters θ . Since we have data from function G , that is, x is a variable which can have different values which are regarded as observations, we have a sampling form of function G . Thus, θ will be estimated by

candidate estimators $\hat{\theta}$ from $\sum_{i=1}^n \rho(x_i; \theta)$ (Huber, 1964; Huber, 1981). Since we use \log_q , optimization is an important stage to convergence global point of function G . Thus, we will have estimators which can be obtained by optimization at the global point of function G (Örkcü et al., 2015). For optimization of function G , we use genetic algorithm (GA) which is produced by evolutionary framework. Even if a function is non-smooth, GA can find the global point in function G . We use GA to avoid convergence to local points in G . Further, GA has nice property which is that search region for values of parameters is used instead of using initial point while performing optimization according to parameters θ . HGA at a module in MATLAB 2013a is used. Optimization is performed by 'ga' function. 'CrossoverFcn' and 'crossoversinglepoint' are selected to have less numerical computation error. The search space for values of parameter of p.d. function is necessary for input in 'ga'. The search space of $\rho(x; \theta)$, $\theta = (a, b)$, optimized according to the parameters a and b is the closed range $[0, 10^{10}]$ for both parameters.

RESULTS AND DISCUSSION

The results of simulation for the estimations of shape and scale parameters

Tables 1-2 and Table 3 give inliers and outliers case for values of parameters, respectively. In Tables 1-3, $\hat{\theta}$, $\widehat{Var}(\hat{\theta})$ and $\widehat{MSE}(\hat{\theta})$ represent estimates, simulation variance and mean squared error of M-estimators, respectively. $Norm(\hat{\theta}, \theta) = d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_p^2$. $D = \hat{\theta} - \theta$, $D = (d_1, d_2, \dots, d_p)$ (Huber-Carol et al., 2012). We have different sample sizes $n_1 = 30$, $n_2 = 50$ and $n_3 = 100$. The number of replication for each sample size is 10^4 . The contamination rate ε is 0.1. Inliers and outliers were explained by numerical experiment section. The objective functions $\rho_{\log_q}(x; \theta)$, $\rho_{\log_q}(x; \theta)$ and $\rho_{\log_q}(f_0(x; \theta), f_1(x; \theta))$ are used to estimate a and b . To determine the values of tuning constant q for robustness, our tryings are performed until the smallest values of $\widehat{MSE}(\hat{\theta})$ are obtained. As it is logically expected, there is only one objective function which fits data well for the given values of q in \log_q and r in OS. For the simulation, the known value of r is already used for p.d. function of OS.

For inliers in Tables 1-2, we observed that the estimates of \hat{a} and \hat{b} from LIDOSq are better than that of MLqE. When sample sizes are increased, $\widehat{MSE}(\hat{\theta})$ values get smaller values. In outlier case, there is a small situation which cannot be satisfied at a small computational error. It is also noted that when the sample size gets larger, size of contamination is increased, so this can be reason of small increasing in the sample size from $n = 50$ to $n = 100$ at $a = 2$ and $b = 10$ in Table 3. For the outlier cases from Table 3, we observed that the estimates of \hat{a} from LIDOSq and the estimates of \hat{b} from MLqE have small \widehat{MSE} values, which shows us that the shape parameter a can be predicted well if the objective function ρ from LIDOSq is used. In the same comment, MLqE should be used to get small \widehat{MSE} values for the estimates of scale parameter b .

Table 1. Inliers case: \hat{a} and \hat{b} from ρ based on MLE, MLqE and LIDOSq when $a = 3$ and $b = 5$

r	n	θ	MLE		MLqE		LIDOSq	
			$a = 3$	$b = 5$	$a = 3$	$b = 5$	$a = 3$	$b = 5$
0.25	30	$\hat{\theta}$	3.6194	4.5253	3.0575	4.5599	2.9910	4.6486
		$\widehat{Var}(\hat{\theta})$	0.3881	0.1017	0.2588	0.0981	0.1890	0.0974
		$\overline{MSE}(\hat{\theta})$	0.7718	0.3270	0.2621	0.2918	0.1891	0.2209
		$Norm(\hat{\theta}, \theta)$	1.0988		0.5539		0.4100	
0.25	50	$\hat{\theta}$	3.5495	4.5169	2.9669	4.5406	3.0070	4.6154
		$\widehat{Var}(\hat{\theta})$	0.2156	0.0598	0.1504	0.0577	0.0981	0.0552
		$\overline{MSE}(\hat{\theta})$	0.5175	0.2932	0.1515	0.2687	0.0981	0.2031
		$Norm(\hat{\theta}, \theta)$	0.8107		0.4202		0.3012	
0.25	100	$\hat{\theta}$	3.5118	4.5129	3.0295	4.5208	3.0099	4.5893
		$\widehat{Var}(\hat{\theta})$	0.1042	0.0302	0.0772	0.0288	0.0423	0.0273
		$\overline{MSE}(\hat{\theta})$	0.3661	0.2675	0.0781	0.2584	0.0424	0.1960
		$Norm(\hat{\theta}, \theta)$	0.6336		0.3365		0.2384	
0.5	30	$\hat{\theta}$	3.8580	4.6213	3.1896	4.6013	3.1440	4.7269
		$\widehat{Var}(\hat{\theta})$	0.4267	0.1037	0.2832	0.0973	0.2306	0.0955
		$\overline{MSE}(\hat{\theta})$	1.1629	0.2471	0.3191	0.2563	0.2513	0.1702
		$Norm(\hat{\theta}, \theta)$	1.4100		0.5754		0.4215	
0.5	50	$\hat{\theta}$	3.7960	4.6211	3.0502	4.5918	3.0215	4.6999
		$\widehat{Var}(\hat{\theta})$	0.2466	0.0615	0.1645	0.0581	0.0993	0.0557
		$\overline{MSE}(\hat{\theta})$	0.8802	0.2051	0.1670	0.2248	0.0997	0.1458
		$Norm(\hat{\theta}, \theta)$	1.0853		0.3918		0.2455	
0.5	100	$\hat{\theta}$	3.7616	4.6231	3.0175	4.5806	3.0360	4.6727
		$\widehat{Var}(\hat{\theta})$	0.1138	0.0310	0.0839	0.0298	0.0466	0.0279
		$\overline{MSE}(\hat{\theta})$	0.6939	0.1730	0.0842	0.2057	0.0479	0.1350
		$Norm(\hat{\theta}, \theta)$	0.8669		0.2899		0.1829	
0.75	30	$\hat{\theta}$	3.8353	4.7620	2.9925	4.6951	2.9976	4.8135
		$\widehat{Var}(\hat{\theta})$	0.4546	0.1065	0.2655	0.1016	0.2604	0.1022
		$\overline{MSE}(\hat{\theta})$	1.1523	0.1631	0.2656	0.1946	0.2604	0.1370
		$Norm(\hat{\theta}, \theta)$	1.3154		0.4602		0.3974	
0.75	50	$\hat{\theta}$	3.7763	4.7554	2.8721	4.6742	3.0365	4.7805
		$\widehat{Var}(\hat{\theta})$	0.2500	0.0625	0.1500	0.0598	0.1472	0.0585
		$\overline{MSE}(\hat{\theta})$	0.8527	0.1224	0.1664	0.1660	0.1486	0.1067
		$Norm(\hat{\theta}, \theta)$	0.9751		0.3324		0.2553	
0.75	100	$\hat{\theta}$	3.7386	4.7547	2.8482	4.6616	3.0544	4.7496
		$\widehat{Var}(\hat{\theta})$	0.1200	0.0320	0.0859	0.0311	0.1019	0.0297
		$\overline{MSE}(\hat{\theta})$	0.6656	0.0922	0.1089	0.1456	0.1049	0.0924
		$Norm(\hat{\theta}, \theta)$	0.7578		0.2545		0.1973	

Table 2. Inliers case: \hat{a} and \hat{b} from ρ based on MLE, MLqE and LIDOSq when $a = 2$ and $b = 10$

r	n	θ	MLE		MLqE		LIDOSq	
			$a = 2$	$b = 10$	$a = 2$	$b = 10$	$a = 2$	$b = 10$
0.25	30	$\hat{\theta}$	2.4039	8.6137	2.0680	9.2462	2.0443	9.5880
		$\widehat{Var}(\hat{\theta})$	0.1723	0.8165	0.0936	0.8506	0.0671	0.9298
		$\overline{MSE}(\hat{\theta})$	0.3354	2.7382	0.0982	1.4189	0.0690	1.0995
		$Norm(\hat{\theta}, \theta)$	3.0736		1.5171		1.1685	
0.25	50	$\hat{\theta}$	2.3671	8.5931	2.0186	9.1898	2.0014	9.5249
		$\widehat{Var}(\hat{\theta})$	0.0950	0.4840	0.0533	0.4902	0.0358	0.5463
		$\overline{MSE}(\hat{\theta})$	0.2297	2.4634	0.0537	1.1465	0.0358	0.7720
		$Norm(\hat{\theta}, \theta)$	2.6931		1.2002		0.8078	
0.25	100	$\hat{\theta}$	2.3458	8.5938	1.9967	9.1334	1.9966	9.4596
		$\widehat{Var}(\hat{\theta})$	0.0469	0.2538	0.0281	0.2537	0.0313	0.3039
		$\overline{MSE}(\hat{\theta})$	0.1665	2.2313	0.0281	1.0046	0.0313	0.5959
		$Norm(\hat{\theta}, \theta)$	2.3978		1.0327		0.6272	
0.5	30	$\hat{\theta}$	2.5596	8.8893	2.1113	9.3266	2.1336	9.6510
		$\widehat{Var}(\hat{\theta})$	0.1935	0.8768	0.1005	0.8654	0.0793	0.9094
		$\overline{MSE}(\hat{\theta})$	0.5067	2.1105	0.1129	1.3190	0.0971	1.0312
		$Norm(\hat{\theta}, \theta)$	2.6172		1.4319		1.1283	
0.5	50	$\hat{\theta}$	2.5352	8.8880	2.0446	9.3175	2.0504	9.6616
		$\widehat{Var}(\hat{\theta})$	0.1103	0.5280	0.0569	0.5207	0.0352	0.5508
		$\overline{MSE}(\hat{\theta})$	0.3967	1.7645	0.0589	0.9865	0.0377	0.6653
		$Norm(\hat{\theta}, \theta)$	2.1612		1.0454		0.7030	
0.5	100	$\hat{\theta}$	2.5056	8.8885	2.0017	9.2777	2.0145	9.6375
		$\widehat{Var}(\hat{\theta})$	0.0545	0.2553	0.0300	0.2535	0.0108	0.2759
		$\overline{MSE}(\hat{\theta})$	0.3102	1.4907	0.0300	0.7751	0.0110	0.4073
		$Norm(\hat{\theta}, \theta)$	1.8009		0.8051		0.4183	
0.75	30	$\hat{\theta}$	2.5591	9.3062	2.1744	9.5089	2.1414	9.8888
		$\widehat{Var}(\hat{\theta})$	0.1929	0.9065	0.1076	0.8931	0.0930	0.9578
		$\overline{MSE}(\hat{\theta})$	0.5056	1.3878	0.1380	1.1343	0.1130	0.9702
		$Norm(\hat{\theta}, \theta)$	1.8934		1.2723		1.0832	
0.75	50	$\hat{\theta}$	2.5178	9.2975	2.0487	9.5670	2.0729	9.8761
		$\widehat{Var}(\hat{\theta})$	0.1114	0.5432	0.0579	0.5450	0.0482	0.5722
		$\overline{MSE}(\hat{\theta})$	0.3795	1.0368	0.0603	0.7325	0.0535	0.5876
		$Norm(\hat{\theta}, \theta)$	1.4163		0.7928		0.6411	
0.75	100	$\hat{\theta}$	2.4962	9.2794	2.0026	9.5153	2.0457	9.8142
		$\widehat{Var}(\hat{\theta})$	0.0540	0.2688	0.0309	0.2683	0.0207	0.2801
		$\overline{MSE}(\hat{\theta})$	0.3002	0.7881	0.0309	0.5032	0.0228	0.3146
		$Norm(\hat{\theta}, \theta)$	1.0883		0.5341		0.3374	

Table 3. Outliers case: \hat{a} and \hat{b} from ρ based on MLE, MLqE and LIDOSq when $a = 3$ and $b = 5$

n	θ	MLE		MLqE		LIDOSq	
		$a = 3$	$b = 5$	$a = 3$	$b = 5$	$a = 3$	$b = 5$
30	$\hat{\theta}$	1.6325	5.9845	4.0598	4.6354	3.3172	7.0909
	$\widehat{Var}(\hat{\theta})$	0.0191	0.1524	0.6648	0.1112	0.5830	2.4881
	$\widehat{MSE}(\hat{\theta})$	1.8891	1.1216	1.7880	0.2441	0.6836	6.8598
	$Norm(\hat{\theta}, \theta)$	3.0107		2.0321		7.5434	
50	$\hat{\theta}$	1.5829	6.0438	3.7733	4.6668	3.0104	6.7880
	$\widehat{Var}(\hat{\theta})$	0.0128	0.0983	0.5787	0.0789	0.6290	3.1528
	$\widehat{MSE}(\hat{\theta})$	2.0210	1.1877	1.1766	0.1899	0.6292	6.3498
	$Norm(\hat{\theta}, \theta)$	3.2087		1.3665		6.9790	
100	$\hat{\theta}$	1.5286	6.1231	3.8261	4.6377	2.6398	5.7445
	$\widehat{Var}(\hat{\theta})$	0.0075	0.0550	0.1884	0.0350	0.3734	1.6099
	$\widehat{MSE}(\hat{\theta})$	2.1727	1.3163	0.8709	0.1663	0.5031	2.1643
	$Norm(\hat{\theta}, \theta)$	3.4890		1.0372		2.6674	
30	$\hat{\theta}$	1.2807	11.7543	1.9953	9.5624	2.0507	12.5667
	$\widehat{Var}(\hat{\theta})$	0.0192	1.4457	0.5919	1.2707	0.2401	8.5996
	$\widehat{MSE}(\hat{\theta})$	0.5366	4.5232	0.5919	1.4623	0.2427	15.1877
	$Norm(\hat{\theta}, \theta)$	5.0598		2.0542		15.4304	
50	$\hat{\theta}$	1.2301	11.8787	1.8505	9.6980	1.9440	11.8211
	$\widehat{Var}(\hat{\theta})$	0.0126	1.0803	0.4572	0.9621	0.2063	7.3526
	$\widehat{MSE}(\hat{\theta})$	0.6053	4.6098	0.4796	1.0533	0.2094	10.6689
	$Norm(\hat{\theta}, \theta)$	5.2151		1.5329		10.8783	
100	$\hat{\theta}$	1.1772	12.0162	2.0038	9.4158	2.0029	10.7047
	$\widehat{Var}(\hat{\theta})$	0.0081	0.8980	0.4024	0.6709	0.2099	5.7911
	$\widehat{MSE}(\hat{\theta})$	0.6851	4.9631	0.4024	1.0122	0.2099	6.2877
	$Norm(\hat{\theta}, \theta)$	5.6482		1.4146		6.4976	

Real data application for the estimations of shape and scale parameters of Weibull distribution

A real data set (Proschan, 1963) represents the time for the consecutive failures of the air conditioning system of a fleet of Boeing 720 jet airplanes. The hours of flying time between failures are analyzed for the real data application. The data are 23, 261, 87, 7, 120, 14, 62, 47, 225, 71, 246, 21, 42, 20, 5, 12, 120, 11, 3, 14, 71, 11, 14, 11, 16, 90, 1, 16, 52, 95. The data set is fitted by the objective functions in Table 4.

Table 4. Estimates of parameters a and b by using different objective functions based on log, \log_q and LID in \log_q

M-functions: Objective functions	\hat{a}	\hat{b}	p -values of KS
$\rho_{\log}(f_0 = W(a, b))$	0.8536	54.6180	0.4370
$\rho_{\log_q=0.9135}(f_0 = W(a, b))$	0.8507	47.6563	0.7612
$\rho_{\log_q=0.03, r=1.95}(f_0 = W(a, b), f_1 = OSW(a, b))$	0.8590	47.1482	0.7701

$OSW(a, b)$ represents the order statistics (OS) of $W(a, b)$. Table 4 shows M-estimates from M-estimators produced by objective function ρ . As much as the p value of KS test statistic is near to one, the best fitting with estimates \hat{a} and \hat{b} of $W(a, b)$ can be accomplished by means of $F_U(x_{(i)}; \hat{\theta}_{M_0})$, as given by the section for goodness of fit test. The best fit has been performed by $\rho_{\log_q=0.03, r=1.95}$ which is LID with OS in MLqE. We prefer to use the non-integer order for OS to manage the efficiency of function ρ , i.e., if $r = 1.95$, then the highest value for p -values of KS has been obtained. When the overall results in Table 4 are observed, it is seen that using OS for f_1 in LID in MLqE gave the best fitting. Thus, the efficiency via LID with OS for f_1 in MLqE is managed well. Further, using OS can give an advantage to model the data set which can have inlier(s) due to the nature of OS.

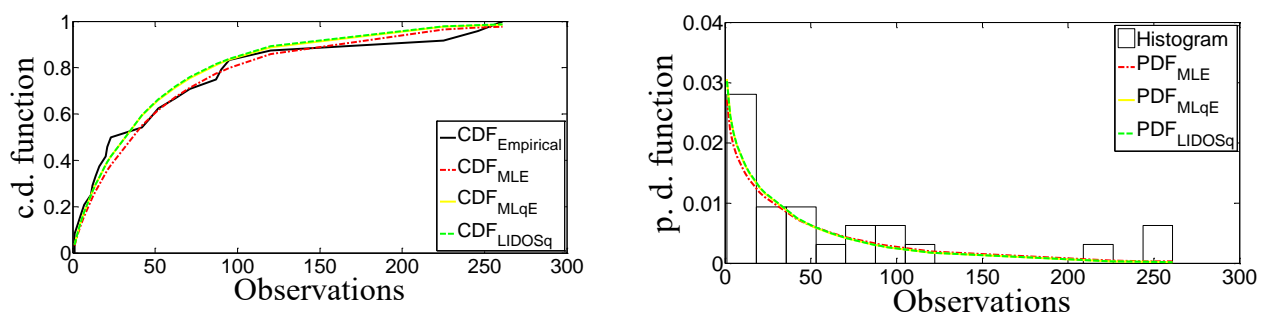


Figure 1. The fitted c.d. and p.d. functions superimposed onto empirical CDF (c.d. function) and PDF (p.d. function)

Figure 1 is given for illustrative purpose. Thus, it is also possible to observe the accordance between the fitted densities which are c.d. and p.d. functions and p -values of KS test statistic. Since we use three objective functions which are ρ_{\log} , $\rho_{\log_q=0.9135}$ and $\rho_{\log_q=0.03, r=1.95}$ in Table 4, we have three M-estimates produced by CDF_{MLE} for ρ_{\log} , CDF_{MLqE} for ρ_{\log_q} and CDF_{LIDOSq} for $\rho_{\log_q, r}$.

General comments for simulation real data application

It is noted that if f_1 in LID is chosen as $1 - f_1$, then OS into LID in MLqE can work properly and gave the satisfactory results for simulation and real data application. As a result, when the shape of objective function and the structure of data set are accommodated to each other well, MSE values for simulation are small. Due to the page number restriction, we did not give some results of simulation. In our non-given tryings, there were situations in which MLqE and LIDOSq are more better than the estimations of shape parameter a especially.

CONCLUSION

The present paper has studied on the applicability of order statistics in LIDs in MLqE. The p -value of KS test statistic has been proposed to use the determine the value of parameter q in \log_q . The OS into

LID in MLqE can work properly and gave the satisfactory results if f_1 in LID is chosen as $1 - f_1$. Otherwise, they did not give small MSE values in the simulation. In addition, in the application of the real data sets, the p-values of KS are enough high when $1 - f_1$ is taken. It has been observed that if we choose $1 - f_1$ for f_1 , we can have satisfactory results for capability of modeling. The shape and scale parameters as main parameters in modeling procedure have been considered to fit the data sets. We have made a comparison among the objective functions which take its inheritance rooted from likelihood estimation method based on log and \log_q . Since q manages the overall shape of function, we consider only these type functions. The different generalized logarithms and their performance at the different estimation methods will be investigated for future studies. The further properties for asymptotic behavior, asymptotic expansions and robustness for the used objective functions at here will be studied extensively as a separate study in the future.

REFERENCES

- Andrews DF, Hampel FR, 2015. Robust estimates of location: Survey and advances. Princeton University Press.
- Arnold BC, Balakrishnan N, Nagaraja HN, 1992. A first course in order statistics (Vol. 54). Siam.
- Bozdogan H, 1987. Model selection and Akaike's information criterion (AIC): The general theory and its analytical extensions. *Psychometrika* 52(3):345-370.
- Csaki F, 1981. Second international symposium on information theory. *Académiai Kiadó*, Budapest.
- Çankaya MN, Korbel J, 2017. On statistical properties of Jizba–Arimitsu hybrid entropy. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 475: 1-10.
- Çankaya MN, Korbel J, 2018. Least informative distributions in maximum q-log-likelihood estimation. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 509: 140-150.
- Çankaya MN, 2018. Asymmetric bimodal exponential power distribution on the real line. *Entropy* 20(1): 1-23.
- Elze HT, 2004. Introduction: Quantum Theory and Beneath? In *Decoherence and Entropy in Complex Systems*. Springer. Berlin, Heidelberg, 119-124.
- Ferrari D, Yang Y, 2010. Maximum Lq-likelihood estimation. *The Annals of Statistics* 38(2): 753-783.
- Giuzio M, Ferrari D, Paterlini S, 2016. Sparse and robust normal and t-portfolios by penalized Lq-likelihood minimization. *European Journal of Operational Research* 250(1): 251-261.
- Gelfand I, Fomin S, 1963. *Calculus of Variations*. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs. NJ.
- Godambe VP, 1960. An optimum property of regular maximum likelihood estimation. *The Annals of Mathematical Statistics* 31(4):1208-1211.
- Hampel FR, Ronchetti EM, Rousseeuw PJ, Stahel WA, 2011. *Robust statistics: the approach based on influence functions*. John Wiley & Sons. Vol. 196.
- Huber-Carol, C, Balakrishnan, N, Nikulin M, Mesbah M. (Eds.), 2012. *Goodness-of-fit tests and model validity*. Springer Science & Business Media.
- Huber PJ, 1981. Ronchetti EM. *Robust statistics*. John Wiley & Sons. New York.
- Jizba P, 2004. Information theory and generalized statistics. In *Decoherence and Entropy in Complex Systems* (pp. 362-376). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Jizba P, Korbel J, 2016. On q-non-extensive statistics with non-Tsallisian entropy. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 444: 808-827.
- Malik SC, Arora S, 1992. *Mathematical analysis*. New Age International.
- Ni XS, Huo X, 2009. Another look at Huber's estimator: A new minimax estimator in regression with stochastically bounded noise. *Journal of statistical planning and inference* 139(2):503-515.

- Örkcü HH, Özsoy VS, Aksoy E, Dogan MI, 2015. Estimating the parameters of 3-p Weibull distribution using particle swarm optimization: A comprehensive experimental comparison. *Applied Mathematics and Computation* 268: 201-226.
- Proschan F, 1963. Theoretical explanation of observed decreasing failure rate. *Technometrics* 5(3), 375-383.
- Prudnikov AP, Brychkov, IA, Marichev OI, 1986. Integrals and series: special functions (Vol. 2). CRC Press.
- Rinne, H, 2008. The Weibull distribution: A handbook. CRC press.
- Shevlyakov G, Morgenthaler S, Shurygin A, 2008. Redescending M-estimators. *Journal of Statistical Planning and Inference* 138(10): 2906-2917.
- Suyari H, 2006. Mathematical structures derived from the q-multinomial coefficient in Tsallis statistics. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 368(1): 63-82.
- Tsallis C, 1988. Possible generalization of Boltzmann-Gibbs statistics. *Journal of statistical physics* 52(1-2): 479-487.

3-Boyutlu Minkowski Uzayında Bishop Çatısına Göre Sabit Eğrilikli Null Olmayan Regle Yüzeyler

Cansu Nevcihan TEKİN^{1*}, İsmail AYDEMİR¹

ÖZET: Bu çalışmada, 3-boyutlu Minkowski uzayında Bishop çatısına göre null olmayan regle yüzeylerin Gauss ve ortalama eğrilikleri hesaplanmış ve regle yüzeylerin sabit Gauss ve ortalama eğriliğe sahip olmaları için gerekli koşullar elde edilmiştir. Ayrıca regle yüzeylerin açılabilir ve minimal olması için denklemlerinin hangi formda olması gerektiği gösterilmiştir. Buna ilaveten teğet vektör alanı tarafından üretilen sabit ortalama eğrilikli null olmayan regle yüzeylerin dayanak eğrisinin Bishop slant helis olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Regle yüzey, Gauss eğriliği, Ortalama eğrilik, Bishop çatısı, Minkowski uzayı.

Non-null Ruled Surfaces with Constant Curvatures According to Bishop Frame in Minkowski 3-space

ABSTRACT: In this study, the Gaussian and mean curvatures of non-null ruled surfaces according to Bishop frame in 3-dimensional Minkowski space are calculated and obtained the necessary conditions for their curvatures to be constant. Moreover, in case the ruled surfaces to be developable and minimal, we find parametric forms. In addition, the base curve of non-null surfaces with constant mean curvares is specified to be Bishop slant helix.

Keywords: Ruled surface, Gaussian curvature, Mean curvature, Bishop frame, Minkowski space.

¹Cansu Nevcihan TEKİN (Orcid ID: 0000-0002-6813-3761), İsmail AYDEMİR (Orcid ID: 0000-0002-0238-2079), Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik Bölümü, Samsun, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Cansu Nevcihan TEKİN, e-mail: cansutekin35@hotmail.com

Bu çalışma Cansu Nevcihan TEKİN'in Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

GİRİŞ

Üç boyutlu uzayda regle yüzeylerin bir doğrunun bir eğri boyunca hareket ettirilmesiyle oluşan özel yüzeyler olduğu iyi bilinmektedir. Hareket ettirilen doğruya regle yüzeylerin doğrultman doğrusu ve bu doğrunun üzerinde hareket ettiği eğriye dayanak eğrisi adı verilmektedir. Dayanak eğrisi $\Gamma(s)$ ve doğrultman vektörü $X(s)$ olan standart bir regle yüzey $\varphi(s,v)=\Gamma(s)+vX(s)$ şeklinde ifade edilir. Farklı uzaylardaki çeşitli çatılara göre bu firma sahip regle yüzeylerin Gauss ve ortalama eğrilikleri ile ilgili çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. yapılmıştır (Abdel-All ve ark., 2004; Ali ve ark., 2003; Orbay ve Aydemir, 2010; Önder ve Uğurlu, 2013, Yüksel, 2013). Diğer taraftan, Ahmad Tawfik Ali (2017), 3-boyutlu Minkowski uzayında bir Γ eğrisinin Frenet vektörleri t , n ve b olmak üzere regle yüzeyin dayanak eğrisini; $c(s)=\int(\alpha t+\beta n+\gamma b)ds$ seçerek elde edilen yüzeyin Gauss ve ortalama eğriliklerinin sabit olma koşullarını incelemiştir. Ayrıca, Ali çalışmasında sabit eğrilikli regle yüzeylerin dayanak eğrilerinin bazı durumlarda düzlem eğrisi bazı durumlarda da genel helisler olması gerektiğini karakterize etmiştir. Bir başka deyişle sabit eğrilikli regle yüzeylerin dayanak eğrilerinin bazı özel eğriler olduğu tespit edilmiştir.

Genel helisler teğet vektörünün sabit bir doğrultuyla sabit açı yapma özelliğindeki özel eğrilerdir. Bu eğrilerin Frenet eğrilikleri arasındaki oranın sabit olmasıyla karakterize edildiği iyi bilinmektedir. Diğer taraftan, Bishop çatısında ξ_1 vektörünün sabit bir doğrultuyla sabit açı yapma özelliğindeki özel eğri ilk kez Bükçü ve Karacan (2008) tarafından 3-boyutlu Öklid uzayında çalışılmıştır ve bu eğri Bishop slant helis olarak adlandırılmıştır. Ayrıca, bu eğrilerin Bishop eğrilikleri arasındaki oranın sabit olduğu tespit edilmiştir. Yerlikaya (2019), ilk kez 3-boyutlu Minkowski uzayında Bishop çatısına göre Bishop slant helislerin pozisyon vektörlerinin bulunmasını içeren bir metot ortaya koymuştur. Bishop slant helislerin pozisyon vektörleri 3-boyutlu Öklid uzayında da elde edilmiştir (Yerlikaya ve Aydemir, 2020). Dolayısıyla bu çalışmanın bir benzeri Öklid uzayında da yapılabilir.

Bu çalışmada ise, 3-boyutlu Minkowski uzayında bir Γ eğrisinin Bishop vektörleri t , ξ_1 ve ξ_2 olmak üzere regle yüzeyin dayanak eğrisi $c(s)=\int(\alpha t+\beta\xi_1+\gamma\xi_2)ds$ seçilerek sırasıyla t , ξ_1 ve ξ_2 vektörleri tarafından üretilen yüzeyler bulunmuş ve elde edilen yüzeylerin Gauss ve ortalama eğriliklerinin sabit olma durumu araştırılmıştır. Ayrıca yüzeylerin açılabilir ve minimal olması için gerekli koşullar elde edilmiştir. Buna ilaveten, teğet vektör alanı tarafından üretilen sabit ortalama eğrilikli null olmayan regle yüzeylerin dayanak eğrisinin Bishop slant helis olması gerektiği tespit edilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

R^3 , 3-boyutlu standart reel vektör uzayı ve $X=(x_1,x_2,x_3)$ ve $Y=(y_1,y_2,y_3)\in R^3$ için,

$\langle X,Y\rangle=-x_1y_1+x_2y_2+x_3y_3$ eşitliği ile verilen 1- indeksli metrik tensörle birlikte elde edilen uzaya 3-boyutlu Minkowski uzayı denir ve R_1^3 ile gösterilir (O'Neill, 1983). R_1^3 , 3-boyutlu Minkowski uzayında iki vektör $X=(x_1,x_2,x_3)$ ve $Y=(y_1,y_2,y_3)$ olmak üzere, $(x_2y_3-x_3y_2,x_1y_3-x_3y_1,x_2y_1-x_1y_2)$ vektörüne X ve Y nin vektörel çarpımı denir (Önder ve Uğurlu, 2013).

Bir yüzeyin pozisyon vektörü $s,v\in U\subset R^2$ olmak üzere $\varphi(s,v)=(f_1(s,v),f_2(s,v),f_3(s,v))$ şeklindedir. Burada f_1 , f_2 ve f_3 ifadeleri reel değerli koordinat fonksiyonlarıdır. Yüzeyin birim normal vektörü

$$U=\frac{\varphi_s\times\varphi_v}{\|\varphi_s\times\varphi_v\|}$$

ve I. ve II. temel formun katsayıları sırasıyla,

$$E=g_{11}=\langle\varphi_s,\varphi_s\rangle, \quad F=g_{22}=\langle\varphi_s,\varphi_v\rangle, \quad G=g_{12}=\langle\varphi_v,\varphi_v\rangle$$

ve

$$e=h_{11}=\langle \varphi_{ss}, U \rangle, \quad f=h_{12}=\langle \varphi_{sv}, U \rangle, \quad g=h_{22}=\langle \varphi_{vv}, U \rangle$$

olmak üzere $M= \varphi(s,v)$ yüzeyinin Gauss ve ortalama eğrilikleri sırasıyla,

$$K = \frac{\det(h_{ij})}{\det(g_{ij})} = \frac{eg-f^2}{|EG-F^2|}$$

ve

$$H = \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^2 g^{ij} h_{ij} = \frac{Eg+Ge-2Ff}{2|EG-F^2|}$$

şeklinde verilir. $K=0$ ise yüzeye açılabilir ve $H=0$ ise yüzey minimaldir, denir.

R_1^3 de s yay parametresi ile verilen bir timelike Γ eğrisinin her noktasında tanımlı olan Frenet çatısı $\{t,n,b\}$ olmak üzere Frenet formülleri $t'=\kappa n$, $n'=\kappa t+\tau b$, $b'=-\tau n$ şeklindedir. Burada, κ ve τ , s parametresinin türevlenebilir fonksiyonları olup sırasıyla eğrinin eğrilik ve burulma fonksiyonlarını ifade eder. Γ timelike eğrisi üzerinde bir başka hareketli çatı, ξ_1 ve ξ_2 , R_1^3 de normları 1 birim ve $\xi_1 \perp \xi_2$ olacak şekilde keyfi iki vektör olmak üzere $\{t, \xi_1, \xi_2\}$ ile verilen Bishop çatısıdır. Bu çatının türev formülleri,

$$\begin{aligned} t' &= k_1 \xi_1 + k_2 \xi_2 \\ \xi_1' &= k_1 t \\ \xi_2' &= k_2 t \end{aligned}$$

şeklindedir. Burada k_1 ve k_2 eğrinin s parametresine göre türevlenebilir Bishop eğrilik fonksiyonlarıdır. Ayrıca Γ eğrisinin Frenet ve Bishop çatıları arasında aşağıdaki bağlantılar mevcuttur:

$$\begin{aligned} \xi_1 &= \cos\theta n - \sin\theta b \\ \xi_2 &= \sin\theta n + \cos\theta b \end{aligned}$$

ve $\kappa(s) = \sqrt{k_1^2 + k_2^2}$, $\theta(s) = \arctan\left(\frac{k_2}{k_1}\right)$, $\tau(s) = \frac{d\theta(s)}{ds}$ (Karacan ve Bükçü, 2008).

Tanım 1: $\Gamma: I \rightarrow R_1^3$ bir timelike eğri ve ξ_1 spacelike birim vektör alanı olsun. Eğer ξ_1 vektör alanı uzayda sabit bir d doğrultusuyla sabit θ açısı yapıyorsa Γ 'ya bir timelike Bishop slant helis adı verilir. Burada d vektörü Bishop slant helisin eksenidir (Bükçü ve Karacan, 2008).

Teorem 2: $\Gamma: I \rightarrow R_1^3$ sıfırdan farklı k_1 ve k_2 eğriliklerine sahip birim hızlı timelike bir eğri olsun. Bu takdirde Γ timelike Bishop slant helistir $\Leftrightarrow \frac{k_1}{k_2} = \text{sabit}$ (Bükçü ve Karacan, 2008).

Teorem 3: $\Gamma(s)$, 3-boyutlu Minkowski uzayında ξ_1 Bishop vektör alanı sabit bir spacelike $\vec{u} = (0, \mp 1, 0) \in \text{Sp}\{e_2\}$ doğrultusuyla sabit lorentziyen spacelike açı yapan ve Bishop eğrilik fonksiyonları $k_1 = k_1(s)$ ve $k_2 = k_2(s) = m k_1(s)$ olan timelike bir Bishop slant helis olsun. Bu takdirde, Γ 'nın pozisyon vektör alanının doğal gösterimi,

$$\Gamma(s) = \left(\int \cosh \left[d_1 \mp \sqrt{1+m^2} \int k_1(s) ds \right] ds + c_1, c_2, \int \sinh \left[d_1 \mp \sqrt{1+m^2} \int k_1(s) ds \right] ds + c_3 \right)$$

şeklinindedir. Burada, c_1, c_2, c_3 ve d_1 sayıları reel sabitlerdir ve ϕ ; \vec{u} ve ξ_1 arasındaki açı olmak üzere $m = \tan \phi$ dır (Yerlikaya, 2019).

Teorem 4: $\Gamma(s)$, 3-boyutlu Minkowski uzayında ξ_1 Bishop vektör alanı sabit bir spacelike

$\vec{u} = (-\sinh n, 0, -\cosh n) \in \text{Sp}\{e_1, e_3\}$ doğrultusuyla sabit lorentziyen spacelike açı yapan ve Bishop eğrilik fonksiyonları $k_1 = k_1(s)$ ve $k_2 = k_2(s) = mk_1(s)$ olan timelike bir Bishop slant helis olsun. Bu takdirde, Γ 'nin pozisyon vektör alanının doğal gösterimi,

$$\Gamma(s) = (\cosh n \int \cosh[d_1 \mp \sqrt{1+m^2} \int k_1(s) ds] ds + c_1, \int \sinh[d_1 \mp \sqrt{1+m^2} \int k_1(s) ds] ds + c_2, \sinh n \int \cosh[d_1 \mp \sqrt{1+m^2} \int k_1(s) ds] ds + c_3)$$

şeklinindedir. Burada, n, c_1, c_2, c_3 ve d_1 sayıları reel sabitlerdir ve ϕ ; \vec{u} ve ξ_1 arasındaki açı olmak üzere $m = \tan \phi$ dır (Yerlikaya, 2019).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Üç boyutlu Minkowski uzayında bir timelike Γ eğrisinin her noktasında tanımlı olan Bishop çatısının vektör alanları t, ξ_1 ve ξ_2 olsun. α, β ve γ , s parametresinin reel değerli türevlenebilir fonksiyonları olmak üzere,

$$c(s) = \int (\alpha t + \beta \xi_1 + \gamma \xi_2) ds$$

eğrisini tanımlayalım. Bu kısımda $c(s)$ yi dayanak eğrisi ve doğrultmanları sırasıyla teğet vektörü, ξ_1 vektörü ve ξ_2 vektörü olan regle yüzeylerin Gauss ve ortalama eğrilikleri incelenecektir.

Teğet vektörü tarafından üretilen regle yüzeyin denklemi,

$$G_t: \varphi(s, v) = c(s) + vt(s) \quad (1)$$

şeklinindedir. Bu regle yüzeyin kısmi türevleri alındığında, birinci temel formun katsayıları,

$$E = \langle \varphi_s, \varphi_s \rangle = -\alpha^2 + (\beta + vk_1)^2 + (\gamma + vk_2)^2$$

$$G = \langle \varphi_v, \varphi_v \rangle = \langle t, t \rangle = -1$$

$$F = \langle \varphi_s, \varphi_v \rangle = \langle \alpha t + \beta \xi_1 + \gamma \xi_2 + v(k_1 \xi_1 + k_2 \xi_2), t \rangle = -\alpha$$

ve ikinci temel formun katsayıları;

$$e = \langle \varphi_{ss}, U \rangle$$

veya,

$$e = \frac{v^2(k_2 k_1' + k_1 k_2') + v(-\gamma k_1' + 2\alpha k_1 k_2' + k_2 \beta' + \beta k_2' + k_1 \gamma') - \gamma \alpha k_1 - \gamma \beta' + \alpha \beta k_2 + \beta \gamma'}{\sqrt{(\beta + vk_1)^2 + (\gamma + vk_2)^2}}$$

$$g = \langle \varphi_{vv}, U \rangle = \left\langle 0, \frac{(\beta + vk_1)k_2 - (\gamma + vk_2)k_1}{\sqrt{(\beta + vk_1)^2 + (\gamma + vk_2)^2}} \right\rangle = 0$$

$$f = \langle \varphi_{sv}, U \rangle = - \frac{(\beta + vk_1)k_2 - (\gamma + vk_2)k_1}{\sqrt{(\beta + vk_1)^2 + (\gamma + vk_2)^2}}$$

bulunur. Burada k_1 ve k_2 , Γ eğrisinin bishop eğrilikleridir. Buradan yüzeyin Gauss eğriliği hesaplanırsa,

$$K = \frac{eg - f^2}{|EG - F^2|} = - \frac{(\beta k_2 - \gamma k_1)^2}{[(\beta + vk_1)^2 + (\gamma + vk_2)^2]^{3/2}} \quad (2)$$

elde edilir. Eşitlik 2. den teğet vektör alanı tarafından üretilen regle yüzeyin Gauss eğriliğinin sabit olması için $\beta k_2 - \gamma k_1 = 0$ eşitliğinin sağlanması gerektiği açıktır. Bu ise Gauss eğriliğinin sıfır olduğu anlamına gelir. Böylece aşağıdaki teoremi verebiliriz:

Teorem 5: (1) $G_t: \varphi(s, v) = c(s) + vt(s)$ regle yüzeyi açılabilirdir $\Leftrightarrow \varphi(s, v) = (\varepsilon + v)t + \int \eta t \, ds$

(2) $G_t: \varphi(s, v) = c(s) + vt(s)$ regle yüzeyinin Gauss eğriliği K sabit ise $K=0$ dır.

İspat: (1) Kabul edelim ki G_t regle yüzeyi açılabilir yani $K=0$ olsun. Eşitlik 2.den $\beta = \left(\frac{k_1}{k_2}\right) \gamma$ dir. Bu eşitlikte ε bir reel değerli türevlenebilir fonksiyon olmak üzere, $\gamma = k_2 \varepsilon$ seçilirse $\beta = k_1 \varepsilon$ olur. Ayrıca $\alpha = \varepsilon' + \eta$ alınırsa dayanak eğrisinin türevi,

$$c'(s) = (\varepsilon' + \eta)t + \varepsilon k_1 \xi_1 + \varepsilon k_2 \xi_2$$

şeklinde yazılır. Bishop çatısının türev formülleri göz önüne alınarak gerekli işlemler yapıldığında regle yüzeyin dayanak eğrisi,

$$c(s) = \varepsilon t + \int \eta t \, ds \quad (3)$$

elde edilir. Eşitlik 3., Eşitlik 1.de yerine yazılırsa, G_t regle yüzeyin parametrik formu bulunmuş olur. Tersine G_t regle yüzeyi φ parametrelendirilmesi ile verilsin. Bu takdirde gerekli işlemler yapıldığında Gauss eğriliğinin sıfır olduğu açıktır, yani yüzey açılabilirdir.

(2) G_t regle yüzeyin Gauss eğriliği sabit olsun. Eşitlik 2.den bu sabitliğin sadece sıfır ile mümkün olacağı açıktır.

Diğer taraftan regle yüzeyin ortalama eğriliği hesaplandığında,

$$H = \frac{Eg + Ge - 2Ff}{2|EG - F^2|} = \frac{v^2(-k_1 k_2' + k_1' k_2) + v(\gamma k_1' - k_2' \beta - \beta' k_2 - k_1 \gamma') + \alpha \gamma k_1 + \gamma \beta' - \alpha \beta k_2 - \beta \gamma'}{2[(\beta + vk_1)^2 + (\gamma + vk_2)^2]^2} \quad (4)$$

dır. Eşitlik 4. de bulunan denklem, v parametresinin kuvvetlerine göre yazılırsa,

$$H = \frac{A}{B} = \frac{A_0 + A_1 v + A_2 v^2}{2[(\beta + vk_1)^2 + (\gamma + vk_2)^2]^2}$$

olur. Burada, $A_0 = -\beta \gamma' + \gamma k_1' + \alpha(-k_1 \gamma + k_2 \beta)$, $A_1 = +\gamma k_1' - k_2' \beta - \beta' k_2 - k_1 \gamma'$

ve $A_2 = -k_1 k_2' + k_1' k_2$ dir. Ortalama eğriliğin sabitliği hakkında yorum yapabilmesi için A_0 , A_1 ve A_2 katsayıları incelenmelidir.

1.hal: $A_2 = 0$ olsun. Bu durumda, $A_2 = -k_1 k_2' + k_1' k_2 = 0$ eşitliği düzenlenirse, $\left(\frac{k_1}{k_2}\right)' k_2^2 = 0$ bulunur. Buradan, $\frac{k_1}{k_2} = m$, $m \in \mathbb{R}$ dir. Teorem 2 göz önüne alınırsa Γ eğrisinin, Bishop slant helis olduğu görülür.

2.hal: $A_1 = 0$ olsun. Bu durumda $A_1 = -\gamma' k_1 + \gamma k_1' - k_2' \beta + \beta' k_2 = 0$ ifadesi düzenlenirse, $\left(\frac{-\gamma m + \beta}{k_2}\right)' k_2^2 = 0$ bulunur. Buradan, $\beta = c_1 k_2 + m\gamma$ olacak şekilde bir $c_1 \in \mathbb{R}$ reel sayısı vardır.

3. hal: $A_0 = 0$ olsun. Bu durumda A_0 eşitliğinde yukarıdaki β ifadesi yerine yazılıp düzenlenirse,

$A_0 = c_1 (k_2 \gamma' - k_2' \gamma - \alpha k_2^2) = 0$ elde edilir. Son eşitlik için aşağıdaki gibi iki durum söz konusudur:

Durum 1: $c_1 = 0$ olsun. $\beta = c_1 k_2 + m\gamma$ denkleminde $c_1 = 0$ ve $\frac{k_1}{k_2} = m$ eşitliklerine yazılırsa, $\beta = \left(\frac{k_1}{k_2}\right) \gamma$ elde edilir. Ayrıca, $\gamma = k_2 \varepsilon$ ve $\alpha = \varepsilon' + \eta$ seçilirse yüzeyin dayanak eğrisi $c(s) = \varepsilon t + \int \eta t ds$ şeklinde bulunur. Böylece regle yüzeyin genel denklemi, $\varphi(s, v) = (\varepsilon + v)t + \int \eta t ds$ formundadır. (5)

Kabul edelim ki Bishop slant helisin pozisyon vektörü Teorem 3 deki denklem olsun. Bu durumda, Bishop slant helisin teğet vektörü $t(s) = (\cosh[\sigma], 0, \sinh[\sigma])$ ve $\sigma = d_1 \mp \sqrt{1+m^2} \int k_1(s) ds$ dir. Denklem 3'ün her iki tarafının türevi alınırsa, $c'(s) = (\varepsilon t)' + \eta t$ elde edilir. Bu denklemde, $t(s) = (\cosh[\sigma], 0, \sinh[\sigma])$ eşitliği yerine yazılırsa, dayanak eğrisinin türevinin denklemi,

$$c'(s) = ((\varepsilon(s) \cosh[\sigma])' + \eta(s) \cosh[\sigma], 0, (\varepsilon(s) \sinh[\sigma])' + \eta(s) \sinh[\sigma]) \quad (6)$$

şeklinde bulunur. Burada $\eta(s)$ ve $\varepsilon(s)$ fonksiyonları s değişkeninin keyfi fonksiyonlarıdır. Varsayalım ki, $\chi(s)$ ve $\delta(s)$ nin keyfi türevlenebilir fonksiyonları olmak üzere $c(s) = (\chi(s), 0, \delta(s))$ olsun. Bu durumda $c'(s) = (\chi'(s), 0, \delta'(s))$ yazılır. Bu denklem Eşitlik 6. ile birbirine eşitlenir ve gerekli işlemler yapılırsa,

$$\varepsilon(s) = \frac{1}{\sqrt{1+m^2} k_1(s)} \{ \delta'(s) \cosh[\sigma] - \chi'(s) \sinh[\sigma] \}$$

$$\eta(s) = \cosh[\sigma] \left\{ 2\chi'(s) - \frac{1}{\sqrt{1+m^2}} \left(\frac{\delta'(s)}{k_1(s)} \right)' \right\} - \sinh[\sigma] \left\{ 2\delta'(s) + \frac{1}{\sqrt{1+m^2}} \left(\frac{\chi'(s)}{k_1(s)} \right)' \right\}$$

bulunur. Sonuç olarak, G_t regle yüzeyinin standart formu,

$$\varphi(s, v) = \left(\chi(s) + v \cosh \left[d_1 \mp \sqrt{1+m^2} \int k_1(s) ds \right], 0, \delta(s) + v \sinh \left[d_1 \mp \sqrt{1+m^2} \int k_1(s) ds \right] \right)$$

şeklinde elde edilir.

Şimdi Bishop slant helisin pozisyon vektörü Teorem 4 deki denklem olsun. Bu durumda; Bishop slant helisin teğet vektörü,

$t(s) = (\cosh \cosh[\sigma], \sinh[\sigma], \sinh \sinh[\sigma])$ ve $\sigma = d_1 \mp \sqrt{1+m^2} \int k_1(s) ds$ dir. Denklem 3'ün her iki tarafının türevi alınırsa, $c'(s) = (\varepsilon t)' + \eta t$ elde edilir. Bu denklemde, $t(s) = (\cosh \cosh[\sigma], \sinh[\sigma], \sinh \sinh[\sigma])$ eşitliği yerine yazılırsa, dayanak eğrisinin türevinin denklemi,

$$c'(s) = \begin{pmatrix} (\varepsilon(s)\cosh\sigma\cosh[\sigma])' + \eta(s)\cosh\sigma\cosh[\sigma], (\varepsilon(s)\sinh[\sigma])' + \eta(s)\sinh[\sigma], \\ (\varepsilon(s)\sinh\sigma\cosh[\sigma])' + \eta(s)\sinh\sigma\cosh[\sigma] \end{pmatrix} \quad (7)$$

şeklinde bulunur. Burada $\eta(s)$ ve $\varepsilon(s)$ fonksiyonları s değişkeninin keyfi fonksiyonlarıdır. Benzer şekilde, $\chi(s)$, $\mu(s)$ ve $\delta(s)$, s nin keyfi türevlenebilir fonksiyonları olmak üzere $c(s) = (\chi(s), \mu(s), \delta(s))$ olsun. Bu durumda $c'(s) = (\chi'(s), \mu'(s), \delta'(s))$ yazılır. Bu denklem Eşitlik 7. ile birbirine eşitlenir ve gerekli işlemler yapılırsa,

$$\varepsilon(s) = \frac{1}{\sqrt{1+m^2} k_1(s)} \{ \mu'(s)\cosh[\sigma] + \sinh[\theta](\delta'(s)\sinh\sigma - \chi'(s)\cosh\sigma) \}$$

$$\eta(s) = 2(\cosh\sigma\cosh[\sigma]\chi'(s) - \sinh\sigma\cosh[\sigma]\delta'(s) - \sinh[\sigma]\mu'(s))$$

$$- \frac{1}{\sqrt{1+m^2}} \left\{ \left(\frac{\mu'(s)}{k_1(s)} \right)' \cosh[\sigma] + \sinh\sigma \left(\frac{\delta'(s)}{k_1(s)} \right)' \sinh[\sigma] - \cosh\sigma \left(\frac{\chi'(s)}{k_1(s)} \right)' \sinh[\sigma] \right\}$$

şeklinde bulunur. Böylece Eşitlik 1.den, G_t regle yüzeyinin denklemi,

$$\varphi(s, v) = \left(\chi(s) + v\cosh\sigma\cosh \left[d_1 \mp \sqrt{1+m^2} \int k_1(s) ds \right], \mu(s) + v\sinh \left[d_1 \mp \sqrt{1+m^2} \int k_1(s) ds \right], \delta(s) + v\sinh\sigma\cosh \left[d_1 \mp \sqrt{1+m^2} \int k_1(s) ds \right] \right)$$

elde edilir.

Durum 2: $k_2\gamma' - k_2'\gamma - \alpha k_2^2 = 0$ olsun. Bu durumda, $\alpha = \frac{k_2\gamma' - k_2'\gamma}{k_2^2} = \left(\frac{\gamma}{k_2} \right)'$ bulunur. Buradan regle yüzeyin dayanak eğrisi, $c(s) = \frac{\gamma}{k_2} t + c_1 \int k_2 \xi_1 ds$ şeklinde elde edilir. Diğer taraftan $\gamma = k_2 \varepsilon$, Eşitlik 5. te yerine yazılırsa G_t regle yüzeyi, $\varphi(s, v) = (\varepsilon + v)t + c_1 \left(\int k_2 ds \right) \xi_1$ formunu alır. Ayrıca,

$$H = \frac{A}{B} = \frac{A_0 + A_1 v + A_2 v^2}{2[(\beta + v k_1)^2 + (\gamma + v k_2)^2]^{3/2}}$$

olmak üzere, H nın sabit olması için,

$$A^2 - H^2 B^2 = 0$$

veya A ve B eşitlikleri yerine yazılarak,

$$A^2 - H^2 B^2 = (A_0 + A_1 v + A_2 v^2)^2 - 4H^2 [(\beta + v k_1)^2 + (\gamma + v k_2)^2]^{3/2} = 0$$

ve sonuç olarak $4H^2(k_1^2 + k_2^2)^3 = 0$ olması gerektiği açıktır. Diğer taraftan Bishop çatısında $k_1, k_2 \neq 0$ olduğundan $H=0$ bulunur. Böylece aşağıdaki teoremi verebiliriz:

Teorem 6: (1) $G_t: \varphi(s, v) = c(s) + vt(s)$ regle yüzeyi minimaldir $\Leftrightarrow \Gamma$ Bishop slant helistir ve regle yüzeyin denklemi $\varphi(s, v) = (\varepsilon + v)t + \int \eta t ds$ veya $\varphi(s, v) = (\varepsilon + v)t + c_1 \left(\int k_2 ds \right) \xi_1$ formundadır.

(2) $G_t: \varphi(s, v) = c(s) + vt(s)$ regle yüzeyinin ortalama eğriliği H sabit ise $H=0$ dır.

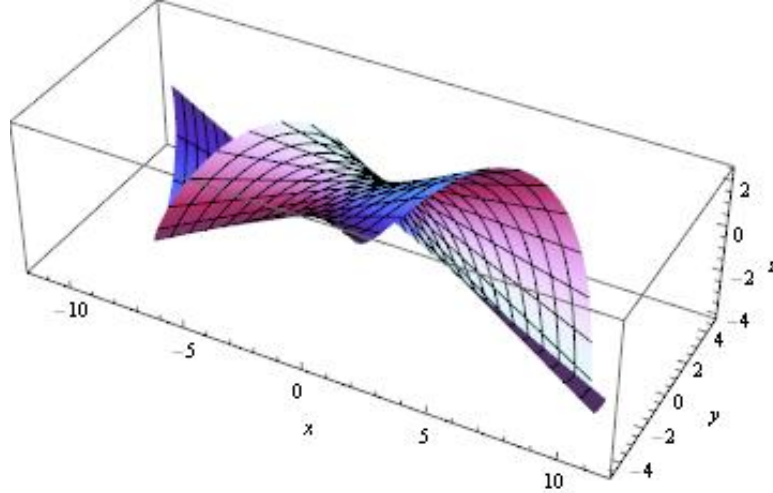
Örnek 1: Üç boyutlu Minkowski uzayında timelike bir $\Gamma(s) = (2s, \cos(s), -\sin(s))$ olsun. Bu eğrinin teğet vektörü,

$$t(s) = \left(\frac{2}{\sqrt{3}}, \frac{\cos(s)}{\sqrt{3}}, \frac{-\sin(s)}{\sqrt{3}} \right)$$

şeklinde dir. Eğer $\varepsilon = s$ ve $\eta = \sqrt{3}$ seçilirse, G_t timelike regle yüzeyin parametrik denklemi,

$$\phi(s,v)=\left(\frac{s}{\sqrt{3}}\left(2\sqrt{3}+s+\cos(s)\right)+\frac{2v}{\sqrt{3}}, \sin(s)+\frac{v\cos(s)}{\sqrt{3}}, -\frac{(s+v)\sin(s)}{\sqrt{3}}+\cos(s)\right)$$

elde edilir ve bu yüzeyin grafiği Şekil 1. de verilmiştir.



Şekil 1. $K=0$, $H=\frac{1}{|\varepsilon+v|}$

Şimdi, dayanak eğrisi $c(s)=\int(\alpha t+\beta\xi_1+\gamma\xi_2) ds$ olan ve ξ_1 vektör alanı tarafından üretilen regle yüzey için benzer işlemleri yapalım. Bu yüzey $G_t:\phi(s,v)=c(s)+v\xi_1(s)$ formundadır. Buradan yüzeyin kısmi türevleri alınırsa, I. ve II. temel formun katsayıları,

$$E=\langle\phi_s,\phi_s\rangle=-(\alpha+vk_1)^2+\beta^2+\gamma^2$$

$$G=\langle\phi_v,\phi_v\rangle=\langle\xi_1,\xi_1\rangle=+1$$

$$F=\langle\phi_s,\phi_v\rangle=\langle t(\alpha-vk_1)+\beta\xi_1+\gamma\xi_2,\xi_1\rangle=\beta$$

$$e=\frac{v^2(k_1^2k_2)+v^2(k_1^2k_2)+v(\gamma k_1'-2\alpha k_1 k_2+k_1\gamma'+\gamma\alpha'+\gamma\beta k_1+\gamma^2 k_2-\alpha^2 k_2-\alpha\gamma')}{\sqrt{\gamma^2+(\alpha-vk_1)^2}}$$

$$g=\langle\phi_{vv},U\rangle=\langle 0, \frac{\gamma t-(\alpha-vk_1)\xi_2}{\sqrt{\gamma^2+(\alpha-vk_1)^2}} \rangle=0$$

$$f=\langle\phi_{sv},U\rangle=\langle -k_1 t, \frac{\gamma t-(\alpha-vk_1)\xi_2}{\sqrt{\gamma^2+(\alpha-vk_1)^2}} \rangle=\frac{k_1\gamma}{\sqrt{\gamma^2+(\alpha-vk_1)^2}}$$

şeklinde elde edilir. Bulunan katsayılar yardımıyla regle yüzeyin Gauss eğriliği,

$$K=\frac{eg-f^2}{|EG-F^2|}=\frac{-k_1^2\gamma^2}{[\gamma^2+(\alpha-vk_1)^2]^{3/2}}$$

şeklinde bulunur. Gauss eğriliğinin sabit olması için, $k_1^2\gamma^2=0$ olmalıdır. Diğer taraftan Bishop çatısı için $k_1\neq 0$ olduğundan $\gamma=0$ olur. $c(s)=\int(\alpha t+\beta\xi_1+\gamma\xi_2) ds$ denkleminde eşitliğin her iki tarafının türevi alınırsa, $c'(s)=\alpha t+\beta\xi_1+\gamma\xi_2$ olur. Bu denklemde $\gamma=0$ eşitliği yerine yazılırsa; $c'(s)=\alpha t+\beta\xi_1$ bulunur. Elde edilen denklemde α ve β türevlenebilir fonksiyonları $\alpha=-k_1\varepsilon$ ve $\beta=-\varepsilon'+\eta$ şeklinde seçilirse ve gerekli düzenlemeler yapılırsa $c'(s)=-k_1\varepsilon t-\varepsilon'\xi_1+\eta\xi_1$ elde edilir. Buradan Bishop türev formülleri kullanılırsa

$c'(s) = -(\xi_1 \varepsilon)' + \eta \xi_1$ şeklinde yazılabilir. Her iki tarafın integrali alırsa ξ_1 vektörü tarafından üretilen regle yüzeyin dayanak eğrisi, $c(s) = -\xi_1 \varepsilon + \int \eta \xi_1 ds$ ve regle yüzeyin denklemi $\varphi(s, v) = (-\varepsilon + v)\xi_1 + \int \eta \xi_1 ds$ formunu alır.

Teorem 7: (1) $G_t: \varphi(s, v) = c(s) + v\xi_1(s)$ regle yüzeyi açılabilir $\Leftrightarrow G_t$ regle yüzeyi, $\varphi(s, v) = (\varepsilon + v)\xi_1 + \int \eta \xi_1 ds$ formundadır.

(2) $G_t: \varphi(s, v) = c(s) + v\xi_1(s)$ regle yüzeyinin Gauss eğriliği K sabit ise $K=0$ dir.

Regle yüzeyin ortalama eğriliği hesaplandığında,

$$H = \frac{\gamma\alpha' - \beta k_1 \gamma + \gamma^2 k_2 - k_2 \alpha^2 - \gamma' \alpha + v(-2\alpha k_1 k_2 + \gamma' k_1 + \gamma k_1') + v^2(k_1^2 k_2)}{2[\gamma^2 + (\alpha + vk_1)^2]^{3/2}}$$

elde edilir ve bulunan son ifade v parametresinin kuvvetleri şeklinde düzenlenirse, $A_0 = -\gamma\alpha' - \beta k_1 \gamma + \gamma^2 k_2 - k_2 \alpha^2 + \gamma' \alpha$, $A_1 = \gamma k_1' - 2k_1 k_2 \alpha - \gamma' k_1$ ve $A_2 = k_1^2 k_2$ olur.

Ortalama eğriliğin sabit olması için A_0 , A_1 ve A_2 katsayıları incelenmelidir. $A_2 = 0$ ise $k_1^2 k_2 = 0$ olduğu görülür. Fakat Bishop çatısında, $k_1 \neq 0$ ve $k_2 \neq 0$ olduğundan A_2 katsayısı sıfır olamaz. Bu durumda ortalama eğriliğin sabitliğinden bahsedilemez.

Sonuç 8: ξ_1 vektörü tarafından üretilen timelike regle yüzeyler minimal değildir.

Son olarak, dayanak eğrisi $c(s) = \int (\alpha t + \beta \xi_1 + \gamma \xi_2) ds$ olan ve ξ_2 vektör alanı tarafından üretilen regle yüzey için benzer işlemleri yapalım. Bu yüzey $G_t: \varphi(s, v) = c(s) + v\xi_2(s)$ formundadır. Verilen regle yüzeyin kısmi türevleri alınarak, I. ve II. temel formun katsayıları,

$$E = \langle \varphi_s, \varphi_s \rangle = -(\alpha + vk_1)^2 + \beta^2 + \gamma^2$$

$$G = \langle \varphi_v, \varphi_v \rangle = \langle \xi_1, \xi_1 \rangle = +1$$

$$F = \langle \varphi_s, \varphi_v \rangle = t(\alpha + vk_1) + \beta \xi_1 + \gamma \xi_2, \xi_1 = \gamma$$

$$e = \langle \varphi_{ss}, U \rangle = \frac{v^2(k_1 k_2^2) + v(-\beta k_2' + 2\alpha k_1 k_2 + k_2 \beta') - \beta \alpha' - \beta^2 k_1 - \beta \gamma k_2 + \alpha^2 k_1 + \alpha \beta'}{\sqrt{\beta^2 + (\alpha + vk_1)^2}}$$

$$g = \langle \varphi_{vv}, U \rangle = \left\langle 0, \frac{\beta t + (\alpha + vk_1) \xi_2}{\sqrt{\beta^2 + (\alpha + vk_1)^2}} \right\rangle = 0$$

$$f = \langle \varphi_{sv}, U \rangle = \left\langle +k_2 t, \frac{\beta t + (\alpha + vk_1) \xi_2}{\sqrt{\beta^2 + (\alpha + vk_1)^2}} \right\rangle = -\frac{\beta k_2}{\sqrt{\beta^2 + (\alpha + vk_1)^2}}$$

şeklinde elde edilir. Bulunan katsayılar kullanılarak regle yüzeyin Gauss eğriliği,

$$K = \frac{eg - f^2}{|EG - F^2|} = \frac{-k_2^2 \beta^2}{(\beta^2 + (\alpha + vk_1)^2)^2}$$

şeklinde bulunur. Gauss eğriliğinin sabit olması için $k_2^2 \beta^2 = 0$ ($k_2 \neq 0$) yani $\beta = 0$ olmalıdır.

$c(s) = \int (\alpha t + \beta \xi_1 + \gamma \xi_2) ds$ denkleminde eşitliğin her iki tarafının türevi alınır, $c'(s) = \alpha t + \beta \xi_1 + \gamma \xi_2$ olur. Bu denklemde $\beta = 0$ eşitliği yerine yazılırsa; $c'(s) = \alpha t + \gamma \xi_2$ bulunur. Elde edilen denklemde α ve γ

türevlenebilir fonksiyonları $\alpha = -k_2\varepsilon$ ve $\gamma = -\varepsilon + \eta$ şeklinde seçilirse ve $c'(s) = \alpha t + \gamma \xi_2$ denkleminde yerine yazılırsa, $c'(s) = -k_2\varepsilon t + (-\varepsilon + \eta)\xi_2$ elde edilir. Gerekli düzenlemeler ile $c'(s) = -k_2\varepsilon t - \varepsilon'\xi_2 + \eta\xi_2$ denkleminde bulunur. Buradan Bishop türev formülleri kullanılırsa, denklem $c'(s) = -(\xi_2\varepsilon)' + \eta\xi_2$ şeklinde yazılabilir. Her iki taraftan integral alındığında ξ_2 vektörü tarafından üretilen regle yüzeyin dayanak eğrisi $c(s) = -\xi_2\varepsilon + \int \eta\xi_2 ds$ ve regle yüzeyin denklemi $\varphi(s, v) = (-\varepsilon + v)\xi_2 + \int \eta\xi_2 ds$ şeklinde bulunur.

Teorem 9: (1) $G_t: \varphi(s, v) = c(s) + v\xi_2(s)$ regle yüzeyi açılabilirdir $\Leftrightarrow G_t$ regle yüzeyi, $\varphi(s, v) = (\varepsilon + v)\xi_2 + \int \eta\xi_2 ds$ formundadır.

(2) $G_t: \varphi(s, v) = c(s) + v\xi_2(s)$ regle yüzeyinin gauss eğriliği K sabit ise $K=0$ dir.

Regle yüzeyin ortalama eğriliği hesaplandığında,

$$H = \frac{-\beta\alpha' - \beta^2k_1 + \beta\gamma k_2 + \alpha^2k_1 + \alpha\beta' + v(-\beta k_2' + 2\alpha k_1 k_2 + k_2\beta') + v^2(k_1^2 k_2)}{2(\beta^2 + (\alpha + vk_1)^2)^{3/2}}$$

elde edilir ve bu ifade v parametresinin kuvvetleri şeklinde düzenlenirse; $A_0 = -\beta\alpha' - \beta^2k_1 + \beta\gamma k_2 + \alpha^2k_1 + \alpha\beta'$, $A_1 = -\beta k_2' + 2\alpha k_1 k_2 + k_2\beta'$ ve $A_2 = k_1^2 k_2$ bulunur. Ortalama eğriliğin sabit olması için A_0 , A_1 ve A_2 katsayıları incelenmelidir. $A_2 = 0$ ise $k_1^2 k_2 = 0$ olması gerekir. Fakat Bishop çatısında $k_1 \neq 0$ ve $k_2 \neq 0$ olduğundan A_2 katsayısı sıfır olamaz. Bu durumda ortalama eğriliğin sabitliğinden bahsedilemez. Dolayısıyla ξ_2 vektörü tarafından üretilen timelike regle yüzeyler minimal değildir.

Sonuç 10: ξ_2 vektörü tarafından üretilen timelike regle yüzeyler minimal değildir.

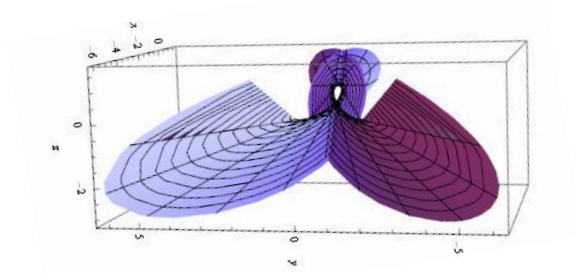
Örnek 2: 3-boyutlu Minkowski uzayında timelike bir eğri $\Gamma(s) = (\sinh\sqrt{5}s, \cosh\sqrt{5}s, 2s)$ olsun. Bu eğrinin $\xi_1(s)$ vektörü,

$$\xi_1(s) = \begin{pmatrix} \cos(2\sqrt{5}s)\sinh(\sqrt{5}s) - 2\sin(2\sqrt{5}s)\cosh(\sqrt{5}s), \\ \cos(2\sqrt{5}s)\cosh(\sqrt{5}s) - 2\sin(2\sqrt{5}s)\sinh(\sqrt{5}s), \\ -\sqrt{5}\sin(2\sqrt{5}s) \end{pmatrix}$$

şeklindedir. Eğer $\varepsilon = s$ ve $\eta = 1$ seçilirse, $\xi_1(s)$ vektörü tarafından üretilen, G_{ξ_1} timelike regle yüzeyin parametrik denklemi,

$$\varphi(s, v) = \begin{pmatrix} (s+v)(-\sin(2\sqrt{5}s)\sinh(\sqrt{5}s) + 2\cos(2\sqrt{5}s)\cosh(\sqrt{5}s)) + \frac{\cos(2\sqrt{5}s)\cosh(\sqrt{5}s)}{\sqrt{5}}, \\ (s+v)(-\sin(2\sqrt{5}s)\cosh(\sqrt{5}s) + 2\cos(2\sqrt{5}s)\sinh(\sqrt{5}s)) + \frac{\cos(2\sqrt{5}s)\sinh(\sqrt{5}s)}{\sqrt{5}}, \\ (s+v)(\sqrt{5}\cos(2\sqrt{5}s) - \frac{1}{2}\sin(2\sqrt{5}s)) \end{pmatrix}$$

elde edilir ve bu yüzeyin grafiği Şekil 2. de verilmiştir.



Şekil 2.

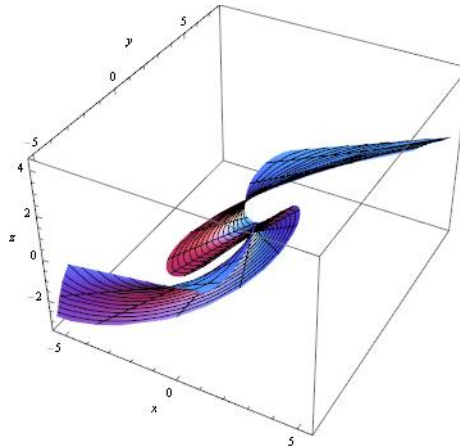
Ayrıca Γ eğrisinin $\xi_2(s)$ vektörü,

$$\xi_2(s) = \begin{pmatrix} -\sin(2\sqrt{5}s)\sinh(\sqrt{5}s) - 2\cos(2\sqrt{5}s)\cosh(\sqrt{5}s), \\ -\sin(2\sqrt{5}s)\cosh(\sqrt{5}s) + 2\cos(2\sqrt{5}s)\sinh(\sqrt{5}s), -\sqrt{5}\cos(2\sqrt{5}s) \end{pmatrix}$$

şeklinindedir. Eğer $\varepsilon=s$ ve $\eta=1$ seçilirse, $\xi_2(s)$ vektörü tarafından üretilen, G_{ξ_2} timelike regle yüzeyin parametrik denklemi,

$$\phi(s,v) = \begin{pmatrix} (s+v)(-\sin(2\sqrt{5}s)\sinh(\sqrt{5}s) + 2\cos(2\sqrt{5}s)\cosh(\sqrt{5}s)) + \frac{-\sin(2\sqrt{5}s)\cosh(\sqrt{5}s)}{\sqrt{5}}, \\ (s+v)(\sin(2\sqrt{5}s)\cosh(\sqrt{5}s) + 2\cos(2\sqrt{5}s)\sinh(\sqrt{5}s)) + \frac{-\sin(2\sqrt{5}s)\sinh(\sqrt{5}s)}{\sqrt{5}}, \\ (s+v)(\sqrt{5}\cos(2\sqrt{5}s) + \frac{1}{2}\sin(-2\sqrt{5}s)) \end{pmatrix}$$

elde edilir ve bu yüzeyin grafiği Şekil 3. de verilmiştir.



Şekil 3.

Not: Üç boyutlu Minkowski uzayında Bishop vektör alanları t, ξ_1 ve ξ_2 olan spacelike Γ eğrisi için, benzer sonuçlar elde edilir.

SONUÇ

Bu çalışmada, 3-boyutlu Minkowski uzayında Bishop çatısına göre null olmayan regle yüzeylerin Gauss ve ortalama eğriliklerinin sabitliği incelendi. Teğet vektör alanı tarafından üretilen sabit eğrilikli regle yüzeylerin $\varphi(s,v)=(\varepsilon+v)t+\int \eta t ds$ formuna sahip olduğu belirlendi. Ayrıca, bu regle yüzeylerin Gauss eğriliğinin sabit olmasının sadece Gauss eğriliğinin sıfır olması ile mümkün olduğu yani yüzeylerin açılabilir olduğu ispatlandı. Yine bu regle yüzeylerin minimal olması için Γ eğrisinin Bishop slant helis ve regle yüzeyin denkleminin $\varphi(s,v)=(\varepsilon+v)t+\int \eta t ds$ formunda olması gerektiği görüldü. Diğer taraftan ξ_1 ve ξ_2 vektörleri tarafından üretilen sabit eğrilikli regle yüzeylerin denkleminin $\varphi(s,v)=(\varepsilon+v)\xi_1+\int \eta \xi_1 ds$ formuna sahip olduğu ve bu regle yüzeylerin Gauss eğriliğinin sabit olmasının sadece Gauss eğriliğinin sıfır olması ile mümkün olduğu bir başka deyişle bu yüzeylerin açılabilir olduğu ispatlandı. Ayrıca ξ_1 ve ξ_2 vektörleri tarafından üretilen null olmayan regle yüzeylerin minimal olamayacağı görüldü.

KAYNAKLAR

- Abdel-All NH, Abdel-Baky RA, Hamdon FM, 2004. Ruled Surfaces with Timelike Rulings. Applied Mathematics and Computation, 147: 241-253.
- Ali AT, Aziz HSA, Sorour AH, 2013. Ruled Surfaces Generated by Some Special Curves in Euclidean 3-Space, 21: 285-294.
- Ali AT, 2017. Non-lightlike Ruled Surfaces with Constant Curvatures in Minkowski 3-Space. International Journal of Geometric Methods in Modern Physics, 15 (4): 1850068.
- Karacan MK, Bükçü B, 2008. "Bishop Frame Of The Timelike Curve İn Minkowski 3 Space", S.D.U. Fen-Edebiyat Fak. Fen Dergisi (E-Dergi), 3(1), 80-90.
- Bükçü B, Karacan MK, 2008. On the Slant Helices According to Bishop Frame of the Timelike Curve in Lorentzian Space. Tamkang Journal of Mathematics, 39 (3): 255-262.
- Hacısalıhoğlu HH, 1983. Diferensiyel Geometri. İnönü Üniversitesi Fen Edeb. Fak. Yayınları, Malatya-Türkiye.
- Masal M, Azak AZ, 2017.3-Boyutlu Öklid Uzayında Bertnard Eğriler ve Bishop Çatısı. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, , 21 (6): 1140-1145.
- O'Neill B, 1983. Semi-Riemannian Geometry with Applications to Relativity, Academic press.
- Orbay K, Aydemir İ, 2010. The Ruled Surfaces Generated by Frenet Vectors of a Curve in \mathbb{R}_1^3 . Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 6 (2): 155-160.
- Önder M, Uğurlu HH, 2013. Frenet Frames and İnvariants of Timelike Ruled Surfaces. Ain Shams Engineering Journal, 4: 507-513.
- Walrave, J. 1995. Curves and surfaces in Minkowski space. Doctoral Dissertation, Katholieke Universiteit Leuven Faculteit der Wetenschappen, 147, Belgium.
- Yerlikaya F, 2019. Minkowski Uzayında Eğrilerin Elde Edilmesi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmış).
- Yerlikaya F, Aydemir İ, 2020. Integrability for the Derivative Formulas of Rotation Minimizing Frame in Euclidean 3-Space and its Applications. International Electronic Journal of Geometry, 13:116-128.
- Yüksel N, 2013. The Ruled Surfaces According to Bishop Frame in Minkowski 3-Space, Abstract and Applied Analysis: 1-5.

Analysis of the Solutions of the Equation Modeled in the Field of Nonlinear Sciences

Tolga AKTÜRK^{1*}, Maşure Kübra DİKİCİ²

ABSTRACT: In this article, the travelling wave solutions of the fourth-order nonlinear Ablowitz-Kaup-Newell-Segur (AKNS) equation are investigated using the modified exponential function method (MEFM). This method is used to find analytical travelling wave solutions of the AKNS equation. The different travelling wave solutions are obtained by determining the appropriate values for the parameters. Two and three dimensional graphics of the different wave solutions found in this way are plotted with the help of Mathematica package program by determining the appropriate parameters.

Keywords: Modified exponential function method, fourth-order nonlinear Ablowitz-Kaup-Newell-Segur equation, travelling wave solutions.

¹Tolga AKTÜRK (**Orcid ID:** 0000-0002-8873-0424), Ordu University, Faculty of Education, Department of Mathematics and Science Education, Ordu, Turkey

²Maşure Kübra DİKİCİ (**Orcid ID:** 0000-0003-0533-052X), Ordu University, Faculty of Science and Letters, Department of Mathematics, Ordu, Turkey

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tolga AKTÜRK, e-mail: tolgaakturk@odu.edu.tr

INTRODUCTION

Solutions of the nonlinear partial differential are physically important. NPDEs, engineering, physics, medicine etc. each represents a scientific event in various fields of science. Therefore, various methods have been developed in the literature to obtain solutions of such equations. Some of them are as follows; G'/G method (Wang, et al., 2008), the Hirota's bilinear operators (Hirota, R. 1973), the F-expansion method (Zhou, et al., 2004), the Jacobi elliptic function expansion (Liu, et al., 2001), the Bernoulli sub-ODE method (Zheng, et al., 2011, Baskonus, et al., 2016), the sine-cosine method (Yusufoğlu, et al., 2008), Improved Bernoulli Simple Equation Method (Bulut, et al., 2016), New Function Method (Shen, et al., 2013, Sun, 2014, Bulut, et al., 2014) and so on. In addition to these methods in the literature, the modified exponential function method (MEFM) (Bulut, et al., 2014), was used in our study. In this study, we consider the fourth-order nonlinear AKNS water wave equation as follow (Bruz'on, et al., 2003, Helal, et al., 2013),

$$4u_{xt} + u_{xxx} + 8u_x u_{xy} + 4u_{xx} u_y - \gamma u_{xx} = 0. \quad (1)$$

Using the modified exponential function method (1), no study has been done on the travelling wave solutions of the equation. The solutions obtained help to understand physical events. In this study, MEFM is introduced in the second section, and in the third section, two and three-dimensional graphs are plotted by applying parameters of MEFM to the fourth-order AKNS equation and the solution functions obtained. Finally, in the fourth section, the comments of the results is given.

MATERIALS AND METHODS

We consider the following nonlinear partial differential equation (NPDE):

$$P\left(u, u_x, u_y, u_{xx}, u_{xy}, u_{xt}, u_{xxx}\right) = 0, \quad (2)$$

where $u(x, y, t)$ is unknown function, P is the general form of the given nonlinear partial differential equation. If the travelling wave solution (3) is applied to equation (2), nonlinear ordinary differential equation (4) is obtained.

Step 1: Consider the following travelling wave transformation:

$$u(x, y, t) = u(\xi), \quad \xi = k(ax + by - ct). \quad (3)$$

Substituting Eq. (3) into Eq. (2), gives the following nonlinear ordinary differential equation (NODE);

$$N\left(u, u', (u')^2, u'', \dots\right) = 0. \quad (4)$$

Step 2: We get that the following the solution;

$$u(\xi) = \frac{\sum_{i=0}^n A_i [e^{-\mathcal{G}(\xi)}]^i}{\sum_{j=0}^m B_j [e^{-\mathcal{G}(\xi)}]^j} = \frac{A_0 + A_1 e^{-\mathcal{G}} + \dots + A_n e^{-n\mathcal{G}}}{B_0 + B_1 e^{-\mathcal{G}} + \dots + B_m e^{-m\mathcal{G}}}, \quad (5)$$

where $A_i, B_j, (0 \leq i \leq m, 0 \leq j \leq n)$. m, n are positive integers that can be get by using the balancing procedure. The balancing procedure is the relationship between the highest order derivative term in the nonlinear ordinary differential equation and the highest grade nonlinear term.

$$g'(\eta) = e^{-g(\eta)} + k e^{g(\eta)} + \lambda. \quad (6)$$

Eq.(6) has the following families of solutions (Naher, et al., 2013):

Family 1: When, $\mu \neq 0, \lambda^2 - 4\mu > 0$,

$$g(\eta) = \ln\left(\frac{-\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2\mu} \tanh\left(\frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2}(\eta + EE)\right) - \frac{\lambda}{2\mu}\right). \quad (7)$$

Family 2: When, $\mu \neq 0, \lambda^2 - 4\mu < 0$,

$$g(\eta) = \ln\left(\frac{\sqrt{-\lambda^2 + 4\mu}}{2\mu} \tan\left(\frac{\sqrt{-\lambda^2 + 4\mu}}{2}(\eta + EE)\right) - \frac{\lambda}{2\mu}\right). \quad (8)$$

Family 3: When, $\mu = 0, \lambda \neq 0, \lambda^2 - 4\mu > 0$,

$$g(\eta) = -\ln\left(\frac{\lambda}{e^{\lambda(\eta + EE)} - 1}\right). \quad (9)$$

Family 4: When, $\mu \neq 0, \lambda \neq 0, \lambda^2 - 4\mu = 0$,

$$g(\eta) = \ln\left(-\frac{2\lambda(\eta + EE) + 4}{\lambda^2(\eta + EE)}\right). \quad (10)$$

Family 5: When, $\mu = 0, \lambda = 0, \lambda^2 - 4\mu = 0$,

$$g(\eta) = \ln(\eta + EE), \quad (11)$$

where, EE is a integral constant.

Step 3: If the derivatives required in the equation (4) are get in the equation (5) and replaced in the equation (4), an algebraic equation system is obtained. This system is solved using the Mathematica software program and solutions of the fourth-order nonlinear AKNS equation are obtained.

RESULTS AND DISCUSSION

In this section, we use the modified exponential function method (MEFM) to find the travelling wave solutions of the fourth-order nonlinear Ablowitz-Kaup-Newell-Segur (AKNS) equation,

$$4u_{xt} + u_{xxx} + 8u_x u_{xy} + 4u_{xx} u_y - \gamma u_{xx} = 0. \quad (12)$$

When we apply the travelling wave transformation as $u(x, y, t) = u(\xi)$, $\xi = k(ax + by - ct)$, we get the nonlinear ordinary differential equation (NODE) as following,

$$-4cau' - ca^3k^2u''' + 6a^2bk(u')^2 - \gamma a^2u' = 0. \quad (13)$$

In order to get the solution function, integrals must be taken in equation (13). However, if $u' = v$ is taken to make these integration processes more simple, equation (13) follows,

$$(-4c - \gamma a)av - ca^3k^2v'' + 6a^2bkv^2 = 0. \quad (14)$$

If the balancing procedure is applied to the equation (14), if $m=1$ is selected, $n=3$ is obtained. When the equation (14) is solved, v function is obtained. Using the $u' = v$ relation, the two sides of equality are integrated. In this way, u solution function is obtained for the equation (1),

$$u(\xi) = \frac{A_0 + A_1e^{-\theta} + A_2e^{-2\theta} + A_3e^{-3\theta}}{B_0 + B_1e^{-\theta}}. \quad (15)$$

Derivative terms required for equation (13) are obtained from equation (15). By substituting these terms (13) in the equation, an algebraic equation system consisting of coefficients is obtained. When this system of algebraic equations is solved, the following cases are obtained.

Case 1:

$$A_0 = -\frac{a^2k\gamma\mu B_0}{b(4 + a^2k^2(\lambda^2 - 4\mu))};$$

$$A_1 = -\frac{a^2k\gamma(\lambda B_0 + \mu B_1)}{b(4 + a^2k^2(\lambda^2 - 4\mu))};$$

$$A_2 = -\frac{a^2k\gamma(B_0 + \lambda B_1)}{b(4 + a^2k^2(\lambda^2 - 4\mu))};$$

$$A_3 = -\frac{a^2k\gamma B_1}{b(4 + a^2k^2(\lambda^2 - 4\mu))};$$

$$c = -\frac{a\gamma}{4 + a^2k^2(\lambda^2 - 4\mu)};$$

These coefficients are substituted in the equation (15) and the following conditions are get.

Family 1: When, $\mu \neq 0$, $\lambda^2 - 4\mu > 0$,

$$v_{1,1}(x,t) = \frac{a^2k\gamma(\lambda^2 - 4\mu)\mu \operatorname{Sech}\left[\frac{1}{2}\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}(EE + \xi)\right]^2}{b(4 + a^2k^2(\lambda^2 - 4\mu))\left(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 4\mu} \tanh\left[\frac{1}{2}\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}(EE + \xi)\right]\right)^2}, \quad (16)$$

is obtained. If the equation (16) is integrated, the solution function of equation (1) is as follows,

$$u_{1,1}(x,t) = \frac{a^2k\gamma\left(\lambda^3 - 4\lambda\mu + 2\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}\mu \sinh\left[\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}(EE + \xi)\right]\right)}{2b(4 + a^2k^2(\lambda^2 - 4\mu))\left(\lambda^2 - 2\mu + 2\mu \cosh\left[\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}(EE + \xi)\right]\right)}. \quad (17)$$

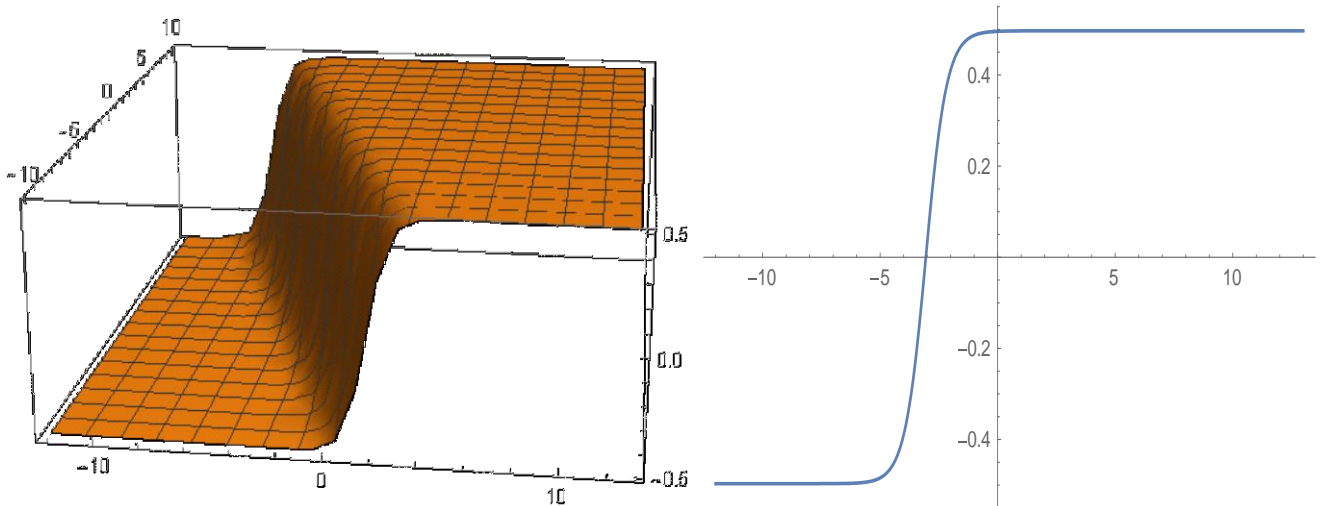


Figure-1: The 3D and 2D surfaces of Eq. (17) in $a = 1, b = 1, \gamma = 4, k = 1, \lambda = 3, \mu = 1, c = -\frac{4}{9}, y = 1, EE = 0.75$ and $t = 1$.

Family 2: When, $\mu \neq 0, \lambda^2 - 4\mu < 0,$

$$v_{1,2}(x,t) = \frac{a^2 k \gamma (\lambda^2 - 4\mu) \mu \sec \left[\frac{1}{2} \sqrt{-\lambda^2 + 4\mu} (EE + \xi) \right]^2}{b(4 + a^2 k^2 (\lambda^2 - 4\mu)) \left(\lambda - \sqrt{-\lambda^2 + 4\mu} \tan \left[\frac{1}{2} \sqrt{-\lambda^2 + 4\mu} (EE + \xi) \right] \right)^2}, \tag{18}$$

is obtained. If equation (18) is integrated, the solution function of equation (1) is get,

$$u_{1,2}(x,t) = \frac{a^2 k \gamma (\lambda^2 - 4\mu) \left(\lambda + \frac{2\mu \sin \left[\sqrt{-\lambda^2 + 4\mu} (EE + \xi) \right]}{\sqrt{-\lambda^2 + 4\mu}} \right)}{2b(4 + a^2 k^2 (\lambda^2 - 4\mu)) \left(\lambda^2 - 2\mu + 2\mu \cos \left[\sqrt{-\lambda^2 + 4\mu} (EE + \xi) \right] \right)}. \tag{19}$$

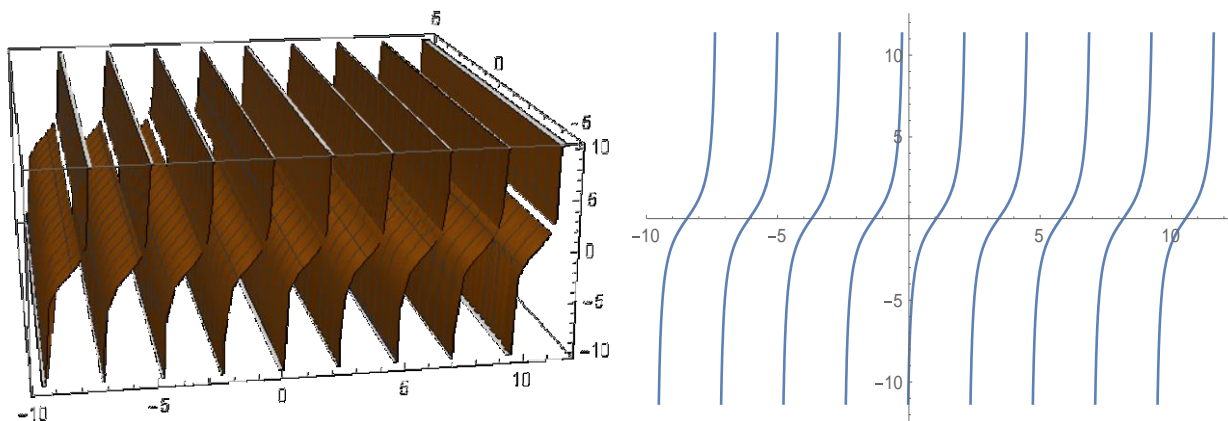


Figure-2: The 3D and 2D surfaces of Eq. (19) in $a = 1, b = 1, \gamma = 4, k = 1, \lambda = 1, \mu = 2, c = -\frac{4}{3}, y = 1, EE = 0.75$ and $t = 1$.

Family 3: When, $\mu = 0, \lambda \neq 0, \lambda - 4\mu > 0,$

$$v_{1.3}(x,t) = -\frac{a^2 k \gamma \left(4\mu + \lambda^2 \operatorname{Csch} \left[\frac{1}{2} \lambda (EE + \xi) \right]^2 \right)}{4b(4 + a^2 k^2 (\lambda^2 - 4\mu))}, \quad (20)$$

is get. If the equation (20) is integrated, the solution function of equation (1),

$$u_{1.3}(x,t) = \frac{a^2 k \gamma \left(-2\mu \xi + \lambda \coth \left[\frac{1}{2} \lambda (EE + \xi) \right] \right)}{2b(4 + a^2 k^2 (\lambda^2 - 4\mu))}. \quad (21)$$

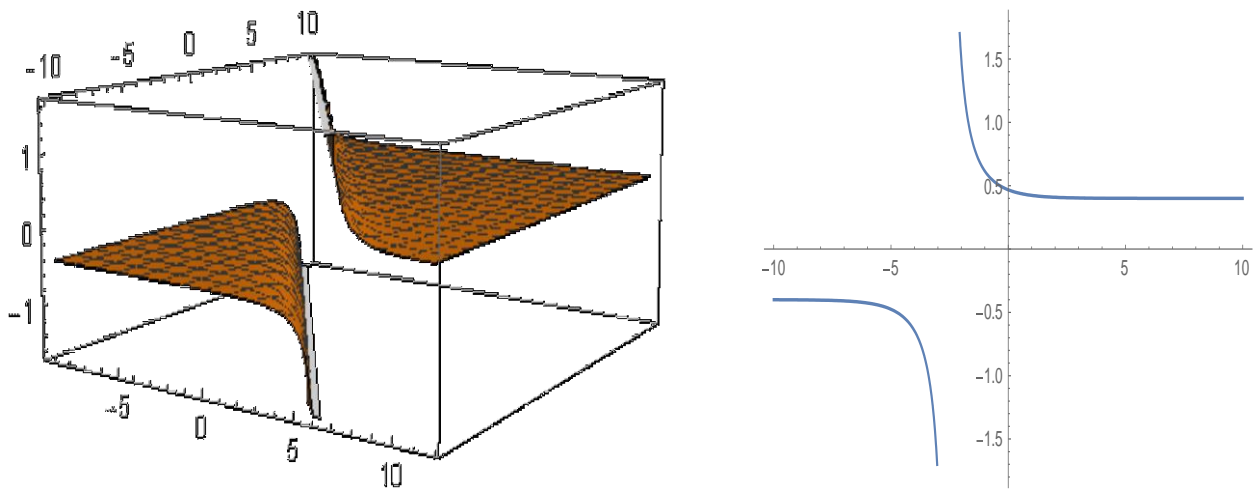


Figure-3: The 3D and 2D surfaces of Eq. (21) in $a = 1, \gamma = 4, k = 1, \lambda = 1, \mu = 0, b = 1, EE = 0.75, y = 1,$
 $c = -\frac{4}{5}$ and $t = 1.$

Family 4: $\lambda \neq 0, \mu \neq 0, \lambda^2 - 4\mu = 0,$

$$v_{1.4}(x,t) = \frac{a^2 k \gamma \left(-16\mu + \lambda (\lambda^2 - 4\mu) (EE + \xi) (4 + \lambda (EE + \xi)) \right)}{4b(4 + a^2 k^2 (\lambda^2 - 4\mu)) (2 + \lambda (EE + \xi))^2}, \quad (22)$$

is obtained . When the integrated form of equation (22) is written in equation (1), the solution function is get,

$$u_{1.4}(x,t) = \frac{a^2 k \gamma \left(\frac{4\lambda}{2 + \lambda (EE + \xi)} + \frac{(\lambda^2 - 4\mu)(2 + \lambda (EE + \xi))}{\lambda} \right)}{4b(4 + a^2 k^2 (\lambda^2 - 4\mu))}. \quad (23)$$

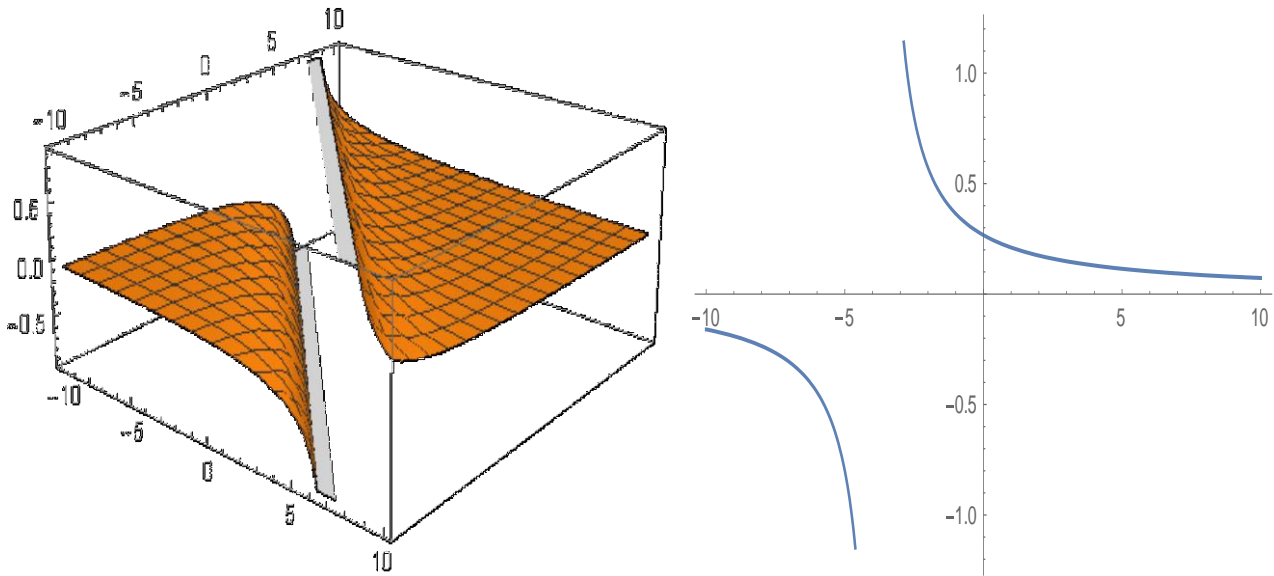


Figure-4: The 3D and 2D surfaces of Eq. (23) in $a = 1, \gamma = 4, k = 1, \lambda = 2, \mu = 1, c = -1, b = 1, EE = 0.75$ $y = 1$ and $t = 1$.

Family 5: $\lambda = 0, \mu = 0, \lambda^2 - 4\mu = 0,$

$$v_{1.5}(x, t) = -\frac{a^2 k \gamma (1 + (EE + \xi)(\lambda + \mu(EE + \xi)))}{b(4 + a^2 k^2 (\lambda^2 - 4\mu))(EE + \xi)^2} \tag{24}$$

If obtained equation (24) has been integrated, the solution function of equation is following,

$$u_{1.5}(x, t) = -\frac{a^2 k \gamma \left(-\frac{1}{EE + \xi} + \mu(EE + \xi) + \lambda \log[EE + \xi] \right)}{b(4 + a^2 k^2 (\lambda^2 - 4\mu))} \tag{25}$$

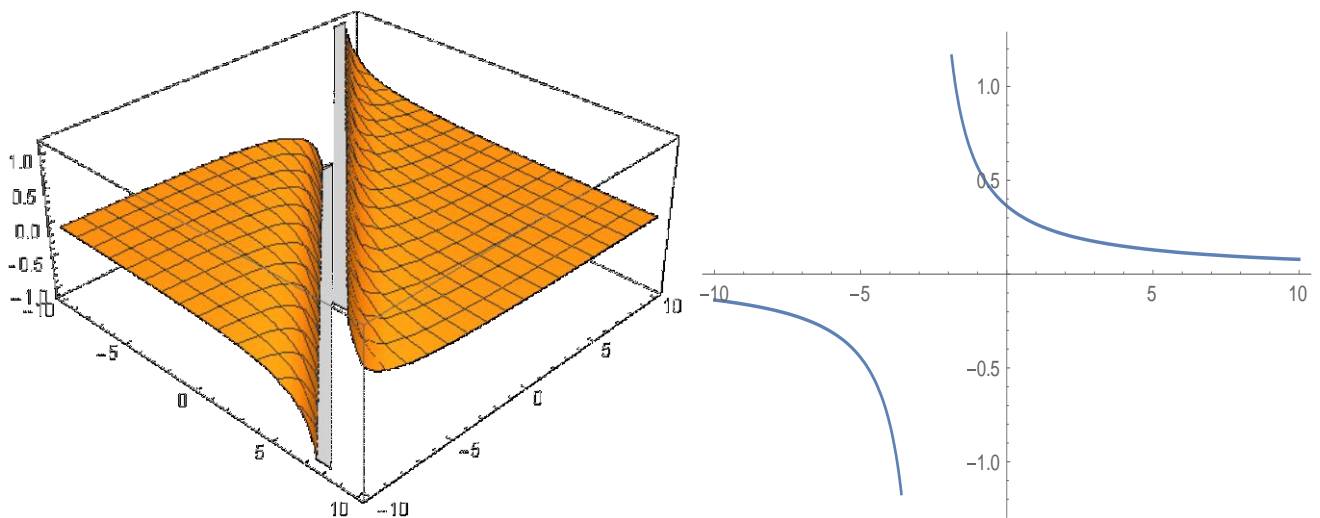


Figure-5: The 3D and 2D surfaces of Eq. (25) in $a = 1, \gamma = 4, k = 1, \lambda = 0, \mu = 0, b = 1, c = -1, y = 1,$ $EE = 0.75$ and $t = 1$.

Case 2

$$A_0 = \frac{ack\mu B_0}{b};$$

$$A_1 = \frac{ack(\lambda B_0 + \mu B_1)}{b};$$

$$A_2 = \frac{ack(B_0 + \lambda B_1)}{b};$$

$$A_3 = \frac{ackB_1}{b};$$

$$\gamma = -\frac{c(4 + a^2k^2(\lambda^2 - 4\mu))}{a};$$

Solutions written in the equation of these coefficients (15) are obtained.

Family 1: When, $\mu \neq 0$, $\lambda^2 - 4\mu > 0$,

$$v_{2,1}(x,t) = \frac{ack(-\lambda^2 + 4\mu) \left(\lambda + \frac{2\mu \sinh[\omega]}{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}} \right)}{2b(\lambda^2 - 2\mu + 2\mu \cosh[\omega])} \frac{ack(-\lambda^2 + 4\mu) \left(\lambda + \frac{2\mu \sinh[\omega]}{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}} \right)}{2b(\lambda^2 - 2\mu + 2\mu \cosh[\omega])}, \quad (26)$$

where $(\omega = \sqrt{\lambda^2 - 4\mu}(EE + \xi))$.

If equation (26) is integrated,

$$u_{2,1}(x,t) = \left(-\frac{ack(\lambda^3 - 4\lambda\mu + 2\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}\mu \sinh[\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}(EE + \xi)])}{2b(\lambda^2 - 2\mu + 2\mu \cosh[\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}(EE + \xi)])} \right). \quad (27)$$

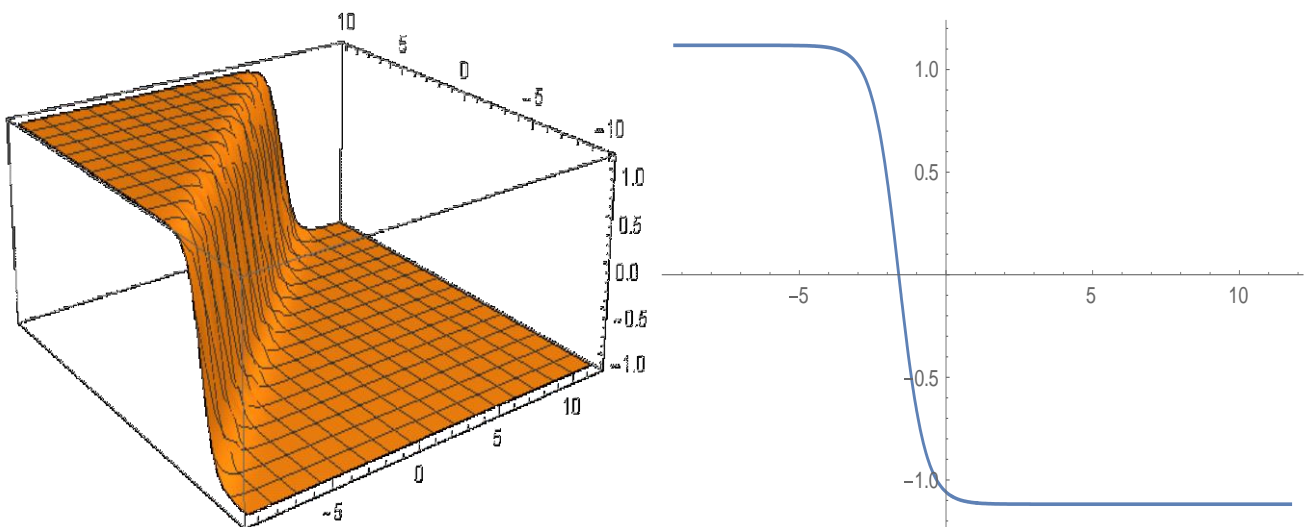


Figure-1: The 3D and 2D surfaces of Eq. (17) in $a = 1, b = 1, c = 1, k = 1, \lambda = 3, \mu = 1, \gamma = -9, EE = 0.75, y = 1$ and $t = 1$.

Family 2: When, $\mu \neq 0, \lambda^2 - 4\mu < 0,$

$$v_{2.2}(x,t) = \frac{ack(-\lambda^2 + 4\mu) \left(\lambda + \frac{2\mu \sin \left[\sqrt{-\lambda^2 + 4\mu} (EE + \xi) \right]}{\sqrt{-\lambda^2 + 4\mu}} \right)}{2b \left(\lambda^2 - 2\mu + 2\mu \cos \left[\sqrt{-\lambda^2 + 4\mu} (EE + \xi) \right] \right)}, \tag{28}$$

is obtained. If the equation (28) is integrated, the solution function of equation (1) is as follows,

$$u_{2.2}(x,t) = \left(- \frac{ack \left(\lambda^3 - 4\lambda\mu - 2\mu \sqrt{-\lambda^2 + 4\mu} \sin \left[\sqrt{-\lambda^2 + 4\mu} (EE + \xi) \right] \right)}{2b \left(\lambda^2 - 2\mu + 2\mu \cos \left[\sqrt{-\lambda^2 + 4\mu} (EE + \xi) \right] \right)} \right). \tag{29}$$

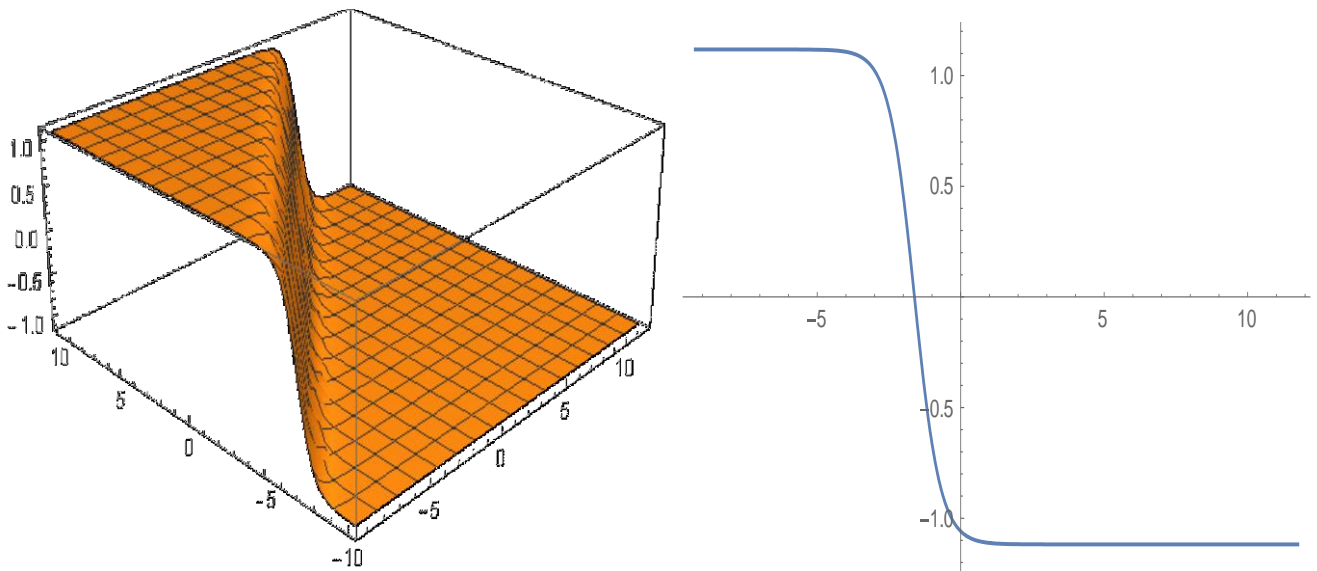


Figure-2: The 3D and 2D surfaces of Eq. (17) in $a = 1, b = 1, c = 1, k = 1, \lambda = 3, \mu = 1, \gamma = -1, EE = 0.75, y = 1$ and $t = 1.$

Family 3: When, $\mu = 0, \lambda \neq 0, \lambda - 4\mu > 0,$

$$v_{2.3}(x,t) = \left(\frac{ack\mu\xi - \frac{ack\lambda \coth \left[\frac{1}{2} \lambda (EE + \xi) \right]}{2b}}{b} \right), \tag{30}$$

is obtained. If the equation (30) is integrated, solution function u of equation (1) is get as follows,

$$u_{2.3}(x,t) = \left(\frac{ack \left(2\mu\xi - \lambda \coth \left[\frac{1}{2} \lambda (EE + \xi) \right] \right)}{2b} \right). \tag{31}$$

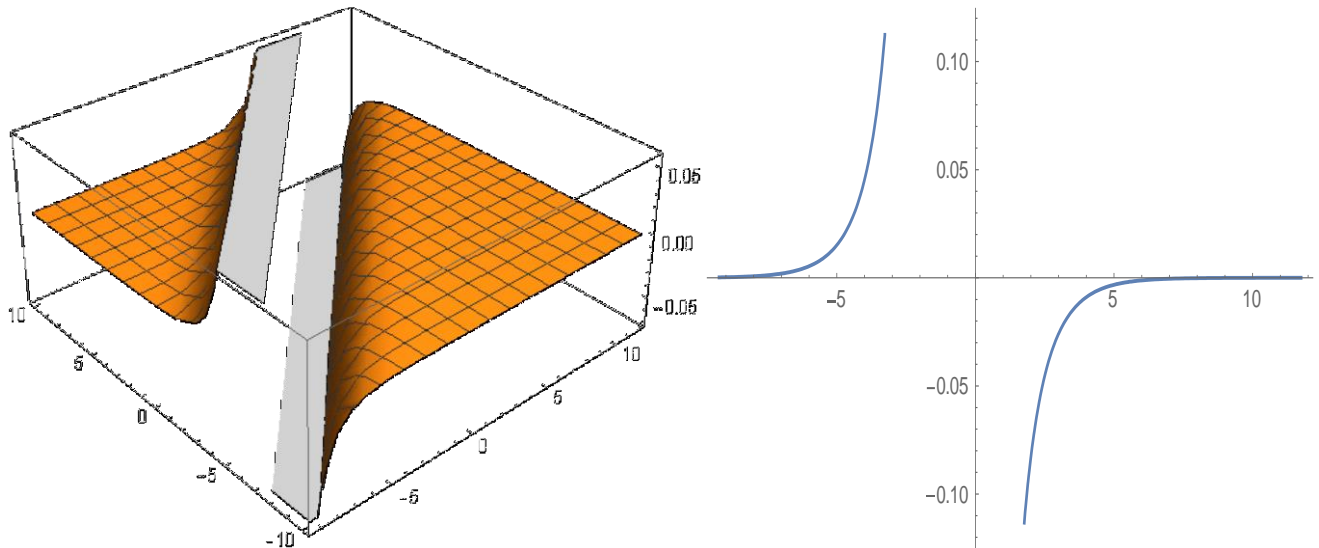


Figure-3: The 3D and 2D surfaces of Eq. (17) in $a = 1, b = 1, c = 1, k = 1, \lambda = 1, \mu = 0, \gamma = -5, EE = 0.75, y = 1$ and $t = 1$.

Family 4: When, $\lambda \neq 0, \mu \neq 0, \lambda^2 - 4\mu = 0,$

$$v_{2.4}(x,t) = \left(\frac{ack \left(4\mu\xi - \frac{4\lambda}{2 + \lambda(EE + \xi)} - \lambda(2 + \lambda(EE + \xi)) \right)}{4b} \right). \tag{32}$$

If the equation (32) is integrated, the solution function of equation (1) is obtained as follows,

$$u_{2.4}(x,t) = \left(\frac{ack \left(4\mu\xi - \frac{4\lambda}{2 + \lambda(EE + \xi)} - \lambda(2 + \lambda(EE + \xi)) \right)}{4b} \right). \tag{33}$$

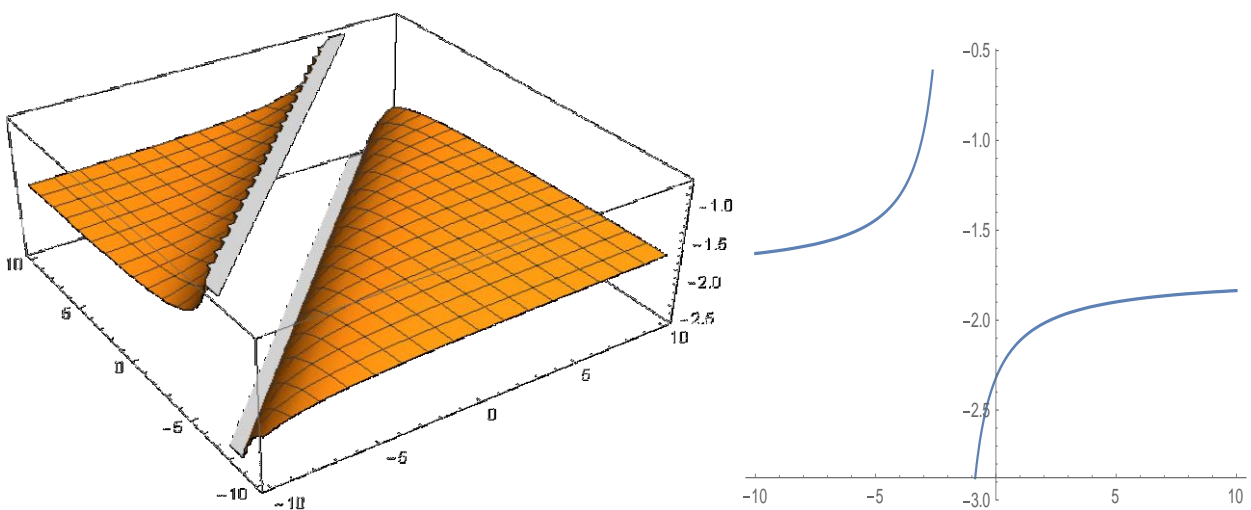


Figure-4: The 3D and 2D surfaces of Eq. (17) in $a = 1, b = 1, c = 1, k = 1, \lambda = 2, \mu = 1, \gamma = -4, EE = 0.75, y = 1$ and $t = 1$.

Family 5: When, $\lambda = 0, \mu = 0, \lambda^2 - 4\mu = 0,$

$$v_{2.5}(x, t) = \left(\frac{ack \left(1 + (EE + \xi)(\lambda + \mu(EE + \xi)) \right)}{b(EE + \xi)^2} \right), \quad (34)$$

If the equation (34) is integrated, the solution function of equation (1) is as follows,

$$u_{2.5}(x, t) = \left(\frac{ack \left(-\frac{1}{EE + \xi} + \mu(EE + \xi) + \lambda \log[EE + \xi] \right)}{b} \right). \quad (35)$$

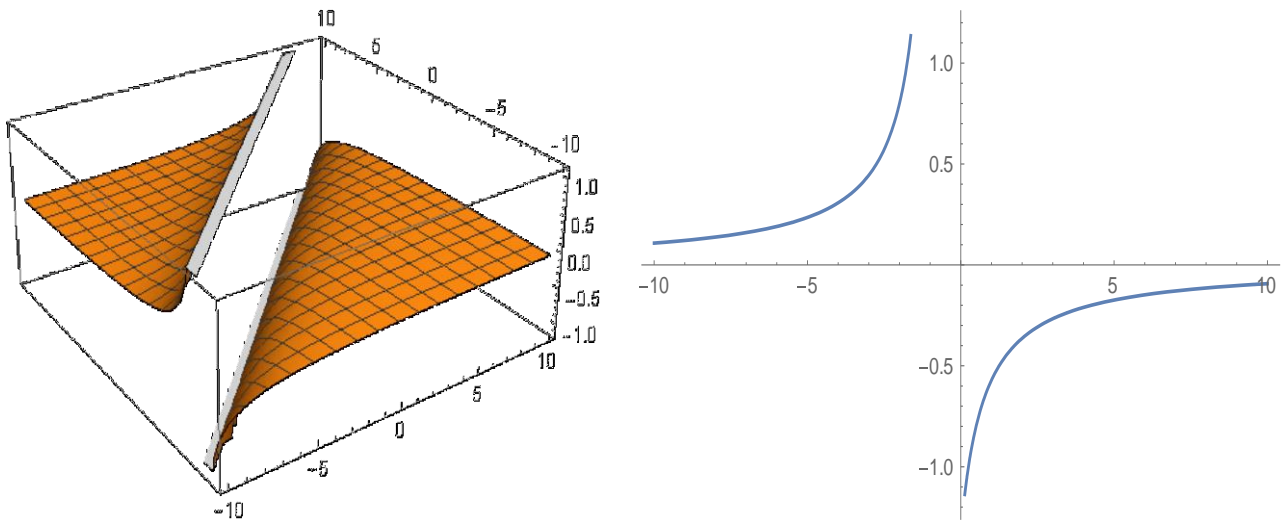


Figure-5: The 3D and 2D surfaces of Eq. (35) in $a = 1, b = 1, c = 1, k = 1, \lambda = 0, \mu = 0, \gamma = -4, EE = 0.75,$ $y = 1$ and $t = 1.$

CONCLUSION

In this article, some analytical solutions of the AKNS equation were obtained with the modified exponential function method. The modified exponential function method has been successfully used to reliable the significant wave solutions of nonlinear models; fourth-order nonlinear Ablowitz-Kaup-Newell-Segur equation. Whether the solutions obtained provide the AKNS equation was checked with the Mathematica program. Two and three dimensional graphs of the analytical solutions of the AKNS equation were plotted by determining the appropriate parameters with the same program. Various solutions of the AKNS equation are in the literature. Different wave solutions obtained using this effective method have been reported in this study. Otherwise, when we compare the results obtained by using this method in this article with the results obtained in [Helal, et al., 2013], some new travelling wave solutions have been introduced to the literature.

However, the solution functions in this study have not been obtained before.

REFERENCES

- Baskonus HM, Bulut H, 2016. Exponential prototype structures for (2+1)-dimensional Boiti-Leon-Pempinelli systems in mathematical physics. *Waves in Random and Complex Media*, 26(2): 189-196.
- Bruzón MS, Gandarias ML, Muriel C, Ramirez J, Romero FR, 2003. Traveling-Wave Solutions of the Schwarz–Korteweg–de Vries Equation in 2+ 1 Dimensions and the Ablowitz–Kaup–Newell–Segur Equation Through Symmetry Reductions. *Theoretical and mathematical physics*, 137(1): 1378-1389.
- Bulut H, Akturk T, Gurefe Y, 2015. An application of the new function method to the generalized double sinh-Gordon equation. *AIP Conference Proceedings*, 1648(1): 4 pp.
- Bulut H, Atas SS, Baskonus HM, 2016. Some novel exponential function structures to the Cahn–Allen equation. *Cogent Physics*, 3(1);1240886.
- Bulut H, Yel G, Başkonuş HM, 2016. An application of improved Bernoulli sub-equation function method to the nonlinear time-fractional burgers equation. *Turkish Journal of Mathematics and Computer Science*, 5: 1-7.
- Helal MA, Seadawy AR, Zekry MH, 2013. Stability analysis solutions for the fourth-order nonlinear Ablowitz-Kaup-Newell-Segur water wave equation. *Applied Mathematical Sciences*, 7(65-68): 3355-3365.
- Hirota R, 1973. Exact envelope-soliton solutions of a nonlinear wave equation. *Journal of Mathematical Physics* 14(7): 805-809.
- Liu S, Fu Z, Liu S, Zhao Q, 2001. Jacobi elliptic function expansion method and periodic wave solutions of nonlinear wave equations. *Physics Letters A* 289(1-2): 69-74.
- Naher H, Abdullah FA, 2013. New approach of (G'/G)-expansion method and new approach of generalized (G'/G)-expansion method for nonlinear evolution equation. *American Inst. of Physics Advances*, 3(3): 032116.
- Shen G, Sun Y, Xiong Y, 2013. New travelling-wave solutions for Dodd-Bullough equation, *J. Appl. Math.* 2013: 5 pp.
- Sun Y, 2014. New travelling wave solutions for Sine-Gordon equation, *J. Appl. Math.* 2014: 4 pp.
- Yusufoğlu E, Bekir A, Alp M, 2008. Periodic and solitary wave solutions of Kawahara and modified Kawahara equations by using Sine–Cosine method. *Chaos, Solitons & Fractals*, 37(4): 1193-1197.
- Zhang JL, Wang ML, Li XZ, 2006. The subsidiary ordinary differential equations and the exact solution of the higher order dispersive nonlinear Schrödinger equation. *Physics Letters A* 357(3): 188-195.
- Zheng B, 2011. A new Bernoulli sub-ODE method for constructing traveling wave solutions for two nonlinear equations with any order. *University Politechnica of Bucharest Scientific Bulletin Series A*, 73(3): 85-94.
- Zhou Y, Wang M, Miao T, 2004. The periodic wave solutions and solitary wave solutions for a class of nonlinear partial differential equations. *Physics Letters A* 323(1-2): 77-88.
- Wang M, Li X, Zhang, J, 2008. The (G'/G)-expansion method and travelling wave solutions of nonlinear evolution equations in mathematical physics. *Physics Letters A* 372(4): 417-423.

Antiproliferative and Antimicrobial Effects of Tris(2-hydroxyethyl)ammonium-Based Protic Ionic Liquids with Some Fatty Acids

Hüseyin AKBAŞ^{1*}, Aslı YILDIRIM², Şeyma MENEVŞE², Nazan GÖKŞEN³

ABSTRACT: Protic ionic liquids (PILs) that emerge as promising compounds are of great interest in industry and academia due to their easy synthesis and unique physical and chemical properties. This study aims to evaluate the antimicrobial activities against various microorganisms and the antiproliferative effects of four PILs namely, the PILs tris(2-hydroxyethyl)ammonium dodecanoate (TALA), tris(2-hydroxyethyl)ammonium tetradecanoate (TAMA), tris(2-hydroxyethyl)ammonium palmitate (TAPA) and tris(2-hydroxyethyl)ammonium stearate (TASA). Antiproliferative effects of PILs were investigated *in vitro* on breast cancer cell line (MDA-MB 231), colon cancer cell line (HT29) and prostate cancer cell line (PC3). Furthermore, minimum inhibitory concentrations (MIC) were established for PILs tested against rods, cocci and fungi. The antimicrobial activities of the PILs are strongly related to the alkyl chain length of the anion.

Keywords: Antibacterial effect, Antiproliferative effect, Protic ionic liquids

¹Hüseyin AKBAŞ (Orcid ID: 0000-0002-3013-9033), Tokat Gaziosmanpaşa University, Science and Arts Faculty, Department of Chemistry, Tokat, Turkey

²Aslı YILDIRIM (Orcid ID: 0000-0001-5674-2095), Şeyma MENEVŞE (Orcid ID: 0000-0003-4005-6933), Tokat Gaziosmanpaşa University, Graduate School of Natural and Applied Science, Department of Bioengineering, Tokat, Turkey

³Nazan GÖKŞEN (Orcid ID: 0000-0001-5269-1067), Tokat Gaziosmanpaşa University, Graduate School of Natural and Applied Science, Department of Biomaterials and Tissue Engineering, Tokat, Turkey

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Hüseyin AKBAŞ, e-mail: huseyin.akbas@gop.edu.tr

Geliş tarihi / Received: 26-02-2020

Kabul tarihi / Accepted: 12-05-2020

INTRODUCTION

Ionic liquids (ILs) are defined as salts synthesized by combining organic cations with a wide variety of anions (Vekeriya, 2017; Akbaş, 2020). ILs also have many advantages physicochemical properties, such as low vapor pressure, high ionic conductivity, excellent thermal and chemical stability, a low melting point and favorable solvation properties (Tawfik, 2015). One of the most important features of ILs is their environmentally friendly and non-hazardous structures due to their negligible vapor pressures. ILs have gained great attention lately as green chemicals rather than traditional solvents (Earle and Seddon, 2000).

ILs are of great interest among the scientific community in the race to synthesize new pharmaceuticals, because of its various potential biological, pharmacological and pharmaceutical applications (Hough et al., 2007; Egorova et al., 2017; Egorova and Ananikov, 2018). In addition, ILs can be used as potential antimicrobial agents against gram-positive and gram-negative bacteria in the control of contamination and infection by potential microorganisms (Garcia et al., 2013). There are also studies on the anti-cancer activity of ILs against a panel of human cell lines, including melanoma, leukemia and cancers of the prostate, lung, breast and colon cell lines (Malhotra and Kumar, 2010; Rezki et al., 2018). Significant antiproliferative effects were also observed against five different human cancer cell lines with ILs based on ampicillin and thiabendazolium salts (Ferraz et al., 2015; El Bourakadi et al., 2019).

In this study, the PILs (TALA, TAMA, TAPA and TASA) were synthesized by using an equimolar amount of tris(2-hydroxyethyl)amine and long alkyl chain carboxylic acids (fatty acids). In addition to using classical chemotherapeutic in cancer treatment, new drug targets are being investigated and new molecules are trying to be defined in order to increase the effectiveness of the treatment. *In vitro* research on cell lines is of great importance in determining the effect of the agents used on cancer cells and using them as candidate molecules for cancer treatment. Antiproliferative effects of these PILs with long alkyl chains were investigated *in vitro* on MDA-MB-231, PC-3 and HT-29 which is one of the most commonly used breast cancer cell lines in medical researches. We have also applied experimental tests to determine their antimicrobial activity, towards two Gram-negative and one Gram-positive bacteria.

MATERIALS AND METHODS

Tris(2-hydroxyethyl) amine, lauric, myristic, palmitic and stearic acids were purchased from commercial sources (Sigma-Aldrich, St. Louis) and used without further purification.

All PILs were prepared as previously reported and analytical data were in accordance with the literature (Toledo Hijo et al., 2017). The PILs were synthesized from stoichiometric amounts of the tris(2-hydroxyethyl)amine as cation and the organic acids with different numbers of carbon atoms (lauric, myristic, palmitic and stearic acids) as anions. In order to eliminate traces of water either coming from the starting materials or from the atmosphere, the resulting mixtures were heated at 80 °C for 48 h under vacuum.

Determination of Antiproliferative Effects of PILs

Antiproliferative effects of PILs were investigated on MDA-MB-231, PC3 and HT29 cell lines using MTT (3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide) assay. This test was performed at eleven concentrations (50-0.05 ($\mu\text{g mL}^{-1}$)) and cells were left in contact with synthesized compounds for 24 and 48 hours. MDA-MB-231 cells were maintained in Dulbecco's Modified Eagle's Medium (DMEM, BiochromAg, Germany) which was supplemented with 10% heat inactivated FBS and 1% l-glutamine, 100 IU mL^{-1} penicillin and 10 mg mL^{-1} streptomycin. Additionally, PC3 and HT29

cells were cultivated with RPMI 1640 (BiochromAg, Germany) containing 10% heat inactivated FBS. Cultured cells were grown in 96 well plates (Greiner Bio-One, Austria) and in a humidified atmosphere containing 5% CO₂ at 37 °C. 5-Fu was used as a positive control reagent. A stock solution of the compounds was filter sterilized prior to addition to the culture plate. In each experimental set, cells were plated in triplicates and exposed to synthesized molecules at 37 °C in a humidified atmosphere of 5% CO₂. After this incubation period, cells were incubated for three hours with an MTT solution (0,5 mg mL⁻¹). Following the MTT removal after these incubation period, DMSO (100 mL) was added and complete dissolution of formazan crystals was achieved. After dissolution of purple formazan products, the optical density of the colored solution was measured at 570 nm using a microplate reader (Tecan, Switzerland). In order to determine the inhibitory effects of compounds, the cell viability of control has been accepted as 100%, and the other results were proportioned according to the control value. Percentage of viable cells were calculated with the following formula: cell viability % = average absorbance of the treated group/ average absorbance of untreated group x 100 (İnan et al. 2018; İspir et al. 2019).

Differences in the mean values of measured activities were evaluated statistically using the SPSS 17.0 program (Univariate Variance Analyses and Pearson Correlation). Probability values of p < 0.05 were considered to be significant.

Determination of Antimicrobial Properties of PILs

The antimicrobial effects of PILs were examined with the aim of discovering new antimicrobial agents. In order to further explore the antimicrobial activity; we studied the minimal inhibitory concentrations (MIC) (Gökşen, 2016). The PILs of antibacterial activity was studied two gram-negatives (G-) bacteria and one gram-positive (G+) bacterium. Bacterial strains of *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923 (G+)), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853 (G-)), *Klebsiella pneumonia* (ATCC 15380 (G-)) were used. Cultures were grown in exponential phase in nutrient broth at 37 °C for 18 h, adjusted to a final concentration of 10⁴ CFU mL⁻¹ by diluting fresh broth medium. The MIC method was utilized for evaluating *in vitro* antimicrobial activity. The MIC is the lowest concentration of an antimicrobial agent that can inhibit the visible growth of a microorganism after overnight incubation. The study of solvent control indicated that 10% DMSO did not inhibit the growth of microorganisms. Also, in the present experiment, the concentration of DMSO was gradually decreased because of the two fold serial dilution assay (the working concentration was 5% and lower). So, the PILs synthesized for this study were solved in 10% DMSO and diluted from 50 mg mL⁻¹ to 0.78 mg mL⁻¹ in sterile 96-well microtiter plates containing broth medium for bacteria. After dilution of samples, intensity of bacteria was standardized to equal a 0.5 McFarland standard (approximately 5x10⁷ organisms mL⁻¹). The bacteria were then inoculated 96 well-plates and were incubated at 37 °C for 24 h. After 24 h, the optical density of each well was recorded at 600 nm using a microplate reader (Tecan, Switzerland). Each test included growth control and sterility control. The experiments were made three times, and the mean values were used.

RESULT AND DISCUSSION

The Antiproliferative Properties of PILs

Potential pharmaceutical applications of ILs were first demonstrated by studies on their toxicity and antimicrobial activity (Frizzo et al., 2013). The anticancer activity of ILs on breast cancer, prostate cancer and colon cancer cell lines has been studied. The effect on cell viability was observed depending on time and dose (Kumar and Malhotra, 2009) .

As a result of MTT cell viability experiments, it was found that PILs did not significantly affect cell viability on MDA-MB 231 (Figure 1). Only TAMA and TALA were inhibited cancer cell viability weakly at low doses (3.125 μM and 1.5625 μM) at first 24 hours. On the second day, compounds have been shown to lose their antiproliferative effects. At the 48th hour, TAPA compound was effective at low concentrations. Thus, it was determined that the antiproliferative effects of the tested compounds were much lower than the positive control group (5-Fu). On the other hand, they inhibited cancer cell proliferation weakly compared to the negative control (NC).

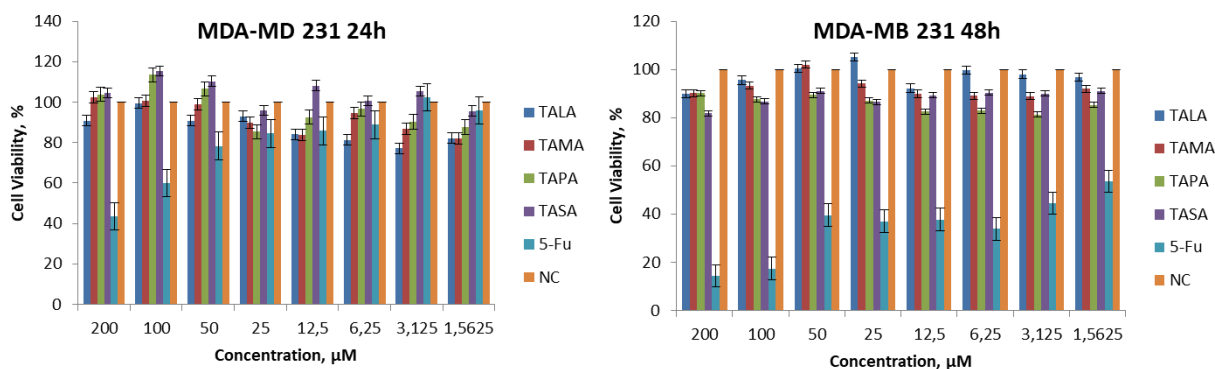


Figure 1. The effect of different concentration of PILs on the viability of MDA-MB 231 at 24 an 48 hours (5-Fu: 5- fluorouacil, NC: Negative control).

In the vitality analysis for HT-29 cell, it was seen that it has antiproliferative effect at the 24th hour, but it was too weak, while it was observed that test compounds were increased cell viability at the 48th hour. Based on these data, the differences between the groups were not significant (Figure 2).

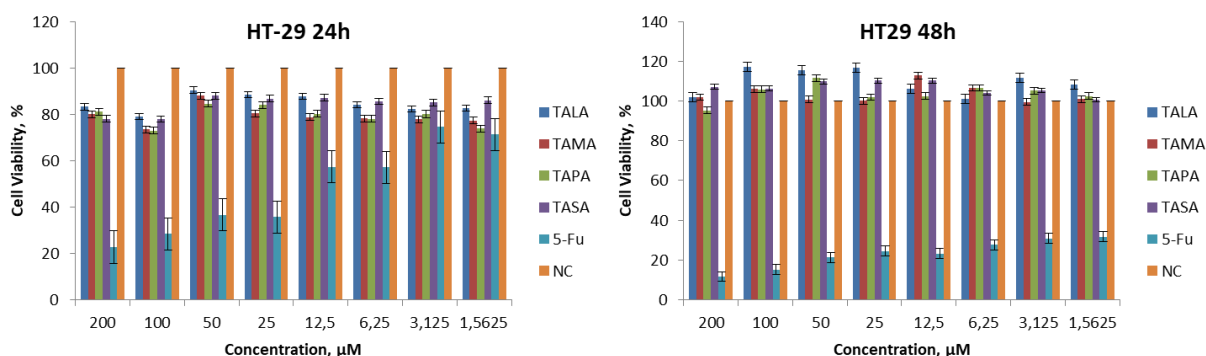


Figure 2. The effect of different concentration of PILs on the viability of HT-29 at 24 an 48 hours (5-Fu: 5- fluorouacil , NC: Negative control).

In the MTT analysis for PC3 cell, there was an increase and decrease in cell viability at 24 hours. While the first three concentrations showed a weak antiproliferative effect, it was observed that this antiproliferative effect decreased when low doses were used. When compared with the negative control (NC) at 48th hour, this situation varied considerably and it was seen that the antiproliferative effect of substances increases, and cell viability decreased up to 45% at 50 μM (Figure 3). The most effective concentration of 50 μM for these PILs in the PC3 cell was determined. It was determined that the antiproliferative effects of the tested compounds were much lower than the positive control group (5-

Fu). If ranking is made for the antiproliferative effects of the substances, it is interpreted as TASA, TAPA, TAMA and TALA.

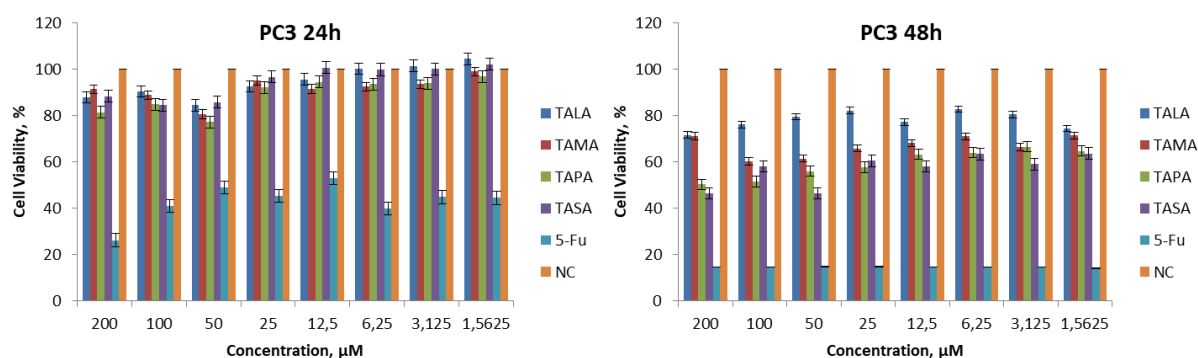


Figure 3. The effect of different concentration of PILs on the viability of PC-3 at 24 an 48 hours (5-Fu: 5- fluorouacil, NC: Negative control).

The Antimicrobial Activity of the PILs

ILs are classically liquid at room temperature, but some of them are solid which can be dissolved in an appropriate solvent to form aqueous solutions. However, aqueous solutions of any ILs are no ‘true’ IL because they no longer consist exclusively of the parent ions, however such solutions retain potent antimicrobial activity (Freemantle, 2009). Anions play a subsidiary role in antimicrobial activity and the anions of antimicrobial effects can be negligible in most reported studies. As anions are known ‘green solvent’ (Pendleton and Gilmore, 2015), it is very important to discover and synthesize anions that will exhibit antimicrobial activity.

In the present study, the antimicrobial activity test was based on the MIC recommended by Gökşen (2016). The antibacterial effects of the PILs were examined with the aim of discovering new possible antimicrobial agents for use against some bacteria. One of the synthesized compounds were inhibited cell growths of both G (+) and G (-) bacteria. The compound coded TALA was exhibited antimicrobial activity on all of the bacterial strain. TAMA, TAPA and TASA compounds were no exhibited antimicrobial activity at used concentration range. The results of MIC showed in Table 1.

Table1. The determined MIC values (mg mL^{-1}) of compounds ATCC bacterial strains.

Compounds	<i>S. aureus</i> (ATCC 25923)	<i>P. aeruginosa</i> (ATCC 27853)	<i>K. pneumonia</i> (ATCC 15380)
TALA	50	50	50
TAMA	-	-	-
TAPA	-	-	-
TASA	-	-	-

CONCLUSION

The biological activation of four PILs colon cancer, prostate cancer and breast cancer cell lines was investigated. These compounds appear to not significantly affect cell viability of colon and breast cancer cells. However, studies in prostate cancer cells show that its antiproliferative effect is quite good compared to the negative control.

Comparing the activity status of the substances in each cell line in these studied PILs, the results for MDA-MB 231 were found to be insignificant, and in this case there was no comparison of the efficacy status of any substances. For the HT-29 cell line, it can be listed as TAMA > TAPA > TASA >

TALA. The activity order of the items at the 24th and 48th hours in the PC-3 cell line changes. The chronic effectiveness of TASA, which has an acute efficacy compared to other substances, ranks first, with the opposite difference. When evaluated in general, it is seen that substances make more sense in chronic prostate cancer.

Without TALA compound, the PILs analyzed in the present study have no shown antimicrobial activity at used concentration range. The compound of TALA exhibited antimicrobial activity all of bacteria strain at a concentration of 50 mg mL⁻¹.

REFERENCES

- Akbaş H., 2020. Synthesis and spectroscopic characterization of protic tris (2-Hydroxyethyl)-ammonium ionic liquids. *JOTSCA*, 7: 19-24.
- Earle MJ and Seddon KR, 2000. Ionic liquids. Green solvents for the future. *Pure Appl Chem*, 72: 1391-1398.
- Egorova KS and Ananikov VP, 2018. Fundamental importance of ionic interactions in the liquid phase: A review of recent studies of ionic liquids in biomedical and pharmaceutical applications. *J Mol Liq*, 272: 271-300
- Egorova KS, Gordeev EG and Ananikov VP, 2017. Biological activity of ionic liquids and their application in pharmaceuticals and medicine. *Chem Rev*, 117: 7132-7189.
- El Bourakadi K, Merghoub N, Hicham G, El Mehdi Mekhzoum M, Essassi EM, Qaiss A and Bouhfid R, 2019. Synthesis, characterization and in vitro antiproliferative evaluation of ionic liquids based on alkyl-substituted thiabendazolium. *J Mol Liq*, 282: 63-69.
- Erden Tayhan S, Bilgin S and Elmastaş M, 2018. Evaluation of the wound healing potential of Teucroside. *Int J Chem Tech*, 2: 16-19.
- Ferraz R, Costa-Rodrigues J, Fernandes MH, Santos MM, Marrucho IM, Rebelo LPN, Prudêncio C, Noronha JP, Petrovski Z and Branco LC, 2015. Antitumor activity of ionic liquids based on ampicillin. *ChemMedChem*, 10: 1480-1483.
- Freemantle M, 2009. An introduction to ionic liquids. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.
- Frizzo CP, Gindri IM, Tier AZ, Buriol L, Moreira DN and Martins MAP, 2013. Pharmaceutical salts: solids to liquids by using ionic liquid design. *Ionic Liquids-New Aspects for the Future*. IntechOpen.
- Garcia MT, Ribosa I, Perez L, Manresa A and Comelles F, 2013. Aggregation behavior and antimicrobial activity of ester-functionalized imidazolium- and pyridinium-based ionic liquids in aqueous solution. *Langmuir*, 29: 2536-2545.
- Gökşen N, 2016. Antimicrobial activities of essential oils of *Mentha pulegium*, *Ziziphora tenuior* and *Echinophora tenuifolia* and its effect on biofilm. Gaziosmanpaşa University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Master Thesis (Printed).
- Hough WL, Smiglak M, Rodríguez H, Swatloski RP, Spear SK, Daly DT, Pernak J, Grisel JE, Carliss RD, Soutullo MD, Davis JH and Rogers RD, 2007. The third evolution of ionic liquids: active pharmaceutical ingredients. *New J Chem*, 31: 1429-1436.
- İnan A, İkiz M, Erden Tayhan S, Bilgin S, Genç N, Sayın K, Ceyhan G, Köse M, Dağ A and İspir E, 2018. Antiproliferative, antioxidant, computational and electrochemical studies of new azo-containing Schiff base ruthenium complexes. *New J Chem*, 42: 2952-2963.

- İspir E, İkiz M, Inan A, Sünbül AB, Erden Tayhan S, Bilgin S, Köse M and Elmastaş M, 2019. Synthesis, structural characterization, electrochemical, photoluminescence, antiproliferative and antioxidant properties of Co(II), Cu(II) and Zn(II) complexes bearing the azo-azomethine ligands. *J Mol Struct*, 1182: 63-71.
- Kumar V and Malhotra SV, 2009. Study on the potential anti-cancer activity of phosphonium and ammonium-based ionic liquids. *Bioorg Med Chem Lett*, 19: 4643-4646.
- Malhotra SV and Kumar V, 2010. A profile of the in vitro anti-tumor activity of imidazolium-based ionic liquids. *Bioorg Med Chem Lett*, 20: 581-585.
- Pendleton JN and Gilmore BF, 2015. The antimicrobial potential of ionic liquids: A source of chemical diversity for infection and biofilm control. *Int J Antimicrob Agents*, 46: 131-139.
- Rezki N, Messali M, Al-Sodies SA, Naqvi A, Bardaweel SK, Al-blewi FF, Aouad MR and El Ashry ESH, 2018. Design, synthesis, in-silico and in-vitro evaluation of di-cationic pyridinium ionic liquids as potential anticancer scaffolds. *J Mol Liq*, 265: 428-441.
- Tawfik SM, 2015. Simple one step synthesis of gemini cationic surfactant-based ionic liquids: Physicochemical, surface properties and biological activity. *J Mol Liq*, 209: 320-326.
- Toledo Hijo AAC, Maximo GJ, Costa MC, Cunha RL, Pereira JFB, Kurnia KA, Batista EAC and Meirelles AJA, 2017. Phase behavior and physical properties of new biobased ionic liquid crystals. *J Phys Chem B*, 121: 3177-3189.
- Vekeriya RL, 2017. A review of ionic liquids: Applications towards catalytic organic transformations. *J Mol Liq*, 227: 44-60.

Seed Morphology of Some Selected Species of Fabaceae, Polygonaceae, Primulaceae, Violaceae, Rosaceae and Phyllanthaceae

Seyran PALABAŞ UZUN^{1*}, Alper UZUN¹, Eda ALICI²

ABSTRACT: Determination of some seed characteristics provides important distinctive taxonomic data for species identification. In this study, seed characteristics such as measurements, weights and surface morphology of some unstudied taxa belonging to Fabaceae, Polygonaceae, Primulaceae, Violaceae, Rosaceae and Phyllanthaceae families native in Turkey, were investigated. Length and width of the seeds were measured with digital calliper using stereo-microscope. Seed weights were measured with Dikomsan precision scale. In addition to stereo microscope data, the surface ornamentation of the seeds was identified using scanning electron microscope. Accordingly, the smallest seeds were determined in *Anagallis foemina* (0.74 mm long and 1.11 mm wide) from Primulaceae family, while the largest seeds were determined in *Rosa boissieri* (4.95 mm long and 2.99 mm wide) from Rosaceae family. The heaviest seeds were measured in *Rosa boissieri* (0.0095 g) from the Rosaceae family and the slightest seeds in *Anagallis foemina* (0.0002 g) from the Primulaceae family. Mainly six types of the ornamentation were observed in SEM study of the species. The most common one was the reticulate ornamentation.

Keywords: Stereomicroscope measurements, scanning electron microscope (SEM), seed morphology, seed surface ornamentation

Fabaceae, Polygonaceae, Primulaceae, Violaceae, Rosaceae ve Phyllanthaceae Familyalarına Ait Bazı Taksonların Tohum Morfolojileri

ÖZET: Bazı tohum özelliklerinin belirlenmesi, türlerin tanımlanmasında önemli ayırt edici taksonomik veriler sağlar. Bu çalışma ile Türkiye'de yayılış gösteren Fabaceae, Polygonaceae, Primulaceae, Violaceae, Rosaceae ve Phyllanthaceae familyalarına ilişkin tohum özellikleri çalışılmamış bazı taksonların, en-boy ölçümleri, ağırlıkları ve yüzey morfolojileri çalışılmıştır. Bu çalışmada mikroskop ve milimetrik kumpas ile tohumların en-boy ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Dikomsan marka hassas terazi ile tohumların ağırlıkları tartılmıştır. Stereo mikroskop verilerine ek olarak, taramalı elektron mikroskopu ile tohumların yüzey ornamentasyonu belirlenmiştir. Buna göre, en küçük tohumlar Primulaceae familyasından *Anagallis foemina*'da (0,74 mm genişliğinde ve 1,11 mm uzunluğundadır), en büyük tohumlar ise Rosaceae familyasından *Rosa boissieri*'de tespit edilmiştir (2,99 mm genişliğinde ve 4,95 mm uzunluğundadır). En ağır tohumlar Rosaceae familyasından *Rosa boissieri*'de (0.0095 g) ve en hafif tohumlar Primulaceae familyasından *Anagallis foemina*'da (0.0002 g) ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Stereo mikroskop ölçümleri, taramalı elektron mikroskop (SEM), tohum morfolojisi, tohum yüzeyi ornamantasyonu

¹Seyran PALABAŞ UZUN (Orcid ID: 0000-0001-7090-4804), Alper UZUN (Orcid ID: 0000-0002-2577-7460), Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

²Eda ALICI (Orcid ID: 0000-0002-4324-7404), Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği ABD, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Seyran PALABAŞ UZUN, e-mail: seyran@ksu.edu.tr

Bu çalışma Eda ALICI'nın Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

Makale 03-05 Ekim 2019 tarihlerinde Kahramanmaraş'ta düzenlenen "III. International Mediterranean Forest and Environment Symposium" da sözlü olarak sunulmuştur.

INTRODUCTION

Seed, which will form the next generations in seed plants (Spermatophyta), consists of mainly three parts; embryo, seed coat (testa) and endosperm. The seed coat is the direct interface between the embryo and the external environment, it protects against pathogens and adverse conditions, contributes to the embryo nutrition and growth. The seeds of different species have evolved to a great extent in their structural and anatomical features and sizes. For example, the weight of an orchid seed may be 0.003 mg, while a coconut (*Lodoicea maldivica*) can be over 20 kg (Sliwinska and Bewley, 2014; Salmeri et al., 2015).

Seed is one of the most frequently used sources of information in defining plant species. Seed ornamentations provide information for the analysis of taxonomic relationships in many plant families, genera, and also critical taxa, because they are affected slightly by the environmental conditions as they develop and mature in fruits. Scanning electron microscope has been used to identify important seed coat models that can help identify species characteristics better (Barthlott, 1981; Heywood, 1971). During the last decades, using the scanning electron microscopes has greatly increased our knowledge about macro and micromorphological characteristics of seeds (Vural et al., 2008; Morozowska et al., 2011; Kantachot and Chantaranothai, 2011; Sliwinska and Bewley, 2014; Salmeri et al., 2015; Ninkaew et al., 2017).

Turkey is an important country with a richness of plant species (167 families, 1320 genera and 9996 plant species) in terms of seed sources (Güner et al., 2012). But still the seed surface morphology of some taxa in Turkish flora has not been studied.

The main aim of this study is to give information about the seed characteristics of unstudied taxa belonging to *Fabaceae*, *Polygonaceae*, *Primulaceae*, *Violaceae*, *Rosaceae* and *Phyllanthaceae* families. Determining the seed characteristics of the taxa examined in these families will provide useful data in advanced systematic evaluations. In this study, seed macro and micro morphological characteristics of the taxa were studied by both stereo and scanning electron microscope (SEM).

MATERIAL AND METHOD

The seeds for each taxa were collected from their wild growing conditions during the years 2001–2011, out of which were collectively represented in Table 1 (Palabaş Uzun and Anşın, 2006; Uzun and Terzioğlu, 2008; Palabaş Uzun and Terzioğlu, 2019).

For morphological examination, the polar (length) and equatorial (width) measurements of the seeds were obtained from digital calliper using stereo-microscope. The weights of the seeds were weighed out with Dikomsan precision scales and the average weights were calculated by dividing the number of seeds. For each species, measurements were made at 30 seeds sample.

Leica APO 8 stereomicroscope was used to determine the morphological characteristics and colours of the seeds. At the same time, micro photographs of seed samples were obtained with digital photographic system.

Scanning Electron Microscope (SEM) photographs of the seeds were taken in Microscopic Analysis Laboratory, Kahramanmaraş Sütçü İmam University, University-Industry-Public Cooperation Centre (ÜSKİM). Seed samples were mounted on metal stubs using double-sided sticky tape and gold coated so that they could become conductive and display on the electron microscope screen. Micro photographs were taken with EVO LS10 scanning electron microscope (SEM). For each taxa examined, micro photographs were obtained at different magnifications.

Terminology for descriptions of morphological characteristics of the seeds followed Bojnanský and Fargašová (2007).

Table 1. List of species analysed in the study

Taxa	Voucher locations	Collection Number
<i>Astragalus galegiformis</i> L. (Fabaceae)	A9 Artvin: city centre, roadside, 204 m, 06.06.2011	¹ KASOF: 1324
<i>Onobrychis oxydontha</i> var. <i>armena</i> (Boiss. & Huet) Aktoklu (Fabaceae)	A7 Trabzon: Maçka, Çeşmeler district, shrubby place, 800 m, 01.06.2008	² KATO: 17962
<i>Polygonum persicaria</i> L. (Polygonaceae)	A7: Trabzon, Şalpazarı, Sütçüyanı village, riparian area, 1080 m, 01.09.2005	KATO: 16359
<i>Primula megaseifolia</i> Boiss. & Balansa (Primulaceae)	A7: Trabzon, Şalpazarı, Kireçhane, <i>Fagus orientalis</i> forest, 1584 m, 18.05.2005	KATO: 16097
<i>Anagallis foemina</i> Mill. (Primulaceae)	A7: Trabzon, Şalpazarı, Sütçüyanı village, roadside, 1021 m, 11.07.2005	KATO: 16800
<i>Viola sieheana</i> W.Becker (Violaceae)	A7: Trabzon, Şalpazarı, Şihkiran, forest edge, 1200 m, 27.04.2005	KATO: 16228
<i>Rosa boissieri</i> Crep. (Rosaceae)	A7: Trabzon, Altındere V., Haliya Y., alpine vegetation, 1900 m, 07.09.2001	KATO: 15405
<i>Andrachne telephioides</i> L. (Phyllanthaceae)	A7 Trabzon: Maçka, Çeşmeler district, stony hill, 437 m, 07.07.2008	KATO: 17985

¹ KASOF: Herbarium of Faculty of Forestry, Kahramanmaraş Sütçü İmam University

² KATO: Herbarium of Faculty of Forestry, Karadeniz Technical University

RESULTS AND DISCUSSION

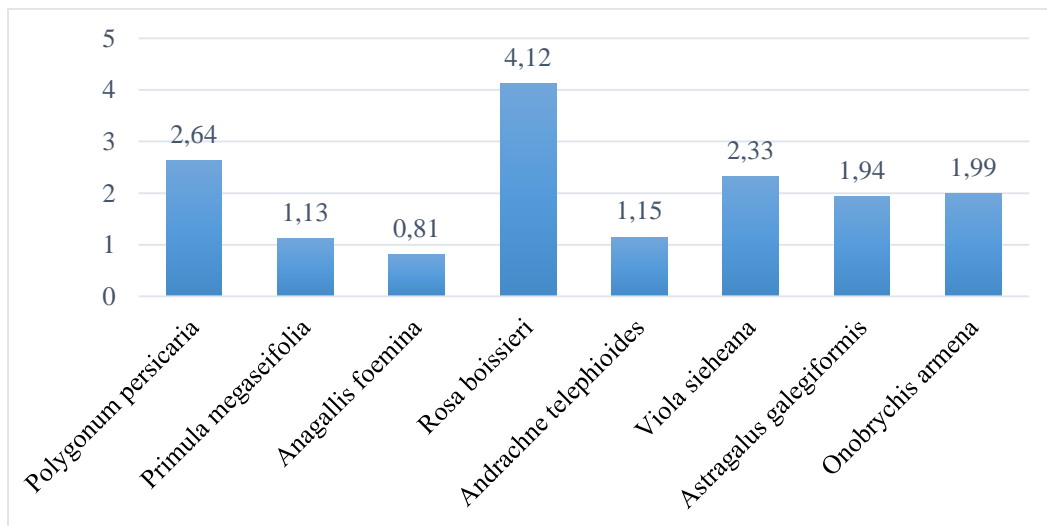
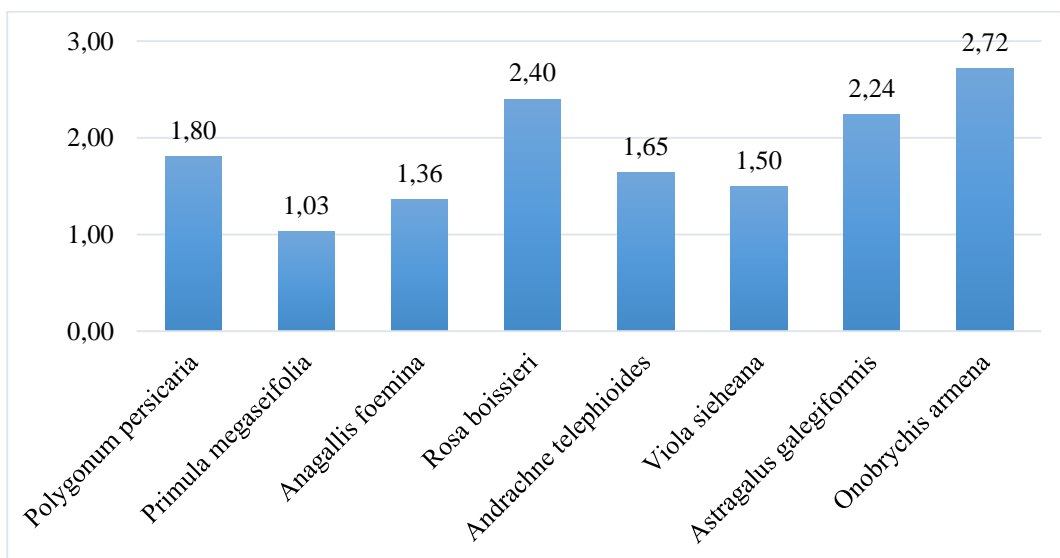
Macro and micro morphological data revealed that there were wide variations among taxa (Table 2). Data obtained from the study of stereomicroscope and SEM investigation are presented comparatively in Table 2. Colour, shape and size features of the seeds were macro morphologically examined. *Astragalus galegiformis* and *Onobrychis oxydontha* var. *armena*, both of species belong to Fabaceae, exhibited the same shape as reniform. The seeds of *Anagallis foemina* were polyquetrous while *Primula megaseifolia* seeds were circular although both are belong to Primulaceae family. The other taxa were elliptic-rhombic, plano-convex, obovoid and sectoroid shaped. When the seed colours of the studied taxa are compared, the three taxa are Brown (*Astragalus galegiformis*, *Anagallis foemina*, and *Rosa boissieri*), three taxa Dark Brown (*Onobrychis oxydontha* var. *armena*, *Primula megaseifolia* and *Andrachne telephioides*), one taxon is Black (*Polygonum persicaria*) and the last one is Straw-coloured (*Viola sieheana*).

Seed surfaces of the taxa were micro morphologically examined and surface ornamentations of them determined (Figures 4 and 5). *Astragalus galegiformis* (reticulate) and *Onobrychis oxydontha* var. *armena* (reticulate-foveolate), belonging to same family (Fabaceae) have reticulate-type ornamentation. Other surface ornamentations according to the species were determined as follows: *Polygonum persicaria* (undulate); *Primula megaseifolia* (reticulate-verrucose); *Anagallis foemina* (hyaline papillate); *Viola sieheana* (tangentially elongated-areolate); *Rosa boissieri* (slightly reticulate-scalariform) and *Andrachne telephioides* (rugose-foveolate). Micro morphological analysis, which conducted via scanning electron microscope, reveals that many structures or characteristics are differ from one another despite of look the same or similar in plants (Yiğit, 2016).

Table 2. Comparison of seed characteristics

Taxa	Seed shape	Ornamentation	Colour	Seed length (mm) min-max	Seed width (mm) min-max	Weight (g)
<i>Astragalus galegiformis</i>	reniform	reticulate	Brown	1.05-2.90	2.04-2.64	0.0028
<i>Onobrychis oxydontha</i> var. <i>armena</i>	reniform	reticulate-foveolate	Dark Brown	1.68-2.24	2.51-2.92	0.0055
<i>Polygonum persicaria</i>	elliptic-rhombic	undulate	Black	2.52-2.79	1.72-1.89	0.0014
<i>Primula megaseifolia</i>	circular	reticulate-verrucose	Dark Brown	0.87-1.46	0.63-1.82	0.0005
<i>Anagallis foemina</i>	polyquetrous	hyaline-papillate	Brown	0.74-0.86	1.11-1.45	0.0002
<i>Viola sieheana</i>	obovoid	elongated-areolate	Straw-coloured	2.24-2.42	1.46-1.55	0.0021
<i>Rosa boissieri</i>	plano-convex	slightly reticulate-scalariform	Brown	2.23-4.95	1.95-2.99	0.0095
<i>Andrachne telephioides</i>	sectoroid	rugose-foveolate	Dark Brown	1.09-1.20	1.62-1.68	0.0008

Most of the species have small seeds with the following length and width seen in figures 1 and 2.

**Figure 1.** Average seed length (mm) of the taxa**Figure 2.** Average seed width (mm) of the taxa

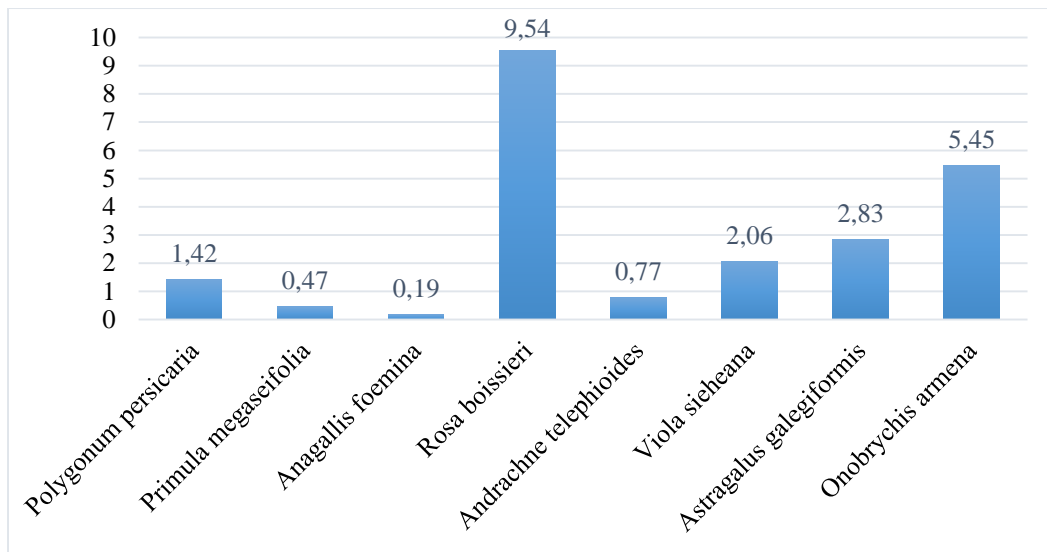


Figure 3. Thousand-seed weight (g) of taxa

In recent years, in addition to molecular and phylogenetic studies to determine the relationship of taxa the addition of morphological information plays a supporting role for understanding the phylogenetic relationships. Seed morphological structures generally show variations between taxa and these variations help to distinguish taxonomic levels (Morozowska et al. 2011; Karaismailoğlu et al. 2018)

In present study *Astragalus galegiformis* has reticulate surface ornamentation and the seed are reniform shaped. As a result of measurements, seed sizes were measured 1.05-2.90 mm in length and 2.04-2.64 mm in width. Shemetova et al. (2018) examined the seed morphology of 56 *Astragalus* taxa from North Asia and the seed shape of most of the examined taxa in the study was determined as reniform-globose. The surface ornamentation of the seeds was classified under two main types; as reticulate pattern and indistinctive reticulate pattern. Also Vural et al. (2008) examined the seed micromorphology of 48 species of *Astragalus* L., sections *Onobrychoidei* DC., *Uliginosi* Gray and *Ornithopodium* Bunge in Turkey that they identified two basic types of seed ornamentation: rugulate and rugulate-reticulate. When the studies are examined, it can be said that surface ornamentation is predominantly reticulate in *Astragalus* taxa, however, there are also some other ornamentation types such as rugulate, faveolate and pectinate.

Özkan et al. (2015) investigated the seed morphology of four *Onobrychis* taxa from Turkey. They identified the seed shape is reniform, seed surface ornamentation is irregular reticulate and seed colour is light brown to yellow for *Onobrychis tournefortii*. They measured the seed sizes of *Onobrychis tournefortii* 4.0-4.1 mm in length and 2.0-2.1 mm in width. In our study, the seed shape of the *Onobrychis oxydontha* var. *armena* was determined as reniform, the seed surface ornamentation was determined as reticulate-foveolate and the seed colour as dark brown. The seed size was measured 1.68-2.24 in length and 2.51-2.92 in width. When we compared both taxa, it is seen that the seeds have different colours and size but the seed shapes and surface ornamentations are similar.

Kantachot and Chantaranonthai (2011) have determined the seed morphology of 20 taxa belonging to *Polygonum* genus and identified the main surface patterns of ornamentation as smooth-undulate, a star-like form and reticulate-papillae. As compatible with the previous study seed surface ornamentation of *Polygonum persicaria* was determined as undulate. Mosaféri and Keshavarzi (2011) also examined

morphological characters of Polygonaceae tribes of Iran and they stated that the achene morphology of members of the Polygonaceae tribes have taxonomic importance for delimitation of tribes and genera.

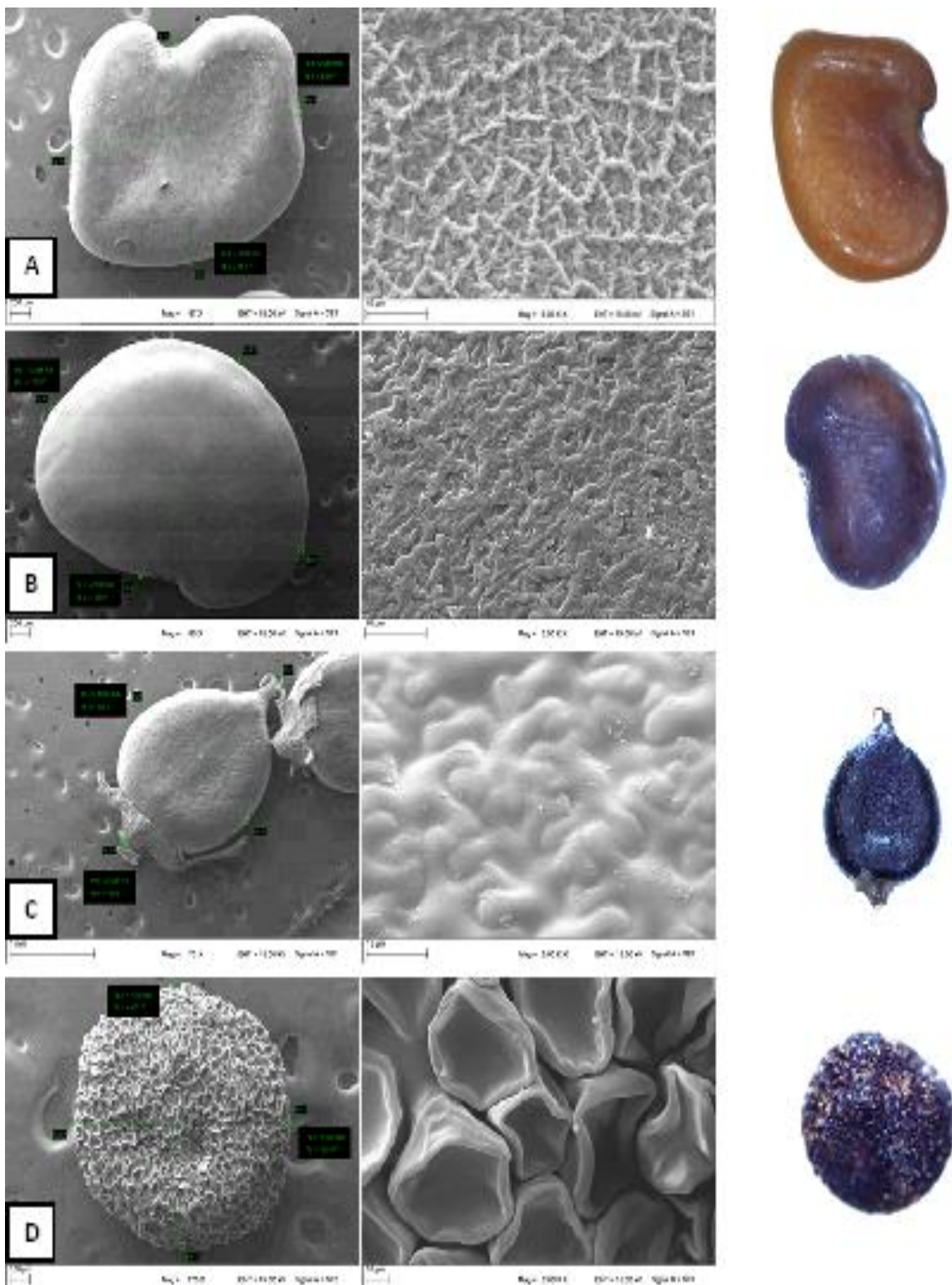


Figure 4. *Astragalus galegiformis* (A), *Onobrychis oxydontha* var. *armena* (B), *Polygonum persicaria* (C), *Primula megaseifolia* (D), (First column: Seed polar lengths and equatorial width; Second column: Seed ornamentation; and Third column: Stereomicroscope image and seed colour)

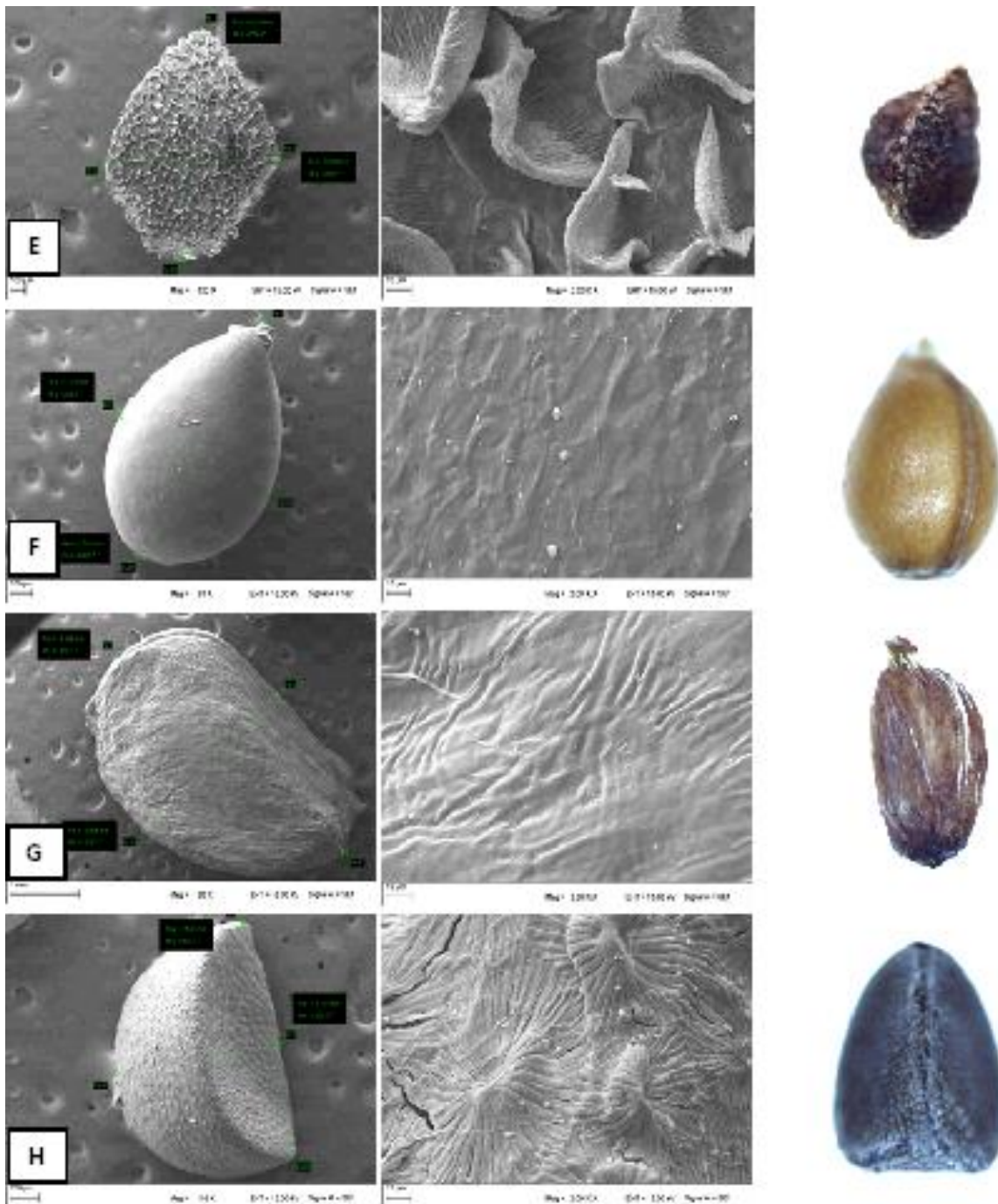


Figure 5. *Anagallis foemina* (E), *Viola sieheana* (F), *Rosa boissieri* (G), *Andrachne telephioides* (H). (First column: Seed polar lengths and equatorial width; Second column: Seed ornamentation; and Third column: Stereomicroscope image and seed colour)

Jagodzinski et al. (2016) investigated the achene morphology of most common *Rosa* taxa in Europe and stated that exocarp ornamentation is important in delimitation of *Rosa* taxa. They identified four types of ornamentation: scalariform, reticulate, reticulate-scalariform and very rarely smooth. In our study *Rosa boissieri* has slightly reticulate-scalariform ornamentation and seed sizes were measured 2.23-4.95 mm in length and 1.95-2.99 mm in width. Also Jagodzinski et al. (2016) stated that the length of the achenes have the highest taxonomic importance among the quantitative features for *Rosa* taxa.

Morozowska et al. (2011) investigated seed size and shape, seed coat surface pattern, seed coat thickness, and endosperm structure of *Primula elatior* and *Anagallis arvensis* in their study. They identified the seed shape is sectoroid in *Anagallis* while polyquetrous in *Primula*. In our study, we determined the seed shape of *Anagallis foemina* polyquetrous while circular in *Primula megaseifolia*. They also determined the seed surface ornamentation as tuberculate in *Anagallis* and *Primula* whereas we determined hyaline papillate in *Anagallis foemina* and reticulate-verrucose in *Primula megaseifolia*. Although the seeds in both studies are not exactly the same as surface ornamentation, they show similarity to each other.

CONCLUSIONS

There are a wide variety of seed shapes, colours, sizes and surface patterns. While some of these provide useful information in systematic evaluations such as surface ornamentation, others (seed sizes, weight) are affected by variables such as habitat condition, number of seeds in the plant and are not distinctive. Seed size is often adversely affected by the seed number. Like the seed sizes, the number of seeds produced by plants year after year may also differ. But the seed surface morphology seems to be a useful diagnostic character set at the interspecific level, especially for supporting the distinctive feature between similar species. In this study, seed surface morphology of eight taxa belonging to Fabaceae, Polygonaceae, Primulaceae, Violaceae, Rosaceae and Phyllanthaceae families were examined. Turkey has a great variety in terms of plant richness and such studies should be continued, based on a broader sampling of taxa, especially for taxonomically problematic ones. Finally, for this type of studies, mature stage of seeds should be taken into account. Because immature seeds can be cause incorrect measurements and evaluations.

ACKNOWLEDGEMENTS

Preliminary results of this study were presented in III. International Mediterranean Forest and Environment Symposium (IMFES2019) and published in proceedings. We thank the staff of Central Laboratory (ÜSKİM) for the works of Scanning Electron Microscope (SEM)

REFERENCES

- Barthlott, W, 1981. Epidermal and seed surface characters of plants: systematic applicability and some evolutionary aspect, Nord J Bot 1: 345-355.
- Bojnanský V, Fargašová A, 2007. Taxonomy and Morphology of Seeds. In Atlas of seeds and fruits of Central and East-European flora, Springer, pp. 1-954, Netherlands.
- Davis, P.H., 1965-85. Flora of Turkey and the East Aegean Islands, I-IX., University Press, Edinburgh.
- Güner, A, Aslan, S, Ekim, T, Babaç, MT (edlr), 2012. “*Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler)*”. Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını. İstanbul, Türkiye.
- Heywood, VH, 1971. Scanning Electron Microscopy. Systematic and Evolutionary Applications. London, UK: Academic Press.
- Jagodziński, AM, Maciejewska-Rutkowska, I, Wrońska-Pilarek, D, Bocianowski, J, 2016. Taxonomic significance of achene morphology of selected *Rosa* taxa (Rosaceae) occurring in Poland, Acta Societatis Botanicorum Poloniae, 85 (2):3493
- Kantachot, C, Chantaranonthai, P, 2011. Achene Morphology of *Polygonum* s.l. (*Polygonaceae*) in Thailand, Tropical Natural History 11(1): 21-28.

- Karaismailoğlu MC, Şık L, Çiftçi A, Erol O, 2018. Seed structure of some taxa of the genus *Crocus* L. (*Iridaceae*) series *Crocus*. Turkish Journal of Botany, 42: 722-731.
- Lundgren JG, 2009. Seed nutrition and defence. In: Lundgren JG, (ed.) Relationships of Natural Enemies and Non-prey Foods, Progress in Biological Control 7, Springer (Science + Business Media B.V.), pp. 183-209, New York, United States of America.
- Morozowska M, Czarna A, Kujawa M, Jagodzinski MA, 2011. Seed morphology and endosperm structure of selected species of Primulaceae, Myrsinaceae, and Theophrastaceae and their systematic importance. Plant Systematics and Evolution, 291: 159-172.
- Mosaferi, S, Keshavarzi, M, 2011. Micro-morphological study of *Polygonaceae* tribes in Iran, Phytologia Balcanica 17 (1): 89 –100.
- Ninkaew S, Pornpongrung P, Balslev H, Chantaranothai P, 2017. Seed morphology of nineteen *Crotalaria* L. (*Fabaceae*) species in Thailand. Thai Forest Bulletin (Botany), 45(1): 47-57.
- Özkan M, Aktoklu E, Özdemir C, 2015. Seed Morphology in *Onobrychis* Miller Section *Hymenobrychis* DC. from Turkey, Planta Daninha, Viçosa. MG, 33(4): 699-705.
- Palabaş Uzun S, Anşın R, 2006. Subalpine and Alpine Flora of Altındere Valley (Maçka, Trabzon). Turkish Journal of Botany, 30: 381-398.
- Palabaş Uzun S, Terzioğlu S, 2019. Sisdağı (Şalpazarı/Trabzon) ve Yöresinin Florası. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7: 1523-1573.
- Shemetova, T, Erst, A, Wang, W, Xiang, K, Vural, C, Aytaç, Z, 2018. Seed morphology of the genus *Astragalus* L. from North Asia, Turk J Bot 42: 710-721.
- Sliwiska E, Bewley DJ, 2014. Overview of Seed Development, Anatomy and Morphology, Seeds. In: Gallagher RS, (ed.) The Ecology of Regeneration in Plant Communities, CAB International, 3rd Edition, p. 320.
- Uzun A, Terzioğlu S, 2008. Vascular Flora of Forest Vegetation in Altındere Valley (Maçka-Trabzon). Turkish Journal of Botany, 30 (5): 381-398
- Vural C, Ekici M, Akan H, Aytaç Z, 2008. Seed morphology and its systematic implications for genus *Astragalus* L. sections *Onobrychoidei* DC., *Uliginosi* Gray and *Ornithopodium* Bunge (*Fabaceae*). Plant Systematics and Evolution, 274: 255-263.
- Yiğit N, 2016. Micromorphological Studies on Plants and Their Importance, In; Efe R, Matchavariani L, Yaldır A, Levai L, (eds.) Developments in Science and Engineering, ISBN 978-954-07-4137-6, Sofia.

Arazi Sanatı Sanal Uygulaması ile Farkındalık Yaratma: Burdur Gölü ÖrneğiHatice YILDIRIM¹, Hüseyin Samet AŞIKKUTLU^{2*}, Latif Gürkan KAYA²

ÖZET: Çalışma; Türkiye’de uzun yıllar içerisinde bilinçsiz su kullanımına, çevreye zararlı atıklar ile bu atıkların su kaynaklarına arıtılmadan verilmesine, göl sularının kirlenmesine ve su seviyesinin hızlı bir şekilde azalmasına dikkat çekmek amacıyla yapılmıştır. Çalışmada, özellikle göl sularının çekilmesi ve su kirliliği üzerine farkındalık oluşturmak için arazi sanatı kullanılmıştır. Ülke genelinde kurumaya başlamış çok sayıda göl bulunmaktadır ve bu durum en çok Göller Yöresi’nde görülmektedir. Bu nedenle, su seviyesinin hızla azalmasının ve su kirliliğinin çok yoğun olarak görüldüğü Burdur Gölü çalışma alanı olarak seçilmiştir. Arazi sanatı önerilerinin oluşturulması için bir görsel tasarım programı çalışmanın gerçekleşmesinde araç olarak kullanılmıştır. Sonuç olarak, arazi sanatı sanal uygulaması ile Burdur Gölü ve benzer nitelikli alanlara dikkat çekilerek farkındalık yaratılması, ayrıca koruma-kullanma dengesi gözetilerek sürdürülebilirliğin sağlanması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Arazi sanatı, Burdur Gölü, sanal tasarım.

To Raise Awareness with Land Art Virtual Application: The Case Study of Burdur Lake, Turkey

ABSTRACT: The study was carried out in order to take attention to the unconscious water use, the introduction of hazardous wastes and these wastes to water sources without treatment, the contamination of the lake waters and the rapid reduction of the water level in Turkey over many years. Land art was used in the study to raise awareness, especially on lake water withdrawal and water pollution. There are many lakes that have begun to dry up throughout the country, and this is most common in the Lake District. For this purpose, Burdur Lake, where the water level is rapidly decreasing and water pollution is very intense, has been chosen as the study area. A visual design program for the creation of land art proposals has been used as a tool in the realization of the work. As a result, it is aimed to raise awareness by drawing attention to Burdur Lake and similar qualified areas with the virtual application of land art, additionally ensure sustainability by taking care of conservation-use balance.

Keywords: Land Art, Burdur Lake, virtual design.

¹Hatice YILDIRIM (Orcid ID: 0000-0002-2739-3137), Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekansal Planlama ve Tasarım Anabilim Dalı, Burdur, Türkiye

²Hüseyin Samet AŞIKKUTLU (Orcid ID: 0000-0002-3518-7202), Latif Gürkan KAYA (Orcid ID: 0000-0001-8033-1480), Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Burdur, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Hüseyin Samet AŞIKKUTLU, e-mail: sasikkutlu@mehmetakif.edu.tr

GİRİŞ

Günümüz koşullarında doğa ve insan arasındaki güçlü ilişki sanayileşme ve teknolojik gelişmelerle birlikte eski gücünü kaybetmeye başlamıştır. Yakın tarihe baktığımızda 19. yüzyılda endüstrileşmeyle beraber tüketim hızlanmış ve sanayi devriminde ilerleyen teknolojik gelişmelerle insan göçü şehirleşmeyi başlatmıştır. Şehir yaşamının bilinçsiz ve kontrolsüz yayılımıyla beraber yanlış sanayileşme sonucunda doğaya karşı tehlike oluşturan etmenler gün geçtikçe önlenemez boyutlara ulaşmıştır. Doğal kaynakların hızla tüketilmesi, fabrika atıklarının arıtılmadan doğaya salınması, tarımda kullanılan kimyasal ilaçların kontrolsüz artması, yanlış yapılaşma ve kirlilik doğayı tehdit eden unsurların başında gelmektedir. Doğaseverler ve sanatçılar bu doğa katliamına karşı eylemler ve girişimlerde bulunarak çevresel farkındalık oluşturmaya çalışmaktadır. Sanatın farkındalık oluşturmak için araç olarak kullanıldığı çalışmalar yapılmıştır. Sanat kelimesi görsel sanatların ifade edilmesinde kullanılmaktadır. Günümüzde sanatın ifade ettiği anlam batı kültürünün de etkisiyle halk arasında daha geniş anlamlara karşılık gelmektedir. İngilizce’de ki ‘art’ (‘artificial’ = yapay), Almanca’da ki ‘Kunst’ (‘künstlich’ = yapay), Türkçe’de ki Arapça kökenli ‘sanat’ (‘suni’ = yapay) sözcükleri anlam bakımından yapaylığa vurgu yapmaktadır. Sanat geçmişten günümüze kadar her dönemde farklı şekillerde ve farklı amaçlarla var olmuştur. İlk insanların büyü ve dini ritüeller amacıyla mağara duvarlarına resimler çizdikleri öngörülmektedir. İnsanlığın doğuşundan günümüze kadar geçirdiği evrimler yaşama biçimlerini, yaşama bakışlarını, sanat biçimlerini ve sanata bakışlarını değiştirmiştir. Sanat kavramı nesnel ve öznel yaklaşımlara göre farklı açıklanmaktadır. Nesnel yaklaşımda sanat, toplumsal etkilerle, öznel yaklaşımda ise salt bir bireysellik ile ilişkilendirilmektedir (Anonim, 2019a). Sanatın farklı türleri birbirinden etkilenir ve beraber tamamlayıcı olurlar. Her sanat dalı birbiriyle ilişkilidir ve karşılıklı olarak etkileşim halindedirler (Celant, 2004; Çiçek ve Kaya, 2016). Sanat; yapıtının düşünce, duygu ve davranış özgürlüğünü dile getirir. Bu nedenlerle sanatı tanımlamaya çalışmanın gereksiz olduğu ifade edilebilir. Ayrıca sanat doğası gereği tanımı reddetmektedir ve belli kalıplara sokulamamaktadır (Armağan, 1992).

Sanatçılar içinde direnişin sembolü haline gelen yeni bir akım ortaya çıkmıştır ve bu akım “Arazi Sanatı” olarak tanımlanmaktadır. Arazi sanatı, 1960’larda Amerika’da ortaya çıkmış ve 1970’lerde Avrupa ülkelerinde ki sanatçıları da etkilemiştir. Türkiye’de bu sanatın uygulamaları 2000’lerden sonra görülmektedir (Mergin, 2018). Arazi sanatı, izole ortamlarda belli bir kesime sunulan sanatın, ticaretinin yapılmasına ve salon, galeri, müzayede, müze ve duvarlarla sınırlanmasına karşı bir çalışma oluşturmaktadır. Ayrıca arazi sanatı, sanatın tüm disiplinlerini kullanarak heykel, resim, mimari, peyzajla ortak yapıtlar sunmaktadır (Aydın, 2014).

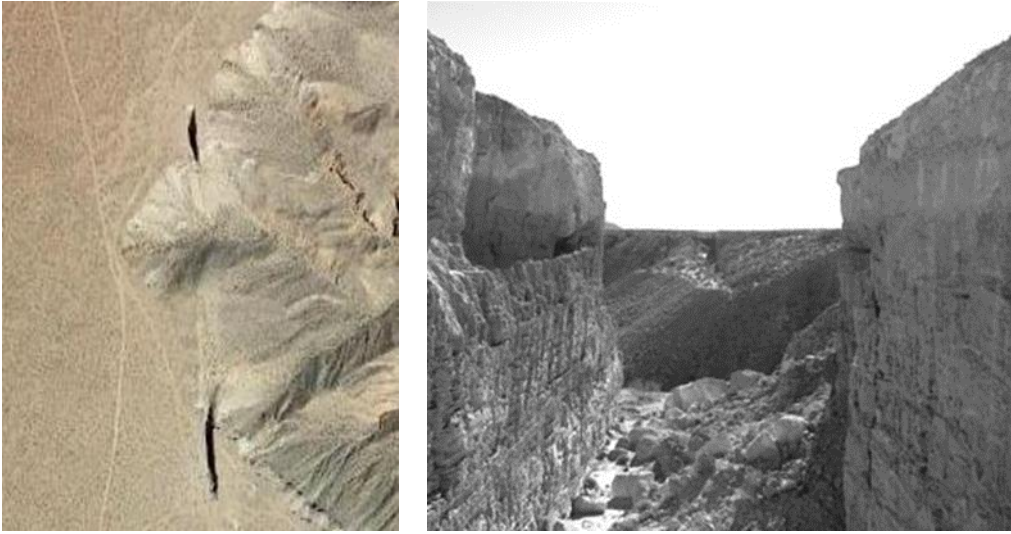
Arazi sanatı konusu ile ilgili yurt içinde ve yurt dışında yapılmış birçok çalışma vardır. Aşağıda bu çalışmalardan bazı örnekler sunulmuştur.

Torun (2006) çalışmasında, kapitalist üretim ve tüketim nedeniyle doğanın düzensiz kullanımı sonucu tehlikeli sonuçlarla karşılaşılabilceğini ele almıştır. İnsanoğlunun ilk başlangıcında doğayla karşılıklı ilişki içinde olduğunu ama 1900’lü yıllardan sonra insan ve doğa arası ilişkinin koparak doğaya karşı sorumluluklarımızın sanatsal çalışmalarla gösterilmeye çalışıldığını ifade etmiştir. Akyüz (2008) çalışmasında, arazi sanatı akımının gelişimini, doğa ve çevreyle olan ilişkisini, doğa ve sanat arasındaki bağlantılarını incelemiştir. Çalışmasını iki bölüme ayırmış; ilk bölümde doğa, çevre, ekoloji ve bunların sanatla etkileşimi hakkındaki temel felsefi yaklaşımları ele almıştır. İkinci bölümde ise, sanat akımı olarak arazi sanatının gelişimi, sorunları ve dönüşümünü açıklamış, önemli sanatçıları incelemiş, yaptıkları eserlere örnekler vermiştir. Sonuç bölümünde bazı çıkarımları sunmuştur. Büyükgökçesu (2011) çalışmasında, peyzaj mimarlığının bugünkü tasarım dilini ve arazi sanatının mekânsal tasarım üzerine etkilerini ele almıştır. Önde gelen çağdaş peyzaj mimarlarının günümüzdeki tasarım bilinçlerine

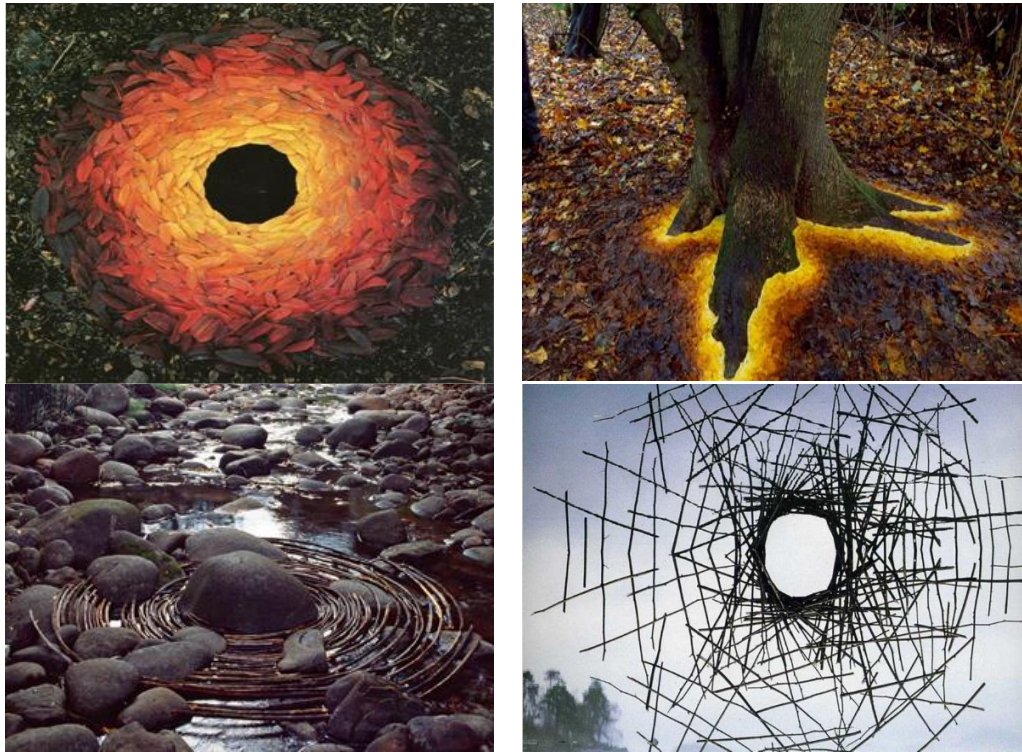
ulaşana kadar geçirdikleri süreçleri anlamak amacıyla arazi sanatı ve çağdaş peyzaj tasarımları arasında bağlantılar çıkartarak sanatın peyzajda geçirdiği dönüşümü detaylı biçimde irdelemiştir. Bu bağlantıyı ortaya çıkaran çalışmalar olarak arazi sanatı konusunu incelemiş ve peyzaj mimarlığının sanattan soyutlanamayacağı sonucuna varmıştır. Peyzaj Mimarlığının sürekli olarak kendi biçimlerini ve akımlarını yaratabilen bir “sanat biçimi” olarak değerlendirilebileceğini öne sürmüştür. Aydın (2014) çalışmasında, 1960’lardan sonra dünya sanatında arazi sanatı, toprak sanatı, doğa sanatı ve yeryüzü sanatı gibi kavramlarla önerilen ve ülkemizde de yankı bulan mekânsal müdahaleler, heykeller, yerleştirmeler ve ilgili sanatçıları incelemiştir. Türkiye’de doğaya sanatsal amaçla yapılan müdahalelerin kavramsal boyutunu incelemiş; onların nasıl bir sanat eseri haline dönüştüğünü sorgulamıştır. Türkiye’de uygulanmış örnekleri saptayarak derinlemesine incelemiş, Türkiye’de bu kapsamda çalışmış sanatçıların eserlerine envanter oluşturmuş ve çeşitli kavramlar üzerinden incelemiştir. Mergin (2018) çalışmasında, arazi sanatını kullanan sanatçıları ve yapıtları üzerinden tümevarım yöntemini kullanarak, sanatçıların mekan, zamansallık (süre, süreç) ve temsiliyet ile olan ilişkileri ve bu ilişkilerin dil, mekan ve mekan kavramı üzerindeki etkilerine dair bir önermede bulunmayı hedeflemiştir. Çalışmasını 9 ana bölüme ayırarak arazi sanatını örnekler üzerinden tüm referans ve parametrelerle irdelemiştir. Sonuç olarak, sanatçıların mekan ve dil ile yoğun bir etkileşim içinde olduğunu ve yeni bir görme biçimi ve algı önerdiklerini dile getirmiştir.

Arazi sanatını çalışmalarında kullanan sanatçılardan biri de Michael Heizer’dir (Serra, 1990). Serra (1990) çalışmasında, Heizer’in 1967 yılında çöl alanlarına araştırma gezileri düzenlediğini ve bu alanların ona bir nevi açık atölye olduğunu belirtmiştir; bu atölyelerde doğanın temel bileşenlerinden olan kaya, toprak, su ve çakılı kullanmıştır. Heizer, 1969-70 yılında gerçekleştirdiği Double Negative (Çifte Ret) çalışma, Nevada Eyaletinin Mormon Mesa bölgesinde bir vadinin karşılıklı iki yakasında derin yarıkları içeren bir arazi sanatı örneğidir (Şekil 1) (Serra, 1990; Mergin, 2018). Heizer, Nevada çölünde kanyonun karşılıklı kenarları üzerinde belirlediği iki alanı dinamitlerle patlatarak buradan çıkan taş ve toprağı (yaklaşık 240 bin ton) kanyondan aşağıya dökmüş, böylelikle dikdörtgen prizma biçimde iki negatif alan oluşturmuştur; çalışma, 9.14 m genişliğinde, 15.24 m derinliğinde ve 457.2 m uzunluğundadır (Anonim, 2019b). Bu büyük ölçekli saha çalışmaları uygulandıkları yere özgü oldukları için galerilerde ki sanat eserleri gibi taşınmaz veya satılamazlar (Serra, 1990). Kastner (2010) çalışmasında Heizer’in çöl ortamında gerçekleştirdiği uygulama da gelen ziyaretçilerden alanda bir tam gün geçirmelerini istediğini ifade etmiştir. Çalışma alanı keşfe gelenlere bir heykel olarak sunulmuştur. Klasik sanat anlayışının yıkıldığı bu çalışmada izleyici bir yapının içerisinden geçiyormuş gibi heykelin içinden geçebilmiş ve incelemelerde bulunmuştur. Bu sayede sanat ile mekansal tasarım arasında da bir ilişki kurulmuştur (Çınar ve Yirmibeşoğlu, 2019).

Bir başka arazi sanatçısı Andy Goldsworthy, çalışmalarını doğal manzarayı hafif bir dokunuşla değiştirerek estetik bir bütünlük içerisinde meydana getirmiştir (Çınar ve Yirmibeşoğlu, 2019). Doğa çalışmalarında birincil yönlendirici olmuştur. İklim ve hava koşullarına göre çalışmalarına yön vermiştir. Tasarladığı çalışmalarda buzları, yaprakları, taş yığınlarını, dalları, tüyleri, ağaç kabuklarını, çiçekleri ve eğrelti otlarını kullanmaktadır. Taşları kırmızı meşe ya da sarı karaağaç yapraklarıyla kaplamış, bambu yapraklarını ise taşın sınırlarına yerleştirmiştir. Farklı renk ve dokularda olan yapraklardan, ağaç dallarından kara delikler yapmıştır. Goldsworthy’nin içi boş kürelerinin yaşadığı bölgedeki eskiçağlardan kalma Stonehedge yapısının izlerinin sanatçının çalışmalarına yansması olarak belirtilmektedir. Prehistorik taş dairelerin dinsel ritüellerde sıklıkla kullanıldığı ve astronomi için yapıldığı bilinmektedir. Sanatçının yaptığı bu eserler uçup gidecek ve kaybolacak bir özellikte olsa bile güdülen asıl amaç doğayla yapılan bir birleşmeyi simgeliyor olmasıdır (Şekil 2) (Malpas, 2007; Kozlu, 2013).



Şekil 1. Michael Heizer'ın Double Negative isimli çalışmasından bazı görünüm (Anonim, 2019b).



Şekil 2. Andy Goldsworthy çalışmalarından bazı görünüm (Anonim, 2016).

Arazi sanatıyla ilgili eserleriyle ün yapmış sanatçılardan en tanınanı Christo ve Jeanne Claude çiftidir. Tasarımcı çiftin çalışmalarında kullandığı malzemeler kumaşlardır. Her eserlerinde farklı tipte kumaş kullanmayı tercih etmişlerdir ve kullanılan malzemelerin hiçbiri katkı maddesi içermemektedir. Farklı hava koşullarında aldıkları görünümlele dinamik bir manzara sunmaktadırlar. Döneminde dikkatleri üzerine toplayan en önemli çalışmalarından biri Miami'de bulunan "Surrounded Islands"dır. 1983 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada 11 adanın etrafını 603 850 m² örtüyle kaplayarak tamamlamışlardır. Yapımında 400 işçi çalışmış ve yaklaşık 2 hafta sergilenmiştir (Şekil 3) (Karavit, 2008; Ünal, 2019; Anonim 2019c).



Şekil 3. Christo Jeanne Claude çiftinin Surrounded Islands isimli çalışmasından bir görünüm (Anonim, 2019c).

Bu çalışmanın amacı, göl sularının çekilmesi ve su kirliliği üzerine farkındalık oluşturmaya çalışmaktır. Burdur Gölü'nün bilinçsiz kullanımı nedeniyle kirlilik artmakta ve su seviyesi hızla düşmektedir. Bu bağlamda, çalışmada gölün kirliliğinin artması ve suyunun çekilmesine dikkat çekmek amacıyla arazi sanatı sanal uygulaması yapılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Burdur ili, Göller Yöresi adı verilen, Akdeniz bölgesinin iç kısmında yer almaktadır. Konum olarak 29°-24' ve 30°-53' doğu boylamları ve 36°-53' ve 37°50' kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Ülke topraklarının 0,88'ini kaplamaktadır (Anonim, 2018a). Burdur'un güneyinde Antalya, batısında Denizli, doğu ve kuzeyinde Isparta ve Afyon illeri yer almaktadır. İlin yüzölçümü 7 175 km² alan oluşturmaktadır (Şekil 4) (Anonim, 2018b; Kaya ve Aşıkutlu, 2019).

Çalışmada, tektonik göller sınıflandırmasında yer alan ve kapalı havza gölü olan Burdur Gölü uygulama alanı olarak alınmıştır (Anonim, 2019d). Gölün su kaynağını yağışlar, yeraltı suları, mevsimlik ve sürekli akarsular oluşturmaktadır ve göl çıkış suları bulunmamaktadır. Gölü besleyen kaynaklar Bozçay, Suludere, Keçiborlu Deresi ve gölün kendi yağış havzasıdır (Anonim, 2018a). Burdur gölü 237 km² yüzey alanına sahiptir ve 180 km² si Burdur, 57 km² si Isparta il sınırları içerisinde bulunmaktadır. Burdur gölünün en derin yeri 60 m ölçülmüştür (Anonim, 2018a; Kaya ve Aşıkutlu, 2019). Şekil 4'te çalışma alanının konumu sunulmuştur.



Şekil 4. Çalışma alanının konumu (Kaya ve Yücedağ, 2015).

Yöntem

Çalışmada öncelikle, sanat kavramının kelime etimolojisi araştırılmıştır. Arazi sanatının ortaya çıkışı, ilk örnekleri, kullanılma amaçları, uygulamaları ve konuyla ilgili literatürde yapılmış çalışmalar verilmiştir. Uygulamanın yapılacağı alan olarak Burdur Gölü seçilmiş ve gölle ilgili güncel veriler toplanmıştır. Arazi sanatı sanal uygulaması için Photoshop CS6 programı kullanılmıştır. Şekil 5'te çalışmanın hazırlanmasında izlenen aşamaları gösteren yöntem akış şeması sunulmuştur.



Şekil 5. Yöntem akış şeması.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Burdur Gölü, Türkiye'nin 14 uluslararası öneme sahip Ramsar Sözleşmesinde yer almaktadır ve 305 önemli doğa alanından birisi olarak ifade edilmektedir (TOB, 2019). Türkiye'nin yüzölçümü bakımından yedinci ve tuzlu göller arasındaysa üçüncü en büyük gölüdür (Sargın, 2012). Göl, 1993 yılında "Yaban Hayatı Koruma Sahası" ilan edilmiş 2006 yılındaysa "Yaban Hayatı Geliştirme Sahası" kapsamına alınmıştır. Burdur Dişli Sazancık'ı (*Aphanius sureyanus*) dünyada sadece Burdur Gölü'nde yaşamakta ve bunun yanı sıra nesli küresel ölçekte tehlike altında olan Dikkuyruk Ördek'inin (*Oxyura leucocephala*) dünya nüfusunun %70'i gölde kışlamaktadır. Burdur Gölü'nün kuzey ve doğusunda kuş popülasyonu çeşitlilik gösterdiğinden dolayı kuş gözlemcisi doğaseverlerin ve fotoğrafçıların "Ornitoloji Turizmi" kapsamında alana yoğun ilgi göstermelerini sağlamaktadır (OSB, 2013). Ayrıca, göl ve gölün su toplama havzası nesli tükenmekte olan 24 kuş, 4 balık ve 2 kelebek türüne yaşam alanı oluşturmaktadır (Anonim, 2020a).

Çizelge 1'de Burdur Gölü ekosisteminde bulunan önemli canlı türleri sunulmuştur.

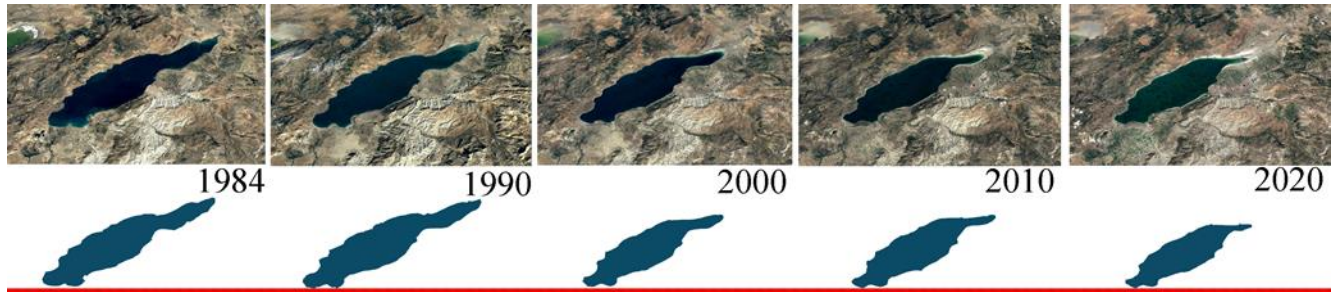
Çizelge 1. Burdur Gölü ekosisteminde bulunan önemli canlı türleri (Eken ve ark. 2006)

Kuş Türleri	Çamurcun (<i>Anas crecca</i>)
	Fiyu (<i>Anas penelope</i>)
	Elmabaş patka (<i>Aythya ferina</i>)
	Küçük kuğu (<i>Cygnus columbianus</i>)
	Sakarmeke (<i>Fulica atra</i>)
	Macarördeği (<i>Netta rufina</i>)
	Kara boyunlu batağan (<i>Podiceps nigricolis</i>)
	Kır incirkuşu (<i>Anthus campestris</i>)
	Kocagöz (<i>Burchinus oedicephalus</i>)
	Kızıl şahin (<i>Buteo rufinus</i>)
	Leylek (<i>Cicconia cicconia</i>)
	Ak pelikan (<i>Pelecanus onocrotalus</i>)
	Flamingo (<i>Phoenicopterus roseus</i>)
	Kaşıklı (<i>Platalea leucorodia</i>)
Mahmuzlu kızkuşu (<i>Vanellus spinosus</i>)	
Balık Türleri	Burdur dişlisazancığı (<i>Aphanius anatoliae sureyanus</i>)
	<i>Cobitis (Bicanestrinia) turcica</i>
	<i>Cobitis turcica</i>
Kelebek Türleri	Karagözlü mavi kelebek (<i>Glaucopsyche alexis</i>)

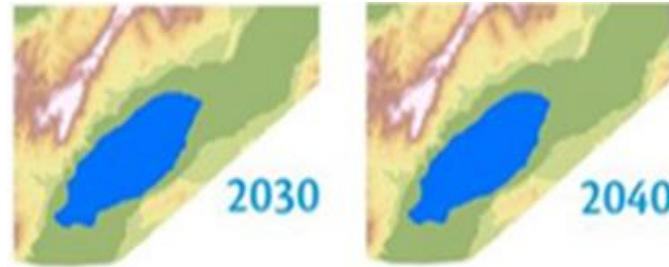
Tarım ve hayvancılığın ekonomi üzerinde ki payı %41'dir ve tarımın %54'ü sulu olarak yapılmaktadır (Gül ve ark., 2015). Tarımda kullanılmak üzere artan su ihtiyacından dolayı gölü besleyen akarsular üzerine yapılan barajlar ve kontrolsüz yeraltı suyu kullanımıyla göl 1975'ten bu yana hızla küçülmektedir. Gölün suları 1/3'üne ulaşmış ve su seviyesi 12 m 25 cm düşmüştür (Ataol, 2010).

Su kuşları ve diğer ender türler için önemli yaşam alanlarından olan göl sığ alanlarının giderek kuruması çok ciddi ölçüde sulak alan habitat kaybına neden olmaktadır. Göl suyunun seviyesi düştükçe tuzluluk oranı da kat kat artmaktadır. Yirmi sene önceki ölçümlerde gölün tuzluluk oranı Akdeniz'in iki katı iken yakın geçmişte 560 kat arttığı ölçülmüştür (Eken ve ark., 2006). Burdur Gölü'nün önemli bir bölümünü 2040 yılında kaybedeceği öngörülmektedir (Sargın, 2012). Ayrıca, gölün maruz kaldığı endüstriyel, evsel, tarımsal atıklar sonucunda suyu önemli boyutlarda kirlenmiştir. Bu nedenle, gölde organik kirlilik artmış ve göl ötrofik hale gelmiştir (Anonim, 2020a).

Burdur Gölünün 1984 ve 2020 yılları arasında ki değişimi Şekil 6'da, 2030 ve 2040 yıllarında öngörülen su miktarı Şekil 7'de sunulmuştur.



Şekil 6. Burdur Gölü'nün yıllara göre değişimi (Google Earth Pro, 2020'den değiştirilerek alınmıştır).

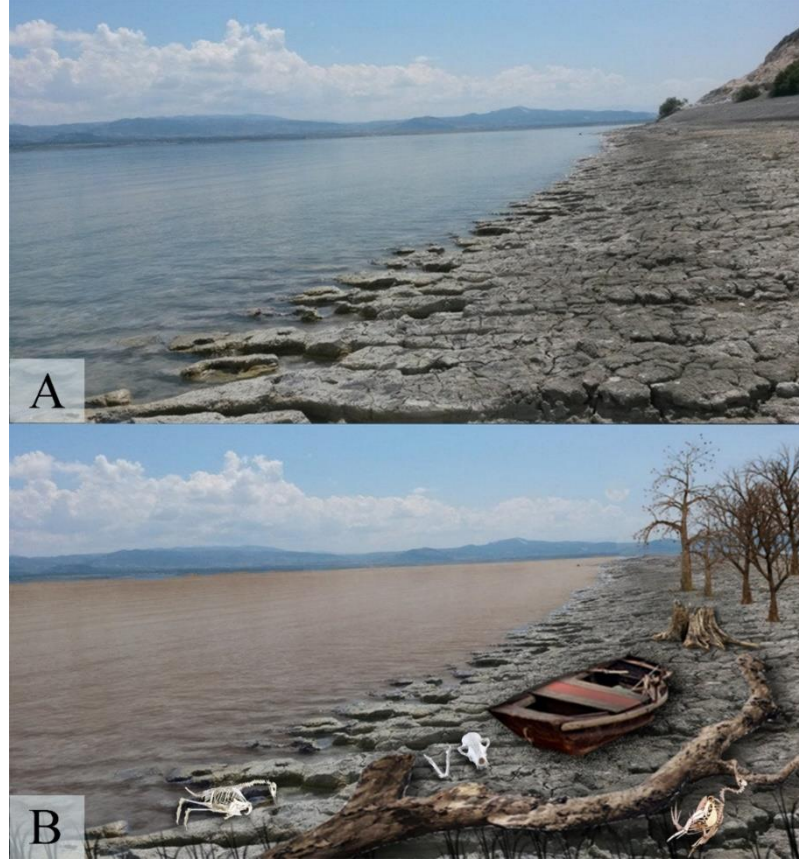


Şekil 7. Burdur Gölü'nün öngörülen su miktarı (Sargın, 2012).

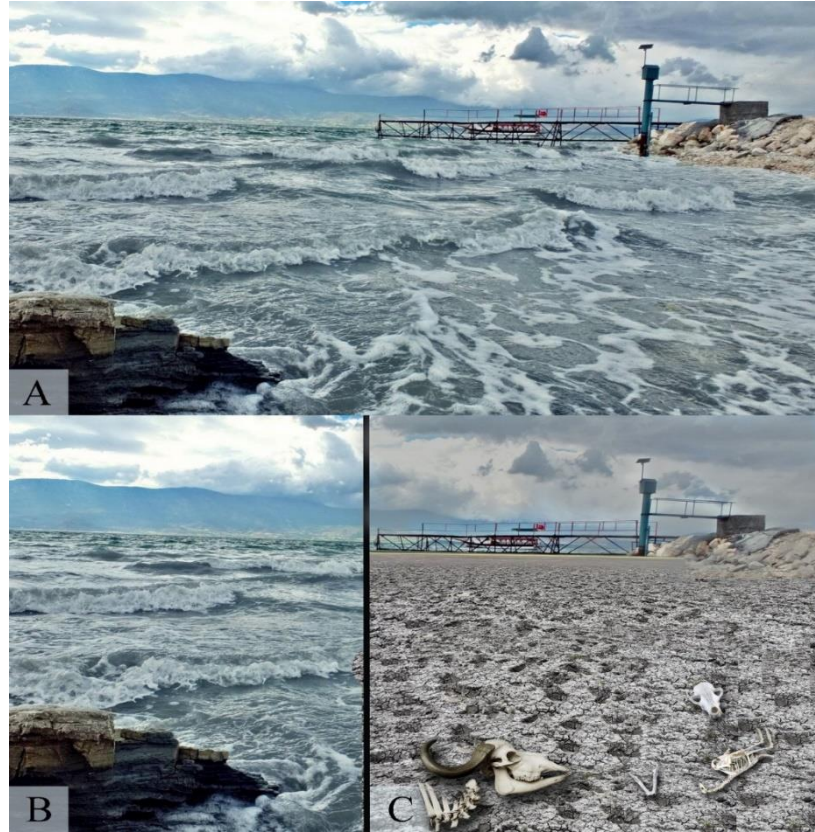
Siyasi destekler ve doğa derneklerinin girişimleriyle "Burdur Gölü'nü Kurtarma Projesi" yürütülmeye başlanmıştır. Bu bağlamda, akılcı su kullanım yollarıyla gölün kurumasının önüne geçilmeye çalışılmaktadır. Akademik çalışmalar ve sosyal medya üzerinden konunun önemine dikkat çekilmektedir. Burdur Gölü'nde meydana gelen su kaybının başlıca sebepleri endüstriyel atıklar, barajlar, mermer ocaklarının faaliyetleri, kent alanının büyümesi ve tarımsal faaliyetlerdir (Kaya ve ark., 2015).

Burdur Gölü'nün kirliliğinin artması ve suyunun çekilmesine dikkat çekmek amacıyla görselleştirme çalışması yapılmıştır. Şekil 8A, Anonim (2020b)'den temin edilmiştir ve Burdur Gölü'nün mevcut halini gösteren bir görseldir. Şekil 8B'de, Şekil 8A'dan faydalanarak hazırlanan Burdur Gölü'ne yönelik uygulanan arazi sanatı sanal uygulamasına ait örnek bir görünüm sunulmuştur.

Şekil 9A ve Şekil 9B, Anonim (2020c)'den temin edilmiştir ve Burdur Gölü'nün mevcut halini gösteren diğer görsellerdir. Şekil 9C'de, Şekil 9A ve Şekil 9B'den faydalanarak hazırlanan Burdur Gölü'ne yönelik uygulanan arazi sanatı sanal uygulamasıdır.



Şekil 8. A) Burdur Gölü mevcut görünümü (Anonim, 2020b); B) Burdur Gölü'nde uygulanan arazi sanatı sanal uygulamasından bir örnek.



Şekil 9. A, B) Burdur Gölü mevcut görünümü (Anonim, 2020c); C) Burdur Gölü'nde uygulanan arazi sanatı sanal uygulamasından bir diğer örnek görünüm.

SONUÇ

Arazi sanatının ortaya çıkışından günümüze kadar uygulama alanları, biçimleri ve taşıdıkları amaçlar çeşitlilik göstermiştir. Dünya genelinde faaliyete geçmiş tüm çalışmaların değişmeyen ortak noktası doğaya olan saygı ve doğanın korunması olmuştur. Bu yüzden bu alanda çalışan sanatçıların da yüksek bilinç düzeyine sahip ve doğasever kişiler olduğu görülmektedir. Arazi sanatını çalışmalarında kullanan sanatçılar çevresel problemler, kirlilik, doğanın sanayi sektörü karşısında katledilmesi gibi nedenlerle çevrelerine bir mesaj verebilmek için sanatı doğayla birleştirerek toplumsal farkındalık oluşturmaya çalışmışlardır. Diğer önemli çıkış noktası sanatın galeri ortamından kurtarılarak ticaret haline gelmesine duyulan tepkidir. Her şeyin ticaret üzerine kurulu olduğu kapitalist ortama karşı tepki olarak tüm insanlığa yönelik özgür bir sanat ortamı oluşturulmuştur. Bu eserler parayla alınıp satılamamakta ve doğanın kendi alanında sergilenmeye imkân sağlamaktır (Mergin, 2018).

Sonuç olarak, çalışma ile arazi sanatı sanal uygulaması aracılığıyla Burdur Gölü ve benzer nitelikli alanlara dikkat çekilerek farkındalık yaratılması, ayrıca koruma-kullanma dengesi gözetilerek sürdürülebilirliğin sağlanması hedeflenmiştir.

KAYNAKLAR

- Akyüz D, 2008. Land Art'ın Gelişimi ve Yerleşik Sanata Dönüşümü, Marmara Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (Basılmış).
- Anonim, 2016. The Ephemeral Art Of Andy Goldsworthy, <http://experimentwithnature.com/03-found/andy-goldsworthy/#.Xb6ZNeYzbIV> (Erişim Tarihi: 31. 10. 2019).
- Anonim 2018a. Burdur İli 2017 Yılı Çevre Durum Raporu. T.C. Burdur Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü.
- Anonim 2018b. Burdur Yüzölçümü. https://www.harita.gov.tr/images/urun/il_ilce_alanlari.pdf. (Erişim Tarihi: 21.01.2020).
- Anonim, 2019a. Sanat Nedir?, https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/11885/mod_resource/content/1/8.%20Hafta%20Sanat%20Nedir.pdf (Erişim Tarihi: 27.10.2019).
- Anonim, 2019b. Double Negative. <http://doublenegative.tarasen.net/double-negative/> (Erişim Tarihi: 15.01.2020).
- Anonim, 2019c. Surrounded Islands. <https://christojeanneclaude.net/projects/surrounded-islands>, (Erişim Tarihi: 25.01.2020).
- Anonim, 2019d. Burdur Coğrafi Durum. <https://www.lafsozluk.com/2012/01/burdur-ilininturkiye-haritasindaki-yeri.html>, (Erişim Tarihi: 21.01.2020).
- Anonim, 2020a. Burdur Gölü Kirlilik Durumu. <https://www.dogadernegi.org/burdur-golu/>, (Erişim Tarihi: 19.02.2020).
- Anonim, 2020b. Burdur Gölü'nde Yılda 330 Milyon Ton Su Yok Oluyor. Coğrafi Durum. <https://m.34volt.com/burdur-golu-nde-yilda-330-milyon-ton-su-yok-oluyor-haberi-59827/>, (Erişim Tarihi: 30.01.2020).
- Anonim, 2020c. Makü'den Burdur Gölü Fotoğrafları. <http://www.haberdenghaber.com/burdur/makuden-burdur-golu-fotograflari-h289392.html>, (Erişim Tarihi: 30.01.2020).
- Armağan İ, 1992. Sanat Toplumbilimi, Demokrasi Kültürüne Giriş. İleri Kitabevi, S. 249, İzmir-Türkiye.
- Ataol M, 2010. Burdur Gölü Havzası İçin Yeni Bir Su Yönetim Modeli Önerisi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, (Basılmış).
- Aydın A, 2014. Türkiye'de Yeryüzü Sanatı, Gazi Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (Basılmış).
- Büyükgökçesu Z, 2011. Influences of Land Art on Contemporary Landscape Design, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (Basılmış).
- Celant G, 2004. Architecture & Arts 1900-2004. Milano:Shira Press Office.
- Çınar HS, Yirmibeşoğlu F, 2019. Sanatın Arazide Biçim Almış Halı; Land-Art. İçinde: Güzel Sanatlar Alanında Araştırma Makaleleri. Boydaş O, Ödemiş S (eds.), Gece Akademi Yayıncılık, Ankara, Türkiye, 67-82.

- Çiçek Ç, Kaya LG, 2016. Soyut Resim Sanatının Mekansal Tasarımına Aktarılması. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Özel Sayı, 1:9-17, ISSN: 1309-2243.
- Eken G, Bozdoğan M, İsfendiyoğlu S, Kılıç DT, Lise Y. (Ed.), 2006. Türkiye'nin Önemli Doğa Alanları. Ankara: Doğa Derneği.
- Gül A, Yılmaztürk A, Caran Ş, Ünal Y, Örucü ÖK, ve Berberoğlu E, 2015. Burdur Gölü ve Çevresinde Ekosistem Üzerindeki Çevresel Etkiler ve Stratejik Mekansal Çözümler. Uluslararası Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu 7-9 Mayıs 2015, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur-Türkiye.
- Karavit C, 2008. Doğadaki İz: Yeryüzü Sanatı, İstanbul: Telos Yayıncılık.
- Kastner J, 2010. Land And Environmental Art, Phaidon Pr. ,2nd. Ed., S.54. China.
- Kaya LG, Yücedağ C, Duruşkan Ö, 2015. Burdur Gölü Havzasının Çevresel Açından İrdelenmesi. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6(1):6-10, ISSN: 1309-2243.
- Kaya LG, Aşıkutlu HS, 2019. Çevre ve Mekânsal Gelişim. İçinde: Burdur İl Gelişim Planı ve Gelişim Stratejileri. Korkmaz A, Sungur O, Alparslan AM (eds.), Detay Yayıncılık, Ankara, Türkiye, 10-81.
- Kozlu D, 2013. Andy Goldsworthy İle Doğaya Dokunmak, Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, (6)25: 356-363, ISSN: 1307-9581.
- Malpas W, 2007. Andy Goldsworthy Touching Nature, United Kingdom: Crescent Moon Publishing.
- Mergin A, 2018. Land Art Ve Mekan Bağlamında Süre, Süreç, Temsiliyet Problematığının Dil Ve Mekan İlişkisi: Sanatçının Varoluşsal Uzamı, Işık Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- OSB, 2013. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, Sulak Alanlar, <http://www.turkiyesulakalanlari.com/wp-content/uploads/sulak-alanlar-kitab%C4%B1-bask%C4%B1-onay%C4%B1-i%C3%A7in.pdf>, (Erişim Tarihi: 19.02.2020).
- Sargın A, 2012. Göl Yoksa Burdur Da Yok. Doğa Derneği. <https://www.dogaderneği.org/wp-content/uploads/2015/08/gol-yoksa-burdur-da-yok.pdf>, (Erişim Tarihi: 19.02.2020).
- Serra R, 1990. "The Yale Lecture" in: C. Harrison & P. Wood (eds) (1997) Art in Theory 1900-1990 An Anthology of Changing Ideas Blackwell Publishers Ltd, 1124-1127.
- TOB, 2019. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Burdur Havzası Nehir Havzası Yönetim Planı, Stratejik Çevresel Değerlendirme Kapsam Belirleme Raporu (Taslak), https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Burdur%20Havzas%C4%B1%2022.11.2019/Burdur%20Havzas%C4%B1%20Nehir%20Havza%20Y%C3%B6netim%20Plan%C4%B1%20Haz%C4%B1rlanmas%C4%B1%20Projesi_%20Stratejik%20C3%87ED%20Taslak%20Kapsam%20Belirleme%20Raporu.pdf, (Erişim Tarihi: 19.02.2020).
- Torun D, 2006. Doğaya Yansıyan İnsan Eylemi, Hacettepe Üniversitesi Sanat Kuramı ve Eleştiri, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Ünal H, 2019. Arazi Sanatında Zaman, Mekân ve Form, Atatürk Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, Heykel Anasanat Dalı, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).

21. Yüzyılda Çin'in Sürdürülebilirlik Paradigması: Ekolojik Medeniyet

Ayser İLHAN¹, Tendü Hilal GÖKTUĞ^{1*}

ÖZET:1970'lerden beri Çin, dünyada gelişen endüstri medeniyetini geleneksel kültüründen koparak uygulamaya başlamış ve yapmış olduğu reformlarla hızlı bir gelişme trendi yakalamıştır. Çin, hızlı endüstriyelleşme ve çarpık kentleşme ile birlikte toplumun refahını olumsuz yönde etkileyen çeşitli ekolojik ve sosyal sorunlarla hem akademik hem de politik düzeyde mücadele etmeye başlamıştır. Bu bağlamda 20. yy.'ın sonlarından itibaren "Ekolojik Medeniyet" paradigmasını geliştirmiştir. Bu çalışmanın amacı, ekolojik medeniyet kavramının ve ortaya çıkışındaki etmenlerin açıklanması, ekolojik medeniyetin boyutlarının ve sürdürülebilir kalkınma ile ilişkisinin irdelenmesi ve günümüz Türkiye'sinin sürdürülebilir kalkınma politikaları kapsamında bu paradigmanın değerlendirilmesidir.

Anahtar Kelimeler: Ekolojik medeniyet, Sürdürülebilirlik, Sürdürülebilir kalkınma, Çin

China's Sustainability Paradigm in the 21st Century: Ecological Civilization

ABSTRACT: Since the 1970s, China has begun to implement the developing industrial civilization in the world alienated from its traditional culture and has achieved a rapid development trend as a result of the reforms it has made. As a result of rapid industrialization and distorted urbanization, China has begun to tackle various ecological and social problems that adversely affect the well-being of society both academically and politically. In this context, it has developed the "Ecological Civilization" paradigm since the end of the 20th century. This study aims to explain the concept of ecological civilization and the factors in its emergence, examining the dimensions of ecological civilization and the relationship between sustainable development, evaluation of this paradigm within the scope of sustainable development policies of today's Turkey.

Keywords: Ecological civilization, Sustainable, Sustainable development, China

¹Ayser İLHAN (Orcid ID: 0000-0002-0063-6776), Tendü Hilal GÖKTUĞ (Orcid ID: 0000-0001-7544-9943), Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Aydın, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tendü Hilal GÖKTUĞ, e-mail: tgoktug@adu.edu.tr

GİRİŞ

Endüstri Devrimi sonrası dünyada teknolojik gelişmelerde yaşanan ilerlemelerle birlikte, ekonomik olarak büyüme sağlanmış ve beraberinde maddi zenginlik artmış, sermaye birikimi çoğalmış ve tüketim hızla artmıştır. Bunun sonucunda toplumların endüstri medeniyetine doğru geçişi başlamıştır (Pan, 2015; Marinelli, 2018). Özellikle 19. yy. itibariyle ekonomik büyüme ile sermaye birikimindeki artış kentleşmenin hızlı bir şekilde gerçekleşmesine neden olmuştur. Endüstriyel Medeniyet, insanların yaşam kalitesini iyileştirmeyi amaçlarken doğal kaynakları sınırsız şekilde kullanmış, bunun neticesinde doğal kaynakların yok olma tehdidi ve çevreyle ilgili ciddi sorunları da beraberinde getirmiştir (Gare, 2012; Pan, 2015; Schmitt, 2016).

20. yy. Avrupa kentlerinde özellikle ağır kömür kullanımı ciddi hava kirliliklerine sebebiyet vermiş, İngiltere’de 1952 yılında hava kirliliğinin yol açtığı asit yağmurları sebebiyle 4000’den fazla kişi hayatını kaybetmiştir. Ayrıca nehirlerde görülen ağır metaller, içme suyu sıkıntısına neden olmuştur. Endüstri medeniyetinin yönlendirdiği ekonomik kalkınmanın neden olduğu ekolojik krizler başta Avrupa olmak üzere tüm dünyada dikkatleri çevre sorunlarına çevirmiş ve 60’lı yıllardan itibaren çevre sorunlarına ilişkin çeşitli çalışmalara yer verilmiştir. Biyolog Rachel Carson, 1962 yılında yayınladığı “Silent Spring” “Sessiz Bahar” çalışmasında yoğun olarak kullanılan kimyasal ilaçların ekosistemdeki canlılara verdiği zararlara ilişkin çevresel sorunlara değinmiştir (Carson, 2002; Weii vd., 2011; Pan, 2016). 1972 yılında ise Roma Kulübü tarafından hazırlanan “Büyümenin Sınırları” kitabında da aynı şekilde çevre sorunları ve olumsuz etkilerine dikkat çekilmiştir (Pan, 2016). Aynı yıl 5-16 Haziran tarihlerinde Stockholm’de Birleşmiş Milletler İnsani Çevre Konferansı (Stockholm Konferansı) düzenlenmiştir. Stockholm Konferansı uluslararası çapta, aralarında Çin’inde yer aldığı 113 ülkenin katılımıyla gerçekleşmiş ve çevre sorunları uluslararası gündemde değerlendirilmeye başlanmıştır (Pan, 2015; Kuhn, 2016; Wang, 2016). Sürdürülebilirlik düşüncesinin ilk olarak ortaya çıkışı ve kavramsal olarak benimsenmesi bu konferansta gerçekleşmiştir. Ayrıca çevresel kaynakların korunması ve gelecek nesillere aktarılması, ekonomik ve sosyal gelişmede çevrenin de gözetilmesi hakkında ilkeler belirlenmiştir (Bozdoğan, 2010; Handl, 2012; Pan, 2015).

Bu dönemde araştırmacılar, dünya üzerindeki kaynakların sınırlı olduğunu (özellikle fosil yakıt kaynağı) ancak giderek artan dünya nüfusu göz önüne alındığında doğal kaynakların ancak kısıtlı bir süre daha yeterli olacağını bu nedenle de ekonomik gelişmeyi ve sürekli büyümeyi temel alan endüstri medeniyetinin çökeceğini ifade etmişlerdir (Pan, 2016). Aynı yıllarda benzer şekilde Çin’de de yaşanan ekonomik büyüme ve kentleşme hareketleri endüstri medeniyetinin kalkınma paradigmasının ana akım olarak kabul edilmesini sağlamıştır (Schmitt, 2016; Marinelli, 2018). Bu sebeple Çin’de de yaşanan çevresel sorunlara ilişkin hem akademik alanda hem de merkezi yönetim tarafından çözüm yolları aranmaya başlanmıştır. Stocholm Konferansı başta olmak üzere diğer uluslararası çevre sözleşmelerinden de etkilenen Çin, 1970’li yıllardan itibaren “Sürdürülebilir Kalkınma” çerçevesinde gelişmeyi benimsemiştir. 1980’li yıllarda ise akademik çalışmalarda “Ekolojik Medeniyet” kavramına yer verilmiş, Çin bu kavramdan daha sonraları siyasi söylemlerinde yer vermeye başlamıştır (Pan, 2016)

Çin’de ortaya çıkan ve Batı’nın “Sürdürülebilir Kalkınma” düşüncesine paralel bir paradigma olan “Ekolojik Medeniyet” uluslararası literatürde pek çok yazar tarafından ele alınmış bilimsel, felsefi ve politik yönlerden incelenmiş ve sürdürülebilir kalkınma düşüncesi ile karşılaştırılmıştır. (Anonim, 2013; Gare, 2017;Heurtebise, 2017). Ancak ulusal literatürlerde “Ekolojik Medeniyet” kavramını inceleyen bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu yönü ile gerçekleştirilen bu çalışmanın ulusal literatüre katkıda bulunacağı düşünülmektedir. Çalışmada Ekolojik Medeniyet paradigmasının kökeni ve

boyutları açıklanarak batının sürdürülebilirlik düşüncesi ile karşılaştırılmış ve ekolojik medeniyet kavramı Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma politikaları bağlamında değerlendirilmiştir.

Ekolojik Medeniyet Kavramının Ortaya Çıkışı

1970'li yılların sonlarından itibaren Çin, ekonomik açıdan uygulamaya başlattığı reformlarla hızlı bir gelişme trendi göstermiştir (Kamacı, 2010; Marinelli, 2018). 1978 yılında, merkezi planlı bir ekonomiden piyasa ekonomisine yönelmiş ve 1980-2010 yılları arasında ortalama yıllık büyüme oranı %10 civarında kaydedilmiştir (Anonim, 2013; Kuhn, 2016). Dünya'da gelişen bir trend olarak endüstriyelleşme ve kentleşme politikalarını takip eden Çin, geleneksel kültüründen koparak, endüstri medeniyetini taklit etmeye başlamıştır (Pan, 2015). 21. yy. girerken Çin hızlı şekilde endüstriyelleşmesi ve beraberinde kentleşmenin artması doğal kaynakların kontrolsüz şekilde kullanımına, aşırı enerji tüketimi, çevre kirlilikleri gibi temel ekolojik bozulmalara neden olmuştur (Anonim, 2013; UNEP, 2016). İnsan sağlığını ciddi boyutlarda etkilemeye başlayan kirlilik, Çin tarafından hem akademik düzeyde hem de politik düzeyde gündeme gelmiştir.

Çin'de "Ekolojik Medeniyet" kavramı ilk olarak 1984 yılında tarım ekonomisti Qianji Ye tarafından kullanılmıştır. Qianji Ye, ekolojik medeniyeti, ekoloji ve ekolojik felsefe perspektiflerinden tanımlamıştır. (Pan, 2016; Marinelli 2018) "Ekolojik Medeniyet" paradigmasını Çin'de ilk olarak kullanan Qianji, kavramın akademik düzeyde gelişmesine de katkı sağlamış, 1987 yılında yapılan Ulusal Eko-Tarım Konferansında, Çin'in giderek ekolojik yapısının kötüleştiğini ve ulusal ölçekte ekolojik medeniyetin inşasının teşvik edilmesi gerektiğini vurgulamıştır. 1999 yılında ise Pekin'de düzenlenen "Xiangshan Bilimsel Konferansı'nda" Qianji, Çin'in içinde bulunduğu ekolojik krizlerin çözümünde 21. yy. girerken sosyo-ekolojik sürdürülebilir bir refah toplumu oluşturmada "Ekolojik Medeniyet" e dayalı gelişmenin ön koşul olarak benimsenmesinin altını çizmiştir (Marinelli, 2018).

2002 yılında Çin Komünist Partisi 16. Kongresinde, ekolojik medeniyet üzerine derinlemesine yapılan çalışmaların artırılması ve yaygınlaştırılması için ülkedeki akademik çevrelerin görevlendirilmesine karar vermiştir. Ayrıca bu kongrede ekolojik medeniyet kavramı açıkça kullanılsa bile "orta derecede zengin, çok yönlü bir toplum inşa etmeyi ve ekolojik ve çevresel iyileştirme ve sürdürülebilir kalkınmanın hedeflerini koymayı" önerilmiştir (Gare, 2012; UNEP 2016). 2007 yılında 17. Kongresinde ilk kez "Ekolojik Medeniyetin İnşası" önerilmiştir. Bu kongre, kavramın tanımı yapılmamasına rağmen ekolojik medeniyet paradigmasının gelişimi için bir milad oluşturmuştur (Goron, 2018; Xiang-chao, 2018). 2008 yılına gelindiğinde Çin Çevre Koruma Bakanlığı ekolojik medeniyet kapsamında pilot bölgeler ilan etmiştir. 2012 yılında ise 18. Ulusal Kongresi'nde "ekolojik medeniyet" kavramının tanımı yapılmıştır. Ayrıca kavramın politik altyapısı da bu kongrede tartışılmıştır. Mayıs 2014'te, Çevre Koruma Bakanlığı tarafından Yangzhou Şehri (Jiangsu Eyaleti) ve belirlenen diğer şehirlere "Ulusal Ekolojik Medeniyet Gösterge Zonu" (National Ecological Civilization Demonstration) ödülleri verilmiştir. 25 Nisan 2015 tarihinde "Merkez Komitesinin Görüşleri ve Ekolojik Medeniyetin Geliştirilmesine Yönelik Devlet Konseyi" düzenlemiş, bu konseyde ekolojik medeniyet gelişimi ve gelecek için izlenecek yollar hakkında stratejiler belirlenmiştir (Wang, 2016).

Çin'de, sanayiye dayalı gelişim, hızlı kentleşme, artan nüfus, çevre kirlilikleri, doğal kaynaklardaki tahripler, göç, gelir adaletsizliği, işsizlik, sosyal güvenlik gibi toplumun refah olumsuz yönde etkileyen etmenler sebebiyle 20. yy.'ın sonlarından itibaren "Ekolojik Medeniyet" hakkında kapsamlı çalışmalar yapılmaya başlanmıştır (Pan, 2015).

Ekolojik Medeniyet Kavramı

“Ekolojik Medeniyet” paradigmasının kavramsal bütünlüğünün anlaşılabilmesi için öncelikle “ekoloji” ve “medeniyet” kavramlarının tek tek irdelenmesi kavramın anlaşılabilirliği açısından fayda sağlayacaktır.

Ekoloji: “Ekoloji” canlı organizmalarının hem birbiri ile olan ilişkileri hem de fiziksel çevre ile olan etkileşimlerinin nasıl olduğunu incelemektedir. Gezegenimizde milyonlarca çeşit canlı türü yaşamakta ve doğal ekosistemin devamlılığı için her canlı türü ayrı bir önem taşımaktadır (Magdoff, 2012; Clayton,2017).

Doğal ekosistemin bir parçası olan insan varlığının devamlılığı ve gelecek nesillere yaşanabilir bir çevre sağlamak için ekolojide ki birçok alt uzmanlık çalışmaları bizlere doğal ekosistemlerin korunması, doğal kaynakların doğru bir şekilde yönetilmesi hakkında bilgi vermektedir. Günümüzde doğal ekosistemde yaşanan büyük tahribatlar, küresel ısınma ve etkileri ekolojinin önemini bizlere bir kez daha göstermiştir. Doğal çevrenin korunması ve sürdürülebilirliği sadece insan varlığı açısından değil en küçük organizmalar dahil tüm canlılar için hayati önem taşımaktadır. (Gare, 2012; Clayton,2017)

Medeniyet: “Medeniyet” (civilisation) kelimesi Latince "civilis" yani "şehirle ilgili" anlamındadır. Medeniyet; belirli insan topluluğunun başta sosyal ve ekonomik olmak üzere bilim, sanat, politika alanlarında gelişmişlik düzeyine ulaşması şeklinde tanımlanabilir. İnsanlığın var oluşundan itibaren pek çok medeniyet yeryüzünde yer almıştır. Ancak zaman içerisinde medeniyetlerde doğar, gelişir ve sonrasında yok olurlar (Gare, 2016; Foster, 2017).

Tarihte Sümer, Mısır, Maya Çin gibi pek çok büyük medeniyetler yer almış ve bu medeniyetler dünya üzerinden aynı anda var olabilmıştır. Ancak 19. yy.'a gelindiğinde Avrupa'da gerçekleşen endüstriyel devrim sonrası üretim biçimlerinin değişmesi, ekonomik gelişmeler ve hızla artan kentleşme; *endüstri toplumunu* ortaya çıkarmıştır (Pan, 2016).

Yaşanan bu değişim sonrası teknolojik gelişmelerde de hızlı bir sıçrayış yaşanmış dünya nüfusu giderek artmaya başlamıştır. Küreselleşme, ulaşım ve iletişim sistemlerindeki teknolojik gelişmeler, medeniyetler arasındaki mesafeleri silerek modern medeniyete doğru bir dönüşüm sağlamıştır. Endüstriyel toplumdan başlayarak günümüzdeki modern toplumlar doğal kaynakları sürekli tüketerek büyümeye devam etmiştir. Bu hızlı büyüme doğal çevrede büyük tahribatlara neden olmuştur (Pan, 2015; Heurtibise, 2017). Doğal çevrenin tahribatı ve geri dönülmez sonuçları, modern toplum paradigmasında yeni arayışlara gidilmesine neden olmuştur. Bu konu hakkında, araştırmacılar; “Ekolojik Medeniyet’in”, modern medeniyetin ötesine geçen yeni bir medeniyet olabileceğini belirtmişlerdir (Wang, 2016; Pan, 2016; Gare, 2017).

Ekolojik medeniyet: “Ekolojik Medeniyet”, kavramının benimsenmesine öncelik eden Çin, kavramın oluşumunda geleneksel inanış ve kültüründe yer alan insan ve doğa ilişkisinden yararlanmıştır. (Pan, 2016) “İnsan ve doğa arasındaki uyumlu ilerlemenin, toplumun maddi ve manevi kazanımlarını kapsayan bir toplumsal uygarlık biçimi olarak” (Pan, 2015) “Ekolojik Medeniyet” ağırlık olarak Çin kaynaklı akademik çalışmalar yer alsa da daha sonraları Batı kaynaklı literatürlerde de bu kavrama yer verilmiş ve Ekolojik Medeniyet kavramı ile ilgili çeşitli tanımlamalar yapılmıştır. Batı literatüründe ilk kez Roy Morrison’ın (1995) “Ekolojik Demokrasi” kitabında tanımlanmıştır. Kavramı, sanayi sonrası dönemde toplumsal medeniyet biçimi olarak ele almış ve demokratik siyaset perspektifinden yaklaşmıştır.

Pan’a (2015) göre; ekolojik medeniyet; “insanın doğaya saygı duyması, doğa ile birlikte varlığını ve birlikte gelişmesini sağlamakla kalmayıp aynı zamanda ekonomik ve yönetim alanlarında da ortak

değerlere dayalı üretim modellerinin oluşturmasıdır.” Bir başka tanımda ise; toplumun yaşam kalitesinin artırılması ve gelişmiş refah seviyesine ulaşmanın doğaya saygılı ve doğal kaynakların kapasitesi gözetilerek, ülke gelişimi için uzun vadeli mekanizmaların oluşturmasını teşvik etmek olarak tanımlanmıştır (Anonim,2016). Kuhn (2016)' göre; ekolojik medeniyet kavramı doğanın, hiçbir kısıtlama olmadan kullanılabilir bir şey yerine yaşamın bir parçası olarak ele alınması ve Çin'in modern gelişimine katkı sağlamada yeşil kalkınmaya öncelik verilmesi şeklindedir. Gare (2012) göre; Ekolojik medeniyet, insanların hayallerini yakalayabilmeleri ve onların ihtiyaçlarına göre harekete geçirebilecekleri geleceğe yönelik yeni bir vizyon sağlar.

Tüm bu tanımlardan yola çıkarak “Ekolojik Medeniyet”; ekonomik olarak gelişen ancak sürdürülebilir olmayan toplumsal düzenden, ekolojinin sürdürülebilirliğini amaç edinen ve bu düşünce çevresinde şekillenen ekonomik, sosyal, politik bir düzene geçiş biçimi olarak da ifade edilebilir. Bu bağlamda Ekolojik medeniyet içerik olarak, ekolojik krizleri ve felaketleri hafifletmeyi, doğal kaynaklar üzerindeki baskıyı azaltmayı, çevre, ekonomi ve toplum arasındaki dengeyi iyileştirmeyi kapsamaktadır. (Anonim, 2013).

Antik Çin medeniyetini bir Ekolojik Medeniyet olarak tanımlayan Lu Feng, binlerce yıllık geleneksel Çin kültüründe yer alan insan ve doğanın uyumunu referans göstermektedir. Çin felsefesinde; insan doğanın efendisi değildir, doğayı dönüştürmeye ve fethetmeye çalışmaz. İnsan ve doğa eşittir ve uyum içinde yaşayacaklardır; insan rasyonel olmalı ve doğaya yaklaşımını ayarlamalıdır (Sawyer, 2015) İnsanların temel amaçları, maddi zenginliğin sınırsız birikimi değil, doğanın değerlerinin tanınması ve saygı gösterilmesidir. Pan'a (2015) göre; eğer doğaya saygı duymak ve onu izlemek ekolojik adaleti temsil ediyorsa, “doğa ve insan birlikteliği” aynı zamanda sosyal adalet, yani insan haklarına saygı ve doğal kaynakların adil paylaşımını ve sürdürülebilirliğini de içerir. Ekolojik adalet ve sosyal adalet kavramları ekolojik medeniyet değerlerinin temelini oluşturur (Wang, 2016). Bu perspektiften bakıldığında; *“ekolojik medeniyet, sadece insanların özneliğe sahip olmadığını, aynı zamanda doğanın da bir özneliğe sahip olduğuna inanır; sadece insanların değeri yoktur, doğanın da değeri vardır; sadece insanlar doğaya bağlı değildir, tüm canlılar doğaya bağlıdır”* (Schmitt, 2016).

Ekolojik medeniyet, ekolojik ekonomi ile ekolojik refah gibi maddi medeniyet unsurlarının yanı sıra ekolojik adalet, ekolojik yükümlülükler, ekolojik farkındalık, yasalar, sistemler ve politikalar gibi kültürel unsurları, ekolojik demokrasi gibi politik medeniyet unsurlarını da içermektedir (Marinelli, 2018). Bu anlamda ekolojik medeniyet teknolojik niteliklerin ölçütlerine göre ölçülürse, ilkel medeniyet, tarım medeniyeti ve endüstriyel medeniyetten sonra ortaya çıkan yeni bir medeniyettir. Bu yeni medeniyet sisteminin toplumsal düzeni sağlamada işleyiş biçiminin irdelenebilmesi yönünde ekonomik, politik, sosyo-kültürel ve çevresel boyutları ile birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir (Sawyer, 2015; Pan, 2016).

Ekolojik Medeniyetin Boyutları

Ekonomik boyut: Çin'in 70'li yıllardan itibaren küresel ekonomi ağına katılması ve dışa dönük ticaret politikaları sayesinde büyüyen ekonomisi ile Dünya'nın güçlü ülkeleri arasında yerini almıştır (İnançlı ve Kamacı, 2010). Çin ekonomisi ağırlıklı olarak endüstri kaynaklı üretime bağlı olup özellikle ikincil imalat sanayisinin payı büyüktür. İkincil imalat sanayi; yoğun enerji kullanımına dayanan ve hammadde sağlanması için çevresel kaynakları kontrolsüz şekilde kullanan ağır sanayi üstünlüğüne sahiptir. 1999'dan 2011'e kadar hafif sanayi üretimi, toplam ikincil sanayi üretiminin %42'sinden, %30'un altına düşerken, ağır sanayi oranı %58'den, %70'in üzerine çıkmıştır (Anonim, 2017). Ağır sanayide yaşanan büyüme aynı zamanda hava kalitesinin düşmesine, temiz su kaynaklarının

kirletilmesine, tarım ve orman alanlarında kayıplar gibi ekolojik tahribatlara neden olmuştur (Sawyer, 2015; Anonim, 2016).

Yüksek yatırımların özellikle büyük kentlerde yığılması ve sermaye birikiminin yansıması olarak hızlı bir kentleşme süreci yaşayan Çin; hızlı kentleşme sebebiyle orman ve tarım alanlarına doğru genişleme yaşamış, kentlere yığılan nüfusun ihtiyaçlarını karşılayamaz hale gelmiştir. Dolayısıyla sanayiye dayalı olan bu ekonomik kalkınma modeli sürdürülebilir olmayan bir yapıya sahiptir (Pan, 2016). Seri üretim bandına ve sürekli olarak tüketime teşvik eden bu model, maddi zenginliği ön planda tutmuş ve sürekli daha fazla kazanmayı amaçlamıştır (Cheng ve Fan, 2018). Ekolojik Medeniyete dayalı kalkınma modeli ise bu geleneksel modelin olumsuzluklarını ve ortaya çıkardığı sorunları gidermek adına geliştirilmiştir (Pan,2015). Bu sebeple Çin tarafından benimsenen ve Ekolojik Medeniyet kavramının üretim ve yaşam biçimi olarak somutlaştırılmasına katkı sağlayan “Yeşil Kalkınma Modeli” ekonomik büyümeyi bir amaç olarak değil insan refahının artırılması için bir araç olarak görmektedir. Bu nedenle de günümüzde benimsenen ekonomik modellerin aksine insana ve doğaya değer veren maddi kazanım yerine sürdürülebilir ve insan yaşamına değer veren bir sistem kurmaya çalışan Çin, aşağıda belirtilen ilkeleri belirlemiştir (UNEP, 2016; Anonim,2017)



Şekil 1. Ekolojik medeniyet temelli yeşil kalkınma modeli (Anonim,2017)

Ekolojik tarım: Çin'in temel sorunlarından olan tarım alanlarının kimyasallarla kirlenmesi nedeniyle kullanılmaması ve ekilebilir alanların yok olma tehditleri Çin'in tarımda dönüşüm yapmasında etkili rol oynamıştır (Cunwang ve ark., 2012). Çin hükümeti, Ekolojik tarım kapsamında, tarım alanlarının mutlak olarak korunması, pestisitler ve kimyasal gübre kullanımlarının önemli ölçüde azaltılmasında sıkı yasaklar ve denetimler getirmiştir (Anonim, 2015). Ayrıca yeni teknolojiler yoluyla tarımsal üretimde verimliliğin artırılmasını hedeflemiştir. “Ekolojik Tarım” tarım arazilerini sadece tarımsal üretim ile sınırlandırmamakta, aynı zamanda tarımsal olmayan ekolojik hizmetlerin değerini de büyük ölçüde artırmaktadır. Şöyle ki; tarım alanlarının estetik değeri, spor değeri, eğlence değeri, kültürel değeri, sağlık değeri gibi olanaklarından faydalanarak tarımsal üretim dışında tarım alanlarında yapılabilecek çeşitli iş kolları yaratmayı amaçlamaktadır (Anonim, 2017).

Ekolojik sanayi: Çin'de temel çevre sorunlarının kaynağı olarak gösterilen endüstriyel kaynaklı kirliliklerin en aza indirilmesi, yüksek maliyetlerin azaltılması, üretim biçiminin değiştirilmesi ve daha sürdürülebilir bir modele geçişin sağlanması gibi konuları içermektedir (UNEP, 2016). “Ekolojik Sanayi” ile yenilenebilir enerji sistemlerine (güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, biokütle enerjisi vb.) öncelik verilmesi ve yatırım sağlanması, bu konu hakkında gerekli Ar-Ge çalışmalarının hazırlanması, gerekli ekipmanların oluşturulmasında sanayi girişimlerine destek sağlanması ile başta hava kirliliği olmak üzere çevresel zararların giderilmesi amaçlanmaktadır (Pan, 2016; Delman, 2018) Enerji tasarrufu çalışmalarına ilişkin 2014 yılında 320 proje gerçekleştirilmiş ve bu projeler ile 1.5 milyon ton kömür kullanımı engellenmiştir. Çin hükümeti özellikle enerji tasarrufu ve temiz enerji kaynaklarının kullanımının artırılmasına yönelik çalışmalar için 2011-2014 yılları arasında 1.41 milyar USD

harcamıştır. Ayrıca hükümet tarafından, enerji verimliliği haricinde düşük karbonlu gelişme, yeşil inşaat, sera gazı envanterleri ve karbon emisyonu yönetimi ve izleme sistemleri için bir eylem planı da hazırlanmıştır (Anonim, 2013).

Ekolojik ticaret: Yeşil kalkınma ile birlikte değişen ekonomik model, ortaya çıkan hizmetlerin değerinde de değişimlere neden olacağı, “Ekolojik Ticaret” ve bilgi teknolojisinin gelişimi ile birlikte internet, mobil ödeme, e-ticaret, çevrimiçi alışveriş vb. kullanarak daha verimli bir sisteme geçiş sağlanacağı düşünülmektedir. Çevre ve enerji dostu ürünlerin üretilmesi ve bu ürünleri yüksek oranda talep eden bir tüketici profili oluşturulmaya çalışılmaktadır. Ayrıca Çin Ulusal Karbon Ticareti ve Yatırımı ile karbon kullanımının azaltılmasına yönelik teşviklerin artırılmasını destekleyecek politikaların oluşturulması amaçlanmaktadır (Wei ve ark., 2011 ve Anonim, 2017)

Ekolojik şehir: Ekolojik şehir konsepti enerji tasarrufu sağlamak ve kentlerde meydana gelen kirliliklerin azaltılması yönünde çalışmaları içermektedir. Yeşil bina sistemleri, düşük karbonlu ulaşım modları ve akıllı kentsel altyapı uygulamaları ile enerji tasarrufu, sıfır atık uygulamaları ile çevresel kirliliğin azaltılması amaçlanmaktadır. Bu bağlamda Çin-Singapur iş birliği ile 2007 yılında Çin'in Tianjin kentinde Ekolojik Şehir modeli uygulanmış ve Çin'de ilk akıllı enerji sistemini kullanan ve yaya öncelikli tasarımların yer aldığı bir kent planlama çalışması yapılmıştır. Kentte yayaların erişimini kolaylaştıran tasarım ilkeleri benimsenmiş, ayrıca düşük karbon kullanımını teşvik için kentte bisiklet yolları ve bisiklet kiralama merkezleri yapılmış, atık yönetimi, geri dönüşüm ve yenilenebilir enerji sistemlerini içeren yapılar ile enerji tasarrufu sağlanmıştır (Anonim, 2015)

Politik boyut:1980'li yıllardan itibaren Çin hükümeti tarafından doğal alanların korunması, kirliliğin önlenmesi, sürdürülebilir gelişme, refah düzeyinin artırılması vb. konularda çeşitli düzenlemelere gidilmiş, konferanslar verilmiş ve birtakım politikalar belirlenmiştir (Pan, 2015; Goron, 2018). 2007 yılında ise “Ekolojik Medeniyet” kavramından ilk defa politik düzeyde bahsedilmiştir. Ekolojik Medeniyet'in inşa edilmesinde her ne kadar çevre, ekonomi, sosyal ve kültürel konular etkili olsa da hayata geçirilmesi ve uygulanması aşamasında gerekli olan birtakım politikalar, kurallar ve denetlemeler, merkezi ve yerel yönetimler sayesinde gerçekleşecektir (Marinelli, 2018). Başkan Hua ekolojik medeniyet hakkında şöyle belirtmektedir;

“Artan kaynak kısıtlamaları, şiddetli çevre kirliliği ve kötüleşen bir ekosistemle karşı karşıya kalırken, doğaya saygı duyma, uyum sağlama ve koruma ihtiyacı konusunda ekolojik farkındalığımızı arttırmalıyız. Ekolojik ilerleme kaydetmeye yüksek öncelik vermeli ve bunu tüm yönlerde ve tüm ilerleyiş sürecine dahil etmeliyiz. Ekonomik, politik, kültürel ve sosyal ilerleme ile güzel bir Çin inşa etmek ve Çin ulusunun uzun süredir devam eden sürdürülebilir kalkınmasını sağlamak için çok çalışmalıyız.” Başkan Hua döneminden sonra 2012 yılında görevi devralan Xi Jinping'de aynı şekilde Ekolojik Medeniyet kavramının benimsenmesi ve uygulanması için çeşitli çalışmalar yapmıştır (Gare, 2012). Ekolojik Medeniyet'in inşası ve bu kapsamda Çin Başkanı Xi Jinping tarafından da açıklanan “Çin Rüyası” (China Dream) kavramını ekolojik medeniyetin inşasında önemli bir adım olarak görmekte ve ekolojik medeniyet ile ilişkisinden şu şekilde bahsetmektedir; *“Sıkı kaynak kısıtlamaları, ciddi çevre kirliliği ve ekosistem bozulması gibi korkunç durum karşısında (...) Çin, çevre haklarını ve vatandaşların çıkarlarını etkin bir şekilde koruyan Güzel bir Çin inşa etmeye çalışmaktadır.”* (Schmitt, 2016 ve Marinelli,2018). “Çin rüyası” kavramının özünde *“mavi gökyüzü, yeşil toprak ve temiz suya”* sahip bir Çin oluşturma vizyonu yatmaktadır (Kuhn, 2016). Buna dayanarak 2015 yılında Başkan Xi Jinping ekonomiyi ve Ekolojik Medeniyeti teşvik etmek için, “Ekolojik Çevrenin İnşa Edilmesi Hakkında Eylem Planı” hazırlatmıştır. 2018 yılında Çevre Koruma Bakanlığı'nın ismi, “Ekoloji ve Çevre Bakanlığı” olarak değiştirilmiştir (Wang, 2016).

Sonuç olarak, Ekolojik medeniyet kavramı Çin siyasi sisteminde yakın bir dönemde girmiş olsa da Çin hükümeti endüstriyel toplumun ekolojik topluma evrilmesinin “Ekolojik Bir Medeniyet İnşa Ederek” olabileceği ve kurulan yeni medeniyetin Çin tarafından tüm dünyaya yayılacağına inanmaktadır (Pan, 2016).

Çevresel boyut: Çin’de yaşanan ciddi çevre sorunları, sadece doğal kaynakların yok olmasına değil aynı zamanda insanların yaşam kalitesini giderek düşürmüştür. 1.42 milyar kişi ile dünya nüfusunun yaklaşık %20 sine sahip Çin, 2018 yılında CO₂ emisyonu üretiminde % 27.5 ile Dünya’da birinci sırada yer almıştır (Friedlingstein ve ark., 2019). Her yıl Çin’de yaklaşık 1.6 milyon insan hava kirliliği sebebiyle hayatını kaybetmektedir. Greenpeace açıklamasında; Çin’de yer alan maden ocakları ve fabrikalara yakın tarım alanlarında ciddi boyutlarda ağır metal kirliliği tespit etmiştir. Aynı şekilde içme suyu kaynaklarının büyük çoğunluğunda da kirlilik tespit edilmiştir. Ayrıca kuraklık nedeniyle de Çin ciddi su sıkıntıları yaşamaya başlamıştır. Örneğin Pekin’de 2011 yılında yaşanan büyük kuraklık nedeniyle kişi başı içme suyu 107 m³ e kadar düşmüştür. Bu değer uluslararası kabul edilen kişi başı içme suyu (500 m³) değerinin oldukça altındadır (Anonim, 2013).

Dünya’da etkisini gösteren iklim değişikliği ve küresel ısınma sorunu diğer ülkeler gibi Çin’i de yakından ilgilendirmektedir. Yarattığı kirlilik sebebiyle sadece kendi çevresini değil, dünya üzerinde yer alan ekosistemlerinde zarar görmesine neden olmaktadır (Yunhua,2015). Hem uluslararası hem de ulusal ölçekte meydana gelen çevresel krizlerin etkilerini azaltmak ve daha yaşanabilir bir çevre oluşturmak adına Çin hükümeti Ekolojik medeniyet kapsamında çevresel boyutu 4 ana başlık altında incelemiş ve Çizelge 1’deki ilkeleri belirlemiştir.

Çizelge 1. Ekolojik medeniyetin çevresel boyutu ve ilkeleri

Çevresel Boyut	İlkeler		Kaynak	
Doğal Alanların Korunması	Orman ve Tarım Alanlarının Korunması	Sulak Alanların Korunması	Tarihi Peyzaj Değerlerinin Korunması	Anonim,2013
Su Yönetimi	Su Kalitesinin İyileştirilmesi	Su Kaynaklarındaki Denetimlerin Arttırılması	Su Kaynaklarında Tasarrufa Gidilmesi ve Bu yönde Teknolojik Ürünler Geliştirmek	Anonim,2013
Atık Yönetimi	Katı Atık Bertaraf Tesislerinin Kurulması	Atık Su Arıtma tesislerinin Kurulması	Geri dönüşüm ve atık yönetimi çalışmaları	Anonim,2013
Enerji	Düşük CO ₂ emisyonu politikalarının oluşturulması	Düşük CO ₂ emisyonu politikalarının oluşturulması	Enerjide Tasarruf Sağlanması	Anonim,2013

Doğal alanların korunması: Ekolojik Medeniyet felsefesinde doğanın önemi, sürdürülebilirliği ve insanlığın devamlılığının doğaya saygı ile olabileceği belirtilmiştir (Schmitt,2018). Bu düşünce temel alınarak doğal kaynakların; ormanlar, tarım alanları, önemli havza alanları ve içme suyu kaynaklarının korunmasına ilişkin koruma kararları alınmış ve bu alanlarda yapılaşma yasağı getirilmiştir (Anonim, 2013) Bitki örtüsünü güçlendirmeye yönelik ağaçlandırma çalışmaları yapılmıştır. Koruma bilincinin sağlanması, kentsel ve doğal peyzaj değerlerinin korunması için merkezi yönetim tarafından ağır cezalar getirilmiştir. 2000-2015 yılları arasında Çin’in orman alanı 100.000 km²’lik net bir büyüme ile 2000’li yılların başlarından itibaren % 16.6’dan 2015’te% 21.66’ya yükselmiştir. Koruma altındaki sulak alan büyüklüğü % 13 arttırılmış, su ve toprak erozyonuna uğrayan arazilerin büyüklüğü 2000’de 3.56 milyon km²’den 2013’te 2.95 milyon km² düşerek, altıda biri azalmıştır (UNEP, 2016)

Su yönetimi: Çin’in temel sorunları arasında yer alan su yönetimi konusunda yeraltı ve yerüstü su kaynaklarında tespit edilen kirlilik ve bununla birlikte kuraklık sorunu kentsel ve kırsal yerleşmelerde içme suyu sıkıntısına neden olmuştur (Xiang-Chao, 2018). Ekolojik Medeniyet ile su talep yönetiminin güçlendirilmesi, nüfus-ekonomi-su kaynakları arasındaki dengenin desteklenmesi ve su tasarrufunu

sağlayabilen bilinçli bir toplumun inşa edilmesi amaçlanmıştır (Anonim, 2015). Bu bağlamda yüksek verimli su tasarrufu sağlayan teknolojik ürünler tanıtılarak, kentsel alanlarda su tasarrufunun güçlendirilmesi ve işletmelerin su tasarrufu dönüşümü desteklenmiştir. Çin Hükümeti 2010 yılında başlattığı çalışmalarla kırsal alanlarda yaşayan 281 milyon kişiye temiz içme suyu sağlamayı başarmıştır. Çevresel iyileştirme projelerine katılan bu köylerin içme suyu kaynakları korunmuş, atık ve hayvancılıktan kaynaklanan kirlilik etkili bir şekilde kontrol edilmiş ve kırsal çevre iyileştirilmiştir (Anonim,2013; Anonim, 2015).

Atık yönetimi: Çin gibi kalabalık bir ülkenin atık üretimi konusunda yeterli altyapıya sahip olmaması nedeniyle evsel, endüstriyel kaynaklı atıklar tarım, orman ve içme suyu kaynaklarına boşaltılmakta ve doğal alanların yapısını bozmaktadır (Hong, 2015). Atık yönetimi ve geri dönüşüm ile kentsel ve kırsal alanlarda yaşanan altyapı sorularının giderilmesi, kirliliğin azaltılması ve temiz bir çevrenin oluşturulması amaçlanmaktadır. Bu sebeple katı atık ve su geri dönüşüm tesislerinin kurulmasına öncelik verilmiş ve bu konu ile ilgili yatırımlar desteklenmiştir. Ayrıca halkın atık yönetimi ve geri dönüşüm konularında bilgilendirilmeleri sağlanmıştır (UNEP, 2016).

Enerji: Çin'in küresel enerji kullanımı ve emisyonlardaki payı diğer tüm ülkelerden daha büyüktür ve Çin'in gelecekte buna devam etmesi beklenmektedir (Turner, 2015) Enerji alanında yapılacak yenilikler ile Çin'in küresel CO₂ emisyonları ve enerji kullanımındaki payının azaltılması amaçlanmaktadır. Özellikle Çin'de ağırlıklı olarak kömür kullanımı yerine Ekolojik Medeniyet ile düşük karbon kullanımının teşvik edilmesi, enerji verimliliği ve çevre dostu enerji sistemlerine geçişin sağlanması, karbon salınımının azaltılmasında büyük katkı sağlayacaktır (Wei ve ark.,2011).

Sosyo-kültürel boyut: Sosyo-kültürel boyut, ekolojik medeniyet inşasında insanların refah düzeyinin artırılması, sosyal adaletin sağlanması, ekolojik bilinç ve çevre etiğinin oluşturulmasını ifade etmektedir (Wang, 2016). Çin inancı ve kültürel yapısı itibarıyla Taoizm ve Budizm başta olmak üzere Konfüçyüsçülük gibi akımlardan etkilenecek meydana gelmiştir (Feng, 2015). Her iki din ve Konfüçyüs düşünce sisteminin ortak noktası insanın ve doğanın ayrılmaz bir parça olarak düşünülmesi ve insanların doğaya hükmetmesi yerine uyum sağlaması gerektiği savunulmaktadır (Feng, 2015). Her üç öğretilerde de manevi değerler ve içselliğe önem verilmekte mutluluğun bu sayede elde edilebileceği belirtilmektedir (Pan, 2016). Yaklaşık 5000 yıldır süregelen Çin inancı biçimi günümüzde de devam etmekte olup 185 milyon Budizm ve 173 milyon kişi Taoizm dinine mensuptur (Miller, 2015).

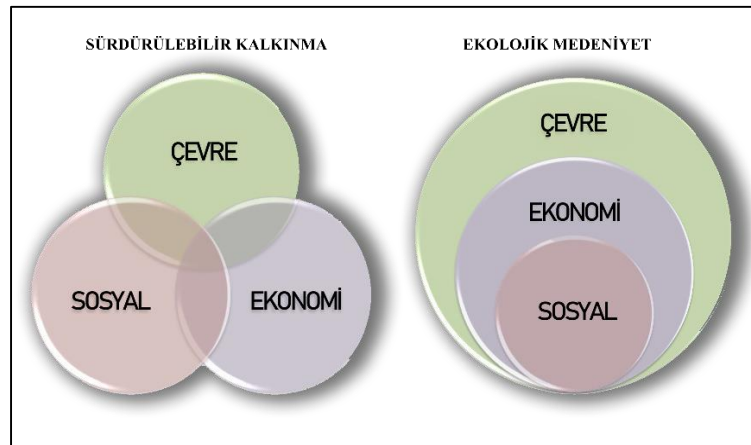
Çin'in sosyo-kültürel açıdan en temel sorunu kırdan kente göç ve beraberinde hızlı kentleşme süreci olarak belirtilmektedir. Yapılan araştırmalara göre; 2012 yılında Çin'in kentleşme oranı %52,6'ya ulaşmıştır. Bununla birlikte kentlerde sosyal hizmetlere tam erişebilen insan sayısı ise sadece kentlerde yaşayan halkın %35,3'üdür (Cunwang, 2012). Bu iki oran arasındaki farka göre 234 milyon kişi kayıt dışı olup kamu hizmetlerinin tümünden faydalanamamaktadır (Anonim, 2013). Çin'de, başta barınma sorunu olmak üzere eğitim ve sağlık gibi temel ihtiyaçların giderilmesinde yaşanan sorunlar, kırdan kente göç edenlerin ucuz iş gücü olarak kullanılması ve işçilere herhangi bir hak tanınmaması, buna bağlı olarak gelir dağılımında yaşanan adaletsizlik, sosyal güvenlik eksikleri gibi temel sosyal sorunlar ortaya çıkmıştır (UNEP, 2016) Bunun yanı sıra sanayiye dayalı üretim modeli, kentleşme hareketleri ve Batı etkisi ile gelişen modernleşme çalışmaları Çin inancı biçimleri ve geleneksel kültürü üzerinde de negatif etkilere yol açmıştır.

Ekolojik Medeniyet ile sosyal yaşamın, inancı ve kültürel değerler çerçevesinde yeniden ele alarak Çin toplumunun yaşam kalitesinin artırılması, tüketerek mutlu olan bir toplum yerine içsel üstünlük ve manevi değerlere önem vererek insanların daha iyi bir yaşam sürmesi amaçlanmaktadır (Pan,2016). Eski bir Çin deyişine göre: “Bir toplum için tehlikeli olan şey katılık değil eşitsizliktir.”

(Heurtebise, 2017). Bu düşünceden yola çıkarak Çin hükümeti, 2000'li yıllardan itibaren gelir dağılım politikalarının düzenlenmesi, savunmasız gruplara verilen desteğin artırılması, kırsal-kentsel göç bağlantıları yoluyla eşitsizlik konularının incelenmesi ve tüm kent sakinleri için sosyal eşitliğin değerinin yaygın olarak teşvik edilmesine yönelik çalışmalar yapmaktadır (Anonim, 2013; Anonim, 2016).

Sürdürülebilir Kalkınma Kavramı ve Ekolojik Medeniyet Kavramı ilişkisi

Sürdürülebilir Kalkınma kavramı Batı'da yaşanan çevresel sorunlar neticesinde, ekolojik medeniyet ise Çin'de meydana gelen ekolojik krizlere çözümler üretmek için oluşturulan kavramlardır (Gare, 2017). Daha yaygın bir kavram olarak karşımıza çıkan sürdürülebilir kalkınma paradigması, ekolojik medeniyet paradigmasının oluşmasında etkili olmuştur. Çin'in insani gelişmenin geleceğiyle ilgili olarak sürdürülebilir kalkınma önemli bir referans konsepti olmaya devam etmektedir. Ancak Çin için sürdürülebilir kalkınma kavramı çevresel sorunlar ve kültürel yapısı göz önüne alındığında tam olarak karşılık bulamamıştır (Pan, 2015). Bu sebeple "Ekolojik Medeniyet" kavramı alternatif olarak önerilmiştir. Çin hükümeti yeni bir medeniyet olarak "Ekolojik Medeniyet'in" inşası için çeşitli çalışmalar yapmaya başlamış, ulusal politikalarından yerel politikalarına kadar bu yaklaşım ile ilgili çeşitli politikalar, uygulamalar ve projelere yer vermiştir (Anonim, 2015). Ekolojik medeniyet kapsam olarak; sürdürülebilir kalkınma kavramının üç temel boyutunu (çevresel, ekonomik ve sosyal) Çin felsefesi ve Çin medeniyetine özgü yapısı ile ilişkilendirerek yeniden tanımlamıştır (Clayton, 2017). Şöyle ki Şekil 2'de görüldüğü üzere sürdürülebilir kalkınma; çevre, ekonomi ve sosyal boyutları aynı değerde kabul etmiş bir gelişim şeması oluşturmuştur. Ancak ekolojik medeniyet doğayı odak noktası olarak, ekoloji temelli ekonomik ve sosyal gelişimi desteklemiştir (Pan, 2016; Clyton, 2017)



Şekil 2: Sürdürülebilir kalkınma ve ekolojik medeniyet ilişkisi (Ecologist, 2017)

Çin'in 2015 yılında yayınladığı Uluslararası Çevre ve Kalkınma İşbirliği Konseyi raporunda sürdürülebilir kalkınma ve ekolojik medeniyet kavramlarının benzer ve farklı yönleri karşılaştırılmıştır. Bu rapora göre;

Benzerlikler:

- Doğal kaynakların ve çevrenin korunması
- Yeşil ekonomi ve yeşil endüstriyi destekleme, düşük karbon kullanımı teşvikleri
- Sosyo-ekonomik Gelişiminin sağlanması
- Uygulama ve finansman zorlukları

Her iki kavramda da toplumun gelişmesi, refah seviyesinin yükseltilmesi ve doğal kaynakların korunması amaçlanmaktadır. Ayrıca doğal kaynaklara olan bağımlılığın azaltılması ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerin en aza indirilmesi için yeşil kalkınma yolları teşvik edilmektedir. Sonuç olarak Ekolojik Medeniyet ve Sürdürülebilir Kalkınma kavramları doğanın korunması ve çevresel zararların azaltılmasını temel alan yaklaşımlar olup buna dayalı sosyal ve ekonomik gelişmeyi desteklemektedir.

Farklılıklar:

Sürdürülebilir Kalkınma

- Teorik olarak; çevresel değer, çevre taşıma kapasitesi, ekonomik gelişme, sosyal gelişme, kalkınma konularına odaklanır.
- Felsefi açıdan insanı ve insan gelişimini temel almaktadır.
- Ölçek bakımından dünya çapında kabul edilen ve uygulanan bir kavramdır.

Ekolojik Medeniyet

- Ekoloji, ekonomi, sosyal, kültür, etik ve politika konularına odaklanır.
- Felsefi açıdan geleneksel Çin felsefesinde yer alan insan-doğa birlikteliği ve insanın doğayla olan uyumunu temel almaktadır.
- Ölçek bakımından ulusal boyutta kabul edilmektedir ve ulusal kimliğe önem verilmektedir.

Gare (2017)'e göre sürdürülebilir kalkınma modelinde doğa, ekonomik gelişme ve büyüme sağlamak için bir araçtır, sürdürülebilir kalkınma modeli ekonomik gelişmeyi hedeflerken bu gelişmenin sebep olduğu doğadaki tahribatları minimize etmeyi hedeflemektedir. Ekolojik medeniyet ise; çevreye verilen zararların temelinde ekonomik büyüme çabalarının olduğunu kabul etmekte, doğanın ve doğal kaynakların korunmasına ise öncelikli olarak odaklanmaktadır (Arler, 2018). Ekolojik Medeniyet inşası; sosyal, kültürel ve ekonomik dönüşümü içeren, ekoloji başta olmak üzere diğer bilim dalları, felsefe, etik ve politikayı temel alan bir süreçtir (Pan, 2015).

SONUÇ

Çin'in gerçekleştirmek istediği, "Ekolojik Medeniyet" ideoloji çerçevesinde insan ve doğa arasındaki uyumun modernleştirilmesidir. Bu modernleşme, sadece insanların maddi yaşamının artan ihtiyaçlarını karşılamak için değil, aynı zamanda insanların güzel bir çevrede yaşama isteklerini karşılamaktır (Xiang, 2018). Bu bağlamda ekolojik medeniyet inşası, siyasi kültürün savunuculuğu ve toplumun desteğine ihtiyaç duyan uzun vadeli, sistematik ve yenilikçi bir proje sürecidir (Cheng ve Fan, 2018). Bu süreçte özellikle Çin vatandaşlarının yaşanan ekolojik krizler ve ekonomik sorunlar neticesinde hükümetten beklentileri yüksektir. Schmitt (2018) göre; Çin siyasi sisteminin otoriter yapısına rağmen iktidarın "Ekolojik Medeniyet" ideolojisinin benimsenmesi ve özellikle çevrenin korunmasına ilişkin çalışmalar yürütmesinin diğer ülkeler tarafından ders niteliğinde olacağı belirtilmiştir. Çin ekolojik medeniyet inşası için hem akademik boyutta hem de iktidar tarafından başlatılan projeler ile bu ideolojinin hayata geçirilmesi için çeşitli çalışmalar yapmıştır. Gare (2017) göre; Çin'in kavramı, kendi kültürü ve inanç sistemi çerçevesinde şekillendirdiği, kültürel ve sosyal bir dönüşümü kapsadığını, Avrupa medeniyetinden örnek aldığı bilimsel çalışmalar kapsamında birleştirerek oluşturmuş fakat bu ideolojinin gerçekleştirmek istenen bir rüya olduğu şeklinde belirtmiştir.

Çin'in geleneksel yapısında yer alan ekolojik kültür ışığında endüstriyel medeniyetin sorunlarına çözümler oluşturmak ve ekolojik medeniyet inşa etmek, Çin'in gelişiminde temel alınan bir vizyon olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bağlamda Çin hükümetinin çevre ile ilgili birimler kurması, çevre koruma kanunları çıkarması, yenilenebilir enerji sektörüne verdiği öncelikler, kirliliklerin önleme

denetimlerinin artırılması, düşük karbon uygulamaları gibi çalışmalar gelecekte de kavramın geliştirilmesi ve uygulanması yönünde umut vadetmektedir.

Bununla birlikte Ekolojik Medeniyet kavramı, batı ülkelerindeki farklı bilim insanları tarafından ele alınarak, Batı'nın sürdürülebilir kalkınma politikalarının başarıya ulaşabilmesinin ancak, Ekolojik Medeniyetin temelinde yatan felsefesi gibi güçlü bir insan- evren birliği düşüncesi temelinde uygulanması gerektiğine dikkat çekerek Ekolojik Medeniyeti düşünüş biçimi çerçevesinde Batı'ya örnek göstermişlerdir (Heurtebise, 2017). Nitekim Antik Yunan'da İnsanı "düşünen bir hayvan olarak" tanımlayan Aristo'nun bu düşüncesi ile birlikte doğanın sırlarını çözmeyi başarabileceğini düşünen Batı toplumu tek tanrılı dinlere geçişle birlikte Eski Ahit'teki Yaradılış Efsanesi'nde bahsedildiği gibi kendini doğanın efendisi olarak görmeye başlamıştır. İnsan merkezli bir geleneğe sahip olan Batı'nın yıllar içerisinde bilim ve teknolojiye hızlı ilerleyişi ve Sanayi Devrimi ise insanları üzerlerinde egemenliğe sahip oldukları bütün diğer yaratıklardan farklı gören, dünyayı çok geniş ve bu nedenle insanlar için sınırsız fırsatlar sağlayan bir yer olarak tanımlayan insan merkezci ve ekoloji karşıtı olan "Egemen Batı Dünya Görüşü"nü geliştirmiştir (Özerkmen, 2017). Her ne kadar bu görüş 1970'lerden sonra artan çevresel felaketler ile birlikte yerini insan-doğa ittifakına bırakmış olsa da bu ittifak henüz tam anlamı ile insan ve doğa ilişkisi arasındaki "bütünsellik" olgusuna yaklaşmamıştır.

Oysaki Ekolojik Medeniyet paradigması Çin için bir nevi öze dönüştür. Bu "öz" ise insan- doğa bütünselliğidir. Bütünsellik düşüncesi Uzakdoğu'da binlerce yıldır halkın inanış biçimi olan Taoizm, Budizm ve Hinduizm dinlerinin merkezinde yer alırken aynı düşünce biçimi tasavvuf felsefesinde de görülmektedir. Tasavvuf felsefesinde Alem, Tanrı ve Dünya bir bütünlük içinde ele alınmaktadır. Her ne kadar diğer tek tanrılı dinlerde olduğu gibi İslamiyet'te de insanlar diğer canlılardan daha üstün tutulsa da (örn; "Ey İsrail Oğulları! Size verdiğim nimeti ve sizi dünyalardan üstün tuttuğumu hatırlayın" Bakara Suresi, 122. Ayet) Kur'an'da insan ve doğa arasındaki dengeyi ve uyumu konu alan ayetler de vardır. Bu ayetlerde doğal dengenin korunması gerektiği, aksi takdirde sonuçlarının insanoğlu için zararlı olacağı belirtilmiştir. Örneğin Rahman Suresi 7-9. ayetlerde "O, göğü yükseltmiştir, dengeyi koymuştur. Artık dengeye tecavüz etmeyin. Dengeyi doğru tutun. Dengeyi bozmayın." ifadesi yer almaktadır (Özerkmen, 2017).

Bununla birlikte bütünsellik düşüncesi bin yıllardan beri Türklerin yaşam felsefesinde yer alıp Kabak (2018)'in da belirttiği gibi mitolojik dönemde Türklerin inanış biçimi olan animizmin bir sonucu olarak doğada var olan her şey zayıf veya güçlü, önemli veya önemsiz gibi hiçbir ayırım yapılmaksızın kutsal olduğu kabul edilmiştir. Başak bir deyişle bozkır kültürü içerisinde doğa ile iç içe yaşamayı sürdüren Türklerin doğa ile ilişkisi sadece tarım ve hayvancılık gibi sosyo-ekonomik boyutta kalmamıştır. Bu ilişki, Türkleri inanç ve düşünce boyutunda da etkileyerek doğaya saygı duyan, doğayı bir kaynak olarak değil bir yaşam alanı olarak gören ve insanı da bu alanın bir parçası olarak niteleyen bir perspektiften bakmasını sağlamıştır.

Gelişmekte olan ülkelere biri olan Türkiye'de ise sürdürülebilir kalkınma kavramı, 2000'li yıllardan itibaren kalkınma planları, politika ve stratejilerde ağırlıklı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ancak ilk kez VI. Beş Yıllık Kalkınma Planı'nda (1990-1994) bahsedilmiştir (Terzi, 2017). Ülkemizde sürdürülebilir kalkınma kapsamında 5 yıllık Kalkınma Planlarında çevre sorunları; iklim değişikliği, hava, su ve toprak kirliliği, tarım ve orman alanlarının yok edilmesi, sosyo-ekonomik sorunlar; yoksulluk, işsizlik, toplumsal cinsiyet eşitsizliği, gelir adaletsizliği gibi konular hakkında çözümler üretilmeye çalışılmaktadır. Ancak sürdürülebilir kalkınma stratejisinin ana hedefi ekonomik, ekolojik ve sosyal boyutların bütünlük bir şekilde ele alınması iken, ülkemizde kalkınma planları bu entegrasyonun sağlanmasında zayıf kalmakta ve çevre yönetiminde başarısızlığa uğramaktadır. Başka bir deyişle bu başarısızlığın temel nedeni ise hazırlanan sürdürülebilir kalkınma politikalarının ve planlarının

uygulamaya aktarılamamasıdır. Bununla birlikte 1984'ten (Bern Sözleşmesi) beri ülkemizin taraf olduğu 30'un üzerinde uluslararası çevre anlaşması bulunmasına rağmen çevre sorunları devlet politikaları içerisinde yeterli düzeyde yer almaması ise toplumda çevresel problemlerin çözülemeyeceğine dair otoriteye karşı güvensizliği yaygınlaştırmıştır (Toprak, 2006). Bu bağlamda Türkiye'nin ekonomik, ekolojik ve sosyal boyutları ile birlikte ele alması gereken sürdürülebilir kalkınma stratejisinin temel felsefesini Türk Kültürü ve İnanışının temel öğelerinde araması daha tutarlı politikaların geliştirilmesinde fayda sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2015. "Task Force on the Rule of Law and Ecological Civilization". China Council for International Cooperation on Environment and Development (CCICED) Annual General Meeting, November 9-11, 2015.
- Anonim, 2015. China's Climate Policy Game Changer Forum.
- Anonim, 2016. China's Ecological Civilization and the World.
- Anonim, 2016. South-South Cooperation for Ecological Civilization (Draft): China Council for International Cooperation on Environment and Development. Sustainability 9, 1331.
- Anonim, 2017. The New Era of Green Development: China's Green Transition.
- Anonim, 2013. China Human Development Report: Sustainable and Livable Cities: Toward Ecological Urbanization: English Compiled by United Nations Development Program. –Beijing: China Translation and Publishing Corporation, June 2013 ISBN 978-7-5001-3754-2
- Arlar F, 2018. Revitalizing Traditional Chinese Concepts in the Modern Ecological Civilization Debate. Open Journal of Philosophy, (102-115).
- Bozlaşan R, 2010. Sürdürülebilir Gelişme Düşüncesinin Tarihsel Arka Planı. Sosyal Siyaset Konferansları Dergisi, (50), 1011-1028.
- Carson R, 2002. Silent Spring. Houghton Mifflin Harcourt.
- Change Intergovernmental Panel on Climate, 1990. Climate Change: The IPCC Scientific Assessment. Mass, Cambridge.
- Clayton P, 2017. What is Ecological Civilization Paradigm? Green Transition Toward Ecological Civilization: A Korea – US Dialogue, Towards Ecological Civilization (Ecociv) Korea Conference, November 7-9, 2017. Claremont Graduate University.
- Cunwang C, Huili H, Jiansheng Q, Kinchi L, Tienjun W, 2012. Ecological Civilization, Indigenous Culture, and Rural Reconstruction in China. Monthly Review.
- Delman J, 2018. Ecological Civilization Politics and Governance in Hangzhou: New Pathways to Green Urban Development. Asia-Pacific Journal: Japan Focus, 16(17/1).
- Ecologist, 2017. Nature's rights: a new paradigm for environmental protection by Mumta Ito.
- Efil Ş, 2018. İnsan-Doğa-Tanrı İlişkisi Sorunu ve Küresel Ekolojik Felaket Karşısında İki Temel Öneri. Beytulhikme Int. J. Phil. 8 (2) 2018
- Feng L, (2015). Cultural and Religious Perspectives on Ecological Civilization. Ecological Civilization: Proceedings. in International Conference on Ecological Civilization and Environmental Reporting
- Foster JB, 2017. The Earth-System Crisis and Ecological Civilization: A Marxian View. International Critical Thought, 7(4), 439-458.
- Frazier AE, Bryan BA, Buyantuev A, Chen L, Echeverria C, Jia P, Xiang WN, 2019. Ecological Civilization: Perspectives From Landscape Ecology and Landscape Sustainability Science. Landscape Ecology (2019) 34: 1.
- Gare A, 2010. Toward an Ecological Civilization: The Science, Ethics, and Politics of Eco-Poiesis. Process Studies, 39(1), 5-38.
- Gare A, 2012. China and the Struggle for Ecological Civilization. Capitalism Nature Socialism, 23 (4), 10-26
- Gare A, 2016. The Philosophical Foundations of Ecological Civilization: a Manifesto for the Future. Routledge.

- Gare A, 2017. From sustainable Development to Ecological Civilization: Winning the War for Survival. *Cosmos and History: The Journal of Natural and Social Philosophy*, 13(3), 130-153.
- Goron C, 2018. Ecological Civilization and the Political Limits of a Chinese Concept of Sustainability, *China Perspectives* [Online], 2018-4 | 2018,
- Handl G, 2012. Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment (Stockholm Declaration), 1972 and the Rio Declaration on Environment and Development, 1992. United Nations Audiovisual Library of International Law, 11.
- Heurtebise JH, 2017. Sustainability and Ecological Civilization in the Age of Anthropocene: An Epistemological Analysis of The Psychosocial and "Culturalist" Interpretations of Global Environmental Risk.
- Hong Y, 2015. Ecological Civilization and Environmental Reporting, Chapter 4. Ecological Civilization: Proceedings. in International Conference on Ecological Civilization and Environmental Reporting.
- Ishwaran N, Hong T, Yi Z, 2015. Building an Ecological Civilization in China: Towards a Practice Based Learning Approach.
- İnançlı S, Kamacı A, 2010. Küreselleşme Sürecinde Çin Ekonomisi ve Türkiye ile Dış Ticaretinin Yapısal ve Sektörel Analizi. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Elektronik Dergisi*, 2, 135-162.
- Kabak T, 2018. Toplumsal Ekoloji Bağlamında Türklerin Doğa ile İlişkilerine Genel Bir Bakış: Mandıra Filozofu Filminin Düşündürdükleri. *Uluslararası Türkçe Edebiyat Kültür Eğitim Dergisi*, 7(1), 276-291
- Kuhn B, 2016. Sustainable Development Discourses in China.
- Kuhn B, 2019. Ecological Civilization in China.
- Le Quéré C, Moriarty R, Andrew RM, Peters GP, Ciais P, Friedlingstein P, Boden TA, 2015. Global Carbon Budget 2014. *Earth System Science Data*, 7(1), 47-85.
- Li Y, Zhu X, 2019. The 2030 Agenda for Sustainable Development and China's Belt and Road Initiative in Latin America and The Caribbean. *Sustainability*, 11(8), 2297.
- Magdoff F, 2012. Harmony and Ecological Civilization. *Monthly Review*, 64(2).
- Marinelli M, 2018. How to Build a 'Beautiful China in The Anthropocene? The Political Discourse and The Intellectual Debate on Ecological Civilization. *Journal of Chinese Political Science*, 23(3), 365-386.
- Miller J, 2015. Cultural and Religious Perspectives on Ecological Civilization. Ecological Civilization: Proceedings. in International Conference on Ecological Civilization and Environmental Reporting
- Morrison R, 1995. Ecological Democracy. South end Press.
- Özerkmen N, 2002. Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi 42,1-2,167-185
- Pan J, 2015. Ecological Civilization: A New Development Paradigm. *China Economist*, 10(4), 44.
- Pan J, 2016. China's Environmental Governing and Ecological Civilization. Springer.
- Sawyer J, 2015. Ecological Civilization: Proceedings. In International Conference on Ecological Civilization and Environmental Reporting.
- Schmitt EA, 2016. The Atmosphere of an Ecological Civilization: A Study of Ideology, Perception and Action in Chengdu, China. The Chinese University of Hong Kong, A Thesis Submitted in Partial Fulfillment
- Schmitt EA, 2018. Living in an Ecological Civilization: Ideological Interpretations of an Authoritarian Mode of Sustainability in China. *Critical Approaches to Discourse Analysis Across Disciplines Vol 10 (2)*: 69 -91
- Shuguang M, 2015. Cultural and Religious Perspectives on Ecological Civilization. Ecological Civilization: Proceedings. in International Conference on Ecological Civilization and Environmental Reporting.
- Terzi S, 2017. Sürdürülebilir Kalkınma Çerçevesinde Türkiye'de Uygulanan Çevre Politikası Araçlarının Değerlendirilmesi. Ankara: TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Toprak D, 2006. Sürdürülebilir Kalkınma Çevresinde Çevre Politikaları ve Mali Araçlar. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (4), 146-169.
- Turner J, 2015. Environmental Perspective of Ecological Civilization. Ecological Civilization: Proceedings. in International Conference on Ecological Civilization and Environmental Reporting.
- UNEP, 2016. Green is Gold: The Strategy and Actions of China's Ecological Civilization.
- Wang C, 2016. Reflections on China's Socialist Ecological Civilization Construction: Perspectives of Social-Ecological Transformation.

- Wei Z, Hulin L, Xuebing A, 2011. Ecological Civilization Construction is the Fundamental Way to Develop Low-Carbon Economy. *Energy Procedia*, 5, 839-843.
- Xiang-Chao P, 2018. Research on Ecological Civilization Construction and Environmentally Sustainable Development İn The New Era. In *Iop Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 153, No. 6, P. 062080). Iop Publishing.
- Xiang-Chao P, 2018. Research on Xi Jinping's Thought of Ecological Civilization and Environment Sustainable Development. In *Iop Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 153, No. 6, P. 062067). Iop Publishing.
- Yunhua L, 2015. Environmental Perspective of Ecological Civilization. *Ecological Civilization: Proceedings. in International Conference on Ecological Civilization and Environmental Reporting*.
- Zhao J, Liu X, Dong R, Shao G, 2016. Landsenses Ecology and Ecological Planning Toward Sustainable Development.

İstanbul Çırpıcı Kent Parkı'nın Engelli Kullanımı Açısından Değerlendirilmesi

Özüm TÜRCAN İMRAN¹, Tuğba KİPER^{1*}

ÖZET:Bu çalışmada; "Kentsel dış mekânların kurgulamasında, farklı özelliklere sahip bütün bireylerin eşit şekilde erişilebilirliği ve kullanılabilirliğine yönelik kararlar geliştirilmelidir" hipotezi çerçevesinde; "Çırpıcı Kent Parkı engelliler açısından kullanılabilir ve erişilebilir mi?" sorusuna yanıt aranmıştır. Bu amaçla; Çırpıcı Parkı'nda, kent parklarının kullanım olanaklarının engelliler açısından değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Çalışma; arazi gözlemleri ve konu ile ilgili literatürlere dayalı olarak geliştirilerek, görsel materyallerle desteklenmiştir. Park alanı; ulaşılabilirlik (park girişi, yaya yolu, merdiven, rampa, otopark), peyzaj donatı elemanları (oturma elemanı, işaret ve yönlendirme levhası, aydınlatma elemanı, çöp kutusu), kullanım ve aktivite (çocuk oyun alanı, spor alanı) ile bitkilendirmeye ilişkin özellikler, engellilere yönelik dış mekân standartları bakımından analiz edilerek sorgulanmıştır. Bulgular kapsamında engellilere yönelik sorunlar değerlendirilerek mevcut durumun iyileştirilmesi için çözüm önerileri geliştirilmiştir. Sonuç olarak, sadece engelli bireyler için değil herkes için tasarımın ön planda tutulmasının önemi vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler:Kentsel açık alanlar, engelli, peyzaj tasarımında ulaşılabilirlik, Çırpıcı Kent Parkı.

Evaluation of Istanbul Çırpıcı City Park in Terms of Disabled Use

ABSTRACT: In this study, the answer to the question "Can Çırpıcı City Park be used and accessible for the disabled?" was sought within the framework of the hypothesis "Equal accessibility and usability of all individuals with different features should be developed in the construction of urban outdoor spaces". For this purpose, it is aimed to evaluate the utilization opportunities of Çırpıcı City Park for the disabled. The study was developed based on field observations and related literature and supported with visual materials. Accessibility (park entrance, pedestrian path, stairs, ramp, parking lot), landscape furniture elements (seating element, sign and direction sign, lighting element, trash bin), usage and activity (children's playground, sports area) and planting features of the park area were questioned and analyzed in terms of outdoor standards for the disabled. Within the scope of the findings, solutions for disabled people were evaluated and some suggestions were developed to improve the current situation. As a result, the importance of keeping design at the forefront is emphasized not only for individuals with disabilities, but also for everyone.

Keywords: Urban outdoorspaces, disability, accessibility in landscape architectural design, Çırpıcı City Park.

¹ Özüm TÜRCAN İMRAN (Orcid ID: 0000-0003-4956-0044), Tuğba KİPER (Orcid ID: 0000-0001-9929-5360), Namık Kemal Üniversitesi, Güzel Sanatlar, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Tekirdağ, Türkiye

*Sorumlu Yazar: Tuğba KİPER, e-mail: tkiper@nku.edu.tr

Bu çalışma Özüm TÜRCAN İMRAN'ın Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

Geliş tarihi / Received: 31-03-2020

Kabul tarihi / Accepted: 01-05-2020

GİRİŞ

Kentler, fiziksel, sosyal ve zihinsel yönden farklı yeti ve özelliklere sahip bireylerden oluşan, karma bir yapıya sahiptirler. Karmaşık gibi gözükse de bu yapının devamlılığı ise; toplumun her kesiminin, kentsel hizmet ve kullanımlara eşit ve erişilebilir olmasıyla örtüşmektedir. Öyle ki; Kentsel Mekânsal Standartların Geliştirilmesi (2017)'ne göre; "sağlıklı bir çevre, herkes tarafından kullanılan ve erişilebilen alandır" şeklinde tanımlanırken; sağlıklı bir biçimde gelişmiş bir kentin tasarlanabilmesi, öncelikle kapsayıcı bir yaklaşım geliştirilmesine, tüm kullanıcılar için eşit, verimli ve kaliteli deneyim/erişim imkânı sunulabilmesi ile ilişkilidir. Nitekim; Birleşmiş Milletler'in sürdürülebilir kalkınma temelli 2030 yılı hedeflerinde, "kadın ve çocuklar, yaşlı ve engelli kişilerin, güvenli, kapsayıcı ve erişilebilir bir yeşil ve herkese açık alanlara erişiminin sağlanması" gerekliliği yer almıştır (URL-1). Bununla birlikte birçok ülkenin kentsel alan düzenlemelerinde özellikle kamusal alan ve çevreye yönelik planlamalarda "engellileri de kapsayacak biçimde herkes için erişilebilir" bir yaklaşım hedeflenmiştir. Ülkemiz; Onuncu ve Onbirinci Kalkınma Planlarında da; yaşlı, çocuk, kadın ve engellilerin; açık ve yeşil alanlar ile diğer kamusal alanları eşit kullanımını sağlayacak mekânsal planlama ve kentsel tasarım uygulamalarından söz ederek, bu alanların yaşam kalitesi çerçevesinde yeniden kurgulanması gerekliliği öngörülmüştür (Kalkınma Bakanlığı, 2019; Kalkınma Bakanlığı, 2020). Üst ölçek planlarındaki bu öngörüye destekleyen birçok tez, rapor, makale düzeyinde birçok bilimsel çalışmayla birlikte, ilgili konuya özel yönetmelik, yönerge ve ilke kararları da bulunmaktadır (Çelik ve ark., 2015; Ören, 2015; Özdemir, 2017; Aygün ve ark., 2018) bulunmaktadır. İlgili çalışma ve yönetmeliklerde; farklı özelliklere sahip insanların yaşam kalitelerini iyileştirme ve sağlıklı bir çevre oluşturma stratejilerine yönelik olarak; çeşitli ergonometik ve antropometrik ölçütler geliştirilmiştir. Özellikle, Andaç (1997), Kaplan & Öztürk (2004) ve Kaplan (2007)'in çalışmalarında; engelli erişimine yönelik kullanımlarda; yeterli hareket alanı, malzeme, doku ve renk açısından uygun döşeme yüzeyi, yeterli genişlik ve yükseklik ile yönlendirme ve uyarma amaçlı işaretleme özelliklerine yönelik ölçütlerin oldukça önemli olduğu vurgulanmıştır. Keza fiziksel ve/veya zihinsel engele sahip kişiler açısından, bu ölçüt ve yaklaşımların gözetilmediği alanlar, erişilebilirlik açısından yetersiz olacağından, kişiler kendilerini o mekâna ait hissetmeyeceklerdir. Bu kapsamda "Kentsel dış mekânların kurgulamasında, farklı özelliklere sahip bütün bireylerin eşit şekilde erişilebilirliği ve kullanılabilirliğine yönelik kararlar geliştirilmelidir" hipotezi geliştirilerek, "Çırpıcı Kent Parkı engelliler açısından kullanılabilir ve erişilebilir mi?" sorusuna yanıt aranmıştır. Sonuç olarak; fiziksel ve görme engeli olan kişiler açısından Çırpıcı Kent Parkı; ulaşılabilirlik (park girişleri, yaya yolu - kaldırımlar, rampalar, merdivenler), peyzaj donatı elemanları (oturma elemanları, işaret ve yönlendirme levhaları, aydınlatma elemanları, çöp kutuları), aktivite olanakları (çocuk oyun alanları, spor alanları) ve bitkilendirme çerçevesinde; fiziksel (antropometrik ölçütler: hareket alanı, genişlik, yükseklik, erişilebilirlik) ve teknik (ergonometik: malzeme kullanımı, rahatlık, güvenlik, kullanım olanakları) açıdan incelenerek çeşitli öneriler geliştirilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma alanı olarak; İstanbul'un Avrupa yakası Zeytinburnu ilçesinde yer alan Çırpıcı Kent Parkı seçilmiştir (Şekil 1). Parkın örnek alan olarak seçiminde, İstanbul'daki konumu, çevre bağlantıları, ulaşım durumu, erişilebilirliği ve kullanıcı kapasitesi etken olmuştur. Toplam 233.645 m² lik alana sahip olan park 4 etaptan oluşmakta olup, bu çalışmada yapımı tamamlanan ilk iki etabı içeren 124.600 m² lik bölüm esas alınmıştır.

Çalışma kapsamında ele alınan engellilerin erişilebilirliklerine yönelik uygulanan standartlar ile bu standartların alandaki mevcut durumunu gösteren fotoğraflar ve konu ile ilgili yapılmış makale, tez ve raporlar çalışmanın materyallerini oluşturmuştur.



Şekil 1. Çalışma alanı konumu

Çalışmanın yöntemi, aşağıda başlıklar halinde verilen 4 ana temel üzerinde kurgulanmıştır.

- **Amaç ve kapsamın belirlenmesi:** Çalışmada Çırpıcı Parkı örneğinde, kent parklarının kullanım olanaklarının engelliler açısından değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Engelliler için oluşturulan ulusal ve uluslararası standartlar doğrultusunda kullanılan alanlarda engelliler için kullanım uygunlukları araştırılmıştır.
- **Literatür taraması:** Literatür taramaları çerçevesinde; çalışma konusu ve kapsamına yönelik, makale, tez, araştırma, rapor ve internet kaynaklarının yanı sıra, engelliler için oluşturulan ulusal ve uluslararası standartlardan yararlanılmıştır. Ayrıca çalışma alanına yönelik olarak; hali hazır harita, google earth görüntüleri ve arazi gözlemleri sırasında elde edilen görsel materyallerden yararlanılmıştır.
- **Mevcut durum saptamaya yönelik arazi gözlemleri ve alan analizi:** Bu aşamada; Çırpıcı Kent Parkı ulaşılabilirlik (park girişleri, yaya yolu - kaldırımlar, rampalar, merdivenler), peyzaj donatı elemanları (oturma elemanları, işaret ve yönlendirme levhaları, aydınlatma elemanları, çöp kutuları), aktivite olanakları (çocuk oyun alanları, spor alanları) ve bitkilendirme özellikleri, arazi gözlemleri ile literatür destekli olarak değerlendirilmiştir. Değerlendirmelerde BM (2004), ÖZİ (2010), Eşkil (2011), Bahadır (2014), Uslu ve Shakouri (2014), Engelliler İçin Evrensel Standartlar Kılavuzu (2017), Kuter ve Çakmak (2017) ve Aygün ve ark. (2018)'nin yapmış oldukları çalışmalardan yararlanılarak geliştirilen ölçütler, fiziksel (antropometrik ölçütler: hareket alanı, genişlik, yükseklik, erişilebilirlik) ve teknik (ergonometrik: malzeme kullanımı, rahatlık, güvenlik, kullanım olanakları) açıdan arazi gözlemleri ve literatür verileri kapsamında irdelenmiştir (Çizelge 1, Çizelge 2).
- **Sonuç ve önerilerin geliştirilmesi:** Çizelge 1. ve Çizelge 2 de verilen ölçütler ile örnek alana ilişkin belirlenen bulgular karşılaştırılarak çeşitli değerlendirmeler yapılmıştır.

Çizelge 1.Ulaşılabilirlik için kullanım standartları

ULASILABILIRLIK	Yaya Yolu ve Kaldırımlar	Fiziksel	Ölçü													
		Eğim	<ul style="list-style-type: none"> • Yaya yolu genişliği: min. 150 cm, uygu genişlik 200 cm • Kaldırım genişliğine ve yol gruplarına göre emniyet şeritleri mülkiyet sırasında: 50 cm, bordür taşı tarafında: 120 cm 													
ULASILABILIRLIK	Yaya Yolu ve Kaldırımlar	Teknik	Malzeme													
		<ul style="list-style-type: none"> • Kaymayı önleyici olmalı, yollardaki basamak vb. yol sahindeki yer altı tesisatı rögar kapakları çıkıntı oluşturmamalı, anı seviye değışiklikleri olmamalı; sürekli veya aynı seviyede zemin oluşturulmalıdır. • Hissedilebilir kılavuz izler 60 cm genişliğinde, yaya hareketine paralel ve basit şekilde yerleştirilmelidir. Rögar ve drenaj kanallarına yakın olarak yerleştirilmemelidirler. 														
ULASILABILIRLIK	Rampalar	Fiziksel	Ölçü													
		Eğim	<ul style="list-style-type: none"> • Düz rampalarda genişlik: 90 cm, 90° dönüşlü rampalarda genişlik: 140 cm, 180° dönüşlü rampalarda genişlik: 90 cm BM (2004). • ADA tarafından ise rampa genişliği rampanın tipi belirtilmeden 91,5 cm olarak önerilmektedir. • 10 m.den uzun rampalarda veya bir rampadan ikinci bir rampaya geçiş varsa gerekli dinlenme alanı: min. 2,5 m. • Rampa sahanlıkta yön değıştiriyorsa, tekerlekli sandalyeli engelinin manevrası için gerekli sahanlık alanı: min.1,5 m x 1,5 m (TS 12576). • Dış mekânlardaki küpeşterler, emniyet bakımından rampa başlangıç ve bitiminde 45 cm daha devam etmelidir. • Rampaların korumasız taraflarına yapılması gereken koruma bordürü yüksekliği: min. 5 cm olmalıdır. • Döşeme seviyesinden 2 cm'den daha fazla bir kot farkı varsa rampa düşünlmelidir. Rampa uzunlukları 10 m.ye kadar olan rampaların en fazla eğimi %8 olmalıdır. 10 m. den daha uzun rampalarda en fazla eğim %6 olmalıdır (TS12576). <table border="1"> <thead> <tr> <th>Max. Eğim</th> <th>Max. Uzunluk</th> <th>Max. Yükselme</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1:20 (% 5)</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>1:16 (%6)</td> <td>8.00 m</td> <td>0.50 m</td> </tr> <tr> <td>1:14 (%7)</td> <td>5.00 m</td> <td>0.35 m</td> </tr> <tr> <td>1:12 (%8)</td> <td>2.00 m</td> <td>0.15 m</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">BM (2004)</p>	Max. Eğim	Max. Uzunluk	Max. Yükselme	1:20 (% 5)	-	-	1:16 (%6)	8.00 m	0.50 m	1:14 (%7)	5.00 m	0.35 m	1:12 (%8)
Max. Eğim	Max. Uzunluk	Max. Yükselme														
1:20 (% 5)	-	-														
1:16 (%6)	8.00 m	0.50 m														
1:14 (%7)	5.00 m	0.35 m														
1:12 (%8)	2.00 m	0.15 m														
ULASILABILIRLIK	Rampalar	Teknik	Malzeme													
		<ul style="list-style-type: none"> • Rampaların yüzeyleri sert, stabil, kaymaz ve çok az pürüzlü malzeme ile kaplanmalıdır. • Yüzeydeki pürüzlülük yüksekliklerinde 2 cm' den büyük farklılık olmamalıdır. • Görme engelliler için rampaların başında ve sonunda 1,5 m uzunluğunda düz ve farklı dokuda bir alan bulunmalıdır. 														
ULASILABILIRLIK	Merdivenler	Fiziksel	Ölçü													
		Teknik	Malzeme													
ULASILABILIRLIK	Merdivenler	Fiziksel	Ölçü													
		Teknik	Malzeme													
ULASILABILIRLIK	Otopark	Fiziksel	Ölçü													
		Teknik	Malzeme													

Çizelge 2. Peyzaj donatı elemanları kullanım standartları

DONATI ELEMANLARI	Oturma Elemanları	
	Teknik Malzeme	Fiziksel Ölçü
DONATI ELEMANLARI	Teknik Malzeme	<ul style="list-style-type: none"> Bankın zeminden yüksekliği:45 cm Sırt yaslama yerinin yüksekliği: 70 cm Dinlenme yerlerinde oturma elemanının yanında tekerlekli sandalyeler için hareket alanı bırakılmalıdır (120 cm). Oturma bankları arası: 100 m - 200 m Tekerlekli sandalyenin masaya erişimi için masa altındaki derinlik: min. 60 cm
	Teknik Malzeme	<ul style="list-style-type: none"> Yaya yolunda hareket yönünde engel teşkil etmeyecek şekilde yerleştirilmelidir. Güvenlik açısından kenarlarının yuvarlatılmış olması tercih edilmelidir. Bulunduğu alanla zıt renkler kullanılarak tasarlanmalıdır. Yüzey kaplamalarında doku farklılaşması yaratılmasına dikkat edilmelidir.
	Teknik Malzeme	<ul style="list-style-type: none"> Görme engeli olan kişiler için dokunmatik ve kontrast renklere sahip işaretler yapılması tercih edilmeli ve yükseklikleri: min. 70 cm olmalıdır. Bilgilendirme sembollerinin göz seviyesinde olmasına dikkat edilmelidir.
	Teknik Malzeme	<ul style="list-style-type: none"> Kullanım ve aktivite alanlarına kolay erişim ve yönlendirmeyi sağlayacak alanlara konumlandırılmalıdır. Karışıklığı önleyen, kolay anlaşılır ve net bilgi içeren şekilde olmalıdır. Görme engellilere yönelik kabartmalı ve az gören kişiler için de iri puntolu yazı karakteriyle yazılmış levhalar kullanılmalıdır. İşaretlemelelerde uluslararası semboller kullanılmalıdır.
DONATI ELEMANLARI	İşaret ve Yönlendirme	
	Teknik Malzeme	<ul style="list-style-type: none"> Ana yolların aydınlatmasında aydınlık alanın profili; Genişlik: min. 150 cm Yükseklik: 230 cm Yan yolların aydınlatmasında aydınlık alanın profili; Genişlik: min. 90 cm Yükseklik: 230 cm (DIN 18024-1).
DONATI ELEMANLARI	Aydınlatma	
	Teknik Malzeme	<ul style="list-style-type: none"> Sabit elemanlar kullanılarak planlanmalıdır. Kullanım ve aktivite alanlarına kolay erişim ve güvenliği sağlayacak sayı ve nitelikte kullanılmalıdır. Fark edilebilmeleri açısından, kaldırım kotundan 10 cm yüksekteki bir platform üzerinde konumlanmalıdır (BM, 2004).
DONATI ELEMANLARI	Cön Kutuları	
	Teknik Malzeme	<ul style="list-style-type: none"> Yaya kaldırım kenarında bordür taşına uzaklığı: min. 40 cm Yüksekliği: min.90 cm, max. 1,2 m Isıdan etkilenmeyen ve rengi ile farklılık yaratan bir malzeme tercih edilmelidir. Kapağı kolayca açılabilir nitelikte olmalıdır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Ulaşılabilirlik

Ulaşılabilirlik durumu; giriş noktaları, yaya yolları, merdivenler, rampalar ve otoparklar şeklinde ele alınmıştır. Çırpıcı Kent Parkı'nda bulunan dört adet giriş noktası tekerlekli sandalye kullanıcılarının geçişine uygundur (Şekil 2). Görme engelliler için kılavuz izler kullanılmıştır.

Çırpıcı Kent Parkı, genellikle düz bir alan üzerine kurulmuştur. Alanda ana yollar ve ara yollar bulunmaktadır. Park ziyaretçilerinin yürüyüş yapabilmeleri için bir yürüyüş parkuru oluşturulmuştur. Bu yürüyüş parkuru parkın çevresini dolaşacak şekilde düzenlenmiştir. Yaya yolunun yanın da bir de bisiklet parkuru mevcuttur. Yürüyüş ve bisiklet parkuru genellikle ara yollar üzerinden devam etmektedir. Ana hatlardan ayrı oluşturulmuştur. Çırpıcı Kent Parkı'nın ana kapısından girildiğinde ziyaretçileri büyük bir meydan karşılamaktadır. Bu meydanın ölçüleri Şekil 3.'deki gibidir. Kapının girişinden itibaren engelli bireylerin yönlendirilmesi için kullanılan ana hattın ortasından devam eden bir kılavuz hattı mevcuttur. Kılavuz hat, yaya yoluna paralel şekilde yerleştirilmiş olup 40 cm genişliğinde ölçülmüştür. Ana yollar genellikle beton taş plaklarla döşenmiştir. Ana yaya yolları

genellikle 500 cm genişliğinde düzenlenmiştir. Yaya yolları kenarlarında bordür kullanılmamıştır. Farklı renkli beton taş plaklar ile sınır etkisi yaratılmıştır. Yeşil alanlarla aynı kotta bitirildiğinden herhangi bir sorun teşkil etmemektedir. Görme engelliler için kullanılan kılavuz yolu standart ölçünün altında olup, ana yaya yollarının tam ortasından geçmektedir.



Şekil 2. Parka ulaşım sağlayan 4 adet giriş noktası



Şekil 3. Yaya yollarına ilişkin çözümler

Parkta bulunan yürüyüş parkurunun genişliği 180 cm, bisiklet parkurunun genişliği 190 cm olarak ölçülmüştür. Bu zeminler diğer yollara göre daha yumuşak malzemeden oluşmaktadır. Zeminde bireyleri yönlendirecek semboller ve işaretler kullanılmıştır. Ancak iki farklı yol arasında ayırıcı bir yeşil yüzey kullanılmamıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Yürüyüş ve bisiklet parkurları

Çırpıcı Kent Parkı; tekerlekli sandalye kullanan bireyler için uygun bir arazi üzerine kurulmuştur. Alanda kullanılan eğimler genellikle tatlı bir eğim ile bağlanmış olup engelli ya da yaşlı bir bireylerin yardım almadan alan içerisinde rahatlıkla dolaşabilmesini sağlamaktadır. Alanda rampa gereksinimi gerektiren yollar yok denecek kadar azdır. Bununla birlikte alanda bulunan sosyal tesis binasını

tekerlekli sandalye kullanan bireylerin kullanabilmesi için ortaya çıkan rampanın eğimi %8'dir. Rampa'nın eni tekerlekli sandalye geçişine uygun olup, güvenliği sağlayacak korkuluk kullanılmamıştır. Zemin malzemesi kaymayı önleyici şekilde düşünülmüştür. Sosyal tesisin girişinde kullanılan merdivenlerde de dış etkilere dayanıklı ve kaymayı önleyici malzeme kullanılmıştır. Basamak ucunda koruyucu kaymaz şerit bulunmamaktadır. Görme engellilerin erişimini kolay sağlamak için kullanılan ve merdivenler ile rampaların yol ayrımını belirten kılavuz yollarından yararlanılmamıştır. Basamak ve rıhtlarda renk ayrımı bulunmamaktadır (Şekil 5). Farklı kotlarda bulunan otopark ve spor alanları bağlayan alanda ise ilişki sadece merdivenle sağlanmış olup, rampa çözümü yapılmamıştır.



Şekil 5. Rampa ve merdivenlere ilişkin görünüm

Çırpıcı Kent Parkı'nda 1 adet açık otopark bulunmaktadır. Bu otoparkta 2 adet engelli araç yeri bulunmaktadır. Engelliler için ayrılan park yerleri, alanın giriş kısımlarına yakın mesafededir. Park yerleri yol çizgi boyası ile zeminden zıt bir renkte gece görüş koşullarında da engel tanımayacak şekilde park yerleri belirtilmiş ve semboller yardımı ile yönlendirmeler yapılmıştır. Engelli kullanıcıların araçtan indikten sonra rahat hareket edebilmesini sağlayacak alanların bırakılması gerekir. Park içerisinde yer alan 2 adet otopark alanının biri bu kurala uyarken diğeri uymamaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Engelli park alanları

Peyzaj Donatı Elemanları

Çırpıcı Kent Parkı'ndaki oturma elemanları, ana yaya yolları ile yürüyüş ve bisiklet parkurunun olduğu yollar üzerinde uygun aralıklarla (alan girişlerindeki meydanlar hariç diğer yollarda banklar arası mesafe 700-800 cm) arasında değişmektedir. Park genelinde kullanılan banklar, engellilere yönelik olarak belirlenen standartlara uygun olarak tasarlanmıştır. Oturma elemanlarının yanında tekerlekli sandalyeler için gerekli alan bırakılmıştır. Malzeme olarak beton üzeri ahşap ve çelik malzeme

kullanılmış olup, zeminden farklı renkler tercih edilmiştir. Bu yüzden engelli bireylerin dikkatini çekebilmektedir. Genellikle kenar yüzeyleri de yuvarlatılmıştır (Şekil 7).

Park genelinde yeşil alanlar içerisinde kayrak zeminler üzerine monte edilmiş piknik masaları bulunmaktadır. Döşemede kullanılan malzeme, engebeli bir yapıda olduğundan engelli, yaşlı ve bebek arabası kullanan bireylerin kullanımını kısıtlayıcı niteliktedir. Piknik masalarına ulaşımı sağlayan yol genişlikleri tekerlekli sandalye kullanan bireyler için uygun değildir. Ayrıca tekerlekli sandalye kullanımını için yeterli alan bırakılmamıştır. Parkın belli yerlerinde ahşap malzeme kullanılan üst örtülü oturma birimleri de yerleştirilmiştir. Bu birimlerde engelli bireylerin ulaşımını sağlayacak yönlendirici hissedilebilir yüzeyler ve gerekli açıklıklar bulunmamaktadır (Şekil 7).



Şekil 7. Oturma elemanlarına ilişkin görünüm ve ölçü bilgileri

Çırpıcı Kent Parkı işaret ve yönlendirme levhaları bakımından çok zayıf kalmıştır. Bunlar, otopark alanında kullanılan semboller, birkaç kullanım alanının konumunu belli edecek şekilde direklere asılmış levhalar, yürüme ve bisiklet parkurundaki semboller, acil toplanma yerlerinin gösterimi, park girişinde bulunan park kullanım krokisi ve aktivite alanlarının nasıl kullanılacağına yönelik yerleştirilen levhalar şeklinde kullanılmıştır. Bu alanlarda kullanılan işaret ve levhalar, özellikle görme engellilere yönelik olarak, kabartmalı ve/veya iri puntolu olarak kullanılmamıştır (Şekil 8).

Park genelinde aydınlatma elemanları yol kenarlarında 19-20 m aralıklarla karşılıklı olacak şekilde konumlandırılmıştır. Alandaki aydınlatma elemanları genelde aynı olup yapımında döküm malzeme kullanılmıştır. Aydınlatmaların yerden yüksekliği 550 cm olup, standartların üzerindedir. Yayanın yürütmesine engel olmayacak şekilde monte edilmiştir. Aydınlatma elemanlarının altında görme engellilerin algılayabileceği pahlar bırakılmamıştır. Bu yüzden görme engelli bireyler için sıkıntı doğurabilecek durumdadır (Şekil 9).



Şekil 8. İşaret ve yönlendirme elemanlarına ilişkin görüntüler



Şekil 9. Aydınlatma elemanları

Park genelinde yaya yollarına ilişkin güzergâhta ve oturma alanlarına yakın yerlerde çöp kutuları kullanılmıştır. Çelik malzeme tercih edilmiş olup içerisinde paslanmaz sepetler mevcuttur. Beton zemin üzerine montaj edilmiştir. Zemine zıt bir renkte tasarlanmış olması, algılanabilirliği sağlamıştır. Yol boyunca kullanılan çöp kutuları arasındaki mesafe 1500 m' dir (Şekil 10).



Şekil 10. Çöp kutuları

Kullanım ve Aktivite Alanları

Çocuk oyun alanları

Çocuk oyun alanları kauçuk zemin üzerine kurulmuştur. Çocuk oyun alanlarının etrafı farklı ebatlardaki kütükler ile sınırlandırılmıştır. Ahşap kütükler dışında, çocukların dikkatini çekecek, renkli-

kokulu-gösterişli bitki, farklı büyüklüklerdeki kaya, su, balık, kuş, kaplumbağa gibi doğal materyallerin kullanımını bulunmamaktadır. Oyun alanı girişleri tekerlekli sandalye kullanan çocuklar için uygun genişliktedir. Park içerisindeki oyun alanlarının tasarımında; çocukların farklı yaş gruplarına yönelik hareket çeşitliliği, yaratıcılık ve zihinsel gelişimini arttırıcı faaliyetlerini destekleyecek düzenlemeler yetersiz kalmıştır. Bununla birlikte çocukların, beraberindeki aile bireyleri ve arkadaşları ile birlikte zaman geçirebileceği hareket alanları da yaratılmamıştır (Şekil 11).



Şekil 11. Çocuk oyun alanlarına ilişkin görüntüler

Spor alanları

Çırpıcı Kent Parkı'nda 5 adet tenis sahası, 2 adet basketbol sahası, 2 adet futbol sahası ve fitness alanları bulunmaktadır. Spor sahalarının hiçbirinin kullanımı engelli bireylerin kullanımına uygun değildir. Aksine sahaya girişlerini engelleyecek sınırlar mevcuttur. Ayrıca kişilerin sportif aktiviteleri gözlemleyebilecekleri, oturma ve dinlenme mekânları da oluşturulmamıştır (Şekil 12).

Bitkilendirme

Yaya yollarında kullanılan geniş taçlı ağaçlar, yönlendirici etki yaratmışlardır. Giriş kısımlarında farklı türdeki çalı grupları ile görsel zenginlik yakalanmış aynı zamanda bordür etkisi de yaratılmıştır. Bu adacıklarda kokulu bitkiler kullanılarak görme engelli kişiler için yönlendirmede bireylere kolaylık sağlanmıştır. Oturma gruplarının olduğu alanlarda da gölge etkisi sağlayacak bitkiler tercih edilmiştir (Şekil 13).



Şekil 12. Spor alanlarına ilişkin görünüm



Şekil 13. Bitki kullanımına ilişkin görüntüler

SONUÇ

Kentlerde toplumu oluşturan bireylerin kentsel dış mekânlara erişiminin sağlanması hususunda; üst ölçekli mekânsal stratejik plan ve politika yaklaşımlarında “yaşam kalitesi” öngörüsü geliştirilmiş olup, toplumun her kesimi için eşit ve erişilebilir bir tasarım hedeflenmiştir. Ancak bu yaklaşımlara rağmen uygulama aşamasında Çakır Sümer (2015)’in de belirttiği gibi; bazı eksiklikler görülmektedir. Bu çalışmada Çırpıcı Parkı örneği üzerinde, engelli bireylerin kent parklarını kullanım olanakları incelenmiş ve kullanım standartlarına ilişkin görülen temel sorunlar belirlenerek çeşitli öneriler geliştirilmiştir.

Park girişleri: Park girişlerinde, tekerlekli sandalye kullanıcıları için yeterli hareket alanı ve genişlik tanımlanmış, görme yetisine sahip olmayan bireyler için ise birçok noktada kılavuz izler tanımlanmıştır. Ancak, gerekli yönlendirme ve uyarıcılar açısından yetersiz kalmıştır. Park girişlerine tüm bireyleri kullanım ve aktivite alanlarına yönlendirecek malzeme ve doku açısından farklılık oluşturacak işaret ve yönlendirme levhaları yerleştirilmelidir.

Yaya yolu ve kaldırımlar: Yürüyüş yolları tekerlekli sandalye kullanıcılarının da kullanabileceği yeterli geçiş alanına sahiptir. Ana yollarında görme yetisine sahip olmayan bireyler için kılavuz izler tanımlanmış olmasına rağmen, ilgili kullanım alanlarına yönlendirme amaçlı kullanılmamıştır. Barla Beldesi Tasarım Raporu (2016)’nda da belirtildiği gibi; görme engelliler için yaya yollarının değişim noktalarında hissedilir yüzeyler ile ikaz şeritleri oluşturulmalıdır.

Merdiven ve rampalar: Alan geneli düz bir zemin üzerine kurulduğundan, rampa ve merdiven kullanımı çok azdır. Bununla birlikte; spor alanı ve idari yapılara bağlantıyı sağlayan geçişlerde merdiven ve rampalara gereksinim duyulmuştur. Bu noktalar, yeterli genişlik ve yüksekliğe sahip olup, döşeme yüzeyi açısından uygun niteliktedir. Ancak, gerekli yönlendirme ve uyarma açısından yetersiz

olup, güvenliği sağlayıcı korkuluk ta kullanılmamıştır. Basamaklarda kaydırmaz şeritler ile yönlendirmeyi sağlamak ve tırabzanlarla desteklemek gerekmektedir.

Engeliler için park yerleri: Açık otoparkta iki adet engelli bireyler için ayrılmış park alanı mevcuttur. Park yerlerinden biri engelli bireyler için olağan şekilde tasarlanmışken diğeri ise daha da zora sokacak şekilde konumlandırılmıştır. Otopark alanlarına tekerlekli sandalye kullanıcıları için manevra alanı olan emniyet şeridi ilave edilmelidir. Yan taraftaki babalar araç kapısının açılışını engelleyeceği için kaldırılmalıdır. Çöp kutusunun başka bir alana nakli gerçekleştirilmelidir. Otoparkta spor alanlarının olduğu bölgeye ulaşım kot farkından dolayı merdivenle sağlanmıştır. Bu bölgeye engelli bireylerin ulaşımını rahatlatmak için de rampa ile çözüm getirilmelidir.

Oturma elemanları: Oturma elemanları standartlara uygun olarak kullanılmıştır. Genellikle ana aks üzerinde kullanılan banklar engelli bireylerin geçişine engel olmayacak şekilde yeşil alanda cepler içerisine alınmalıdır. Bu ceplerde bankların yan taraflarına tekerlekli sandalye ve bebek arabası kullanan ebeveynlerin rahatlıkla kullanımını sağlayacak alanlar bırakılmalıdır. Güneşin en çok etki ettiği alanlarda metal banklar kullanılmıştır. Isıyı çok çekmesinden kaynaklı yoğun olarak kullanılmamalıdır. Bu noktalarda gölgelik ya da bitkilendirme ile konfor arttırılmalıdır. Spor alanlarının ortalarında çift taraflı kullanılan gölgelikli oturma gruplarının gölgelik kısımlarının biraz daha genişletilmesi tekerlekli sandalye ve bebek arabası kullanan ebeveynlerin kullanımını rahatlatacaktır. Çocuk oyun alanlarına ve diğer aktivite alanlarına ebeveynlerin çocuklarını rahatlıkla kontrol edebilmeleri ya da dinlenmeleri için banklar ilave edilmelidir.

İşaret ve yönlendirme levhaları: Parktaki yer gösterimleri ile ilişkili işaret ve semboller mevcutken, yönlendirmeyle ilgili eksikler bulunmaktadır. Kullanım ve aktivite alanlarına yönelik kullanıcıların erişilebilirliklerini kolaylaştıracak, görme engellilerin de kullanımını kolaylaştıracak biçimde uygun renk, ölçü, doku ve biçimde yönlendirme levhaları ilave edilmelidir.

Aydınlatma elemanları: Park içerisinde güvenliği sağlayan en önemli etmenlerdendir. Bu yüzden genellikle yüksek aydınlatmalar tercih edilmiştir. Aydınlatma elemanlarının özellikle görme engelli bireylerin algılamaları için monte edildikleri noktada bir de pah bırakılmalıdır. Burada ise zeminden daha da düşüğe bırakılmıştır. Bu boşlukların doldurularak engelli bireylerin algılamaları kolaylaştırılmalıdır.

Çöp kutuları: Parkta ana ve ara yollar üzerinde bulunan çöp kutuları engelli bireylerin erişimini daha da rahatlatmak adına yeşil alanda oluşturulabilecek cepler içine alınmalıdır

Çocuk oyun alanları: Çocuk oyun alanında bulunan aletler, engelli çocukların kullanımına uygun değildir. Bununla birlikte farklı yaş grubundaki çocukların vakit geçirebileceği oyun alanları da oluşturulmamıştır. Tandoğan (2014) ve Özdemir (2017)'in de belirttikleri gibi; çocuk oyun alanlarında; farklı yaşlardaki çocukların bir arada hareket edebileceği, duyarını harekete geçirecek, güvenli, doğa ile iletişim içinde olabildiği, fiziksel ve sosyal gelişimini destekleyen uygulamalar yapılmalıdır.

Spor alanları: Spor alanları (tenis, basketbol, futbol sahası) engelli bireylerin kullanımını kolaylaştıracak şekilde düzenlenmemiştir. Saha giriş kapılarındaki çelik profiller engelli bireylerin sahaya girmesini imkânsız hala getirmektedir. Bu sebepten dolayı; bu profillerin ortadan kaldırılması ve saha içlerinde engelli bireylerinde kullanabileceği çözümler getirilmelidir. Spor alanlarına seyirci olarak gelecek engelli bireyler için özel yerlerin tasarlanması gerekmektedir. Tenis kortlarına ulaşımında engelli

bireyler zemin döşemesinin uygun olmaması ve kılavuz döşeme bulunmaması nedeniyle sorun yaşamaktadırlar. Bu nedenle yönlendirme levhaları ve kılavuz döşemelerinin, kullanım ve aktivite alanları göz önünde bulundurulurken doku, renk, biçim ve ölçü açısından standartlara uygun olarak tasarlanması gerekmektedir.

Bitkilendirme: Park içerisinde, sert zemin içinde kullanılan ağaçların dikim alanı ile döşeme yüzeyi arasında kod farklılıkları bulunmaktadır. Bu durum; tüm bireyler, özellikle de tekerlekli sandalye kullanıcıları için güvenlik açısından olumsuzluklara sebebiyet verecektir. Bu yüzden bu kısımların uygun kullanımlar ile (ızgara, çevreleme elemanı) kapatılması gerekmektedir. Ara yollarda kılavuz yolu bulunmadığından yaya yollarının yan taraflarına bordür adına kokulu bitkiler ile çit oluşturularak yönlendirme sağlanabilir. Bitki kullanımında özellikle duyuları harekete geçirebilecek seçimler gerçekleştirilmelidir. Örneğin; farklı renk ve meyveli bitki kullanımı ile kuş, kelebek, arı gibi hayvanları çekerek iştme duyusu, kokulu ve doku farklılığı olan bitki kullanımı ile görme duyusu, yenilebilir (dikenli ve zehirli olmayan) bitki kullanımı ile tatma duyusu harekete geçirilmiş olacaktır. Sarı ve Karaşah (2018)'in de belirttikleri gibi; bitkilendirmede, yerel nitelikli, renk, doku, form ve ölçü özelliği, mevsimsel geçiş sürecindeki etki durumu ve koku etkisi gibi özellikler dikkate alınarak, dört mevsim etkili bir tasarım yaklaşımı ele alınmalıdır. Bitkisel tasarım yaklaşımında bitkilerin görsel etkilerinin yanı sıra; gölgeleme, perdeleme, fon etkisi yaratma, odak oluşturma gibi işlevsel özellikleri de dikkate alınmalıdır.

Sonuç olarak, kişilerin kendilerini buldukları toplumun bir bireyi ve mekânın bir parçası olarak hissetmelerinde ve sosyalleşmelerinde etkileşim içinde oldukları çevrenin büyük bir önemi vardır. Bu noktada özellikle engelli bireylerin kendilerini diğer insanlardan farklı hissettirmeyecek şekilde, onların fiziksel ve ruhsal özelliklerine cevap verebilecek tasarım kararları gerçekleştirilmelidir. Öyle ki kent parkları gibi kentsel dış mekânlar; fiziksel (antropometrik ölçütler: hareket alanı, genişlik, yükseklik, erişilebilirlik) ve teknik (ergonomik: malzeme kullanımı, rahatlık, güvenlik kullanım olanakları) açıdan engelli bireylerin de kullanımına uygun bir biçimde tasarlanmalıdır. Aynı zamanda; sıcaklık, yağış, rüzgar, eğim, güneşlenme durumu, su varlığı gibi ekolojik özelliklerin de tasarıma dahil edilmesi gerekmektedir. Engelli bireylerin de dâhil edildiği bu tasarım yaklaşımı, parkın erişilebilirliğini arttırarak bireylerin sosyal çevreye katılımını sağlayacak ve aidiyet duygusu oluşturulmasına destek olacaktır. Sonuç olarak, kentsel dış mekânlar olarak kent parklarının, farklı özelliklere sahip bütün bireyler için erişilebilir, ergonomik ve antropometrik ölçütler açısından kullanılabilir olması oldukça önemlidir. Bu sonuç; Uslu ve Shakouri (2014), Buğra Tekinalp ve Birol Özerk (2015), Çelik ve ark. (2015), Aygün ve ark. (2018)'nin çalışmalarını da destekler niteliktedir. Bu anlamda bu tür konuların farklı araştırmacılar tarafından ele alınması ve değerlendirilmesi, sağlıklı ve sürdürülebilir kentlerin gelişimi açısından gereklidir.

KAYNAKLAR

- Andaç G,1997. Ulaşılabilirlikte boyutsal kriterler. Yapı Dünyası, 2:20.
- Aygün E, Korkut A, Kiper T, 2018. Engelli bireyler için kentsel dış mekânlara erişilebilirliğin incelenmesi: Tekirdağ örneği. Artium, 2: 20-32.
- Bahadır B, 2014. Parklarda erişilebilirliğin engelliler açısından irdelenmesi: İstanbul – Göztepe 60. Yılı Parkı örneği. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Barla Beldesi Tasarım Raporu, 2016. Barla Beldesi tasarım raporu, 121 s., Isparta.

- BM, 2004. Engellilerin erişebilirliğinde engelsiz çevreler tasarlama kılavuzu. (Accessibility fortheDisabled A Design Manual for a BarrierFree Environment), United Nations EconomicandSocialCommissionfor Western Asia, <http://www.un.org/esa/socdev/enable/designm/index.html>, Son erişimtarihi: 04 Ocak 2020.
- Buğra Tekinalp S, Birol Özerk G, 2015. Balıkesir Atatürk Parkı'nın evrensel tasarım bağlamında değerlendirilmesi. Mimarlık, 382: 54-59.
- Çakır Sümer G, 2015. Engelsiz şehir kavramı açısından Malatya. Journal of Management ve Economics, 22(1): 113-138.
- Çelik A, Ender E, Seyidoğlu Akdeniz N, 2015. Engelsiz parklarda peyzaj tasarımı. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi. 8 (2): 05-11.
- Engelliler İçin Evrensel Standartlar Kılavuzu, 2017. Dünya Engelliler Vakfı, Dünya Engelliler Vakfı, 192s., İstanbul.
- Eşkil YÖ, 2011. Engelliler için dış mekân tasarım özellikleri bağlamında Ankara kent parklarının irdelenmesi. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Kalkınma Bakanlığı, 2019. Onuncu Kalkınma Planı. <http://www.kalkinma.gov.tr>. Son erişimtarihi: 07 Kasım 2019.
- Kalkınma Bakanlığı, 2020. Onbirinci Kalkınma Planı. <http://www.kalkinma.gov.tr>. Son erişimtarihi: 7 Kasım 2019.
- Kaplan H,2007. Kentsel mekânların erişebilirliği ve okunaklılığını sağlamada kentsel tasarımın bir bileşeni olarak engelsiz tasarım. TMMOB Mimarlar Odası Yayını, Dosya 04, Bülten 46, s. 51-62, Ankara.
- Kaplan H, Öztürk M, 2004. Engelliler, kamu mekânı ve engelsiz tasarım: kamusal iç mekânlarda irdelenmesi için bir çerçeve. Planlama, 2: 67-74.
- Kentsel Mekânsal Standartların Geliştirilmesi, 2017. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Güzel Sanatlar Ün. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yayını, 585s.
- Kuter N, Çakmak M, 2017. Kamusal dış mekânlarda engelliler için tasarım: Ankara, Seğmenler Parkı örneği. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 3(2): 93-110.
- Ören Ö, 2015. Kent parklarının engelli standartları açısından değerlendirilmesi (Recep Yazıcıoğlu ve Adalet Parkları-Denizli). Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Dönem Projesi, Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Anabilim Dalı, 66 s., Denizli.
- Özdemir A, 2017. Engelsiz oyun alanları için kapsayıcı tasarım yaklaşımı. Ege Mimarlık. 95:20-23.
- ÖZİ, 2010. T.C. Başbakanlık Özürlüler İdaresi Başkanlığı yerel yönetimler için ulaşılabilirlik temel bilgiler teknik el kitabı. H.Kaplan, Ü.Yüksel, A.B. Gültekin, C. Güngör, N. Karasu, M. Çavuş (Ed.), T.C Başbakanlık Özürlüler İdaresi Başkanlığı Yayınları, No:49, Ankara, s. 139.
- Sarı D, Karaşah B, 2018. Bitkilendirme tasarımı öğeleri, ilkeleri ve yaklaşımlarının peyzaj tasarımı uygulamalarında tercih edilirliliği üzerine bir araştırma. Megaron, 13(3): 470-479.
- Tandoğan O, 2014. Çocuk için daha yaşanılır bir kentsel mekân. Megaron, 9(1):19-33.
- URL-1, <http://www.unesco.org.tr/Pages/108/219/S%C3%BCrd%C3%BCr%C3%BClebilir-Kalk%C4%B1nma-2030-Hedefleri-%C4%B0htisas-Komitesi>. Son erişim tarihi: 2 Şubat 2020.
- Uslu A, Shakouri N, 2014. Kentsel peyzajda engelli/yaşlı birey için bağımsız hareket olanağı ve evrensel tasarım kavramı. Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 14(1): 7-14.

Kültürel Peyzaj Planlaması Kapsamında Tarihi Çevrelere Yönelik Kentsel Tasarım Önerileri: Tarihi İspir Kalesi ve İspir Evleri

Zeynep KARABUDAK ERTEM¹, Hilal TURGUT^{1*}

ÖZET: Günümüzdeki koruma anlayışı geçmiş yıllara göre çağdaş, yenilikçi ve amacına daha uygun bir yaklaşımdır. Koruma anlayışı dünyada ve ülkemizde artık anıtsal yapı ölçeğinden, çevresel öğeleri de kapsayan bütünsel bir koruma anlayışına evrilmiştir. Ne yazık ki yasalardaki eksiklikler, kamuoyunun hala koruma konusunda bilinçsiz olması, devlet kurumlarının yetersizliği gibi durumlardan dolayı, tarihi çevreler ve kültürel peyzajlar tam anlamı ile korunamamakta, tahribata uğramaya devam etmektedirler. Bu çalışmanın amacı kültürel peyzaj alanlarının içerisinde bulunan tarihi sokak dokusunun bir bütün olarak ele alınarak, bu alanların tahribatını önlemek amacıyla korunmasına ve yaşatılmasına yönelik kentsel tasarım önerileri geliştirmektir. Bu bağlamda kültürel peyzaj özelliklerine ve özgün yöresel mimari öğelere sahip olan İspir ilçesi araştırma alanı olarak seçilmiştir. Araştırmanın kuramsal temellerini tespit etmek amacıyla, kültürel peyzajlar, tarihi çevreler, Türk kent ve sokak dokusu konuları başta olmak üzere tarihi çevrelerde kentsel planlama konularında yapılan çalışmalar incelenmiştir. Araştırma yöntemi kapsamında etüt, veri toplama, analiz ve sentez çalışmaları yapılmıştır. İspir ilçesinin kentsel dokusu detaylı bir şekilde incelenmiş ve elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktararak haritalar oluşturulmuştur. Araştırma sonucunda, kültürel peyzaj alanlarının koruma kullanma dengesi içerisinde korunmasına, onarılmasına, yaşatılmasına ve yönetilmesine yönelik politikaların oluşturulmasının, ayrıca yerel yönetimler, yerel halk ve ilgili meslek gruplarından oluşan bir komiteyle söz konusu alanların ve çevresinin bütünleşik bir şekilde planlanmasının gerekli olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Geleneksel doku, tarihi Türk evi, kale, sit alanı, koruma-kullanma dengesi,

Urban Design Proposals for Historical Environments within the Scope of Cultural Landscape Planning: Historical İspir Castle and İspir Houses

ABSTRACT: Today's understanding of protection is contemporary, innovative, and more appropriate to its purpose than in previous years. The understanding of conservation has evolved from the monumental building scale to a holistic approach to conservation in the world and our country. Unfortunately, due to the shortcomings in the law, the unconsciousness of the public and the inadequacy of the state institutions, historical environments, and cultural landscapes cannot be fully protected and continue to be destroyed. This study aimed to examine the historical street texture within the cultural landscape areas as a whole; to develop urban design proposals for the conservation and maintenance of these areas to prevent destruction. In this context, İspir district, which has cultural landscape features and original regional architectural elements, has been chosen as the research area. To determine the theoretical foundations of the study, studies on cultural landscapes, historical environments, Turkish urban and street texture issues, especially urban planning in historical environments were examined. Data collection, analysis, and evaluation studies were conducted within the scope of the research method. In the findings section; the urban texture of İspir was examined in detail, the data were transferred to the computer, and maps were created. As a result of the research, it was seen that it is necessary to establish policies for the protection, repair, survival, and management of cultural landscape areas within the protection-usage balance, as well as the integrated planning of these areas and their environment with a committee consisting of local governments, local people and related professional groups.

Keywords: Traditional texture, historical Turkish house, castle, protected area, protection-usage balance,

¹Zeynep KARABUDAK ERTEM (Orcid ID: 0000-0002-4892-9623), Hilal TURGUT (Orcid ID: 0000-0002-5541-1187), Artvin Çoruh Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Artvin, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Hilal TURGUT, e-mail: hturgut@artvin.edu.tr

Bu çalışma Zeynep KARABUDAK ERTEM'in Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

Geliş tarihi / Received: 27-03-2020

Kabul tarihi / Accepted: 08-05-2020

GİRİŞ

Kültürel peyzaj kavramının literatüre girmesiyle birlikte 1992 yılında “Dünya Mirası Sözleşmesi” kapsamında kültürel peyzaj alanları, ilk kez koruma statüsü kazanmış ve sözleşmenin birinci maddesinde belirtilen “doğanın ve insanın bütünlük çalışmaları” olarak tanımlanmıştır (UNESCO, 2018). Kültürel peyzajlar ve tarihi çevreler birçok doğal ve kültürel öğeyi içinde barındırması nedeniyle bütünlük bir biçimde korunması gerekli alanlardır (Conzen, 2001; Hoşgör, 2013). Amerikalı coğrafyacı Carl Orwin Sauer; ilk olarak coğrafyanın çalışma kapsamının daha geniş bir perspektifle incelenmesi gerektiğini; yaşayan toplumun geleneklerinin, inançlarının ve sosya-kültürel özelliklerinin de ele alınmasının gerekliliğini savunmuştur. Bunun sonucu olarak coğrafyanın, “peyzajın fiziksel ve kültürel unsurlarının birliği” olduğunu öne sürmüştür (Sauer, 1969). 1970’lerden sonra Jhon B. Jackson, Donald W. Meinig, Pierce F. Lewis, Robert Z. Melnick gibi birçok araştırmacı da peyzaj ve kültürel peyzaj kavramı üzerine yoğunlaşarak, bu konularda çeşitli akademik çalışmalar yapmıştır. Kültürel peyzaj değerlendirmesi ve tarihi peyzaj koruma planlaması konusunda ulusal ve uluslararası alanda tanınan bir uzman olan Robert Z. Melnick (1984)’e göre ise kültürel peyzaj; doğal peyzajla beraber içerisinde yer alan insan eylemleri ve inançlarının somut bir tezahürüdür (Fowler, 2019). 1900’lü yılların sonuna kadar koruma kavramının gelişmesi sadece yapı ölçeğinin değil, yapının çevresinin de korunması anlayışını beraberinde getirmiştir. Bu süreçte korunan alanların artması ve kültürel peyzaj kavramının literatüre girmesiyle birlikte kültürel peyzaj alanlarının da korunması gerekliliği gündeme gelmiştir. 1992 yılında “Dünya Mirası Sözleşmesi” ile kültürel peyzaj alanları, ilk kez koruma statüsü kazanmıştır. Sözleşme, kültürel peyzajları tanıyan ve koruyan ilk uluslararası yasal araç niteliğinde olup, oluşturulan komite, kültürel peyzaj alanlarının Dünya Miras Listesi’ne dahil edilmeleri ile ilgili kurallara yer vererek kültürel peyzajı sözleşmenin 1. maddesinde belirtilen “doğanın ve insanın bütünlük çalışmaları” olarak tanımlamıştır (UNESCO, 2012). Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Organizasyonu (UNESCO), Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Park Servisi (USNPS) ve Uluslararası Dünya Doğayı Koruma Birliği (IUCN), Uluslararası Anıtlar ve Sitler Konseyi (ICOMOS), Kültürel Peyzaj Vakfı (TCLF), Avrupa Konseyi (COE) ve Kanada Ulusal Başkent Komisyonu (NCC) kültürel peyzaj açısından yaptıkları çalışma ve tanımlarla önemli kuruluşlar arasında yer almaktadır.

USNPS ise kültürel peyzajları; Tarihi Tasarlanmış Peyzajlar, Tarihi Sitler, Tarihi Yöresel Peyzajlar, Etnografik Peyzajlar olmak üzere dört ana başlık altında sınıflandırmıştır (Anonim, 2018a). Koruma kavramı himaye etmek, muhafaza etmek gibi var olan ögenin özelliğini yitirmemesi için yapılan faaliyetleri ifade etmekte; ayrıca önlem alma, bakım, onarım gibi tahribatı engellemek amacıyla kullanılan kavramları da içermektedir. 2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu "Koruma"; ve "Korunma" kavramı; “taşınmaz kültür ve tabiat varlıklarında muhafaza, bakım, onarım, restorasyon, fonksiyon değiştirme işlemleri; taşınır kültür varlıklarında ise muhafaza, bakım, onarım ve restorasyon işleri” olarak ifade edilmiştir. Koruma konusunda dünyada öncü kuruluşlardan olan UNESCO, 17 Ekim-21 Kasım 1972 tarihleri arasında, Dünya Kültürel ve Doğal Mirasının Korunmasına Dair Sözleşme, 1975 yılında; Avrupa’nın tüm ülkelerinin delegelerinden oluşan “Amsterdam Bildirgesi” kabul edilmiştir. Kongrede mimari yapılarının tüm dünyanın ortak mirası olduğu ve kültürel mirasın bütünlük parçası olduğu onaylanmıştır (Anonim, 2018b). UNESCO ve Avrupa Konseyi’nin uluslararası çalışmalarının yanında Venedik Tüzüğü’nden sonra 1981 yılında Avustralya ICOMOS Ulusal Komitesinde, kendi ülkesinde geçerli olan Burra Charter’ı geliştirmiştir. 1982 yılında ise, Pakistan’da düzenlenen “Geleneksel Mimarinin Belgelenebilirliği ve Korunması” konulu seminer İslam ülkelerindeki mimari mirasın korunması ile ilgili olarak, İslam Kartası denemesi olmuştur (Ahunbay, 2018). Ayrıca ICOMOS, “1982 Tarihi Bahçeler (Floransa) Tüzüğü”, “1987 Tarihi Kentlerin ve Kentsel Alanların Korunması (The Washington Charter) Tüzüğü”, “1999 Geleneksel Mimari Miras Tüzüğü”, “2011 “Tarihi Kent ve Kentsel Alanların Korunması ve Yönetimiyle İlgili Valetta İlkeleri”, “2017 Ahşap Mimari Mirasın Korunması için İlkeler” gibi korumayla ilgili birçok tüzük yayınlamıştır. Günümüzde 1972 Dünya Kültürel ve Doğal Mirasının Korunması Sözleşmesi’ne göre oluşturulan ve WHC tarafından belirlenen Dünya Mirası Listesi’nde Dünya Miras Alanı olarak ilan edilen toplam 1092 miras yer almaktadır. Bunlardan 845’i kültürel, 209’u doğal ve 38’i karma (doğal ve kültürel) miraslardır (Anonim, 2019). Türkiye Avrupa Konseyi ve UNESCO’nun birçok kararını onaylayarak, 1954’de

Avrupa Kültür Antlaşmasını, 1967’de Venedik Tüzüğünü kabul etmiş, 1969’da Kültür Varlıklarının Konservasyonu ve Restorasyonu Konusundaki Uluslararası Araştırma Merkezi üyesi olmuş, 1972’de Dünya Kültürel ve Doğal Mirası Koruma Sözleşmesini ve 1975’de Amsterdam Bildirgesi’ni kabul etmiştir. Kabul edilen uluslararası ilkelerle yeni gereksinimlere cevap veremez durumda olan eski kanunlar 1973’te yürürlükten kaldırılmış ve yerine on yıl yürürlükte kalan 1710 sayılı “Eski Eserler Kanunu” getirilmiştir. 1983 yılında 2863 sayılı ‘Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu’ yürürlüğe girmiştir.

Kültürel peyzaj kavramı çok eski tarihlere uzanmasa da kültürel peyzajların korunması, planlanması, yönetilmesi, sorunları gibi konularda dünyada ve ülkemizde yapılan pek çok çalışma yer almaktadır. Fowler 2003, Ahunbay 2004, Dinçer 2013, Ayanoğlu 2019, kültürel peyzajların korunmasında dikkate alınması gerekli konular hakkında çalışmalar yapmışlardır. Özsüle 2005, Atabeyoğlu ve ark., 2009, Turgut ve ark, 2012, Arkun 2012, Doğan, 2018 yapmış oldukları çalışmalarda tarihi kültürel dokunun önemi, kent kimliği açısından değerlendirilmesi doğal kültürel peyzaj ilişkileri vb konularda çalışmalar yürütmüşlerdir.

Bu çalışmanın amacı; kültürel peyzajların, tarihi çevre ve geleneksel dokuların bütünlük olarak korunması, yenilenmesi, tahribatının önlenmesi için sürdürülebilir planlama ve tasarımın önemini vurgulamaktır. Bu bağlamda İspir ilçesinin I. Derece Arkeolojik, III. Derece Arkeolojik ve Kentsel Sit alanlarını kapsayacak şekilde bir çalışma sınırı belirlenmiştir. Araştırma alanının doğal ve kültürel peyzaj özellikleri değerlendirilerek, tarihi ve geleneksel dokusunu korumak ve geliştirmek amacıyla peyzaj planlama ve tasarım önerileri geliştirilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Araştırmanın ana materyalini İspir Koruma Amaçlı İmar Planı’ndaki I. derece ve 3. derece Arkeolojik Sit Alanı içerisinde bulunan “Tarihi İspir Kalesi” ve kentsel sit alanı içerisinde bulunan “Tarihi İspir Evleri” oluşturmaktadır Erzurum il sınırları içerisinde bulunan İspir ilçesi doğusunda Tortum ve Yusufeli ilçesi, batısında Pazaryolu ilçesi, kuzeyde Rize ve Artvin illeri, güneyinde ise Bayburt ili ile sınırlanmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Araştırma alanının coğrafi konumu

Tarihi İspir Kalesi ve Tarihi İspir Evleri Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Organizasyonu (UNESCO)'nun I. ve II. Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Park Servisi (USNPS)'nin ise I. II. ve III. sınıflandırmasındaki ayırıcı özellikleri taşımaktadır. Çalışmada ayrıca yardımcı materyal olarak İspir Kale ve çevresini kapsayan “Erzurum İli İspir İlçesi I. derece arkeolojik ait, III. derece arkeolojik sit ve kentsel sit alanı sınırlarını kapsayan koruma amaçlı imar planı ve araştırma alanına ait fotoğraf, video ve hava fotoğrafı gibi görsel materyaller kullanılmıştır.

Yöntem

Araştırmanın yöntemini; etüt, veri toplama, analiz ve değerlendirme aşamaları oluşturmaktadır.

- 1- Etüt aşamasında; arazi çalışmaları yapılmış, araştırma alanına ait fotoğraf, video ve hava fotoğrafları çekilmiştir.
- 2- Veri toplama aşamasında; araştırma alanına ait veriler toplanmış, literatür taraması yapılmıştır. Erzurum Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu Müdürlüğünden 1/1000 ölçekli koruma amaçlı imar planı haritası, Erzurum Oman Bölge Müdürlüğünden 1/25000 ölçekli topografik haritalar, İspir belediyesinden elde edilen imar planları, İspir ilçe faaliyet raporu, İspir Çoruh Mikrohavzası Erzurum il gelişim planı, Doğu Anadolu Turizm Geliştirme Projesi (DATUR) 2010 Yılı İlerleme Raporu ve Çoruh Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi Raporu temin edilmiştir. Çalışma alanı mevcut kullanımlarının belirlenmesi ve yaşam dokusundaki değişimlerin gözlemlenmesi amacı ile alanda 2 yıl boyunca gözlem yapılmıştır. Kamu kurumlarında çalışan yetkililerle ve yöre halkı ile alan kullanımlarına yönelik yüz yüze görüşmeler yapılmıştır.
- 3- Analiz aşamasında; alana ait veriler bilgisayar ortamına aktarılmış ve haritalar oluşturulmuştur. Değerlendirme aşamasında ise elde edilen haritalar yorumlanmış, öneriler sunulmuştur. Alanın fiziki dokusunu oluşturan yerleşim, ulaşım dokularının ortaya konulduğu haritalar oluşturulmuştur. Alandaki yapı ve peyzaja ilişkin röleve çalışmaları haritalara işlenmiştir. Çalışmada Kevin Lynch'in kentsel imge elemanlarının beş ana başlığı olan; bağlantılar, sınırlar, bölgeler ve odak alanları dikkate alınarak kamu kurumlarından alınan haritalar ve çekilen fotoğraflar sınıflandırılmıştır. Tüm veriler doğrultusunda Photoshop CC programında “arazi kullanım analizi, imaj analizi, yapısal doku analizi, kat yüksekliği analizi, doluluk-boşluk analizi” haritaları oluşturulmuştur.
- 4- Sentez aşamasında; elde edilen analizlerin sonuçları değerlendirilmiştir. Tarihi İspir Evleri ve Kalesi'nin tarihi yapı, geleneksel doku ve kültürel peyzaj özellikleri tartışılarak kültürel peyzaj planlama ve tasarım önerileri sunulmuştur.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Tarihi İspir Kalesi ve Tarihi İspir Evleri tarihi kent dokusunu ve bu bağlamda kentin kültürel mirasını oluşturmaktadır. İspir Kalesi ve çevresi, tarihsel çerçeve içerisinde değişim ve gelişim göstermiş, farklı medeniyetlerin geleneklerini, inançlarını veya değerlerini yansıtarak bugüne kadar gelebilmiş bir mimari yapıları barındırmaktadır. Doğal peyzaja uyumlu karakteristik mimari yapısı, arkeolojik sit özelliğine sahip olması ile tarihi yöresel peyzaj niteliği taşımaktadır. Tarihi İspir Evleri, tarihi dokusu, yöreye özgü taşlarla örülmüş mimari yapısı, karakteristik Türk ev tipolojisi özellikleri, doğal şartlara ve doğal peyzaja uyumlu dokusu, yerel halkın inanç, gelenek-görenek gibi değerlerini yansıtması ile USANPS “tarihi yöresel peyzajlar”, “Tarihi Tasarlanmış Peyzajlar” ve UNESCO “Sürekliliği Olan Peyzaj Alanları” kategorilerine girmektedir.

İspir Kalesinin ne zaman inşa edildiği tam olarak bilinmemesine rağmen kimi tarihçiler keledeki Çoruh Vadisi'ne inen gizli su yolu gibi bazı mimari detaylardan dolayı Urartular döneminde inşa edildiğini iddia etmektedir (Aktemur ve Kukaracı, 2004; Taşçı, 2008) (Şekil 2).



Şekil 2. İspir Kalesinin güney yönünden görünüşü

Ana kayanın şekline göre planlanmış olan İspir Kalesi, yaklaşık 125x150 m’lik bir alan üzerine kurulmuştur. Mevcut sur duvarları düzensiz yonu taş malzeme ve Horasan harcı ile örülmüştür. Yarım daire ve kare planlı burçlarla takviye edilmiş olan iç kaleye doğu yöndeki basamaklı yol ile ulaşılabilir. İç Kalenin güney sur duvarına bitişik olarak inşa edilen Kale mescidi ve Minare XII yy. Saltuklu ilaveleri olup, kalenin XII yy. da eklem ve tadilat yapılarak restore edildiğini göstermektedir. Kale mescidi ve Minareye denk gelen güney sur duvarında yöreye özgü sarı renkte düzgün kesme taş kullanılmıştır. Kale mescidi günümüzde Kale Camii olarak kullanılmaktadır. Kalenin batı yönü ise sarp kayalıklarla çevrili olup, Çoruh’a inen gizli su yolu kalıntısı da bu yönde bulunmaktadır. Ayrıca Kalenin doğu yönünde ise kilise kalıntıları mevcuttur (Aktemur ve Kukaracı, 2004) (Şekil 3).



Şekil 3. Kalenin doğu yönündeki kilise kalıntıları

İspir’in tarihi ve geleneksel dokusunu en iyi biçimde yansıtan İspir evleri, yöreye özgü zengin tarihi ve mimari dokusuyla kültürel peyzajı tamamlayıcı niteliktedir. Araştırma alanında Erzurum’un geleneksel taş mimari yapısıyla özdeşleşen geleneksel konutlar inşa edilmiş bulunmaktadır. Evler iklim, topografya gibi doğal faktörlerin yanı sıra yapıldığı dönemin siyasi, sosyo-ekonomik ve sosyo-kültürel koşullarına göre şekillenmiştir. Yörede Eldem (1954) ’in belirlediği plan tipolojilerinden, sofasız, iç sofalı ve dış sofalı plan tipi mevcuttur. Yaygın olarak iç ve dış sofalı plan tipi kullanılmıştır. Evler genellikle 1 ya da 2 katlıdır. Çoğunlukla balkonlu, ön cepheleri Çoruh ve Kale manzarasına hakim olacak şekilde inşa edilmiştir. Özellikle 2-3 katlı konaklar geniş bahçeli ve manzaraya hakim noktalarda konumlandırılmıştır Evlerin yapıldığı döneme, ev sahibinin zevkine göre plan, dış cephe, pencere, balkon gibi mimari detayları veya evi inşa eden ustanın taş işçiliği, döşeme, süsleme gibi üslup farklılıkları bulunmaktadır. Evlerde genel olarak doğal taş, ahşap hatıl, horasan harcı, tuğla, sac, metal gibi Anadolu Türk evlerine özgü olan temel yapı malzemeleri birlikte kullanılmıştır. Evlerin dış duvarlarının köşeleri, bazı evlerin kapı-pencere kenarlarında “düzgün kesme taş”, cepheleri ise “moloz taş” ile örülmüştür. Evdeki kiriş, kapı, pencere, tavan, yer döşemesi, yüklük, makat, kapı alınlığı, kapı-pencere çerçeveleri, balkon, merdiven gibi birçok öğede genellikle çam başta olmak üzere; kavak, söğüt,

gürgen gibi ahşaplar kullanılmıştır. Evlerin iç mimarisinde Türk ev tipini de oluşturan sofalar, odalar, mutfak, kiler/ambar, kehriz veya gusülhane bulunurken; peyzaj/dış mimarisinde avlu, ön/arka bahçe, tandir evi, ahır, merak, müstemilat gibi yapılar bulunmaktadır. Yapıların plan, kat yapısı, ekonomik koşullar, arazi yapısı, bahçe büyüklüğü gibi faktörler neticesinde; tandirlik, merak gibi yapılar evin bünyesinde; ahır depo, ambar evin bodrum katında inşa edilmiştir. Ağır hava şartlarından dolayı evlerin duvarları oldukça kalındır ve duvar kalınlığı 80 ila 120 cm arasında değişkenlik göstermektedir. Evin iç duvarları ise daha incedir. Evlerin ön cepheleri daha özenli, kapı ve penceresi simetrik, duvar yapı elemanı daha düzgün ve simetrik ya da balkonlu olacak şekilde inşa edilmiştir. Ekonomik koşullara göre evlerin genellikle bahçesi olmakla beraber günümüzde bahçelerin bir kısmı yok olmuştur. Bahçe, geleneksel Türk evi bahçelerinde olduğu gibi meyve ağaçları ile doğal peyzajdan oluşmakta olup, balkonlarda, pencere demirlerinde ya da el yapımı çardaklarda üzüm asma kullanımı dikkat çekmektedir. Süslemeler daha çok evin içinde kullanılmış olup, evin girişinden itibaren, kapı, tavan, yüklük gibi ahşabın yoğun olduğu yerlerde kullanılmıştır. Evin dışı ise sade olup, süslemeler balkonlarda kullanılmıştır. Bazı evlerde haremlik, selamlık girişleri ve birden çok sofa bulunmaktadır. Evlerin dış bahçe kapısı genellikle çift kanatlıdır. Çatı ise genel olarak ahşap dikmelerle desteklenmiş eğimli beşik çatıdır. Çatıların üzerleri saç ile kaplanmıştır. Bazı tandir evlerinde yöreye özgü olan kırlangıç örtü kullanılmış olup, günümüzde bu örtü biçimi genellikle tahrip olmuş vaziyettedir (Şekil 4).



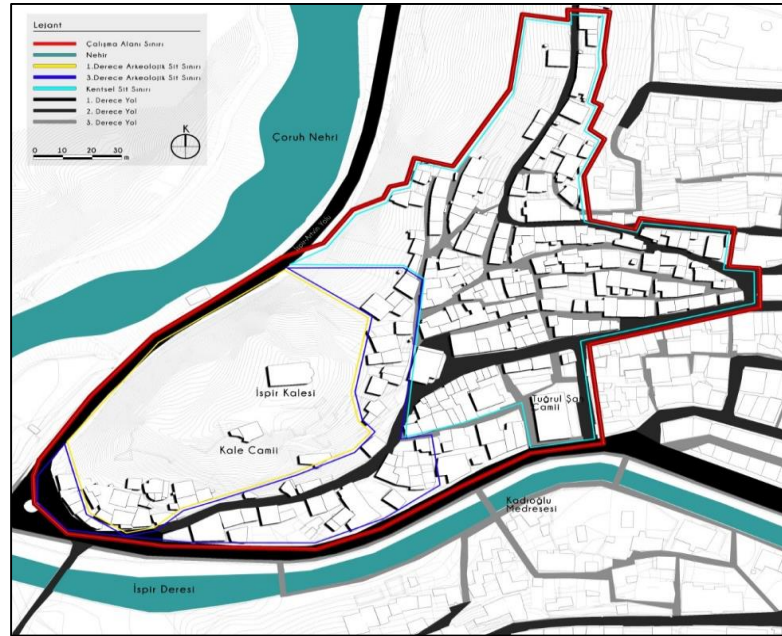
Şekil 4. Manzaraya hakim noktada konumlanmış bahçeli konak

İspir ilçesi tarihi yapısı, geleneksel evleri ve sokak dokusuyla; Eldem, 1954; Kuban 1955; Cansever, 1997; Bektaş, 2018'in de belirttiği Türk kent yapısının belirgin özelliklerini taşımaktadır. Araştırma alanı Anadolu kentlerinin büyüme modeli olan "kale kent" özelliğini taşımaktadır. Çalışma alanında sokak dokusu nehir kenarında konumlanmış, yüksek kayalıklı bölgede kale surlarının bitişiğinden itibaren Çoruh Nehri boyunca uzanmaktadır. Surların dışında konut bölgesinin de sokaklarla bağlandığı Tuğrul Şah Camii devamında çarşı, meydan, çeşme, imarathane, medrese ve pazar yeri bulunmaktadır. Ayrıca konut bölgesinde sokakların kesiştiği kısımlarda çeşmeler mevcuttur. Sokaklar genellikle sade bir yapıya sahip olup; topografyaya göre çok sayıda yokuş, merdiven gibi geçişlere sahiptir (Şekil 5)



Şekil 5. Tarihi İspir Evlerinin kuzey yönünden sokak dokusunun görünüşü

Araştırma alanı; I. Derece Arkeolojik Sit, III. Derece Arkeolojik Sit ve Kentsel Sit alanlarından oluşmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Araştırma alanına ilişkin sit alanı sınırlarını gösterir harita

I. Derece Arkeolojik Sit Alanı: KTB Taşınmaz Kültür Varlıkları ve Yüksek Kurulu Başkanlığı tarafından alınan 30.12.1983 gün ve 9351 sayılı kararıyla İspir Kalesi 1. Derece Arkeolojik Sit alanı ilan edilmiştir. Alan kale, kale surları ve kale peyzajını kapsamakta olup kalenin yakınına inşa edilen yapıları da içine almaktadır. 2 tescilli, 12 tescilsiz yapı bulunmakta olup alan yaklaşık 2,1 ha'dır.

III. Derece Arkeolojik Sit Alanı: KTB Erzurum Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu tarafından alınan 23.07.09 gün ve 1331 sayılı kararıyla İspir Kalesi çevresi 3.Derece Arkeolojik sit ilan edilmiştir. İspir Kalesi yakın çevresini kapsayan alanda Tarihi İspir evleri ve bazı konutlar bulunmaktadır. 6 tescilli, 35 tescilsiz yapı bulunmakta olup alan yaklaşık 1,2 ha'dır.

Kentsel Sit Alanı: 2017 yılında Erzurum Büyükşehir belediyesi tarafından "I. Derece arkeolojik sit, III. Derece arkeolojik sit ve Kentsel Sit alanı sınırlarını kapsayan Koruma amaçlı imar planı araştırması" yapılmış olup bu imar planı kapsamında arkeolojik sit sınırlarına ek olarak Tarihi İspir Evlerini kapsayan Kentsel sit alanı sınırları belirlenmiştir. Alan Geleneksel Türk kent yapısını, geleneksel sokak dokusunu ve Tarihi İspir Evlerini içermektedir. Alanda 32 tescilli, 138 tescilsiz yapı bulunmakta olup yaklaşık 2,6 ha'dır.

Araştırma Alanına İlişkin Analiz Haritaları

Araştırma alanına ilişkin elde edilen veriler neticesinde, alanın kentsel dokusu, kültürel peyzaj özellikleri, kimlik yapısı, tarihi yapısı detaylı bir şekilde irdelenmiş olup, alana yönelik doğru sonuçlar elde edilmesi amacıyla analiz haritaları oluşturulmuştur. Bu bağlamda araştırma alanına ilişkin; arazi kullanım, imaj, ulaşım, yapısal doku, kat yüksekliği, doluluk-boşluk analiz haritaları elde edilmiştir.

Arazi Kullanım Analizi

Araştırma alanında yapılan çeşitli etüt, arazi çalışmaları ve incelenen İspir Koruma Amaçlı İmar Planı doğrultusunda alandaki mevcut arazi kullanımını ve alan kullanım ilişkilerinin ortaya konulması amacıyla arazi kullanım analizi yapılmıştır (Şekil 7a). Alandaki mevcut arazi kullanım analizinde yapılar; konut, ticaret, sağlık tesisi, dini tesis, idari tesis, harabe (yıkılmış yapı), kale sur ve duvarları olarak; geleneksel yapı; tescilli yapı ve parseller olarak, yeşil alanlar; aktif ve pasif yeşil alan olarak, boş alanlar; şehir içi açık alan, şehir dışı açık alan, İspir Deresi olarak, yollar; 1. derece, 2. derece ve 3. derece

yol olarak sınıflandırılmıştır. Çalışma alanı sınırı içerisinde 40 tescilli konut, 38 ticari yapı, 2 dini tesis bulunmaktadır. Yeşil alanlar ise; aktif yeşil alanlar ve pasif yeşil alanlar olarak sınıflandırılmıştır. Alandaki yeşil alanlar dağınık bir yerleşime sahiptir. Konutların bahçeleri ve İspir dere kenarı dışında aktif yeşil alan bulunmamaktadır. Pasif yeşil alanları ise kale çevresindeki ağaçlık alan, çayırılık alanlar ve kent dışı ağaçlık alanlar oluşturmaktadır. Koruma ve peyzaj planlamasında amaç, seçilen özel yörenin çevre dokusunun tarihsel, arkeolojik, doğal mimari ve işlevsel değerlerini koruyarak çağdaş koşullara uygun gelişimini sağlayacak planlama ve tasarım kararlarının belirlenmesidir (Yazgan ve Erdoğan, 1992). Elde edilen bulgulara göre yeşil alanların oldukça yetersiz olduğu görülmüştür çevre dokusunun iyileştirilmesi ve çağdaş planlamaların yapılması için yeşil alanların miktarı artırılarak peyzaj tasarım ilkeleri doğrultusunda tasarlanmalıdır. Yeşil alanlar, tarihi yapılar ve geleneksel yapılar Kültür Bakanlığı'nın standartlarına uygun olarak tanıtıcı levhalar ve yön levhalarıyla desteklenmelidir. Kent gelişiminde yeşil alanların ekolojik faydalarının yanı sıra sosyo ekonomik faydalarının olduğu da unutulmamalıdır. Yeşil alanlar mekânsal kaliteyi artırarak turizmin gelişiminde önemli etken olmaktadır (Altunkasa, 2004, Önder ve Polat, 2012).

İmaj Analizi

Lynch, kentte yaşayan halkın ortak imgesel düşüncelerini saptamayı ve bu bağlamda imgelerin etkilerini, algılanabilirliğini, kent için önemini tespit etmeyi amaçlamıştır. Lynch, kentsel imgeyi; yollar, sınırlar, bölgeler, odaklar ve nirengiler olarak 5 başlıkta incelemiştir (Lynch, 1960). Bu ilkeler kentin imajı ve öğeleri arasındaki ilişkilerin algılanabilirliği açısından önemlidir. Araştırma alanında araştırmanın başlıca unsurları olan Tarihi İspir Kalesi ve Tarihi İspir Geleneksel Evlerinin yanında, Tuğrul Şah Camisi ve kent içindeki Tarihi Kadioğlu Medresesi gibi anıtsal tarihi yapılar da bulunmaktadır. Bu yapılar, kentin tarihi değerleri olmalarının yanı sıra, kentin özgün ve geleneksel dokusunun oluşmasında da önemli role sahiptirler. Bu bağlamda alanın kentsel imaj yapısı; bu unsurların birbirleriyle olan ilişkisi, karakteristik özellikleri, benzerlik ve farklılıkları ele alınarak incelenmiş ve araştırma alanına ilişkin öğelerin kentle ilişkisini daha iyi ifade etmek amacıyla imaj analizi yapılmıştır (Şekil 7b). Kentlerin kimlikleri açısından imaj noktaları ön plana çıkarılarak tasarımlarda kullanılmalıdır. Kentsel imaj alanları kentlerin form karakter açısından özgün değere ulaşmalarında önemli etkidir (Erzen, 2006, Oğurlu, 2014).

Bağlantılar; bir gözlemcinin potansiyel olarak kullandığı sokaklar, caddeler, demiryolları, otoyollar, kanallar ve benzerleri gibi şehrin algılanabileceği hareket kanallarıdır (Lynch, 1960). Araştırma alanındaki 1. derece bağlantı Cumhuriyet Caddesidir. Fatih Caddesi İspir Kalesi güzergahındadır ve doğrudan bağlantı bu caddeden sağlanmaktadır. Analiz haritasında Cumhuriyet Caddesine bağlanan yollar ve Fatih Caddesi 2. derece yol, sadece yaya ulaşımının sağlandığı, tali yollar ise 3. derece yol olarak ifade edilmiştir. Fatih Caddesinin devamındaki tali yollar ve dar sokaklar ile de Tarihi İspir evlerine ulaşım sağlanmaktadır. Tarihi İspir evleri arasındaki tali yollar, araçların girebileceği genişlikte değildir (Şekil 7b). Cansever, (1997), Türk kent dokusunda mahalle ve sokak dokusu daima korunarak geliştiğini ifade etmektedir. İspir tarihi kent dokusu için yapılan planlamada sokak dokusunun kimlik değeri dikkate alınarak işlevsel hale getirilmesi gerekmektedir.

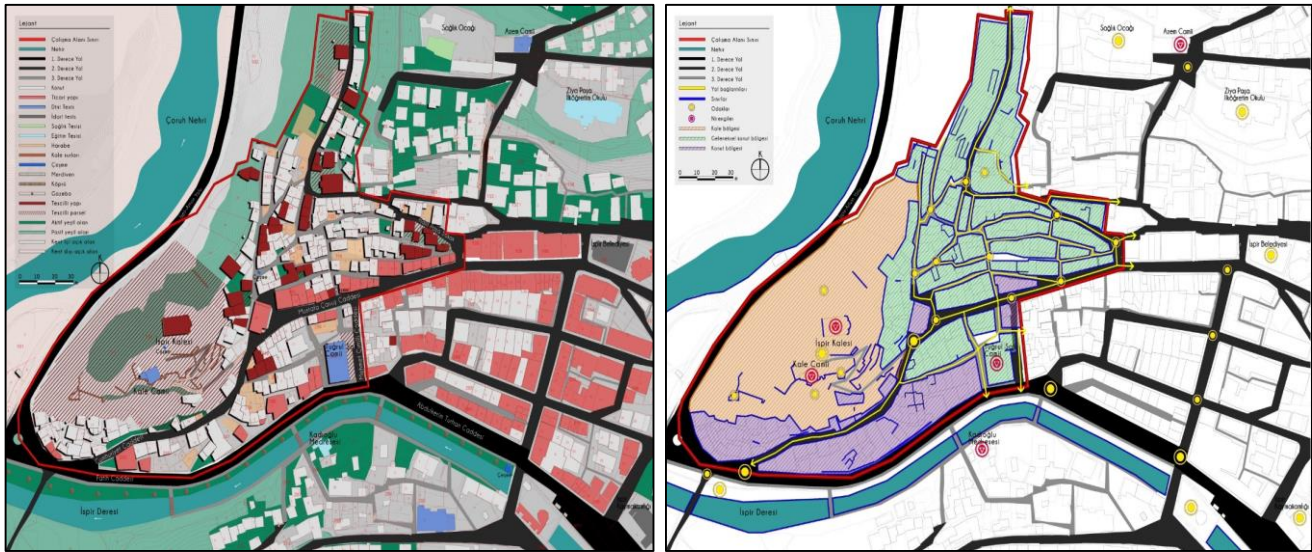
Sınırlar; bir gözlemcinin yol olarak kullanmadığı, iki faz arasındaki sınırlar, nehirler, sürekliliği olan doğrusal kırılmalar: kıyılar, demiryolu kesintileri, gelişim kenarları ve duvarlardır (Lynch, 1960). Araştırma alanında yer alan en önemli sınır elemanı İspir Kalesi ve surlarıdır. Çoruh'a dökülen İspir Deresi, yola bitişik olarak konumlanmış binaların sokaklara dönük yüzeyleri, yıkılmış geleneksel yapıların duvarları, bahçeli yapı adalarının dış duvarları ve sokağa dönük yüzeyleri de mekanların birbirinden ayrılmasını sağlayan sınırları oluşturmaktadır. Çalışma alanı içerisinde bulunan sınırlar işlevselliğini yitirmiştir. Yapılacak planlamalarda sınırların iyileştirilmesi gerekmektedir. Kent mobilyaları içerisinde ele alınan kentsel sınır elemanlarının kente kattığı estetik değer ve oluşturduğu algı kent imajı açısından önemlidir (Kuşkun, 2002).

Bölgeler; ortak özelliklere sahip ve diğer alanlardan karakteristik özellikleriyle ayrılan görsel kimliklerdir. Cephe materyallerinin ve dokularının sürekliliği, boşluklar, formlar, detaylar, semboller,

bina tipleri, kullanım alanları, aktiviteler, renkler, topografya, vb. özelliklerin homojenliği bölgeleri belirlemeyi sağlar (Lynch, 1960). Araştırma alanı olarak seçilen Tarihi İspir Kalesi ve Tarihi İspir Evlerinin yoğun olarak bulunduğu alan tarihi bölge olarak nitelendirilmiştir Bununla birlikte Tarihi İspir Kalesi, yüksek bir noktada konumlanması ve Kale tipi olarak farklı özelliklere de sahip olduğundan dolayı ayrı bir bölge olarak; geleneksel Türk ev tipolojisini içinde barındıran Tarihi İspir evlerinin yoğun olduğu alan da ayrı bir bölge olarak değerlendirilmiştir. Analiz haritasında bölgeler; 1. bölge, kale ve çevresi; 2. bölge, geleneksel Türk Evi bölgesi 3. bölge, yapı adaları olarak ifade edilmiştir (şekil 7b). Bölgelerin birbirleri olan ilişkileri dikkate alınarak yapılacak planlamalarda alanın daha etkin kullanımı amaçlanmalıdır.

Odaklar (düğümler); gözlemcinin girebileceği stratejik odak noktaları, meydanlar, kavşaklar, yolların birleşme noktaları, duraklar (tren istasyonları gibi) ve bazı karakteristik alanlardaki toplanma noktalarıdır (Lynch, 1960). Türk kent dokusunda sokakları dar ve odak noktaları mescit, cami ve görkemli ağaçlardan (özellikle Çınar) oluşmaktadır (Cansever, 1997) kentler kale çarşı vakıf külliye ve camiler etrafında odaklanmaktadır (Kejanlı,2010). Araştırma alanındaki odaklar: kavşaklar, bazı yolların kesişim yerleri (düğüm noktaları), kale girişi, bazı tarihi evler olarak; kent içindeki odaklar ise bazı eğitim ve sağlık yapıları, idari yapılar ve camiler olarak tespit edilmiştir (Şekil 7b). Odak noktaları kent organizasyonunda sirkülasyonda etkin rol oynamaktadır. Önerilen planlamalarda odak noktalarının kullanım yoğunluğu da dikkate alınmalıdır. Kentsel alanlarda ki yollar, odaklar, yer işaretleri bireyleri yönlendirerek güvende olduğu hissini verir (Çelikyay, 1995).

Nirengiler; odak noktalarının aksine gözlemci tarafından uzak mesafeden de kolaylıkla fark edilebilen ve kentin bütününde algılanabilen dış mekân elemanlarıdır. Bu elemanlar şekil, renk, boyut, yükseklik, konum, görünürlük, arka plan vb. özellikleri ile keskin bir şekilde ayrılır ve fark edilirler (Lynch, 1960). Kale, minare, kubbe, bina, heykel, ağaç, manzara noktası, farklı bir yapısal öge vb. fiziksel elemanlardır. Araştırma alanındaki nirengiler; Tarihi İspir Kalesi, Tuğrul Şah Camii ve kent içindeki nirengiler Tarihi Medrese ve Azem Cami olarak tespit edilmiştir (Şekil 7b). Nirengi noktalarının kentsel alanı şekillendiren kentsel imaj oluşturan alanlar olduğu dikkate alınarak planlama yapılmalıdır. Tarihi niteliği olan cadde, sokak, kentlerde nirengi noktaları kalite kriterleri açısından değer taşımaktadır (Tüfekçioğlu, 2008).



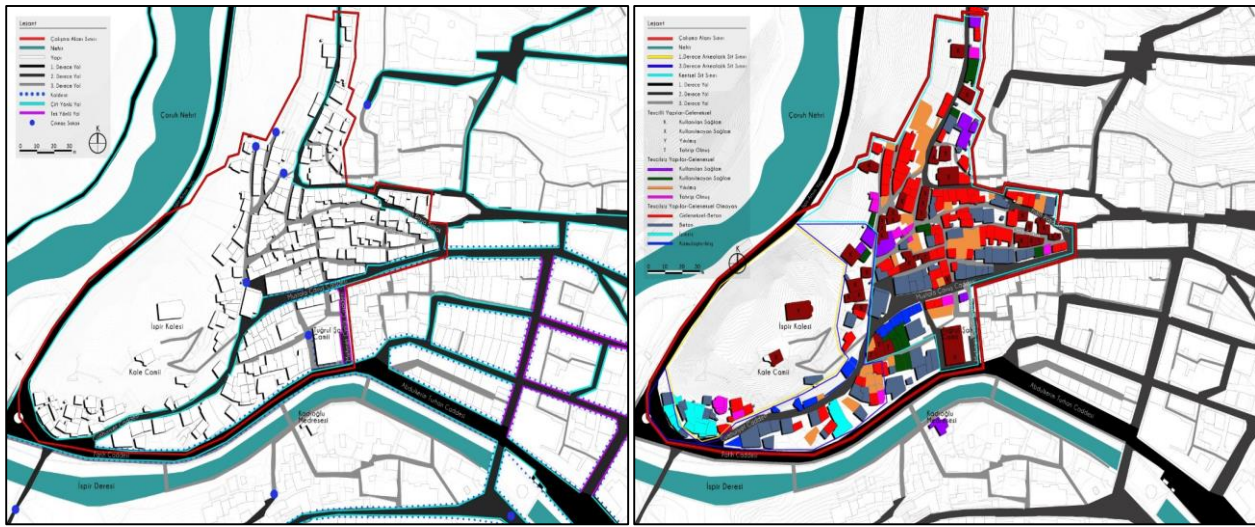
Şekil 7 a. Araştırma alanına ilişkin arazi kullanım analizi

b. Araştırma alanına ilişkin imaj analizi

Ulaşım Analizi; Ulaşım durumunun kentsel dokuya ve arazi kullanımına etkilerini incelemek amacıyla ulaşım analizi yapılmıştır (Şekil 8a). Türk kentlerinde yollar kentin önemli yapısal özelliğidir. Sokaklar odak noktaları olan camilerde kesişmekte, buradan da merkezdeki cami veya ticaret merkezlerine bağlanmaktadır (Cansever,1997). Çalışma alanında mevcut konut bölgesinin bağlandığı

yol ve devamında Tuğrul Şah Cami, çarşı, meydan, çeşme, imarathane, medrese ve pazar yeri bulunmaktadır. Ayrıca konut bölgesinde sokakların kesiştiği kısımlarda çeşmeler mevcuttur. Yolların çoğu betonla kaplanmış çok az kısmında ise geleneksel taş döşemeleri bulunmaktadır. Yapılan planlama ile taşıt trafiğinin alandan mümkün olduğunca uzak noktalara taşınması gerekmektedir. Tarihi dokuyu korumak ve devamlılığını sağlamak amacıyla “sokak sıhhileştirilmesi” ve “yayalaştırma” projeleri geliştirilmelidir.

Yapısal Doku Analizi; Araştırma alanındaki yapılar tescilli geleneksel yapı, tescilsiz geleneksel yapı, geleneksel olmayan yapı ve geleneksel-beton yapı olarak 4 farklı sınıfta incelenmiştir. Bunlardan tescilli ve tescilsiz geleneksel yapılar da kullanılan sağlam yapı, kullanılmayan sağlam yapı, tahrip olmuş yapı, yıkılmış yapı ve kamulaştırılmış yapı olarak 5 farklı sınıfa ayrılmış; geleneksel olmayan yapılar ise izinsiz ve beton yapı olarak 2 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 8b).



Şekil 8 a. Araştırma alanına ilişkin ulaşım analizi

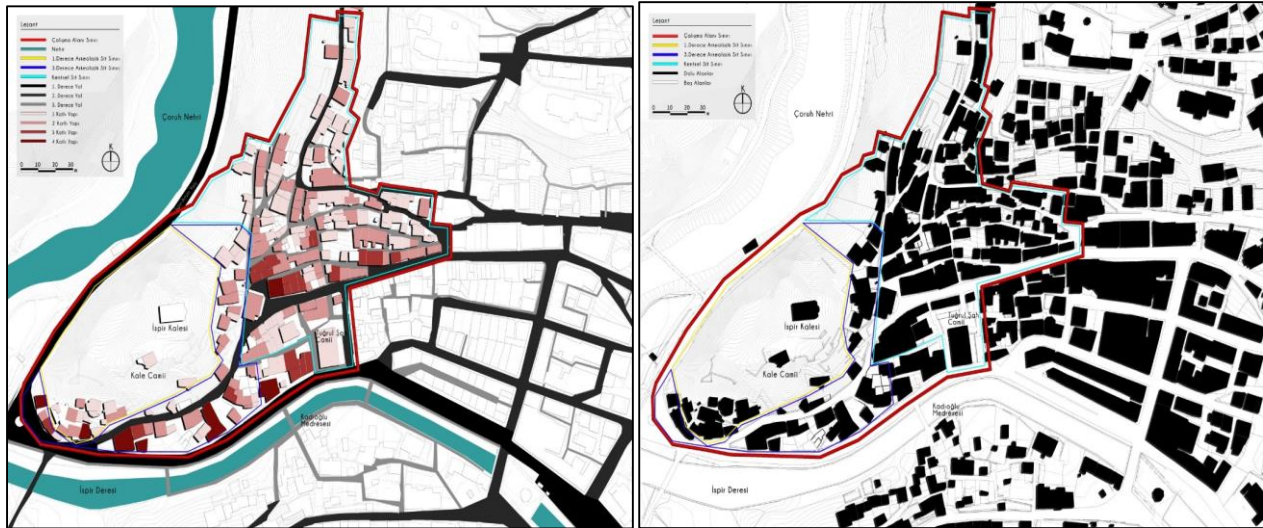
b. Yapısal doku analizi

Araştırma alanı sınırı içerisindeki yapısal doku istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Bu bağlamda parsellerin tümünde toplam 40 tescilli yapı bulunmakta olup, 22 kullanılan sağlam yapı (K), 11 kullanılmayan sağlam yapı (X), 2 yıkılmış yapı (Y), 5 tahrip olmuş yapı (T) yapı tespit edilmiştir. Geleneksel tescilsiz yapılarda 8 kullanılan sağlam yapı, 11 kullanılmayan sağlam yapı, 21 yıkılmış yapı, 7 tahrip olmuş yapı ve 11 kamulaştırılmış yapı olduğu; geleneksel-beton yapılarda 63 sağlam yapı; geleneksel olmayan yapılarda ise, 63 beton yapı ve 7 izinsiz beton yapı olduğu tespit edilmiştir. Alanda geleneksel yapılar toplam %39 oranındadır. Tescilli geleneksel yapılar toplam %19 olup bunlardan K %10, X %5, T %2 ve Y %1 oranında; tescilsiz geleneksel yapılar toplam %24 olup bunlardan kullanılan sağlam yapılar %3, kullanılmayan sağlam yapılar %5, yıkılmış yapılar %8, tahrip olmuş yapılar %3, kamulaştırılmış yapı %5 oranında; geleneksel olmayan yapılar toplam %32 olup bunlardan beton yapılar %29, izinsiz beton yapılar %3 oranında; geleneksel-beton sağlam yapılar ise %28 oranında dağılım göstermektedir. Bazı binalarda ahşap kaplamalar yapılarak beton yapıların biçimsiz görüntüsünü engellenmeye çalışılmıştır. Ancak, hızla yükselen çok katlı beton yapılar kent peyzajını olumsuz yönde etkilemektedir. Bunun önüne geçmek için cephe kaplamaları yetersiz olup, yeterli denetim yapılmadığı için sağlıksız yapıların çoğaldığı görülmüştür. Ayrıca kentsel donatı elemanları (aydınlatma birimi, çöp kutusu, yönlendirici levhalar vb.) da geleneksel dokuyla bir bütün oluşturmadığı için, kaplamalar geleneksel sokak dokusu için yetersiz kalmaktadır. Kuban (2018)'e göre; toplumun tarihi koruma bilincine sahip olması ve eski ile yeni arasındaki bağlantının bilinçli bir şekilde kurulması, tarihsel çevrelerin korunması için gerekli temeli oluşturmaktadır.

Kat Yüksekliği Analizi; Araştırma alanındaki yapısal dokunun geleneksel doku ve kent silüetini nasıl şekillendirdiğini incelemek amacıyla kat yüksekliği analizi yapılmıştır (Şekil 9a). Araştırma

alanındaki yapılar tescilli geleneksel yapı, tescilsiz geleneksel yapı, geleneksel olmayan yapı ve geleneksel-beton yapı olarak 4 farklı sınıfta incelenmiştir. Bu bağlamda kat yapıları bu sınıflandırmaya göre istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Tescilli tek katlı yapılar: 18 adet ve %8 oranında, 2 katlı yapılar 22 adet ve %10 oranında olup; 3 ve 4 katlı yapı bulunmamaktadır. Geleneksel tek katlı yapılar: 26 adet ve %12 oranında, 2 katlı yapılar 11 adet ve %4 oranındadır. Geleneksel-beton karışık tek katlı yapılar 34 adet ve %17 oranında, 4 katlı yapılar 29 adet ve %12 oranında, 3 katlı yapılar 5 adet ve %2 oranında olup; 4 katlı yapı bulunmamaktadır. Beton tek katlı yapılar 15 adet ve %7 oranında, 2 katlı yapılar 34 adet ve %16 oranında, 3 katlı yapılar 17 adet ve %8 oranında, 4 katlı yapılar 7 adet ve %3 oranındadır. Tarihi çevrelerde sokak, mahalle, kent ve bölge ölçeği dikkate alınarak kent silüetini bozmayacak ve kent estetiğine katkı sunacak tasarımlar geliştirilmelidir. Kentsel morfoloji açısından kat yükseklikleri önem taşımaktadır (Rezafar ve Türk, 2018).

Doluluk-boşluk analizi; Yapılaşma durumu ve boşluk oranının kentsel dokuya ve kent silüetine etkilerini incelemek amacıyla doluluk-boşluk analizi yapılmıştır (Şekil 9b) Araştırma alanındaki doluluk oranını alandaki yapılar, binalar, duvarlar oluşturmakta; boşlukları aktif ve pasif yeşil alanlar, yıkılmış yapıların bulunduğu parseller, kent içi ve kent dışı boş parseller oluşturmaktadır.



Şekil 9a. Kat yükseklik analizi

b. Doluluk boşluk analizi

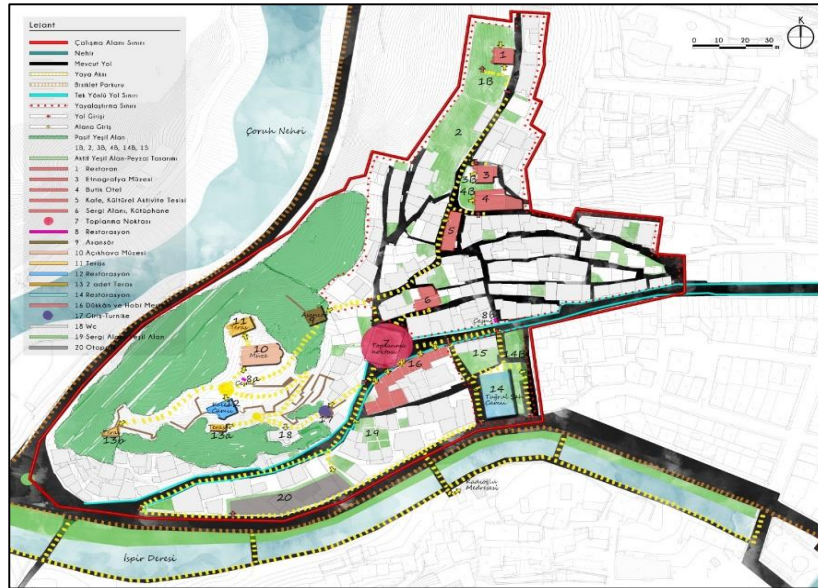
Arazi çalışmaları boyunca atıl durumda pek çok boş parsel tespit edilmiştir. Bu alanlar güvenlik açısından da olumsuzluk oluşturmaktadır. Yapılan planlamalarda bu alanların uygun şekillerde değerlendirilmesi gerekmektedir. Geleneksel doku ile uyumlu doluluk boşluk oranı kent estetiği ve kent kimliği açısından dikkate alınmalıdır (Çelik ve Açıksoz, 2008, Rezafar ve Türk, 2018).

SONUÇ

Araştırmanın sonucunda; İspir Kalesi ve çevresi de sit alanı ilan edilerek tescillenmiş olmasına rağmen, kontrolsüz müdahaleler sonucunda özellikle son 50 yılda geri döndürülemez bir biçimde bozulduğu görülmüştür. Bugüne kadar yeterli bir şekilde korunmadığı için çok katlı kaçak yapılaşma, kale surlarının sökülmesi, yanlış restorasyonlar, çevre kirliliği, peyzaj bozulması gibi çok fazla fiziki tahribata uğramıştır. Araştırma alanının diğer ögesi olan Tarihi İspir evleri ise yıkılarak, yanlış uygulamalarla, üzerine tarihi yapıya uygun olmayan beton ve kaçak yapılar yapılarak çeşitli tahribatlara uğramıştır. Ayrıca bu yapılaşmaların yanı sıra kaçak definecilerin çevredeki ev, çeşme, tarihi yapı, yol ve kale surlarını hazine aramak amacıyla zarar verdiği, bu sebeple oluşan tahribatın da azımsanmayacak çoklukta olduğu görülmüştür. Geleneksel dokuda giderek artan tahrip, yıkılma ve işgal sonucu yapılan 3-4 katlı beton yapılar da alanın tarihi dokusunu ve kent silüetini bozarak görsel açıdan olumsuzluk yaratmaktadır. Planlama sürecinde tescilli yapıların iyi bir şekilde korunması ve tahribatının önlenmesi için bazı parsellerin kamulaştırılması gerekmektedir. Araştırma alanının arazi durum

analizinden elde edilen bulgular neticesinde alana ilişkin arazi kullanım önerileri geliştirilmiştir (Şekil 10; Çizelge 1). Alana ilişkin öneriler aşağıdaki gibidir;

- 1- Alanların kamusal eksiklikleri de göz önünde bulundurularak müze, sergi alanı, restoran, butik otel, çocuk oyun alanı, toplanma alanı olarak değerlendirilmesi önerilmiştir. Tarihi dokuyu ön plana çıkaracak odak noktaları tarih, kültür ve sanat merkezi haline getirilmelidir. Bu noktalara; kültürel aktivite tesisi, sergi alanları, kütüphane, turist bilgilendirme merkezi, açık hava tiyatrosu, yeşil doku gibi sosyo-kültürel yapıyı da destekleyen alanlar önerilmektedir.
- 2- Özellikle tarihi dokunun yoğun olduğu bölgedeki yol döşemeleri geleneksel dokuya uygun materyallerle döşenmelidir.
- 3- İspir Tarihi Evlerinin bulunduğu alan ve Tuğrul Şah Cami çevresi yayalaştırılmalıdır. Bu alanlardaki araç park sorunu da bu sayede giderilecektir. Alanın dışındaki bazı parseller kamulaştırılarak 30 araçlık bir “otopark” tasarlanmalıdır. Ayrıca otoparktan tarihi alana bağlantının kolaylıkla sağlanması amacıyla kuzey yönünden “yaya geçiş güzergahı” ve Tarihi Kadioğlu Medresesi'nin tarihi dokuyla bağlantısının kurulması amacıyla yaya güzergahı oluşturulmalıdır. Kaleye giden Mustafa Çavuş Caddesi'nin araç trafiğini azaltmak amacıyla çift yönlü yol yerine tek yönlü yol olarak kullanım önerisi getirilmiştir.
- 4- İspir Çayı ve Çoruh Nehri hattı boyunca devam eden bir bisiklet parkuru önerilmiştir. Araştırma alanında önerilen yapı ve kültürel peyzaj unsurlarının ön plana çıkması, kültür turizminin canlanması amacıyla bir gezi rotası oluşturulmuştur. Bu rota tarihi geleneksel yapılar ve İspir Kalesi arasında bağlayıcı bir sokak organizasyonu oluşturacaktır.



Şekil 10. Araştırma alanı planlama önerileri

Kentteki tüm yapay peyzaj elemanlarının kültürel ve doğal peyzajla bütünlük oluşturacak şekilde, geleneksel dokuya uygun olarak tasarlanması gerekmektedir. Alandaki tarihi sokak ve yapısal dokunun devamlılığı için yapılması planlanan yapı, yol döşemesi, kent mobilyası, aydınlatma, yönlendirme öğeleri gibi kentsel donatılar için tarihi dokuya uygun materyaller kullanılmalıdır. Tüm tasarımlar birbirini bütünlüleyici nitelikte olmalıdır. Trafo kutusu gibi geleneksel silüeti bozan kentsel elemanlar için dokuyu bozmayacak estetik çözüm önerileri getirilmelidir.

Ayrıca, kültürel değerlerimizi geleceğe aktarabilmek ve tarihi çevrelerdeki mekan zenginliklerini sürdürülebilir kılmak için etkili planlamalar ve iyileştirme çalışmaları gereklidir. Bu tür planlamaların yapılabilmesi için kentin tüm bileşenlerinin değerlendirilmesi esastır.

Çizelge 1. Araştırma alanına ilişkin planlama öneri detayları

Konum	No	Ada no	Parsel no	Mevcut durum	Öneri	Özellik-İşlev
	1	102	50	Tescilli konut	Restoran	Yöresel ev yemekleri
	1B	102	51	Tescilli konut Bahçesi	Yeşil alan	Türk kent yapısına ve yöreye uygun bitki örtüsü
	2	134	47, 48	Harabeler	Yeşil alan	Türk kent yapısına ve yöreye uygun bitki örtüsü
	3	105	1	Tescilli konut	Etnografya müzesi	Müze
	3B	105	1	Tescilli konut bahçesi	Avlu, bahçe	Türk Ev tipine ve yöreye uygun peyzaj tasarımı
	4	105	3	Tescilli konut	Butik otel	Yöreye özgü iç mekan ve peyzaj tasarımına sahip konaklama alanı
	4B	105	4	Tescilli konut bahçesi	Bahçe, oturma alanı	Türk Ev tipine ve yöreye uygun peyzaj tasarımı
	5	121	1, 2	Tescilli konut	Kültürel aktivite alanı	1. Kat kafe 2. Kat kültürel aktivite tesisi
	6	119	9	Tescilli konut	Sergi alanı, kütüphane	1. Kat Sergi alanı 2. Kat Kütüphane
	7	135	28	Beton konut	Yıkılacak yapı	Turist bilgilendirme merkezi, toplanma alanı
	8a	102,11	138, 10	Çeşme	Restorasyon	Tarihi dokuya uygun, tadilat ve restorasyon
	8b	7				
	9	102	138	Kale parseli	Asansör	Tarihi dokuya uygun, 6 kişi kapasiteli
	10	102	138	Kilise kalıntısı	Açık hava müzesi	Tarihi dokuya uygun müze ve sergi alanı
	11	102	138	Kale parseli	Teras	Tarihi dokuya uygun, kuzey yönü seyir terası
	12	102	138	Kale camii	Restorasyon	Tarihi dokuya uygun restorasyon ve restitüsyon projesi
	13 a;1	102	138	Kale parseli	2 adet teras	Tarihi dokuya uygun, güney-batı ve batı yönü seyir terası
	13b					
	14	282	1	Cami	Restorasyon	Tarihi dokuya uygun peyzaj tasarımı
	14 B	282	1	Cami avlusu	Yenileme ve peyzaj tasarımı	Tarihi dokuya uygun peyzaj tasarımı, mevcut yapıyı yenileme
	15	250	3	Yıkılmış yapı	Yeşil alan ve peyzaj	Tarihi dokuya uygun peyzaj tasarımı, oturma alanı
	16	249	17, 1, 2, 3	Kamulaştırılmış yapılar	Hediyelik eşya dükkanı, kafe	Geleneksel ürünlerin satıldığı dükkan Geleneksel yapıya sahip kafe
	17	102	138	Tescilli parsel	Kale girişi, güvenlik ve turnike	Tarihi dokuya uygun yapı
	18	138	20	Konut	WC	Tarihi dokuya uygun yapı
	19	248	1, 4, 5, 6	Yıkılmış yapı	Sergi alanı	Sergi duvarları, yeşil alan ve oturma alanları
20	246 247	7, 8, 9, 10, 11, 12, 1,6	Boş parsel, izinsiz yapı	Otopark	30 araç kapasiteli	

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Zeynep KARABUDAK ERTEM'in Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığa Anabilim Dalı'nda kabul edilen yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

KAYNAKLAR

- Atabeyoğlu Ö, Turgut H, Yeşil P, Yılmaz H, 2009. Tarihi Bir Kentin Değişimi: Erzurum Kenti. İTÜ Dergisi /a, 8(1), 41-53
- Ahunbay, Z. 2004. Tarihi Çevre Koruma ve Restorasyon. Yapı Endüstri merkezi Yayınları No:28, 3.baskı, İstanbul.
- Ahunbay Z, 2018. Tarihi Çevre Koruma ve Restorasyon., Yem Yayınları, s. 210, Şişli İstanbul,
- Aktemur AM, ve Kukaracı İÜ, 2004. Kültür Varlıkları İle İspir. Erzurum: İspir Kaymakamlığı Kültür Yayınları, s. 118, Erzurum,

- Altunkasa, M.F., 2004. Adana'nın kentsel gelişim süreci ve yeşil alanlar. Adana Kent Konseyi Çevre Çalışma Grubu Bireysel Raporu, s:17, Adana.
- Anonim, 2018a. <https://www.nps.gov/subjects/culturallandscapes/understand-cl.htm> (Erişim Tarihi: 6.12. 2018).
- Anonim, 2018b. <http://www.unesco.org.tr/Pages/161/177> (Erişim Tarihi: 12. 12 .2018).
- Anonim, 2019. <http://www.kulturvarliklari.gov.tr/TR-44423/dunya-miras-listesi.html> (Erişim Tarihi: 13.05.2019)
- Ayanoğlu S.K., 2019. Büyükada'nın Kültürel Peyzaj Değerlerinin Korunmasına Yönelik Değerlendirme Yöntemleri. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmamış).
- Bektaş C, 2018. Türk Evi. Yem Yayınevi, s.152 Şişli İstanbul,
- Cansever T, 1997. İslam'da Şehir ve Mimari. İz Yayıncılık, s. 248, Topkapı İstanbul,
- Conzen MP, 2001. Cultural Landscape in Geography. In: N. Smelser and P.B. Baltes, eds. International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences, Oxford: Elsevier, pp.3086-3092.
- Çelik, D., Açıksöz, S. (2008). Tarihi Kentlerde Kent Estetiği Kaygısı: Bartın Örneği, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 10 (14), 57-65.
- Çelikyay, S.,1995. Kentsel Sit Alanlarında Tasarım Yönlendiricileri, Bartın Örneği, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı, Kentsel Tasarım Programı. Yüksek Lisans Tezi (Basılmamış).
- Diñer İ. (2013). Kentleri dönüştürürken korumayı ve yenilemeyi birlikte düşünmek: "Tarihi Kentsel Peyzaj" kavramının sunduğu olanaklar, ICONARP International Journal of Architecture and Planning, June 1, 23-41.
- Eldem SH, 1954. Türk evi plan tipleri., Puthan Matbaası, s. 236, İstanbul.
- Erzen, J., 2006. Çevre Estetiği ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayınları, ISBN: 975-7064-96-3, ODTÜ Yayıncılık, Ankara.
- Fowler, P. 2003. UNESCO World Heritage Cultural landscapes 1992-2002. World Heritage Series Papers Vol.6, 140p., Paris.
- Fowler PJ, 2019. World heritage cultural landscapes 1992–2002: A review and prospect, <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000133121> (Date of access:13.05. 2019).
- Hoşgör Z, 2013. Kültürel Peyzajın Yaya Yoğunluğu Üzerindeki Etkisinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Yöntem Önerisi: İstanbul Tarihi Yarımada-Hanlar Bölgesi Örneği, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Doktora Tezi (Basılmış).
- Kuban D, 1995. Türk "hayat"lı evi. Ziraat Bankası Yayını, s. 269, Karaköy İstanbul,
- Kuban D, 2018. Tarihi Çevre Korumanın Mimarlık Boyutu: Kuram ve Uygulama., Yapı-Endüstri Merkezi Yayınları, s. 207, Harbiye İstanbul.
- Kuşkun, P.,(2002) Erzurum Kent Bütününde Donatı Elemanlarının Kullanımı Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Basılmamış)
- Lynch K, 1960. The image of the city. MIT Press., p. 184, London England,
- Melnick RZ, 1984. Cultural Landscapes: Rural Historic Districts in the National Park System. Park Historic Architecture Division Cultural Resources Management National Park Service, p. 80, .Washington, D.C.,
- Oğurlu, İ.,2014. Çevre- Kent İmajı - Kent Kimliği- Kent Kültürü Etkileşimlerine Bir Bakış. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Yıl: 13 Sayı: 26, s. 275-293
- Önder, S., Polat, A.T., 2012. Kentsel Açık Yeşil Alanların Kent Yaşamındaki Önemi. Kentsel Peyzaj Alanlarının Oluşumu ve Bakım Esasları Semineri. Konya
- Özgül, Z. 2005. Geleneksel Yerleşimlerin Korunması Açısından Kültürel Peyzaj Değerlendirilmesi, Mudanya Örneği. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmamış)
- Sauer C O,1969.Land and Life,University of California Press, Berkeley, p. 417, Los Angeles,California
- Rezafar, A., Türk, Ş., 2018. Kentsel Estetiği Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi ve Farklı Aktörler Tarafından Değerlendirilmesi. Türkiye Kentsel Morfoloji Araştırma Ağı II. Kentsel Morfoloji Sempozyumu
- Taşçı K, 2008. İspir ve Çevresinin Ortaçağ Tarihi, , Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum. Yüksek Lisans Tezi (Basılmamış).
- Turgut H, Özalp A Y, Erdoğan A, 2012. Artvin İlinde Doğal Çevrenin Kent Kimliğine Etkileri. SDÜ Orman Fakültesi Dergisi. 13(2), 172-180.
- Tüfekçioğlu, H., 2008. , Tarihsel Çevrede Görsel Peyzaj Kalite Değerlendirmesi İstanbul Yedikule Örneği. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmamış)
- UNESCO, 2018. UNESCO Dünya Mirası Listesi, <http://www.unesco.org.tr/Pages/125/122/UNESCO-D%C3%BCnya-Miras%C4%B1-Listesi> (Erişim tarihi:6.12.2018).
- UNESCO, 2012. Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention, <https://whc.unesco.org/archive/opguide12-en.pdf> (Erişim Tarihi13.05.2019).

Ağır Metal Varlığında *Vimba vimba* Bireylerindeki Genotoksik Hasarın TespitiSeda KONTAŞ^{1*}, Derya BOSTANCI²

ÖZET: Kıranyağmur bölgesinden mevsimsel olarak örneklenen su, sediment ve *Vimba vimba* bireylerinin kas, solungaç ve karaciğer dokularında kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), arsenik (As), alüminyum (Al), nikel (Ni), krom (Cr), demir (Fe), çinko (Zn), bakır (Cu), mangan (Mn), kobalt (Co) konsantrasyonları belirlenmiştir. Bu çalışmada, comet assay parametreleri ve mikronükleus (MN) testinden yararlanılarak varlığı belirlenen elementlerin genotoksik potansiyellerinin araştırılması amaçlanmıştır. Suda Al, As, Fe ve balıkların kas dokusunda As, Pb, Mn bazı mevsimlerde yüksek bulunmuştur. Eritrositlerdeki MN frekansı yaz, kış, sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde sırasıyla %5.20, %1.80 %1.40 ve %1.10 olarak tespit edilmiştir (P<0.05). Comet assay parametrelerinin sonuçlarına göre, eritrosit hücrelerindeki DNA hasarına bağlı olarak oluşan kuyruk boyu değerleri yaz, ilkbahar, sonbahar ve kış mevsimlerinde sırasıyla 26.32 µm, 25.12 µm, 22.16 µm ve 17.78 µm olarak tespit edilmiştir. Yaz, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde DNA hasarı kış mevsimine göre daha yüksektir (P<0.05). Baştaki %DNA ve kuyruktaki %DNA değerleri de kuyruk boyu değerlerini desteklemektedir (P<0.05). Bu çalışmada, Kıranyağmur bölgesinde yaşayan *V. vimba* türünde ilk kez bir genotoksisite değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Araştırma bulguları, Kıranyağmur bölgesinin özellikle suyunun *V. vimba* türü üzerinde genotoksik bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler: *Vimba vimba*, comet assay, DNA hasarı, mikronükleus testi, genotoksisite

Determination of Genotoxic Damage for *Vimba Vimba* in the Presence of Heavy Metals

ABSTRACT: The concentration of cadmium (Cd), lead (Pb), arsenic (As), aluminium (Al), nickel (Ni), chrome (Cr), iron (Fe), zinc (Zn), copper (Cu), manganese (Mn), cobalt (Co) were determined in water, sediment and muscle, gill and liver tissues of *Vimba vimba* which were seasonally sampled from the Kıranyağmur region. In this study, it was aimed to investigate the genotoxic potential of the determined elements by using micronucleus (MN) test and comet assay parameters. Al, As, Fe in water and As, Pb, Mn in muscle were found high concentration in some seasons. MN frequency in erythrocytes was determined in summer, winter, autumn, and spring seasons as % 5.20, % 1.80, % 1.40 and % 1.10, respectively (P<0.05). According to the results of comet assay parameters, tail length values which occurred due to DNA damage in erythrocyte cells were determined in the summer, spring, autumn and winter as 26.32 µm, 25.12 µm, 22.16 µm and 17.78 µm, respectively. DNA damage in summer, spring and autumn is higher than in winter (P<0.05). Also, the % DNA in head and the % DNA in tail supported the tail length values (P<0.05). In this study, a genotoxicity assessment was performed for the first time in *V. vimba* inhabiting Kıranyağmur region. The research findings revealed that especially the water of Kıranyağmur region had a genotoxic potential on *V. vimba* specimens.

Keywords: *Vimba vimba*, comet assay, DNA damage, micronucleus test, genotoxicity

¹ Seda KONTAŞ (Orcid ID: 0000-0002-6582-6722) Ordu Üniversitesi, Fatsa Deniz Bilimleri Fakültesi, Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği Bölümü, Ordu, Türkiye

² Derya BOSTANCI (Orcid ID: 0000-0003-3052-9805) Ordu Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Ordu, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Seda KONTAŞ, e-mail: sedakontas@gmail.com

Geliş tarihi / Received: 21/02/2020

Kabul tarihi / Accepted: 26/03/2020

GİRİŞ

Ağır metallerin sebep olduğu su kirliliği, günümüzde ciddi bir sorun halini almıştır. Su ortamı, ağır metallere kaynaklı kirliliğe karşı daha duyarlıdır, çünkü içerisinde yaşayan organizmalar, ortamda var olan ağır metallere yakın ve yoğun bir etkileşim içindedir. Sudaki metal kirliliğinin genotoksik etkilerini anlayabilmemiz için, balıklar sucul ekosistemlerdeki en önemli indikatörlerden biri olarak değerlendirilebilir (Zhuang ve ark., 2013; Yılmaz ve ark., 2016). Ağır metallerin balıklardaki birikimi ve gösterdikleri toksik etkiler, organizmadan organizmaya da farklılıklar göstermektedir (Cicik, 2003). Ağır metaller kirliliği bir ortamda birlikte ve birbirleriyle etkileşimde bulunurlar. Dolayısıyla, balıklardaki birikimleri ve toksik etkileri ağır metalin özelliğine bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu sebeple, karışım halindeki metallerin su ve sedimentteki derişimlerinin canlılar üzerindeki etkilerinin tespit edilmesi önemli ve gereklidir. Kirleticilerin birçoğu toksik özelliktedir ve bazı kirleticiler kromatin metabolizmasındaki dengenin değişmesine yol açarak genomik kararlılığın kaybolmasına neden olabilir. Kirleticilerin bu özellikte olanları genotoksikler olarak sınıflandırılır (Marple ve ark., 2004; Barlow ve ark., 2006; Factori ve ark., 2014).

Kanserojen ve mutajenik özelliğe sahip farklı kirleticiler, organizmaların DNA'larında artan miktarlarda tek dizi kırıklarının meydana gelmesine yol açarlar (Mitchellmore ve Chipman, 1998). DNA dizi kırıklarının miktarını tespit etmede yararlanılan comet assay (tek hücre jel elektroforezi), genetik toksikoloji ve biyoizleme alanlarındaki çalışmalarda, farklı türde DNA hasarları ve bunların tamirlerinin değerlendirmesinde kullanışlı ve yararlı bir yöntem olarak kullanılmaktadır (de Andrade ve ark., 2004; Cornetta ve ark., 2008). Çevresel genotoksinlerin canlı üzerindeki toksik etkileri hem *in vivo* hem de *in vitro* biyobelirteç yöntemlerinden faydalanılarak izlenebilmektedir. Bununla beraber comet assay, çalışmanın kısa sürede tamamlanabilmesi (Güner ve Gökalp Muranlı 2013), sitogenetik etkileri ve DNA hasarlarını saptamadaki hızı ve hassasiyetinden dolayı, günümüzde akuatik toksisite çalışmalarında diğer yöntemlerin üzerinde bir popülerite kazanmıştır (Tice ve ark., 2000). Mikronükleus (MN) testi ise, hücrenin hayatta kaldığı süre içerisinde oluşan bir dizi genetik hasarın, kompleks karışımlar halinde bulunan kirleticilere karşı bütüncül yanıtını tespit etmek için kullanılan uygun tekniklerden biridir (Kammann ve ark., 2004). Fiziksel ve kimyasal ajanlar yoluyla tetiklenen sitogenetik hasarları belirlemek amacıyla, araştırmacılar tarafından yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Udroiu, 2006).

Bu çalışmanın temel amacı, Kıranyağmur bölgesindeki su, sediment ve *V. vimba* türünün kas, solungaç ve karaciğerindeki metalloid ve ağır metal birikiminin tespiti ve bu elementlerin *V. vimba* bireylerinde DNA'da meydana getirebileceği hücre düzeyinde genotoksik etkilerinin olup olmadığının araştırılmasıdır. *V. vimba* bireylerinin eritrositlerinden faydalanılarak bazı comet assay parametreleri ve mikronükleus oluşumlarının tespiti yardımıyla ırmak suyu ve sedimentindeki elementlerin genotoksik potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Eritrosit hücrelerinde oluşan genetik değişiklikler genotoksik birer belirteçtir. Dolayısıyla, Melet Irmağı'nın Ordu ili içme suyu kaynağı olarak kullanılması göz önünde bulundurulduğunda, bu çalışmanın sonuçlarının önemi tartışılmazdır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Ordu ilinde hem içme hem de sulama suyu kaynağı olarak kullanılan ve önemli akarsularından biri olan Melet Irmağı, jeolojik konumu itibarıyla maden yataklarınca zengin bir bölgededir. Irmak havzasında özellikle kurşun (Pb), bakır (Cu), çinko (Zn), altın (Au), gümüş (Ag), mangan (Mn) ve demir (Fe) maden yatakları dikkat çekmektedir (Anonim, 2011). Numunelerin örneklemelerine ve laboratuvar çalışmalarına başlamadan önce ilgili birimlere müracaat edilmiş ve çalışmalar süresince gerekli olan Etik Kurulu İzni (Sayı: 82678388/15, 11.02.2015) Ordu Üniversitesi Hayvan Deneyleleri Yerel Etik Kurulu'ndan, araştırma izni (Sayı: 67852565-140.03.03.1001, 27.04.2015) ise Tarım ve Orman

Bakanlığı'ndan alınmıştır. Bu çalışmada, Melet Irmağı üzerinde yer alan Topçam Barajı'nın aşağı bölümünde yer alan Kıranyağmur bölgesinin ağır metal konsantrasyonunu tespit etmek amacıyla, farklı bölgelerden Ocak 2015 - Aralık 2016 tarihleri arasında mevsimsel olarak su, sediment ve 35 adet *Vimba vimba* bireyi örneklenmiştir. Örnekleme bölgesinin etrafında fındık bahçeleri ve yerleşim alanları bulunmaktadır. Bu nedenle, pestisitlerden, deterjanlardan ve diğer maddelerden gelen kimyasal bir girdinin etkisi altındadır.

Suyun fiziko-kimyasal parametrelerinin tespiti için pH, sıcaklık (°C), çözülmüş oksijen (ÇO) (mg L⁻¹), oksijen doymunluğu (OD) (%), iletkenlik (µs cm⁻¹), tuzluluk (%), toplam çözülmüş katı madde miktarı (TDS) (mg L⁻¹) ve direnç (kΩ.cm) değerleri çoklu ölçüm cihazı ile yerinde ölçülüp kaydedilmiştir. Su örnekleri aynı gün içerisinde laboratuvara getirilmiş, nitrat (mg L⁻¹), nitrit (mg L⁻¹), fosfat (mg L⁻¹) ve sülfat (mg L⁻¹) seviyeleri spektrofotometrik yöntemle tayin edilmiştir.

Metalloid ve ağır metal konsantrasyonunun belirlenmesi amacıyla, belirlenen bölgeden polietilen şişelere su numuneleri alınmıştır. Su numunelerinin element konsantrasyonları Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde belirtilen element konsantrasyonu değerleriyle karşılaştırılmıştır (SKKY, 2004; YSKY, 2012). Aynı bölgelerden ırmağın dip kısmından alınan sediment örnekleri sabit ağırlığa gelene kadar 105 °C'de kurutulmuş sonrasında 0.5 µm'lik elek yardımıyla elenmiştir. Sediment örneklerinden yaklaşık olarak 0.5 g'lık numuneler alınarak prosedürlere uygun şekilde ağır metal analizine hazır hale getirilmiştir (Dural ve Göksu, 2006). Sediment numunelerinin metalloid ve ağır metal konsantrasyonları yer kabuğu içeriğindeki element konsantrasyonlarının değerleriyle karşılaştırılmıştır (Turekian ve Wedepohl, 1961). *Vimba vimba* bireylerine ait kas, solungaç, karaciğer dokularından yaklaşık olarak 0.5 g'lık örnekler alınarak prosedürlere uygun olarak ağır metal analizine hazır hale getirilmiştir (Ciftci ve ark., 2011). Balıkların kas dokusundaki element konsantrasyonları Gıda ve Tarım Örgütü (FAO, 1983), Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 1989); Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği (TGK, 2002); Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu (IAEA, 2003) ve Avrupa Komisyonu (EC, 2008)'na göre maksimum kabul edilir değerlerle karşılaştırılmıştır. Su, sediment ve doku örneklerindeki Cd, Pb, As, Al, Ni, Cr, Fe, Zn, Cu, Mn, Co içeriklerinin analizleri, GRÜMLAB'nda Bruker 820-MS model ICP-MS Spektrometresi ile belirlenmiştir.

Su, sediment ve dokularda varlığı tespit edilen elementlerin *V. vimba* bireylerinin eritrositleri üzerindeki olası genotoksik etkilerini belirlemek amacıyla mikronükleus testi ve comet assay parametrelerinden yararlanılmıştır. Genotoksisite analizleri için her mevsimde laboratuvara canlı olarak getirilen 5 birey kullanılmıştır. Müdahale öncesinde heparinize edilmiş şırıngalar yardımıyla her bir bireyin doğrudan kalbinden kan numuneleri alınmış ve diseksiyonları gerçekleştirilmiştir. Comet assay alkali koşullarda (pH>13.0) Singh ve ark. (1988)'nin bildirdiği prosedür modifiye edilerek uygulanmıştır (Tice ve ark., 2000). Hazırlanan preparatların boyanması amacıyla Etidyum bromür kullanılmış ve incelemeler floresan mikroskopunda (Leica) TXR filtresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Comet assay parametrelerinin (kuyruk boyu (µm), kuyruktaki % DNA miktarı (% DNA_T), kuyruk momenti, ortalama kuyruk yoğunluğu (%), baştaki % DNA miktarı (% DNA_H) ve ortalama baş yoğunluğu (%)) değerleri TriTek CometScore 2.0 yazılımı yardımıyla hesaplanmıştır. Her birey için 100 eritrosit hücresi değerlendirilmiştir. Mikronükleus testi için her bir bireyden bir damla kan mikroskop lamı üzerine damlatılarak derhal ince bir tabaka halinde yayma preparat hazırlanmıştır. Yayılan kan tabakası kuruduktan sonra, lamlar 20 dakika etanol içerisinde bekletilmiş ve daha sonra Giemsa solüsyonu (%5) ile boyanması sağlanmıştır. Her birey için 2000 eritrosit hücresi sayılmıştır (Boettcher ve ark., 2010).

Suyun fiziko-kimyasal parametrelerinin, su, sediment ve *V. vimba* bireylerinin dokularındaki element seviyelerinin, MN testi ve comet assay verilerinin mevsimsel ve yıllık değerlerine ait tanımlayıcı

istatistikleri hesaplanmıştır. Mevsimler arasındaki farklılıkların değerlendirilmesinde tek yönlü varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. İstatistiksel testlerin uygulanmasında MİNİTAB 16 paket programı kullanılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma, Melet Irmağı üzerinde yer alan Kıranyağmur bölgesinin su, sediment ve havzadan örneklenen *V. vimba* (n=35) türünün kas, solungaç ve karaciğer dokularındaki metalloid ve ağır metal birikimine bağlı olarak eritrosit hücrelerinde ortaya çıkan genotoksik hasarın tespitinin gerçekleştirildiği ilk çalışmadır. *V. vimba* bireylerinin eritrositlerindeki hücre çekirdeklerinde genotoksik hasarla ortaya çıkan mikronükleus oluşumları MN testi ve DNA kırıkları ise comet assay ile mevsimsel olarak belirlenmiştir. *V. vimba* bireylerinin boy ve ağırlıkları sırasıyla 10.84 ± 0.208 - 11.58 ± 0.106 cm ve 11.79 ± 0.750 - 14.29 ± 1.230 g değerleri arasındadır.

Suyun fiziko-kimyasal parametreleri ile su ve sedimentin metalloid ve ağır metal konsantrasyonlarının sonuçları Çizelge 1’de sunulmuştur. Belirtilen yönetmeliklere göre değerlendirildiğinde, su örneklerinde Al yaz ($30.185 \mu\text{g L}^{-1}$), sonbahar ($49.967 \mu\text{g L}^{-1}$) ve kış ($240.322 \mu\text{g L}^{-1}$) mevsimlerinde; As ilkbahar ($20.945 \mu\text{g L}^{-1}$), sonbahar ($20.398 \mu\text{g L}^{-1}$) ve kış ($20.035 \mu\text{g L}^{-1}$) mevsimlerinde; Fe ise tüm mevsimlerde belirtilen yönetmeliklerdeki değerlerin üzerinde bulunmuştur. Sedimentte tespit edilen element değerleri ise yer kabuğu değerlerine göre limitlerin üzerinde değildir (Çizelge 1).

V. vimba bireylerinin kas, solungaç ve karaciğerlerindeki metalloid ve ağır metal miktarları mevsimsel olarak Çizelge 2’de sunulmuştur. Kas dokusunda belirlenen Mn konsantrasyonları yaz ($8.77 \pm 0.868 \text{ mg kg}^{-1}$) ve sonbahar ($4.62 \pm 4.300 \text{ mg kg}^{-1}$) mevsimlerinde; Fe konsantrasyonu yaz ($186.00 \pm 46.400 \text{ mg kg}^{-1}$) mevsiminde; Al konsantrasyonu ($15.88 \pm 9.690 \text{ mg kg}^{-1}$) yaz mevsiminde; Cr konsantrasyonu ($7.71 \pm 7.770 \text{ mg kg}^{-1}$) kış mevsiminde; As konsantrasyonu ilkbahar ($0.45 \pm 0.187 \text{ mg kg}^{-1}$), yaz ($0.51 \pm 0.019 \text{ mg kg}^{-1}$) ve sonbahar ($0.44 \pm 0.351 \text{ mg kg}^{-1}$) mevsimlerinde; Pb konsantrasyonları ise ilkbahar ($0.24 \pm 0.088 \text{ mg kg}^{-1}$), yaz ($1.53 \pm 0.237 \text{ mg kg}^{-1}$) ve sonbahar ($0.53 \pm 0.486 \text{ mg kg}^{-1}$) mevsimlerinde limit değerlerin üzerindedir (Çizelge 2).

Su ortamının doğal dengesi bozulduğunda, içerisinde yaşayan canlıların yaşamsal faaliyetleri olumsuz yönde etkilenmektedir. Araştırma kapsamında incelenen bölgede metalloid ve ağır metal konsantrasyonu ağırlıklı olarak hem suda hem de balık dokusunda tespit edilmiştir. Ayrıca, *V. vimba* dokularında da tespit edilen element birikimlerinin oluşturmuş olabileceği genotoksik etkiler de ortaya konmuştur. Kıranyağmur bölgesi için kış, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde As suda belirtilen limitlerin üzerindedir (SKKY, 2004) (Çizelge 1). As miktarı sedimentte yüksek değildir ancak bazı mevsimlerde ırmak suyunda limit değerleri aşmıştır. Bu durum istasyonda anlık dalgalanmaların gerçekleşmiş olduğunu gösterebilir. Birçok sebeple nehir suyuna karışan As, özellikle bol yağış alan sonbahar, kış ve ilkbahar mevsimlerinde daha yüksek konsantrasyon göstermiştir. Bununla beraber, tüm mevsimlerde Fe suda belirtilen limit değerlerin üzerinde tespit edilmiştir. Esansiyel bir metal olan Fe konsantrasyonu yüksek miktarlara ulaştığında, organizmanın bünyesinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır (Scalon ve ark., 2010; Omar ve ark., 2012). *Carassius carassius* türünün karaciğer ve böbrek dokularında yüksek miktarda Fe konsantrasyonunun histomorfolojik değişikliklere sebep olduğu yapılan bir çalışmada belirtilmiştir (Şenol ve Tekin-Özan, 2016). Bu çalışmada, her mevsim yüksek konsantrasyonda tespit edilen Fe’in diğer metallerle beraber, *V. vimba* bireyleri üzerinde genotoksik etkiler oluşturmuş olabileceği görülmektedir. Bazı tatlı su türlerinde yapılan diğer çalışmalar da bu sonucu desteklemektedir (Scalon ve ark., 2010; Omar ve ark., 2012; Javed ve ark., 2016).

Çizelge 1. Suyun fiziko-kimyasal parametreleri, su ($\mu\text{g L}^{-1}$) ve sedimentte ($\mu\text{g g}^{-1}$) metalloid ve ağır metallerin mevsimsel konsantrasyonları (L.D.A.: Limit değerin altında; E.M.: Eser miktarda) (Ort. \pm S.H.)

Fiziko-kimyasal Parametreler	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	Yıllık
Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	10.6	23.6	12.8	9.7	14.18 \pm 3.21
pH	7.95	8.17	7.95	8.65	8.18 \pm 0.165
ÇO (mg L^{-1})	10.29	7.72	9.97	10.11	9.52 \pm 0.604
OD (%)	97.0	96.5	95.5	98.0	96.75 \pm 0.520
Tuzluluk (‰)	0.08	0.11	0.07	0.08	0.085 \pm 0.008
TDS (mg L^{-1})	81.5	114.7	75.6	81.1	88.2 \pm 8.93
İletkenlik ($\mu\text{s cm}^{-1}$)	172.0	227.0	151.4	172.2	180.6 \pm 16.2
Direnç ($\text{k}\Omega\text{.cm}$)	5.85	4.35	6.61	5.84	5.66 \pm 0.473
NO ₂ ⁻ N (mg L^{-1})	0.002	L.D.A	0.004	0.003	0.003 \pm 0.001
NO ₃ ⁻ N (mg L^{-1})	0.7	0.3	1.6	0.6	0.8 \pm 0.280
SO ₄ ²⁻ (mg L^{-1})	10	13	16	13	13.0 \pm 1.22
PO ₄ ³⁻ (mg L^{-1})	0.81	L.D.A	3.40	1.31	1.84 \pm 0.793
P ₂ O ₅ (mg L^{-1})	0.60	L.D.A	2.54	0.98	1.37 \pm 0.594
Metalloid ve Ağır metaller	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	Su
Al	7.334	30.185**	49.967**	240.322**	82.000 \pm 53.500**
As	20.945*	19.745	20.398*	20.035*	20.281 \pm 0.259*
Cr	1.014	1.925	1.274	0.941	1.289 \pm 0.224
Cd	L.D.A	L.D.A	L.D.A	L.D.A.	L.D.A
Pb	L.D.A	L.D.A	L.D.A	L.D.A.	L.D.A
Mn	17.486	1.191	3.038	25.192	11.730 \pm 5.780
Fe	135.870**	239.571**	240.647**	280.582**	224.200 \pm 30.900**
Co	L.D.A	L.D.A	L.D.A	L.D.A.	L.D.A
Cu	1.765	0.814	1.043	2.376	1.500 \pm 0.356
Zn	3.208	3.044	3.760	6.326	4.085 \pm 0.763
Ni	L.D.A	0.029	L.D.A	0.606	L.D.A
Metalloid ve Ağır metaller	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	Sediment
Al	4037.39	3575.90	3848.86	4359.77	3955.00 \pm 165
As	4.35	4.24	5.13	4.35	4.52 \pm 0.207
Cr	5.39	5.41	4.96	8.78	6.14 \pm 0.888
Cd	E.M.	E.M.	E.M.	E.M.	E.M.
Pb	6.46	6.53	6.44	7.01	6.61 \pm 0.135
Mn	290.68	299.98	310.01	375.57	319.10 \pm 19.2
Fe	15888.82	14360.87	15086.44	25301.72	17659.00 \pm 256
Co	5.26	4.57	4.71	6.91	5.37 \pm 0.537
Cu	12.68	9.84	10.61	10.55	10.92 \pm 0.612
Zn	29.91	27.51	27.82	41.70	31.74 \pm 3.36
Ni	2.90	3.42	3.83	4.31	3.61 \pm 0.299

Su değerleri için; *: SKKY (2004)'ne göre yüksek değerler; **: YSKY (2012)'ne göre yüksek değerler

V. vimba bireylerinin eritrositlerinde tespit edilen mikronükleus oluşumları, eritrosit hücrelerinde kromozomal bir hasarın olduğunu göstermektedir. *V. vimba* bireylerinin eritrosit hücrelerinde tespit edilen mikronükleus oluşumu Şekil 1'de ve ortalama mikronükleus frekansları Çizelge 3'te sunulmuştur. Yaz, kış, sonbahar ve ilkbahar aylarında *V. vimba* bireylerinin eritrosit hücrelerinde tespit edilen MN frekansları sırasıyla % 5.20, % 1.80, % 1.40 ve % 1.10 şeklindedir.

Çizelge 2. *V. vimba* bireylerinin dokularında mevsimsel olarak belirlenen ağır metal ve metalloid konsantrasyonları (mg kg⁻¹) (L.D.A: Limit değerin altında; E.M.: Eser miktarda)

Element	Mevsim	Kas (Ort.±S.H.)	Karaciğer (Ort.±S.H.)	Solungaç (Ort.±S.H.)
Al		1.38 ± 0.571	35.20 ± 13.300	0.49 ± 0.487
Cr		0.34 ± 0.268	4.54 ± 2.480	L.D.A.
As		0.45 ± 0.187*	8.22 ± 3.35	0.13 ± 0.047
Cd		0.01 ± 0.005	0.07 ± 0.0634	L.D.A.
Pb		0.24 ± 0.088**/**	10.11 ± 5.370	0.144 ± 0.119
Mn	İlkbahar	0.91 ± 0.312	5.23 ± 1.080	0.29 ± 0.180
Fe		36.80 ± 16.100	480 ± 167	1.15 ± 5.450
Co		L.D.A.	0.03 ± 0.011	L.D.A.
Cu		0.43 ± 0.188	12.98 ± 2.500	0.54 ± 0.521
Zn		21.90 ± 10.700	353 ± 112	0.51 ± 1.170
Ni		0.26 ± 0.141	2.73 ± 0.679	0.01 ± 0.023
Al		15.88 ± 9.690**	34.70 ± 11.200	7.07 ± 3.130
Cr		0.23 ± 0.02	1.34 ± 0.242	0.44 ± 0.079
As		0.51 ± 0.019*	5.85 ± 0.901	0.63 ± 0.106
Cd		E.M.	0.03 ± 0.017	E.M.
Pb		1.53 ± 0.237**/**	6.19 ± 1.700	1.66 ± 0.303
Mn	Yaz	8.77 ± 0.868**	12.76 ± 3.360	1.695 ± 0.543
Fe		186.00 ± 46.400**	455.00 ± 160	89.10 ± 20.500
Co		0.04 ± 0.016	0.02 ± 0.006	0.01 ± 0.004
Cu		1.24 ± 0.026	9.52 ± 2.310	5.45 ± 0.862
Zn		20.09 ± 5.250	268.70 ± 20.800	20.86 ± 5.050
Ni		0.35 ± 0.065	3.09 ± 0.419	0.29 ± 0.034
Al		11.20 ± 11.100	5.55 ± 9.360	12.01 ± 2.120
Cr		0.01 ± 0.161	L.D.A.	0.12 ± 0.063
As		0.44 ± 0.351*	1.87 ± 0.759	0.71 ± 0.231
Cd		L.D.A.	L.D.A.	L.D.A.
Pb		0.53 ± 0.486**/**	0.37 ± 0.339	0.65 ± 0.109
Mn	Sonbahar	4.62 ± 4.300**	3.71 ± 3.210	7.59 ± 0.556
Fe		54.00 ± 56.300	33.60 ± 78.300	96.90 ± 25.300
Co		0.01 ± 0.017	L.D.A.	E.M.
Cu		0.20 ± 0.183	0.33 ± 0.613	0.37 ± 0.030
Zn		5.44 ± 4.450	0.60 ± 12.400	21.40 ± 13.700
Ni		0.06 ± 0.069	0.06 ± 0.156	0.12 ± 0.049
Al		0.26 ± 0.491	80.80 ± 74.300	L.D.A.
Cr		7.71 ± 7.770**	3.79 ± 4.130	L.D.A.
As		0.07 ± 0.042	9.15 ± 8.540	0.04 ± 0.003
Cd		L.D.A.	0.28 ± 0.325	L.D.A.
Pb		0.02 ± 0.028	14.00 ± 13.600	E.M.
Mn	Kış	0.35 ± 0.379	16.70 ± 14.900	0.02 ± 0.037
Fe		131 ± 135	742.0 ± 746.0	L.D.A.
Co		0.02 ± 0.022	0.04 ± 0.064	L.D.A.
Cu		0.10 ± 0.126	14.60 ± 14.400	L.D.A.
Zn		0.96 ± 1.620	114.0 ± 116.0	L.D.A.
Ni		0.40 ± 0.409	1.71 ± 1.700	L.D.A.

* limit değerin üzerindedir (*FAO, 1983; **IAEA, 2003; *** WHO, 1989 / TGK, 2002 / EC, 2008).

Mikronükleus frekansı mevsimsel olarak karşılaştırıldığında, yaz mevsiminde mikronükleus frekansı diğer mevsimlere göre en yüksektir ($P < 0.05$) (Çizelge 3). Ağır metallerin balıklarda izlenen toksik profilleri organizmanın türüne ve yaşına göre değişiklik göstermektedir. Ayrıca, ağır metallerin alınma yollarına, balığın ağır metale maruz kalma süresine, canlı tarafından absorblanma miktarına ve metalin kimyasal özelliklerine göre değişim gösterebilmektedir (Bat ve ark., 1999). Organizmanın DNA'sında hasarlara yol açabilecek olan ağır metaller gibi ajanlar, DNA molekülünün fonksiyonu ve

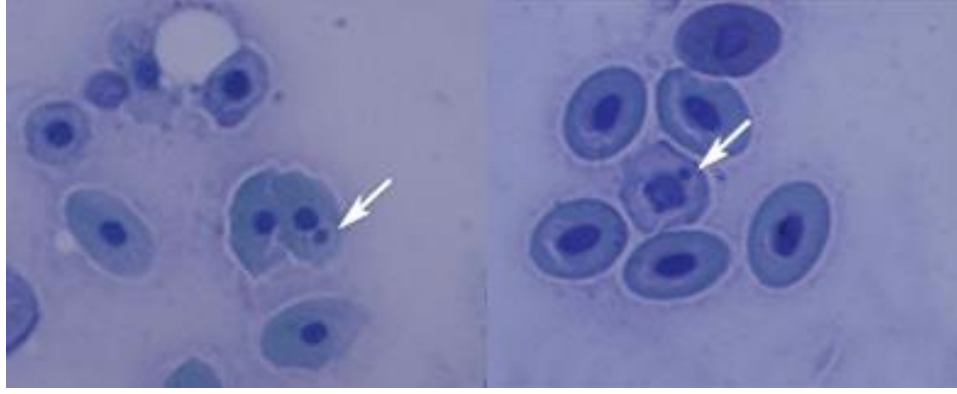
yapısında değişiklikler meydana getirirler (Al-Sabti, 1994; Llorente ve ark., 2002). Böylece, farklı seviyelerde etkiler oluşturarak sitogenetik değişikliklere yol açarlar (Çavaş ve ark., 2005). Yapılan bir çalışmada, Karasu Nehri'nde yaşayan *Barbus plebejus* türünde de metalloïd ve ağır metal (As, Al, Mn, Cd, Pb) kaynaklı su kirliliğine bağlı olarak genotoksik etkinin arttığı eritrosit hücrelerindeki MN frekanslarının artışıyla tespit edilmiştir (Yazıcı ve Şişman, 2015). Summak (2009) Al, Cd, Pb, Cr, Fe, Cu, Ni ve Zn kirliliği gözlemlenen Nilüfer Çayı (Bursa)'nın genotoksik etkilerini mikronükleus testi ile *Oreochromis niloticus* bireylerinde tespit etmişlerdir. Denizel ortamda yaşayan *Mugil cephalus* türüyle gerçekleştirilen bir çalışmada, endüstriyel atıkların etkilerini mevsimsel olarak araştırmış, kirlilikle beraber eritrositlerde hesaplanan mikronükleus (MN) frekanslarının en yüksek yaz mevsiminde ve en düşük kış mevsiminde rastlandığını bildirmiştir (Çavaş, 2004). *V. vimba* türünde de MN frekansına en yüksek yaz mevsiminde rastlanmıştır ($P<0.05$). MN frekanslarındaki yükselmeler, esas olarak metalloïd ve ağır metal seviyelerindeki artış ve azalışlarla aynı doğrultuda etkiler oluşturmaktadır. Bu durum yapılan önceki çalışmalarda da gösterilmiştir (Çavaş, 2004; Summak, 2009; Yazıcı ve Şişman, 2015).

Comet assay parametrelerinden yararlanılarak *V. vimba* bireylerinin eritrosit hücrelerinin çekirdeğindeki DNA hasarı da tespit edilmiştir (Şekil 2). Kuyruk boyu (μm) yaz, ilkbahar, sonbahar ve kışın sırasıyla 26.32 μm , 25.12 μm , 22.16 μm ve 17.78 μm olarak belirlenmiştir ($P<0.05$). Kuyruktaki % DNA değeri yaz, ilkbahar, sonbahar ve kış mevsimlerinde sırasıyla % 37.44, % 33.31, % 31.01 ve % 26.80 olarak hesaplanmıştır ($P<0.05$). Baştaki % DNA değeri ilkbaharda % 66.69, yaz mevsiminde % 62.56, sonbaharda % 68.99 ve kış mevsiminde % 73.20 şeklindedir ($P<0.05$) (Çizelge 3). Suda ve kas dokusunda yazın Al ve Fe, ilkbahar ve sonbaharda ise As yüksek konsantrasyonda tespit edilmiştir. As sucül organizmalar için toksik özelliğe sahip bir metalloïddir. Bununla beraber, Pb konsantrasyonu da kas dokusunda ilkbahar, yaz ve sonbaharda limit değerlerin üzerindedir. Mitkovska ve ark. (2017), kurşun (Pb)'un çeşitli konsantrasyonlarına maruz bırakılan *C. carpio* bireylerinde comet assay parametrelerinden olan kuyruktaki % DNA ve kuyruk momenti değerleriyle ortaya koydukları genotoksik hasarın varlığının istatistiksel manada anlamlı olduğunu bildirmişlerdir. Kuyruktaki DNA miktarı ve yoğunluğu, DNA hasarının büyüklüğüne bağlı olarak artış gösterir. Yapılan çalışmada bu durum, *V. vimba* bireyleri için de eritrosit hücrelerinde ölçülen kuyruk boyu, %DNA_T ve kuyruk momenti değerleriyle ortaya konulmuştur (Çizelge 3). Okuşluk (2008), *Cyprinus carpio* bireylerinde kuyruk boyu ve kuyruk momenti değerlerinin, ağır metal etkisi altındaki su sisteminde kontrol grubu bireylerine göre arttığını ve genotoksik hasarın meydana geldiğini belirtmiştir ($P<0.05$).

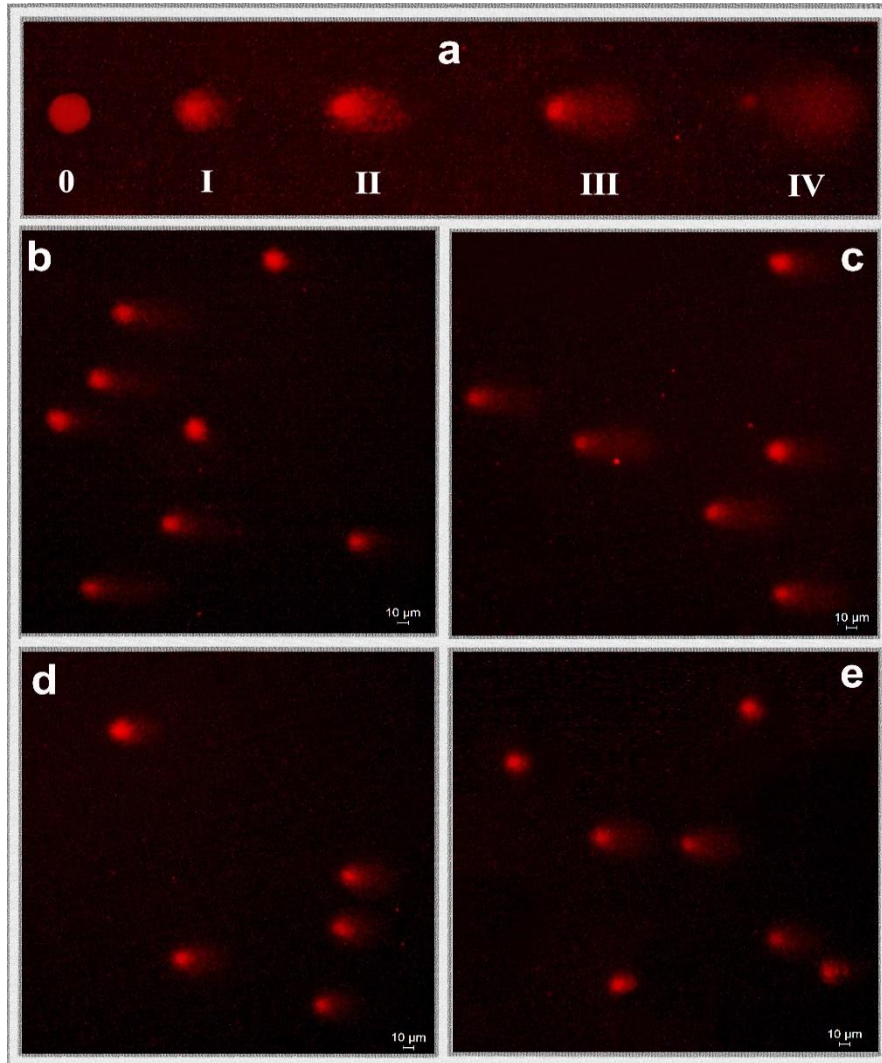
Çizelge 3. *V. vimba* bireylerinin eritrosit hücrelerinde MN frekansı ve comet assay ile elde edilen bazı parametrelerin değerleri

	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	
Mikronükleus Frekansı (%)	1.10 ± 0.332 ^b	5.20 ± 1.470^{a*}	1.40 ± 0.292 ^b	1.80 ± 0.515 ^b	P<0.05
Kuyruk Boyu (μm)	25.12 ± 1.25 ^a	26.32 ± 1.34 ^a	22.16 ± 1.13 ^a	17.78 ± 0.98^{b*}	P<0.05
Kuyruk Yoğunluğu (%)	28.78 ± 2.13 ^a	29.56 ± 2.06 ^a	27.89 ± 2.16 ^a	26.99 ± 2.02 ^a	P>0.05
Kuyruktaki % DNA	33.31 ± 2.15 ^{ab}	37.44 ± 2.22^{a*}	31.01 ± 1.82 ^{ab}	26.80 ± 2.22^{b*}	P<0.05
Kuyruk Momenti	0.412 ± 0.039 ^a	0.453 ± 0.042 ^a	0.308 ± 0.037 ^a	0.304 ± 0.068 ^a	P>0.05
Baştaki % DNA	66.69 ± 2.15 ^{ab}	62.56 ± 2.22^{b*}	68.99 ± 1.82 ^{ab}	73.20 ± 2.22^{a*}	P<0.05
Baş Yoğunluğu (%)	71.22 ± 2.13 ^a	70.44 ± 2.06 ^a	72.11 ± 2.16 ^a	73.01 ± 2.02 ^a	P>0.05

*; P<0.05



Şekil 1. Eritrosit hücrelerindeki mikronükleus oluşumu (Kontaş, 2018'den düzenlenmiştir)



Şekil 2. Balıkların eritrosit hücrelerindeki genetik hasara bağlı comet dereceleri (a) ve genel görüntüsü (b; ilkbahar, c; yaz, d; sonbahar, e; kış) (Kontaş, 2018'den düzenlenmiştir)

SONUÇ

Melet Irmağı Kıranyağmur bölgesinde yapılan bu çalışmada, MN testi ve comet assay parametrelerinin sonuçları metalloid ve ağır metallerin muhtemel toksik etkisini ortaya koymaktadır. Melet Irmağı hem doğal hem de antropojenik kaynaklı ağır metal kirliliği ile karşı karşıyadır. Gerçekleştirilen tarımsal faaliyetler hem ırmak suyunu hem de suda yaşayan balık türlerini olumsuz yönde etkilemektedir. Elde edilen bulgular, uygulanan comet assay ve mikronükleus testinin önem ve

değerini bir kez daha vurgulamaktadır. İçme ve kullanma suyu kaynağı olarak değerlendirilen Melet Irmağı'nın su kalitesinin korunması ve fındık tarımı ile diğer tarımsal faaliyetlerde kullanılan pestisitlerin, evsel atıkların ve diğer kirletici kaynaklarının ortama bilinçsizce bırakılmasıyla ilgili olarak halkın bilinçlendirilmesi gerekmektedir. Balıkların eritrositlerinde belirlenen genotoksik etkilerin varlığı düşünüldüğünde, yapılacak sonraki çalışmaların yöntemleri ve kapsamının geliştirilmesi ve uygulanması da önem arz etmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Seda KONTAŞ'ın Doktora tezinin bir bölümünü temel almaktadır. Sorumlu yazar, doktora bursiyeri olarak 2211-E Doğrudan Yurt İçi Doktora Burs Programı kapsamında kendisini destekleyen TÜBİTAK-BİDEB'e ve çalışmayı destekleyen Ordu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonuna (BAP; TF-1612) teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Al-Sabti K, 1994. Micronuclei induced by selenium, mercury, methylmercury and their mixtures in binucleated blocked fish erythrocyte cells. *Mutation Research*, 320 (1-2): 157-163.
- Anonim, 2011. Ordu çevre durum raporu. T. C. Ordu Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Ordu, 209s.
- Barlow S, Renwick AG, Kleiner J, Bridges JW, Busk L, Dybing E, Edler L, Eisenbrand G, Fink-Gremmels J, Knaap A, Kroes R, Liem D, Müller DJ, Page S, Rolland V, Schlatter J, Tritscher A, Tueting W, Würtzen G, 2006. Risk assessment of substances that are both genotoxic and carcinogenic report of an international conference organized by EFSA and WHO with support of ILSI Europe. *Food and Chemical Toxicology*, 44 (10): 1636-1650.
- Bat L, Gündoğdu A, Öztürk M, 1999. Ağır metaller. Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi, 6: 166-175.
- Boettcher M, Grunda S, Keiter S, Kosmehl T, Reifferscheidb G, Seitz N, Rochaa PS, Hollert H, Braunbeck T, 2010. Comparison of *in vitro* and *in situ* genotoxicity in the Danube River by means of the comet assay and the micronucleus test. *Mutation Research / Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 700 (1-2): 11-17.
- Cicik B, 2003. Bakır-çinko etkileşiminin sazan (*Cyprinus carpio* L.)'nın karaciğer, solungaç ve kas dokularındaki metal birikimi üzerine etkileri. *Ekoloji Çevre Dergisi*, 12 (48): 32-36.
- Ciftci H, Dayangac A, Ozkaya A, Cevrimli BS, Erdag R, Olcucu A, Ates S, 2011. Multi-Element Determination of Macro and Trace Elements in Kidney of DMBA and Linalool Applied Guinea Pigs by Inductively-Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES). *Fresenius Environmental Bulletin*, 20 (3A): 818-822.
- Cornetta T, Padua L, Testa A, Levoli E, Festa F, Tranfo G, Baccelliere L, Cozzi R, 2008. Molecular biomonitoring of a population of nurses handling antineoplastic drugs. *Mutation Research*, 638 (1-2): 75-82.
- Çavaş T, 2004. Endüstriyel atıkların genotoksik etkilerinin mikronükleus testi ve AgNOR analiz teknikleri kullanılarak *in-situ* ve laboratuvar koşulları altında araştırılması, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmış).
- Çavaş T, Garanko NN, Arkhipchuk VV 2005. Induction of micronuclei and binuclei in blood, gill and liver cells of fishes subchronically exposed to cadmium chloride and copper sulphate. *Food and Chemical Toxicology*, 43 (4): 569-574.
- de Andrade VM, de Freitas TR, da Silva J, 2004. Comet assay using mullet (*Mugil* sp.) and sea catfish (*Netuma* sp.) erythrocytes for the detection of genotoxic pollutants in aquatic environment. *Mutation Research*, 560 (1): 57-67.
- Dural M, Göksu MZL, 2006. Çamlık lagünü (Karataş, Adana), seston, bentoz ve sedimentinde mevsimsel ağır metal değişimi. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 23 (1): 65-69.

- EC, 2008. Commission Regulation (EC) No 629/2008 of 2 July 2008 amending regulation (EC) No 1881/2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Official Journal of the European Union. L173, 0006–0009.
- Factori R, Leles SM, Novakowski GC, Rocha CLSC, Thomaz SM, 2014. Toxicity and genotoxicity of water and sediment from streams on dotted duckweed (*Landoltia punctata*). Brazilian Journal of Biology, 74 (4): 769-778.
- FAO (Food and Agriculture Organization), 1983. Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products. FAO Fishery Circulars No:764, Fish and Agriculture Organization, Roma, Italy.
- Güner U, Gökalp Muranlı FD, 2013. Balıklarda tek hücre jel elektroforezi (comet assay). Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 3 (9): 103-114.
- IAEA (International Atomic Energy Agency), 2003. World-wide intercomparison exercise for the determination of trace elements and methylmercury in fish homogenate international atomic energy agency - 407 Report No: IAEA/AL/144 IAEA/MEL/72.
- Javed M, Ahmad I, Usmani N, Ahmad M, 2016. Bioaccumulation, oxidative stress and genotoxicity in fish (*Channa punctatus*) exposed to a thermal power plant effluent. Ecotoxicology and Environmental Safety, 127: 163-169.
- Kammann U, Biselli S, Hühnerfuss H, Reineke N, Theobald N, Vobach M, Wosniok W, 2004. Genotoxic and teratogenic potential of marine sediment extracts investigated with comet assay and zebrafish test. Environmental Pollution, 132 (2): 279-287.
- Kontaş S, 2018. Melet Irmağı Su, Sediment ve Bazı Balık Türlerinde Ağır Metal Birikimi ve Genotoksik Etkilerinin Araştırılması, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmış).
- Llorente MT, Martos A, Castaño A, 2002. Detection of cytogenetic alterations and blood cell changes in natural populations of carp. Ecotoxicology, 11 (1): 27-34.
- Marple T, Li H, Hasty P, 2004. A genotoxic screen: rapid analysis of cellular dose-response to a wide range of agents that either damage DNA or alter genome maintenance pathways. Mutation Research, 554 (1-2): 253-266.
- Mitchelmore CL, Chipman JK, 1998. Detection of DNA strand breaks in brown trout (*Salmo trutta*) hepatocytes and blood cells using the single cell gel electrophoresis (comet) assay. Aquatic Toxicology, 41 (1-2): 161-182.
- Mitkovska VI, Dimitrov HA, Chassovnikarova TG, 2017. *In vitro* genotoxicity and cytotoxicity assessment of allowable concentrations of nickel and lead: comet assay and nuclear abnormalities in acridine orange stained erythrocytes of common carp (*Cyprinus carpio* L.). Acta Zoologica Bulgarica, 8: 47-56.
- Okuşluk Ö, 2008. Mogan Gölü'ndeki olası kirlenmenin sazan balıklarında (*Cyprinus carpio* L.) comet testi kullanılarak araştırılması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Omar WA, Zaghloul KH, Abdel-Khalek AA, Abo-Hegab S, 2012. Genotoxic effects of metal pollution in two fish species, *Oreochromis niloticus* and *Mugil cephalus*, from highly degraded aquatic habitats. Mutation Research, 746 (1): 7-14
- Scalon MCS, Rechenmacher C, Siebel AM, Kayser ML, Rodrigues MT, Maluf SW, Rodrigues MAS, Silva LB, 2010. Evaluation of Sinos River water genotoxicity using the comet assay in fish. Brazilian Journal of Biology, 70 (4): 1217-1222.
- Singh NP, McCoy MT, Tice RR, Schneider EL, 1988. A simple technique for quantitation of low levels of DNA damage in individual cells. Experimental Cell Research, 175: 184–191.
- SKKY, 2004. Su kirliliği kontrolü yönetmeliği. Çevre ve Orman Bakanlığı, Resmi Gazete Tarihi: 31.12.2004, Resmi Gazete Sayısı: 25687, Ankara.
- Summak Ş, 2009. Bursa Nilüfer Çayı suyunun genotoksik etkilerinin balık mikronukleus testi ile değerlendirilmesi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Şenol N, Tekin Özan S, 2016. The histomorphological changes in *Carassius carassius* (Linnaeus, 1758), liver and kidney tissues of some heavy metals. Indian Journal of Geo-Marine Sciences, 45 (9): 1123-1127.

- Tice RR, Agurell E, Anderson D, 2000. Single cell gel/comet assay: guidelines for *in vitro* and *in vivo* genetic toxicology testing. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 35 (3): 206-221.
- Turekian KK, Wedepohl KH, 1961. Distribution of the elements in some major units of the Earth's Crust. *Geological Society of America Bulletin*, 72 (2): 175-191.
- TGK (Türk Gıda Kodeksi), 2002. Gıda maddelerinde belirli bulaşanların maksimum seviyelerinin belirlenmesi hakkında tebliğ, türk gıda kodeksi yönetmeliği. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Resmi Gazete (23 Eylül 2002), Sayı: 24885.
- Udroiu I, 2006. The micronucleus test in piscine erythrocytes. *Aquatic Toxicology*, 79 (2): 201-204.
- WHO (World Health Organization), 1989. National research council recommended dietary 626 Allowances 10th ed. National Academy Press., Washington, DC. USA.
- Yazıcı Z, Şişman T, 2015. Karasu Nehri'ndeki su kirliliğinin *Barbus plebejus*'daki genotoksik etkileri. *Yunus Araştırma Bülteni*, 2: 9-16.
- Yılmaz M, Teber Ç, Akkan T, Er Ç, Kariptas E, Çiftci H, 2016. Determination of heavy metal levels in different tissues of tench (*Tinca tinca* L., 1758) from Sıddıklı Küçükboğaz Dam Lake (Kırşehir), Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25 (6): 1972-1977.
- YSKY, 2012. Yerüstü su kalitesi yönetmeliği. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Resmi Gazete Tarihi: 10.08.2016, Resmi Gazete Sayısı: 29797, Ankara.
- Zhuang P, Li ZA, Wang G, Zou B, 2013. Concentration of heavy metals in fish from a mine-affected area and potential health risk. *Fresenius Environmental Bulletin*, 22 (8): 2402-2408.

Erzurum İlinde Eğitim Durumlarının ve Gelir Düzeylerinin Su Ürünleri Tüketimine EtkisiGökhan ARSLAN^{1*}, Ümit AVCIOĞLU²

ÖZET: Bu çalışma Erzurum ilinde yaşayan bireylerin gelir ve eğitim durumları dikkate alınarak su ürünleri tüketim alışkanlıklarının araştırılması amacıyla yapılmıştır. Çalışma, 2019 yılı Kasım-Aralık aylarında Erzurum'da ikamet eden bireylere; gelir ve eğitim durumlarına göre tesadüfi olarak seçilen 102'si bayan, 78'i bay olmak üzere 180 katılımcı ile yüz yüze görüşülerek 15 sorudan oluşan anket yoluyla gerçekleştirilmiştir. Gelir düzeyleri 0-1000 TL olan katılımcıların %91.4' ü aylık 500 TL' lik et tükettiklerini beyan ederken bunların %70.7' si bu miktarın tamamını kırmızı ete harcamaktadır. Bu durum et tüketiminin beslenmedeki yerini anlamamız noktasında önemli bir veridir. Eğitim durumları ortaöğretim olan katılımcıların %7.1'lik kısmının aylık beslenme gideri 1501-2000 TL arasındayken. eğitim durumları lisansüstü olan katılımcılarda bu oran %57.1'dir. Balık fiyatları yarı oranda inse daha fazla balık tüketir misiniz? sorusuna katılımcıların %81.7'si evet cevabını vermiştir. Su ürünleri sektörü açısından önemli bir veri kaynağıdır. Gelir düzeyleri 8000 TL ve üzeri olan katılımcıların %28.6'sı haftada bir balık tüketirken, gelir düzeyleri 0-1000 TL olan katılımcılarda bu oran %3.4 olarak tespit edilmiştir. Gelir düzeyi arttıkça balık tüketim sıklığının arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Balık tüketimi, Gelir durumu, Eğitim seviyesi

The Effect of Educational Status and Income Levels on Seafood Consumption in Erzurum

ABSTRACT: This study was aimed to investigate the consumption habits of fishery products by considering the income and education status of persons living in Erzurum. The study was conducted through questionnaires with randomly selected 180 persons, (102 women - 78 men) according to their income and education status in the dates of November-December 2019. It was determined that the monthly meat consumption of the participants (91.4%) whose income levels 0-1000 TL consume 500 TL for meat and 70.7% spent the total amount of 500 TL for red meat. This is an important data to understand the place of meat consumption in nutrition. While the monthly nutritional expenses of 7.1% of the participants whose education level is secondary education are between 1501-2000 TL. This ratio is 57.1% for the participants with educational status. The questionnaires were answered "yes" to the question "Would you consume more fish if fish prices are reduced by half?" as 81.7%. It is an important data source for the fisheries sector. While 28.6% of the participants whose income level is 8000 TL or more consume fish once a week. This rate is determined as 3.4% for the participants, whose income level is 0-1000 TL. It was observed that fish consumption frequency increased with raising income level.

Keywords: Fish consumption, Income status, Education level

¹Gökhan ARSLAN (Orcid ID:0000-0002-8634-8598), Atatürk Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü, Erzurum, Türkiye

²Ümit AVCIOĞLU (Orcid ID: 0000-0002-9823-3173), Atatürk Üniversitesi, Narman Meslek Yüksekokulu, Erzurum, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Gökhan ARSLAN, e-mail: gokhan.arслан@atauni.edu.tr

GİRİŞ

Son yıllarda artan dünya nüfusu ve azalan besin kaynaklarından dolayı bireylerin sağlıklı ve dengeli bir şekilde beslenmeleri önemli bir sorun olmuştur. Uzmanlar yakın bir gelecekte dünya nüfusundaki artışa paralel olarak mevcut gıda üretiminin iki katına çıkacağını vurgulamaktadır. Bu anlamda su ürünleri yetiştiriciliği bu ihtiyacın karşılanması noktasında önemli bir potansiyele sahiptir (Arslan, 2019). 1961 yılından bugüne kadar dünya su ürünleri tüketimindeki ortalama yıllık artış oranı (%3.2) ile dünya nüfus artış oranını geride bırakmıştır. Kişi başına su ürünleri tüketimi 1961 yılında 9.0kg seviyesinden yıllık ortalama yaklaşık %1.5'lük bir artış göstererek 2015 itibarıyla 20.2 kg seviyesine ulaşmıştır (FAO, 2018). TÜİK (2018) verilerine göre ülkemiz balık tüketimi 2018 yılında %11.8 artarak 6.14 kg olarak gerçekleşmiştir. Sağlık açısından önemli bir besin maddesi olan balığın ülkemizde tüketimi dünya ortalamasının altındadır. Genel anlamda toplumların eğitim seviyeleri ile bilinçli gıda tüketimleri arasında doğru bir orantının olduğu bilinmektedir (Karabulut ve Yandı, 2006). Yine son yıllarda sıklıkla görülen kalp rahatsızlarının, balık tüketimiyle azaldığına yönelik çalışmalar mevcuttur (Iacono ve Dougherty, 1993; Turan ve ark., 2006). Ayrıca balık tüketimini etkileyen birçok parametre yapılan çalışmalarla ortaya çıkarılmıştır (Şenol ve Saygı, 2001; Çolakoğlu ve ark., 2006; Saygı ve ark., 2006; Cevger ve ark., 2008; Adıgüzel ve ark., 2009). Denize kıyısı olan yerleşim bölgelerinde yapılan araştırmalarda balık tüketim değerlerinin denize kıyısı olmayan bölgelere oranla daha yüksek çıkmasının nedenleri arasında tazelik, bulunabilirlik ve fiyat belirleyici etkenler arasındadır (Elbek ve ark., 1997; Yüksel ve ark., 2011). Aydın ve Karadurmuş (2013) aylık gelirleri Türkiye standartlarına göre orta seviyede olan bireylerin Türkiye ortalamasının çok üzerinde balık tüketme nedenini, su ürünlerinin bol ve ucuz olmasından kaynaklandığını bildirmişlerdir. Yine su ürünlerinin bol ve ucuz olmasının balık tüketimi ile doğrudan ilişkisi olduğuna dair çalışmalar yapılmıştır (Aydın ve Karadurmuş, 2012). Girard ve ark., (1998) su ürünleri tüketimine ekonominin, ürünün sunulma şeklinin ve yemek kültürünün etkili olduğunu bildirmiştir. Türkiye'de balık tüketim alışkanlıkları ve sebepleri üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır (Arslan, 2019; Atay ve ark., 2002; Aydın ve Karadurmuş, 2013; Beyazbayrak, 2014; Abdikoğlu ve ark., 2015; Çiçek ve ark., 2014; Ercan ve Şahin, 2016; Gürel ve ark., 2017; Şen ve Şahin, 2017).

Bu çalışmamızda Erzurum ilinde yaşayan bireylerin gelir durumlarına göre su ürünleri tüketim alışkanlıkları incelenmiştir. Özellikle denize kıyısı olmayan bölgelerin su ürünleri tüketiminin, denize kıyısı olan bölgelere göre daha düşük olmasının ekonomik nedenleri irdelenerek farklı gelirlere sahip bireylere su ürünleri tüketim tercihlerine ve nedenlerine yönelik sorular yöneltilmiş, alınan cevaplar istatistiki olarak değerlendirilerek, bölgede yaşayan bireylerin gelir durumlarının su ürünleri tüketimine etkileri araştırılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmamız 2019 yılı Kasım-Aralık aylarında Erzurum'da ikamet eden bireylerin gelir durumlarına göre tesadüfi olarak seçilen 180 katılımcı ile yüz yüze görüşülerek 15 sorudan oluşan anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Ankete katılan bireylerin Erzurum'da ikamet etmesine, değişik meslek guruplarında çalışmasına ve farklı gelirlere sahip olmasına özen gösterilmiştir. Katılımcıların aylık gelirleri, öğrenim durumları, aylık beslenme giderleri, su ürünleri tüketim değerleri konularında sorular sorulmuştur. Analizler MS-Excel ve SPSS paket programlarında değerlendirilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Katılımcıların sosyo-demografik özelliklerine ilişkin bulgular

Çalışmamızın sosyo-ekonomik özelliklerini genel olarak incelediğimizde %56.7'si bayan, %43.3'ü bay ve yaşları itibariyle özellikle 19-25 yaş aralığındaki bireylerin daha fazla olduğu görülmüştür. Eğitim durumları incelendiğinde üniversite eğitiminin yüksek oranda olduğu, gelir düzeyleri bakımından ise katılımcıların büyük bir bölümünün düşük gelire sahip oldukları anlaşılmaktadır. Hanede yaşayan kişi sayısı 3-5 kişi olanların diğerlerine oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Katılımcıların cinsiyet, eğitim durumu, gelir düzeyleri ve hanede yaşayan kişi sayıları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Cinsiyet, yaş, eğitim durumu, gelir düzeyi ve hanede yaşayan kişi sayısı dağılımları.

Cinsiyet	N	%
Bayan	102	56.7
Bay	78	43.3
Yaş	N	%
<18	18	10
19-25	130	72.2
26-40	20	11.1
41-50	12	6.7
Eğitim Durumu	N	%
Ortaöğretim	14	7.8
Üniversite	152	84.4
Lisansüstü	14	7.8
Gelir Düzeyi	N	%
0-1000Tl	58	32.2
1001-3000Tl	67	37.2
3001-5000Tl	38	21.1
5001-8000Tl	10	5.6
8000+Tl	7	3.9
Hanede yaşayan kişi sayısı?	N	%
0-2	9	5
3-5	92	51.1
6-8	54	30
9-11	20	11.1
12+	5	2.8

Katılımcıların su ürünleri tüketim tercihlerine ilişkin bulgular

Çalışmamızda katılımcılara cinsiyetleri, yaşları, gelir düzeyleri, eğitim durumları ve hanede yaşayan kişi sayıları dikkate alınarak su ürünleri tüketimleriyle alakalı sorular yöneltilmiş verilen cevaplar Ki-Kare bağımsızlık testi ile değerlendirilerek istatistiki açıdan önemli olanlar Çizelge şeklinde verilerek açıklaması yapılmıştır.

Yaşa bağlı “Aylık beslenme giderleriniz” sorusuna katılımcıların vermiş oldukları cevapların Ki-Kare testi ile analizi Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2’de verilen bilgiler doğrultusunda “Aylık beslenme giderleriniz” sorusuna verilen cevaplar bakımından yaşa bağlı bir farklılığın olup olmadığını tespit etmek amacıyla yapılan Ki-Kare bağımsızlık testi sonucunda önemli bir farklılığın olduğu ortaya çıkmıştır ($p < 0.05$). Yaşları 19-25 arasında değişim gösteren katılımcıların %41.5’i aylık 0-500 TL arasında beslenme harcaması yaparken. 41-50 yaş aralığındaki katılımcıların % 7.7’si 0-500 TL beslenme harcaması yapmaktadır.

Çizelge 2. Yaşa bağlı, aylık beslenme giderleri

Kaç Yaşındasınız	Aylık beslenme giderleriniz					Toplam	
	0-500TL	501-1000TL	1001-1500TL	1501-2000TL	2001+TL		
<18	Kişi	5	10	2	1	0	18
	%	27.8	55.6	11.1	5.6	0.0	100
19-25	Kişi	54	49	24	2	1	130
	%	41.5	37.7	18.5	1.5	0.8	100
26-40	Kişi	4	6	5	4	0	19
	%	21.1	31.6%	26.3	21.1	0	100
41-50	Kişi	1	2	4	6	0	13
	%	7.7	15.4	30.8	46.2	0	100
Toplam	Kişi	64	67	35	13	1	180
	%	35.6	37.2	19.4	7.2	0.6	100.0

Pearson Chi-Square: 54.611 p<0.05

Yaş aralığına bağlı olarak “Aylık et tüketim (Kırmızı et, Balık eti, Tavuk eti vd.) giderleriniz ” sorusuna katılımcıların vermiş oldukları cevapların Ki-Kare testi ile analizi Çizelge 3’te verilmiştir.

Çizelge 3. Yaşa bağlı, aylık et tüketim (Kırmızı et, Balık eti, Tavuk eti vd.) giderleri.

Kaç Yaşındasınız	Aylık et tüketim (Kırmızı et, Balık eti, Tavuk eti vd.) giderleriniz					Toplam	
	0-500TL	501-1000TL	1001-1500TL	1501-2000TL	2001+TL		
<18	Kişi	12	2	4	0	0	18
	%	66.7	11.1	22.2	0.0	0	100
19-25	Kişi	95	26	4	4	1	130
	%	73.1	20	3.1	3.1	0.8	100
26-40	Kişi	11	6	2	0	0	19
	%	57.9	31.6	10.5	0	0	100
41-50	Kişi	7	5	0	0	1	13
	%	53.8	38.5	0	0	7.7	100
Toplam	Kişi	125	39	10	4	2	180
	%	69.4	21.7	5.6	2.2	1.1	100

Pearson Chi-Square: 26.815 p<0.05

Çizelge 3’te verilen bilgiler doğrultusunda “Aylık et tüketim (Kırmızı et, Balık eti, Tavuk eti vd.) giderleriniz” sorusuna verilen cevaplar bakımından yaşa bağlı bir farklılığın olup olmadığını tespit etmek amacıyla yapılan Ki-Kare bağımsızlık testi sonucunda önemli bir farklılığın olduğu ortaya çıkmıştır (p<0.05). Yaşları 18’den küçük olan katılımcıların % 11.1’nin aylık et tüketim gideri 501-1000 TL arasındayken, yaş aralığı 41-50 olan katılımcılarda aynı oran % 38.5 tir.

Eğitim durumuna bağlı olarak “Aylık beslenme giderleriniz” sorusuna katılımcıların vermiş oldukları cevapların Ki-Kare testi ile analizi Çizelge 4’te verilmiştir.

Çizelge 4. Eğitim durumuna bağlı, aylık beslenme giderleri.

Eğitim durumunuz	Aylık beslenme giderleriniz					Toplam	
	0-500TL	501-1000TL	1001-1500TL	1501-2000TL	2001+TL		
Ortaöğretim	Kişi	4	5	3	1	1	14
	%	28.6	35.7	21.4	7.1	7.1	100
Üniversite	Kişi	60	61	27	4	0	152
	%	39.5	40.1	17.8	2.6	0	100
Lisansüstü	Kişi	0	1	5	8	0	14
	%	0.0	7.1%	35.7%	57.1	0	100
Toplam	Kişi	64	67	35	13	1	180
	%	35.6	37.2	19.4	7.2	0.6	100

Pearson Chi-Square: 76.339 p<0.05

Çizelge 4’te verilen bilgiler doğrultusunda “Aylık beslenme giderleriniz” sorusuna verilen cevaplar bakımından Eğitim durumları arasında bir farklılığın olup olmadığını tespit etmek amacıyla yapılan Ki-Kare bağımsızlık testi sonucunda önemli bir farklılığın olduğu ortaya çıkmıştır ($p<0.05$). Eğitim durumları ortaöğretim olan katılımcıların %7.1’lik kısmının aylık beslenme gideri 1501-2000 TL arasındayken, eğitim durumları lisansüstü olan katılımcılarda bu oran %57.1’dir.

Eğitim durumuna bağlı olarak “Aylık et tüketim (Kırmızı et, Balık eti, Tavuk eti vd.) giderleriniz” sorusuna katılımcıların vermiş oldukları cevapların Ki-Kare testi ile analizi Çizelge 5’te verilmiştir.

Çizelge 5. Eğitim durumuna bağlı, aylık et (Kırmızı et, Balık eti, Tavuk eti vd.) giderleri.

Eğitim durumunuz		Aylık et tüketim (Kırmızı et, Balık eti, Tavuk eti vd.) giderleriniz					Toplam
		0-500TL	501-1000TL	1001-1500TL	1501-2000TL	2001+TL	
Ortaöğretim	Kişi	9	3	1	0	1	14
	%	64.3	21.4	7.1	0.0	7.1	100
Üniversite	Kişi	113	27	7	4	1	152
	%	74.3	17.8	4.6	2.6	0.7	100
Lisansüstü	Kişi	3	9	2	0	0	14
	%	21.4	64.3	14.3	0	0	100
Toplam	Kişi	125	39	10	4	2	180
	%	69.4	21.7	5.6	2.2	1.1	100

Pearson Chi-Square: 26.021 $p<0.05$

Çizelge 5’te verilen bilgiler doğrultusunda “Aylık et tüketim (Kırmızı et, Balık eti, Tavuk eti vd.) giderleriniz” sorusuna verilen cevaplar bakımından Eğitim durumları arasında bir farklılığın olup olmadığını tespit etmek amacıyla yapılan Ki-Kare bağımsızlık testi sonucunda önemli bir farklılığın olduğu ortaya çıkmıştır ($p<0.05$). Eğitim durumları üniversite olan katılımcıların %74.3’lük kısmının aylık et gideri 0-500 TL arasındayken, eğitim durumları lisansüstü olan katılımcılarda bu oran %21.4’tür.

Eğitim durumuna bağlı olarak “Balık tüketim nedenleriniz” sorusuna katılımcıların vermiş oldukları cevapların Ki-Kare testi ile analizi Çizelge 6’da verilmiştir.

Çizelge 6. Eğitim durumuna bağlı, Balık tüketim nedenleri.

Eğitim durumunuz		Balık tüketim nedenleriniz					Toplam
		Sağlık	Lezzet	Fiyat	Alışkanlık	Hepsi	
Ortaöğretim	Kişi	6	2	4	0	2	14
	%	42.9	14.3	28.6	0.0	14.3	100
Üniversite	Kişi	42	68	5	7	30	152
	%	27.6	44.7	3.3	4.6	19.7	100
Lisansüstü	Kişi	9	3	0	1	1	14
	%	64.3	21.4	0	7.1	7.1	100
Toplam	Kişi	57	73	9	8	33	180
	%	31.7	40.6	5.0	4.4	18.3	100

Pearson Chi-Square: 29.591 $p<0.05$

Çizelge 6’da verilen bilgiler doğrultusunda “Balık tüketim nedenleriniz” sorusuna verilen cevaplar bakımından Eğitim durumları arasında bir farklılığın olup olmadığını tespit etmek amacıyla yapılan Ki-Kare bağımsızlık testi sonucunda önemli bir farklılığın olduğu ortaya çıkmıştır ($p<0.05$). Eğitim durumları lisansüstü olan katılımcıların %64.3’lük kısmının balık tüketim nedeni sağlık olurken, eğitim durumları ortaöğretim olanlarda bu oran %42.9, Üniversite olanlarda ise %27.6’dır.

Eğitim durumuna bağlı olarak “Daha fazla Balık tüketmemenizin nedenleri” sorusuna katılımcıların vermiş oldukları cevapların Ki-Kare testi ile analizi Çizelge 7’de verilmiştir.

Çizelge 7. Eğitim durumuna bağlı, daha fazla balık tüketmeme nedenleri.

Eğitim durumunuz		Daha fazla Balık tüketmemenin nedenleri					Toplam
		Tazelik	Fiyat	Koku	Lezzet	Hepsi	
Ortaöğretim	Kişi	1	6	3	1	3	14
	%	7.1	42.9	21.4	7.1	21.4	100
Üniversite	Kişi	12	58	57	7	18	152
	%	7.9	38.2	37.5	4.6	11.8	100
Lisansüstü	Kişi	6	4	2	0	2	14
	%	42.9	28.6	14.3	0	14.3	100
Toplam	Kişi	19	68	62	8	23	180
	%	10.6	37.8	34.4	4.4	12.8	100

Pearson Chi-Square: 19.990 $p < 0.05$

Çizelge 7’de verilen bilgiler doğrultusunda “Daha fazla Balık tüketmemenin nedenleri” sorusuna verilen cevaplar bakımından Eğitim durumları arasında bir farklılığın olup olmadığını tespit etmek amacıyla yapılan Ki-Kare bağımsızlık testi sonucunda önemli bir farklılığın olduğu ortaya çıkmıştır ($p < 0.05$). Eğitim durumları ortaöğretim olan katılımcıların %7.1’lik kısmı daha fazla balık tüketmeme nedeninin tazelik olduğunu belirtmiştir. Aynı durum Lisansüstü katılımcılarda %42.9 olarak tespit edilmiştir.

Eğitim durumuna bağlı olarak “Aylık kırmızı et tüketim miktarınız” sorusuna katılımcıların vermiş oldukları cevapların Ki-Kare testi ile analizi Çizelge 8’de verilmiştir.

Çizelge 8. Eğitim durumuna bağlı, aylık kırmızı et tüketim miktarları.

Eğitim durumunuz		Aylık kırmızı et tüketim miktarınız					Toplam
		0-500TL	501-1000TL	1001-1500TL	1501-2000TL	2001+TL	
Ortaöğretim	Kişi	9	1	4	0	0	14
	%	64.3	7.1	28.6	0	0	100
Üniversite	Kişi	99	43	6	3	1	152
	%	65.1	28.3	3.9	2	0.7	100
Lisansüstü	Kişi	3	8	3	0	0	14
	%	21.4	57.1	21.4	0	0	100
Toplam	Kişi	111	52	13	3	1	180
	%	61.7	28.9	7.2	1.7	0.6	100

Pearson Chi-Square: 25.908 $p < 0.05$

Çizelge 8’de verilen bilgiler doğrultusunda “Aylık kırmızı et tüketim miktarınız” sorusuna verilen cevaplar bakımından Eğitim durumları arasında bir farklılığın olup olmadığını tespit etmek amacıyla yapılan Ki-Kare bağımsızlık testi sonucunda önemli bir farklılığın olduğu ortaya çıkmıştır ($p < 0.05$). Eğitim durumları ortaöğretim olan katılımcıların %7.1’lik kısmının aylık kırmızı et gideri 501-1000 TL arasındayken, aynı durum Eğitim durumları lisansüstü olan katılımcılarda %57.1’dir.

Gelir düzeylerine bağlı olarak “Ne sıklıkta balık tüketiyorsunuz” sorusuna katılımcıların vermiş oldukları cevapların Ki-Kare testi ile analizi Çizelge 9’da verilmiştir.

Çizelge 9’da verilen bilgiler doğrultusunda “Ne sıklıkta balık tüketiyorsunuz” sorusuna verilen cevaplar bakımından Gelir düzeyleri arasında bir farklılığın olup olmadığını tespit etmek amacıyla yapılan Ki-Kare bağımsızlık testi sonucunda önemli bir farklılığın olduğu ortaya çıkmıştır ($p < 0.05$). Gelir düzeyleri 8000 TL ve üzeri olan katılımcıların %28.6’sı haftada bir balık tüketirken, gelir düzeyleri 0-1000 TL olan katılımcılarda bu oran %3.4’tür.

Çizelge 9. Gelir düzeylerine bağlı, balık tüketim sıklıkları.

Gelir düzeyiniz nedir	Ne sıklıkta balık tüketiyorsunuz					Toplam	
	Haftada bir	15 Günde bir	Ayda bir	Yılda bir	Hiçbiri		
0-1000TL	Kişi	2	4	16	18	18	58
	%	3.4	6.9	27.6	31.0	31.0	100
1001-3000TL	Kişi	3	10	29	17	8	67
	%	4.5	14.9	43.3	25.4	11.9	100
3001-5000TL	Kişi	2	7	17	8	4	38
	%	5.3	18.4	44.7	21.1	10.5	100
5001-8000TL	Kişi	2	2	4	1	1	10
	%	20	20	40	10	10	100
8000+TL	Kişi	2	2	3	0	0	7
	%	28.6	28.6	42.9	0	0	100
Toplam	Kişi	11	25	69	44	31	180
	%	6.1	13.9	38.3	24.4	17.2	100

Pearson Chi-Square: 30.389 p<0.05

Gelir düzeylerine bağlı olarak “Aylık beslenme giderleriniz” sorusuna katılımcıların vermiş oldukları cevapların Ki-Kare testi ile analizi Çizelge 10’de verilmiştir.

Çizelge 10. Gelir düzeylerine bağlı, aylık beslenme giderleri.

Gelir düzeyiniz nedir	Aylık beslenme giderleriniz					Toplam	
	500TL	501-1000TL	1001-1500TL	1501-2000TL	2001+TL		
0-1000TL	Kişi	42	15	1	0	0	58
	%	72.4	25.9	1.7	0	0	100
1001-3000TL	Kişi	17	34	13	2	1	67
	%	25.4	50.7	19.4	3.0	1.5	100
3001-5000TL	Kişi	5	15	17	1	0	38
	%	13.2	39.5	44.7	2.6	0	100
5001-8000TL	Kişi	0	2	2	6	0	10
	%	0	20	20	60	0	100
8000+TL	Kişi	0	1	2	4	0	7
	%	0	14.3	28.6	57.1	0	100
Toplam	Kişi	64	67	35	13	1	180
	%	35.6	37.2	19.4	7.2	0.6	100

Pearson Chi-Square: 136.203 p<0.05

Çizelge 10’da verilen bilgiler doğrultusunda “Aylık beslenme giderleriniz” sorusuna verilen cevaplar bakımından Gelir düzeyleri arasında bir farklılığın olup olmadığını tespit etmek amacıyla yapılan Ki-Kare bağımsızlık testi sonucunda önemli bir farklılığın olduğu ortaya çıkmıştır (p<0.05). Gelir düzeyleri 0-1000TL olan katılımcıların %72.4’nün aylık beslenme gideri 500 TL’dir. Gelir düzeyi 5001-8000 ve 8000 TL ve üzeri olan katılımcıların aylık 500 TL beslenme gideri söz konusu değildir. 8000 TL ve üzeri gelire sahip katılımcıların aylık beslenme giderlerinin %57.1’lik kısmı 1501-2000 TL arasındadır.

Gelir düzeylerine bağlı olarak “Aylık et tüketim (Kırmızı et, Balık eti, Tavuk eti vd.) giderleriniz 501-1000TL” sorusuna katılımcıların vermiş oldukları cevapların Ki-Kare testi ile analizi Çizelge 11’de verilmiştir.

Çizelge 11’de verilen bilgiler doğrultusunda “Aylık et tüketim (Kırmızı et, Balık eti, Tavuk eti vd.) giderleriniz” sorusuna verilen cevaplar bakımından Gelir düzeyleri arasında bir farklılığın olup olmadığını tespit etmek amacıyla yapılan Ki-Kare bağımsızlık testi sonucunda önemli bir farklılığın olduğu ortaya çıkmıştır (p<0.05). Gelir düzeyleri 0-1000 TL olan katılımcıların aylık et tüketim

giderlerinin %91.4'lük kısmı 500 TL iken. 8000 TL ve üzeri gelire sahip katılımcılarda bu oran %14.3'tür. Gelir düzeyleri 8000TL ve üzeri katılımcıların %57.1'lik kısmı aylık 501-1000 TL et tüketirken aynı oran gelir düzeyleri 0-1000 TL olan katılımcılarda %6.9'dur.

Çizelge 11. Gelir düzeylerine bağlı, Aylık et tüketim (Kırmızı et, Balık eti, Tavuk eti vd.) giderleri.

Gelir düzeyiniz nedir		Aylık et tüketim (Kırmızı et, Balık eti, Tavuk eti vd.) giderleriniz					Toplam
		500TL	501-1000TL	1001-1500TL	1501-2000TL	2001+TL	
0-1000TL	Kişi	53	4	1	0	0	58
	%	91.4	6.9	1.7	0	0	100
1001-3000TL	Kişi	48	13	4	1	1	67
	%	71.6	19.4	6.0	1.5	1.5	100
3001-5000TL	Kişi	21	12	2	3	0	38
	%	55.3	31.6	5.3	7.9	0	100
5001-8000TL	Kişi	2	6	1	0	1	10
	%	20	60	10.0	0	10	100
8000+TL	Kişi	1	4	2	0	0	7
	%	14.3	57.1	28.6	0	0	100
Toplam	Kişi	125	39	10	4	2	180
	%	69.4	21.7	5.6	2.2	1.1	100

Pearson Chi-Square: 54.585 p<0.05

Gelir düzeylerine bağlı olarak “Aylık Balık tüketim giderleriniz” sorusuna katılımcıların vermiş oldukları cevapların Ki-Kare testi ile analizi Çizelge 12’de verilmiştir.

Çizelge 12. Gelir düzeylerine bağlı, aylık balık tüketim giderleri.

Gelir düzeyiniz nedir		Aylık Balık tüketim giderleriniz			Toplam
		0-250TL	251-500TL	501-750TL	
0-1000TL	Kişi	54	2	2	58
	%	93.1	3.4	3.4	100
1001-3000TL	Kişi	54	11	2	67
	%	80.6	16.4	3	100
3001-5000TL	Kişi	30	6	2	38
	%	78.9	15.8	5.3	100
5001-8000TL	Kişi	5	3	2	10
	%	50	30	20	100
8000+TL	Kişi	5	2	0	7
	%	71.4	28.6	0	100
Toplam	Kişi	148	24	8	180
	%	82.2	13.3	4.4	100

Pearson Chi-Square: 16.735 p<0.05

Çizelge 12’de verilen bilgiler doğrultusunda “Aylık Balık tüketim giderleriniz” sorusuna verilen cevaplar bakımından Gelir düzeyleri arasında bir farklılığın olup olmadığını tespit etmek amacıyla yapılan Ki-Kare bağımsızlık testi sonucunda önemli bir farklılığın olduğu ortaya çıkmıştır (p<0.05). Gelir düzeyleri 0-1000 TL olan katılımcıların %93.1’i aylık 0-250 TL balık tüketimi yaparken, gelir düzeyleri 5001-8000 TL olan katılımcılarda aynı oran % 50’dir.

Gelir düzeylerine bağlı olarak “Aylık kırmızı et tüketim miktarınız” sorusuna katılımcıların vermiş oldukları cevapların Ki-Kare testi ile analizi Çizelge 13’te verilmiştir.

Çizelge 13’te verilen bilgiler doğrultusunda “Aylık kırmızı et tüketim miktarınız” sorusuna verilen cevaplar bakımından Gelir düzeyleri arasında bir farklılığın olup olmadığını tespit etmek amacıyla yapılan Ki-Kare bağımsızlık testi sonucunda önemli bir farklılığın olduğu ortaya çıkmıştır (p<0.05). Gelir düzeyleri 0-1000 TL olan katılımcıların %70.7’si aylık kırmızı et tüketiminin 500 TL olduğunu

söylerken aynı durum gelir düzeyleri 8000TL ve üzeri olan katılımcılarda %28.6'dır. 8000 TL ve üzeri geliri olan katılımcıların %57.1'i aylık 501-1000 TL kırmızı et gideri olduğunu söylerken aynı durum gelir düzeyleri 0-1000 TL olan katılımcılarda %24.1'dir.

Çizelge 13. Gelir düzeylerine bağlı, aylık kırmızı et tüketim miktarı.

Gelir düzeyiniz nedir	Aylık kırmızı et tüketim miktarınız					Toplam	
	500TL	501-1000TL	1001-1500TL	1501-2000TL	2001+TL		
0-1000TL	Kişi	41	14	2	0	1	58
	%	70.7	24.1	3.4	0	1.7	100
1001-3000TL	Kişi	46	18	3	0	0	67
	%	68.7	26.9	4.5	0	0	100
3001-5000TL	Kişi	21	12	4	1	0	38
	%	55.3	31.6	10.5	2.6	0	100
5001-8000TL	Kişi	1	4	3	2	0	10
	%	10	40	30	20	0	100
8000+TL	Kişi	2	4	1	0	0	7
	%	28.6	57.1	14.3	0	0	100
Toplam	Kişi	111	52	13	3	1	180
	%	61.7	28.9	7.2	1.7	0.6	100

Pearson Chi-Square: 44.893 p<0.05

Gelir düzeylerine bağlı olarak “Balık fiyatları yarıya inse, daha fazla Balık tüketir misiniz” sorusuna katılımcıların vermiş oldukları cevapların Ki-Kare testi ile analizi Çizelge 14’te verilmiştir.

Çizelge 14. Gelir düzeylerine bağlı, balık fiyatlarının yarı oranında indirilmesi durumunda daha fazla balık tüketip tüketmeyecekleri.

Gelir düzeyiniz nedir	Balık fiyatları yarıya inse, daha fazla Balık tüketir misiniz		Toplam	
	EVET	HAYIR		
0-1000TL	Kişi	41	17	58
	%	70.7	29.3	100
1001-3000TL	Kişi	58	9	67
	%	86.6	13.4	100
3001-5000TL	Kişi	34	4	38
	%	89.5	10.5	100
5001-8000TL	Kişi	10	0	10
	%	100	0	100
8000+TL	Kişi	4	3	7
	%	57.1	42.9	100
Toplam	Kişi	147	33	180
	%	81.7	18.3	100

Pearson Chi-Square: 12.346 p<0.05

Çizelge 14’te verilen bilgiler doğrultusunda “Balık fiyatları yarıya inse, daha fazla Balık tüketir misiniz” sorusuna verilen cevaplar bakımından Gelir düzeyleri arasında bir farklılığın olup olmadığını tespit etmek amacıyla yapılan Ki-Kare bağımsızlık testi sonucunda önemli bir farklılığın olduğu ortaya çıkmıştır (p<0.05). Gelir seviyeleri 8000 TL ve üzeri olan katılımcıların %42.9’u hayır derken, gelir seviyeleri 5001-8000 TL olan katılımcılardan hiçbirisi hayır dememiştir.

Hanede yaşayan kişi sayısına bağlı olarak “Aylık kırmızı et tüketim miktarınız” sorusuna katılımcıların vermiş oldukları cevapların Ki-Kare testi ile analizi Çizelge 15’te verilmiştir.

Çizelge 15’te verilen bilgiler doğrultusunda “Aylık kırmızı et tüketim miktarınız” sorusuna verilen cevaplar bakımından hanede yaşayan kişi sayıları bakımından bir farklılığın olup olmadığını tespit etmek amacıyla yapılan Ki-Kare bağımsızlık testi sonucunda önemli bir farklılığın olduğu ortaya

çıkıştır (p<0.05). Hanede yaşayan kişi sayısı 3-5 olan katılımcıların %66.3'ü aylık 0-250TL kırmızı et tüketirken aynı oran hanede yaşayan kişi sayısı 12 ve üzeri olan katılımcılarda %20'dir.

Çizelge 15. Hanede yaşayan kişi sayısına bağlı olarak, aylık kırmızı et tüketim miktarı.

Hanede yaşayan kişi sayısı		Aylık kırmızı et tüketim miktarımız					Toplam
		0-250TL	251-500TL	501-750TL	751-1000TL	1000+TL	
0-2	Kişi	5	2	2	0	0	9
	%	55.6	22.2	22.2	0	0	100
3-5	Kişi	61	22	6	3	0	92
	%	66.3	23.9	6.5	3.3	0	100
6-8	Kişi	33	16	5	0	0	54
	%	61.1	29.6	9.3	0	0	100
9-11	Kişi	11	9	0	0	0	20
	%	55	45	0	0	0	100
12+	Kişi	1	3	0	0	1	5
	%	20	60	0	0	20	100
Toplam	Kişi	111	52	13	3	1	180
	%	61.7	28.9	7.2	1.7	0.6	100

Pearson Chi-Square: 49.191 p<0.05

Hanede yaşayan kişi sayısına bağlı olarak “Balık fiyatları yarıya inse, daha fazla Balık tüketir misiniz” sorusuna katılımcıların vermiş oldukları cevapların Ki-Kare testi ile analizi Çizelge 16’da verilmiştir.

Çizelge 16. Hanede yaşayan kişi sayısına bağlı olarak, balık fiyatlarının yarı oranında indirilmesi durumunda daha fazla balık tüketip tüketmeyecekleri.

Hanede yaşayan kişi sayısı		Balık fiyatları yarıya inse, daha fazla Balık tüketir misiniz		Toplam
		EVET	HAYIR	
0-2	Kişi	9	0	9
	%	100	0	100
3-5	Kişi	72	20	92
	%	78.3	21.7	100
6-8	Kişi	47	7	54
	%	87	13	100
9-11	Kişi	18	2	20
	%	90	10	100
12+	Kişi	1	4	5
	%	20	80	100
Toplam	Kişi	147	33	180
	%	81.7	18.3	100

Pearson Chi-Square: 17.400 p<0.05

Çizelge 16’da verilen bilgiler doğrultusunda “Balık fiyatları yarıya inse, daha fazla Balık tüketir misiniz” sorusuna verilen cevaplar bakımından hanede yaşayan kişi sayıları bakımından bir farklılığın olup olmadığını tespit etmek amacıyla yapılan Ki-Kare bağımsızlık testi sonucunda önemli bir farklılığın olduğu ortaya çıkmıştır (p<0.05). Hanede yaşayan kişi sayısı 0-2 olan katılımcıların tamamı bu soruya evet şeklinde yanıt verirken, hanede yaşayan kişi sayısı 12 ve daha üzeri olan katılımcıların %20’si evet demiştir.

Tüketici tercihlerini belirlemek için anketler önemli bir veri kaynağıdır. Bu çalışmada Erzurum ilinde yaşayan bireylerin cinsiyetleri, yaşları, eğitim durumları, gelir düzeyleri ve hanede yaşayan kişi sayıları dikkate alarak balık tüketimleri araştırılmıştır. Erzurum denize kıyısı olmaması, endüstri ve

sanayi faaliyetlerinin batıdaki illere kıyasla daha az olması ve merkezinde 2 üniversitenin bulunması bakımından önemli bir yerleşim merkezidir. Nüfusun önemli bir bölümü kamu sektöründe çalışmaktadır. Çok sayıda öğrenciye de ev sahipliği yapan Erzurum'un su ürünleri tüketimi su ürünleri sektörünün bölgeye yapacağı yatırımlar ya da mevcut su ürünleri yetiştiricilik sistemlerinin güncellenmesi bakımından oldukça önemlidir. Çalışmamızda mevcut durumlar dikkate alınarak 180 katılımcıya ulaşılmıştır. Sorulan sorulara verilen cevaplar istatistiki açıdan değerlendirmiş ve önemli farklar Çizelge şeklinde çalışmamızda sunulmuştur. Çizelge 2'de yaşa bağlı olarak sorulan aylık beslenme giderlerine 19-25 yaş aralığındaki katılımcılar aylık 0-500 arası cevabını vermiş, aynı soruya 41-50 yaş aralığındaki katılımcıların %7.7'si 0-500 cevabını vermiştir. Bu durum üniversite öğrencilerinin mevcut ekonomik durumlarıyla açıklanabilir ayrıca toplam katılımcıların %92.2 gibi çok büyük bir bölümü de 0-1500TL arasında aylık beslenme giderinin olduğunu belirtmişlerdir. Bu sonuç bölgede yaşayan katılımcıların ekonomik alım güçleriyle ilişkilendirilebilir, yine soğuk iklim şartlarında yaşayan insanların yaşam koşulları ve masrafları da dikkate alındığında beslenme haricinde giderlerinin fazla olmasının beslenme giderlerinin azalmasına sebep olacağı düşünülmektedir. Çizelge 3'te de aynı durum söz konusudur katılımcıların %91.1 gibi büyük bölümü aylık 0-1000 TL arasında et tükettiklerini belirtmişlerdir. Çizelge 4'te eğitim durumlarına göre aylık beslenme giderleri bakımından eğitim seviyeleri lisansüstü düzeyinde olan katılımcıların %92.8 gibi büyük bir bölümünün 1000-2000TL arasında olması gelir düzeyleriyle alakalı olduğu kadar dengeli ve sağlıklı beslenmenin bilinciyle de ilişkilidir. Çizelge 5'te de benzer sonuçlar söz konusudur, protein açısından zengin içerikli et tüketimini eğitim seviyeleri yüksek olan katılımcılar daha fazla tercih etmektedirler. Çizelge 6'da önemli bir soru bulunmaktadır balık tüketim nedenlerine katılımcıların %31.7'si sağlık. %40.6'sı lezzet. %18.3'de hepsi seçeneğini işaretlemişlerdir. Bu su ürünleri sektörü için olumlu gelişmedir. Özellikle sağlık seçeneğini eğitim seviyeleri yüksek katılımcıların tercih etmesi balıkçılığın içeriği hakkında daha fazla bilgi sahibi oldukları anlamına gelmektedir. Çizelge 7'de Su ürünleri sektörüyle alakalı bir soru yöneltilerek eğitim durumlarına göre daha fazla balık tüketmeme sebepleri sorulmuş ve sırasıyla %37.8 fiyat. %34.4 Koku. %10.6 Tazelik. %4.4 Lezzet ve %12.8 Hepsi cevapları alınmıştır. Denize kıyısı olmayan yerleşim merkezlerinde benzer sonuçlar söz konusudur (Girard ve ark., 1998; Atay ve ark., 2002; Dağtekin ve ark., 2007). Özellikle su ürünleri fiyatlarının pahalı olduğunu dile getiren katılımcılar balık tüketimine koku parametresinin de etki ettiğini bildirmişlerdir. Bu sonuçlar su ürünleri sektörü tarafından değerlendirilmelidir. Çizelge 8'de benzer bir sonuç ortaya çıkmış eğitim seviyeleri yüksek olan katılımcıların et tüketimleri daha fazla olmuştur. Çizelge 9'da Gelir düzeylerine göre balık tüketim sıklığı sorulmuş ve genel anlamda %38.3 ayda bir. %24.4 yılda bir. %13.9 15 günde bir. %6.1 haftada bir ve %17.2 hiçbir zaman seçeneklerini işaretlemiştir. Özellikle dengeli ve sağlıklı beslenmede önemli bir yeri bulunan su ürünleri için bu sonuçlar üzücüdür. Zira toplumların gelişim düzeylerinin beslenmeleriyle de yakın ilişkileri bulunmaktadır. Su ürünleri yetiştiricilik potansiyeli bakımından önemli bir noktada bulunan ülkemizin balık tüketim değerlerinin düşük olması mevcut potansiyelinde kullanılmamasına sebep olmaktadır (Dağtekin ve ark., 2007). Çizelge 10 ve Çizelge 11'de aylık beslenme ve aylık et tüketimleri sorulmuş, gelir seviyeleri yüksek olan katılımcıların beslenmeye daha fazla harcama yaptıkları görülmüştür. Özellikle gelir seviyeleri 0-1000 TL arasında olan katılımcıların aylık beslenme giderlerinin %72.4'ü 0-500 TL arasında gerçekleşmesi ve bu oranında %91.4'nün et tüketimine ayrılması gelir düzeyinin beslenmeyle olan ilişkisini anlatırken aynı zamanda et tüketiminin beslenmedeki yerini anlamamız noktasında önemli bir veridir. Çizelge 12'de gelir düzeylerinde göre aylık balık tüketimi değerlendirilmiş ve toplam katılımcıların %82.2'si 0-250 TL aylık balık tüketimi yaptıklarını belirtmişlerdir. Bu rakam sağlıklı beslenmenin yanında su ürünleri sektörün gelişmesi açısından da kaygı vericidir. Gelir seviyesinin düşmesi su ürünleri tüketimine negatif anlamda bir etki

vermektedir (Arık Çolakoğlu ve ark., 2006). Çizelge 13’de gelir düzeylerine göre aylık kırmızı et tüketiminin değerlendirilmesinde katılımcıların %90.6’sı 0-1000 TL arasında aylık kırmızı et tükettiklerini belirtmiştir. Gelir düzeylerine oranla et tüketimleri oldukça fazladır. Tercih noktasında et tüketimlerini su ürünlerine kaydırmak beslenme ve su ürünleri ekonomisi açısından oldukça önemlidir. Çizelge 14’de önemli bir durum sorgulanmıştır. Balık fiyatlarının yarı oranında azalması halinde balık tüketir misiniz sorusuna katılımcıların %81.7’si evet cevabını vererek balık fiyatlarının daha ekonomik seviyelere çekilmesi halinde balık tüketiminin artacağını vurgulamışlardır. Bu sonuç ülke genelinde ve bölge özelindeki su ürünleri yetiştiricileri açısından oldukça önemli bir veridir. Ayrıca bölgedeki su kaynaklarının değerlendirilerek su ürünleri yetiştiricilik kapasitesinin artmasına bağlı olarak fiyatların daha ekonomik seviyelere çekilmesi halinde sektörün gelişeceği anlamını da taşımaktadır. Çizelge 15’te hanede yaşayan kişi sayısına bağlı olarak aylık kırmızı et tüketimleri değerlendirilmiş, genel olarak hane sayısı arttıkça et tüketim miktarının doğal olarak azaldığı tespit edilmiştir. Çizelge 16’da hanede yaşayan kişi sayılarına bağlı olarak balık fiyatlarının yarı oranında inmesi halinde araştırmamıza katılan bireylerin yarısından fazla kısmını oluşturan (92) 3-5 hane sayısındaki katılımcıların %78.3’nün evet seçeneğini işaretlemesi gelecek açısından ümit verici bir durum olmuştur.

SONUÇ

Yapmış olduğumuz araştırmada Erzurum’da balık tüketimi ve tüketime etki eden faktörler incelenmiştir. Özellikle eğitim durumlarını ve gelir seviyelerini dikkate alarak sonuçlar yorumlanmıştır. Balık fiyatlarının yarı oranında azalması durumunda balık tüketiminin artacağı sonucu, sektör açısından önemli bir veridir. Eğitim durumunun yükselmesinin balık tüketimine olumlu etkiler yapması bölgede su ürünlerinin sağlık açısından iyi bir şekilde tanıtılarak anlatılmasını da beraberinde getirmektedir. Yapılan çalışmadan çıkan sonuçlar su ürünleri yetiştiricileri tarafından iyi şekilde analiz edilerek, balık tüketimine etki eden olumsuz yönlerin ortadan kaldırılması hedeflenmelidir. Dengeli ve sağlıklı bir besin maddesi olan su ürünlerinin tüketimi arttırmak için bölgede eğitim faaliyetleri yapılmalı, özellikle balık tüketimine dair ön yargılar ortadan kaldırılmalıdır. Bu ve benzeri araştırmalar belirli aralıklarla yapılarak su ürünleri sektörünün gelişmesi ve balık tüketiminin arttırılmasına yönelik uygun stratejiler belirlenmelidir.

KAYNAKLAR

- Abdikoğlu Dİ, Azabağaoğlu MÖ, Unakıtan G, 2015. Tekirdağ ilinde balık tüketim eğilimlerinin belirlenmesi. *Balkan and Near Eastern Journal of Social Sciences*, 01: 01.
- Adıgüzel F, Civelek O, Sayılı M, Büyükbay EO, 2009. Tokat İli Almus İlçesinde Ailelerin Balık Tüketim Durumu. *GOÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 26(2): 35-43.
- Arık Çolakoğlu F, İşmen A, Özen Ö, Çakır F, Yığın Ç, Ormancı HB, 2006. Çanakkale İlindeki Su Ürünleri Tüketim Davranışlarının Değerlendirilmesi. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 23 (1/3): 387-392.
- Arslan G, 2019. Determination of Fish Consuming Habits of Vocational School Students from Different Families. *Marine Science and Technology Bulletin*, 8(2): 40-45.
- Atay D, Aydın F, Yavuzcan Yıldız H, 2002. Su Ürünleri Yetiştirme İlkeleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, s 270. Ankara-Türkiye.
- Aydın M, Karadurmuş U, 2012. Consumer behaviors for seafood in Ordu province. *SUMAE Yunus Araştırma Bülteni*, 3: 18-23.
- Aydın M, Karadurmuş U, 2013. Trabzon ve Giresun Bölgelerindeki Su Ürünleri Tüketim Alışkanlıkları. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 3(9): 57-71 .

- Beyazbayrak Z, 2014. Kahramanmaraş İli Merkez İlçede Balık Tüketim Alışkanlıkları. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. (Basılmış).
- Cevger Y, Aral Y, Demir P, Sarıözkan S, 2008. Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi İntern Öğrencilerinde Hayvansal Ürünlerin Tüketim Durumu ve Tüketici Tercihleri. Ankara Üniv Vet Fak Dergisi, 55: 189-194.
- Çiçek E, Akgün H, İlhan S, 2014. Determination of fish consumption habits and preferences in Elazığ province Yunus Research Bulletin, 1: 3-11.
- Çolakoglu FA, İşmen A, Özen Ö, Çakır F, Yiğın Ç, Ormancı H.B, 2006. Çanakkale İlindeki Su Ürünleri Tüketim Davranışlarının Değerlendirilmesi. E.Ü. Su Ürünleri Dergisi, 23(1/3): 387-392.
- Dağtekin M, Ak O, 2007. Doğu Karadeniz Bölgesi'nde su ürünleri tüketimi. ihracat ve ithalat potansiyeli. SUMAE Yunus Araştırma Bülteni, 7(3): 14-17.
- Elbek AG. İşgören-Emiroğlu D. Saygı H, 1997. Balık tüketimi ve tüketime yönelik sorvey. *Akdeniz Balıkçılık Kongresi*, İzmir.
- Ercan O. Şahin A, 2016. Kahramanmaraş kent merkezinde balık eti tüketim analizi. KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi, 19(1): 51-65.
- FAO, 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2018 Yearbook. Dünyada Balıkçılık ve Su Ürünleri Yetiştiriciliğinin Durumu, <http://www.fao.org/3/CA0191TR/ca0191tr.pdf>
- Girard S, Mariajouis C, Paquette P, Wisner-Bourgeois C, 1998. An analysis of seafood consumption survey methods in France. 9th NFET Conference-Tromso, Norway.
- Gürel E. Doğan HG, Polat S, Yeşilayer N, Buhan E, 2017. Ağrı ili merkez ilçede yaşayan bireylerin balık tüketim alışkanlıklarının belirlenmesi. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 6(3): 26-35.
- Iacono JM, Dougherty RM, 1993. Effects of polyunsaturated fats on blood pressure. *Annu Rev. Nut*, 13: 243-260.
- Karabulut HA, Yandı İ, 2006. Su ürünlerindeki n-3 Yağ Asitlerinin Önemi ve Sağlık Üzerine Etkisi. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi, 23(1/3): 339-342.
- Saygı H, Saka Ş, Fırat K, Katağan T, 2006. İzmir Merkez İlçelerinde Kamuoyunun Balık Tüketimi ve Balık Yetiştiriciliğine Yaklaşımı. E.Ü. Su Ürünleri Dergisi, 23(1-2): 133-138.
- Şen İ, Şahin A, 2017. Mersin'de yaşayan tüketicilerin balık tüketim tercihlerini demografik faktörler açısından ele alan bir araştırma. *Journal of Economics and Administrative Sciences*, 1: 33-46.
- Şenol Ş, Saygı H, 2001. Su Ürünleri Tüketimi İçin Bir Ekonometrik Model. E.Ü. Su Ürünleri Dergisi, 18(3-4): 383-390.
- Turan H, Kaya Y, Sönmez G, 2006. Balık Etinin Besin Değeri ve İnsan Sağlığındaki Yeri. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi, 23(1/3): 505- 508.
- TÜİK. Türkiye İstatistik Kurumu. Su Ürünleri 2018. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=30697>
- Yüksel F, Karaton-Kuzgun N, Özer Eİ, 2011. Tunceli ili balık tüketim alışkanlığının belirlenmesi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 2(5): 28-36.

Students' Milk Consumption Patterns at Erzincan Binali Yıldırım University

Hediye KUMBASAROĞLU¹, Tuğba EREM KAYA²

ABSTRACT: The present study was conducted on 380 students studying at Erzincan Binali Yıldırım University, 57.40% of whom are male and 42.60% female related to their consumption behavior of drinking milk. For analysis of the data, complementary statistics and chi-square test were used. The results of the survey suggest that 21.10% of the students regularly consume milk while 78.90% of the students irregularly drink milk. Among the reasons why the students dislike drinking milk are its taste (37.67%) with a high percentage and smell (30.66%) affecting the students? The percentage of those who do not drink milk for allergic reasons is 4.67%. A significant difference was also reported between the reasons for dislike drinking milk and gender ($p < 0.05$). It was found that 27.89 % of the respondents paid attention to the expiry date during shopping and 39.21 % preferred one percent milk. 67.37% of the students reported that they preferred markets for buying milk. It was found that gender, nourishing property, fat level, price and milk consumption patterns in the market played role in the participants' preference of milk consumption.

Keywords: Milk, Chi-Square Test, Consumption Habits, Erzincan.

¹ Hediye KUMBASAROĞLU (**Orcid ID:** 0000-0003-0266-3775), Erzincan Binali Yıldırım University, Vocational School, Department of Marketing and Foreign Trade, Marketing Program, Erzincan/Turkey,

² Tuğba EREM KAYA (**Orcid ID:** 0000-0001-5399-4828), Governorship of Bursa, Provincial Directorate of Environment and Urbanization, Bursa/Turkey

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Hediye KUMBASAROĞLU, e-mail: hediye.kumbasaroglu@erzincan.edu.tr

INTRODUCTION

Milk has an important place for bone development in terms of nutrients it contains in all periods from infancy to old age. It is an important source for many nutrients including protein, calcium, phosphorus, vitamin B2 and vitamin B12. In this respect, it is a miraculous food that all age groups, especially children, young people and adults, should consume.

Milk consumption is considered as an indicator of country development. Consumption values of milk and dairy products are quite high in countries that are adequately fed and healthy. The most efficient form of milk is to use it as drinking milk (Cetinkaya, 2010).

Turkey is the world's 10th largest producer with an annual production of 22 million tons of milk. Total milk production, which was 15.10 million tons in 2011, increased to 20.12 million tons in 2018 (Anonymous, 2019a). The National Milk Council Report published every two years by FAO on the global food market includes trade data on the basis of the amount of raw milk produced and products produced worldwide. Accordingly, FAO estimates that world total milk production in 2018 is 829 million tons. While the region with the largest shareholder in the increase in the world's total milk production is Asia with an additional 9.7 million tons of milk production compared to previous year, the highest increase in the production of milk in terms of country have been reported to be India, China, Turkey and Pakistan in the report. When the amount of raw milk production and the population data for the same year published annually by Turkish Statistical Institution (TSI) were handled, ignoring the milk and milk products import and export figures, the milk consumption per person was found to be 270 kg of milk. Income growth, urbanization and increased demand as a result of that fact that individuals make more conscious choices about nutrition has led to the increase in the amount of milk and milk products produced in modern facilities. Considering the milk quantity except registered milk production quantity, foreign trade data and the amount of milk collected by the integrated milk companies, consumption of milk per person is estimated to be about 41.50 kg a year (Anonymous 2019b). Although Turkey has an important place in the world, it is way back in terms of milk consumption.

University life, in which students satisfy their nutritional needs, forms the basis of one's future diet. Generally, not having breakfast or lunch and fast food consumption are the common eating behaviors seen among university students, which causes nutritional disorders in students. It is very important to determine the consumption behaviors of milk and dairy products which are very important for adequate and balanced nutrition of university students and to take necessary precautions.

It is necessary to reveal the consumption habits of people and determine the effect of income levels on consumption amounts in order to establish a healthy society. (Tarakçı et al., 2003).

In Turkey, it has been reported in several studies that milk is not sufficiently consumed. At the universities in the cities like Kars (Cetinkaya, 2010), Isparta (Simsek and Acikgoz, 2011), Edirne (Onurlubas et al., 2015), Gumushane (Sahinoz and Ozdemir, 2017), Bitlis (Yalcin and Argun, 2017) and Kayseri (Para et al., 2018), surveys have been conducted to reveal that university students' consumption of milk and dairy products is not at an expected level. To determine the factors that affect the consumption of milk and dairy products, surveys have been administered in the provinces like Istanbul (Simsek et al., 2005), Elazığ (Seker et al., 2012), Ordu (Tarakci et al., 2015), Southern Marmara Region (Niyaz and İnan, 2016), Istanbul, Ankara, Izmir (Onurlubas and Cakırlar, 2016).

This study was conducted on the students' milk consumption behaviors vis-à-vis gender studying at Erzincan Binali Yıldırım University in 2018-2019 academic year in order to the fill the gap in the literature.

MATERIAL AND METHODS

The material of this study is composed of the data obtained from face-to-face interviews with the students selected by sampling method studying at Erzincan Binali Yildirim University in 2019 in order to determine their knowledge and milk consumption habits. The surveys were conducted on the students studying at different schools of Erzincan Binali Yildirim University (Education, Arts and Science, Economics and Administrative Sciences, Theology, Engineering, Pharmacy, Medicine, Law, Dentistry, Vocational Schools and Colleges (Table 1). To determine the appropriate sample, 20 students were given questionnaires beforehand. Sample size was found based on this pilot survey.

Table 1. The number of students at Erzincan Binali Yildirim University

School and college	Number	%
School of education	3 334	15.61
School of arts and science	1 558	7.29
School of economics and administrative sciences	2 159	10.11
School of theology	721	3.38
School of engineering	1 238	5.80
School of pharmacy	253	1.18
School of medicine	373	1.75
School of law	1 521	7.12
School of dentistry	63	0.29
Vocational schools	8 184	38.31
Colleges	1 956	9.16
Total	21 360	100.00

In this study, sample size was determined by non-clustered single-stage random probability sampling method based on the main mass ratios (Collins, 1986; Karakaya and Akbay, 2013).

$$n = t^2 * [1+(0.02) (b-1)] * (p * q) / (e)^2$$

Here; n is for sample size; t: 95% table value depending on the level of importance; b: sample stage (as it is single stage, it is taken as 1); p: probability of realization of the case examined among the main mass (the ratio of those consuming milk regularly); q: the probability of non-realization of the case examined (1-p), (the ratio of those not consuming milk regularly); e: Accepted margin of error (in this study margin of error is taken as 5%). In the equation, if b=1, the equation becomes as follows:

$$n = t^2 * (p*q) / (e)^2$$

By means of the pilot survey conducted before, it was found that 30% of the students regularly drank milk while 70% did drink milk irregularly. This percentage gave us the maximum sample size considering the margin of error. In the study 5% was accepted as the margin of error. Accordingly, the sample size was found by means of the following calculation. $n = (1.96)^2 * (0.30) * (0.70) / (0.05)^2 = 322$ students.

Sample size was determined as 322. Considering that there will be lost values in the survey, the number of surveys has been completed to 380 to represent female and male students.

These 380 students were randomly selected out of the students studying at various schools of Erzincan Binali Yildirim University. The data obtained from the study were examined under two groups as male and female students. The data collected by means of the surveys responded by the students were evaluated by using the chi-square statistical tests of SPSS 22.00 statistical package program.

RESULTS AND DISCUSSION

Socio-Economic Situation of the Students

162 female and 218 male students, totally 380 (Table 2) participated in the surveys, of whom 145 study at vocational school (38.16%), 55 at the school of education (14.47%), 26 at the school of Arts

and Science (6.84%), 46 at the school of engineering (12.11%), 25 at Law (6.58%), 36 at Economics and Administrative Sciences (9.47%), 12 at the Theology (3.16%), 11 at the Schools related to Health Sciences (Medicine, Pharmacy and Dentistry) (2.89%) and 24 at the College (6.32%) (Table 3).

Table 2. Number of students' vs gender

The number of respondents		
	Number	%
Male	218	57.40
Female	162	42.60
Total	380	100.00

Table 3. The number of surveys vs schools

School and college	Number	%
School of education	55	14.47
School of arts and science	26	6.84
School of engineering	46	12.11
School of law	25	6.58
School of economics and administrative sciences	36	9.47
School of theology	12	3.16
Health sciences (medicine, pharmacy, dentistry)	11	2.89
College	24	6.32
Vocational school	145	38.16
Total	380	100.00

26.84% of the students stay with their parents; 54.21% at university housing, 18.16% on their own, 1.05% with relatives (Table 4).

Fathers' jobs of the respondents were found as follows: 24.47% civil servant, 21.05% retired, 20.00% worker, 18.16% artisan, 11.31% farmer and 5% unemployed (Table 4).

In addition, monthly income of 58.68% of the student parents having a direct effect on consumption is more than 3 000 ₺ while that of 13.69% is less than 1 500 ₺ (Table 4).

Monthly average revenue of 44.74% of the students is less than 500 ₺ and that of 16.31% of the students is more than 1 000 ₺ (Table 4).

Students' Consumption of Dairy Products

78.90% of the students answered "No" to the question "Do you have the habit of drinking milk regularly every day?", 21.10% answered "Yes". 25.30% of 21.10% of those stating regular consumption of milk is female and 17.89% is male. Statistically significant difference was observed between male and female students in terms of regular consumption of milk ($p < 0.05$) (Table 5).

In this study, it was seen that students consume 4.69 lt of milk a month and female students consume 3.93 lt/month and male students 5.25 lt/month. In terms of milk consumption habits, although female students consume milk more regularly, it was observed that the amount of milk consumed is less than that of the male students. In a study conducted by Yalcinkaya (1999) on the drinking milk habits and the factors that have an impact on them in the province of Tekirdag, families were reported to consume less than a kilo of milk daily. In the study by Simsek et al. (2005) in Istanbul, milk consumption per capita was reported to be 34lt/year. In the research conducted by Tarakci et al. (2003) to reveal socio-economic situation of the students, their drinking milk habits and knowledge on nutritional benefits of milk, bachelor's degree students at Yuzuncu Yil University were reported to consume milk in average 3.7 lt/month. In a study by Carol et al. (2015), per capita milk consumption in Canada was reported to be 213 mL per day.

The researches on milk consumption habits of people in Turkey reveal that milk is not sufficiently consumed. The present study confirmed that students' milk consumption level is lower than expected.

Table 4. Socio-economic situation of the students

Places where students stay		
	Number	%
University housing	206	54.21
With parents	101	26.58
Student house	69	18.16
With relative	4	1.05
Job of the householder		
Civil servant	93	24.47
Retired	80	21.05
Worker	76	20.00
Artisan	69	18.16
Farmer	43	11.31
Unemployed	19	5.00
Monthly income of the householder (₺)		
Less than 1500	52	13.69
Between 1500-3000	105	27.63
More than 3000	223	58.68
Monthly revenue of the students (₺)		
Less than 500	170	44.74
Between 500-1000	148	38.95
More than 1000	62	16.31
Total	380	100.00

Table 5. Students regular consumption of milk

	Gender					
	Female		Male		Total	
Milk regularly	Number	%	Number	%	Number	%
Consumed	41	25.30	39	17.89	80	21.10
Not consumed	121	74.70	179	82.11	300	78.90
Total	162	100.00	218	100.00	380	100.00

$$X^2 = 3.078, sd = 1, p < 0.05 (0.042)$$

When the reasons for drinking milk were asked to those who regularly consumed milk, it was found that 61.25% of the students consumed milk for the nutritional reasons, 25.00% as a habit, 3.75% because of medical disorder. On the other hand, 10.00% stated that they did not consume milk because they did not have any habit and no specific reason was reported. In the chi-square analysis, it was found that there was a statistically significant difference between the genders in terms of regular milk consumption ($p < 0.05$) (Table 6).

In the study conducted by Cetinkaya (2010) on the determination of milk and dairy product consumption of students at Kafkas University, 46.00% of the students stated that they consumed milk for nutritional reasons while 25.30% drew attention to the need of vitamin, calcium and protein milk provided.

When those not consuming milk regularly were asked the reason, 37.67% stated because of its taste, 30.66% for its smell, 4.67% for the discomfort it causes and 27.00% just because they were not

used to drinking milk. Statistical difference was found between the reasons for drinking and not drinking milk and gender ($p < 0.05$) (Table 6).

Table 6. Regular drinking milk of the students

Reason for drinking milk	Gender					
	Female		Male		Total	
	Number	%	Number	%	Number	%
Nutritional	21	51.22	28	71.80	49	61.25
Habit	12	29.27	8	20.51	20	25.00
Discomfort	3	7.32	0	0.00	3	3.75
Other	5	12.19	3	7.69	8	10.00
Total	41	100.00	39	100.00	80	100.00

$X^2 = 17.448, sd = 4, p < 0.05 (0.002)$

Reasons for not drinking milk						
Reasons for not drinking milk	Female		Male		Total	
	Number	%	Number	%	Number	%
	Smell	39	32.23	53	29.61	92	30.66
Taste	43	35.54	70	39.11	113	37.67
Allergy	14	11.57	0	0.00	14	4.67
Other	25	20.66	56	31.28	81	27.00
Total	121	100.00	179	100.00	300	100.00

$X^2 = 19.945, sd = 4, p < 0.05 (0.001)$

The students answered the question related to the nutritional benefits of milk as it is protein source with 26.58%, gaining immunity with 15.52%, vitamin and mineral source with 8.68%, source of energy with 3.68%, containing of all nutrients needed 36.58% and none with 2.11%. No statistically significant difference was found between male and female students in terms of milk nutrition ($p > 0.05$) (Table 7).

Table 7. Knowledge level of students on nutritional value of milk

What do you know about nutritional value of milk?	Gender					
	Female		Male		Total	
	Number	%	Number	%	Number	%
Protein	44	27.16	57	26.15	101	26.58
Fat	9	5.56	12	5.50	21	5.53
Lactose	2	1.23	3	1.38	5	1.32
Vitamin	14	8.64	19	8.72	33	8.68
Gives energy	6	3.70	8	3.67	14	3.68
Consolidates immunity	27	16.67	32	14.68	59	15.52
All	56	34.57	83	38.07	139	36.58
None	4	2.47	4	1.83	8	2.11
Total	162	100.00	218	100.00	380	100.00

$X^2 = 1.323, sd = 8, p > 0.05 (0.995)$

Based on the answers given to the question in order to learn the consumption pattern of drinking milk, it was determined that 30.26% of the respondents preferred it cold, 24.21% hot, 12.37% with cacao, 8.68% with sugar, 6.58% in coffee, and 6.05% unsweetened. It is seen that male and female students consume milk more frequently. Statistically significant difference was found between male and female students' consumption patterns of milk. ($p < 0.05$) (Table 8).

Ayar and Demirulus (2000) in their study determined that rural students preferred to drink milk as hot and sweet, while urban students preferred milk cold. In a similar study by Kim et al. (1994) found that 59.5% of those who consumed whole milk prefer flavored whole milk.

Table 8. Milk consumption patterns of students.

How you like milk	Gender		Gender		Total	
	Female	Male	Female	Male	Female	Male
	Number	%	Number	%	Number	%
Hot	30	18.52	62	28.44	92	24.21
Cold	44	27.16	71	32.57	115	30.26
With sugar	16	9.88	17	7.80	33	8.68
Without sugar	7	4.32	16	7.34	23	6.05
With cacao	29	17.90	18	8.26	47	12.37
Coffee	14	8.64	11	5.05	25	6.58
Other	5	3.09	9	4.13	14	3.69
No consumption at all	17	10.49	14	6.42	31	8.16
Total	162	100.00	218	100.00	380	100.00

$X^2 = 17.517, sd = 7, p < 0.05 (0.014)$

When asked about the preferred fat level in milk, 39.21% of the students preferred one percent milk, 23.42% whole milk, and 19.47% 2 percent and 8.95% skim milk. 45.68% of the students who preferred one percent milk are female and 34.41% are male students. Statistically significant difference was seen between fat level and gender ($p < 0.05$) (Table 9).

Table 9. Students preference of milk according to fat level

Fat level preferred	Gender		Gender		Total	
	Female	Male	Female	Male	Female	Male
	Number	%	Number	%	Number	%
Whole	25	15.43	64	29.36	89	23.42
2 percent	31	19.14	43	19.72	74	19.47
1 percent	74	45.68	75	34.41	149	39.21
Skim	14	8.64	20	9.17	34	8.95
No consumption	18	11.11	16	7.34	34	8.95
Total	162	100.00	218	100.00	380	100.00

$X^2 = 12.232, sd = 4, p < 0.05 (0.016)$

28.16% of the students consumed milk in the evening, which was followed by the percentages 26.32% at bedtime and 17.89% in the morning. The percentage of those who consumed milk between meals was 12.11%. Female students consumed milk in the evening (29.63%) more than male students (27.98%). No statistically significant difference was observed between the meals and male and female students' consumption of milk. ($p > 0.05$) (Table 10).

In their study, Şimşek and Açıkgöz (2011) found that 40.10% of the students consumed milk before bedtime, followed by in the evening (25.30%) and between meals (17.70%) and that the rate of those who consumed milk at breakfast was 14.50%. They also detected that female students' consumption of milk (21.00%) was higher than that of male students (12.90%).

Table 10. Periods of drinking milk of students

Period of drinking milk	Gender					
	Female		Male		Total	
	Number	%	Number	%	Number	%
Morning	24	14.82	44	20.18	68	17.89
Noon	9	5.56	8	3.67	17	4.47
Evening	48	29.63	59	27.07	107	28.16
Before going to bed	39	24.07	61	27.98	100	26.32
Between meals	21	12.96	25	11.47	46	12.11
No consumption at all	21	12.96	21	9.63	42	11.05
Total	162	100.00	218	100.00	380	100.00

$$X^2 = 4.096, sd = 5, p > 0.05 (0.536)$$

To the question asked to determine where the students got milk, they answered mostly (67.37%) from the market, 12.63% produced themselves, 8.41% from the grocery, 7.63% from the street milkman. 69.75% of the students who bought milk from the market were female students and 65.60% were male students. No statistically significant difference was seen between male and female students in terms of places where they got milk ($p > 0.05$) (Table 11).

Sahin et al. (2001) suggested that markets were the most preferred stores. The rich variety, the diverse products, price comparability, product and service quality, easy return of defective goods were shown as among the most important factors in choosing the market.

Table 11. Distribution of markets students buy milk

Where do you get milk?	Gender					
	Female		Male		Total	
	Number	%	Number	%	Number	%
Market	113	69.75	143	65.60	256	67.37
Grocery	11	6.79	21	9.63	32	8.42
Milkman	10	6.17	19	8.71	29	7.63
Self-product	22	13.58	26	11.93	48	12.63
No milk at all	6	3.71	9	4.13	15	3.95
Total	162	100.00	218	100.00	380	100.00

$$X^2 = 2.161, sd = 4, p > 0.05 (0.706)$$

In order to determine the type of milk preferred by the students, 41.05% stated processed milk, 27.37% fruit milk and 18.69% unprocessed milk. While 38.89% of the female students preferred processed milk, this rate was 42.66% for male students. Statistically significant difference was found between the patterns of milk preferred by male and female students ($p < 0.05$) (Table 12).

In the research conducted by Celik et al. (2005) in the province of Sanliurfa, 46.30% of consumers bought unprocessed milk while 53.70% preferred processed milk. In the study conducted by Karakaya and Akbay (2013), it was determined that approximately 26.50% of the families consumed unprocessed milk, 26.20% consumed pasteurized milk and 87.70% consumed sterilized milk. In the study conducted by Akbay and Tiryaki (2013) in Kahramanmaras, 57.00% of consumers preferred unprocessed milk and 38.00% preferred processed milk. In the same study, nearly 50.00% of the participants regarded unprocessed milk as much healthier.

Table 12. Types of milk students prefer

Type of milk consumed weekly	Gender					
	Female		Male		Total	
	Number	%	Number	%	Number	%
Processed milk	63	38.89	93	42.66	156	41.05
Milk fruit	56	34.57	48	22.02	104	27.37
Lactose free milk	6	3.70	14	6.42	20	5.26
Unprocessed milk	23	14.20	48	22.02	71	18.69
No consumption	14	8.64	15	6.88	29	7.63
Total	162	100.00	218	100.00	380	100.00

$$X^2 = 10.395, sd = 4, p < 0.05 (0.034)$$

On the other hand, 38.68% of the students stated that milk is expensive. 37.63% of the students think that the price is reasonable. Only 5.00% of the students found that milk was cheap. Statistically significant difference was observed between milk price and gender ($p < 0.05$) (Table 13).

In a similar study by Simsek et al. (2005), it was found that 2.00% of the university students pointed out that milk was cheap, 51.00% stated reasonable and 47.00% expensive.

Table 13. Students' opinions on milk price

Price	Gender					
	Female		Male		Total	
	Number	%	Number	%	Number	%
Expensive	36	22.22	111	50.92	147	38.68
Affordable	80	49.38	63	28.90	143	37.63
Cheap	7	4.32	12	5.50	19	5.00
No idea	39	24.08	32	14.68	71	18.69
Total	162	100.00	218	100.00	380	100.00

$$X^2 = 34.795, sd = 3, p < 0.05 (0.000)$$

Table 14 shows the distribution of the features that students take into consideration when buying dairy products. When these values are examined, 26.32% of the students stated that they considered the expiration date of the brand they preferred while 27.89% of them bought dairy products. It is seen that 16.58% of the students bought dairy products by considering hygiene, 13.95% the price, 7.10% the level of fat, 3.16% general appearance of the product.

Selcuk et al. (2003) in a similar study found that 17.62% of university students took the brand into consideration when buying dairy products and 47.80% of the surveyed students paid attention to the expiration date. Studies conducted by Wilkie (1986) and Assael (1992) reported that gender, which is one of the demographic features, plays a decisive role in consumers' preferences for products and brands.

Seeing that seasonal differences might be effective on families' milk consumption, they were asked in which season they consumed most milk. On average, 47.37% of the students stated that they consumed milk in all seasons, 25.53% in the winter, 9.21% in the summer, 3.68% in fall and 2.89% in the spring. Statistically significant difference was observed between the seasons when milk was consumed and gender ($p < 0.05$) (Table 15).

Table 14. Features students pay attention to when buying milk.

Features concerned when buying milk	Gender					
	Female		Male		Total	
	Number	%	Number	%	Number	%
Brand	44	27.16	56	25.69	100	26.32
Date of expiry	52	32.10	54	24.77	106	27.89
Price	17	10.49	36	16.51	53	13.95
Diversity	5	3.09	3	1.38	8	2.10
Hygiene	22	13.58	41	18.81	63	16.58
Fat level	13	8.02	14	6.42	27	7.10
Other	5	3.09	7	3.21	12	3.16
No purchase	4	2.47	7	3.21	11	2.90
Total	162	100.00	218	100.00	380	100.00

$\chi^2 = 7.621$, $sd = 7$, $p > 0.05$ (0.367)

Table 15. Seasons when students consume milk.

	Gender					
	Female		Male		Total	
	Number	%	Number	%	Number	%
Spring	2	1.22	9	4.13	11	2.89
Summer	11	6.79	24	11.01	35	9.21
Fall	9	5.56	5	2.29	14	3.68
Winter	46	28.40	51	23.40	97	25.53
All seasons	71	43.83	109	50.00	180	47.37
No-consumption	23	14.20	20	9.17	43	11.32
Total	162	100.00	218	100.00	380	100.00

$\chi^2 = 10.899$, $sd = 5$, $p < 0.05$ (0.053)

CONCLUSIONS

In the present study, the aim is to determine drinking milk consumption behaviors of students at Erzincan Binali Yildirim University. To achieve this aim, 380 students were surveyed, and Chi-square analyzes were conducted. The results of the analysis suggest that 21.10% of the students studying in different units of Erzincan Binali Yildirim University consume milk regularly while 78.90% do not consume milk regularly. The same is also valid for students with high income. In addition, the majority of students who consume milk regularly prefer processed milk. The results also showed that the majority of the students consumed milk because of its nutritional value. Considering the results, it is argued that activities that are of great importance in balanced and adequate nutrition, which encourage students to drink milk, should be organized.

In order to increase milk consumption, large-scale campaigns should be made throughout the country to provide accessibility to consumers of all age groups. Instead of carbonated beverages, milk should be available in mass consumption areas and its consumption should be encouraged. In order to support the habit of drinking milk, projects should be developed as of childhood. Informative activities should be carried out on the benefits of milk, public spots should be established in the visual media and more conscious consumers should be intermediary.

REFERENCES

- Akbay, C., and Tiryaki, G. Y. (2007). Consumers' packed and unpacked milk consumption behaviour: a case study in Kahramanmaraş. *KSU J Sci Eng*, 10(1), 89-96.
- Anonymous, 2019a. Livestock statistics, <http://www.tuik.gov.tr>. html (Accession Date: 05.08.2019).
- Anonymous, 2019b. National milk council sector report-2018, <http://www.ulusalsutkonseyi.org.tr/ana/default.asp>. html (Access Date: 05.08.2019).
- Assael, H. (1995). *Consumer Behavior and Marketing Action*. Boston, USA: New York University, PSW-Kent Publishing Company.
- Ayar, AH. and Demirus, H. (2000). The determination of consumption patterns of milk and milk products of school age youth. *The Food*, 25 (5): 371-376.
- Henry, C., Whiting, S. J., Phillips, T., Finch, S. L., Zello, G. A., and Vatanparast, H. (2015). Impact of the removal of chocolate milk from school milk programs for children in Saskatoon, Canada. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 40(3), 245-250.
- Collins, M. (1986). Sampling (Editör: Worcester, R.M., and Downhom, J., 1986). *Consumer Market Research Handbook*. Elsevier Science Publishing Company Inc.
- Celik, Y., Karli, B., Bilgic, A., and Celik, S. (2005). The level of milk consumption and consumption pattern of consumers in Sanliurfa urban areas. *Journal of Agricultural Economics*, 11(1), 5-12.
- Cetinkaya, A. (2010). A survey of the consumption habits of milk and milk products among the students in Kafkas University. *Atatürk University Journal of Veterinary Sciences*, 5(2), 73-84.
- Kim, H. D., Kim, D. S., and Kim, S. S. (1994). Milk and beverage preference of college students. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 23(3), 420-428.
- Karakaya, E., and Akbay, C. (2013). Consumer consumption habits of milk and milk products in Istanbul province. *Journal of Faculty of Agriculture, Uludag University*, 27(1), 65-77.
- Niyaz, O. C., and İnan, İ. H. (2016). Determination of milk and dairy consumption levels of consumers in TR22 South Marmara Region. *ÇOMU Journal of Faculty of Agriculture, (In Turkish)* 4(2), 7-13.
- Onurlubas, E., Dogan, H. G., and Demirkiran, S. (2015). Nutritional habits of university students. *Gaziosmanpasa University Faculty of Agriculture Journal, (In Turkish)* 32(3), 61-69.
- Onurlubas, E., and Cakirlar, H. (2016). A research on determining the factors affecting consumers' milk and dairy consumption. *Journal of Cankiri Karatekin University Institute of Social Sciences, (In Turkish)* 7(1), 217-242.
- Para, G., Ulger, İ., and Kaliber, M. (2018). A research on determining milk consumption habits of Erciyes University students. *Iğdir University Institute of Science Journal, (In Turkish)* 8(1), 329-339.
- Selcuk, S., Tarakci, Z., Sahin, K., and Coskun, H. (2003). Dairy products consumption habits of Yuzuncu Yil University undergraduate students. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences, (In Turkish)* 13(1), 23-31.
- Sahin, K., Andic, S., and Koc, S. (2001). Families' behaviour of purchase and consumption of herby cheese and dairy products in urban area of Van province. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, 11(2), 67-73.
- Sahinoz, S., and Ozdemir, M. (2017). Milk and dairy consumption habits of university students and affecting factors. *Gumushane University Journal of Health Sciences, (In Turkish)* 6(4), 106-112.

- Seker, I., Seker, P., Sahin, M., Ozen, V. S., Akdeniz, A., Erkmen, O., Kislalioglu, I., Sargin, G., and Dogu, G. B. (2012). Milk consumption habits of consumers in the central district of Elazig Province and determining the factors affecting these habits. *Journal of FU Health Sciences Veterinary*, (In Turkish) 26(3), 131-143.
- Simsek, O., Cetin, C., and Bilgin, B. A. (2005). Research on determination of the drinking milk consuming habits and the factors affecting these habits in Istanbul Province. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 2(1), 23–35.
- Simsek, B., and Acikgoz, İ. (2011). Determination of fluid milk consumption habits of the students of Suleyman Demirel University. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences* 21(1):12-18.
- Simsek, B., and Acikgoz, İ. (2011). Evaluation of university students' dairy consumption habits. *Igdir University Institute of Science Journal*, (In Turkish) 1(3), 57-62.
- Tarakci, Z., Selcuk, S., Sahin, K., and Coskun, H. (2002). A study on the habits of fluid milk consumption of the students at the University, Yuzuncu Yil University, Faculty of Agriculture. *Journal of Agricultural Science*, 13(1), 15-21.
- Tarakci, Z., Karaagaç, M., and Celik, O. F. (2015). Determination of fermented dairy product consumption habits in Ordu city center. *Academic Journal of Agriculture*, 4(2), 71-80.
- Wilkie, W.L. (1986). *Consumer Behavior*. New York, USA: University of Florida.
- Yalcin, M., and Argun, M. S. (2017). Determination of milk and milk products consumption habits and affecting factors of Bitlis Eren University School of Health students. *Bitlis Eren University Journal of Science*, (In Turkish) 6(1), 51-60.
- Yalcinkaya O, (1999). Animal food consumption structure in Erciş District of Van Province. Yuzuncu Yil University Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Agricultural Economics, Van. Master Thesis (Printed).

Sebze Tohumu Dış Ticaret Rekabet Düzeyinin Porter'ın Elmas Modeliyle Analizi: Antalya İli Örneği

Abdülkadir FİLİZ¹, Cengiz SAYIN^{1*}

ÖZET: Bu araştırmanın amacı, Antalya İli örneğinde sebze tohumculuğu sektörünün küresel rekabet düzeyinin ortaya konulmasıdır. Araştırmanın ana kitlesini, Antalya İlinde sebze tohumculuğu dış ticareti yapan firmalardır. Araştırmanın verileri, sebze dış ticareti yapan 40 aktif firma ile yapılan yüz yüze anketlerden elde edilmiştir. Sektörün rekabet düzeyinin belirlenmesinde Porter'ın Elmas Modeli kullanılmıştır. Elmas Modelinde; girdi koşulları, talep koşulları, firma stratejisi, ilgili ve destekleyici sektörler olmak üzere dört ana belirleyici, devlet etkisi ve şans faktörü olmak üzere iki de yardımcı belirleyici faktör vardır. Bu belirleyicilere ait alt değişkenlerin cevapları, 5'li Likert ölçeğine göre oluşturulmuş sorularla ortaya konulmuştur. Elmas Modeli bulguları, sebze tohumculuğu sektörü küresel dış ticarete orta düzeyde rekabet gücüne sahip olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Sebze tohumu, Dış ticaret, Rekabet gücü, Elmas Modeli, Antalya

Analysis of Competition Power of Vegetable Seed Foreign Trade using Porter's Diamond Model: The Case of Antalya Province

ABSTRACT: The aim of this study was to examine the global competitiveness power level of the vegetable seed sector in the case of Antalya Province. The population of this study was the exporter companies of vegetable seeds in Antalya Province. The primary data of the study were obtained from 40 active companies using face to face surveys. Porter's Diamond Model was used to determine the competitiveness level of the sector. In the Diamond Model; there are four main determinants as input conditions, demand conditions, firm strategy, relevant and supportive sectors, and two auxiliary determinants as state effect and chance factor. The answers of sub-variables under these determinants were put forward with the questions with the 5-point Likert scale questions. The Diamond Model result shows that the vegetable seed sector had a moderate level of competitiveness in global foreign trade.

Keywords: Vegetable seed, foreign trade, Competition power, Diamond Model, Antalya province

¹Abdülkadir FİLİZ (Orcid ID: 0000-0002-2087-1466), Cengiz SAYIN (Orcid ID: 0000-0002-5053-6909), Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Antalya, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Prof.Dr. Cengiz SAYIN, e-mail: csayin@akdeniz.edu.tr

Bu çalışma Abdülkadir FİLİZ'in Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

GİRİŞ

Her yıl yaklaşık 83 milyon insan dünya nüfusuna katılmakta ve gelecekte de dünya nüfusu artış eğiliminin devam edeceği beklenmektedir. Dünya nüfusunun 2030'da 8.6 milyar, 2050'de 9.8 milyar olması ve 2100'de 11.2 milyarı geçmesi beklenmektedir (Anonymous, 2017). Dünya nüfusunun artması ve dünya genelindeki iklim değişikliği gıda güvenliğini tehdit etmekte ve açlık riskinin artmasına sebep olmaktadır. Bu bağlamda, insanların beslenebilmeleri için gıda güvenilirliğini ön planda tutan, sürdürülebilir ve küresel anlamda rekabetçi bir tohumculuk sektörünün varlığı, son yıllarda daha büyük bir önem arz etmeye başlamıştır. Tohum, gıda zincirinin ve biyolojik çeşitliliğin ilk adımıdır. Dolayısıyla tohum, ülkelerin gıda güvenliği için stratejik öneme sahip en önemli üretim materyallerinden birisidir. Tohumculuk sektöründe dünyada rekabetçi bir konumda olabilmek için uluslararası standartlarda rekabet edebilir bir ıslah ve ürün geliştirme sisteminin yürütülmesi, en temel koşuldur (Sav ve Sayın, 2015). Tohumun küresel pazar değerinin 2017'de 62 milyar ABD dolarından fazla olduğu ve 2023'e kadar 86 milyar ABD dolarına ulaşacağı tahmin edilmektedir (Anonymous, 2018). Sebze tohumu, diğer tohum çeşitlerine nazaran en çok AR-GE yatırımı yapılan, gelişmiş biyoteknolojik yöntemlerle ıslah edilerek üretilen ve katma değeri yüksek önemli bir ticari meta haline gelmiştir. Dünya tohum pazarında sebze tohumunun payı yaklaşık olarak %20 olup, ilerleyen yıllarda bu oranın artmaya devam edeceği öngörülmektedir (Anonim, 2019a). İhracatın ülkelerin ekonomik kalkınmalarına önemli etkisi olduğu bilinmektedir. Bu sebeple ihracat artışı ve dış ticaret fazlasının verilmesi, ülkelerin dış ticaret hedefleri arasındadır. Dış ticaret politikasını, ülkelerin belirlediği hedeflere ulaşmak için aldıkları tedbirler ve kararlar oluşturmaktadır (Sayın, 2003; Sayın, 2018).

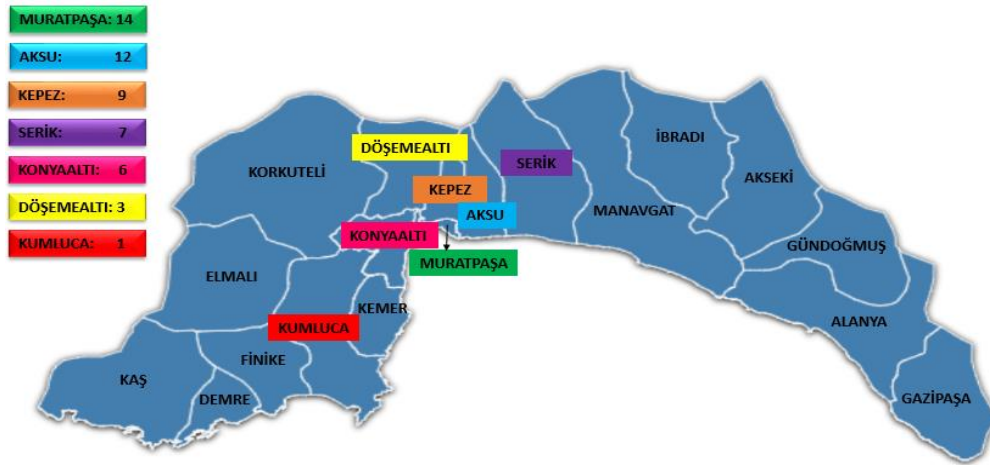
Türkiye'nin sebze tohumu ihracat miktarı 730 ton, değeri ise 20 milyon ABD dolarıdır. Sebze tohumu ithalat miktarı 1.145 ton, değeri ise 90 milyon ABD dolarıdır (Anonim, 2018). Bu verilerden ülkenin sebze tohumu dış ticaretinde miktar olarak 415 ton, değer olarak ise 70 milyon ABD doları düzeyinde bir açığın olduğu anlaşılmaktadır. Tohum dış ticaretinde sebze tohumu, diğer tohum türleri arasında miktar olarak en alt sıralarda yer alırken, değer olarak ilk sıralarda yer almaktadır. Bu da sebze tohumunun ülkenin gıda güvenliğinde ve tarımsal dış ticaretinde ne kadar önemli bir yere sahip olduğunun göstergesidir. Türkiye'nin 2023 hedefleri olarak belirtilen 500 milyon ABD dolarlık tohum ihracatıyla dünyada ilk 5 ülke arasında yer alabilmesi için tohumculuk sektörünün rekabetçiliğini sürekli artırması ve uygun desteklerin de sağlanması gerekmektedir.

Türkiye'nin 2018 yılı tarımsal üretim değeri 384.48 milyar TL ve bitkisel üretim değeri 158.87 milyar TL olup Antalya; 10.8 milyar TL bitkisel üretim değeri ile Türkiye'de birinci sırada ve 13.4 milyar TL tarımsal üretim değeri ile Konya ve İzmir'in ardından Türkiye'de üçüncü sıradadır (Anonim, 2019b). Türkiye'de sebze tohumu üretimi yapan 254 firmanın 89'u (%35) Antalya İlinde yer almaktadır. Türkiye, 2016 yılında miktar olarak toplam 362 ton, değer olarak ise toplam 22,4 milyon ABD doları sebze tohumu ihraç etmiştir. Antalya İli, sebze tohumu ihracatının miktar olarak %22 (81 ton)'sini, değer olarak da %71 (15.965.828 ABD doları)'ini gerçekleştirmiştir (Anonim, 2016). Tarım sektörünün rekabetçilik analizi hakkında çok sayıda çalışma bulunmamasına karşın var olan çalışmalar süt, meyve, kesme çiçek, hayvancılık ve genel tohumculuk konuları hakkındadır. Sebze tohumculuğu özelinde ise herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmanın amacı, Porter (1990)'ın Elmas Modeli yardımıyla Antalya İlindeki sebze tohumculuğu dış ticaret firmalarının küresel rekabet gücünün ortaya konulmasıdır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Araştırmanın ana kitlesi; Antalya İlinde sebze tohumu dış ticareti veya sebze tohumu üretimiyle beraber dış ticareti de yapan firmalardır. Antalya'da 2019 yılı verilerine göre, Tohum Sanayicileri ve Üreticileri Alt Birliği'ne üye 89 sebze tohumculuğu faaliyeti yürüten firma mevcuttur. Antalya İl Tarım ve Orman Müdürlüğü ve Antalya Tohum Tescil ve Sertifikasyon Merkez Müdürlüğü'nden elde edilen üye listelerine göre de 89 firmadan sadece 53'ü sebze tohumu dış ticareti yapmakta bazıları ise ayrıca tohum üretimini de gerçekleştirmektedir. Araştırma kapsamındaki firmalar; Antalya'nın Muratpaşa (14 firma), Aksu (12 firma), Kepez (9 firma), Serik (7 firma), Konyaaltı (6 firma), Döşemealtı (3 firma) ve Kumluca (1 firma) ilçelerinde yer almaktadırlar (Şekil 1).



Şekil 1. Araştırma alanı ve ilçelere göre ihracatçı firma sayıları (adet)

Yöntem

Veri toplama yöntemi

Antalya İlinde sebze tohumu üretim ve dış ticaret faaliyetlerini yürüten firmaların tamamı ile (52) yüz yüze görüşmeye dayalı anket çalışması planlanmıştır. Ancak 8 firmanın ankete katılmayı reddetmesi, 3 firmanın anket yapılan firmalarla birleşmiş olması ve 1 firmanın da faaliyet kolunu çim tohumu olarak değiştirmiş olmasından dolayı toplam 40 firmayla anket çalışması tamamlanmıştır.

Veri analizi yöntemi

Antalya İli örneğinde sebze tohumu dış ticaretinde sektörün rekabet analizinde Porter'ın Elmas Modelinden yararlanılmıştır. Elmas şeklinde tasarlanan modelin köşelerini 4 ana rekabet belirleyicisi ve 2 yardımcı rekabet belirleyicisi oluşturmaktadır. Rekabet üstünlüğünü belirlemeye yarayan Elmas Modeli, sistem yaklaşımı düzeyinde ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple ana değişkenler tek tek değil, bütün olarak rekabet üstünlüğünü belirlemektedirler. Yani; elmasın köşelerinde yer alan tüm faktörler birbirini etkileyerek dinamik bir sistem halinde çalışmaktadır (Bulu ve ark., 2006). Porter'ın ulusların rekabet avantajı hakkındaki çalışması, ticaretin temeli olarak karşılaştırmalı üstünlüklerden daha çok rekabetçi üstünlüğün önemini vurgulamaktadır. Karşılaştırmalı üstünlükler, kıt kaynakların verimli kullanımıyla ilgilenirken, rekabet avantajı kaynakların verimliliğinin artırılması ve etkin olarak yönetimiyle ilgilenmektedir (Keser, 2011).

Rekabet Elmas'ının ana ve yardımcı belirleyicileri şunlardır (Porter, 1990):

Girdi koşulları: Ülkenin, belirli bir sektörde rekabet edebilmek için sahip olduğu hammadde, bilgi kaynağı, fiziksel kaynaklar, insan kaynakları, teknolojik kaynaklar, sermaye kaynakları, altyapı, yenilik gücü ve yöneticinin yetenekleridir.

Talep koşulları: Endüstrinin ürün veya hizmetine yönelik iç pazar talebinin niteliğidir. Bir sektörün küresel bir sektör haline gelebilmesi için iç pazarda birçok ekonomik avantajların var olması gerekmektedir (Porter 1998). Talepteki artışın, rekabet gücü üzerine büyük etkisi vardır. Büyümekte olan bir iç pazar, üreticileri teknoloji geliştirmeye ve verimlilik artışına teşvik etmektedir. Müşterinin ürün ve hizmet kalitesinden beklentileri, firmaların veya ülkelerin rekabet edebilirliği için önemli bir teşvik sebebi olabilmektedir.

İlgili ve destekleyen sektörler: Ülkedeki tedarikçi endüstrilerin ve uluslararası alanda rekabet edebilecek diğer ilgili endüstrilerin bulunup bulunmadıkları ve coğrafi konumlanma (kümelenme) durumlarıdır. Bu endüstrilerle ilişki ve işbirliğine sahip olmak, ürün ve hizmetlerin gelişimini etkiler, ürün ve hizmetlerin kalitesini iyileştirir ve aynı zamanda rekabet edebilirliğin artırılmasına yardımcı olur.

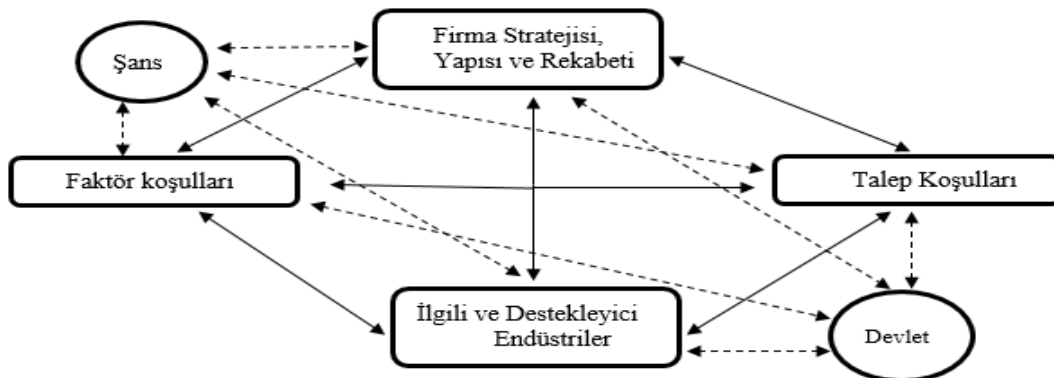
Firma stratejisi, yapısı ve rekabeti: Ülkedeki makroekonomik şartları, şirketlerin nasıl oluşturulduğu, organize edildiği ve yönetildiği, aynı zamanda iç rekabetin doğasını ve rekabetçiliği oldukça etkileyen koşullardır.

Elmas Modeli'nin yardımcı rekabet belirleyicileri ise şunlardır (Porter, 1990):

Devlet: Devlet, birçok sektörde bir alıcı veya tedarikçi konumu nedeniyle firmaların rekabet gücünü ve ulusal avantajlarını her düzeyde etkileyebilecek durumdadır. İzlediği politikalarla, sektör rekabetini etkileyebilir. Porter (2002), yerel rekabet yoğunluğunun, endüstrileri küresel rekabet ortamında avantajlı hale getirdiğini belirtmektedir. Devlet, sübvansiyonlar ve diğer yollarla, ikameleri olan bir sektörün konumunu da etkileyebilir.

Şans faktörü: Şans genellikle firmaların kontrolü dışında kalan teknolojiler, savaşlar, dış politik gelişmeler, kriz ve dış pazar talebindeki değişimler gibi olayları ifade etmektedir.

Elmas Modeli'ne göre; 4 ana ve 2 yardımcı rekabet belirleyicileri birbirlerini doğrudan ve dolaylı olarak etkilemektedir (Şekil 2). Dört ana belirleyici faktör, birbirini karşılıklı olarak etkilemektedir. Devlet ve şans faktörleri de, dolaylı olarak rekabet gücünü etkilemektedir. Örneğin; bilinçli tüketicilerin eksikliği, gelişmiş ürünlerin ortaya çıkmamasına neden olacaktır. Firmanın insan kaynağı eğitimi ve bilgi düzeyi düşüklüğü, müşterilerin ihtiyaçlarını karşılayamamalarına sebep olacaktır. Üretim faktörlerindeki dezavantajlar, rekabetin güçlü olduğu bir ortamda sürdürülebilir yatırımı ve yeniliği sağlayamayacaktır. Herhangi bir belirleyicideki zayıflık, bir endüstrinin ilerleme ve yükselme potansiyelini sınırlayacaktır.



Şekil 2. Ulusal rekabet avantajının belirleyicileri ve etkileşim durumları (Porter, 1990)

Elmas Model'indeki 4 ana faktörün ve 2 destekleyici faktörün alt değişkenlerini, sebze tohumculuğu sektörü özelinde belirleyerek anket formu oluşturmak için Growtech Eurasia 2018 fuarına katılan 19 sebze tohumu firmasıyla yapılan ön mülakatlardan ve literatür araştırması sonucu ikincil verilerden elde edilen bilgilerden yararlanılmıştır. Bu bilgiler ışığında sırasıyla aşağıdaki analizler yapılmıştır:

- Rekabet Elmas'ının belirleyicileri olan 4 ana faktörün ve 2 destekleyici faktörün, sektör özelinde tüm alt faktörleri belirlenmiştir.
- Ana ve alt faktörlerin “*durum*” dereceleri, 5'li Likert ölçeği ile belirlenmiştir. “*Durum*” ölçeklerinin açıklaması aşağıda yer almaktadır.

Durum ölçeği	1p: Çok yetersiz	2p: Yetersiz	3p: Orta	4p: Yeterli	5p: Çok yeterli
--------------	------------------	--------------	----------	-------------	-----------------

- Elmas Model'inde yer alan 4 ana faktörün ve 2 destekleyici faktörün her bir alt değişkeninin “*durum*” derecesi, Ağırlıklı Ortalama Ölçek Değeri aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$A. O. Ö. D. = \frac{\sum_{i=1}^F p_i \cdot f_i}{\sum_{i=1}^F p_i} \quad (\text{Eşitlik 1.})$$

A. O. Ö. D. : Ağırlıklı ortalama ölçek değeri

f_i : Alt değişkenlere ait frekans

p_i : Durum ölçek değeri puanı (i=1, 2, 3, 4, 5)

F : Toplam frekans

- Daha sonra her bir alt değişkene ait “ağırlıklı ortalama ölçek değerlerine” ilişkin “genel ortalama ölçek değeri” hesaplanmış ve rekabet gücü durumunu gösteren Çizelge 1'deki puan aralığından yararlanılarak “sektörün rekabet gücü düzeyi” belirlenmiştir.

Çizelge 1. Rekabet gücü düzeyini ölçmede kullanılan puan aralıkları

Durum dereceleri	Puan (p) aralığı
Çok zayıf	1.00 - 1.99
Zayıf	2.00 - 2.50
Orta	2.51 - 3.50
Güçlü	3.51 - 4.00
Çok güçlü	4.01 - 5.00

Araştırmada, sektörün küresel rekabet durumunu analiz etmek için Porter'ın Elmas Modeli'nde yer alan ana ve yardımcı rekabet belirleyicilerinin alt değişkenleri, sebze tohumculuğu sektörü özelinde belirlenmiştir. Model kapsamındaki gerekli veriler firmalardan anket yolu ile sağlanmış, anket soruları ise 5'li likert ölçeğine dayalı olarak hazırlanmıştır. Likert ölçeğinde kullanılan durum ifadeleri için faktör bazında güvenilirlik analizi yapılarak iç tutarlılık ölçülmüştür. Ölçeğin iç tutarlılığını test etmek için SPSS 22 paket programında Cronbach's Alpha sonuçları incelenmiştir. Güvenirlik katsayısının 0.7 ve üzerinde bulunması halinde ölçeğin güvenilirliğinin iyi ve yeterli olduğu kabul edilmektedir (Kılıç, 2016). Değişkenlerin iç güvenilirlik katsayılarının yeterli düzeyde olduğu görülmüştür. Bölüm I, II, III, IV ve V'de yer alan ifadeler 0.7 değerinin üzerindedir. Fakat bölüm VI'da yer alan, *şans faktörü* ifadesinin

durum boyutunun Cronbach's Alpha değeri olması gereken (0.7) değerinin biraz altında kalmıştır. Fakat araştırmanın önemli bir değişkeni, belirleyicisi ve istenen değere çok yakın olması nedeniyle, analiz kapsamından çıkartılmamıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Ölçek ifadeleri için güvenilirlik katsayıları analizi sonuçları

Bölüm no	İfadeler	Cronbach's Alpha ortalaması	Faktör sayısı
I (Durum)	Girdi koşulları	0.832	18
II (Durum)	Firma stratejisi, yapısı ve rekabeti	0.787	15
III (Durum)	İlgili ve destekleyici sektörler	0.817	10
IV (Durum)	Talep koşulları	0.751	15
V (Durum)	Devlet etkisi (rolü)	0.785	10
VI (Durum)	Şans faktörü	0.581	4

BULGULAR VE TARTIŞMA

Belirlenen 40 firmadan sağlanan veriler, Elmas Modeli'ndeki rekabet belirleyicileri ışığında analiz edilmiş ve sebze tohumculuğu sektörünün küresel rekabetçilik düzeyi belirlenmiştir.

Girdi Koşulları

Ana rekabet belirleyicilerinden olan “girdi koşulları” kapsamında; araştırma konusu ile ilgili olarak belirlenen 10 adet değişken ele alınmıştır. Firmaların kendilerini yeterli gördükleri konular arasında yurt dışı pazar hakkındaki bilgi düzeyleri (3.70p) ve teknolojik alet-makine varlığı (3.65p) gelmektedir. Firmaların kendilerini yetersiz gördükleri konular arasında ise vasıflı işçi yetersizliği (2.83p), vasıflı pazarlama ve satış elemanı varlığı (3.13p) ve vasıflı ıslahçı yetersizliği (3.30p) gelmektedir. Sebze tohumculuğu sektörünün “girdi koşulları” açısından küresel rekabet durumu, “orta (3.378p)” olarak belirlenmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Girdi koşulları değişkenleri

Değişkenler	Durum ölçek değeri					Toplam frekans	Ağırlıklı ortalama ölçek değeri (p)	
	1 p	2 p	3 p	4 p	5 p			
	Frekans							
1. Vasıflı ıslahçı varlığı	3	9	7	15	6	40	3.30	
2. Vasıflı Ziraat Mühendisi varlığı	1	9	8	17	5	40	3.40	
3. Vasıflı işçi varlığı	4	13	10	12	1	40	2.83	
4. Vasıflı yöneticiler varlığı	3	3	13	18	3	40	3.38	
5. Vasıflı dış ticaret uzmanı	2	8	9	17	4	40	3.33	
6. Vasıflı pazarlama ve satış elemanı	1	11	11	16	1	40	3.13	
7. Üretim alanı (sera/tarla) teknoloji düzeyi	2	5	8	22	3	40	3.48	
8. Teknolojik alet-makine varlığı	1	3	9	23	4	40	3.65	
9. Sermaye yeterliliği	2	5	8	18	7	40	3.58	
10. Yurtdışı pazar hakkında bilgi düzeyi	1	4	8	20	7	40	3.70	
Ağırlıklı ortalama ölçek değerleri toplamı	(A)	20	70	91	178	41	400	33.78
Genel ortalama ölçek değeri	(A/10 değişken) = (B)							3.378
Genel ortalama ölçek değerinin yer aldığı rekabet durumu ve puan aralığı						Orta Düzey (2.51p - 3.50p)		

Talep Koşulları

“Talep koşulları” kapsamında, daha önceden belirlenmiş olan 10 değişkenin durumu incelenmiştir. Firmaların en yeterli gördükleri başlıca talep konuları arasında; firmalar arası yerel rekabet yoğunluğu (4.38p), müşterilerin memnuniyet durumu (3.90p) ve iç talep yoğunluğu yer almaktadır. Firmalar açısından yetersiz durumda görülen başlıca konular; ihracat düzeyi (2.23p), alternatif ihracat pazarı bulma faaliyeti (2.63p) ve dış pazara ulaşım (2.68p) düzeyidir. Sebze tohumculuğu “talep koşulları” bakımından sektörünün küresel rekabet durumu, “orta (3.308p)” olarak saptanmıştır (Çizelge 4).

Çizelge 4. Talep koşulları değişkenleri

Değişkenler	Durum ölçek değeri					Toplam frekans	Ağırlıklı ortalama ölçek değeri (p)
	1p	2p	3p	4p	5p		
Frekans							
1. Ürün kalite standardı hakkında yerel müşteri baskısı	1	8	12	14	5	40	3.35
2. Ürün kalite standardı hakkında yabancı müşteri baskısı	3	3	7	16	11	40	3.73
3. Firmalar arası yerel rekabet yoğunluğu	0	1	3	16	20	40	4.38
4. İç talep yoğunluğu	0	3	4	28	5	40	3.88
5. Dış pazara ulaşım düzeyi	15	16	9	7	3	40	2.68
6. Yurtdışı talebi karşılama düzeyi	9	9	11	7	4	40	2.70
7. Müşterilerin memnuniyet durumu	0	2	4	30	4	40	3.90
8. İhracat düzeyi	15	10	7	7	1	40	2.23
9. Alternatif ihracat pazarı bulma faaliyeti	10	8	10	11	1	40	2.63
10. Satış pazarlama ağının etkinlik düzeyi	0	4	12	20	4	40	3.60
Ağırlıklı ortalama ölçek değerleri toplamı (A)	53	64	79	156	58	400	33.08
Genel ortalama ölçek değeri (A/10 değişken) = (B)							3.308
Genel ortalama ölçek değerinin yer aldığı rekabet durumu ve puan aralığı						Orta Düzey (2.51p - 3.50p)	

İlgili ve Destekleyici Sektörler

“İlgili ve destekleyici sektörler” kapsamında, 5 adet değişken incelenmiştir. Sebze tohumculuğu firmalarının yeterli gördükleri en temel konu olarak, tüm tedarikçilere olan coğrafi yakınlık ve ulaşım kolaylığı (3.68p) olarak belirlenmiştir. Alet-makine firmalarının uzmanlığı ve sebze tohumculuğu firmalarıyla olan iletişimi (3.35p), rekabet gücü açısından bu gruptaki en zayıf alan olarak belirlenmiştir. Sebze tohumculuğu sektörünün “ilgili ve destekleyici sektörler” açısından küresel rekabet durumu, “güçlü (3.54p)” olarak belirlenmiştir (Çizelge 5).

Çizelge 5. İlgili ve destekleyici sektör değişkenleri

Değişkenler	Durum ölçek değeri					Toplam frekans	Ağırlıklı ortalama ölçek değeri (p)
	1p	2p	3p	4p	5p		
Frekans							
1. Lojistik firmaları uzmanlığı ve firmanızla iletişimi	1	4	9	22	4	40	3.60
2. Ambalaj firmaları uzmanlığı ve firmanızla iletişimi	4	4	7	21	4	40	3.43
3. Alet-makine firmaları uzmanlığı ve firmanızla iletişimi	4	5	5	25	1	40	3.35
4. Tohum hattı üretin ilaahçı uzmanlığı ve firmanızla iletişimi	4	4	6	15	11	40	3.63
5. Tüm tedarikçilere olan coğrafi yakınlık ve ulaşım kolaylığı	3	2	5	25	5	40	3.68
Ağırlıklı ortalama ölçek değerleri toplamı (A)	16	19	32	108	25	200	17.69
Genel ortalama ölçek değeri (A/5 değişken) = (B)							3.54
Genel ortalama ölçek değerinin yer aldığı rekabet durumu ve puan aralığı						Güçlü Düzey (3.51p – 4.00p)	

Firma Stratejisi, Yapısı ve Rekabeti

“Firma stratejisi, yapısı ve rekabeti” kapsamında, sektörle ilgili önceden belirlenmiş 10 adet değişken incelenmiştir. Bunlardan rekabet gücünü arttırmak amacıyla firmaların yeterli olarak değerlendirdikleri konuların başında; ürün yeniliği faaliyetleri (3.73p) ve kapasite kullanım oranı (3.73p) gelmektedir. Firmalara göre rekabet düzeyini en az etkileyen değişkenler olarak ise AR-GE faaliyetlerinin küresel rekabet düzeyi (3.13p), markalaşma faaliyetleri (3.48p) ve modern yönetim ve organizasyon metotlarını uygulama düzeyi (3.48p) ön plana çıkmıştır. Sektörün “firma stratejisi, yapısı ve rekabeti” konusundaki küresel rekabet düzeyi ise “güçlü (3.55p)” olarak saptanmıştır (Çizelge 6).

Çizelge 6. Firma stratejisi, yapısı ve rekabeti değişkenleri

Değişkenler	Durum ölçek değeri					Toplam frekans	Ağırlıklı ortalama ölçek değeri (p)
	1p	2p	3p	4p	5p		
	Frekans						
1. AR-GE faaliyetlerinizin küresel rekabet düzeyi	5	6	11	15	3	40	3.13
2. Ürün yeniliği faaliyetleri	1	0	13	21	5	40	3.73
3. Verimlilik düzeyi	0	1	14	21	4	40	3.70
4. Kapasite kullanım oranı	0	3	9	24	4	40	3.73
5. Modern yönetim, organizasyon metodu uygulama	0	2	21	13	4	40	3.48
6. Yeni pazarlara girme faaliyetleri	0	5	14	16	5	40	3.53
7. Markalaşma faaliyetleri	0	8	9	19	4	40	3.48
8. Finansman planlaması faaliyetleri	1	4	9	22	4	40	3.60
9. Orta ve uzun vadeli yatırım stratejileri faaliyetleri	2	4	8	21	5	40	3.58
10. Uluslararası rekabete göre ürün kalitesi stratejisi	0	6	11	17	6	40	3.58
Ağırlıklı ortalama ölçek değerleri toplamı (A)	9	39	119	189	44	400	35.54
Genel ortalama ölçek değeri (A/10 değişken) = (B)							3.554
Genel ortalama ölçek değerinin yer aldığı rekabet durumu ve puan aralığı							Güçlü Düzey (3.51p – 4.00p)

Devlet Etkisi ve Rolü

Elmas Modeli'nin rekabet düzeyini ölçmede kullanılan yardımcı belirleyicilerinden olan “devlet” grubunda, 10 adet değişken incelenmiştir. Araştırma sonucuna göre bu grupta rekabet düzeyini en olumlu etkileyen konuların başında; tohumculuk faaliyetlerinde kamu denetimi (3.45p) ve sertifikasyon kontrollerinin etkinlik düzeyinin yeterliliği (3.45p) yer almıştır. Diğer yandan rekabet gücünü artırma çabaları açısından en yetersiz görülen konular arasında; ihracat teşviki çeşitleri ve miktarı (2.45p), AR-GE yatırım teşviki ve düzeylerinin yetersizliği (2.73p) ve dış ticarete yönelik yatırım teşviki çeşitleri ve düzeylerinin yetersizliği (2.73p) öne çıkmıştır. Sektörün devletin rolü konusundaki küresel rekabet düzeyi ise “orta (2.987p)” olarak tespit edilmiştir (Çizelge 7).

Şans Faktörü Etkisi

“Şans faktörü”, Elmas Modeli'nin bir diğer yardımcı belirleyicilerindendir. Bu grupta, önceki araştırmalardan öne çıkan 4 adet değişken ele alınmıştır. Firmalar döviz kurlarındaki dalgalanmaları (2.68p), rekabet gücünü en az düzeyde etkileyen veya destekleyen değişken olarak görmüştür. Toprak yapısı ve iklim koşulları (3.88p) küresel rekabet için en avantajlı konu olarak öne çıkmıştır. Sektörün “şans faktörü” genel etkisinden kaynaklanan küresel rekabet düzeyi, “orta (3.285p)” olarak tespit edilmiştir (Çizelge 8).

Çizelge 7. Devlet etkisi (rolü) değişkenleri

Değişkenler	Durum ölçek değeri					Toplam frekans	Ağırlıklı ortalama ölçek değeri (p)
	1p	2p	3p	4p	5p		
Frekans							
1. Kamu kuruluşlarıyla olan işbirliği ve iletişim düzeyi	2	6	12	17	3	40	3.33
2. İhracat teşviki çeşitleri ve düzeylerinin yeterliliği	9	10	15	6	0	40	2.45
3. AR-GE yatırım teşviki ve düzeylerinin yeterliliği	4	14	13	7	2	40	2.73
4. Girişimcilik teşvik çeşitleri ve düzeyleri yeterliliği	3	11	18	6	2	40	2.83
5. Tohumculuk faaliyetlerinde kamu denetimi	2	5	12	15	6	40	3.45
6. Vergi çeşitleri ve oranlarının sektöre uygunluğu	8	14	8	6	4	40	2.60
7. Yasal mevzuatın ihtiyacı karşılama düzeyi	3	7	18	11	1	40	3.00
8. Dış ticaret yatırım teşviki çeşitleri yeterlilik düzeyi	3	12	19	5	1	40	2.73
9. Sertifikasyon kontrolü etkinlik düzeyi yeterliliği	3	5	9	17	6	40	3.45
Çizelge 7.'nin devamı							
10. Karantina laboratuvar analizleri yeterliliği	5	3	12	15	5	40	3.30
Ağırlıklı ortalama ölçek değerleri toplamı (A)	42	87	136	105	30	400	29.87
Genel ortalama ölçek değeri (A/10 değişken) = (B)							2.987
Genel ortalama ölçek değerinin yer aldığı rekabet durumu ve puan aralığı						Orta Düzey (2.51p - 3.50p)	

Çizelge 8. Şans faktörü değişkenleri

Değişkenler	Durum ölçek değeri					Toplam frekans	Ağırlıklı ortalama ölçek değeri (p)
	1p	2p	3p	4p	5p		
Frekans							
1. Enerji kaynaklarına ulaşım düzeyi	2	3	6	29	0	40	3.55
2. Toprak yapısı, iklim koşullarının küresel rekabete uygunluğu	1	3	5	22	9	40	3.88
3. Döviz kuru dalgalanmasının rekabeti destekleme düzeyi	7	10	12	11	0	40	2.68
4. Bölgedeki politik gelişmelerin rekabete katkısı	6	6	11	15	2	40	3.03
Ağırlıklı ortalama ölçek değerleri toplamı (A)	16	22	34	77	11	160	13.14
Genel ortalama ölçek değeri (A/4 değişken) = (B)							3.285
Genel ortalama ölçek değerinin yer aldığı rekabet durumu ve puan aralığı						Orta Düzey (2.51p - 3.50p)	

SONUÇ

Araştırmanın en önemli sonucu, Antalya İlindeki tohumculuk firmalarının küresel ölçekte orta düzeyde (3.34p) bir rekabet gücüne sahip olmasıdır. Tohumculuk sektörünün ana belirleyicilerinden olan dış ticaret firma yapısı ve stratejisi ile ilgili ve destekleyici sektörler açısından rekabet gücü yüksek düzeyde iken, geri kalan ana belirleyiciler olan girdi ve talep koşulları ile birlikte yan belirleyiciler olan devlet etkisi ve şans faktörü bakımlarından orta düzeyde rekabet gücüne sahiptir. Bu sonuçlara göre de aşağıda belirtilen öneriler sunulabilir:

- Firmaların güçlü oldukları konularda “sürdürülebilirlik politikası”, orta düzeydeki konularda ise “geliştirme politikası” üzerinde yoğunlaşmaları önerilmektedir. Kamu politikalarının da, bu unsurları destekleyici yönde oluşturulması beklenmelidir.
- Her bir ana ve yardımcı rekabet belirleyicisinin en güçlü ve en zayıf değişkeni üzerinde odaklanılması, güçlü yönün etkilerinden yararlanılması ve zayıf yönün, firmaların rekabet gücünü olumsuz olarak etkilememesine dikkat edilmesi gerekmektedir. Firmaların stratejilerinin de bu hususlar çerçevesinde belirlenmelerinin önemli olduğu düşünülmektedir. Örneğin girdi koşulları

konusunda vasıflı işçilik talep koşullarında ihracat miktarı destekleyici sektörlerde alet makine uzmanlığı, firma stratejisinde AR-GE faaliyetleri kamu sektöründe ihracat teşvikleri konuları üzerinde önemle durulmalı ve rekabet gücünün daha da zayıflatıcı düzeylere inmesine izin verilmemelidir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından “FYL-2019-4955” nolu proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2016. Antalya İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, Antalya’da Tarım. <https://antalya.tarimorman.gov.tr/Menu/75/Antalyada-Tarim> (Erişim tarihi: 27.10.2019).
- Anonim, 2018. Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü tohumluk üretimi. https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/Belgeler/Bitkisel%20%C3%9Cretim/Tohumculuk/%C4%B0statistikler/kamu_ozel_uretim.pdf (Erişim tarihi: 12.10.2019).
- Anonim, 2019a. TÜRKTED, Ürün grupları bazlı Türkiye tohumculuk sektörü raporu. <http://turkted.org.tr/urun-gruplari-bazli-turkted-raporu.pdf> (Erişim tarihi: 25.10.2019).
- Anonim, 2019b. Antalya İl Tarım Müdürlüğü, Brifing. <https://antalya.tarimorman.gov.tr/Lists/SolMenu/Attachments/72/2019%20-%20ANTALYA%20%c4%b0L%20TARIM%20VE%20ORMAN%20M%c3%9cD%c3%9cRL%c3%9c%c4%9e%c3%9c%20%c3%87ALI%c5%9eMALARI.pdf> (Erişim tarihi: 26.10.2019).
- Anonymous, 2017. United Nations, United Nations News, <https://news.un.org/en/story/2017/06/560022-world-population-hit-98-billion-2050-despite-nearly-universal-lower-fertility> (Date of access: 24 October 2019).
- Anonymous, 2018. Statista, Statistics, <https://www.statista.com/statistics/262286/global-seeds-market-value/> (Date of access: 21 October 2019).
- Bulu M, Eraslan İH, Kaya H, 2006. Türk elektronik sektörünün rekabetçilik analizi. İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, (9): 49-66.
- Keser HY, 2011. Lojistik Sektörünün Rekabet Gücü Yönüyle Analizi: Türk Lojistik Sektörü İçin Bir Çalışma, Doktora tezi (Basılmamış), Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Kılıç S, 2016. Cronbach’ın Alfa Güvenirlik Katsayısı. Journal of Mood Disorders, 6 (1):47-8.
- Porter ME, 1990. The Competitive Advantage Of Nations. Harvard Business Review, (90211):73-93.
- Porter ME, 1998. Rekabet Stratejisi: Sektör ve Rakip Analizi Teknikleri. Agora Kitaplığı Yayınları No: 12761, s. 34-35, Çeviren: Gülen Ulubilgen, İstanbul-Türkiye.
- Porter ME, 2002. Competition and Antitrust: A Productivity-Based Approach. Harvard Business Scholl, Draft version. file:///C:/Users/user/Desktop/Porter%20Eserleri/053002antitrust_06eae678b707-457c-b139-18c38e45e786.pdf (Erişim tarihi: 18.03.2019).
- Sav O, Sayın C, 2015. Sebze tohumculuk sektörünün SWOT analizi ile incelenmesi: Antalya İli Örneği. Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi, 1 (1):17-28.
- Sayın C, 2003. Türkiye’de Tarımsal Destekleme Politikaları. Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, s.35-36, Ankara, Türkiye.
- Sayın, C. 2018. Tarım Ürünleri Dış Ticaret Politikası. Ders notları. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü, Antalya.

Farklı Karışım Oranları ve Biçim Dönemlerinin Yem Bezelyesi ile Arpa Karışımlarının Ot Verim Performansına Etkileri

Seyithan SEYDOŞOĞLU^{1*}

ÖZET: Çalışmanın amacı, farklı karışım oranı ile biçim dönemlerinin yem bezelyesi (*Pisum sativum* L.) ile arpa (*Hordeum vulgare* L.) karışımlarında verim performanslarına etkilerini belirlemektir. Araştırma, Diyarbakır GAP Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi Müdürlüğü arazisinde 2016-2017 yılı kışlık dönemde yürütülmüştür. Yem bezelyesinin GAP Pembesi, arpada ise Altıkat çeşitleri tohum materyali olarak kullanılmıştır. Araştırma, tesadüf bloklarında bölünmüş parseller deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Biçim zamanları ana parselleri, karışım oranları ise alt parselleri oluşturmuştur. Araştırmada biçim zamanlarını, karışımlarda yer alan arpa bitkisinin başaklanma ve süt olum dönemi olmak üzere 2 farklı dönem oluşturmuştur. Yalın olarak %100 yem bezelyesi (YB) ve arpa (A), karışım oranları ise %75 YB + %25 A, %50 YB + %50 A, %25 YB + %75 A'dan oluşmuştur. Çalışmada, biçim dönemi geciktikçe yem bezelyesinin ana sap uzunluğu, arpanın bitki boyu, yeşil ve kuru ot verimlerinde istatistiki yönden önemli artış meydana gelmiştir. Ot verimi yönünden %75 A + %25 YB karışımı ile arpanın süt olum dönemi diğer uygulamalardan daha üstün olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Biçim dönemi, karışım, yem bezelyesi, arpa, ot verimi.

The Effects of Different Mixture Ratio and Harvest Stage on Forage Yield Performance of Field Pea and Barley Mixtures

ABSTRACT: The aim of study was to determine the effects of mixture ratio and harvest stage on forage yield performance of field pea (*Pisum sativum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) mixtures. The study was conducted in the GAP International Agricultural Research and Training Center Directorate in 2016-2017 during winter season. GAP Pembesi pea and Altıkat barley varieties were used in the experiment. The study was carried out with 3 replications according to the experimental design of divided plots in random blocks. Harvest times were main plots and mixture ratios were sub-plots. Harvests were done in two different stage; spike emergence and milk period of seeds of barley. Mixture ratios were 100% peas; 75% peas + 25% barley, 50% peas + 50% barley, 25% peas + 75% barley and 100% barley. In the study, as the harvest stage was delayed, there was a important increase main stem length of forage peas, barley plant height and green herbage and dry matter yields. In terms of forage yield, it can be said that the milk stage of barley is superior to other treatments with 75% A + 25% YB mixture.

Keywords: Harvest stage, mixture, field pea, barley, foage yield

¹Seyithan SEYDOŞOĞLU (Orcid ID: 0000-0002-3711-3733), Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Seyithan SEYDOŞOĞLU, e-mail: seyithanseydosoglu@siirt.edu.tr

GİRİŞ

Çevresel maliyetleri düşürürken gelecekteki gıda taleplerini karşılayacak, sürdürülebilir bir tarımsal kalkınma faaliyetlerin acil olarak alınması gereklidir. Karışık ekim, verimli bir kaynak kullanımı yoluyla birim başına tarla verimliliğini artırabilmektedir (Chen ve ark., 2019). Büyüyen bir nüfusla sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için doğal kaynakları korurken, tarımın sürdürülebilir şekilde yoğun hale getirilmesi gerekmektedir. Ayrıca karışık ekim düşük girdili tarım sistemleri için de kullanışlıdır (Dai ve ark., 2019). Karışık ekim, genelde bitkinin beslenme düzeyini iyileştirmek için kullanılan bir tarımsal uygulamadır (Contreras ve ark., 2019). Yalın yetiştiriciliğe kıyasla karışık ekimlerde, bir sera gazı olan azot dioksit (N₂O) emisyonunun genellikle daha düşük olduğu gözlenmektedir. Bunun nedeni daha iyi N kullanım etkinliği yanında, rizosferde yer alan mikrobiyal organizmalardaki farklılıklar da rol oynadığı bilimektedir (Graf ve ark. 2019). Zararlılar nedeniyle gerçekleşen tarımsal kayıplar da, küresel ısınma senaryosunda önemli bir zorluk olarak karşımıza çıkmaktadır. Karışık ekim, kimyasal böcek ilacı kullanılmadan haşere kontrolünü de teşvik eden alternatif bir tarım uygulamasıdır (Allen-Perkins ve Estrada, 2019).

Azot fikse eden türler, tarımda toprak verimliliğini arttırmadaki avantajları iyi bilinen türlerdir (Vidal ve ark., 2019). Tahıl / baklagil karışım sistemlerinde karışımdaki tahıl yoğunluğu, azot arzı ile ürün N talebi arasındaki dengeyi etkileyebilmektedir (Fan ve ark., 2019). Tahıl-baklagil karışık ekimi, yem biyokütlesi üretimini, beslenme kalitesini ve parasal geri dönüşleri artırmak için en ekonomik ve etkili agronomik stratejiler arasındadır. Ayrıca, tahıl-baklagil karışık ekim sistemleri, uzun ömürlü bir toprak örtüsü sağlamanın getirdiği yabancı ot istilasının ve toprak erozyonunun azaltılması yanında, su kullanım etkinliğinin ve toprak verimliliğini arttırmada etkilidir (Iqbal ve ark. 2019). Hayvancılık sistemlerinde karışık ekimin benimsenmesi, baklagil tarımının tahıl sistemlerinde arttırılmasında bir araç olabilmektedir (Monti ve ark. 2019). Monti ve ark. (2019), bezelye-arpa karışımının, bakla içeren karışımlara kıyasla, müteakip makarnalık buğdayın daha iyi bir verim vermesini sağladığını, ayrıca bezelye-arpa karışımının azot kullanımında daha tamamlayıcı olduğunu ve rotasyonun genel sürdürülebilirliğini arttırdığını belirtmişlerdir.

Bu çalışmanın amacı, Diyarbakır kışlık ekim koşullarında farklı karışım oranı ile biçim dönemlerinin yem bezelyesi (*Pisum sativum* L.) ile arpa (*Hordeum vulgare* L.) karışımlarının ot verim performanslarına etkilerini belirlemektir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırmada, yem bezelyesinin (*Pisum sativum* L.) GAP Pembesi ve arpanın (*Hordeum vulgare* L.) Altikat çeşidi materyal olarak kullanılmıştır. Deneme, Diyarbakır koşullarında 2016-2017 yılı kışlık dönemde (10.11.2016) GAP Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi Müdürlüğü deneme arazisinde yürütülmüştür. Denemenin yürütüldüğü döneme ait bazı iklim verileri Çizelge 1'de verilmiştir. Deneme yerinin, 0-30 cm derinlikte toprağı, killi-tınlı bünyeye sahip olup, pH:7.75, organik madde %0.68 ve tuz sorunu olmayan bir yapıya sahiptir. Gerek iklim ve gerekse toprak özellikleri, araştırma konusu olan yem bezelyesi ve arpa tarımı açısından kısıtlayıcı herhangi bir etki göstermemektedir.

Araştırma, tesadüf bloklarında bölünmüş parseller deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Biçim dönemleri (BD) ana parselleri, karışım (K) oranları ise alt parselleri oluşturmuştur. Araştırmada biçim dönemlerinin, karışımlarda yer alan arpanın başaklanma ve süt olum dönemi olmak üzere 2 farklı dönem olarak belirlenmiştir. Arpa başaklanma dönemindeyken yem bezelyesinin çiçeklenme başlangıcı dönemine, arpa süt olum döneminde iken yem bezelyesi tam çiçeklenme dönemine rastlandığı gözlemlenmiştir. Yalın yem bezelyesi (YB) ve arpanın (A) yanı sıra, karışım

oranları ise %75 YB + %25 A, %50 YB + %50 A, %25 YB + %75 A'dan oluşmuştur. Araştırmada 2'si yalın 3'ü karışım olmak üzere 5 kombinasyon incelenmiştir.

Çizelge 1. Diyarbakır ilinin Eylül ile Haziran dönemi ve uzun yıllara ait bazı iklim verileri

Aylar	Ortalama Sıcaklık (°C)		Yağış (mm)	
	2016-2017	Uzun Yıllar	2016-2017	Uzun Yıllar
Eylül	24.2	24.8	5.2	4.1
Ekim	18.8	17.2	13.6	34.7
Kasım	8.2	9.2	52.0	51.8
Aralık	2.4	4.0	135.6	71.4
Ocak	1.5	1.8	20.6	68.0
Şubat	1.5	3.5	3.8	68.8
Mart	9.4	8.5	90.2	67.3
Nisan	12.8	13.8	98.8	68.7
Mayıs	18.8	19.3	30.6	41.3
Haziran	26.9	26.3	2.6	7.9
Toplam			453.0	484.0

Her parsel 6 m boyunda, 10 sıra, 20 cm sıra aralığında, markörle açılarak ve karışım türleri aynı sıraya karışık olarak tahıl mibzeri ile ekilmiştir. Ekimden önce parsellere 4 kg da⁻¹ saf azot ve 10 kg da⁻¹ saf fosfor olacak diamonyum fosfat (DAP) gübresi uygulanmıştır. Ekimde, saf olarak yem bezelyesinin 10 kg da⁻¹ ve arpanın 22 kg da⁻¹ ekim normu dikkate alınmıştır. Hasatta tüm parselin kenarından 2 sıra ve parsel başlarından 0.5 m kenar tesiri olarak bırakılarak ve her parselde net 1.6 x 5= 8 m² alanda hasat yapılmıştır.

Her parselde net alandan biçilen yeşil ot terazi ile tartılarak parsel yeşil ot verimleri saptanmıştır. Daha sonra parsel yeşil ot verimleri üzerinden gerekli hesaplamalar yapılarak dekara yeşil ot verimleri hesaplanmıştır (Anonim, 2018). Her parselden alınan 500 g'lık yaş örnekler, kurutma dolabında 60 °C'de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulduktan sonra hassas terazide tartılmıştır. Bu değerlerden faydalanılarak dekara kuru ot verimleri hesaplanmıştır. Botanik kompozisyon oranları, sadece bezelye ve arpa içeren karışımlarda tespit edilmiştir. Bu amaçla hasat esnasında karışım parsellerinden alınan 500'er g'lık yeşil ot örnekleri bezelye ve arpa türlerine ayrılarak hassas terazide yaş ağırlıkları bulunmuştur. Daha sonra bezelye ve arpa bitkilerinin ağırlıkları yeşil ot örneğinin ağırlığına oranlanarak botanik kompozisyon tespit edilmiştir. Böylece türlerin yeşil ota göre botanik kompozisyonu belirlenmiştir (Aşık, 2006). Alan eşdeğerlik oranı (AEO) karışım etkinliği Serin ve ark. (1998), Albayrak (2003) ile Karadağ ve Büyükburç (2004)'un çalışmalarından yararlanılarak aşağıdaki eşitlik aracılığıyla hesaplanmıştır.

$$AEO = \frac{\text{Karışık Ekimdeki A Bitkisinin Verimi}}{\text{Yalın Ekimdeki A Bitkisinin Verimi}} + \frac{\text{Karışık Ekimdeki B Bitkisinin Verimi}}{\text{Yalın Ekimdeki B Bitkisinin Verimi}}$$

AEO>1 ise karışık ekim verimi yalın ekim veriminden yüksektir.

AEO=1 ise karışık ekim verimi yalın ekim verimi ile aynıdır.

AEO<1 ise karışık ekim verimi yalın ekim veriminden düşüktür.

Çizelgelerde ilgili karakterlere ait araştırma sonuçları sunulmuş ve istatistiksel olarak analizleri, JUMP adlı hazır paket programı kullanılarak yapılmıştır (Kalaycı, 2005). Bir yıllık ortalama değerlere göre düzenlenen çizelgelerdeki En Küçük Önemli Fark (LSD, %5) değerleri, her çizelgenin alt bölümünde verilmiş ve önemsiz bulunanlar Ö.D ile simgelenmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Biçim dönemlerinin farklı karışım oranlarında yetiştirilen yem bezelyesi + arpa karışımlarında arpanın bitki boyu ve yem bezelyesi ana sap uzunluğu değerleri bakımından biçim dönemleri (BD), karışım oranları (K) ve biçim dönemi*karışım oranları interaksyonları istatistiki açıdan önemli bulunmuştur (Çizelge 2). Biçim dönemi geciktikçe, yem bezelyesi ana sap uzunluğu ile arpanın bitki boyu değerleri bakımından önemli yönden artış meydana gelmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Çalışmada yer alan türlerin ana sap uzunluğu ile bitki boyu

Karışımlar	Yem Bezelyesi Ana Sap Uzunluğu (cm)			Arpa Bitki Boyu (cm)		
	Biçim Dönemleri			Biçim Dönemleri		
	Başaklanma	Süt olum	Ortalama	Başaklanma	Süt olum	Ortalama
%100 YB / A	100.3d	109.0cd	104.7C*	127.0c	136.7ab ¹	131.8B
%25 YB +%75 A	127.3b	120.3b	123.8B	134.7a-c	142.3a	138.5A
%50 YB+ %50 A	116.7bc	141.7a	129.2AB	116.7d	134.0bc	125.3C
%75YB + %25A	143.3a	141.7a	142.5A	136.0ab	135.7ab	135.8AB
Ortalama	121.9B	128.2A ⁺	125.0	128.6B	137.2A	132.9
BD	5.49**			4.03**		
LSD (0.05) K	16.64**			5.80**		
İnteraksiyon	11.01**			8.05**		

*Aynı sütunda bulunan, baş harfi aynı olanların ortalaması, LSD testine göre $P \leq 0.05$ seviyesinde istatistiki olarak birbirinden farklı değildir.

⁺Aynı satırda bulunan, baş harfi aynı olanların ortalaması, LSD testine göre $P \leq 0.05$ seviyesinde istatistiki olarak birbirinden farklı değildir.

¹Aynı küçük harfe sahip, farklı uygulama-hasat zamanı kombinasyonlarının ortalaması, LSD testine göre $P \leq 0.05$ seviyesinde istatistiki olarak birbirinden farklı değildir.

Karışımındaki yem bezelyesi oranı artıkça, yem bezelyesi ana sap uzunluğu 123.8 cm'den 142.5 cm'ye artmıştır (Çizelge 2). Farklı bir şekilde, karışımındaki yem bezelyesi oranı artıkça, arpa bitki boyunda değişimler meydana gelmiştir. Karışımındaki yem bezelyesi oranı ile biçim dönemlerindeki değişiklikler, yem bezelyesi ana sap uzunluğu ile arpa bitki boyu değerlerinde farklılıklara neden olmuştur. Bunun sonucunda, karışım oranı*biçim dönemleri interaksyonları da önemli bulunmuştur. Birçok araştırmacı, karışımındaki baklagil oranının artması sonucu ana sap uzunluğu ile bitki boyunda değişimler olduğunu bildirmişlerdir (Anwar ve ark., 2010; Kavut ve ark. 2014; Kır ve ark. 2018).

Yem bezelyesi + arpa karışımlarında yeşil ot verimi yönünden karışım oranları ve biçim dönemlerinin etkileri istatistiki yönden önemli iken, K*BD interaksyonu ise istatistiki açıdan önemsiz bulunmuştur (Çizelge 3). Kuru ot verimi incelendiğinde; BD ve K ile K*BD interaksyonu istatistiki yönden önemli olduğu tespit edilmiştir. Biçim dönemleri geciktikçe yeşil ile kuru ot verimlerinde artışlar olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 3). Başaklanma döneminden süt olum dönemine geçince, yeşil ot verimi 4179.3 kg da⁻¹'dan 5433.1 kg da⁻¹'a, kuru ot verimi de benzer şekilde 1310.5 kg da⁻¹'dan 1735.6 kg da⁻¹'a yükselmiştir. Kır ve ark. (2018) farklı biçim dönemlerinin Macar fiği + tahıl karışımlarında, tahılların karınlanma döneminden süt olum dönemine geçişte hem yeşil hem de kuru ot verimlerinde artış olduğunu bildirmesi, elde edilen sonucu doğrulamaktadır.

Karışımındaki yem bezelyesi oranı artıkça yeşil ot veriminde azalış gösterirken, kuru ot veriminde ise değişkenlik göstermiştir (Çizelge 3). En yüksek yeşil ve kuru ot verimi %75 A+ %25 YB karışımından elde edilirken, en düşük ise %100 YB yalın parselden elde edilmiştir. Karışımlarda yer alan baklagillerin oranı artıkça yeşil ile kuru ot verimlerinde değişkenlik gösterdiğini bir çok araştırmacı da bildirmiştir (Kavut ve ark. 2014; Kır ve ark. 2018). Araştırma sonuçlarına göre yüksek bitki boyu ve yeşil ot verimi elde edilen karışımların kuru ot verimleri de yüksek olmuştur. Diğer bir ifadeyle, kuru ot verimi ile yeşil ot verimi arasında olumlu bir ilişki vardır. Nitekim Karakurt (2014)'te bu ilişkiyi

doğrulamaktadır. Bununla birlikte vejetasyon dönemleri başaklanma döneminden süt olum dönemlerine ilerledikçe, yeşil ot verimindeki artışla birlikte kuru ot veriminde de artış meydana gelmiştir.

Çizelge 3. Araştırmada yer alan saf türlerin ve karışımlarının yeşil ve kuru ot verimleri (kg da⁻¹)

Karışımlar	Yeşil Ot Verimi (kg da ⁻¹)			Kuru Ot Verimi (kg da ⁻¹)		
	Biçim Dönemleri			Biçim Dönemleri		
	Başaklanma	Süt olum	Ortalama	Başaklanma	Süt olum	Ortalama
%100A	4509.7	5541.7	5025.7B*	1582.3d	1774.0bc ¹	1678.2B
%100YB	1723.3	3254.3	2488.8C	340.7f	868.3e	604.5C
%75A + %25YB	5497.3	7177.0	6337.2A	1476.7d	2285.7a	1881.2A
%50 A+ %50YB	4634.7	5732.3	5183.5B	1613.3cd	1797.0bc	1705.2B
%25A + %75YB	4531.7	5460.3	4996.0B	1539.3d	1953.0b	1746.2B
Ortalama	4179.3B	5433.1A ⁺	4806.2	1310.5b	1735.6a	1523.0
BD		490.62**			84.74**	
LSD (0.05) K		321.93**			153.48 **	
İnteraksiyon		Ö.D			189.50 **	

*Aynı sütunda bulunan, baş harfi aynı olanların ortalaması, LSD testine göre P≤0.05 seviyesinde istatistiki olarak birbirinden farklı değildir.

⁺Aynı satırda bulunan, baş harfi aynı olanların ortalaması, LSD testine göre P≤0.05 seviyesinde istatistiki olarak birbirinden farklı değildir.

¹Aynı küçük harfe sahip, farklı uygulama-hasat zamanı kombinasyonlarının ortalaması, LSD testine göre P≤0.05 seviyesinde istatistiki olarak birbirinden farklı değildir.

Çizelge 4. Karışımlarda yer alan türlerin kuru ve yeşil otta yem bezelyesi oranı (%)

Karışımlar	Kuru Otta Yem Bezelyesi Oranı (%)			Yeşil Otta Yem Bezelyesi Oranı (%)		
	Biçim Dönemleri			Biçim Dönemleri		
	Başaklanma	Süt Olum	Ortalama	Başaklanma	Süt Olum	Ortalama
%25 YB + %75 A	5.6	4.2	8.9B*	9.3	5.4	7.3B
%50 YB + %50 A	6.5	5.6	6.0B	9.7	8.6	9.1B
%75 YB + %25 A	18.2	12.7	15.4A	20.1	14.5	17.3A
Ortalama	7.5B	10.1A ⁺		13.0A	9.5B	
Biçim dönemi		2.00			2.75	
LSD (0.05) Karışımlar		4.98			2.86	
İnteraksiyon		Ö.d			Ö.d	

*Aynı sütunda bulunan, baş harfi aynı olanların ortalaması, LSD testine göre P≤0.05 seviyesinde istatistiki olarak birbirinden farklı değildir.

⁺Aynı satırda bulunan, baş harfi aynı olanların ortalaması, LSD testine göre P≤0.05 seviyesinde istatistiki olarak birbirinden farklı değildir.

Çizelge 4 incelendiğinde, biçim dönemi ve karışımlar kuru ve yeşil otta yem bezelyesi oranlarına etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Biçim dönemleri geciktikçe kuru otta yem bezelyesi oranında artış olurken, yeşil otta yem bezelyesi oranında ise düşüş olduğu tespit edilmiştir. Karışımdaki yem bezelyesi oranı arttıkça hem kuru otta hem de yeşil otta yem bezelyesi oranı artmaktadır. Aşık (2006) karışımdaki yem bezelyesi oranının artması yeşil ve kuru otta da artışlar olduğunu bildirmiştir. Kır ve ark. (2018) karışımda yer alan baklagil yem bitkisinin oranının artması kuru otta benzer şekilde artış meydana getirdiğini rapor etmişlerdir.

Biçim dönemi, karışım ve interaksiyonların alan eşdeğerlik oranına etkisi, istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir (Çizelge 5). Karışımların yalın ekimlerden daha verimli olduğu tespit edilmiştir. Pek çok araştırmacı, karışımlarda karışımı oluşturan türlerin yalın ekimlerinden daha yüksek verim aldıklarını bildirmişlerdir (Rakeih ve ark. 2010; Seyedeh ve ark. 2010; Kır ve ark. 2018).

Çizelge 5. Karışımlarda yer alan türlerin alan eşdeğerlik oranı (%)

Karışımlar	Alan Eşdeğerlik Oranı (%)		
	Başaklanma	Süt Olum	Ortalama
%25 YB + %75 A	1.0	1.1	1.1
%50 YB + %50 A	1.2	1.1	1.2
%75 YB + %25 A	1.6	1.0	1.3
Ortalama	1.3	1.1	
LSD _(0.05)	Biçim dönemi	Ö.D	
	Karışımlar	Ö.D	
	İnteraksiyon	Ö.D	

SONUÇ

Diyarbakır kışlık ekim koşullarında yem bezelyesi + arpanın yalın ve farklı karışımları için ot verimi, biçim dönemleri ile birlikte değerlendirildiğinde; %75 A + %25 YB karışımının diğer uygulamalara göre daha üstün olduğu, karışımdaki arpanın süt olum döneminde biçilmesi uygun olduğu söylenebilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM) tarafından TAGEM/17A07/P7/004 nolu proje ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı TAGEM'e teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- Albayrak S, 2003. Ankara ekolojik koşullarında yapay mera kurulması üzerine bir araştırma, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmış).
- Allen-Perkins A, Estrada E, 2019. Mathematical modelling for sustainable aphid control in agriculture via intercropping. *Proceedings of the Royal Society A*, 475 (2226).
- Anonim, 2018. Tarımsal Değerleri Ölçme Denemeleri Teknik Talimatı, Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkezi Müdürlüğü, Ankara.
- Aşık FF, 2006. Bezelye (*Pisum sativum* L.) ve arpa (*Hordeum vulgare* L.) karışımlarında karışım oranları ve biçim zamanlarının otun verimi ile kalitesi üzerine etkileri, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Chen P, Song C, Liu XM, Zhou L, Yang H, Zhang X, Wang XC, 2019. Yield advantage and nitrogen rate in an additive maize-soybean relay intercropping system. *Science of the Total Environment*, 657: 987-999.
- Contreras F, Díaz J, Rombolà AD, De La Luz Mora M, 2019. Prospecting intercropping between subterranean clover and grapevine as potential strategy for improve grapevine performance. *Current Plant Biology*, 100-110.
- Dai J, Qiu W, Wang N, Wang T, Nakanishi H, Zuo YM, 2019. From Leguminosae/Gramineae intercropping systems to see benefits of intercropping on iron nutrition. *Frontiers in Plant Science*, 10, 605.
- Fan Z, Zhao Y, Chai Q, Zhao C, Yu A, Coulter JA, Cao W, 2019. Synchrony of nitrogen supply and crop demand are driven via high maize density in maize/pea strip intercropping. *Scientific Reports*, 9(1):10954.

- Graf D. R, Saghaï A, Zhao M, Carlsson G, Jones CM, Hallin S, 2019. Lucerne (*Medicago sativa*) alters N₂O-reducing communities associated with cocksfoot (*Dactylis glomerata*) roots and promotes N₂O production in intercropping in a greenhouse experiment. *Soil Biology and Biochemistry*, 137:107547
- Karadağ Y, Büyükburç U, 2004. Forage qualities, forage yields and seed yields of some legume-triticale mixtures under rainfed conditions. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 54(3): 140-148.
- Kavut YT, Geren H, Soya H, Avcioğlu R, Kır B, 2014. Karışım oranı ve hasat zamanlarının bazı yıllık baklagil yem bitkileri ile İtalyan çimi karışımlarının kışlık ara ürün performansına etkileri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 51(3): 279-288.
- Kalaycı, M., 2005. Örneklerle Jump kullanımı ve tarımsal araştırma için varyans analizi modelleri. *Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları*, Yayın No: 21
- Kır H, Karadağ Y, Yavuz T, 2018. The factors affecting yield and quality of hungarian vetch+cereal mixtures in arid environmental conditions. *Fresenius Environmental Bulletin* 27(12A) :9049-9059.
- Monti M, Pellicanò A, Pristeri A, Badagliacca G, Preiti G, Gelsomino A, 2019. Cereal/grain legume intercropping in rotation with durum wheat in crop/livestock production systems for Mediterranean farming system. *Field Crops Research*, 240, 23-33.
- Iqbal MA, Hamid A, Ahmad T, Siddiqui MH, Hussain I, Ali S, Ahmad Z, 2019. Forage sorghum-legumes intercropping: effect on growth, yields, nutritional quality and economic returns. *Bragantia*, 78(1), 82-95.
- Rakeih N, Kayyal H, Larbi A, Habib N, 2010. Forage potential of triticale in mixtures with forage legumes in rainfed regions (Second and Third Stability Zones) in Syria. *Jordan Journal of Agricultural Science*, 6(2): 194-207.
- Seyedeh Habibi D, Kashani A, Paknejad F, Jafary H, Al-Ahmadi M, AjJ, Tookaloo MR, Lamei J, 2010. Evaluation of hairy vetch (*Vicia villosa* Roth) in pure and mixed cropping with barley (*Hordeum vulgare* L.) to determine the best combination of legume and cereal for forage production. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 5 (2), 169-176.
- Serin Y, Gökkuş A, Tan M, Koç A. Çomaklı B, 1998. Suni çayır tesisinde kullanılabilecek uygun yem bitkileri ve karışımlarının belirlenmesi, *Tr. J. of Agriculture and Forestry*, 22 (1998), 13-20.
- Vidal DF, Trichet P, Puzos L, Bakker MR, Delerue F, Augusto L, 2019. Intercropping N-fixing shrubs in pine plantation forestry as an ecologically sustainable management option. *Forest Ecology and Management*, 437, 175-187.

Bazı Yağlık Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) Çeşitlerinin Önemli Kalite Özelliklerinin Tespiti Üzerine Bir Araştırma

Ali Rahmi KAYA¹, Tamer ERYİĞİT²

ÖZET: Bu denemede, Kahramanmaraş şartlarında yetiştirilen 10 farklı yağlık ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) çeşidinde kalite özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma Kahramanmaraş Doğu Akdeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsüne ait deneme arazisinde 2016 yılında yürütülmüştür. Denemede materyal olarak Coral, 13 TR 001, P64G46, Saray, LG 5580, Bosfora, SY Cadix, Goldsun, P 64LL 05, Tarsan 1018 yağlık ayçiçeği çeşitleri kullanılmıştır. Denemede, yağ oranı, miristik asit, palmitik asit, palmiteloik asit, heptadesenoik asit, stearik asit, oleik asit, linoleik asit, linolenik asit, araşidik asit, eikosenoik (gadoleik) asit, behenik asit ve lignoserik asit oranları, yağ stabilite değerlerinden O/L (oleik asit/linoleik asit) oranı, iyodin değeri ((%P x 1.001) + (%O x 0.899) + (%L x 1.814)), yağ kalite faktörlerinden U/S (doymamış yağ asitleri/doymuş yağ asitleri) oranı, yüz dane ağırlığı ve dane verimi incelenmiştir. Araştırmada elde edilen sonuçlara göre, İncelenen özellikler bakımında çeşitler arasındaki farklılıkların tümü önemli bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar, çeşitlerin yağ oranının %38.12-%43.55, oleik asit içeriğinin %46.96 - %86.38, linoleik asit içeriğinin %7.45 - %44.92, linolenik asit içeriğinin %0.205 - %0.307, dane veriminin ise 1782 kg ha⁻¹ - 3178 kg ha⁻¹ arasında değiştiğini göstermiştir. Yağ oranı % 43.55 ile en yüksek olan Tarsan 1018 çeşidinde stearik asit (%4.202) ve linolenik asit (%0.307) en yüksek bulunurken, U/S oranı (%8.81) ve dane verimi (1782 kg ha⁻¹) en düşük bulunmuştur. P64G46 çeşidinde dane verimi (3178 kg ha⁻¹), linoleik asit (% 44.92) ve İD (123.79) en yüksek bulunmuş, yine 13 TR 001 çeşidinde ise heptadesenoik asit (%0.099), oleik asit (%86.38), eikosenoik asit (%0.224), lignoserik asit (%0.340), O/L oranı (%11.71) ve U/S oranı (%11.93) en yüksek bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Helianthus annuus* L., kalite, yağ asitleri, yağlık ayçiçeği, yağ oranı

A Research on Determination of Important Quality Properties of Some Oilseed Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Cultivars

ABSTRACT: In this experiment, it was aimed to determine the quality characteristics of 10 different oilseed sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars grown under Kahramanmaraş ecological conditions. The research was carried out in 2016 in the trial area of Kahramanmaraş East Mediterranean Transitional Zone Agricultural Research of Institute. In the experiment, Coral, 13 TR 001, P64G46, Saray, LG 5580, Bosfora, SY Cadix, Goldsun, P 64 LL 05 and Tarsan 1018 oilseed sunflower varieties were used. Oil ratio, myristic acid, palmitic acid, palmiteloic acid, heptadecanoic acid, stearic acid, oleic acid, linoleic acid, linolenic acid, arachidic acid, eicosenoic (gadoleic) acid, behenic acid and lignoceric acid ratio, O/L (oleic acid/linoleic acid) ratio, one of the oil stability criteria, iodine value ((%P x 1.001) + (%O x 0.899) + (%L x 1.814)), U/S (unsaturated fatty acids / saturated fatty acids) ratio of oil quality factors, hundred seed weight and grain yield were investigated. According to the results, the difference between varieties was found to be very important for all of the traits studied. The data of the study showed that the varieties have oil ratio between 38.12% - 43.55%, oleic acid content between 46.96% - 86.38%, linoleic acid content between 7.45% - 44.92%, linolenic acid content between 0.205% - 0.307% and grain yield between 1782 - 3178 kg ha⁻¹. In the variety of Tarsan 1018, which has the highest oil rate with 43.55%; stearic acid (4.20%), linoleic acid (0.307%) are highest, while U/S ration (8.81%) and grain yield (1782 kg ha⁻¹) were lowest. Grain yield (3178 kg ha⁻¹), linoleic acid (44.92%) and iodine value (123.79) were the highest in P64G46 variety. However, in 13 TR 001 variety, heptadesenoic acid (0.099%), oleic acid (86.38%), eidosenoic acid (0.224%), lignoseric acid (0.340%), O/L ratio (11.71%) ve U/S ratio (11.93%) were highest.

Key Words: Fatty acids, *Helianthus annuus* L., oil ratio, oilseed sunflower, quality

¹Ali Rahmi KAYA (Orcid ID: 0000-0003-0318-6034), Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

²Tamer ERYİĞİT (Orcid ID: 0000-0001-5069-8206) Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Gevaş Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Van, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tamer ERYİĞİT, e-mail: tamiyigit@hotmail.com

GİRİŞ

Bitkisel yağ ve mamulleri sektörünün ilerlemesiyle, Dünyada ve Türkiye’de yağlı tohumların tarımı, son çeyrek asırda büyük bir ivme kazanmıştır. Bitkisel yağa olan taleple birlikte biyoyakıt talebinin de artması, yağlı tohum üretimini olumlu etkilemektedir. Küresel gıda ihtiyacının daha fazla olduğu günümüzde, yağ üretimi ön plana çıkmakta, işleme sonucu oluşan küspe de yem olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, açık sarı renkli, berrak, kendine özgü tat, koku ve akışkanlıkta olan ayçiçek yağının üretimiyle de yüksek protein içeriğine sahip değerli bir yan ürün olan yağsız küspe elde edilir.

Yağlık ve çerezlik olarak yetiştirilen ayçiçeği, sahip olduğu yüksek yağ oranı (%22-50) sebebiyle dünya yağlı tohum üretiminde önemli bir yere sahiptir. Dünya ayçiçeği üretiminin yaklaşık %90’ı yağ, geriye kalan kısmı ise çerezlik amaçlı yapılmaktadır (Anonim, 2020a).

Küresel düzeyde palm, soya, kolza gibi yağlı tohumların üretiminde belli başlı ülkeler söz sahibi iken, ayçiçek dünyada birçok farklı coğrafyaya sahip ülkelerde yetiştirilmesine rağmen üretimi, dünya bitkisel yağ üretim değerinin (palm, soya, kanola, ayçiçeği, pamuk, yerfıstığı, mısır, hindistan cevizi, zeytin, susam, keten ve aspir) ancak %10’unu bulmaktadır. 2018 yılı dünya yağlı tohumlar ve bitkisel ham yağ üretim verilerine göre, ayçiçeği üretiminin 51.96 milyon ton ile soya fasulyesi, kanola, palm çekirdeği üretiminden sonra 4. sırada yer aldığı ve ham yağ üretimi bakımından ise 15.85 milyon ton ile yine aynı sırada bir üretime sahiptir. Türkiye’de ise bu sıralamanın ayçiçeği, pamuk çiğidi, yerfıstığı, soya fasulyesi, kolza, aspir, susam şeklinde sıralanmaktadır (Anonim, 2020b).

Yağlık ayçiçeği, adaptasyon ve mekanizasyon oranı oldukça yüksek, kolay pazarlanabilen ve tüketicilerce en çok tercih edilen, Türkiye’nin en önemli yağ bitkisidir. Türkiye’de yağlık ayçiçeği, ekseriyetle Trakya Bölgesi, Konya ve Adana’da üretilmektedir. 2019 yılı itibarıyla Tekirdağ (%17.55), Konya (%15.32), Adana (%13.58), Edirne (%12.80) ve Kırklareli (%10.82) yağlık ayçiçeği üretiminin %70.07’sini oluşturmaktadırlar. Kahramanmaraş’ın ise Türkiye çerezlik ayçiçeği üretiminin %13.54’ünü oluşturmasına karşın, yağlık ayçiçeği üretiminde %0.15 gibi düşük bir üretim değerine sahip olduğu görülmüştür (Anonim, 2020c).

Bitkisel yağlar elde edildiği bitkiye ve içerdikleri yağ asitlerinin çeşitlerine ve oranlarına göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle, beslenme zincirinde yer alması zorunluluk arz eden yağlara ait yağ asitleri oranının ve kompozisyonunun bilinmesi, daha uygun amaçlar için kullanılmasına imkân sağlayacaktır.

Tabii yağların yağ asitleri genelde düz zincir türevleri şeklinde doymuş (saturated) ve doymamış (unsaturated) yağ asitleri diye 2 farklı şekilde sınıflandırılır. Sahip olduğu karbon atomlarını birbirine bağlayan tek bir kovalent bağ (-C-C-) içeren (Nas ve ark., 2001) ve genelde oda sıcaklığında katı halde olan doymuş yağ asitleri içerisinde (araşidik asit (C20:0), behenik asit (C22:0), laurik asit (C12:0), lignoserik asit (C24:0), miristik asit (C14:0), palmitik asit (C16:0) ve stearik asit (C18:0)) yer alan palmitik ve stearik asit bitkisel yağların ihtiva ettiği en yaygın doymuş yağ asitleridir (Karaca ve Aytaç, 2007). Karbon zincirinde, karbon atomlarını birbirine bağlayan bir veya daha fazla kovalent çift bağ içeren doymamış yağ asitleri tekli doymuş (monounsaturated) yağ asitleri (eikosenoik (gadoleik) asit (C20:1), heptadesenoik asit (C17:1), oleik asit (C18:1) ve palmitoleik asit (C16:1)) ve çoklu doymamış (polyunsaturated) yağ asitleri (araşidonik (C20:4), dokosaheksaenoik (C22:6), eikosapentaenoik (C22:5), linoleik asit (C18:2) ve linolenik (C18:3)) olarak gruplandırılmaktadır (Karaca ve Aytaç, 2007).

Doymamış yağ asitleri oranı yüksek bitkisel yağlardan biri olan ayçiçeği yağı, yemeklik yağ kalitesi açısından bitkisel yağlar içerisinde en çok tercih edilen yağdır. Ayçiçeği yağı %15 doymuş ve

%85 doymamış yağ asidi (%14-43 oleik asit ve %44-75 linoleik asit) içermekte ve doymamış yağ asitleri oranının yüksek olması sebebiyle insan beslenmesi açısından önem arz etmektedir (Tosun, 2003).

Bu çalışmada, Kahramanmaraş ekolojik koşullarında yetiştirilen bazı yağlık ayçiçeği çeşitlerinin verim ve kalite özelliklerinin ortaya konması amaçlanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Çalışmada, Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nden temin edilen ve Kahramanmaraş ekolojik koşullarında Doğu Akdeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma İstasyonu Müdürlüğü arazisinde 2016 yılında ana ürün olarak yetiştirilen 10 adet (Coral, 13 TR 001, P64G46, Saray, LG 5580, Bosfora, Sy Cadix, Goldsun, P 64 LL05 ve Tarsan 1018) yağlık ayçiçeği çeşidi kullanılmıştır.

Deneme yerinin toprak özellikleri

Çizelge 1'de izlendiği gibi, denemenin yürütüldüğü alanın pH değeri 8.09 ile hafif alkali yapıda, fazla kireçli (%19.45), potasyum ve fosfor bakımından zengin tınlı yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 1. Deneme alanı topraklarının bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri (*)

Özellikler	Değerler	Yorumlar
Derinlik (cm)	0-30	
Su ile Doygunluk (%)	49.50	Tınlı
pH	8.09	Hafif Alkali
Organik Madde (%)	1.23	Az
Kireç CaCO ₃ (%)	19.45	Fazla Kireçli
Tuzluluk (%)	0.65	Tuzsuz
Fosfor P ₂ O ₅ (kg da ⁻¹)	18.00	Çok Yüksek
Potasyum K ₂ O (kg da ⁻¹)	45.95	Yüksek

(*) Toprak Analizleri Doğu Akdeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Toprak Analiz Laboratuvarında yapılmıştır.

Deneme yerinin iklim özellikleri

Kahramanmaraş, Türkiye'nin Doğu Akdeniz Bölgesinde olup Akdeniz ikliminin etkisi altındadır. Yazları sıcak ve kurak kışları ılık ve yağışlı geçmektedir. Denemenin yürütüldüğü 2016 yılına ait sıcaklık, yağış ve nispi nem değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Kahramanmaraş'ın Nisan-Eylül aylarına ait 2016 yılı ve uzun yıllar (1926-2016) iklim değerleri

Aylar	Ortalama Sıcaklık (°C)			Toplam Yağış (mm)		
	2016	Uzun Yıllar (1926-2016)	Fark	2016	Uzun Yıllar (1926-2016)	Fark
Nisan	19.60	15.50	4.10	17.60	73.40	-55.8
Mayıs	20.60	20.30	0.30	16.50	40.60	-24.1
Haziran	27.00	25.20	1.80	17.90	6.80	11.1
Temmuz	30.10	28.40	1.70	-	1.10	-1.1
Ağustos	30.40	28.50	1.90	-	0.90	-0.9
Eylül	24.90	25.20	-0.30	23.70	9.20	14.5
Ort.	25.43	23.85	1.58	-	-	-
Toplam	-	-	-	436.20	727.70	195.20

Kaynak: Meteoroloji İşleri İl Müdürlüğü 2016 Yılı Raporları

Araştırmanın yürütüldüğü 2016 yılında Eylül ayı hariç diğer vejetasyon aylarında saptanan sıcaklık değerlerinin uzun yıllar ortalamasının üzerinde gerçekleştiği saptanmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2'den görüldüğü üzere, denemenin kurulduğu bölgenin Nisan-Eylül aylarındaki uzun yıllar ortalamasının 132.00 mm'lik toplam yağış değerine karşın 2016 yılında aynı aylara ait toplam

75.70 mm yağış aldığı tespit edilmiştir. Denemenin kurulu olduğu Haziran (17.90 mm) ve Eylül (23.70 mm) ayları hariç diğer aylardaki yağışın uzun yıllar ortalamasının altında seyrettiği saptanmıştır (Çizelge 2).

Yöntem

Deneme, tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Araştırma parsellerinde sıra üzeri 0.25 m ve sıra arası 0.70 m olacak şekilde deneme mibzeri ile 4 sıralı olarak 26 Nisan'da ekim yapılmıştır. Parseller 0.70 m x 5.00 m x 4 sıra= 14.00 m² olacak şekilde ayarlanmıştır. Her blok, parsel aralığı 1.00 m olan 10 parselden oluşturulmuş ve bloklar arasında 3.00 m aralık bırakılarak deneme alanı tertip edilmiştir.

Araştırmada ekimden önce her parsele taban gübresi olarak dekara saf 5.00 kg N ve 7.00 kg P₂O₅ olacak şekilde kompoze (20-20-0) gübre uygulanmıştır. Deneme süresince toplamda 7 kez karık usulü sulama yapılarak, gerek duyuldukça elle yabancı ot mücadelesi yapılmıştır.

Fizyolojik hasat olgunluğuna gelen bitkiler Eylül ayı içerisinde elle hasat edilmiş ve harmanlanmıştır. Hasatta, her parsele ait iki sıra ve parsellerin her iki ucundaki 0.50 m'lik alandaki bitkiler kenar tesiri olarak atılmıştır. Orta iki sıradan 10'ar bitki numune olarak alındıktan sonra kalan bitkilerin tamamı hasat edilmiş (1.40 m x 4.00 m= 5.60 m²) bilahare dekara verim hesaplanmasında kullanılmıştır.

Araştırmada her parselden numune olarak alınan tohumlardan 5'er g öğütülmüş, 6 saat süreyle yağ analiz cihazında sokshalet ekstraksiyon metoduna göre analiz edilmiş ve elde edilen değerler % olarak hesaplanmıştır (Demirkıran 1996). Çalışmanın konusunu teşkil eden yağ asitleri olarak **doymuş yağ asitlerinden**; Araşidik asit (C20:0), Behenik asit (C22:0), Miristik asit (C14:0), Lignoserik asit (C24:0), Palmitik asit (C16:0) ve Stearik asit (C18:0), **tekli doymamış yağ asitlerinden**; Eikosenoik asit (C20:1), Heptadesenoik asit (C17:1), Oleik asit (C18:1), Palmiteloik asit (C16:1) ve **çoklu doymamış yağ asitlerinden**; Linoleik asit (C18:2) ve Linolenik asit (C18:3) gibi yağ asitleri, TS4664 EN ISO 5508/Nisan 1996'da belirtilen ölçütlere uygun gaz likit kromatografisi ile tespit edilmiştir. Oleik asit oranı (O/L) Linoleik asit oranına bölünerek hesaplanmış ve elde edilen oran "%" olarak ifade edilmiştir. Çalışmada doymamışlık derecesinin bir ölçütü olarak kabul edilen iyodin değeri, 100 gram yağ tarafından emilen ve iyot ağırlığı olarak ifade edilen halojen gramının sayısı olarak ele alınmıştır. Aşağıdaki formül kullanılarak yağ asidi yüzdelerinden iyot değerleri hesaplanmıştır.

İD (iyodin değeri) = (palmiteloik asit oranı x 1.001) + (oleik asit oranı x 0.899) + (linoleik asit oranı x 1.814) (Konuskan ve ark, 2019).

Yağ kalite faktörü olarak ortaya konan U/S oranı ise aşağıdaki formülle hesap edilmiştir.

U/S = doymamış yağ asitleri / doymuş yağ asitleri

Verilerin İstatistiksel Değerlendirilmesi

Çalışmadaki veriler, SAS istatistik programı (SAS 9.0, 2002) kullanılarak varyans analizine tabi tutulmuştur. Ortalamalar LSD çoklu karşılaştırma testine göre karşılaştırılmıştır (Steel ve Torrie, 1980).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada elde edilen verilerin varyans analizi sonucunda denemeye alınan ayçiçeği çeşitleri arasında incelenen özellikler açısından istatistiksel olarak önemli farklılıkların olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 3, 4). Aynı deneme koşullarına tabi tutulan çeşitlerin yağ oranı ve yağ asidi oranları arasında saptanan bu farklılığın nedeni genetik yapılarının farklılığından kaynaklanabilir. Zira, Tosun (2003), ayçiçeği yağının içerdiği yağ asitlerini, genetik yapı, ekim tarihi, yetiştirme bölgesi ve iklim şartları, hasat

tarihi ve bitkinin beslenme durumunun belirlediğini, yine Akkaya (2018) de önceki çalışmaların, yağ bitkilerindeki yağ asidi sentezinin genetik, ekolojik, morfolojik, fizyolojik ve kültürel uygulamalara bağlı olarak değişebileceğini ve aynı tür yağların bile farklı yağ asidi karakteristikleri gösterebileceğini ifade etmişlerdir.

Çizelge 3. 2016 yetiştirme mevsiminde, ana ürün olarak yetiştirilen bazı yağlık ayçiçeği çeşitlerinde verim ve kalite özelliklerine ilişkin ortalama değerler

Çeşitler	YO *	MA *	PA *	POA *	HA *	SA *	OA *	LİA *	LNA *
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Coral	41.83 d	0.048 b	4.77 d	0.108 d	0.067 i	3.546 c	58.81 d	33.43 g	0.270 d
13 TR 001	39.74 g	0.032 g	3.89 j	0.100 h	0.099 a	2.760 i	86.38 a	7.45 j	0.252 f
P64G46	43.20 b	0.046 d	4.74 e	0.090 j	0.088 c	3.974 b	46.96 j	44.92 a	0.280 c
Saray	41.80 d	0.046 d	5.13 a	0.113 c	0.073 f	3.454 d	74.50 b	16.78 i	0.297 b
LG 5580	39.54 h	0.050 a	4.89 c	0.122 b	0.081 d	3.226 g	55.34 f	37.23 d	0.234 h
Bosfora	38.12 i	0.047 c	4.64 f	0.107 e	0.070 g	2.839 h	56.38 e	36.84 f	0.221 i
SY Cadix	41.53 f	0.043 e	4.63 g	0.154 a	0.074 e	2.500 j	53.91 h	39.72 c	0.205 j
Goldsun	42.87 c	0.047 c	4.46 i	0.102 g	0.074 e	3.304 f	63.12 c	29.66 h	0.249 g
P 64 LL 05	41.68 e	0.048 b	4.62 h	0.103 f	0.068 h	3.347 e	51.31 i	41.23 b	0.262 e
Tarsan 1018	43.55 a	0.038 f	5.06 b	0.093 i	0.091 b	4.202 a	54.12 g	37.17 e	0.307 a
Ortalama	41.39	0.045	4.68	0.109	0.079	3.315	60.08	32.44	0.258
LSD (0.05)	0.085	1.631	8.521	7.677	4.800	2.626	4.047	3.442	0.005
CV	0.119	2.136	0.075	7.128	3.565	0.105	0.005	0.010	1.153

YO (Yağ Oranı), MA (Miristik Asit), PA (Palmitik Asit), POA (Palmiteloik Asit), HA (Heptadesenoik Asit), SA (Stearik Asit), OA (Oleik Asit), LİA (Linoleik Asit), LNA (Linolenik Asit)

*: Aynı sütündeki ortalamalar istatistiksel olarak %1 düzeyinde farklıdır.

Yağ Oranı (%): 2016 yetiştirme mevsiminde Kahramanmaraş Bölgesi ekolojik şartlarında denemeye alınan 10 farklı yağlık ayçiçeği çeşidinden elde edilen yağ oranlarına ait ortalama değerler Çizelge 3'te verilmiştir. Yapılan varyans analizinde; yağ oranı bakımından, çeşitler arasındaki farklılıkların, istatistiki olarak çok önemli ($P<0.01$) olduğu belirlenmiştir. En yüksek yağ oranı %43.55 ile Tarsan 1018 çeşidinde elde edilirken en düşük yağ oranı ise %38.12 ile Bosfora çeşidinden tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan yağlık ayçiçeği çeşitlerinin ortalama yağ oranının %41.39 olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yağ oranı bakımından Tarsan 1018, P64G46, Goldsun, Coral, P 64 LL 05 ve SY Cadix çeşitlerinin yağ oranı değerlerinin ortalamanın üstünde oldukları belirlenmiştir (Çizelge 3). Araştırmada elde edilen bulgular Sefaoğlu (2008), Zheljzakov ve ark. (2011), Katar (2012), Arıoğlu (2014) ve Şahin (2015) gibi araştırmacıların bulgularıyla benzer niteliktedir.

Miristik Asit Oranı (%): Yapılan varyans analizinde miristik asit oranı bakımından, çeşitler arasındaki farklılıkların, istatistiksel olarak çok önemli ($P<0.01$) olduğu belirlenmiştir. Çizelge 3'te görüldüğü üzere, çeşitlerin miristik asit oranları %0.032 - 0.050 arasında değişmiştir. En yüksek miristik asit oranı %0.050 ile LG 5580 çeşidinde gözlenirken en düşük miristik asit oranı ise %0.032 ile 13 TR 001 çeşidinde tespit edilmiştir.

Palmitik Asit Oranı (%): Yapılan varyans analizinde; palmitik asit oranı bakımından, çeşitler arasındaki farklılıkların, istatistiksel olarak çok önemli ($P<0.01$) olduğu belirlenmiştir. Çizelge 3 incelendiğinde, en yüksek palmitik asit oranı %5.13 ile Saray çeşidinde gözlenirken en düşük palmitik asit oranı ise %3.890 ile 13 TR 001 çeşidinde tespit edilmiştir. Doymuş yağ asitleri grubundan olan Palmitik yağ asidi oranının düşük olması istenmektedir. Çalışmada orta-oleik (NuSun) ayçiçeği olarak adlandırılan Coral, P64G46, LG 5580, Bosfora, Sy Cadix, Goldsun, P 64 LL05 ve Tarsan 1018 çeşitlerinden elde edilen bulgular Zheljzakov ve ark. (2011)'in bulgularıyla ve yüksek-oleik ayçiçeği

olarak adlandırılan 13 TR 001 ile Saray çeşitlerine ait sonuçlar Warner ve ark. (2003)'ün sonuçlarıyla (Palmitik (16:0); orta oleik %4.0 - 5.5, yüksek oleik %2.6 - 5.0) uyum içerisindedir.

Palmiteloik Asit Oranı (%): Palmiteloik asit oranı bakımından, çeşitler arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak çok önemli ($P<0.01$) olduğu belirlenmiştir. Çizelge 3'te görüldüğü üzere, çeşitlerin palmiteloik asit oranları %0.090 ile 0.154 arasında değişmiştir. En yüksek palmiteloik asit oranı SY Cadix çeşidinden saptanırken en düşük palmiteloik asit oranı ise P64G46 çeşidinden tespit edilmiştir. Denemede elde edilen sonuçlar, Konuşkan ve ark., (2019)'un fizikokimyasal özelliklerini ve yağ asit bileşimlerini karşılaştırmak üzere Doğu Akdeniz bölgesinde yetiştirilen ayçiçeği, yarfıstığı, kolza, hardal ve zeytin yağları ile yaptıkları çalışmada elde ettikleri palmiteloik asit (%0.095) sonuçları ile paralellik göstermektedir.

Heptadesenoik Asit Oranı (%): heptadesenoik asit oranı bakımından çeşitler arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak çok önemli ($P<0.01$) olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 3'ten izlendiği gibi, çeşitlerin heptadesenoik asit oranları %0.067 - 0.099 arasında değişmiştir. En yüksek palmiteloik asit oranı 13 TR 001 çeşidinde saptanırken en düşük heptadesenoik asit oranı ise Coral çeşidinde tespit edilmiştir.

Stearik Asit Oranı (%): Çizelge 3 incelendiğinde, çeşitler arasında stearik asit oranı bakımından saptanan farklılıkların istatistiksel olarak çok önemli ($P<0.01$) olduğu ve çeşitlerin stearik asit oranlarının %2.500 - 4.202 arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek stearik asit oranı Tarsan 1018 çeşidinde ölçülürken en düşük stearik asit oranı ise SY Cadix çeşidinde tespit edilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar Konuşkan ve ark., (2019)'un bulgularıyla uyum içerisindedir.

Oleik Asit Oranı (%): Oleik asit yüksekliği yağa birçok avantaj sağlamaktadır. Yüksek oleik asit içerikli ayçiçek yağının raf ömrü, depolanabilirliği ve kalitesi diğer düşük oleik asitli çeşitlerden daha fazladır. Orta oleik asit tipi ayçiçek yağlarını diğerlerinden ayıran en önemli özellik ise daha ucuz ve kızartmalık olarak kullanılabilmesidir. Bu nedenle çalışmada oleik yağ asit içeriği yüksek çeşitlerin tespiti önem kazanmıştır. Bu denemede, oleik asit oranı açısından çeşitler arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak çok önemli ($P<0.01$) olduğu belirlenmiştir. Çizelge 3'te görüldüğü üzere, çeşitlerin oleik asit oranları % 46.96 - 86.38 arasında değişmiştir. En yüksek oleik asit oranı 13 TR 001 çeşidinden elde edilirken en düşük oleik asit oranı ise P64G46 çeşidinde saptanmıştır. Çalışmada kullanılan yağlık ayçiçeği çeşitlerinin ortalama oleik asit oranının %60.08 olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 13 TR 001, Saray ve Goldsun (sırasıyla %86.38, 74.50 ve 63.12) çeşitlerinin oleik asit oranlarının ortalamasının üstünde oldukları belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen bulgular Konuşkan ve ark., (2019)'un sonuçlarına paralellik göstermektedir. Türkiye'de bitkisel yağ açığını azaltacak kızartmalık için uygun ve kaliteli, oleik yağ asidi yüksek ayçiçeği çeşitlerinin bir an önce üretimde yer alması son derece önem arz etmektedir Kaya (2016). Oleik asit içeriğine göre ayçiçeği hibritleri başlıca 3 gruba ayrılmaktadır. Ayçiçeği yağının, %14-39 oranında oleik asit içeren hibritler "geleneksel ayçiçeği", %42 - 72 oranında oleik asit içeren hibritler "orta-oleik (NuSun) içerikli ayçiçeği" ve %75 - 91 oranında oleik asit içeren hibritler "yüksek-oleik içerikli ayçiçeği" olarak adlandırılmaktadır (Zheljazkov ve ark. 2011). Bu tanıma göre denemede kullanılan çeşitlerden, Coral, P64G46, LG 5580, Bosfora, Sy Cadix, Goldsun, P 64 LL05 ve Tarsan 1018 çeşitleri orta-oleik (NuSun) içerikli ayçiçeği, 13 TR 001 ve Saray çeşitleri ise yüksek-oleik içerikli ayçiçeği olarak adlandırılabilir.

Linoleik Asit Oranı (%): Yağlarda yüksek orandaki linoleik yağ asidi içeriği kurumayı çabuklaştırıcı özelliği ile yağlı boya üretiminde oldukça önemli bir yere sahiptir. Ayrıca, kâğıt, kozmetik ürünler, plastik ve sabun üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır (Arıoğlu, 2014). Ancak, oleik ve linoleik asit arasında negatif bir ilişki olduğu için linoleik asit oranının ayçiçeği yağında düşük olması istenir.

Çalışmada, Linoleik asit oranı açısından çeşitler arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak çok önemli ($P<0.01$) olduğu belirlenmiş, çeşitlerin linoleik asit oranları %7.45 - 44.92 arasında değişmiş ve linoleik asit oranı en yüksek P64G46 çeşidinde saptanırken en düşük linoleik asit oranı ise 13 TR 001 çeşidinde tespit edilmiştir. Çalışmada çeşitlerin ortalama linoleik asit oranının %32.44 olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre linoleik asit oranı bakımından P64G46, P 64 LL 05, SY Cadix, LG 5580, Tarsan 1018, Bosfora ve Coral (sırasıyla, %44.92, 41.23, 39.72, 37.23, 37.17, 36.83 ve 33.43) çeşitlerinin linoleik asit oranı değerlerinin ortalamasının üstünde oldukları belirlenmiştir (Çizelge 3). Bu çalışmada saptanan sonuçlar Konuşkan ve ark., (2019) ve Warner ve ark. (2003)'ün bulguları (Linoleik (18:2); orta oleik %18.7 - 45.3, yüksek oleik %2.1-17.0) ile uyum içerisindedir.

Linolenik Asit Oranı (%): Baydar ve Erbaş (2014)'a göre, linoleik ve linolenik asitlerce zengin doymamış yağlar, insan beslenmesindeki hayati önemlerine karşın, hava ile temas ettiklerinde yapılarındaki çift bağlar kolaylıkla okside olarak bozulurlar. Aynı koşullar altında stearik aside göre oleik asit 10 kat, linoleik asit 100 kat ve linolenik asit 150 kat daha hızlı oksitlenir. Bu tespit ışığında

Çizelge 4. 2016 yetiştirme mevsiminde, ana ürün olarak yetiştirilen bazı yağlık ayçiçeği çeşitlerinde verim ve kalite özelliklerine ilişkin ortalama değerler

Çeşitler	AA (%) *	EA (%) *	BA (%) *	LA (%) *	O/L (%) *	ID *	U/S (%) *	YDA (g) *	DV (kg ha ⁻¹) *
Coral	0.069 e	0.143 g	0.740 d	0.295 d	1.76 cd	113.62 g	9.81 f	5.85 c	2 420 bc
13 TR 001	0.124 b	0.224 a	0.776 c	0.340 a	11.71 a	91.26 j	11.93 a	5.26 f	2 268 d
P64G46	0.042 h	0.132 i	0.713 f	0.281 h	1.05 e	123.79 a	9.44 g	4.31 g	3 178 a
Saray	0.691 a	0.189 b	0.795 a	0.337 b	4.45 b	97.53 i	8.80 h	5.26 f	1 947 f
LG 5580	0.039 i	0.152 f	0.663 g	0.283 g	1.49 cde	117.40 e	10.19 e	7.09 a	2 135 e
Bosfora	0.074 d	0.162 d	0.592 h	0.288 e	1.53 cde	117.61 d	11.06 c	5.68 d	1 861 g
SY Cadix	0.061 g	0.162 d	0.578 i	0.276 i	1.36 de	120.67 c	11.65 b	5.68 d	2 450 b
Goldsun	0.081 c	0.167 c	0.776 c	0.303 c	2.13 c	110.65 h	10.41 d	6.38 b	2 420 bc
P 64 LL 05	0.037 j	0.153 e	0.728 e	0.337 b	1.25 de	121.02 b	10.22 e	5.61 e	2 414 c
Tarsan 1018	0.068 f	0.138 h	0.777 b	0.286 f	1.46 cde	116.17 f	8.81 h	5.89 c	1 782 h
Ortalama	0.128	0.162	0.714	0.303	2.82	112.97	10.23	5.70	2 287
LSD (0.05)	4.665	1.440	0.002	8.831	0.704	0.006	0.061	0.034	32.370
CV	2.120	5.176	0.183	1.701	14.566	0.003	0.350	0.352	0.802

AA (Araşidik Asit), EA (Eikosenoik asit), BA (Behenik Asit), LA (Lignoserik Asit), O/L (Oleik/Linoleik Asit) Oranı, ID (İyodin Değeri), U/S (doymamış yağ asitleri/doymuş yağ asitleri) oranı, YDA (Yüz Dane Ağırlığı), DV (Dane Verimi)

*: Aynı sütundaki ortalamalar istatistiksel olarak %1 düzeyinde farklıdır.

Çizelge 3 incelendiğinde, çeşitler arasında linolenik asit oranı açısından meydana gelen farklılıkların istatistiksel olarak çok önemli ($P<0.01$) olduğu saptanmıştır. Çeşitlerin linolenik asit oranları %0.205 - 0.307 arasında değiştiği, en yüksek linolenik asit oranının Tarsan 1018 çeşidinden ve en düşük linolenik asit oranının SY Cadix çeşidinden alındığı tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan çeşitlerinin ortalama linolenik asit oranının %0.258 olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre linolenik asit oranı bakımından Tarsan 1018, LG 5580, P64G46, Coral ve P64LL05 (sırasıyla 0.307, 0.297, 0.280, 0.270 ve 0.262) çeşitlerinin linolenik asit oranı değerlerinin ortalamasının üstünde oldukları belirlenmiştir.

Araşidik Asit Oranı (%): Araşidik asit oranı açısından çeşitler arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak çok önemli ($P<0.01$) olduğu belirlenmiştir. Çizelge 4'te görüldüğü üzere, çeşitlerin araşidik asit oranları %0.037 - 0.691 arasında değişmiş ve araşidik asit oranı en yüksek Saray çeşidinden, en düşük ise P64LL05 çeşidinden elde edilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar Konuşkan ve ark., (2019)'un bulgularıyla uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

Eikosenoik Asit Oranı (%): Çeşitler arasında eikosenoik asit oranı bakımından oluşan farklılıklar istatistiki olarak çok önemli ($P<0.01$) bulunmuştur. Çizelge 4 incelendiğinde, çeşitlerin eikosenoik asit oranları %0.132 - 0.224 arasında değiştiği saptanmıştır. Eikosenoik asit oranı, en yüksek TR 001 çeşidinden, en düşük ise P64G46 çeşidinden tespit edilmiştir.

Behenik Asit Oranı (%): Behenik asit oranı açısından çeşitler arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak çok önemli olduğu ($P<0.01$) belirlenmiştir. Çizelge 4'ten izlendiği gibi, çeşitlerin behenik asit oranları %0.578 - 0.795 arasında değiştiği ve en yüksek behenik asit oranı Saray çeşidinden, en düşük behenik asit oranı ise SY Cadix çeşidinden elde edilmiştir.

Lignoserik Asit Oranı (%): Lignoserik asit oranı açısından çeşitler arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak çok önemli ($P<0.01$) olduğu belirlenmiştir. Çeşitlerin lignoserik asit oranları %0.276 - 0.340 arasında değişmiş ve en yüksek lignoserik asit oranı 13 TR 001 çeşidinden, en düşük oran ise SY Cadix çeşidinden tespit edilmiştir (Çizelge 4). Konuşkan ve ark., (2019)'un bulguları çalışmada elde edilen sonuçlarla uyum içerisindedir.

O/L (Oleik Asit/Linoleik Asit) Oranı (%): O/L asit oranının yüksek olması yağın kalite ve dayanıklılığının bir göstergesidir. O/L oranı açısından çeşitler arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak çok önemli ($P<0.01$) olduğu belirlenmiştir. Çizelge 4'ten izlendiği gibi, çeşitlerin O/L oranları %1.045 - 11.709 arasında değişmiştir. O/L oranı 1 - 2.5 arasında değişen çeşitler normal, 7 - 40 arasında bir orana sahip çeşitler ise yüksek oleik asitli çeşitler olarak tanımlanmaktadır (Dwivedi ve ark. 2014). Buna göre en yüksek O/L oranı 13 TR 001 çeşidinde, en düşük O/L oranı ise P65G46 çeşidinde tespit edilmiştir.

İyodin Değeri: Yağlarda doymamışlık derecesinin bir ölçümü olan iyodin değerinin yüksek oluşu tercih edilen bir özelliktir. Çalışmada, çeşitler arasında iyodin değeri bakımından istatistiksel olarak çok önemli ($P<0.01$) farklılıkların olduğu belirlenmiştir. Çizelge 4'te görüldüğü üzere, çeşitlerin iyodin değerleri 91.26 - 123.79 arasında değişmiş ve en yüksek iyodin değeri P64G46 çeşidinden elde edilirken en düşük değer ise 13 TR 001 çeşidinden tespit edilmiştir.

U/S (Doymamış Asit/Doymuş Asit) Oranı (%): Bitkisel yağlarda doymamış/doymuş yağ asitleri oranı ne kadar yüksek ise beslenme ve sağlık açısından önemi de o kadar yüksektir. Çalışmada, U/S oranı açısından çeşitler arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak çok önemli ($P<0.01$) olduğu, çeşitlerin U/S oranlarının %8.80 - 11.93 arasında değiştiği ve en yüksek U/S oranının 13 TR 001 çeşidinden, en düşük oranın ise Saray çeşidinden alındığı tespit edilmiştir (Çizelge 4).

Yüz Dane Ağırlığı (g): Verimi etkileyen önemli özelliklerden biri olan yüz dane ağırlığı çeşitlerin genetik yapısı ve çevre koşullarının etkisi ile farklılık gösterebilmektedir. Araştırmada, yüz dane ağırlığı bakımından çeşitler arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak çok önemli ($P<0.01$) olduğu saptanmıştır. Çizelge 4'te görüldüğü üzere, çeşitlerin yüz dane ağırlıklarının 4.31 - 7.09 g arasında değiştiği, en yüksek yüz dane ağırlığının LG 5580 çeşidinden, en düşük yüz dane ağırlığının ise P64G46 çeşidinden alındığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen yüz dane ağırlığı değerleri; Sefaoğlu (2008), Ali ve ark. (2013) ve Kılılı ve Tekeli (2016)'nın bildirdiği değerler ile benzerlik göstermektedir.

Dane Verimi (kg/ha⁻¹): Dane verimi açısından çeşitler arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak çok önemli ($P<0.01$) olduğu belirlenmiştir. Çizelge 4'ten izlendiği gibi, en yüksek dane veriminin 3178 kg ha⁻¹ - P64G46 çeşidinden ve en düşük dane veriminin ise 1782 kg ha⁻¹ ile Tarsan 1018 çeşidinden alındığı tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan yağlık ayçiçeği çeşitlerinin ortalama dane verimlerinin 2287 kg ha⁻¹ olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen dane verimi değerleri Sefaoğlu (2008), Ali ve ark.

(2013), Deviren (2014) ve Kılılı ve Tekeli (2016) gibi araştırmacıların elde ettiği bulgulara benzer bulunmuştur.

SONUÇ

Kahramanmaraş ekolojik koşullarında araştırmaya alınan on farklı yağlık ayçiçeği çeşidinin verim, teknolojik ve kalite özelliklerinin belirlenmeye çalışıldığı bu çalışmada, ele alınan tüm özellikler açısından çeşitler arasında önemli farklılıklar saptamıştır. Denemede en yüksek yağ oranına (%43.55) sahip olan Tarsan 1018 çeşidinde stearik asit (%4.20) ve linolenik asit (%0.307) en yüksek bulunurken, U/S oranı (%8.81) ve dane verimi (1782 kg ha⁻¹) en düşük bulunmuştur. En yüksek dane verimine (3178 kg ha⁻¹) sahip olan P64G46 çeşidinde linoleik asit (%44.92) ve iyodin değeri (123.79) en yüksek bulunurken, 13 TR 001 çeşidinde ise heptadesenoik asit (%0.099), oleik asit (%86.38), eikosenoik asit (%0.224), lignoserik asit (%0.340), O/L oranı (%11.71) ve U/S oranı (%11.93) en yüksek bulunmuştur.

Ülkemizde halen en fazla linoleik tipi ayçiçeği yetiştiriciliği yapılmaktadır. Oysa, son yıllarda ABD başta olmak üzere, Fransa ve İspanya'da hem biyodizele hem kızartmalığa daha uygun oleik tipi ayçiçeği yetiştiriciliği yaygınlaşmaya başlamıştır. Türkiye'de de oleik tipi ayçiçeği yetiştiriciliği yaygınlaştırılmalı ve mevcut çeşitlerin verimlerinin artırılması için gerekli ıslah çalışmaları desteklenerek teşvik edilmelidir.

KAYNAKLAR

- Ali A, Aziz M, Hassan SW, Ahmad MAS, Mubeen M, Yasin M, 2013. Growth and Yield Performance of Various Spring Planted Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Hybrids under semi-arid conditions of Sargodha. Pakistan. Science International (Lahore), 25: 341-344.
- Anonim, 2020a. Tarım Ürünleri Piyasaları Ayçiçeği, <http://www.arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/> (Erişim tarihi: 25.02.2020).
- Anonim, 2020b. Dünya Ayçiçeği Üretimi, 2018. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize> (Erişim tarihi: 25.02.2020).
- Anonim, 2020c. Türkiye ve Kahramanmaraş Ayçiçeği Üretimi [http://www. https://biruni.tuik.gov.tr/](http://www.https://biruni.tuik.gov.tr/) (Erişim tarihi: 25.02.2020).
- Akkaya MR, 2018. Fatty acid compositions of sunflowers (*Helianthus annuus* L.) grown in East Mediterranean Region. La Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse, 95: 239-247.
- Arıoğlu HH, 2014. Yağ Bitkileri Yetiştirme ve Islahı. Çukurova Üniversitesi, Ziraat fakültesi Ders Kitabı No:220, A-70, Adana.
- Baydar H, Erbaş S, 2014. Yağ Bitkileri Bilimi ve Teknolojisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No:97, Isparta.
- Demirkıran A, 1996. Kahramanmaraş koşullarında uygulanan farklı fosforlu gübre dozlarının bazı yerfıstığı çeşitlerinin verim ve kalitesi üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 19 sy.
- Deviren R, 2014. Iğdır ovası sulu koşullarında bazı ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) çeşitlerinin verim performanslarının belirlenmesi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Iğdır.
- Karaca E, Aytaç S, 2007. Yağ bitkilerinde yağ asitleri kompozisyonu üzerine etki eden faktörler. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 22: 123-131.
- Katar D, 2012. Ankara ekolojik koşullarında farklı ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) çeşitlerinin verim performanslarının belirlenmesi üzerine bir araştırma. Anadolu Tarım Bilim Dergisi, 27: 140-143.

- Kaya Y, 2016. Ülkemizde ayçiçeği durumu ve gelecekteki yönü. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 25:322-327.
- Kıllı F, Tekeli F, 2016. Seed yield and some yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes in Kahramanmaraş (Turkey) conditions. Journal of Scientific and Engineering Research, 3:346-349.
- Konuşkan DB, Arslan M, Oksuz A, 2019. Physicochemical properties of cold pressed sunflower, peanut, rapeseed, mustard and olive oils grown in the Eastern Mediterranean Region. Saudi Journal of Biological Sciences, 26:340-344.
- Nas S, Gökalp YH, Ünsal M, 2001. Bitkisel Yağ Teknolojisi. Pamukkale Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Matbaası, 322.
- Sefaoğlu F, 2008. Erzurum ekolojik koşullarında bazı yağlık ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) çeşitlerinin adaptasyonu ve tarımsal özelliklerinin belirlenmesi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ziraat Bölümü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
- Steel RGD, Torrie JH, 1980. Principles and Procedures of Statistics. McGrawHill Book Company Inc., Second Edition, New York.
- Şahin T, 2015. Tokat-Erbaa şartlarında bazı ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) çeşitlerinin performanslarının belirlenmesi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Tokat.
- Tosun M, 2003. Bitkisel Sıvı Yağlar Sektör Araştırması. Türkiye Kalkınma Bankası A.Ş. Genel Araştırmalar, Araştırma Müdürlüğü, Ankara.
- Warner K, Vick B, Kleingartner L, Isaak R, Doroff K, 2003. Compositions of sunflower NuSun, (Mid-Oleic Sunflower) and high oleic sunflower oils. In: Proc. Sunflower Research Workshop, Fargo, ND. National Sunflower Assoc. Mandan, ND, p. 16-17.
- Zheljaskov VD, Vick BA, Baldwin BS, Buehring N, Coker C, Astatkie T, Johnson B, 2011. Oil productivity and composition of sunflower as a function of hybrid and planting date, Industrial Crops and Products, 33: 537-543.

Mısırdaki Bazı Özelliklerin Genetik Analizi

Şekip ERDAL¹, Rahime CENGİZ², Ahmet ÖZTÜRK¹, Mehmet PAMUKÇU¹, Cüneyt DİNÇER³, Bülent CENGİZ⁴, Marvin Paul SCOTT⁵

ÖZET: Bu çalışmanın amacı mısırdaki çiçeklenme süresi, bitki boyu, tane/koçan oranı, tane nemi ve bin tane ağırlığı gibi bazı özelliklerde genetik parametreleri incelemek, hatların ve melezlerin uyum yeteneklerini belirleyerek gelecek dönem çalışmaları için seleksiyonlar yapmaktır. 2016 ve 2017 yıllarında 8 mısır hattı Griffing Metod III'e göre melezlemelere alınmış, elde edilen 56 adet mısır melezi 2017 ve 2018 yıllarında Antalya ve Sakarya lokasyonlarında tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak denenmiştir. Çalışmada genotipler, genel kombinasyon yeteneği ve özel kombinasyon yeteneği etkileri bakımından önemli bulunurken, resiprokal etkilerin bu özelliklerde önemsiz olduğu bulunmuştur. Araştırmada, bu özelliklerde eklemeli gen etkilerinin baskın olduğu tespit edilmiştir. En yüksek dar (0.82) ve geniş anlamda kalıtım dereceleri (0.90) çiçeklenme süresinden alınırken, en düşük değerler tane/koçan oranında sırasıyla 0.20 ve 0.27 olarak belirlenmiştir. Yüksek kalıtım dereceleri nedeniyle tane/koçan oranı hariç diğer özelliklerde doğrudan seleksiyonların yapılabileceği öngörülmüştür. Çalışma sonucunda, erkencilik ve düşük tane nemine sahip çeşit geliştirme çalışmaları için, M1, M2, M3 ve A1 hatları, bitki boyu için S1 ve S2 hatları, tane/koçan oranı için M3 ve A1 hatları ve bin tane ağırlığı için A1, S1 ve M3 hatları seçilerek ıslah programlarına aktarılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Mısır, melez, diallel analiz, genetik, kalıtım, kombinasyon yetenekleri

Genetic Analysis of Some Traits in Maize

ABSTRACT: The objective of this study were to examine genetic parameters in some traits such as flowering time, plant height, grain/ear rate, grain moisture and thousand grain weight in maize, to determine the combining ability of the lines and hybrids and thus make selections for future studies. Eight maize lines were crossed according to Griffing Method III in 2016 and 2017, obtained fifty six maize hybrids were tested in 2017 and 2018 in Antalya and Sakarya locations in randomized complete block design using three replications. In the study, genotypes, general combining ability (GCA) and special combining ability (SCA) effects were found to be significant, while reciprocal effects were found to be insignificant. It is determined that additive gene effects were more important in these traits. The highest narrow (0.82) and broad sense heritability (0.90) were detected from flowering trait, while the lowest values were determined as 0.20 and 0.27 in grain/ear ratio, respectively. Due to their high degree of inheritance, it is envisaged that direct selection can be made in the investigated characteristics except grain / ear rate. As a result of the study, M1, M2, M3 and A1 lines selected for earliness and lower grain moisture content. S1 and S2 lines selected for higher plant height. M3 and A1 lines selected for higher grain/ear rate and A1, S1 and M3 lines were selected for higher seed weight. These lines transferred to the breeding programs.

Keywords: Maize, cross, diallel analysis, genetic, heredity, combining abilities

¹Şekip ERDAL (Orcid ID: 0000-0003-1836-530X), ¹Ahmet ÖZTÜRK (Orcid ID: 0000-0002-1723-161X), Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Antalya, Türkiye

²Rahime CENGİZ (Orcid ID: 0000-0001-6355-7496), Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ali Fuat Paşa Tarım Bil. ve Teknolojileri Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Sakarya, Türkiye

³Cüneyt DİNÇER (Orcid ID: 0000-0002-9160-4242) Akdeniz Üniversitesi, Finike Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Antalya

⁴Bülent CENGİZ (Orcid ID: 0000-0001-8940-0980), Mısır Araştırma Enstitüsü, Sakarya

⁵Marvin Paul SCOTT (Orcid ID: 0000-0003-0479-4816), Corn Insects and Crop Genetics Research Unit, Iowa State Univ., Ames, IA 50011

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Şekip ERDAL, e-mail: sekip65@yahoo.com

GİRİŞ

Mısır'da tane verimi oldukça karmaşık bir özellik olup, ıslahçı ve üretici için nihai hedefi oluşturmaktadır. Yüksek tane verimi için hibrit çeşidin genetik potansiyeli en önemli faktör olmakla birlikte yetiştirme koşulları ve çevrenin de etkisi önemlidir. Verim için çok sayıda parametrenin birbirine uyumlu olması gerekmektedir. Bu parametrelerden çiçeklenme süresi önemli bir verim bileşeni olup çeşitlerin erkenci, geçici durumları ve nihayetinde olum durumu hakkında bilgi vermektedir. Erkenci çeşitler daha çok vejetasyon süresi kısa olan bölgeler için veya ikinci ürün olarak tercih edilmektedir. Geçici çeşitler ise ana ürün koşullarına uygun çeşitlerdir. Erkenci çeşitlerin verim potansiyelleri ana ürün koşullarında geçici çeşitlere göre nispeten daha düşük olabilmektedir (Tollenaar ve Wu 1999; Sangoi 2000; Karaşahin ve Sade 2012). Geçici çeşitlerin daha fazla solar radyasyon süresi (Yang ve ark., 2019) olduğundan daha çok enerji depolayabilmektedirler (Karaşahin ve Sade 2012).

Tyagi ve ark. (1988), Mahajan ve ark. (1990) ve Şekeroğlu ve ark. (2000) mısırdaki bitki boyunun tane verimi ile sınırlı pozitif ilişkisi olduğunu rapor etmişlerdir. Aynı şekilde silajlık mısırdaki da bitki boyu ile yem verimi arasında önemli ve pozitif ilişki (Çarpıcı ve Çelik, 2010) olduğundan, bitki boyu önemli bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tane/koçan oranı ya da tane randımanı verimi etkileyen en önemli bileşenlerden bir tanesidir. Tane/koçan oranı özelliği koçanda tane sayısı, tane iriliği ve sömek büyüklüğü hakkında ipuçları vermektedir. Mısır tarımında kullanılan çeşitlerin tane/koçan oranlarının % 80 ve üzerinde olması istenmektedir (Özata ve ark., 2013).

Tane nemi birçok faktör nedeniyle mısırdaki önemli bir verim komponentidir. Fizyolojik olum sonrası hızlı nem kaybeden geçici çeşitler ile ekildiği lokasyonun özelliğine göre erken çiçeklenme ve fizyolojik oluma ulaşan çeşitler tercih edilmektedir. Hasat ile beraber yüksek tane nemine sahip çeşitlerde hem kurutma masrafı ve hem de kurutma gecikirse tanelerde bozulma olma durumu nedeniyle düşük tane nemine sahip çeşitlerin geliştirilmesi önemlidir.

Bin tane ağırlığının tane verimi ile önemli düzeyde ilişkisi Sreckov ve ark. (2010), Nataraj ve ark. (2014), Çağtay ve Konuşkan (2017), Öktem ve Ülger (1997), Şekeroğlu ve ark. (2000) ve Kara (2001) tarafından daha önce bildirilmiştir. Tane verimi hesaplanırken elde edilen tanelerin ağırlığı önemli bir yer tutmaktadır. Dolayısıyla yüksek tane ağırlığına sahip hibritlerin yüksek verimli olması normal olarak kabul edilmektedir.

Söz konusu parametrelerin mısırdaki farklı kullanım amaçları ve verim ile ilişkileri oldukça önemli olduğu anlaşılmaktadır. Bu parametrelerin genetik durumlarının bilinmesi ıslah çalışmalarında ıslahçıya önemli bilgiler vermektedir. Diallel melezleme desenleri mısır ıslahında popülasyonların genetik yapılarının incelenmesi, kullanılan genetik materyalin uyum yeteneklerinin belirlenmesi, kalıtım ve gen hareketlerinin yönü hakkında oldukça faydalı bilgilerin üretilmesini sağlamakla birlikte aynı zamanda başarılı hibrit kombinasyonlarının belirlenmesinde de etkili bir şekilde kullanılmaktadır (Griffing 1956; Hallauer ve Miranda 1988).

Bu çalışmada 8 × 8 tam diallel melez mısır döllerinde hatların genel uyum yetenekleri, melezlerin özel uyum yetenekleri belirlenmiş, mısır ıslahında oldukça önemli olan bazı parametrelerde genetik ilişkiler tartışılmış ve özelliklerin kalımları hakkında bilgi üretilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada 8 adet tanelik (at dişi ve sert) mısır saf hattı kullanılmıştır. Hatlardan 5 adedi (L1, L2, M1, M2, M3) yurtdışı kökenli olup introdüksiyon yolu ile ülkemize getirilmiştir. A1 hattı Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, S1 ve S2 hatları ise Mısır Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü tarafından geliştirilen tane verimi yüksek hatlardır.

Melezleme çalışmaları, Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü-Antalya (BATEM) ve Mısır Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü-Sakarya (MAE)'de 2016 ve 2017 yıllarında yapılmıştır. Melezlemeler, Hallauer ve ark. (2010)'nin önerdiği şekilde Griffing Metod III'e göre yapılmıştır (Griffing 1956). Yönteme göre n sayıda ebeveyn olduğunda n (n-1) sayıda kombinasyon gereği $8 \times (8-1)$ 56 adet F_1 elde edilmiştir. Yöntem III'e göre hazırlanan eşleştirme deseni Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. 8×8 tam diallel melezleme programı

Hat adı	L ₁	L ₂	M ₁	M ₂	M ₃	A ₁	S ₁	S ₂
L ₁	-	x	x	x	x	x	x	x
L ₂	x	-	x	x	x	x	x	x
M ₁	x	x	-	x	x	x	x	x
M ₂	x	x	x	-	x	x	x	x
M ₃	x	x	x	x	-	x	x	x
A ₁	x	x	x	x	x	-	x	x
S ₁	x	x	x	x	x	x	-	x
A ₂	x	x	x	x	x	x	x	-

Melezleme işleminde ana ve baba sıralar 5 metre uzunluğunda, sıra üzeri ve sıra arası mesafeler sırasıyla 25 ve 70 cm olacak şekilde iki sıralı ekilmiştir. Her kombinasyon için en az 20 bitkide melezleme yapılmıştır. Melezleme işleminde, önce seçilen ana hattın koçan püskülleri pelur kâğıt torbalarla kapatılarak toz almaları engellenmiştir. Diğer taraftan baba ebeveyn hattın tepe püskülleri ana olarak seçilen bitkilerin koçan püskülleri fırça görünümü aldıklarında kraft kâğıt torba ile kapatılarak izole edilmiştir. İzole edilen tepe püskülünün çiçek tozları, ana bitkinin önceden izole edilen koçan püsküllerine verilerek tozlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Melezlenmiş koçanlar kraft kâğıt torba ile hasada kadar izole durumda tutulmuştur. Hasat için melez koçanlar depolama nemine gelinceye kadar sergen altında doğal bir şekilde kurutulmuş ve saklama zarflarına alınarak soğuk hava deposuna taşınmıştır. Denemelerde yer alacak melez tohumlar BATEM'de bulunan tohum muhafaza deposunda saklanmıştır. Depoda tohumlar +5 °C'de ve % 12-13 tane neminde, tohum zarflarında muhafaza edilmektedir. Tahılların bozulmadan depolanabilmesi için gerekli nem sınırı olan % 13.5-14 (Tutar 2010) nem seviyelerine dikkat edilmiştir. Ekimden önce tüm tohumlar insektisit (600 g/l İmidacloprid) ve fungusitler (25g Fludioxonil+10g Metalaxyl-M) ile ilaçlandıktan sonra ekilmiştir.

Verim denemeleri 2017 ve 2018 yıllarında Sakarya (MAE) ve Antalya (BATEM) lokasyonlarında yürütülmüştür. Denemeler, Tesadüf Blokları Deneme Desenine göre 3 tekerrürlü olarak düzenlenmiştir. Denemelerde parseller; 2 sıralı, sıra uzunluğu 5 m, sıra arası 70 cm, sıra üzeri 20 cm olacak şekilde kurulmuştur. Tarımsal gözlemler Tohumluk Tescil Sertifikasyon Müdürlüğü Tarımsal Değerleri Ölçme Denemeleri Teknik Talimatı, TTSM (2010)'a göre alınmıştır. Her iki lokasyonda iki yıl yürütülen denemelerden alınan tarımsal gözlemler ve teknik talimata göre yöntemleri aşağıda sunulmuştur.

-Çiçeklenme süresi (gün): Ekim tarihinden parseldeki bitkilerin %50'sinin tepe püskülünü çıkarmasına kadar geçen zaman olarak hesaplanmıştır.

-Bitki boyu (cm): Her parselde, süt olum döneminde, tesadüfi olarak seçilen 10 adet bitkinin toprak seviyesinden tepe püskülünün en uçtaki noktasına kadar olan mesafe ölçülerek ortalamaları alınmıştır.

-Tane/Koçan Oranı (%): Her tekerrürden çeşidi temsil eden 10 adet koçan seçilerek bunlar tartılmıştır. Daha sonra söz konusu koçanlar tanelenerek tartılmış ve tane/koçan oranı bulunmuştur.

-Hasatta Tane Nemi (%): Koçan somaklarından ayrılan taneler karıştırılarak taşınabilir bir nem ölçme aleti (DICKEY-John, DJGMT SN 0528 47268) ile üç kez nem ölçümü yapılmıştır. Nem değerlerinde herhangi bir ekstrem değer yoksa ortalaması alınarak kaydedilmiştir.

-Bin Tane Ağırlığı (g): Parsel tane ürününden 4x100 adet tane sayılıp, ortalaması 10 ile çarpılarak değer elde edilmiştir.

Diallel analiz işlemi için AGD-R, Analysis of Genetic Designs, (Rodriguez ve ark. 2015) paket programı kullanılmıştır. Diallel analiz işleminde Griffing (1956) Metod III Model I (fixed) yöntemi kullanılmıştır. Buna göre, yöntemde melezler ve onların resiprokları (ebeveynler hariç) analize tabi tutulmuştur. Bu analiz sonucu hatların genel kombinasyon yeteneği etkileri (GKY), melezlerin özel kombinasyon yetenekleri (ÖKY), resiprokal etkiler, maternal ve maternal olmayan etkiler ile bunların interaksiyonları incelenmiştir. Bunun yanında GKY/ÖKY oranı, fenotipik varyans, dar anlamda kalıtım derecesi ve geniş anlamda kalıtım derecesi gibi varyans bileşenleri de incelenmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Antalya ve Sakarya lokasyonlarına ait çiçeklenme süresi (gün) değerleri Çizelge 2’de verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre yıl × çeşit × lokasyon interaksiyonu istatistiki olarak ($p < 0.01$) önemli bulunmuştur. Bu nedenle çiçeklenme süreleri ile yıllar ve lokasyonlar arasında ilişki bulunduğu ortalamalar yıllar bazında ayrı ayrı değerlendirilmiştir. L1 ve L2 hatları nispeten diğer hatlara göre daha geçici hatlar olduğundan bu hatların melezi (L1 x L2) ve resiproku (L2 x L1) denemelerde en geçici kombinasyonlar olmuşlardır.

Lokasyon ve yıllara ait bitki boyu (cm) değerleri Çizelge 3’te sunulmuştur. Buna göre, yıl × çeşit × lokasyon interaksiyonu istatistiki olarak ($p < 0.01$) önemli bulunmuştur. Çalışmada L1 × S1 melezinin yüksek bitki boyu bakımından dikkat çekmiştir. Bitki boyunda çalışmamızda olduğu gibi genotiplerin etkisi oldukça önemliyken, çevresel etkilerde (yer, ekim zamanı, sulama ve gübreleme) çok önemlidir. Nitekim Erdal (2018) kuraklık stresi altında mısır çeşitlerinin bitki boyunun azaldığını belirtmiştir. Diğer taraftan Ülkemizin değişik yerlerinde yapılan çalışmalardan (Özata ve Öz, 2014; Acar ve ark. 2017) farklı neticeler alınması çevrenin ve bakım koşullarının etkisini yansıtmaktadır.

Lokasyonlara ait tane/koçan değerleri Çizelge 4’te sunulmuştur. Buna göre, çeşit × yıl × lokasyon, yıl × çeşit ve lokasyon × çeşit interaksiyonları istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur. Bu durumda denemenin genel ortalaması değerlendirilmiştir. Alınan sonuçlara göre tane/koçan oranları % 76.1 (L1 x S2) ile % 87.3 (M3 x S2) arasında değişmiştir. M3 x S2 (% 87.3) ile S2 x M3 (% 86.8) melezleri en yüksek tane/koçan oranına sahip genotipler olmuşlardır.

Tane nemi değerlerine ilişkin sonuçlar Çizelge 5’te verilmiştir. Buna göre, çeşit × yıl × lokasyon, yıl × çeşit ve lokasyon × çeşit interaksiyonları istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur. Alınan sonuçlara göre tane nemi değerleri % 14.1 (M1 x M2) ile % 24.8 (L1 x L2) arasında değişmiştir. L1 x L2 ve resiprok melezi olan L2 x L1 melezlerinin hem geçici ve hem de nem düzeylerinin yüksek olduğu saptanmıştır. Diğer taraftan en düşük nem seviyerleri ise M1, M2 ve M3 hatlarının girdiği melezlerden alınmıştır.

Genotiplere ait tane bin tane ağırlığı (g) değerleri Çizelge 6’da verilmiştir. Buna göre Yıl x Lokasyon x Çeşit interaksiyonları istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Bin tane ağırlığı bakımından A1 x M3 kombinasyonu yüksek performansı ile dikkat çekmiştir.

Çizelge 2. Antalya ve Sakarya lokasyonlarına ait çiçeklenme süresi (gün) değerleri

No	Çeşit adı	Antalya			Sakarya			G.Ort				
		2017	2018	Ort.	2017	2018	Ort					
1	L1 x L2	86.0	ab	72.3	a	79.2	80.0	a-d	79.7	a	79.8	79.5
2	L1 x M1	79.3	g-l	66.3	b-h	72.8	72.3	m-r	73.3	hj	72.8	72.8
3	L1 x M2	82.0	c-i	65.7	b-j	73.8	72.0	o-s	72.7	ık	72.3	73.1
4	L1 x M3	81.0	d-j	65.7	b-j	73.3	73.0	m-r	73.3	hj	73.2	73.3
5	L1 x A1	81.3	c-j	64.3	c-k	72.8	73.0	m-r	72.7	ık	72.8	72.8
6	L1 x S1	84.7	a-d	66.7	b-g	75.7	78.0	d-h	77.3	bc	77.7	76.7
7	L1 x S2	83.7	a-f	66.0	b-i	74.8	76.7	f-j	77.0	bc	76.8	75.8
8	L2 x L1	86.7	a	66.7	b-g	76.7	80.7	ab	79.7	a	80.2	78.4
9	L2 x M1	79.7	f-l	65.7	b-j	72.7	73.3	m-q	72.3	jl	72.8	72.8
10	L2 x M2	81.3	c-j	67.3	b-e	74.3	76.0	h-i	73.0	ij	74.5	74.4
11	L2 x M3	79.7	f-l	68.0	b-d	73.8	75.0	j-m	75.0	ef	75.0	74.4
12	L2 x A1	81.3	c-j	67.0	b-f	74.2	75.3	i-m	73.7	gı	74.5	74.3
13	L2 x S1	81.0	d-j	69.7	ab	75.3	80.3	a-c	77.7	b	79.0	77.2
14	L1 x S2	83.7	a-f	68.3	bc	76.0	81.3	a	79.3	a	80.3	78.2
15	M1 x L1	80.7	d-j	65.3	b-j	73.0	72.3	m-r	71.7	km	72.0	72.5
16	M1 x L2	80.0	f-j	64.0	c-k	72.0	73.0	m-r	72.3	jl	72.7	72.3
17	M1 x M2	82.0	c-i	63.7	d-k	72.8	68.7	v	70.7	mn	69.7	71.3
18	M1 x M3	79.3	g-l	63.0	e-k	71.2	67.7	v	70.0	n	68.8	70.0
19	M1 x A1	75.7	l	63.0	e-k	69.3	69.0	u-v	71.3	lm	70.2	69.8
20	M1 x S1	81.7	c-i	65.7	b-j	73.7	70.7	v-t	71.3	lm	71.0	72.3
21	M1 x S2	80.7	d-j	66.3	b-h	73.5	71.3	p-s	70.7	mn	71.0	72.3
22	M2 x L1	81.3	c-j	67.3	b-e	74.3	73.0	m-r	72.3	jl	72.7	73.5
23	M2 x L2	81.7	c-i	65.3	b-j	73.5	74.3	k-o	73.3	hj	73.8	73.7
24	M2 x M1	80.7	d-j	66.0	b-i	73.3	73.0	m-r	71.3	lm	72.2	72.8
25	M2 x M3	79.7	f-l	64.0	c-k	71.8	72.3	n-r	71.7	km	72.0	71.9
26	M2 x A1	78.3	i-l	66.0	b-i	72.2	72.0	o-s	74.3	fh	73.2	72.7
27	M2 x S1	80.3	e-j	65.7	b-j	73.0	75.3	i-m	72.7	ık	74.0	73.5
28	M2 x S2	81.3	c-j	65.3	b-j	73.3	74.3	k-o	74.3	fh	74.3	73.8
29	M3 x L1	77.3	j-l	64.3	c-k	70.8	74.3	k-o	72.7	ık	73.5	72.2
30	M3 x L2	80.0	f-j	65.3	b-j	72.7	76.3	g-k	73.7	gı	75.0	73.8
31	M3 x M1	76.3	k-l	63.0	e-k	69.7	70.0	u-t	71.7	km	70.8	70.3
32	M3 x M2	79.3	g-l	61.3	j-k	70.3	72.0	o-s	72.3	jl	72.2	71.3
33	M3 x A1	79.0	g-l	62.0	h-k	70.5	71.0	q-t	73.0	ij	72.0	71.3
34	M3 x S1	82.3	b-i	66.0	b-i	74.2	73.3	m-q	75.7	de	74.5	74.3
35	M3 x S2	82.7	b-h	65.0	c-k	73.8	75.0	j-m	75.7	de	75.3	74.6
36	A1 x L1	80.0	f-j	64.0	c-k	72.0	74.0	l-p	73.3	hj	73.7	72.8
37	A1 x L2	81.0	d-j	65.7	b-j	73.3	74.7	j-n	74.3	fh	74.5	73.9
38	A1 x M1	76.3	k-l	61.0	k	68.7	71.3	q-t	71.3	lm	71.3	70.0
39	A1 x M2	78.3	i-l	61.0	k	69.7	73.0	m-r	71.3	lm	72.2	70.9
40	A1 x M3	79.0	g-l	61.7	i-k	70.3	71.7	p-s	72.3	jl	72.0	71.2
41	A1 x S1	82.7	b-h	65.3	b-j	74.0	73.3	m-r	72.7	ık	73.0	73.5
42	A1 x S2	79.7	f-l	62.3	g-k	71.0	73.0	m-r	73.3	hj	73.2	72.1
43	S1 x L1	83.0	b-g	66.7	b-g	74.8	76.7	f-j	75.7	de	76.2	75.5
44	S1 x L2	85.3	a-c	65.0	c-k	75.2	78.7	b-f	76.3	cd	77.5	76.3
45	S1 x M1	79.0	g-l	65.0	c-k	72.0	72.3	n-r	73.7	gı	73.0	72.5
46	S1 x M2	82.3	b-i	66.3	b-h	74.3	74.0	l-p	72.3	jl	73.2	73.8
47	S1 x M3	79.7	f-l	68.0	b-d	73.8	72.3	n-r	74.7	eg	73.5	73.7
48	S1 x A1	78.7	h-l	66.7	b-g	72.7	74.0	l-p	72.3	jl	73.2	72.9
49	S1 x S2	83.0	b-g	67.7	b-d	75.3	78.3	c-g	76.3	cd	77.3	76.3
50	S2 x L1	81.7	c-i	66.7	b-g	74.2	77.3	e-i	74.3	fh	75.8	75.0
51	S2 x L2	84.3	a-e	64.7	c-k	74.5	81.0	a	79.7	a	80.3	77.4
52	S2 x M1	80.7	d-j	62.7	f-k	71.7	72.3	n-r	72.3	jl	72.3	72.0
53	S2 x M2	81.3	c-j	64.7	c-k	73.0	73.0	m-r	76.3	cd	74.7	73.8
54	S2 x M3	78.3	i-l	65.7	b-j	72.0	75.0	j-m	75.0	ef	75.0	73.5
55	S2 x A1	79.3	g-l	65.3	b-j	72.3	74.3	k-o	74.7	eg	74.5	73.4
56	S2 x S1	84.3	a-e	67.0	b-f	75.7	79.3	a-e	77.3	bc	78.3	77.0
57	P31G98	79.0	g-l	65.7	b-j	72.3	71.7	p-s	73.7	gı	72.7	72.5
58	DKC6589	79.7	f-l	63.0	e-k	71.3	71.0	q-t	72.7	ık	71.8	71.6
	Ort.	80.8		65.3		73.1	74.1		73.9		74.0	73.5
	D.K (%)	2.48		3.25			1.56		0.75			
	Çeşit	**		**			**		**			
	Yıl x Çeşit**											
	Lokasyon x Çeşit**											
	Yıl x Lokasyon x Çeşit**											

Aynı sütunda aynı harfler ile gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak fark yoktur.

**: 0.01 düzeyinde önemli

Çizelge 4. Antalya ve Sakarya lokasyonlarına ait tane/koçan oranı (%) değerleri

No	Çeşit adı	Antalya			Sakarya			Genel ort.	
		2017	2018	Ort.	2017	2018	Ort.		
1	L1 x L2	77.1	78.1	77.6	77.3	80.7	79.0	78.3	eh
2	L1 x M1	80.3	80.5	80.4	82.1	84.2	83.1	81.8	ag
3	L1 x M2	80.9	83.3	82.1	79.9	84.8	82.3	82.2	af
4	L1 x M3	83.2	83.0	83.1	80.6	86.9	83.7	83.4	af
5	L1 x A1	83.7	85.2	84.4	86.2	89.7	87.9	86.2	ac
6	L1 x S1	80.5	78.3	79.4	79.7	84.6	82.2	80.8	bh
7	L1 x S2	81.8	81.6	81.7	58.0	83.1	70.6	76.1	h
8	L2 x L1	77.2	78.6	77.9	75.1	81.2	78.1	78.0	fh
9	L2 x M1	83.0	83.4	83.2	85.1	86.6	85.9	84.5	ad
10	L2 x M2	83.1	81.8	82.4	84.3	84.5	84.4	83.4	af
11	L2 x M3	85.0	84.4	84.7	80.8	86.5	83.7	84.2	ad
12	L2 x A1	83.0	80.8	81.9	83.1	84.9	84.0	83.0	af
13	L2 x S1	82.9	81.7	82.3	69.2	83.4	76.3	79.3	dh
14	L1 x S2	82.7	83.5	83.1	57.2	83.3	70.2	76.7	gh
15	M1 x L1	80.8	81.4	81.1	75.2	89.9	82.6	81.8	af
16	M1 x L2	80.6	87.5	84.0	83.8	86.5	85.1	84.6	ad
17	M1 x M2	83.2	85.3	84.3	85.8	82.8	84.3	84.3	ad
18	M1 x M3	84.0	86.3	85.2	66.1	86.4	76.2	80.7	ch
19	M1 x A1	84.8	85.7	85.2	80.6	84.2	82.4	83.8	af
20	M1 x S1	81.0	83.9	82.4	83.5	87.8	85.6	84.0	ad
21	M1 x S2	81.7	84.3	83.0	85.7	86.5	86.1	84.6	ad
22	M2 x L1	81.4	80.6	81.0	86.2	83.1	84.6	82.8	af
23	M2 x L2	83.0	81.6	82.3	84.8	85.2	85.0	83.7	af
24	M2 x M1	81.6	86.0	83.8	77.8	87.7	82.7	83.3	af
25	M2 x M3	82.3	85.3	83.8	77.5	87.1	82.3	83.0	af
26	M2 x A1	82.4	81.6	82.0	79.7	85.4	82.6	82.3	af
27	M2 x S1	81.9	83.7	82.8	84.9	85.0	85.0	83.9	ae
28	M2 x S2	84.4	82.3	83.3	84.4	86.0	85.2	84.3	ad
29	M3 x L1	83.7	84.2	83.9	82.6	86.8	84.7	84.3	ad
30	M3 x L2	84.5	82.9	83.7	82.9	84.7	83.8	83.7	af
31	M3 x M1	85.8	86.8	86.3	85.6	87.8	86.7	86.5	ab
32	M3 x M2	83.2	82.4	82.8	84.8	87.0	85.9	84.4	ad
33	M3 x A1	85.8	86.6	86.2	82.5	80.7	81.6	83.9	ae
34	M3 x S1	83.5	85.6	84.5	81.4	85.5	83.5	84.0	ad
35	M3 x S2	87.4	87.1	87.2	87.0	87.9	87.5	87.3	a
36	A1 x L1	82.0	82.5	82.2	79.6	86.9	83.2	82.7	af
37	A1 x L2	81.4	83.4	82.4	81.5	84.1	82.8	82.6	af
38	A1 x M1	81.6	85.2	83.4	79.5	85.5	82.5	83.0	af
39	A1 x M2	82.8	84.5	83.6	84.9	85.4	85.1	84.4	ad
40	A1 x M3	84.9	86.8	85.9	86.1	87.6	86.9	86.4	ac
41	A1 x S1	81.4	83.2	82.3	86.9	86.4	86.7	84.5	ad
42	A1 x S2	85.0	86.2	85.6	89.1	85.3	87.2	86.4	ac
43	S1 x L1	80.5	80.9	80.7	81.0	83.8	82.4	81.5	ag
44	S1 x L2	81.6	82.2	81.9	83.6	84.4	84.0	83.0	af
45	S1 x M1	79.5	83.1	81.3	82.4	85.0	83.7	82.5	af
46	S1 x M2	83.8	80.1	81.9	85.2	84.6	84.9	83.4	af
47	S1 x M3	83.0	85.2	84.1	82.1	86.0	84.1	84.1	ad
48	S1 x A1	83.1	82.3	82.7	85.7	85.2	85.5	84.1	ad
49	S1 x S2	84.9	80.9	82.9	84.1	86.0	85.0	84.0	ad
50	S2 x L1	82.0	81.5	81.8	86.9	78.6	82.8	82.3	af
51	S2 x L2	83.0	82.5	82.7	85.4	87.6	86.5	84.6	ad
52	S2 x M1	83.6	85.3	84.5	85.3	87.2	86.3	85.4	ac
53	S2 x M2	85.6	83.5	84.5	86.4	85.1	85.8	85.1	ac
54	S2 x M3	86.2	87.8	87.0	85.5	87.9	86.7	86.8	a
55	S2 x A1	83.7	84.8	84.2	87.5	85.2	86.4	85.3	ac
56	S2 x S1	83.8	82.5	83.1	87.5	87.2	87.4	85.2	ac
57	P31G98	86.0	85.1	85.6	87.2	87.6	87.4	86.5	ab
58	DKC6589	85.1	85.9	85.5	84.4	89.0	86.7	86.1	ac
	Ort.	82.9	83.5	83.2	81.9	85.5	83.7	83.4	
	D.K (%)							6.68	
	Çeşit							**	
	Yıl x Çeşit ^{ö.d}	Lokasyon x çeşit ^{ö.d}			Yıl x Lokasyon x Çeşit ^{ö.d}				

Aynı sütunda aynı harfler ile gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak fark yoktur.

** : 0.01 düzeyinde önemli, ^{ö.d} : istatistiksel olarak önemli değil

Çizelge 5. Antalya ve Sakarya lokasyonlarına ait tane nemi (%) değerleri

No	Çeşit adı	Antalya			Sakarya			Genel ort.	
		2017	2018	Ort.	2017	2018	Ort.		
1	L1 x L2	23.9	25.5	24.7	23.7	26.2	24.9	24.8	a
2	L1 x M1	16.1	18.7	17.4	16.2	17.6	16.9	17.1	ho
3	L1 x M2	17.7	18.5	18.1	17.7	20.5	19.1	18.6	ch
4	L1 x M3	16.2	15.4	15.8	15.5	19.3	17.4	16.6	kp
5	L1 x A1	16.4	17.6	17.0	16.2	17.2	16.7	16.8	io
6	L1 x S1	22.2	22.3	22.2	17.9	20.7	19.3	20.8	b
7	L1 x S2	20.7	19.9	20.3	18.8	19.7	19.2	19.8	bd
8	L2 x L1	23.1	24.9	24.0	22.2	24.3	23.2	23.6	a
9	L2 x M1	16.9	17.2	17.1	16.6	19.0	17.8	17.4	gn
10	L2 x M2	17.2	18.5	17.9	18.8	21.2	20.0	18.9	cg
11	L2 x M3	17.5	18.6	18.0	19.2	17.3	18.2	18.1	dj
12	L2 x A1	18.4	20.5	19.4	19.2	18.6	18.9	19.2	be
13	L2 x S1	17.1	21.4	19.3	19.4	21.4	20.4	19.8	bc
14	L1 x S2	18.4	19.7	19.0	20.0	20.3	20.1	19.6	bd
15	M1 x L1	15.7	19.4	17.6	15.0	18.5	16.8	17.2	ho
16	M1 x L2	16.6	15.8	16.2	15.7	18.7	17.2	16.7	jo
17	M1 x M2	14.7	13.3	14.0	13.2	15.1	14.2	14.1	v
18	M1 x M3	14.7	13.2	13.9	13.7	15.7	14.7	14.3	uv
19	M1 x A1	14.6	15.0	14.8	14.0	14.8	14.4	14.6	sv
20	M1 x S1	15.9	14.9	15.4	13.0	16.2	14.6	15.0	pv
21	M1 x S2	14.8	17.9	16.4	14.0	15.4	14.7	15.5	ov
22	M2 x L1	17.4	19.5	18.4	17.7	19.2	18.4	18.4	cı
23	M2 x L2	18.0	18.9	18.4	18.7	18.5	18.6	18.5	ch
24	M2 x M1	15.1	15.9	15.5	12.7	14.5	13.6	14.5	tv
25	M2 x M3	14.6	17.6	16.1	14.9	18.4	16.7	16.4	kp
26	M2 x A1	15.2	18.9	17.1	15.9	18.6	17.2	17.2	ho
27	M2 x S1	16.3	17.2	16.8	17.6	19.7	18.7	17.7	el
28	M2 x S2	15.8	19.0	17.4	15.4	19.7	17.6	17.5	fm
29	M3 x L1	16.0	16.4	16.2	15.1	19.8	17.5	16.8	io
30	M3 x L2	16.2	20.9	18.5	19.6	20.5	20.1	19.3	be
31	M3 x M1	14.9	14.5	14.7	15.0	14.6	14.8	14.7	rv
32	M3 x M2	15.5	15.1	15.3	15.7	17.9	16.8	16.1	lt
33	M3 x A1	15.1	14.8	15.0	15.6	16.9	16.3	15.6	ov
34	M3 x S1	15.6	18.1	16.8	15.5	16.7	16.1	16.5	kp
35	M3 x S2	15.5	16.7	16.1	15.2	18.4	16.8	16.4	kp
36	A1 x L1	17.6	17.8	17.7	17.4	18.7	18.0	17.9	ek
37	A1 x L2	18.0	17.2	17.6	19.3	19.0	19.1	18.4	cı
38	A1 x M1	14.6	14.0	14.3	14.3	16.2	15.2	14.8	rv
39	A1 x M2	15.8	15.9	15.8	14.9	18.4	16.6	16.2	ks
40	A1 x M3	15.1	16.3	15.7	15.0	16.7	15.8	15.8	nu
41	A1 x S1	16.2	15.8	16.0	15.2	17.9	16.6	16.3	kr
42	A1 x S2	15.3	16.1	15.7	16.3	18.9	17.6	16.7	jo
43	S1 x L1	18.1	20.7	19.4	17.4	21.0	19.2	19.3	be
44	S1 x L2	18.4	20.0	19.2	18.9	21.7	20.3	19.7	bd
45	S1 x M1	13.5	15.4	14.4	14.4	15.5	14.9	14.7	rv
46	S1 x M2	15.7	19.5	17.6	17.2	17.1	17.2	17.4	gn
47	S1 x M3	13.6	18.9	16.3	14.7	18.9	16.8	16.5	kp
48	S1 x A1	13.9	20.2	17.0	15.2	19.5	17.3	17.2	ho
49	S1 x S2	18.2	21.7	19.9	17.0	20.5	18.7	19.3	be
50	S2 x L1	17.9	21.2	19.5	17.9	20.0	19.0	19.2	be
51	S2 x L2	18.1	19.6	18.9	19.7	19.6	19.7	19.3	be
52	S2 x M1	16.3	16.7	16.5	15.2	15.0	15.1	15.8	mu
53	S2 x M2	15.8	19.4	17.6	16.3	19.9	18.1	17.9	ek
54	S2 x M3	15.4	16.8	16.1	16.1	19.6	17.8	17.0	ho
55	S2 x A1	16.4	17.3	16.9	16.1	19.6	17.9	17.4	gn
56	S2 x S1	17.1	20.2	18.7	17.5	21.4	19.5	19.1	cf
57	P31G98	15.0	17.2	16.1	14.2	18.2	16.2	16.1	lt
58	DKC6589	15.2	16.1	15.7	15.2	17.6	16.4	16.0	lt
	Ort.	16.6	18	17.3	16.6	18.7	17.6	17.4	
	D.K (%)							9.59	
	Çeşit							**	
	Yıl x Çeşit ö.d		Lokasyon x çeşit ö.d		Yıl x Lokasyon x Çeşit ö.d				

Aynı sütunda aynı harfler ile gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak fark yoktur.

**: 0.01 düzeyinde önemli, ö.d: istatistiksel olarak önemli değil

hem genel kombinasyon yeteneği (GKY) ve hem de özel kombinasyon yeteneği (ÖKY) etkileri önemli bulunmuştur (Çizelge 7).

Çizelge 7. Çiçeklenme süresi, bitki boyu, tane/koçan oranı, tane nemi ve bin tane ağırlığı değerlerine ilişkin diallel analiz sonuçları

		Çiçeklenme süresi (gün)		Bitki Boyu (cm)		Tane/koçan oranı (%)		Tane nemi (%)		Bin tane ağırlığı (g)	
Varyans Kaynakları	S.D.	Hata Kareleri Ortalaması									
Lokasyon (L)	3	6799.069	**	21633.89	**	404.249	**	182.8567	**	197055.2	**
Tekerrür (T)	8	9.919643	**	3905.527	**	3.727507	ö.d	4.382972	ö.d	550.7438	ö.d
Çeşit (Ç)	55	56.75963	**	2141.723	**	63.33542	**	53.30378	**	11804.37	**
Genel											
Kombinasyon Yeteneği (GKY)	7	388.5179	**	12355.82	**	196.903	**	360.9369	**	74489.66	**
Özel											
Kombinasyon yeteneği (ÖKY)	20	14.88274	**	923.4995	**	50.23389	*	16.87961	**	3810.424	*
Resiprokal (R)	28	3.732143	ö.d	458.3581	ö.d	39.30177	ö.d	2.412767	ö.d	1843.013	ö.d
Maternal (M)	7	6.720238	ö.d	446.9783	ö.d	48.50337	ö.d	1.578717	ö.d	2110.388	ö.d
Maternal olmayan (MO)	21	2.736111	ö.d	462.1514	*	36.23456	ö.d	2.690784	ö.d	1753.888	ö.d
LxÇ	165	6.512879	**	369.931	ö.d	33.09648	ö.d	3.732913	**	3216.986	**
LxGKY	21	15.83003	**	1014.642	**	33.70278	ö.d	7.476318	*	12687.8	**
LxÖKY	60	4.694907	**	261.4099	ö.d	25.87521	ö.d	3.677801	ö.d	1879.584	**
LxR	84	5.482143	**	286.2682	ö.d	38.10295	ö.d	2.836428	ö.d	1804.57	**
LxM	21	7.938492	ö.d	395.0879	ö.d	54.02415	ö.d	3.579971	ö.d	2616.229	ö.d
LxMO	63	4.66336	**	249.9949	ö.d	32.79589	ö.d	2.58858	ö.d	1534.016	**
Hata	440	2.543885		306.9155		32.1529		2.753066		395.6081	
Varyans Bileşenleri											
GKY		10.72		334.69		4.57		9.94		2058.17	
ÖKY		2.06		102.76		3.01		2.35		569.14	
M		0.08		0.00		0.26		0.0		7.43	
MO		0.03		25.87		0.68		0.0		226.38	
GKY/ÖKY oranı		5.21		3.26		1.52		4.23		3.62	
Fenotipik varyans		26.24		1104.94		45.5		25.01		5322.31	
Dar Anlamda Kalıtım Derecesi		0.82		0.61		0.20		0.79		0.77	
Geniş Anlamda Kalıtım Derecesi		0.90		0.69		0.27		0.89		0.88	

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli, ö.d. : istatistiki olarak önemli değil

Çalışmada resiprokal etkiler incelenen özellikler için istatistiki olarak önemsiz çıkmıştır. Önemsiz çıkan resiprokal etkiler bu özelliklerde yarım diallel melezlerin benzer sonuçlar vereceğini işaret etmektedir. Bu özelliklerde maternal etkiler (ana ebeveyne özgü) önemsiz olarak tespit edilirken, sadece bitki boyu özelliğinde önemli ($p < 0.05$) çıkmıştır (Çizelge 7).

İnteraksiyonlara bakıldığında Lokasyon x Çeşit (LxÇ) interaksyonu çiçeklenme süresi, tane nemi ve bin tane ağırlığı özelliklerinde önemli ($p < 0.01$) bulunurken, bitki boyu ve tane/koçan oranı bakımından önemsiz çıkmıştır. Lokasyon x Genel Kombinasyon yeteneği etkileri (LxGKY) tane/koçan oranı hariç diğer özelliklerde önemli çıkmıştır. Lokasyon x Özel Kombinasyon yeteneği etkilerinde ise (LxÖKY) çiçeklenme süresi ve bin tane ağırlığı önemli bulunurken, bitki boyu, tane/koçan oranı ve tane nemi önemsiz olmuştur. Aynı durum Lokasyon x Resiprokal etkiler (LxR) interaksyonunda da gözlemlenmiştir (Çizelge 7).

Varyans bileşenlerine bakıldığında GKY/ÖKY oranının 1'den daha büyük olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 1). GKY varyansının ÖKY varyansına oranı (GKY/ÖKY) incelenen özelliğin kalıtımının yönü hakkında önemli bilgiler verebilmektedir (Akışcan, 2011). Yüksek düzeyde elde edilen oran, özelliğin kalıtımında eklemeli gen etkilerinin, 1 değerinden düşük olması halinde ise eklemeli olmayan

(dominant, epistatik) gen etkilerinin olduğu varsayılmaktadır. Varyans bileşenlerine bakıldığında GKY/ÖKY oranı çiçeklenme süresinde 5.21, bitki boyunda 3.26, tane/koçan oranı özelliğinde 1.52, tane neminde 4.23 ve bin tane ağırlığında ise 3.62 olarak bulunmuştur. 1'den daha büyük oranlar belirlendiği için bu özelliklerde eklemeli gen etkilerinin daha baskın olduğu düşünülmüştür. Mısırdaki yapılan bazı çalışmalarda çiçeklenme özelliğinin daha çok eklemeli gen etkisi varyansına dahil olduğu bildirilmektedir (Altınbaş ve ark., 1995; Konak ve ark., 1999; Dede ve ark. 2001; Cengiz, 2006). Yine yapılan diğer bazı çalışmalarda ise bitki boyu özelliğinin eklemeli (Ünay ve ark., 1999; Dede ve ark., 2001) ve eklemeli olmayan gen etkilerinin (Balcı ve ark., 2004; Yüce ve Turgut 1991) etkisinde olduğu belirtilmiştir. Tane nemi özelliğinde eklemeli genlerin hâkim ve önemli olabileceği Mungoma ve Pollak (1988), Yüce ve ark. (1991) ve Esmeray (2016) tarafından rapor edilmiş olmakla birlikte Miseviç (1989) bu özellikte eklemeli olmayan gen etkilerinin varlığından söz etmiştir. Konuşkan (2006) tane/koçan oranında genel uyum yeteneği etkilerinin özel uyum yeteneği etkilerinden büyük olduğunu dolayısıyla bu özellikte de eklemeli genetik yapının önemli olduğunu rapor etmiştir. Bin tane ağırlığı özelliğinde eklemeli gen etkilerinin baskın olduğu Pekic (2001) ve Srdic ve ark. (2007) tarafından bildirilmiştir. Bizim çalışmamızda bu özellikler için eklemeli gen etkilerinin daha baskın olduğu ve tane/koçan oranı hariç diğer dört özellik için doğrudan seleksiyonun etkili olabileceği düşünülmüştür. Diğer taraftan kalıtım derecesi değerlerine bakıldığında değerlerin yine tane/koçan oranı hariç diğer özelliklerde 0.50'nin üstünde olduğu ve özellikle çiçeklenme süresi, tane nemi ve bin tane ağırlığında hem dar anlamda ve hem de geniş anlamda yüksek kalıtım derecesi değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Tane/koçan oranı özelliğinde çevrenin etkisi (özellikle yüksek sıcaklık) önemli olabilmektedir. Yazın yetiştirme döneminde 32 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda polen canlılığı azalmakta (Herrero ve Johnson 1980), 35 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda günlük 10 kg/da verim kaybı yaşanmakta ve çiçeklenme döneminde tepe püsküllerinin kuruması nedeniyle döllenme ve bu nedenle tane tutumu azalmaktadır (Smith 1996). Çalışmamızda her ne kadar bu özellikte GKY/ÖKY oranı 1 değerinden daha büyük görünse de kalıtım derecelerinin nispeten düşük olduğunu epistatik veya dominantlık kalıtım durumlarının varlığını işaret etmiştir.

Çizelge 8. Çiçeklenme süresi, bitki boyu, tane/koçan oranı, tane nemi ve bin tane ağırlığı değerlerine ilişkin genel kombinasyon yeteneği etkileri

Ebeveyn	Çiçeklenme süresi (gün)		Bitki Boyu (cm)		Tane/koçan oranı (%)		Tane nemi (%)		Bin tane ağırlığı (g)						
	GKY	Sıra	GKY	Sıra	GKY	Sıra	GKY	Sıra	GKY	Sıra					
L ₁	1.14	**	4	0.78	ö.d	5	-2.03	**	8	1.84	**	2	-7.03	**	5
L ₂	2.19	**	1	-13.77	**	8	-1.41	**	7	2.37	**	1	-36.12	**	8
M ₁	-2.23	**	8	-12.37	**	7	0.34	ö.d	4	-2.38	**	8	-16.15	**	7
M ₂	-0.83	**	5	0.23	ö.d	6	0.32	ö.d	5	-0.47	**	5	-7.99	**	6
M ₃	-1.23	**	6	1.55	ö.d	4	1.35	**	1	-1.24	**	7	27.54	**	2
A ₁	-1.56	**	7	2.63	ö.d	3	0.99	*	2	-0.93	**	6	30.39	**	1
S ₁	1.27	**	2	14.27	**	1	-0.19	ö.d	6	0.36	*	4	15.09	**	3
S ₂	1.25	**	3	6.68	**	2	0.62	ö.d	3	0.44	**	3	-5.74	**	4

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli, ö.d : istatistiki olarak önemli değil

Araştırmada kullanılan mısır saf hatlarına (ebeveynlere) ait genel kombinasyon yeteneği (GKY) etkileri Çizelge 8'de verilmiştir. Buna göre, M1 hattı en yüksek negatif (erkenci) ve önemli (p<0.01) çiçeklenme süresi (-2.23) GKY değeri veren hat olmuştur. Bu genotipi, sırasıyla A1, M3 ve M2 hatları izlemiştir. Erkencilik açısından bu hatların seleksiyonu önemli olacaktır. Bitki boyu GKY değerlerine bakıldığında S1 ve S2 hatlarının pozitif ve önemli (p<0.01), L2 ve M1 hatlarının ise negatif ve önemli (p<0.01) GKY değerleri verdiği görülmektedir. GKY değeri yüksek hatlarda eklemeli gen hareketlerinin etkin olduğu varsayıldığında, yüksek boylu melezler için S1 ve S2 hatları kullanılabilirken, nispeten kısa boyluluk için L2 ve L1 hatları düşünülebilir. Tane/koçan oranı bakımından en yüksek önemli ve pozitif

GKY etkileri M3 (1.35) ve A1 (0.99) hatlarından alınmıştır. Hasat sırasında düşük nem için (negatif GKY değerleri) sırasıyla M1 (-2.38), M3 (-1.24), A1 (-0.93) ve M2 (-0.47) hatları tercih edilebilir. Bin tane ağırlığı GKY değerlerine bakıldığında, pozitif ve önemli değerler A1 (39.94), M3 (31.43) ve S1 (15.64) hatlarından alınmıştır.

Çizelge 9. Çiçeklenme süresi, bitki boyu, tane/koçan oranı, tane nemi ve bin tane ağırlığı değerlerine ilişkin özel kombinasyon yeteneği etkileri

Melez	Tepe püskülü çıkarma süresi (gün)		Bitki Boyu (cm)		Tane/koçan oranı (%)		Tane nemi (%)		Bin tane ağırlığı (g)						
	ÖKY	Sıra	ÖKY	Sıra	ÖKY	Sıra	ÖKY	Sıra	ÖKY	Sıra					
L2xL1	2.03	**	1	-5.78	ö.d	26	-1.72	ö.d	26	2.52	**	1	-27.10	**	28
M1xL1	0.17	ö.d	9	1.92	ö.d	9	0.14	ö.d	14	0.18	ö.d	10	16.37	**	2
M1xL2	-1.02	**	28	-8.12	**	27	2.31	*	1	-0.43	ö.d	22	2.35	ö.d	14
M2xL1	-0.61	*	25	-0.26	ö.d	15	0.89	ö.d	7	-0.36	ö.d	21	8.51	*	7
M2xL2	-0.92	**	27	-2.72	ö.d	20	1.30	ö.d	4	-0.67	*	25	13.35	**	3
M2xM1	1.47	**	2	-5.44	ö.d	24	-0.21	ö.d	17	-0.34	ö.d	20	-1.15	ö.d	18
M3xL1	-0.79	**	26	-1.99	ö.d	19	1.21	ö.d	5	-1.37	**	28	-12.28	**	25
M3xL2	-0.44	ö.d	21	1.44	ö.d	12	0.69	ö.d	9	0.08	ö.d	13	12.19	**	4
M3xM1	-0.01	ö.d	13	2.75	ö.d	7	-1.42	ö.d	25	0.63	*	3	4.17	ö.d	10
M3xM2	0.05	ö.d	12	-0.81	ö.d	16	-1.29	ö.d	23	0.43	ö.d	6	2.71	ö.d	13
A1xL1	-0.34	ö.d	19	1.57	ö.d	10	2.16	*	2	-1.06	**	27	-6.33	ö.d	22
A1xL2	-0.11	ö.d	15	7.78	*	3	-0.12	ö.d	16	-0.17	ö.d	17	-3.95	ö.d	19
A1xM1	0.07	ö.d	11	1.25	ö.d	13	-1.27	ö.d	22	0.49	ö.d	5	-11.18	*	24
A1xM2	0.59	*	4	7.47	*	4	-1.31	ö.d	24	0.59	*	4	0.93	ö.d	15
A1xM3	0.40	ö.d	7	-0.09	ö.d	14	-0.52	ö.d	20	0.35	ö.d	8	10.96	*	5
S1xL1	0.09	ö.d	10	10.08	**	1	0.06	ö.d	15	0.35	ö.d	7	17.55	**	1
S1xL2	-0.31	ö.d	18	2.19	ö.d	8	-0.59	ö.d	21	-0.44	ö.d	23	-4.02	ö.d	20
S1xM1	-0.21	ö.d	17	-1.29	ö.d	18	-0.22	ö.d	18	-0.64	*	24	-10.24	*	23
S1xM2	-0.40	ö.d	20	-2.90	ö.d	22	0.20	ö.d	12	0.15	ö.d	11	-18.34	**	27
S1xM3	0.37	ö.d	8	-2.84	ö.d	21	-0.45	ö.d	19	-0.11	ö.d	16	-0.94	ö.d	17
S1xA1	-0.09	ö.d	14	-4.20	ö.d	23	0.16	ö.d	13	-0.19	ö.d	18	6.42	ö.d	9
S2xL1	-0.56	*	24	-5.54	ö.d	25	-2.74	**	28	-0.27	ö.d	19	3.28	ö.d	11
S2xL2	0.75	**	3	5.19	ö.d	5	-1.88	ö.d	27	-0.89	**	26	7.17	*	8
S2xM1	-0.48	ö.d	22	8.93	**	2	0.67	ö.d	10	0.09	ö.d	12	-0.33	ö.d	16
S2xM2	-0.18	ö.d	16	4.67	ö.d	6	0.42	ö.d	11	0.20	ö.d	9	-6.00	ö.d	21
S2xM3	0.43	ö.d	6	1.55	ö.d	11	1.79	ö.d	3	-0.02	ö.d	15	-16.80	**	26
S2xA1	-0.53	ö.d	23	-13.78	**	28	0.90	ö.d	6	-0.00	ö.d	14	3.13	ö.d	12
S2xS1	0.56	*	5	-1.03	ö.d	17	0.83	ö.d	8	0.89	**	2	9.56	ö.d	6

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli, ö.d : istatistiki olarak önemli değil

Özelliklere ait özel kombinasyon yeteneği (ÖKY) etkileri Çizelge 9’da verilmiştir. Buna göre çiçeklenme süresi bakımından en yüksek negatif (erkenci) ve önemli ($p < 0.05$) ÖKY değerleri M1 x L2 (-1.02), M2 x L2 (-0.92) ve M3 x L1 (-0.79) kombinasyonlarından alınmıştır. En yüksek pozitif (geçici) ve önemli ($p < 0.01$) ÖKY etkileri L2 x L1 melezinden (2.03) alınmıştır. En yüksek pozitif ve önemli ($p < 0.01$) bitki boyu ÖKY değeri (10.08) S1 x L1 melezinden alınmıştır. En düşük negatif (kısa boylu) ve önemli ($p < 0.01$) ÖKY değeri ise S2 x A1 melezinden alınmıştır. Tane/koçan oranı bakımından en yüksek pozitif ve önemli ($p < 0.05$) ÖKY değerleri M1 x L2 (2.31) ve A1 x L1 (2.16) melezinden alınmıştır. En düşük önemli ve negatif (düşük tane nemi) ÖKY etkileri sırasıyla M3 x L1 (-1.37), A1 x L1 (-1.06), S2 x L2 (-0.89) ve M2 x L2 (-0.67) kombinasyonlarından alınmıştır. Bin tane ağırlığı

değerlerine bakıldığında ise S1 x L1 (17.55) ve M1 x L1 (16.37) ve M2 x L2 (13.35) melezleri en yüksek ÖKY değerleri almışlardır (Çizelge 4). L1 ve L2 hatları tropikal kökenli olduklarından girdikleri kombinasyonlarda yüksek ÖKY değerleri vermişlerdir.

SONUÇ

Araştırmadan elde edilen bulgulara göre bütün parametrelerde melezler istatistiki olarak önemli düzeyde ($p < 0.01$ ve 0.05) birbirlerinden farklı bulunmuşlardır. Genel kombinasyon yeteneği etkileri ve özel kombinasyon yeteneği etkileri bütün parametrelerde önemli bulunmuştur. Genel kombinasyon yeteneği etkilerinin özel kombinasyon yeteneği etkileri oranlarına göre tane/koçan oranı özelliğinde bu değer diğer özelliklerin aldığı değerlere göre nispeten daha düşük çıkmıştır.

Tane/koçan oranı hariç diğer özelliklerde alınan yüksek kalıtım değerleri bu özelliklerde doğrudan seleksiyonların mümkün olabileceğini göstermiştir. Erkenci ve düşük tane nemine sahip çeşit geliştirme çalışmaları için, M1, M2, M3 ve A1 hatları yüksek genel kombinasyon yeteneği etkileri nedeniyle önerilebilir. S1 ve S2 hatları yüksek bitki boyu, M3 ve A1 hatları yüksek tane /koçan oranı için öne çıkan hatlar olmuşlardır. A1, S1 ve M3 hatları yüksek bin tane ağırlığı için gelecek dönemlerde melezlemelerde yer alabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından (115O394 nolu proje) desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Acar N, Yılmaz MF, Kara R, 2017. Kahramanmaraş Koşullarına Uygun Tane Mısır (*Zea mays* L.) Çeşitlerinin Belirlenmesi. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 26 (Özel Sayı): 80–85.
- Altınbaş M, 1995. Melez Mısırdaki Tane Veriminin ve Kimi Bitki Özellikleri Bakımından Heterosis ve Kombinasyon Yeteneği. Anadolu Dergisi, 5 (2): 35-51.
- Balcı A, Turgut İ, Duman A, 2004. Mısırdaki (*Zea mays indentata* Sturt.) Üstün Melez Kombinasyonların Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Anadolu Dergisi, 14(2): 1-15.
- Cengiz R, 2006. Mısır Hatları Arasındaki 8x8 Yarım Diallel Melez Döllerinde Verim ve Verim Unsurlarının Kalıtları Üzerine Araştırmaları. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Çağtay A, Konuşkan Ö, 2017. Bazı Ana Ürün Mısır Çeşitlerinin Hatay Ekolojik Koşullarında Verim Düzeylerinin Belirlenmesi. Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 22 (2):1-9.
- Çarpıcı EB, Çelik N, 2010. Determining Possible Relationships Between Yield and Yield-Related Components in Forage Maize (*Zea mays* L.) Using Correlation and Path Analyses. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 38 (3): 280-285.
- Dede Ö, Kara ŞM, Dede S, 2001. Bir Diallel Melez Mısır Populasyonunda Verim ve Verim Unsurlarına İlişkin Heterosis ve Uyum Yetenekleri Analizi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi, 7 (1): (41-46).
- Erdal Ş, 2018. Comparative Evaluation of Maize Hybrids Under Water Stress and Rain-Fed Conditions, Fresenius Environmental Bulletin. 27 (7): 5125-5130.
- Esmeray M, 2016. Mısır Heterotik Gruplarında Genetik Analizler. Doktora tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Griffing B, 1956. Concept of General And Specific Combining Ability in Relation to Diallel Crossing Systems. Australian Journal of Biological Sciences, 9:463–493.

- Hallauer AR, Miranda JB, 1988. Quantitative Genetics in Maize Breeding. 2nd ed. Iowa State University Press. Ames, IA.
- Hallauer AR, Carena MJ, Filho M, 2010. Quantitative Genetics in Maize Breeding. Handbook of Plant Breeding. Springer Press. Newyork. USA.
- Herrero MP, Johnson RR, 1980. High Temperature Stress and Pollen Viability of Maize. Crop Science 20, 796-800.
- Kara M, 2001. Bir Melez Mısır Populasyonunda Verim ve Verim Unsurları Arasındaki İlişkilerin Korelasyon ve Path Analizi Yoluyla Değerlendirilmesi. Tarım Bilimleri Dergisi, 7 (4): 1-4.
- Karaşahin M, Sade B, 2012. Hibrit Mısır Çeşitlerinde (*Zea mays indentata* Sturt.) Tane verimi ve Diğer Verim Unsurları Üzerine Olum Gruplarının Etkisi. Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 26 (2): 12-17.
- Konak C, Ünay A, Serter E, Basal H, 1999. Estimation of Combining Ability Effects Heterosis and Heterobeltiosis by Line Tester Method in Maize. Turkish Journal of Field Crops, 15: 1-9.
- Konuşkan Ö, 2006. Atdışi Mısırdaki (*Zea mays indentata* Sturt.) Diallel Melez Analizleri ile Bazı Tarımsal ve Tane Kalite Özelliklerinin Kalıtımı Üzerinde Araştırmalar. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana.
- Mahajan V, Khehra A, Dhillon BS, Sharma, VK, 1990. Interrelationship of Yield And Other Traits in Maize Monsoon and Winter Season. Crop Improvement, 17: 128-132.
- Misevic D, Maric A, Alexander DE, Dumanovic J, Ratkovic S, 1989. Population Cross Diallel Among High Oil Populations of Maize. Crop Science, 29:613-617.
- Mungoma C, Pollak ML, 1988. Heterotic Patterns Among Ten Corn Belt and Exotic Maize Populations. Crop Science, 28:500-504.
- Nataraj V, Shahi JP, Agarwal V, 2014. Correlation and Path Analysis in Certain Inbred Genotypes of Maize (*Zea mays* L.) at Varanasi. International Journal of Innovative Research and Development, 3 (1):14-17.
- Öktem A, Ülger AC, 1997. Mısır Bitkisinde (*Zea mays* L.) Tane Verimi ile Bazı Tarımsal Özellikler Arasındaki Etkileşimlerin Korelasyon ve Path Analizleriyle Belirlenmesi. Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 1(2):39-48.
- Özata E, Öz A, 2014. Atdışi Hibrit Mısır Adaylarının Ana Ürün Koşullarında Verim ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi 7(2): 1-7.
- Özata E, Geçit HH, Öz A, İkincikarakaya SÜ, 2013. Atdışi Hibrit Mısır Adaylarının Ana Ürün Koşullarında Performanslarının Belirlenmesi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 3 (1): 91-98.
- Pekic V, 2001. Inheritance of Maize Grain Yield Components in White Endosperm Maize (*Zea mays* L.) (in Serbian). Master thesis. Faculty of Agriculture, Novi Sad.
- Rodriguez F, Alvarado G, Pacheco A, Crossa J, Burgueño J, 2015. AGD-R (Analysis of Genetic Designs with R for Windows) Version 2.0. <http://hdl.handle.net/11529/10202> International Maize and Wheat Improvement Center.
- Sangoi L, 2000. Understanding Plant Density Effects on Maize Growth and Development: An Important Issue to Maximize Grain Yield. Ciencia Rural Santa Maria, 31 (1): 159-168.
- Smith JF, 1996. Why Is Milk Production Depressed in the Summer? Dairy Lines. Kansas Dairy Extension News. Volume:2, Number.7. Manhattan, Kansas.
- Srdic J, Pajic Z, Drinic-Mladenovic S, 2007. Inheritance of Maize Grain Yield Components. Maydica, 52: 261-264

- Sreckov Z, Bocanski J, Nastasic A, Dalovic I, Vukosavljev M, 2010. Correlation and Path Coefficient Analysis of Morphological Traits of Maize (*Zea mays* L.). Research Journal of Agricultural Science, 42 (2): 292-296.
- Şekeroğlu N, Dede Ö, Devenci M, Kara ŞM, 2000. Melez Mısır Populasyonlarında Verim ve Verim Unsurları Arasındaki İlişkilerin Path Analizi ile Belirlenmesi. GOU Ziraat Fakültesi Dergisi, 17(1): 79-82.
- Tollenaar M, Wu J, 1999. Yield Improvement in Temperate Maize is Attributable to Greater Stress Tolerance. Crop Science, 39: 1597-1604.
- TTSMM, 2010. Tarımsal Değerleri Ölçme Denemeleri Teknik Talimatı, Mısır. Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkezi Müdürlüğü Yayınları. Ankara.
- Tutar B, 2010. Adana İli ve İlçelerindeki Yatay Betonarme Hububat Depo Yapılarının Mevcut Durumu, Geliştirme Olanakları, Planlanması ve Lisanslı Depoculuk. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Tyagi AP, Pokhariyal GP, Odongo OM, 1988. Correlation and Path Coefficient Analysis for Yield Components and Maturity Traits in Maize (*Zea mays* L.). Maydica, 33(2): 109-119.
- Ünay A, Konak C, Serter E, Basal H, Zeybek A, 1999. Mısırdaki Bazı Özelliklerin Çoklu Dizi Analizi ile Belirlenmesi. Türkiye III. Tarla Bitkileri Kongresi. 15-18 Kasım 1999, Adana.
- Yang Y, Xu W, Hou P, Liu G, Liu W, Wang Y, Zhao R, Ming B, Xie R, Wang K, Li S, 2019. Improving Maize Grain Yield by Matching Maize Growth And Solar Radiation. Scientific Reports doi.org/10.1038/s41598-019-40081-z
- Yüce S, Turgut D, 1991. Ege Bölgesinde 2. Ürün Melez Mısır Islahı. Doğa, Türk Tarım ve Ormanlık Dergisi, 15: 520-532.

Humik Asitin Baklada (*Vicia faba* L.) Tuz (NaCl) Stresinin Azaltılması Üzerine EtkisiMurat TUNÇTÜRK^{1*}, Rüveyde TUNÇTÜRK¹, Erol ORAL¹, İshak BARAN¹

ÖZET:Bu çalışma, farklı tuz (NaCl) dozu uygulamaları (kontrol, 50, 100 ve 150 mM) altında yetiştirilen baklada (*Vicia faba* L.) humik asit uygulamalarının (kontrol, 50, 100 ve 200 ppm) bitkide bazı fizyolojik ve biyokimyasal parametreler üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bakla bitkisinin kök ve gövde uzunluğu, kök ve gövde yaş ağırlığı, kök ve gövde kuru ağırlığı, yaprak alanı, yaprak klorofil miktarı, yaprak dokularında iyon sızıntısı, yaprak dokularında membran dayanıklılık indeksi ve malondialdehit (MDA) düzeyi gibi parametreler incelenmiştir. Çalışma sonucunda; tuz stresinin incelenen tüm parametreler üzerine olan etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Tuz stresi koşullarının yaprak dokularında iyon sızıntısı ve MDA dışındaki tüm parametrelerde azalışlara neden olduğu tespit edilmiştir. Humik asit uygulamasının incelenen tüm parametreler üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$ ve $p<0.01$).

Anahtar Kelimeler:Bakla, Humik Asit, Tuz, Tolerans

Effect of Humic Acid on Reducing Salt (NaCl) Stress in Broad Bean (*Vicia faba* L.)

ABSTRACT: This study was carried out to determine the effects of humic acid applications (control, 50, 100 and 200 ppm) on some physiological and biochemical parameters in different salt doses (control, 50, 100 and 150 mM, NaCl) in broad beans (*Vicia faba* L.). Parameters such as root and stem length, root and stem fresh weight, root and stem dry weight, leaf area, leaf chlorophyll amount, ion leakage in leaf tissues, membrane resistance index and malondialdehyde (MDA) level in leaf tissues were investigated. In the results of working; the effect of salt stress on all parameters examined was found statistically significant. It was determined that salt stress conditions caused decrease in all parameters except MDA and leaf tissues ion leak. The effect of humic acid application on all parameters examined was statistically significant ($p < 0.05$ and $p < 0.01$).

Keywords: Broad Bean, Humic acid, Salt, Tolerance

¹Murat TUNÇTÜRK (Orcid ID: 0000-0002-7995-0599), Rüveyde TUNÇTÜRK (Orcid ID: 0000-0002-3759-8332), Erol ORAL (Orcid ID: 0000-0002-3759-8332), İshak BARAN (Orcid ID: 0000-0002-6299-8043), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Murat TUNÇTÜRK, e-mail: murattuncurk@yyu.edu.tr

Geliş tarihi / Received: 26-03-2019

Kabul tarihi / Accepted: 01-05-2020

GİRİŞ

Bitkisel üretimde verim ve kaliteyi etkileyen birçok stres faktörü bulunmaktadır. Bu stres kaynakları biyotik veya abiyotik olarak iki kısımda incelenir. Bitkide büyüme, gelişme ve ürün verimliliğini etkileyen olumsuz dış etmenler “stres” olarak tanımlanır (Akıncı, 1997). Bustres faktörleri arasında ilk sırada kurak ve yarı kurak alanlarda görülmekte olan tuzluluk oldukça önemlidir (Kaçar ve ark., 2002; Kalaj ve Pietkiewich, 1993; Akinermi, 2000). Günümüzde modern tarım uygulamaları ile birlikte üretimde kullanılan girdilere (gübreler, hormonlar ve ilaçlar) ilaveten vahşi sulama yöntemleri tuzluluğu tetikleyen başlıca nedenlerdir (Bat ve ark., 2020; Oral ve ark., 2020). Dünya üzerinde sulanan toprakların %6’sında tuzluluk problem görülmektedir (Kanber ve ark., 2005). Ülkemizde bu oran ise toplam sulanabilen arazilerin %32.5’ine karşılık gelmektedir (Kalyoncu, 2013). Toprakta tuzluluk ve alkalileşmenin en temel sebebi sulama, drenaj ve toprak özellikleri olarak sıralanmaktadır. Bayraklı (1998) ‘ya göre; tuzun bitki dokularına etkisi 3 farklı şekilde ortaya çıkmaktadır.

- a-Osmotik basıncın yükselerek su ve besin elementi alımının tamamen durması,
- b-Bir kısım tuzlarının bitki besin maddelerini alımını kısıtlayarak toksik etki sonucu metabolizmayı bozmaları,
- c-Toprak yapısını bozarak bitkinin yeterli su teminini olumsuz yönde etkilenmektedir.

Tuza dayanıklılık bakımından türler ve varyeteler arasında geniş bir varyasyon görülmektedir. Bakla (*Vicia faba* L.) bitkisi tuza orta derecede dayanıklı bir türdür. Tuz stresinin zararlı etkileri esas olarak bitki çeşidine bağlıdır. Aynı zamanda tuz çeşidi ve miktarı ile süreye bağlı olarak değişmektedir. (Munns et al., 2002). Günümüzde bitkisel üretimde kullanılan fosil kaynakların insan ve çevre üzerine olan olumsuz etkileri endişe verici bir boyut ulaşmıştır. Sentetik içerikli bu kimyasalların zararlı etkilerini azaltacak alternatif uygulamalara önem verilmelidir. Bu amaçla ekolojik tarım uygulamalarına kademeli olarak hız verilmiştir (Soyergin, 2003). Ekolojik tarımda esas amaç toprak verimliliğinin korunarak sürdürülebilir bir üretime sahip olmaktır. Bu hedeflere ulaşmada bitkisel üretimde organik gübreler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Organik gübreler bitkinin ihtiyacı olan besin maddelerini sağlamanın yanı sıra toprağın fiziksel ve kimyasal yapısını düzeltici etkiye sahiptirler. Organik gübreler yapısal anlamda bitkisel ve hayvansal atıklardan oluşur. Bu organik maddelerin temel yapısını humik oluşturmaktadır. Humik bir şekilsel büyüklüğü olmayan, heterojen, değişik renklerde asidik kompleks moleküllerdir (MacCharty, 2001). Humik yapıdaki maddeler içerikleri nedeniyle toprak ve bitki üzerinde önemli etkilere sahiptirler. Toprakta, su tutma kapasitesi, havalanma, drenaj, iyon kapasitesi, çözünebilirlik gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerin artmasını sağlar. Bitkiler açısından ise kök ve fide gelişimi başta olmak üzere birçok faydasının olduğu belirtilmiştir. Humik madde toprakta üç farklı temel bileşen halinde bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla humik asit, fulvik asit ve humin olarak isimlendirilir. Toprak ve bitki açısından en önemli olanı hiç kuşkusuz humik asitlerdir. Bitki besleme açısından humik asit içerdiği bileşenler nedeniyle mikrobiyal aktivitenin ve popülasyonun önemli derecede artmasına neden olmaktadır (Hiradate and Yamaguchi, 2003).

Ülkemizde bitkisel üretimde artan kimyasal kullanımı, bilinçsiz sulama yöntemleri nedeniyle tuzluluk ve alkalilik problemi giderek artmıştır. Bu çalışmada, farklı tuz stresi şartlarında bakla bitkisinde humik asitin etkisinin tespiti amaçlanmıştır. Bitkisel üretim açısından toprakta tuzluluk nedeniyle üretim dışı kalan araziler ıslah edilerek ekonomiye katkı sağlayacağı gibi benzer çalışmalara da ışık tutacaktır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma 2019 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümüne ait kontrollü iklim odasında Tesadüf Parselleri Deneme Deseni' ne göre faktöriyel düzende 4 tekerrürlü olarak drenajsız saksılarda yürütülmüştür. Araştırmada bakla (*Vicia faba* L.) türüne ait Seher çeşidi kullanılmıştır. Araştırmada dört farklı humik asit (0, 50, 100 ve 200 ppm) ve dört farklı tuz dozu (0, 50, 100 ve 150 mM NaCl) uygulanmıştır. Saksı denemelerinde, 20 cm çap ve 20 cm yüksekliği olan toplam 48 adet plastik saksı kullanılmıştır. Saksılara 300 gramı perlit olan 2 kg toprak karıştırılarak doldurulmuştur. Perlit toprak ile karıştırılmadan önce çeşme suyu daha sonrasında saf su ile yıkandıktan sonra eklenmiştir (Kına, 2000). Her saksıda 3 adet bakla tohumu olacak şekilde 02.07.2019 tarihinde ekim yapılmıştır. Ekim yapıldıktan hemen sonra saf olarak 50 cc can suyu verilmiştir. Saksılarda çıkış ve sonrasında iki gün ara ile sürekli 50 cc su verilmiştir (Koç, 2005). Saksıdaki bakla fideleri içerisinde en iyi gelişen bitki kalacak şekilde tekleme yapılmıştır. Bakla fidesi 3-4 yapraklı döneme ulaştığında 2 gün ara ile humik asit dozları (0, 50, 100 ve 200 ppm) toprağa karıştırılmıştır. Araştırmada bitkiler genç fide dönemlerinde kontrol olarak kabul edilen saksılar hariç başlangıç tuz dozları (0, 50, 100 ve 150 mM NaCl) uygulanmaya başlanmıştır. Bitkilere tuz dozlarının tamamı fizyolojik sorunlar ortaya çıkana kadar devam etmiştir (Seymen ve Önder, 2005). Bitkilerde önce yapraklarda daha sonra diğer kısımlarda görülen sararma ve benzeri problemler ile birlikte fideler hasat edilmiştir. Araştırmada, kök ve gövde uzunluğu, kök ve gövde yaş ağırlığı, kök ve gövde kuru ağırlığı, klorofil oranı, yaprak alan indeksi, yaprak dokularında iyon sızıntısı, yaprak dokularında membran dayanıklılık indeksi ve MDA (Malondialdehit nmol g^{-1}) okumaları yapılmıştır.

Yaprak alanı Easy Leaf Area programı kullanılarak, klorofil içeriği, yapraktaki klorofil miktarını dolaylı olarak ölçen, taşınabilir klorofil metre cihazı (Minolta SPAD-502, Osaka, Japan) ile bağlı (oransal) su içeriği Arora ve ark. (2002)' in yöntemine göre, yaprak dokularında iyon sızıntısı ve membran dayanıklılık indeksi Premchandra ve ark. (1990); Sairam, (1994) yöntemlerine göre belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada lipid peroksidasyon düzeyini belirleyen malodialdehid (MDA); bitkiden alınan 0.5 g yaprak örneği 10 ml %0.1'lik trikloro asetik asit (TCA) ile homojenize edildikten sonra homojenat 15000 g'de 5 dakika santrifüj edilmiştir. Santrifüj edilen örneğin süpernatant kısmından 1 ml alınıp, üzerine 4 ml %20'lik TCA içerisinde çözülmüş %0.5' lik tiobarbiturik asit (TBA) eklenmiştir. Karışım 95°C su banyosunda 30 dakika bekletildikten sonra hızla buz banyosunda soğutulup 10000 g'de 10 dakika santrifüj yapıldıktan sonra süpernatant kısmının 532 ve 600 nm dalga boyunda absorbansı belirlenip aşağıdaki eşitlik ile malodialdehit (MDA) içeriği hesaplanmıştır (Heath ve Packer, 1968; Sairam ve Saxena, 2000).

İstatistiksel Analizler

Elde edilen verilerin istatistiksel analizleri Costat (sürüm 6.303) paket programı ile yapılırken, verilerin çoklu karşılaştırma testleri ise Duncan testine göre yapılmıştır (Düzgünes ve ark., 1987).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Tuz stresi altında bakla (*Vicia faba* L.) fidelerinde humik asit ön uygulamalarının fizyolojik ve biyokimyasal özellikler üzerine etkisi Çizelge 1 ve 2'de gösterilmiştir.

Kök Uzunluğu (cm)

Araştırma sonucunda baklada kök uzunluğu üzerine tuz dozları, humik asit ve tuz x humik asidin etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$, $p < 0.01$). Farklı tuz dozu uygulaması sonucunda elde edilen en uzun kök uzunluğu 28.7 cm ile 50 mM tuz dozundan elde edilmiştir. Bu parametrede en düşük değer ise 26.6 cm ile 150 mM tuz dozu uygulamasında ölçülmüştür. Ortalama 100 mM

uygulamasından 27.0 cm kök uzunluk değerleri ile aynı grupta yer almıştır. Birçok bitki ile yürütülen benzer çalışmalarda kök rizosferinde tuz miktarının artmasıyla birlikte ilk olarak osmotik stres oluşmaktadır. Genç fidelerin bünyelerine aldıkları tuz önemli bir stres kaynağıdır. Bu gerilme osmotik basınç ve iyon stresini artmasına neden olmaktadır (Parida ve Das, 2005). Tuz stresi hücre bölünmesi ve büyümesini olumsuz yönde etkileyerek kök uzunluğunun azalmasına yol açtığı belirtilmiştir (Bressan, 2008). Bu sonuçlar elde ettiğimiz bulgular ile benzerlik göstermektedir.

Ortalama humik asit dozlarından elde edilen en yüksek kök uzunluğu 200 ppm dozunda 30.6 cm, en düşük kök uzunluğu ise 25.4 cm ile 50 ppm HA dozundan elde edilmiştir. Humik asitin kontrol grubu ile aynı grupta yer almıştır. Aydın ve ark. (2012) tarafından yürütülen bir çalışmada benzer sonuçlar elde edilmiştir. Çalışma sonucunda, humik asidin kök gelişimi ve uzunluğu üzerine olumlu etkilerinin olduğu tespit edilmiştir. Marul üzerine yürütülen bir çalışmada da benzer sonuçlar bulunmuştur (Çimrin ve Yılmaz, 2005). Kızılgöçü ve ark (2017)'nin buğdayda yürüttükleri çalışmada tuzun bitkilerde kök büyüme ve gelişmesini azalttığı belirtilmiştir.

Tuz x HA interaksyonunda en yüksek kök uzunluğu 32.2 cm ile 100 mM tuz ve 200 ppm HA uygulamasından elde edilmiştir. En düşük kök uzunluğu ise 24.2 cm ile 150 mM tuz x humik asitin kontrol uygulamasında ölçülmüştür. Meganid ve ark., (2015), fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) üzerinde yürüttükleri bir çalışmada 15, 30 ve 45 gün sonra yapılan ölçümlerde tuz stresine karşı bitkilere verilen humik asidin kök uzunluğundaki artış üzerine istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar elde ettiklerini bildirmişlerdir. Benzer bir araştırmada 100 mM NaCl uygulamasının arpada (*Hordeum vulgare* L.) kök uzunluğunu azalttığı ancak humik asit ile muamelenin bunu tersine çevirdiğini belirtmiştir (Jarosova et al., 2016).

Gövde Uzunluğu (cm)

Elde edilen sonuçlara göre ortalama gövde uzunluğu üzerine HA, Tuz ve Tuz x HA interaksyonunun etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.01$). Çizelge 1'de görüldüğü gibi en uzun gövde uzunluğu 38.7 cm ile 100 mM tuz dozundan, en düşük değer ise 36.9 cm ile tuzun kontrol grubundan elde edilmiştir. Benzer bir çalışmada fasulye fidelerinde toprak üstü aksamın gelişiminde önemli role sahip azot ve fosfor içeriklerinde en NaCl, KCl, CaCl₂ ve MgCl₂ uygulamaları sonucunda büyük düşüşler tespit edilmiştir. Bu düşüş bitkilerde kök, gövde gelişiminin gerilemesine neden olmaktadır (Aydın ve ark., 2012).

Baklada ortalama en yüksek gövde uzunluğu 38.7 cm ile 200 ppm HA dozundan, en düşük değer ise 35.5 cm ile HA uygulamayan bitkilerde elde edilmiştir (Çizelge 1). Benzer bir araştırmada Hoagland çözeltilisine eklenen humik asitin baklada köklerde Na, K ve Ca; toprak üstü organlarda ise Na, K, Fe ve Mn içeriklerini arttırarak toprak üstü aksamlarının daha iyi gelişmesini sağladığı belirtilmiştir (Büyükköskün, 2008).

Gövde uzunluğu üzerine Tuz x HA etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. En yüksek gövde uzunluğu 40.3 cm ile 0 mM x 200 ppm uygulamasından, en düşük değer ise 32.7 cm ile 0 mM x 0 ppm doz uygulamalarından elde edilmiştir. Tuz stresine sokulmuş fasulye fidelerinde humik asitin gövde uzunluğu üzerine etkisinin önemli olduğu bildirilmiştir (Meganid et al., 2015).

Kök Yaş Ağırlığı (g)

Çizelge 1 'de görüldüğü gibi kök yaş ağırlığı üzerine tuz, humik asit ve tuz x humik asit interaksyonlarının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$, $p < 0.01$). Tuz stresine maruz kalan baklada en yüksek ortalama kök yaş ağırlığı 4.81 g ile 50 mM tuz dozundan elde edilmiştir. En düşük kök yaş ağırlığı 3.44 g ile tuzun kontrol grubundan elde edilmiştir. Buğdayda benzer bir çalışmada

tuz dozlarındaki kademeli artışın bitkide su alım etkinliği ile birlikte besin maddelerinin alınımını azaltarak kök yaş ağırlıklarının azalmasına neden olduğu belirtilmiştir (Kızılgeçi ve ark., 2010).

Humik asit uygulamaları sonucu elde edilen en yüksek kök yaş ağırlığı 4.67 g ile 200 ppm HA dozundan elde edilirken, en düşük değer 3.71 g ile kontrol grubundan elde edilmiştir. Zandonadi et al., (2007), tarafından mısır bitkisinde HA uygulamalarının kök yaş ağırlığını %244, IAA ise %80 artırdığı tespit edilmiştir. Özellikle humik asit benzeri büyümeyi teşvik eden hormonlar mısırdaki ikinci kök miktarında önemli derecede artışlar olduğu bildirilmiştir.

Tuz x HA interaksyonunda elde edilen en yüksek kök yaş ağırlığı 5.43 g ile 50 mM tuz x 200 ppm HA uygulamasından, en düşük değer ise 2.48 g ile 150 mM x 100 ppm dozlarından elde edilmiştir. Meganid et al. (2015), fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) üzerinde yürüttükleri bir çalışmada 15, 30 ve 45 gün sonra yapılan ölçümlerde tuz stresine karşı bitkilere verilen humik asidin kök uzunluğu ve yaş ağırlık artışı üzerine istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar elde ettiklerini bildirmişlerdir. Benzer bir çalışmada 100 mM NaCl uygulamasının arpada (*Hordeum vulgare* L.) kök yaş ağırlığını azalttığı ancak humik asit ile muamelenin bunu tersine çevirdiğini belirtmiştir (Jarosova et al., 2016).

Gövde Yaş Ağırlığı (g)

Gövde yaş ağırlıkları üzerine, Tuz, HA ve Tuz x HA interaksyonlarının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$, $p<0.01$). Tuz dozu uygulamaları bakımından baklarda en yüksek gövde yaş ağırlığı 6.51 g ile kontrol grubundan, en düşük değerler ise 100 ve 150 mM tuz uygulamalarında 5.42 ve 5.56 g olarak ölçülmüştür (Çizelge 1). Artan tuz konsantrasyonlarına bağlı olarak gövde yaş ağırlıklarının azaldığına dair araştırmacı bulguları ile çalışma sonuçlarımız benzerdir (Orak ve ark., 2020). Tuz stresine maruz kalan bitkilerde ortaya çıkan zarar tuzun yoğunluğuna ve süresine bağlı olarak değişmektedir. Hücre duvarında meydana gelen zarar diğer hücre organellerinin bozulması sonucu büyüme ve gelişmede gerilemeye neden olmaktadır (Öztürk ve ark. 1994; Bat ve ark., 2020).

Humik asit uygulaması sonucu ortalama en yüksek gövde yaş ağırlığı 7.10 g ile 200 ppm dozundan, en düşük değer ise 4.76 g kontrol grubundan elde edilmiştir. Eyheraguibel et al. (2008)'nin su kültüründe mısırdaki yaptıkları bir çalışmada humik asit uygulamalarının mısır fidelerinde gövde ve yaprakların yaş ağırlıklarında kontrol gruplarına göre ortalama %60 oranında artış görülmüştür.

Tuz x Humik asit interaksyonundan elde edilen en yüksek gövde yaş ağırlığı 7.7 g ile 0 mM Tuz x 200 ppm HA uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 1). En düşük değer 4.32 g ile 150 mM x 0 ppm uygulamasında ölçülmüştür. Buğday (*Triticum aestivum* L.)'da 200 mM NaCl uygulaması sonucunda fidelede sürgün boyları ve gövde yaş ağırlığında sırasıyla %40 ve %75 oranında azalma meydana gelmiştir. Aynı çalışmada humik asit uygulaması sonucu meristem hücrelerindeki çoğalma sonucu sürgün boyu ve gövde yaş ağırlığında %20, %33 artış tespit edilmiştir (Osman et al., 2017).

Kök Kuru Ağırlığı (g)

Kök kuru ağırlığı üzerine Tuz ve HA uygulamalarının etkisi önemsiz olurken, Tuz x HA interaksyon etkisi ise istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.01$). En yüksek kök kuru ağırlığı 0.46 g ile 100 mM x 100 ppm uygulamasından, en düşük değer ise 0.28 g ile 150 mM x 100 ppm dozlarından elde edilmiştir (Çizelge 1). Bu konuda yürütülen çalışmalarda tuz stresi altındaki bitkilere verilen humik asitin kök hücrelerinde genişleme ve uzama, yaş ve kuru ağırlıkları üzerine etkisinin olumlu olduğu belirtilmiştir (Vaughan, 1974; Cacco et al., 1984; Russo and Berlyn, 1990; Howard, 2002).

Gövde Kuru Ağırlığı (g)

Gövde kuru ağırlığı üzerine tuz, humik asit ve tuz x humik asit interaksyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.01$). Baklarda en yüksek kuru gövde ağırlığı 0.90 g kontrol tuz grubundan, en düşük değer ise 0.63g ile 150 mM tuz dozundan elde edilmiştir. Benzer çalışmalarda; tuz

stresine maruz kalan bitkilerde zarar derecesi tuzun yoğunluğuna ve süresine bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir. Artan tuz dozu konsantrasyonlarına bağlı olarak yaş ve kuru gövde ağırlıklarının azaldığı bildirilmiştir (Öztürk ve ark., 1994; Bat ve ark., 2020).

Çizelge 1’de görüldüğü gibi humik asit dozları bakımından en yüksek gövde kuru ağırlığı 0.92 g ile 200 ppm dozundan, en düşük değer ise 0.65 g ile kontrol grubundan elde edilmiştir. Varanini ve Pinton (1995) tarafından yürütülen benzer çalışmada humik asitlerin bitki büyümesi ve mineral beslenme üzerine etkilerinin oldukça önemli olduğunu belirtmişlerdir. Özellikle ekimle birlikte çimlenme, ilk fide büyümesi, gövde gelişimi, sürgün miktarı ile makro ve mikro besin elementlerinin alınımının arttığı tespit edilmiştir (Chen and Avid, 1995).

Tuz x HA interaksiyonunda en yüksek değer 0.99 g ile kontrol grubu tuz ve 200 ppm humik asit dozunda ölçülmüştür. En düşük değer ise 150 mM x 100 ppm uygulamasında 0.53 g olarak ölçülmüştür (Çizelge 1) Benzer çalışmada tuz stresine maruz bırakılan fasulye fidelerine humik asit uygulamaları sonucunda 15, 30 ve 45 gün sonra yapılan gözlemlerde gövde yaş ve kuru ağırlıkları ile klorofil oranlarında istatistiksel olarak önemli artışlar tespit edilmiştir (Meganid ve ark., 2015). Birçok araştırmada HA uygulamalarının kök, gövde gelişimi, yaprak alanı gibi fizyolojik özellikler üzerine etkisi dışında bitki besin elementlerinin alınımına da katkı sağladıkları belirtilmiştir (Çimrin ve Yılmaz, 2005).

Çizelge 1. Tuz stresi altındaki bakla (*Vicia faba* L.) fidelerinde humik asidin ön uygulamasının bazı fizyolojik özellikler üzerine etkisi

Stres Uygulamaları							
Tuz Dozları	HA Dozları	Kök Uzun. (cm)	Gövde Uzunluğu (cm)	Kök Yaş Ağırlığı (g)	Gövde Yaş Ağırlığı (g)	Kök Kuru Ağırlığı (g)	Gövde Kuru Ağırlığı (g)
Kontrol(T ₀)	HA ₀	25.7 e	35.7 d	2.91 c	5.01 d	0.29 f	0.80 def
	HA ₅₀	25.3 e	34.3 de	3.82 b	5.73 c	0.35d	0.85 cd
	HA ₁₀₀	28.7 b	37.3 cd	3.03 c	7.62 a	0.32 e	0.96 a
	HA ₂₀₀	29.7 ab	40.3 a	4.02 b	7.70 a	0.41 b	0.99 a
T ₀ Ortalama		27.3 AB	36.9 B	3.44 B	6.51 A	0.34	0.90 A
50 mM(T ₅₀)	HA ₀	27.0 c	34.2 de	4.31 ab	4.71 e	0.35 d	0.73 gh
	HA ₅₀	28.0 b	33.7 f	4.44 ab	5.85 c	0.38 c	0.82 d
	HA ₁₀₀	28.3 b	34.3 de	5.08 a	6.12 b	0.41 b	0.88 b
	HA ₂₀₀	31.7 a	35.4 d	5.43 a	6.22 b	0.42 b	0.94 ab
T ₅₀ Ortalama		28.7 A	34.4 C	4.81 A	5.72 B	0.39	0.84 B
100 mM (T ₁₀₀)	HA ₀	25.7 e	39.5 a	4.13 ab	5.01 a	0.37 c	0.59 ij
	HA ₅₀	24.0 f	39.0 abc	3.72 b	4.74 e	0.34 d	0.74 fgh
	HA ₁₀₀	26.0 d	36.7 d	5.18 a	4.82 e	0.46 a	0.82 d
	HA ₂₀₀	32.2 a	39.7 a	4.02 b	7.67 a	0.37 c	0.88 b
T ₁₀₀ Ortalama		27.0 B	38.7 A	4.26AB	5.56 B	0.38	0.75 C
150 mM (T ₁₅₀)	HA ₀	24.2 f	32.7 g	3.52 bc	4.32 d	0.39 b	0.49 k
	HA ₅₀	24.3 f	35.3 d	5.18 a	5.34 cd	0.43 ab	0.60 hı
	HA ₁₀₀	28.7 b	34.7 ef	2.48 cd	5.23 cd	0.28 f	0.53 ıjk
	HA ₂₀₀	29.0 b	39.3 a	5.22 a	6.81 ab	0.38 c	0.89 b
T ₁₅₀ Ortalama		26.6 B	35.5 B	4.10AB	5.42 B	0.37	0.63 D
HA Dozlarının Ortalaması	HA ₀	25.7 C	35.5 C	3.71 B	4.76 B	0.35	0.65 B
	HA ₅₀	25.4 C	35.6 C	4.29AB	5.41 B	0.37	0.66 B
	HA ₁₀₀	27.9 B	36.3 B	3.94 B	5.94 AB	0.36	0.79AB
	HA ₂₀₀	30.6 A	38.7 A	4.67 A	7.10 A	0.39	0.92 A
VK (%)		11.4	7.73	15.9	11.08	12.51	13.89
Tuz Dozları		*	**	*	*	öd	**
HA Dozları		**	**	*	**	öd	**
HA x Tuz Dozları		**	**	**	**	**	**

HA: Humik Asit; HA₀: Kontrol dozu; T₀: Kontrol Tuz Dozu; VK(%): Varyasyon katsayısı, öd:önemli değil.

*P<0.05 düzeyinde, ** P<0.01 düzeyinde önemli.

Yaprak Alan İndeksi (cm²)

Bu çalışmada yaprak alan indeksi (YAI) üzerine tuz, humik asit ve tuz x humik asit interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.01$). Farklı tuz konsantrasyonlarında ortalama en yüksek yaprak alan indeksi 17.2 cm² ile kontrol (0 mM) grubundan elde edilirken, en düşük yaprak alan indeksi değeri ise 11.9cm² ile 150 mM tuz dozundan elde edilmiştir (Çizelge 2). Özellikle NaCl tuzları bitkide su miktarının azalmasını neden olduğundan iyon dengesi bozularak büyüme ve gelişme aktivitelerinin azalmasına neden olmaktadır. Benzer çalışmalarda artan tuz dozlarına paralel olarak yaprak alan indeksinin azaldığı tespit edilmiştir (Parida and Das, 2005).

Çizelge 2’de görüldüğü gibi baklada humik asit dozları bakımından en yüksek YAI değeri 16.6 cm² ile en yüksek humik asit uygulamalarından (200 ppm), en düşük değer ise 12.0 cm² kontrol grubundan elde edilmiştir. Kontrol ile 50 ppm HA uygulamaları ile aralarında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir. Fasulye fidelerinde yürütülen bir çalışmada humik asitin bitkilerde vejetatif gelişmeyi teşvik ettiği bildirilmiştir (Meganid et al., 2015).

Tuz x HA interaksyonu açısından; en yüksek yaprak alan indeksi 19.9 cm² değeri ile tuzun uygulanmadığı kontrol grubunda 100 ppm HA uygulamasında ölçülmüştür. En düşük değer 10.2 cm² ile 150 mM x 50 ppm doz uygulamalarından elde edilmiştir. Buğday, mısır ve fasulyede tuz stresi altında yürütülen çalışmalarda nitrate bağlı yaprak alan indeksi azalışında humik asitin iyileştirici etkisinden söz edilmiştir (Botella et al., 1994; Turan ve Aydın, 2005; Aydın ve ark., 2012). Özellikle hormon seviyesinde önemli bir bitki besin düzenleyicidir. Tuz gibi stres faktörlerine karşı bitkilere direnç sağladığı bildirilmiştir (Serenella et al., 2002). Birçok araştırmada HA’ nın kök, gövde gelişimi, yaprak alanı gibi fizyolojik özellikler üzerine etkisi dışında bitki besin elementlerinin alınımına da katkı sağladıkları belirtilmiştir (Akinermi, 2000).

Klorofil Oranı (SPAD)

Klorofil oranı bakımından tuz dozları ve HA dozları arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar bulunmuştur ($P<0.01$). Aynı zamanda Tuz x HA interaksyonunda istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Tuz uygulamaları sonucunda; en yüksek klorofil oranı 48.3 ile tuzun kontrol (0 mM NaCl) uygulamalarından elde edilirken, 50 ve 100 mM dozlarından elde edilen klorofil oranları (48.0) ile aynı grupta yer almıştır. En düşük değer ise 47.4 ile 150 mM tuz dozu uygulamalarından tespit edilmiştir (Çizelge 2). Koyro (2002) tarafından yürütülen bir çalışmada tuz zararının en fazla kloroplastlar üzerinde olduğu belirtilmiştir.

Çizelge 2’de görüleceği gibi klorofil oranı bakımından HA uygulamaları sonucu en yüksek klorofil oranı 50.1 ile 200 ppm HA uygulamalarından elde edilirken, en düşük değer 46.7 ile kontrol uygulamasından ölçülmüştür. Bakla üzerine yürütülen bir çalışmada HA ile birlikte 50 ve 100 mM Al bitkide Fe, Mn ve K alınımını artırarak klorofil sentezinde önemli rol aldığını belirtmişlerdir. Böylece bitkide klorofil oranı kontrol gruplarına göre artmıştır (Bozcuk, 2000). Bu sonuçlar elde ettiğimiz bulgular ile benzerlik göstermektedir.

Tuz x HA interaksyonunda en yüksek klorofil oranı 52.8 ile 50 mM x 200 ppm, en düşük değer ise 45.4 ile 150 mM tuz dozunda ve 0 ppm HA uygulamalarından elde edilmiştir. Meganid et al., (2015) tarafından yürütülen çalışmada tuz stresi altında fasulyede humik asitin klorofil içeriğini artırdığı tespit edilmiştir. Araştırmada elde edilen sonuçlar ile benzerlik göstermektedir.

Yaprak Dokularında Membran Dayanıklılık İndeksi(%)

Yaprak dokularında membran dayanıklılık indeksi üzerine, tuz stresi uygulamaları ile HA x Tuz interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.01$). Tuz uygulamaları bakımından en yüksek değer %63.9 ile 0 mM tuz dozu uygulamalarından elde edilmiştir. Yaprak dokularında

membran dayanıklılık indeksi bakımından 50 mM ile kontrol dozu aynı grupta yer almıştır (Çizelge 2). Tuz dozlarının artması ile dayanıklılık indeksi azalmış ve en düşük değer %53.7 olarak 150 mM uygulamasından elde edilmiştir. Benzer bir çalışmada membran zararından kaynaklı iyon sızıntılarının miktarı stresin derecesi hakkında bilgi vermektedir. Bu stres indeksi olarak tanımlanmaktadır. Söz konusu indeks; bitki türüne, stres süresine, şiddetine ve antioksidanların cinsine bağlı olarak artmakta, azalmakta ya da değişmemektedir (Mishra and Choudhuri 1999).

Humik asit uygulamaları bakımından membran dayanıklılık indeksi değeri %49.7-67.7 arasında değişiklik göstermektedir. Artan humik asit dozlarına paralel olarak yaprak dokularında membran dayanıklılık indeksinin arttığı görülmüştür. Benzer çalışmalar ile bulgularımız benzerlik göstermektedir (Bat ve ark., 2020).

Tuz x HA uygulamaları bakımından en yüksek değer ise %75.6 ile 100 ppm ve 0 mM tuz uygulamalarından tespit edilmiştir. 50 mM tuz uygulamalarında ve HA kontrol grubuyla aralarında istatistiksel bir farklılığı olmadığı görülmektedir (Çizelge 2). Tuz ve kuraklık gibi stres altında humik asit ve silikon uygulamalarının bitki hücrelerini koruyarak membran dayanıklılık indeksini artırdığı bildirilmiştir (Desoky et al., 2018; Korkmaz, 2018).

Yaprak Dokularında İyon Sızıntısı (%)

Yaprak dokularında iyon sızıntısı üzerine tuz, humik asit ve tuz x humik asit interaksiyonun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.01$).

Artan tuz dozlarına paralel olarak yaprak dokularında iyon sızıntısı artmıştır. En yüksek değer %32.6 ile 150 mM dozundan, en düşük ise % 25.5 oranında tuzun kontrol grubundan ölçülmüştür (Çizelge 2). Tuz dozlarına paralel olarak iyon sızıntı miktarının artmasının nedeni olarak bitki hücre membranı ve stabilitesinde meydana gelen hasardan ileri geldiği düşünülmektedir (Bat ve ark., 2020).

Humik asit dozlarından elde edilen en yüksek YDİS %33.8 ile kontrol grubundan, en düşük değer (%23.8) ise 200 ppm uygulamasında ölçülmüştür (Çizelge 2). Mishra and Choudhuri (1999) tarafından yürütülen bir çalışmada bitki hücre membranında meydana gelen zarar sonucu açığa çıkan iyon sızıntısının bitki türüne, stres kaynağına, stres süresi ve şiddetinin yanı sıra antioksidantların cinsine bağlı olarak değiştiği bildirilmiştir.

Tuz x HA interaksiyonu bakımından en yüksek iyon sızıntısı oranı %39.8 ile 0 ppm humik asit ve 150 mM tuz uygulamalarından tespit edilmiştir. Tuz gibi stres faktörlerine maruz kalan bitkilerde ilk belirtiler hücre membranı ve stabilitesi üzerinde kendisini göstermekte, dayanıklılık mekanizmalarının açıklanmasında bu direnç önemli bir parametre olarak kabul edilmektedir. Stres şartlarına karşı humik asit, silisyum, gibberellik asit ve deniz yosunu gibi ön uygulamaların stres koruyucu ve önleyici etkilere sahip oldukları belirlenmiştir (Zhu et al., 2004). Tuz stresinde membran hasarlanma derecesi hücreden sızan elektrolitlerin ölçülmesiyle tespit edilmektedir. Bu miktara bakılarak bitkinin stres şartlarına olan dayanıklılık indeksi belirlenmektedir (Bajji et al., 2001). Zarar derecesi bitkinin genetik yapısına, stres şartlarının derecesine ve süresine bağlı olarak değişmektedir.

MDA (Malondialdehit nmolg^{-1})

Bu çalışmada, baklada MDA (Malondialdehit nmolg^{-1}) üzerine farklı seviyelerde HA uygulamaları ile Tuz x HA interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.01$).

Humik asit uygulamaları bakımından en yüksek MDA değeri 0.351 nmolg^{-1} ile kontrol uygulamalarından, en düşük değer ise 0.252 nmolg^{-1} ile 200 ppm humik asit uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 2). Humik asitlerin stres şartlarında hücre zarında lipid oksidasyon sonucu ortaya çıkan MDA miktarında önemli bir azalma meydana getirdiği bildirilmiştir (Aydın ve ark., 2012).

Araştırmada uygulanan tuz dozlarının MDA üzerine etkisi istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur. Tuz uygulamaları sonucu elde edilen MDA değerleri 0.272-0.295 nmol g⁻¹ değerleri arasında bulunmuştur.

Tuz x HA interaksyonunda en yüksek değer 0.438 nmol g⁻¹ ile 150 mM tuz x 0 ppm HA uygulamalarından elde edilmiştir. En düşük değer 0.221 nmol g⁻¹ ile 0 mM x 200 ppm HA uygulamasında ölçülmüştür. Bitki stres şartlarında reaktif oksijen açığa çıkarmak suretiyle bir reaksiyon meydana getirmektedir. Açığa çıkan oksijen hücre membranında bulunan lipidleri oksitleyerek membran geçirgenliğinin bozulmasına neden olmaktadır. Bu zarar sonucunda tuz stresinin bir göstergesi olan ara ürün MDA açığa çıkmaktadır (Gosett et al., 1994). Elde ettiğimiz sonuçlara bakıldığında tuz zararı ile artan MDA miktarı humik asit uygulamaları ile azalmaya başladığı görülmüştür. Bulgularımızla benzer bir araştırmada biber bitkisinde humik asit benzeri maddelerin tuzun zararlı etkisini azalttığı bildirilmiştir (Tuna ve Eroğlu, 2016).

Çizelge 2. Tuz stresi altındaki bakla (*Vicia faba* L.) fidelerine humik asit ön uygulamasının bazı fizyolojik ve biyokimyasal özellikler üzerine etkisi

Stres Uygulamaları						
Tuz Dozları	HA Dozları	YAI (cm ²)	SPAD Değeri	YDMĐİ (%)	YDİS (%)	MDA (nmol g ⁻¹)
Kontrol(T ₀)	HA ₀	14.1 cd	46.2 d	45.7 mn	31.8 c	0.307 b-d
	HA ₅₀	17.6 ab	47.3 c	63.2 e	27.3 de	0.316 g
	HA ₁₀₀	19.9 a	48.4 bc	75.6 a	27.4 de	0.245 fg
	HA ₂₀₀	17.2 ab	51.5 ab	71.1 b	23.8 gh	0.221 g
T ₀ Ortalama		17.2 A	48.3 A	63.9 A	25.5 B	0.272
50 mM (T ₅₀)	HA ₀	10.9 g	46.1 d	55.7 h	31.8 c	0.322 bc
	HA ₅₀	10.8 g	46.6 d	56.8 g	27.3 de	0.284 de
	HA ₁₀₀	13.3 de	46.6 d	68.1 c-e	22.4 h	0.283 de
	HA ₂₀₀	17.7 ab	52.8 a	70.3 b	20.6 i	0.277 e
T ₅₀ Ortalama		13.2 B	48.0 A	62.7 A	26.1 B	0.292
100 mM (T ₁₀₀)	HA ₀	12.1ef	49.0 b	46.7 m	32.8 bc	0.329 b
	HA ₅₀	12.6 e	49.5 b	54.5 h-j	28.8 d	0.297 b-e
	HA ₁₀₀	11.0 f	46.5 d	61.6 e-g	28.1 d	0.297 b-e
	HA ₂₀₀	17.1 abc	47.0 c	73.3 aB	25.2 fg	0.245 fg
T ₁₀₀ Ortalama		13.2 B	48.0 A	59.0 B	28.7 B	0.295
150 mM(T ₁₅₀)	HA ₀	11.0 f	45.4 e	50.9 k-m	39.8 a	0.438 a
	HA ₅₀	10.2 gh	47.1c	52.2 j	32.8 bc	0.342 b
	HA ₁₀₀	12.3 ef	48.4 bc	55.5 h	31.1 c	0.312 h
	HA ₂₀₀	14.2 cd	48.9 b	56.1 g	26.8 e	0.264ef
T ₁₅₀ Ortalama		11.9 C	47.4 B	53.7 C	32.6 A	0.294
Humik Asit Dozlarının Ortalaması	HA ₀	12.0 C	46.7 B	49.7 D	33.8 A	0.351 A
	HA ₅₀	12.8 C	47.6 B	57.7 C	27.8 B	0.307 B
	HA ₁₀₀	14.1 B	47.4 B	65.2 B	27.4 B	0.284 C
	HA ₂₀₀	16.6 A	50.1 A	67.7 A	23.8 A	0.252 D
VK (%)		14.2	5.54	13.6	7.61	7.09
Tuz Dozları		**	**	**	**	öd
HA Dozları		**	**	**	**	**
HA x Tuz Dozları		**	**	**	**	**

Si: Silisyum; Si₀: Kontrol dozu;T₀: Kontrol Tuz Dozu; VK(%): Varyasyon katsayısı, öd: önemli değil, YAI; Yaprak Alan İndeksi, MDA; Malondialdehit;YDBSİ; Yaprak Dokularında Bağlı Su İçeriği;YDİS: Yaprak Dokularında İyon Sızıntısı; YDMĐİ; Yaprak Dokularında Membran Dayanıklılık İndeksi; *P<0.05 düzeyinde; ** P<0.01 düzeyinde önemli.

SONUÇ

Bu sonuçlara göre tuz stresinin incelenen tüm parametreler üzerine olan etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Tuz stresi koşullarının yaprak dokularında iyon sızıntısı ve Malondialdehit

dışındaki tüm parametrelerde azalışa sebep olduğu tespit edilmiştir. Tuz stresinin etkisini azaltmak için kullanılan humik asit uygulamalarında ise incelenen tüm parametreler üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$ ve $p<0.01$). Artan humik asit dozları tüm fizyolojik ve biyokimyasal parametrelerde, YDİS ve MDA dışındaki diğer parametreler üzerinde kontrol (0 ppm) uygulamalarına kıyasla artışlara neden olmuştur. Ayrıca bitkilerin fizyolojik olarak en hassas olduğu dönem çıkıştan sonraki genç dönem olması nedeniyle benzeri çalışmaların bu dönemde yürütülmesinin daha doğru sonuçlar vereceği düşünülmektedir. Tuz stresine karşı bitkilere dayanıklılık sağlayan humik asidin ticari gübre olarak kullanımı üzerine benzer uygulamalar yapılmalıdır. Özellikle geniş alanlarda tuz stresinden kaynaklı ekonomik kayıpların minimize edilmesinde humik asidin gübre olarak kullanılması için diğer alternatif uygulamalar ile kıyaslanarak maliyet analizlerinin çıkarılması sonucunda sağladığı katkı hesaplanmalıdır.

KAYNAKLAR

- Akinci Ş, 1997. Physiological Responses To Water Stres By (*Cucumis Sativus* L.) and Related Species. Ph. D. Thesis, University of Sheffield. U. K., 1:8-11.
- Akinremi OO, Janzen HH, Lemke RL, Larney FJ, 2000. Response of Canola, Wheat and Green Beans to Leonardite Additions. Canadian Journal of Soil Science, 80: 437-443
- Arora A, Sairam RK, Srivastava GC, 2002. Oxidative Stress and Antioxidative Systems in plants, Curr. Science, 82: 1227-1238.
- Aydın A, Kant C, Turan M, 2012. Humic Acid Application Alleviate Salinity Stress of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Plants Decreasing Membrane Leakage. African Journal of Agricultural Research, 7: 1073-1086.
- Bajji M, Kinet JM, Lutts S, 2001. The Use of The Electrolyte Leakage Method for Assessing Cell Membrane Stability as A Water Stress Tolerance Test in Durum Wheat. Plant Growth Regulation, 36: 61-70.
- Bat M, Tunçtürk R, Tunçtürk M, 2020. Ekinezya (*Echinacea purpurea* L.) Bitki Kuraklık Stresi ve Deniz Yosunu Uygulamalarının Bazı Fizyolojik Parametreler Üzerine Etkisi. KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi, 23 (1): 99-107.
- Bayraklı F, 1998. Toprak Kimyası. 19 Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Ders Kitabı No: 26, 1.Baskı, Samsun, 214.
- Botella MA, Cerda A, Lips SH, 1994. Kinetics of NO_3^- and NH_4^+ Uptake by Wheat Seedlings: Effect of Salinity and Nitrogen Source. Journal of Plant Physiology, 144: 53-57.
- Bozcuk S, 2000. Bitki Fizyolojisi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Ankara, Türkiye 3.Baskı- Ankara
- Bressan RA, 2008. Stress fizyolojisi. Bitki Fizyolojisi. Palma Yayıncılık, 1:591-620.
- Büyükkeskin T, 2008. Hüyük Asitin Bakla (*Vicia faba* L.)'da Fide Gelişimine ve Alüminyum Toksikitesi Etkisinin Belirlenmesi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Yüksek Lisans Tezi, 142 sy.
- Cacco G, Dell'Agnolla G, 1984. Plant Growth Regulator Activity of Soluble Humic Substances. Canadian Journal of Soil Science, 64: 25 – 28.
- Chen Aviad T, 1990. Effect of Humic Substances on Plant Growth, p. 161-187. In: MacCarthy P, Clap CE, Malcolm RL, Bloom PR (Eds.). Humic substances in soil and crop sciences: selected reading. Soil Science Society Am, Madison.
- Çimrin KM, Yılmaz I, 2005. Humic Acid Applications to Lettuce do Not Improve Yield but Improve Phosphorus Availability. Acta Agriculturae Scandinavica. Section B, Soiland Plant Science, 55: 58-63.
- Desoky EM, Rady MM, Merwad MA, 2018. Response of Water Deficit-Stressed *Vigna Unguiculata* Performances to Silicon, Proline or Methionine Foliar Application. Scientia Horticulturae, 228: 132-144.
- Düzgüneş O, Kesici T, Kavuncu O, Gürbüz F 1987. Research and Experimental Methods. Statistical Methods-II. Ankara University, Agriculture Faculty Press., 1:1021-1295.
- Eyheraguibel B, Silvestre J, Morard P 2008. Effects of Humic Substances Derived From Organic Waste Enhancement On The Growth and Mineral Nutrition of Maize”, Bioresource Technology, 1:99-4206.

- Gossett DR, Millhollon EP, Lucas MC, 1994. Antioxidant Response to NaCl Stress in Salt Tolerant and Salt Sensitive Cultivars of Cotton. *Crop Science*. 34: 706-714.
- Heath RL, Packer L, 1968. Photoperoxidation in Isolated Chloroplast. I. Kinetics and Stoichiometry of Fatty Acid Peroxidation. *Arch. Biochem. Biophys*, 125: 189-198.
- Kaçar B, 2006. Potasyumun Bitkilerde İşlevleri ve Kalite Üzerine Etkileri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü.1: 20- 29.
- Korkmaz K, 2018. Çilekte Su Stresi Altındaki Bitkiler Üzerine Hüyük Asit ve Silikonun Etkisinin İncelenmesi. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 53s
- Hiradate S, Yamaguchi NU 2003. Chemical Species of Aluminum Reacting with Soil Humic Acids. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 97: 26.
- Jarošová M, Klejdus B, Kováčik J, Babula P, Hedbavny J, 2016. Humic Acid Protects Barley Against Salinity. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38:161.
- Kalaj MH, Pietkiewicz S, 1993. *Acta Physiol. Plant.*, 15: 89-93.
- Kanber R, Çullu MA, Kendirli B, Antepli S, Yılmaz N, 2005. Sulama, Drenaj ve Tuzluluk, Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi, Ankara, 3-7 Ocak.
- Kına A, 2008. Farklı Tuz Konsantrasyonlarının, İki Farklı Çilek (*fragaria x ananassa*) Çeşidinde Bazı Bitkisel ve Kimyasal Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, 66 s.
- Kızılgöçü F, Tazebay N, Namlı M, Albayrak Ö, Yıldırım M, 2017. The Drought Effect on Seed Germination and Seedling Growth in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences, 1 (1): 33–37, Dec. 2017.
- Kızılgöçü F, Yıldırım M, Akıncı C, 2010. Bazı Ekmeklik Buğday Genotiplerinin Tuzluluğa Tepkilerinin Belirlenmesi 1. Uluslararası Katılımlı Kamu Üniversite-Sanayi İşbirliği Sempozyumu ve Mermencilik Şurası, 24-26 Mayıs. 301-307, Diyarbakır.
- Koç S 2005. Fasulyelerde Tuzluluğa Tolerans Bakımından Genotipsel Farklılıkların Erken Bitki Gelişimi Aşamasında Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 86 s.
- Koyro HW, 2002. *Environment-Plants-Molecules*. Ultrastructural Effects of Salinity in Higher Plants, Salinity, 522 pp.
- Mac Carthy P, 2001. The Principles of Humic Substances. *Soil Science* 166: 738.
- Masciandaro G, Ceccanti B, Ronchi V, Benedicto S, Howard L, 2002. Humic Substances to Reduce Salt Effect on Plant Germination and Growth. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33: 365-378.
- Meganid AS, Al-Zahrani HS, El-Metwally MS, 2015. Effect of Humic Acid Application on Growth and Chlorophyll Content of Common Bean Plants (*Phaseolus vulgaris* L.) Under Salinity Stress Conditions. *International Journal of Innovative Research in Science. Engineering and Technology*, 4(5): 2651-2660.
- Mishra A, Choudhuri AD, 1999. Effects of Salicylic Acid on Heavy Metal-Induced Membrane deterioration Mediated By Lipxygenase In Rice. *Biologia Plantarum*, 42 (3): 409-415.
- Munns R, Hüseyin S, Rivelli, AR, James RA, Condon AG, Lindsay MP, Lagudah, ES, Schachtman, DP, 2002. Avenues for Increasing Salt Tolerance of Crops, and the Role of Physiologically Based Selection Traits. *Plant and Soil*, 247: 93-105.
- Oral E, Altuner F, Tunçtürk, R, Baran İ, 2020. Giberellik asit (GA₃) Ön Uygulamasına Tabi Tutulmuş Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Tohumunda Tuz (NaCl) Stresinin Çimlenme Özellikleri Üzerine Etkisi, *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(1): 123-134.
- Osman MEH, Mohsen AA, El-Feky SS., Mohamed WA 2017. Response of Salt-Stressed Wheat (*Triticum aestivum* L.) to Potassium Humate Treatment and Potassium Silicate Foliar Application. The 7th Inter. Conf. "Plant and Microbial Biotech and their Role in the Development of the Society", 85 – 102pp.

- Öztürk M, Gemici M, Özdemir F, Keyikçi, 1994. Tohum Çimlenmesi Olayında Bitkisel Hormonların ve Çimlenme Simülatorünün Tuz Stresini Azaltmadaki Rolü. XII. Ulusal Biyoloji Kongresi, Edirne, 1: 44-48.
- Parida AK, Das AB 2005. Salt Tolerance and Salinity Effects on Plants: a Review, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60: 324-349.
- Premchandra GS, Saneoka A, Ogato S, 1990. Cell Membrane Stability, Anindicator of Drought Tolerance, As Affected By Applied Nitrogen in Soybean. *Journal of Agriculture Science*, 115: 63- 66.
- Russo, RO, Berlyn GP, 1990. The use of Organic Biostimulants to Help Low Input Sustainable Agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture*, 1:19-42.
- Sairam RK, 1994. Effect of Moisture Stress on Physiological Activities of Two Contrasting Wheat Genotypes. *Indian Journal of Experimental Biology*, 32: 594-597.
- Sairam RK, Saxena DC, 2000. Oxidative Stres and Antioksidants in Wheat Genotypes: Possible Mechanism of Water Stres Tolerance. *J. Agron. and Crop Science*, 184: 55-61.
- Serenella N, Pizzeghello D, Muscolob, A, Vianello A, 2002. Physiological Effects of Humic Substances on Higher Plants. *Soil Biology and Biochemistry*, 34: 1527-1536.
- Seymen B, Önder M, 2015. Kuru Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotiplerinde Tuzluluğun Fide Gelişimi Üzerine Etkisi. Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi, 2(2): 109-115.
- Soyergin S, 2003. Organik Tarımda Toprak Verimliliğinin Korunması, Gübreler ve Organik Tarım İyileştiricileri, Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitüsü, Yalova
- Tuna AL, Eroğlu B, 2016. Tuz Stresi Altındaki Biber (*Capsicum annuum* L.) Bitkisinde Bazı Organik ve İnorganik Bileşiklerin Antioksidatif Sisteme Etkileri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 32: 21.131.
- Turan M, Aydın A, 2005. Effects of Different Salt Sources On Growth, İnorganic İons and Proline Accumulation in Corn (*Zea mays* L.). *European Journal of Horticultural Science*, 70: 149-155.
- Varanini Z, Pinton R, 1995. Humic Substances and Plant Nutrition. *Progress in Botany*, 56: 97-117.
- Vaughan, D, 1974. Possible Mechanism for Humic Acid Action on Cell Elongation in Root Segments of (*Pisum sativum* L) under Aseptic Conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, 6: 241-247.
- Zhu ZJ, Fan HF, He Y, 2011. Roles Of Silicon-Mediated Alleviation Of Salt Stress In Higher Plants: A Review, *Proceedings of the 5th. International Conference on Silicon in Agriculture (September 13-18), Beijing, China*, 223 pp.

Farklı Depolama Ortamı ve Sıcaklıkların Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Tohumlarında Çimlenme ve Sürme Oranı Üzerine Etkisi

Hakan GEREN^{1*}, Yaşar Tuncer KAVUT¹

ÖZET: Farklı depolama ortamı ve sıcaklığı ile depolama sürelerinin kinoa tohumlarının canlılığı üzerindeki etkilerini belirlemek için bir deneme yapılmıştır. Olgunlaşmış tohumlar (Q-52 çeşidi) Ekim 2017'de İzmir'deki kinoa tarlasından toplanmıştır. Muamele olarak; beş depolama ortamı (pamuk torba, kâğıt torba, naylon torba, plastik tüp, vakum) ve dört depolama sıcaklığı (ortam, 16°C, 4°C, -24°C) ile altı depolama süresi (4, 8, 12, 16, 20, 24 ay) kullanılarak faktöriyel tesadüf parselleri deneme desenine göre çimlenme ve sürme testleri gerçekleştirilmiştir. Başlangıç çimlenme ve sürme testi yapıldıktan sonra (hasattan 1 hafta sonra) farklı sıcaklıklarda depolanan tohum örnekleri her bir saklama ortamından rastgele alınmış ve tohum toplama zamanından itibaren her dört ayda bir çimlendirme testine tabi tutulmuştur. Sürme (çıkış) testi tohumların kum yatağına ekilmesiyle gerçekleştirilmiş, çimlenme ve sürme oranı verileri kaydedilmiştir. Kinoa tohumlarının çimlenme ve sürme oranları üzerine depolama ortamı, sıcaklık ve süresi ile interaksyonları arasında istatistiksel olarak önemli farklar bulunmuştur. Ortam sıcaklığında depolanan tohumlarda çimlenme ve sürme oranları diğer sıcaklıklarda depolanan tohumlara göre daha düşük olmuştur. Bunun yanında depolama süresinin artması çimlenme ve sürme oranlarında kademeli olarak azalmaya neden olmuştur. En yüksek çimlenme ve sürme oranı -24°C altında ve plastik tüplerde saklanan tohumlarda saptanmış, onları aynı sıcaklıkta naylon torba ve vakum torbaları izlemiştir. Ortam sıcaklığında pamuk torbalarda saklanan tohumlarda minimum değerler kaydedilmiştir. Kinoa tohumlarının -24°C altındaki hava geçirimsiz plastik tüplerde 24 aydan fazla saklanmamasının tohum canlılığının korunmasında daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kinoa, depolama, süre, sıcaklık, tohum çimlenme, tohum sürme,

Effect of Different Storage Media and Temperatures on The Germination and Emergence Rate of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Seeds

ABSTRACT: An experiment was conducted to determine the effects of different storage media, temperature and period on the viability of quinoa seeds. Mature seeds (Q-52 cv) have been collected from quinoa field in Izmir, Turkey in October 2017. Germination and emergence tests were conducted in factorial randomized complete block design using five storage media (cotton bag, paper bag, nylon bag, airtight plastic tube and vacuum), four storage temperature (ambient, 16°C, 4°C, -24°C) and six storage period (4, 8, 12, 16, 20, 24 months) as treatments. After conducting initial germination and emergence test (1 week after harvest), sample seeds were taken randomly from each storage media under different temperature and tested for germination at each four months interval since the time of seed collection. Emergence test was also conducted by sowing seeds in sand bed. Germination and emergence percentage data were recorded. There was statistical significant difference on the germination and emergence rate of quinoa seeds due to storage media, storage temperature, period and their interactions. Germination and emergence rates were lower in seeds stored at ambient temperature than seeds stored at other temperatures. In addition, the increasing storage period caused a gradual decrease in germination and emergence percentage of the seeds. After 24 months, the germination and emergence rate of the seeds was found to be below 70%. Highest germination and emergence percentage were observed for seeds stored in plastic tubes under -24°C followed by nylon bags and vacuum bags the same temperature, and, the minimum values were recorded for seeds stored in cotton bags in ambient temperature. It was concluded that storing quinoa seeds for not more than 24 months in airtight (hermetic) plastic tubes under -24°C is better in maintaining the viability of the seeds.

Keywords: Quinoa, storage, period, temperature, seed germination, seed emergence,

¹ Hakan GEREN (Orcid ID: 0000-0003-0426-1120), Yaşar Tuncer KAVUT (Orcid ID: 0000-0002-8856-3128), Tarla Bitkileri Bölümü, Ziraat Fakültesi, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Hakan GEREN, hakan.geren@ege.edu.tr

Geliş tarihi / Received: 09-04-2020

Kabul tarihi / Accepted: 01-05-2020

GİRİŞ

Kinoa (*Chenopodium quinoa*), Peru'da, İnka'lar tarafından yetiştirilen antik bir tahıl türüdür (Tan, 2020). Kinoanın kökeni Güney Amerika'nın Andes Dağlarıdır (Sezgin ve Sanlier, 2019; Çakmakçı ve Temel, 2019). Kinoanın 120 farklı türü vardır ve tercih ettiği iklimlere göre 1800 ayrı çeşit olarak sınıflandırılır (Geren, 2015). Yetiştirildiği bölgeye bağlı olarak, kinoa taneleri siyah, kırmızı, pembe, sarı, mor, yeşil ya da turuncu rengini almaktadır (Altuntaş ve Naneli, 2017). Kinoa, serin iklim bitkileri grubunda değerlendirilmesine karşın tohum çimlenmesi, büyüme ve gelişimi için sıcak günlere ihtiyaç duymaktadır (Geren ve ark., 2014; Geren ve ark., 2015a; Zulkadir ve ark., 2017; Zulkadir ve ark., 2018). Tınlı-kumlu bünyeli topraklarda en iyi gelişimi göstermesine karşın, drenajı iyi olan hemen hemen her tip toprakta yetişebilmektedir. 5-8 aralığındaki pH derecesine sahip topraklarda yetişebilen kinoa, kuraklığa dayanıklı bir bitkiyi simgelemekte, ancak sıcak yaz aylarında sulanması tane verimini arttırmaktadır (Geren ve Geren, 2015; Koca ve ark., 2018; Önkür ve Keskin, 2019; Çaygaracı ve Kuşçu, 2019). Kinoa bitkisinin diğer tahıllara göre tuza dayanıklılığı yüksektir (Dumanoglu ve ark., 2016; Ekren ve ark., 2017; Koca ve ark., 2017; Koca, 2018; Akçay ve Tan, 2018; Akçay ve Tan, 2019).

Buğday ile pirince alternatif bir besin kaynağı olarak öne çıkan kinoa (Tan ve Yöndem, 2013; Tan ve Temel, 2019), zengin bir protein değerlerine sahiptir (Geren ve Dumanoglu, 2015). Kinoa, Kazayağıgiller (*Chenopodiaceae*), familyasının bir üyesi olup çift çenekli ve tek yıllık bir bitkidir (Geren ve Güre, 2017). Kinoa bitkisinin en göze çarpan özelliği tohumlarının gluten içermemesidir (Geren ve ark., 2015b). Bu nedenle özellikle çölyak (Celiac) hastaları için önemli bir besin kaynağı konumundadır (Tan ve Yöndem, 2013; Tan ve ark., 2015). ABD'de "NASA yemeği" olarak da ün yapan ürün son yıllarda dünyanın da gündeminde yerini almıştır. Uluslararası Tarım Örgütü (FAO) iklimi müsait bölgelerde çiftçilerin bu ürüne yönelmelerini tavsiye ederken (Yazar ve Ince Kaya, 2014), Birleşmiş Milletler (BM) 2013 yılı "Dünya Kinoa Yılı" ilan etmiştir (Anonim, 2013). Peru, Ekvator, Şili ve Bolivya gibi ülkelerde geniş alanlarda üretilmekte ve Avrupa ülkeleri ile ABD'ye ihraç edilmektedir.

BM'nin 2013'ü kinoa yılı ilan etmesi alternatif ürün arayan çiftçilerin ve tüccarların ilgisini çekmiştir. Yüksek fiyatla satılan kinoa, ülkemizde ilk olarak Adana, İzmir, Çanakkale, Erzurum ve Iğdır'dan sonra hemen hemen her ilimizde üretilmeye başlanmıştır (Kır ve Temel, 2016; Kır ve Temel, 2017; Tan ve Temel, 2017a; Tan ve Temel, 2017b; Tan ve Temel, 2018; Temel ve Keskin, 2019a; Temel ve Keskin, 2019b, Temel ve Şurgun, 2019; Altuner ve ark., 2019). Ülkemizde kinoa ekim alanının yaklaşık olarak 1500 ha civarında olduğu tahmin edilmektedir (Tan ve Temel, 2019). Bu bitkinin ülkemizde her yıl artış gösterdiği görülürken üretilen ürünün pazar sıkıntısı yaşanmamaktadır. Kinoa, son yıllarda talebi artan bir bitki olmaktadır. Talebin artmasının yanında tohumluğu yüksek fiyata satılmaktadır. Tohumluk fiyatının yüksek olmasından dolayı birim alandan alınan tane verimi ve tane iriliği kârlılığı etkilemektedir. Sertifikalı kinoa tohumunun satış fiyatı 350-500 TL/kg arasında (çeşit, irilik, vb.) değişmekte ve dekara 1-2 kg tohumluk kullanılmaktadır. Ülkemiz koşullarında tane verimi 100-600 kg/da civarında değişmektedir. Sertifikalı tohumluk kullanılması durumunda özel sektör tarafından tane alım garantisi verilmekte ve tane iriliğine göre (2.5 mm'den büyük) alış fiyatı 9 TL/kg'a ulaşabilmektedir. Bu nedenle birim alandan alınan tane verimi ve iriliği, kârlılığı çok etkileyebilmektedir (Naneli ve ark., 2017; Altuntaş ve Naneli, 2017).

Genellikle kendine döllen kinoa bitkisinde % 10-15 düzeyinde yabancı döllenme de olabilmektedir (FAO ve CIRAD, 2015). Nispeten yüksek bir oranı simgeleyen bu yabancı döllenme oranı, yüksek bir tane verimi için her yıl yeni tohumluk kullanmayı gerektirmektedir. Ancak kinoa tohumunun yüksek fiyatlı olması üreticileri bu davranıştan uzaklaştırmakta ve kendi tohumlarını üretmeye sevk etmektedir. Üretici kendi tarlasında ürettiği bu taneleri bazı işlemlerden geçirerek (temizleme, eleme, vb.) tohumluk olarak kullanmaktadır. Bazen de ekim zamanını bir şekilde kaçırarak üreticiler tohumluklarını saklayıp, ertesi yıl

kullanmak durumuyla karşı karşıya kalabilmektedirler. Bu nedenle tohumlukların bir süre depolanması durumunda, hangi sıcaklıklarda ve hangi depolama ortamında saklanacağı sorusuna cevap bulabilmek gerekmektedir.

Kinoa tohumlarının depolanması üzerine yapılan bazı çalışmalarda şu sonuçlara ulaşılmıştır. Örneğin Torres (1987) tarafından yürütülen bir çalışmada, Temmuz ayında hasat edilen İmbaya isimli kinoa çeşidinin tohumlarının nem içeriğini %8.3'e düşürdükten sonra 4°C 8 ay saklanmıştır. Bu süre sonunda kinoa tohumları, %6.4 ve %12.7'lik nem içeriğindeki ortama alan araştırmacı, 15°C, 25°C ve 35°C sıcaklıkta, alüminyum folyo paketleri içinde 105 gün boyunca depolamaya devam etmiş ve 42 günlük aralıklarla tohumların çimlenme oranlarını ve kökçük uzunlukları saptamıştır. %6.4 nem ortamında 15°C depolanan tohumlarda 0, 42, 63, 84 ve 105 inci gün sonunda çimlenme oranlarının sırasıyla %92.0, %84.0, %81.1, %68.0 ve %64.0 olduğunu bildiren araştırmacı, aynı sıcaklıkta fakat %12.67 nem ortamında ise sırasıyla %92.0, %82.0, %76.7, %67.3 ve %65.3'e düşüğünü bildirmiştir. Ayrıca %6.4 nem içeriği ve 35°C sıcaklıkta 105 gün sonunda %62.3'e düşen çimlenme oranının, aynı sıcaklık ve süre sonunda fakat %12.67 nem içeriğinde %1.7'ye düşüğü de ifade edilmiştir. Ceccato ve ark. (2011), ılıman iklimlerde hasat öncesi tohum çimlenmesinin kinoa tohum üretiminde ciddi bir risk oluşturduğunu bildirmişlerdir. Kinoa tohum dormansisinin, tohum çimlenmesi için izin verilen en düşük sıcaklıkta azaldığını belirten araştırmacılar, depolama sıcaklığının artmasında ise dormansinin yükseldiğini ifade etmişlerdir. Bitki üzerindeki tohum gelişme süresi boyunca çevre faktörlerinin dormansinin seviyesini ve şeklini etkilediğini vurgulayan araştırmacılar, yüksek sıcaklıkların ve uzayan fotoperiyodun dormansiyi teşvik ettiğini de bildirmişlerdir. Strenske ve ark. (2015) tarafından yürütülen bir çalışmada, aynı sıcaklıkta farklı depolama sürelerinin (36-85-119-146-177-270 gün) kinoa tohumlarının çimlenme oranı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Araştırmacılar depolama süresi uzadıkça kinoa tohumlarının çimlenme oranlarının azaldığını ve çimlenmenin yavaşladığını saptamışlardır. Bu çalışmanın amacı, farklı depolama ortamı, depolama süresi ve değişik sıcaklıklarda saklanan kinoa tohum canlılıklarının nasıl etkilendiğinin saptanmasıdır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü'nün Tohumluk Laboratuvarı'nda (kontrollü şartlarda) 2 yıl süreyle yürütülmüştür. Denemede kinoa (*Chenopodium quinoa*) bitkisinin "Q-52" isimli çeşidine ait tohum kullanılmıştır. Araştırma, üç faktörlü tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak düzenlenmiştir. Birinci faktör beş farklı depolama ortamı (bez [pamuk] torba, kâğıt torba, naylon torba, plastik tüp, vakum), ikinci faktör dört değişik depolama sıcaklığı (ortam sıcaklığı, 16°C, 4°C, -24°C) ve üçüncü faktör ise altı değişik depolama süresi (4, 8, 12, 16, 20, 24 ay) oluşmuştur.

Ekim ayı başında hasat edilen kinoa bitkilerindeki taneler; laboratuvar ortamında kurutulmuş, harmanlanmış, elek ve havalı tane ayırıcı makine yardımıyla temizlenmiştir. Bu işlemlerden sonra elde edilen taneler laboratuvar ortamında bir hafta süreyle vantilatör yardımıyla tekrar kurutulmuş ve tanelerin oransal nem içeriği "Etüv" yöntemiyle saptanmıştır. Hasattan bir hafta sonra hazırlanan tohum stokunun çimlenme ve sürme oranları aşağıda belirtilen şekilde yapılmış ve başlangıç (0. ay) değerleri olarak kaydedilmiştir.

Piyasada tohum satışında kullanılan ortamları simgeleyen plastik kutu, naylon torba, bez ve kâğıt torba çeşitleri, laboratuvar boyutlarına indirgenmiş halleri hazırlanmıştır. Bu amaç için "Falcon tüpü", ağzı fermuarlı minik naylon torba, pamuktan yapılmış bez torba ve kâğıt torba kullanılmıştır. Ayrıca tohumlar -0.1 MPa basınç altında vakumlanmıştır. Söz konusu depolama ortamlarının içine yaklaşık 1500 adet tohum konulmuş ve hazırlanan depolama ortamlarına konan kinoa taneleri farklı sıcaklıklarda muhafaza edilmiştir. Ortam sıcaklığı için, testlerin yürütüldüğü laboratuvardaki dolabın üstü, 16°C için sıcaklığı sürekli 16°C olan depo, 4°C için buzdolabı içi ve -24°C için Arçelik marka derin dondurucu kullanılmıştır.

Araştırmada şu özellikler incelenmiştir: Çimlenme oranı (%): Her bir saklama ortamı ve depolama sıcaklığından alınan tohumlar, 11 cm çapındaki cam petri kaplarında çimlendirilmiştir. Petri kabı içinde hastalık oluşmaması için Thiram isimli kimyasal maddeyle muamele edilen tohumlardan 50 adedi, birbirine değmeyecek şekilde kâğıt üzerine dizilmiş ve 20 ml saf su eklenerek $24\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'lik çimlendirme kabine yerleştirilmiştir. Yedi gün sonunda çimlenen tohumlar sayılmış ve çimlenme oranları hesaplanmıştır (ISTA, 2016). Sürme (çıkış) oranı: 50 adet tohum, yüzey sterilizasyonundan geçirilerek ve içleri kum dolu çinko sürme kaplarına 1 cm derinliğe ekilmiş ve aynı çimlendirme kabine yerleştirilmiştir. Yedi gün sonunda çıkış yapan tohumlar sayılmış ve sürme oranları hesaplanmıştır. Deneme sonucu elde edilen veriler varyans analizine tabi tutulmuş (Yurtsever, 1984), hesaplanan LSD (en küçük önemli fark) değeri (%1), ilgili çizelgenin altında sunulmuştur.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Çimlenme oranı: Yapılan testler sonucunda kinoa tohumlarının başlangıç çimlenme oranı (ÇO) ortalamasının %84.5, tohum nem oranı ortalamasının ise %10.1 olduğu belirlenmiştir. Depolama süresi boyunca ortam sıcaklığında, gaz geçirim oranı diğer saklama ortamlarına göre daha yüksek olan bez veya kâğıt torbalarda bile herhangi bir zararlı, vb. gözlenmemiştir. Uzayan depolama süresince, farklı depolama ortamı ve değişik depo sıcaklıkların kinoa tohumlarında ÇO üzerine olan etkileri Çizelge 1'de sunulmuştur.

Varyans analizi sonuçları; 3'lü (Sr x DS x DO) interaksiyon etkisinin ÇO üzerine önemli olduğunu göstermiştir. Rakamsal olarak en yüksek ÇO %93.5 ile 4. ay sonunda -24°C 'de plastik tüp içinde depolanan tohumlarda saptanmıştır. En düşük ÇO ise %58.0 ile 24. ay sonunda ortam sıcaklığında ve bez torba içinde depolanan tohumlarda kaydedilmiştir.

Bulgularımız genel olarak değerlendirildiğinde; depolama süresi uzadıkça kinoa tohumlarının çimlenme oranlarının kademeli olarak düştüğü açıkça izlenmektedir. Depo ortamının çimlenme oranı üzerine olan etkilerinin her dört aylık genel ortalama sonuçları incelendiğinde çimlenme oranlarının düştüğü saptanmıştır. Şöyle ki; başlangıçta %84.5 olan çimlenme oranı, ilk 4 ayın sonunda %85.1'e yükselmiş ancak 8 ay sonunda %84.1'e, 12 ay sonunda %81.1'e, 16 ay sonunda %78.8'e, 20 ay sonunda %77.8'e ve 24 ay sonunda %75.7'e düşmüştür. Genel bir ifadeyle, depolama süresinin uzaması kinoa tohumlarının çimlenme oranı üzerine olumsuz bir etki yapmış, başlangıca göre çimlenme %10.4 oranında azalmıştır. Pek çok araştırmacı (Castellón ve ark., 2010; Strenske ve ark., 2015) kinoa depolama süresinin uzamasına bağlı olarak çimlenme oranlarının da azaldığını bildirmesi, bulgularımızı doğrulamaktadır.

Çizelge 1 detaylı olarak irdelendiğinde, hava geçirgenliği yüksek olan bez veya kâğıt torbada saklanan tohumların çimlenme gücü, diğer saklama ortamlarına göre daha yüksek oranda düşmüştür (~%15.2). Hava geçirimsiz plastik tüp veya vakum ortamında depolanan tohumlardaki çimlenme kaybı ise diğer depo ortamlarına göre daha düşük oranda (%6.8) kaydedilmiştir.

Pek çok araştırmacı (Macit ve Turhan, 1981; Desai ve ark., 1997; Bradford, 2004), düşük nemli ortodoks tohumların ekseriya hava geçirimsiz kaplarda depolanması gerektiğini, bunun esas amacının kuru tohumların nem çekmesinin önlemesi olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca, geçirgen torbaların hava neminin düşük olduğu ve kısa süreli tohum depolamaları için uygun olduğunu da vurgulamışlardır. Souza ve ark. (2016) geçirgen olmayan kaplarda ve düşük sıcaklıkta saklanan kinoa tohumlarının canlılığını 300 gün sürdürdüğünü, yarı geçirgen veya geçirgen kaplarda ve normal ortam koşullarında saklanan tohumların canlılığını 180. günden sonra koruyamadıklarını bildirmişlerdir. Mevcut çalışma sonucunda ulaşılan bulgularımız, yukarıdaki araştırmacıların sonuçlarıyla uyum içerisindedir.

Çizelge 1: Farklı depolama süresi, ortamı ve sıcaklıkların kinoa tohumlarında çimlenme oranı (%) üzerine etkisi

Depo Ortamı	Depolama sıcaklığı				Ortalama
	Ortam sıcaklığı	+16°C	+4°C	-24°C	
4. Ay					
Bez torba	81.5	83.0	81.0	89.0	83.6
Kâğıt torba	79.5	82.0	81.5	89.0	83.0
Naylon torba	83.0	84.0	83.5	91.8	85.6
Plastik tüp	85.0	87.0	88.0	93.5	88.4
Vakum	85.0	82.5	84.5	88.0	85.0
Ortalama	82.8	83.7	83.7	90.3	85.1
8. Ay					
Bez torba	81.0	80.0	80.5	88.5	82.5
Kâğıt torba	79.5	80.5	84.0	88.5	83.1
Naylon torba	80.5	81.5	84.0	87.5	83.4
Plastik tüp	87.0	84.5	89.5	90.5	87.9
Vakum	82.0	81.5	82.5	88.0	83.5
Ortalama	82.0	81.6	84.1	88.6	84.1
12. Ay					
Bez torba	70.0	77.5	77.0	87.5	78.0
Kâğıt torba	73.5	77.5	80.5	87.8	79.8
Naylon torba	80.5	79.0	83.5	87.5	82.6
Plastik tüp	81.5	81.5	83.5	88.0	83.6
Vakum	76.0	80.5	83.5	85.5	81.4
Ortalama	76.3	79.2	81.6	87.3	81.1
16. Ay					
Bez torba	67.5	72.5	79.5	85.5	76.3
Kâğıt torba	71.0	73.5	79.5	85.5	77.4
Naylon torba	72.0	76.5	79.5	85.5	78.4
Plastik tüp	76.5	81.0	85.5	85.5	82.1
Vakum	73.5	79.5	83.0	84.0	80.0
Ortalama	72.1	76.6	81.4	85.2	78.8
20. Ay					
Bez torba	64.0	70.5	77.0	80.0	72.9
Kâğıt torba	70.0	76.5	80.0	79.3	76.4
Naylon torba	74.5	79.0	82.0	84.5	80.0
Plastik tüp	74.5	80.5	84.0	85.5	81.1
Vakum	72.5	76.0	82.5	83.0	78.5
Ortalama	71.1	76.5	81.1	82.5	77.8
24. Ay					
Bez torba	58.0	68.0	74.0	80.0	70.0
Kâğıt torba	64.0	70.0	78.5	80.5	73.3
Naylon torba	70.0	77.5	82.0	82.0	77.9
Plastik tüp	70.5	81.5	83.5	83.5	79.8
Vakum	68.0	78.0	82.0	83.0	77.8
Ortalama	66.1	75.0	80.0	81.8	75.7
LSD (0.01)	Süre (Sr): 0.854 Sıcaklık (DS): 0.697 Ortam (DO): 0.779	Süre x Sıcaklık: 1.708 Süre x Ortam: 1.909 Sıcaklık x Ortam: 1.559	Süre x Sıcaklık x Ortam: 3.818 CV(varyasyon katsayısı, %): 2.59		

Depolama sıcaklıklarının çimlenme oranına olan etkilerinin her dört aylık genel ortalama sonuçları irdelendiğinde çimlenme oranlarının düştüğü saptanmıştır (Çizelge 1). Örneğin ortam sıcaklığında saklanan tohumlar ilk 4 ay sonunda ortalama %82.8 çimlenmeye sahipken, 24 ay sonunda bu değer ortalama %66.1'e düşmüş, yani %20.2'lik kayıp oluşmuştur. Hâlbuki -24°C'de depolanan tohumlar ilk 4 ay sonunda ortalama %90.3 çimlenmeye sahipken, 24 ay sonunda %81.8'e düşmüş, yani sadece %9.4'lük kayıp meydana gelmiştir. 24 ay boyunca oluşan çimlenme kayıpları 4°C'de muhafaza için %4.4, 16°C'de muhafaza için ise %10.4 olarak hesaplanmıştır. Çalışmada kinoa tohumlarının saklandığı sıcaklık azaldıkça (ortam sıcaklığından sıfırın altına düşen sıcaklıklar) ise çimlenme oranını daha yavaş düşüğü

veya tersi bir ifadeyle, depolama sıcaklığı ortam sıcaklığına yükseldikçe çimlenme oranlarının daha hızlı düştüğü kaydedilmiştir.

Depo ortamı sıcaklık seviyesinin tohum canlılığı üzerine çok önemli etkiye sahip olduğunu bildiren birçok araştırmacı (Desai ve ark., 1997; Bradford, 2004; İlbi ve Geren, 2005; Walters ve ark., 2010), aynı nem içeriğindeki 30-35°C sıcaklıklardaki canlılığın, 20°C'yi aşmayan yerlerdekine göre daha hızlı bir şekilde azalacağını ifade etmişlerdir. Tohumların uzun süre canlılıklarını kaybetmeden depolanabilmeleri için depo sıcaklığının 0-5°C olması tavsiye eden yukarıdaki araştırmacı grubu; düşük sıcaklık koşullarında depolama, tohumun nem geçirmez kaplarda veya atmosfer neminin uzaklaştırıldığı koşullarda geçerli olduğunu vurgulamışlardır. Aksi takdirde, düşük sıcaklıkların atmosfer neminin yükselmesine neden olarak, tohumun nem içeriğini de arttıracakını böylece, düşük sıcaklıkta yüksek nem içeriğindeki tohumda hücre içi ve hücreler arasındaki suyun donarak, hücre parçalanmaları gibi zararlara neden olacağını ve tohumun kısa sürede canlılığını kaybedeceğini eklemiştir. Genelde %14'ün altında nem içeren tohumların; donma noktası veya altındaki sıcaklıklarda; düşük sıcaklık zararları olmadan uzun süre depolanmaları mümkündür. Ortodoks tohum özelliğine sahip kinoanın saklanması, depo iç ortam nemi ve sıcaklığı optimum koşullarda tutulabildiği sürece canlılıklarını ortalama 2-3 yıl sürdürebileceği bildirilmiştir (Tan ve Temel, 2019).

Kinoa tohumluğu standardında minimum çimlenme oranı %70 olarak bildirilmiştir (Singh, 2019). Çalışmada, 24 ayın sonunda 4°C ile -24°C'de ve plastik tüp veya vakum ortamında saptanan genel çimlenme oranı değerlerinin standart değer üstünde olması, söz konusu koşullarda kinoa tohumu depolamanın sorunsuz bir şekilde yönetilebileceğini ortaya çıkarmıştır. 2 yıllık depolama süresince sıcaklığının 16°C olması da standartların üzerinde, buna karşılık ortam sıcaklığında tohum muhafazası ise bu oranının standartların altına düşmesinde etken olmuştur.

Denemede, hasattan hemen sonra %84.5 olarak saptanan çimlenme oranının 4. ve 8. ay sonundaki testlerde bazı minik artışlar gösterdiği tespit edilmiştir. Örneğin, -24°C'de ve plastik tüpte saklanan tohumlarda %93.5'e (%9 artış oranı) yükselmiştir. Bu durum tohum dormansisi varlığının tipik bir göstergesi olarak yorumlanmıştır. Nitekim bazı araştırmacılar (Torres, 1987; Ceccato ve ark., 2011) kinoa tohumunda az da olsa dormansinin varlığını işaret etmeleri, bulgularımızı güçlendirmektedir. Çalışmada gözlenen ilginç olgulardan biri de, bazı testlerde karşılaşılan bir tohumdan 2 adet çimlenmenin belirlenmesidir. Kinoa bitkisinin ait olduğu familya [Kazayağığılleri (*Chenopodiaceae*)] ve onun tipik özelliklerinden biri olan polygerm (bir meyvede birden fazla embriyo bulunması) meyve yapısı anımsandığında, bu durumun yaşanabileceği bizleri çok da şaşırtmamıştır. Keza Torres (1987)'de benzer olguların bulunduğunu ifade etmiştir.

Sürme (çıkış) oranı: Çalışmada başlangıcında yapılan testler sonucunda kinoa tohumlarının sürme oranı (SO) ortalamasının %81.4 olduğu saptanmıştır. Uzayan depolama süresince, farklı depolama ortamı ve değişik depo sıcaklıkların kinoa tohumlarında SO üzerine olan etkileri Çizelge 2'de sunulmuştur.

Varyans analizi sonuçları; 3'lü (Sr x DS x DO) interaksiyon etkisinin sürme oranı üzerine önemli olduğunu göstermiştir. Rakamsal olarak en yüksek SO %91.0 ile 4. ay sonunda -24°C'de plastik tüp içinde saklanan, en düşük SO ise %51.5 ile 24 ay sonunda ortam sıcaklığında ve bez torba içinde depolanan tohumlarda kaydedilmiştir. Çizelge 2 incelendiğinde, genel eğilim olarak sürme oranlarının, çimlenme oranlarından çok farklılık göstermediği anlaşılmıştır. Bilindiği üzere, tohumlukların biyolojik değerlerinin saptanmasında, çimlenme değerlerine göre daha gerçekçi sonuç veren (Şehirli, 1997) sürme (çıkış) gücü oranları, beklenildiği gibi, çimlenme oranı değerlerinden biraz daha düşük değerler vermişlerdir. Bir başka ifadeyle, güçleştirilmiş koşullarda yapılan çimlenme kontrolü olan çıkış oranlarının, depolama sıcaklığı ve ortamından etkilendiği belirlenmiştir.

Çizelge 2: Farklı depolama süresi, ortamı ve sıcaklıkların kinoa tohumlarında sürme (çıkış) oranı (%) üzerine etkisi

Depo Ortamı	Depolama sıcaklığı					Ortalama
	Ortam sıcaklığı	+16°C	+4°C	-24°C		
4. Ay						
Bez torba	80.0	81.0	78.5	86.5	81.5	
Kâğıt torba	77.5	79.5	79.0	87.0	80.8	
Naylon torba	80.8	81.3	81.0	89.0	83.0	
Plastik tüp	82.8	84.0	85.5	91.0	85.8	
Vakum	82.5	80.3	82.0	85.3	82.5	
Ortalama	80.7	81.2	81.2	87.8	82.7	
8. Ay						
Bez torba	78.0	76.8	77.3	85.8	79.4	
Kâğıt torba	76.3	77.5	80.8	85.8	80.1	
Naylon torba	77.3	78.5	81.0	84.5	80.3	
Plastik tüp	83.5	80.0	86.0	90.0	84.9	
Vakum	78.5	78.3	79.5	85.5	80.4	
Ortalama	78.7	78.2	80.9	86.3	81.0	
12. Ay						
Bez torba	67.0	74.0	74.0	83.8	74.7	
Kâğıt torba	70.8	72.5	77.5	84.5	76.3	
Naylon torba	77.5	76.0	78.0	84.5	79.0	
Plastik tüp	78.5	77.8	79.5	84.5	80.1	
Vakum	73.8	77.0	79.8	82.5	78.3	
Ortalama	73.5	75.5	77.8	84.0	77.7	
16. Ay						
Bez torba	63.5	69.0	75.5	81.5	72.4	
Kâğıt torba	66.8	70.3	75.5	80.8	73.3	
Naylon torba	67.5	71.3	75.5	82.5	74.2	
Plastik tüp	72.5	78.0	81.5	81.8	78.4	
Vakum	70.3	76.0	79.0	80.8	76.5	
Ortalama	68.1	72.9	77.4	81.5	75.0	
20. Ay						
Bez torba	60.3	67.0	71.5	77.8	69.1	
Kâğıt torba	66.3	70.8	74.5	79.5	72.8	
Naylon torba	69.8	73.5	76.3	79.5	74.8	
Plastik tüp	67.5	74.8	78.8	80.5	75.4	
Vakum	66.8	70.5	76.0	78.0	72.8	
Ortalama	66.1	71.3	75.4	79.1	73.0	
24. Ay						
Bez torba	51.5	60.5	68.0	74.8	63.7	
Kâğıt torba	55.3	63.8	72.5	74.8	66.6	
Naylon torba	61.5	71.5	76.0	76.3	71.3	
Plastik tüp	60.3	75.0	77.5	78.0	72.7	
Vakum	59.5	71.8	74.3	77.8	70.8	
Ortalama	57.6	68.5	73.7	76.3	69.0	
LSD (0.01)	Süre (Sr): 0.577 Sıcaklık (DS): 0.471 Ortam (DO): 0.526	Süre x Sıcaklık: 1.153 Süre x Ortam: 1.290 Sıcaklık x Ortam: 1.053	Süre x Sıcaklık x Ortam: 2.579 CV(varyasyon katsayısı, %): 1.84			

Bulgularımız genel olarak değerlendirildiğinde; depolama süresi uzadıkça kinoa tohumlarının sürme oranlarının da kademeli olarak düştüğü açıkça görülmüştür. Depo ortamının sürme (çıkış) oranı üzerine olan etkilerinin her 4 aylık genel ortalama sonuçları incelendiğinde değerlerin düştüğü saptanmıştır. Şöyle ki; başlangıçta %81.4 olan çıkış oranı, ilk 4 ayın sonunda %82.7'ye yükselmiş ancak 8 ay sonunda %81.0'a, 12 ay sonunda %77.7'ye, 16 ay sonunda %75.0'a, 20 ay sonunda %73.0'a ve 24 ay sonunda %69.0'a düşmüştür. Genel bir ifadeyle, depolama süresinin uzaması kinoa tohumlarının çıkış güçleri üzerine olumsuz bir etki yapmış, başlangıca göre çıkış oranı %15.2 oranında azalmıştır. Her 4 ayda bir yapılan çıkış testi bulguları, plastik tüpte saklanan tohumlardaki çıkış oranlarının, diğer saklama ortamlarından

istatistiki anlamda daha yüksek değerler verdiğini ortaya koymuştur. Plastik tüp ortamını ise vakum ve naylon torba ortamları, yer yer aralarında istatistiki anlamda fark olmaksızın izlemişlerdir. Nispeten düşük sürme oranları ise gaz geçirgenliği yüksek bez ve kâğıt torba ortamlarında kaydedilmiştir.

Bilindiği gibi; bez veya kâğıt torba gibi hava geçirirli depo ortamına konan tohumlar havadan nem çekmek suretiyle atmosferle denge kuruncaya kadar nem içeriklerini eşzamanlı olarak değiştirebilmektedirler (Demir, 1994; Bradford, 2004; Walters ve ark., 2010). Plastik tüp gibi hava geçirmez kaplar ise kap içindeki havanın hacmi, tohumun hacminden küçüktür. Hatta havanın oransal nemi yüksek olduğundan tohum tarafından emilen nem, onları çevreleyen havayla dengeye ulaştırmakta ve bu olay tohumların nem içeriğini önemli seviyelere yükseltmemektedir, zira içeride emilecek yeterli hava zaten kalmamaktadır. Vakum ortamında ise bu neredeyse sıfırdır (Desai ve ark., 1997; İlbi ve Geren, 2005; Munir ve ark, 2011). Bu nedenle çalışmada bez veya kâğıt torba ortamlarında kaydedilen çıkış oranı düşük, plastik tüp ile vakum ortamlarındaki çıkış gücü ise nispeten yüksek bulunmuştur.

Çalışmada kinoa tohumlarının depolandığı ortam sıcaklığının azalması (ortam sıcaklığından sıfırın altına düşen sıcaklıklar) ise, çimlenme gücü değerlerinde olduğu gibi, çıkış oranını da yükseltmiştir. Örneğin ortam sıcaklığında saklanan tohumlar ilk 4 ay sonunda ortalama %80.7 çıkış oranına sahipken, 24 ay sonunda bu değer ortalama %57.6'ya düşmüş, yani %28.6'lık kayıp oluşmuştur. Hâlbuki -24°C'de depolanan tohumlar ilk 8 ay sonunda ortalama %86.3 çıkış gücüne sahipken, 24 ay sonunda %76.3'e düşmüş, yani %11.6'lık kayıp meydana gelmiştir. Bulgularımız kinoa tohumlarının 24 ay süreyle saklanması durumunda, çıkış gücü kaybının en alt düzeyde kalabilmesi için sıcaklığın -24°C'de tutulması ve tohumların hava geçirimsiz plastik kap içine konulması veya vakumlanmasının gerektiğini ortaya koymuştur. Büyük miktardaki tohumların vakumlanmasının ek bir maliyet getireceği de göz ardı edilmemelidir.

SONUÇ

Kontrollü koşullarda 24 ay süre ile yapılan bu denemede, farklı depolama ortamı (bez torba, kâğıt torba, naylon torba, plastik tüp, vakum) ile değişik depolama sıcaklığının (ortam sıcaklığı, 16°C, 4°C, -24°C) kinoa (Q-52 çeşidi) tohumlarının çimlenme ve sürme gücüne etkisi incelenmiştir. Uzayan depolama süresinin kinoa tohum canlılığı üzerinde olumsuz etkilerinin kaydedildiği çalışmada, kinoa hasat ve harman işlemlerini takiben tane nem içeriğinin %10 seviyesine düşürülmesi, tohumların hava geçirimsiz plastik bir kaba konulup -24°C'de depolanması, en alt seviyede çimlenme ve çıkış gücü kaybına neden olduğu için önerilmektedir. Bu tip depolama çalışmalarının değişik kinoa çeşitleriyle de yürütülmesi, gıda ve halk sağlığı disiplinleriyle ortak çalışmaların yapılarak kinoa tohumlarındaki besin madde içerikleri (protein, yağ, yağ asitleri, vb.) ve bunların zamansal değişimlerinin incelenmesi gerektiği sonucuna da varılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından "18-ZRF-020" kodlu proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Akçay E, Tan M. 2018. Farklı tuz konsantrasyonlarında kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)'nın çimlenme özelliklerinin belirlenmesi. Alinteri Zirai Bil. Derg., 33 (1): 85-91.
- Akçay E, Tan M. 2019. Farklı tuzluluk seviyelerinin bazı kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) çeşitlerinde kök ve sürgün gelişmesine etkileri, Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg., 50(3):292-298.

- Altuner F, Oral E, Kulaz H. 2019. The impact of different sowing-times of the quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and its varieties on the yield and yield components in Turkey-Mardin ecology condition, Applied Ecology and Environmental Research, 17(4):10105-10117.
- Altuntaş E, Naneli İ. 2017. Beyaz ve siyah kinoa tohumlarının geometrik, hacimsel ve sürtünme özellikleri. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi (GBAD), 6(14): 1-8.
- Anonim, 2013. Ana tahıl: Kinoa, Tübitak Bilim Teknik Dergisi, Haziran 2013, 547:34-35.
- Bradford KJ. 2004. Seed Production and Quality, Seed Storage and Longevity, p: 76-84.
- Castelli n M, Matiacevich S, Buera P, Maldonado S. 2010. Protein deterioration and longevity of quinoa seeds during long-term storage, Food Chemistry 121: 952–958.
- Ceccato DV, Bertero HD, Batlla D. 2011. Environmental control of dormancy in quinoa (*Chenopodium quinoa*) seeds: two potential genetic resources for pre-harvest sprouting tolerance, Seed Sci. Res. 21:133–141.
- Çakmakçı S, Temel, S. 2019. Tohum tipi kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) hatlarının geliştirilmesi için seleksiyon çalışmaları, Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi, 5(2):335-345.
- Çaygaracı A, Kuşçu H. 2019. Farklı sulama suyu miktarı ve besin çözeltisi uygulamalarının kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) verim, bazı verim bileşenleri ve su kullanım etkinliği üzerine etkisi, KSÜ Tarım ve Doğa Derg 22(3): 370-380.
- Demir İ. 1994. Ambalaj ve standardının tohum depolamadaki önemi, TSE Standard, Teknik ve Ekonomik Dergi, Sayı:390, s:21-22.
- Desai BB, Kotecha PM, Salunke DK. 1997. Seeds Handbook: Biology, Production, Processing and Storage, Marcel Dekker New York.
- Dumanoğlu Z, Işık D, Geren H. 2016. Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)’da farklı tuz (NaCl) yoğunluklarının tane verimi ve bazı verim unsurlarına etkisi, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 53(2):153-159.
- Ekren S, Geren H, Dumanoğlu Z. 2017. A preliminary study on the grain yield and some agronomical performances of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) grown under different stress conditions, International Conference on Agriculture, Forest, Food Sciences and Technologies, (ICAFOF), 15-17 May 2017, Capadocia, Book of Abstract, p:206.
- FAO and CIRAD. 2015. State of the Art Report of Quinoa in the World in 2013, by D. Bazile, D. Bertero & C. Nieto, eds. Rome.
- Geren H. 2015. Effects of different nitrogen levels on the grain yield and some yield components of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under Mediterranean climatic conditions, Turkish Journal of Field Crops, 20(1):59-64.
- Geren H, Dumanoğlu Z. 2015. Kinoa yetiştiriciliği, Agromedy, Tem-Agus., 3(17):74-76.
- Geren H, Kavut YT, Altınbaş M. 2015a. Bornova ekolojik koşullarında farklı sıra arası uzaklıkların kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)’da tane verimi ve bazı verim özellikleri üzerine etkisi, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 52(1):69-78.
- Geren H, Geren H, Kavut YT. 2015b. Research results on quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) crop for arable lands under Mediterranean climatic conditions in Aegean Region, 26th International Scientific-Expert Conference of Agriculture and Food Industry, 27-30 September 2015, Works of the Faculty of Agriculture and Food Sciences, University of Sarajevo, 61(66/1):273-277.
- Geren H, Geren H. 2015. A preliminary study on the effect of different irrigation water levels on the grain yield and related characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), 26th International Scientific-Expert Conference of Agriculture and Food Industry, 27-30 September 2015, Works of the Faculty of Agriculture and Food Sciences, University of Sarajevo, 61(66/1):269-272.
- Geren H, Güre E. 2017. Farklı azot ve fosfor seviyelerinin kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)’da tane verimi ve bazı verim unsurlarına etkisi üzerinde bir ön araştırma, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 54(1):1-8.
- Geren H, Kavut YT, Demiroğlu Topçu G, Ekren S, İştıplıler D. 2014. Akdeniz iklimi koşullarında yetiştirilen kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)’da farklı ekim zamanlarının tane verimi ve bazı verim unsurlarına etkileri, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 51(3):297-305.
- ISTA. 2016. International rules for seed testing, (www.seedtest.org)

- İlbi H, Geren H. 2005. Tohum Depolamanın Temel İlkeleri, Tohum Bilimi ve Teknolojisi (Cilt-I), İşsiz Ziraat Mühendislerinin Tohumculuk Sektörüne Kazandırılması Projesi, Reference No:TR.0205.01/002/01/17, ISBN 975-483-671-X, 975-483-672-8, s:381-425.
- Kır AE, Temel S. 2016. Iğdır ovası kuru koşullarında farklı kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) çeşit ve popülasyonlarının tohum verimi ile bazı tarımsal özelliklerinin belirlenmesi. Iğdır Üniv. Fen Bilimleri Enst. Derg., 4(6): 145-154.
- Kır AE, Temel S. 2017. Sulu koşullarda farklı kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotiplerinin tohum verimi ile bazı tarımsal özelliklerinin belirlenmesi. Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der. 7(1): 353-361.
- Koca YO, Özmen S, Küçük C, Öktem N, Özeroğlu A, Okur FB. 2017. Effects of different salt concentrations on quinoa seedling quality. International Journal of Secondary Metabolite, 4(3), 20-26.
- Koca YO, Benli K, Semerci S. 2018. Kinoa (*Chenopodium quinoa*) üretiminde suyun taneye ve tane lezzetine etkisi, International Conference on Agriculture, Forest, Food Sciences and Technologies, (ICAFOF), 2-5 April 2018, Çeşme-Izmir, Book of Abstract, p:620.
- Koca YO. 2018. The repressive effect of salinity on some agronomical and leaf characteristics of quinoa plant during seedling period, International Conference on Agriculture, Forest, Food Sciences and Technologies, (ICAFOF), 2-5 April 2018, Çeşme-Izmir, Book of Abstract, p:460.
- Macit F, Turhan K. 1981. Tohum Depolamanın Genel Esasları, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yay. No:406, İzmir
- Munir H, Basra SMA, Cheema MA, Wahid A. 2011. Phenotypic flexibility in exotic quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm for seedling vigor and viability, Pakistan J. Agri. Sci., 48(4):255-261.
- Naneli İ, Tanrikulu A, Dokuyucu T. 2017. Response of the quinoa genotypes to different locations by grain yield and yield components. International Journal of Agriculture Innovations and Research, 6(3): 447- 451.
- Önkür H, Keskin B. 2019. Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)'nın tohum verimi ve bazı bitkisel özellikleri üzerine sıra üzeri ve sıra arası mesafelerinin etkileri, KSÜ Tarım ve Doğa Derg. 22(Ek Sayı 1):52-60.
- Sezgin AC, Sanlier N. 2019. A new generation plant for the conventional cuisine: Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), Trends in Food Science & Technology 86:51–58.
- Singh D. 2019. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) A potential crop for future food, health security, livelihood generation and poverty eradication, Jodhpur, India, E-ISBN: 978-93-87991-67-5
- Souza FFDJ, Devilla IA, Souza RTGD, Teixeira IR, Spehar CR. 2016. Physiological quality of quinoa seeds submitted to different storage conditions, African J. of Agricultural Research, 11(15): 1299-1308.
- Strenske A, Vasconcelos ESD, Herzog NFM, Malavasi MDM. 2015. Quinoa seed germination of different storage periods, Scientia Agraria Paranaensis, 14: 286-290.
- Şehirli S. 1997. Tohumluk ve Teknolojisi, Trakya Üniv. Tekirdağ Ziraat Fak. Tarla Bitkileri Bölümü, Tekirdağ.
- Tan M, Elkoca E, Temel S. 2015. Antik çağlardan günümüze kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), Türkiye 11. Tarla Bitkileri Kongresi, 7-10 Eylül 2015, Çanakkale, Cilt:2:326-329.
- Tan M, Temel S. 2017a. Erzurum ve Iğdır şartlarında yetiştirilen farklı kinoa genotiplerinin kuru madde verimi ve bazı özelliklerinin belirlenmesi. Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der., 7(4): 257-263.
- Tan M, Temel S. 2017b. Studies on the adaptation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to Eastern Anatolia Region of Turkey. Agrofor Int. J., 2: 33-39.
- Tan M, Temel S. 2018. Performance of some quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes grown in different climate conditions, Turk. J. Field Crops 23(2):180-186.
- Tan M, Temel S. 2019. Her Yönüyle Kinoa (Önemi, Kullanılması ve Yetiştiriciliği), İksad Publishing House, ISBN: 978-605-7875-88-4, Ankara, 177s.
- Tan M, Yöndem Z. 2013. İnsan ve hayvan beslenmesinde yeni bir bitki: kinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.), Alinteri, 25(B) 62-66, ISSN:1307-3311.
- Tan M. 2020. Macro- and micromineral contents of different quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) varieties used as forage by cattle, Turk J Agric For. 44:46-53.
- Temel I, Keskin B. 2019a. Farklı sıra arası ve sıra üzeri mesafelerinin kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)'nın besin içeriğine etkisi, Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi, 5(1):110-116.

- Temel I, Keskin B. 2019b. Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)'nın ot verimi ve bazı verim unsurlarına farklı sıra üzeri ve sıra arası mesafelerin etkileri, Iğdır Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(1):522-532.
- Temel S, Şurgun N. 2019. Farklı dozlarda uygulanan azot ve fosforlu gübrelemenin kinoanın ot verimi ve kalitesine etkisi, Iğdır Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(3):1785-1796.
- Torres, ROC. 1987. A study of the long-term storage behaviour of *Chenopodium quinoa* Willd. Seeds, University of Birmingham, Department of Plant Biology, M.Sc. Thesis, 63p.
- Walters C, Ballesteros D, Vertucci VA. 2010. Structural mechanics of seed deterioration: Standing the test of time, Plant Science, 179: 565–573.
- Yazar A, Ince Kaya C. 2014. A new crop for salt affected and dry agricultural areas of Turkey: Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), Turkish J. of Agricultural and Natural Sciences Special Issue, 2:1440-1446.
- Yurtsever N. 1984. Deneysel İstatistik Metotlar, Toprak ve Gübre Araş. Enstitüsü Yayınları No: 121, Ankara.
- Zulkadir G, İdikut L, Çölkesen M. 2017. Kinoa'nın (*Chenopodium quinoa* Willd.) Kahramanmaraş koşullarında iki farklı ekim zamanının araştırılması, Türkiye 12. Tarla Bitkileri Kongresi, 12-15 Eylül 2017, Kahramanmaraş, Cilt:1:85.
- Zulkadir G, İdikut L, Çölkesen M. 2018. Investigation of quinoa plant performance in Kahramanmaraş conditions. I. International Agricultural Science Congress, 9-12 May 2018, Van.

Bazı Yemlik Pancar (*Beta vulgaris* var. *rapacea*) Çeşitlerinin Yumru Verimi ve Kalite ÖzellikleriAyşe Merve ÖZDEMİR¹, Kağan KÖKTEN^{2*}

ÖZET: Bu araştırma, Bingöl koşullarında 5 çeşit yemlik pancarın (Rota, Brigadier, Feldherr, Nedimbey, Rekord Poly) yumru verimi ve kalite özelliklerinin incelenmesi amacıyla yürütülmüştür. Araştırma, 2018 yılı yetiştirme döneminde Bingöl Üniversitesi Genç Meslek Yüksekokulu Uygulama ve Araştırma alanına ait deneme alanında kurulmuştur. Çalışma, tesadüf blokları deneme desenine göre dört tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Araştırmada kullanılan yemlik pancar çeşitlerine ait yumru boyu, yumru çapı, yaş yumru verimi, kuru yumru verimi, ham kül oranı, ham protein oranı, ham protein verimi, asit deterjanda çözünmeyen lif (ADF), nötr deterjanda çözünmeyen lif (NDF), sindirilebilir kuru madde (SKM) oranı, kuru madde tüketimi (KMT) oranı ve nispi yem değeri (NYD) ile ilgili veriler incelenmiştir. Araştırmadan elde edilen sonuçlara göre; yumru boyu 16.50-23.08 cm, yumru çapı 7.08-8.50 cm, yaş yumru verimi 7106.0-10587.0 kg da⁻¹, kuru yumru verimi 997.78-1330.80 kg da⁻¹, ham kül oranı %1.48-1.95, ham protein oranı %4.87-6.03, ham protein verimi 50.35-65.29 kg da⁻¹, ADF oranı %8.85-9.95, NDF oranı %13.88-15.80, SKM oranı %81.15-82.01, KMT oranı %7.65-8.69 ve NYD 481.45-552.19 arasında değişmiştir. En yüksek yaş yumru ve ham protein verimleri Brigadier ve Rekord Poly çeşitlerinden elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre; Bingöl ve benzeri ekolojilerde bu iki çeşidin yetiştirilebileceği önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yemlik pancar (*Beta vulgaris* var. *rapacea*), yumru verimi, kalite,

Tuber Yield and Quality Properties of Some Fodder Beet (*Beta vulgaris* var. *rapacea*) Varieties

ABSTRACT: This research was carried out to examine the tuber yield and quality characteristics of 5 different fodder beets (Rota, Brigadier, Feldherr, Nedimbey, Rekord Poly) under Bingöl conditions. The research was established in the trial field of Bingöl University Genç Vocational School Application and Research area during the 2018 growing period. The study was carried out with randomized block design with four replications. In the research; tuber length, tuber diameter, fresh tuber yield, dry tuber yield, crude ash ratio, crude protein ratio, crude protein yield, acid detergent fiber (ADF), neutral detergent fiber (NDF), digestible dry matter (DDM) ratio, dry matter intake (DMI) rate and relative feed value (RFV) of fodder beets were examined. According to the results of the research; tuber length 16.50-23.08 cm, tuber diameter 7.08-8.50 cm, fresh tuber yield 7106.0-10587.0 kg da⁻¹, dry tuber yield 997.78-1330.80 kg da⁻¹, crude ash ratio 1.48-1.95%, crude protein ratio 4.87-6.03%, crude protein yield 50.35-65.29 kg da⁻¹, ADF ratio 8.85-9.95%, NDF ratio 13.88-15.80%, DDM ratio 81.15-82.01%, DMI ratio 7.65-8.69% and RFV ranged from 481.45-552.19. The highest fresh tuber and crude protein yields were obtained from Brigadier and Rekord poly varieties. According to these results; it is suggested that these two varieties can be grown in Bingöl and similar ecologies.

Keywords: Fodder beet (*Beta vulgaris* var. *rapacea*), tuber yield, quality,

¹ Ayşe Merve ÖZDEMİR (Orcid ID: 0000-0002-9061-887X), Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Bingöl, Türkiye

² Kağan KÖKTEN (Orcid ID: 0000-0001-5403-5629), Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Bingöl, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Kağan KÖKTEN, e-mail: kkokten@bingol.edu.tr

Bu çalışma Ayşe Merve ÖZDEMİR'in Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

GİRİŞ

Tarımsal faaliyetlerin temeli, insanlara besin maddesi sağlama amacına yönelik olarak yapılır. Sağlık açısından oldukça önemli olan dengeli beslenme; besin maddelerinin tür, miktar ve kalite özellikleri açısından belirli bir seviyede alınmasıyla sağlanabilir. Bireylerin dengeli beslenmeleri için günlük 75-80 g protein almaları yeterli olacaktır. Fakat gerekli olan protein miktarının da yaklaşık olarak yarısının hayvansal kaynaklı protein olması gerekmektedir. Bu hayvansal kaynaklı proteinin de karşılanmasında sığır eti ilk sırayı almaktadır. Bu yüzden hayvansal ürünlerin insan beslenmesindeki önemi tartışılmaz bir gerçektir (Cankurt ve ark., 2010).

Türkiye hayvan varlığı açısından gayet iyi bir seviyede olmasına karşın, hayvanların verimleri çok düşüktür. Bu verim düşüklüğünün nedenleri arasında, hayvan ırkları ve yem kaynaklarının yeterli düzeyde olmaması bulunmaktadır. Yeni kaba yem kaynakları sayesinde hayvansal verim arttırılabilir. Türkiye’de var olan yem açığı sorunu herkes tarafından bilinen bir gerçektir. Çayır-meralar bilinçsizce kullanıldığı için, verimi düşük ve değersiz yem bitkilerinden oluşan alanlara dönüşmüştür (Gençkan 1983).

Türkiye’de hayvan pancarı tarımı hem yetiştirme teknikleri bakımından hem de üretim alanı bakımından yeterli düzeyde değildir. Hayvan pancarı, TİGEM (Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü) gibi büyük üretim çiftlikleri dışında, diğer ekim alanlarının neredeyse tamamında çok küçük alanlarda üretilmekte ve ekimler elle veya çapa ile gerçekleştirilmektedir. Ekimde ortalama tohum miktarı dekara 1.5 kg civarında olmaktadır. Hayvan pancarı ülkemizde en çok Karadeniz (Samsun, Bolu, Trabzon), Trakya (Tekirdağ, Kırklareli), Ege (Afyon, Kütahya, Aydın) ve Akdeniz (Burdur) Bölgelerinde yetiştirilmektedir (Adıyaman ve Soya 2003).

Süt hayvancılığında hayvanların günlük yemine belli oranda eklenen hayvan pancarı, üretilen sütün kalitesini yüksek oranda artırmaktadır. Çeşitli yem bitkilerine göre uygun şartlarda yetiştirilen yemlik pancarda kuru madde verimi de oldukça fazladır. Yemlik pancar çayır ve mera alanlarının kurduğu veya yeteri kadar yem üretmediği devrelerde kaliteli ve bol yem sağlamaktadır (Özen ve ark. 1981).

Yemlik pancar ile ilgili ülkemizde pek çok araştırmacı tarafından denemeler yapılmıştır (Açanal, 1999; Acar, 2000; Adıyaman ve Soya, 2003; Albayrak ve Çamaş, 2005 ve 2006; Özasan Parlak ve Ekiz, 2008; Güleş, 2009; Albayrak ve Yüksel, 2010; Erdoğan ve ark., 2011; Dündar, 2013; Özköse, 2013; Karadağ ve ark., 2014; Yılmaz, 2018). Araştırmacılar yemlik pancarın yaş yumru verimini 2976-16102 kg/da, kuru yumru verimini 2972-16102 kg/da, ham protein oranını %6.0-11.94, ham protein verimini 92-154 kg/da arasında saptamışlardır. Bu araştırmanın amacı, Bingöl ekolojisinde bazı yemlik pancar çeşitlerini yumru verimi ve kalite özellikleri açısından karşılaştırmaktır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Deneme, Bingöl Üniversitesi Genç MYO Uygulama ve Araştırma alanında 2018 yılında yürütülmüştür. Bingöl ilinin iklim verilerine bakıldığında, araştırmanın yapıldığı 6 aylık döneme (Nisan-Eylül arası) ait uzun yıllar aylık ortalama sıcaklığın 19.8 °C, toplam yağış miktarının 488 mm ve ortalama nispi nem değerinin ise %45.2 olduğu saptanmıştır. Araştırmanın yapıldığı 2018 yılının uzun yıllar ortalamasından daha sıcak (21.7 °C), daha az yağışlı (281 mm) ve nispi nem değerinin ise daha düşük (%43) olduğu anlaşılmaktadır. Araştırmanın yapıldığı alanın çeşitli yerlerinden 0-30 cm toprak derinliğinden alınan örnekler karıştırılarak temsili toprak numunesi elde edilmiştir. Toprak numunesinin analizi Bingöl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü laboratuvarında yapılmıştır. Analiz sonucuna göre; araştırma alanının kumlu killi tın toprak yapısında olduğu saptanmıştır. Toprağın organik madde içeriği bakımından fakir (%1.88), pH açısından hafif bazik (7.41),

az kireçli (%0.22), potasyum (47.55 kg da⁻¹) ve fosfor (5.19 kg da⁻¹) içeriği bakımından yeterli olmadığı tespit edilmiştir (Karaman, 2012).

Çalışmada bitkisel materyal olarak Rota, Nedimbey, Feldherr, Brigadier ve Rekord Poly isimli yemlik pancar çeşitleri kullanılmıştır. Araştırma tesadüf bloklar deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Denemede, parsel ebatları 5 m uzunluk ve 4 sıradan oluşmuştur. Ekim 40 cm sıra aralığında ve dekara 3 kg tohumluk olacak şekilde yapılmıştır (Avcıoğlu ve ark., 1999). Deneme alanına ekim ile beraber dekara 4 kg azot, 10 kg fosfor (P₂O₅) olacak biçimde DAP gübresi verilmiştir. Ekimden sonra sıraların tam olarak belli olduğu ve bitkilerin de 3-5 yapraklı olduğu dönemde çapalama, tekleme işlemi ve dekara 5 kg saf azot olacak şekilde gübreleme yapılmıştır (Özaslan Parlak ve Ekiz, 2008). Bitkiler, damlama sulama yöntemiyle yaprakların solmaya başladığı dönemlerde sulanmıştır.

Her parselden tesadüfi seçilen 10 bitkinin yumru boyları ve bu yumrular ortadan ikiye kesilerek çapları ölçülmüştür (Acar, 2000). Denemede her parseldeki en dışta kalan birer sıra ve parsel başlarından 0.5'er m çıkarıldıktan sonra geriye kalan alanda bitkilerin yaprakları hasatta kök-gövdelerinden kesilip yumruların ağırlıkları alınmış ve elde edilen ağırlıklar dekar hesabına çevrilmiştir. Her parselden alınan 500 g yumru numunesi, 70 °C'de 48 saat kurumaya bırakıldıktan sonra tartılarak kuru madde oranı tespit edilmiştir. Daha sonra kuru madde oranları ile yaş yumru verimi birbiri ile çarpılıp kuru yumru verimi belirlenmiştir. Ögütülmüş kuru yumru numunelerinin azot (N) içeriği Kjeldahl yöntemi ile belirlenmiştir. Elde edilen azot oranı 6.25 ile çarpılarak ham protein oranı elde edilmiştir (Anonim, 1995). Kuru yumrudaki ham protein oranları dekara kuru yumru verimleri ile çarpılarak dekara ham protein verimleri elde edilmiştir. Ham kül içeriği, numunelerin 8 saat boyunca 550 °C'de kül fırınında yakılmasıyla belirlenmiştir. ADF ve NDF oranları ANKOM 200 Fiber Analyzer (ANKOM Technology Corp. Fairport, NY, USA) cihazı kullanılarak elde edilmiştir (Van Soest ve ark., 1991). Elde edilen ADF oranı yardımıyla sindirilebilir kuru madde (SKM = 88.9 - (0.779x% ADF)) miktarları, NDF oranı yardımıyla kuru madde tüketimi (KMT = 120/(% NDF)), SKM ve KMT değerleri yardımıyla da nispi yem değeri (NYD = SKM x KMT) / 1.29 hesaplanmıştır (Morrison, 2003).

Araştırmada elde edilen değerler, JUMP istatistik paket programı ile tesadüf blokları deneme desenine göre varyans analize tabi tutulmuştur. Varyans analizi neticesinde istatistiksel olarak önemli çıkan faktör ortalamalarının karşılaştırılması LSD testi ile yapılmıştır (Kalaycı, 2005).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Yumru Boyu ve Yumru Çapı (cm)

Yemlik pancar çeşitlerinin, yumru boyunu ve yumru çapını istatistiksel olarak %1 seviyesinde çok önemli derecede etkilediği saptanmıştır.

Çizelge 1 incelendiğinde, en yüksek yumru boyunun 23.08 cm ile Feldherr çeşidinden elde edildiği, bunu istatistiki olarak aynı grupta bulunan Brigadier (21.90 cm) çeşidinin izlediği görülmektedir. En düşük yumru boyu istatistiki açıdan farksız olan Rekord Poly, Rota ve Nedimbey çeşitlerinden elde edilmiştir. Yemlik pancar çeşitlerinin yumru boyu ortalaması 19.42 cm olarak tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalarda, yumru boyunu Abou-Deya (1991) 14.5-17.5 cm, Acar (2000) 48.68-50.62 cm, Özaslan Parlak ve Ekiz (2008) 19.94 cm, Güleş (2009) 30.58-37.35 cm, Erdoğan ve ark. (2011) 25.9-29.8 cm, Dündar (2013) 25.8-37.7 cm, Karadağ ve ark. (2014) 32.6 cm ve Yılmaz (2018) 26.0 cm olarak tespit etmişlerdir. Elde edilen bulgular ile bazı araştırmacıların bulguları kısmen uyumlu iken bazı araştırmacıların bulgularından farklıdır. Çalışmanın yürütüldüğü alanın ekolojik özellikleri ile çalışmada kullanılan bitkisel materyalin genetik yapılarının farklı olması, araştırma bulguları arasındaki bu farklılığın nedenleri arasında sayılabilir.

Çizelge 1. Yemlik pancar çeşitlerinde saptanan yumru boyu ve çapına ait ortalama değerler

Çeşitler	Yumru Boyu (cm)**	Yumru Çapı (cm)**
Rekord Poly	17.85 B	8.50 A
Rota	16.50 B	8.16 AB
Nedimbey	17.75 B	7.83 B
Brigadier	21.90 A	7.98 AB
Feldherr	23.08 A	7.08 C
Ortalama	19.42	7.91

**) Aynı harfle gösterilen değerler %1 ($P \leq 0.01$) hata sınırları içerisinde LSD testine göre istatistiksel olarak birbirinden farklıdır

Çizelge 1'e bakıldığında, en yüksek yumru çapının 8.50 cm ile Rekord Poly çeşidinden saptandığı, bu çeşidi istatistiki olarak aynı grupta yer alan Rota (8.16 cm) ve Brigadier (7.98 cm) çeşitlerinin izlediği görülmektedir. En düşük yumru çapı ise 7.08 cm ile Feldherr çeşidinde saptanmıştır. Yemlik pancar çeşitlerinin yumru çapı ortalaması 7.91 cm olarak tespit edilmiştir. Farklı ekolojilerde yapılan çalışmalarda yumru çapı değerleri, Abou-Deya (1991) tarafından Mısır koşullarında 19.5-25.3 cm, Açıanal (1999) tarafından Harran ovası koşullarında 9.8 cm, Özaslan Parlak ve Ekiz (2008) tarafından Ankara koşullarında 10.74 cm, Güleş (2009) tarafından Ankara koşullarında 8.76-9.30 cm, Erdoğan ve ark. (2011) tarafından Eskişehir koşullarında 14.8-16.1 cm, Dünder (2013) tarafından Tokat koşullarında 7.4-9.1 cm, Karadağ ve ark. (2014) tarafından Tokat/Kazova koşullarında 9.7 cm ve Yılmaz (2018) tarafından Sakarya/Pamukova koşullarında 12.6 cm olarak tespit edilmiştir.

Yaş Yumru ve Kuru Yumru Verimleri (kg da⁻¹)

Yemlik pancar çeşitlerinin, yaş yumru ve kuru yumru verimlerini istatistiksel olarak %1 düzeyinde çok önemli derecede etkilediği saptanmıştır.

Çizelge 2. Yemlik pancar çeşitlerinde saptanan yaş yumru ve kuru yumru verimlerine ait ortalama değerler

Çeşitler	Yaş Yumru Verimi (kg da ⁻¹)**	Kuru Yumru Verimi (kg da ⁻¹)**
Rekord Poly	10263.0 A	1330.80 A
Rota	8824.0 B	1016.23 C
Nedimbey	7146.0 C	1032.48 C
Brigadier	10587.0 A	1149.88 B
Feldherr	7106.0 C	997.78 C
Ortalama	8785.2	1105.43

**) Aynı harfle gösterilen değerler %1 ($P \leq 0.01$) hata sınırları içerisinde LSD testine göre istatistiksel olarak birbirinden farklıdır

Çizelge 2 incelendiğinde, en yüksek yaş yumru veriminin Brigadier (10587.0 kg da⁻¹) çeşidinden elde edilirken, bu çeşidi istatistiki olarak aynı grupta bulunan Rekord Poly (10263.0 kg da⁻¹) çeşidinin takip ettiği görülmektedir. En düşük yaş yumru verimi Feldherr (7106.0 kg da⁻¹) çeşidinden elde edilmiştir. Yemlik pancar çeşitlerinin yaş yumru verimi ortalaması 8785.2 kg da⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Çizelgeye bakıldığında, en yüksek kuru yumru veriminin Rekord Poly (1330.80 kg da⁻¹) çeşidinden elde edildiği görülmektedir. En düşük kuru yumru verimi ise Feldherr (997.78 kg da⁻¹) çeşidinde saptanmıştır. Yemlik pancarı çeşitlerinin kuru yumru verimi ortalaması 1105.43 kg da⁻¹ olarak bulunmuştur.

Yemlik pancar yumru verimi konusunda yapılan çalışmalarda, Albayrak ve Çamaş (2006) tarafından yaş yumru verimi 10737 kg da⁻¹, Özköse (2013) tarafından yaş yumru verimi 10918 kg da⁻¹ ve kuru yumru verimi 1372 kg da⁻¹ olarak elde edilmiş ve değerlerimiz ile uyumlu bulunmuştur. Acar (2000) tarafından yaş yumru verimi 14515.8 kg da⁻¹, Albayrak ve Çamaş (2005) tarafından kuru yumru verimi 1097-1226 kg da⁻¹, Özaslan Parlak ve Ekiz (2008) tarafından yaş yumru verimi 4992.1 kg da⁻¹, kuru yumru verimi 817.68 kg da⁻¹, Güleş (2009) tarafından yaş yumru verimi 2976-4798 kg da⁻¹, Erdoğan ve ark. (2011) tarafından yaş yumru verimi 11750-12938 kg da⁻¹, Karadağ ve ark. (2014) tarafından yaş yumru verimi 16102 kg da⁻¹ ve Yılmaz (2018) tarafından yaş yumru verimi 15000 kg da⁻¹ olarak elde edilmiş ve elde ettiğimiz değerlerden farklı bulunmuştur. Yumru verimi konusunda belirlenen sonuçların farklı olmasının sebebi; iklim ve toprak koşullarının, yapılan kültürel işlemlerin ve ekim zamanlarının farklı olmasından kaynaklanmış olabilir.

Ham Kül ve Ham Protein Oranları (%) ile Ham Protein Verimi (kg da⁻¹)

Yemlik pancar çeşitlerinin, ham kül oranını ve ham protein verimini istatistiksel olarak %1 düzeyinde çok önemli derecede, ham protein oranını ise istatistiksel olarak %5 düzeyinde etkilediği saptanmıştır.

Çizelge 3. Yemlik pancar çeşitlerinde saptanan ham kül ve ham protein oranları ile ham protein verimine ait ortalama değerler

Çeşitler	Ham Kül Oranı (%)**	Ham Protein Oranı (%)*	Ham Protein Verimi (kg da ⁻¹)**
Rekord Poly	1.65 BC	4.87 C	64.79 A
Rota	1.95 A	6.03 A	61.10 AB
Nedimbey	1.55 C	5.35 BC	55.05 AB
Brigadier	1.78 AB	5.70 AB	65.29 A
Feldherr	1.48 C	5.08 BC	50.35 B
Ortalama	1.68	5.41	59.32

*) Aynı harfle gösterilen değerler %5 (P≤0.05) hata sınırları içerisinde LSD testine göre istatistiksel olarak birbirinden farklıdır

**) Aynı harfle gösterilen değerler %1 (P≤0.01) hata sınırları içerisinde LSD testine göre istatistiksel olarak birbirinden farklıdır

Çizelge 3 incelendiğinde, en yüksek ham kül oranının Rota (%1.95) çeşidinden elde edildiği, bu çeşidi istatistiksel olarak aynı grupta bulunan Brigadier (%1.78) çeşidinin takip ettiği görülmektedir. En düşük ham kül oranı ise istatistiksel yönünden farklı olan Nedimbey ve Feldherr çeşitlerinden elde edilmiştir. Yemlik pancar çeşitlerinin ham kül oranı ortalaması %1.68 olarak tespit edilmiştir. Erdoğan ve ark. (2011) tarafından Eskişehir koşullarında yapılan çalışmada, yumruda ham kül oranı %0.95-1.11 olarak tespit edilmiştir. Araştırmacıların elde ettikleri bu değerler çalışmadan elde ettiğimiz değerler ile benzerlik göstermektedir. Çizelge incelendiğinde, en yüksek ham protein oranının Rota (%6.03) çeşidinden elde edildiği, bu çeşidi istatistiksel olarak aynı grupta bulunan Brigadier (%5.70) çeşidinin takip ettiği görülmektedir. En düşük ham protein oranı Rekord Poly (%4.87) çeşidinden elde edilmiştir. Yemlik pancar çeşitlerinin ham protein oranı ortalaması %5.41 olarak tespit edilmiştir. Acar (2000) tarafından yumruda ham protein oranı %9.69-11.26, Albayrak ve Yüksel (2010) tarafından %8.89-11.94, Türk (2010) tarafından %8.58-12.73, Erdoğan ve ark. (2011) tarafından %6.0-7.3, Al-Jbawi ve ark. (2014) tarafından %7.34-8.00, Chakwizira ve ark. (2014) tarafından %7.0, Yılmaz (2018) tarafından %8.64 olarak saptanmıştır. Araştırmacıların ham protein oranı ile ilgili olarak tespit ettikleri bulguların çalışmadan tespit ettiğimiz bulgulardan biraz yüksek olduğu belirlenmiştir. Çizelge 3 incelendiğinde, en yüksek ham protein veriminin Brigadier (65.29 kg da⁻¹) çeşidinden elde edildiği, bu çeşidi istatistiksel

olarak aynı grupta yer alan Rekord Poly (64.79 kg da⁻¹), Rota (61.10 kg da⁻¹) ve Nedimbey (55.05 kg da⁻¹) çeşitlerinin takip ettiği görülmektedir. En düşük ham protein verimi Feldherr (50.35 kg da⁻¹) çeşidinden elde edilmiştir. Yemlik pancar çeşitlerinin ham protein verimi ortalama değeri 59.32 kg da⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Farklı bölgelerde yürütülen araştırmalarda; yemlik pancarın ham protein verimi Acar (2000) tarafından 123.4-150.0 kg da⁻¹, Albayrak ve Yüksel (2010) tarafından 92-137 kg da⁻¹, Türk (2010) tarafından 69-154 kg da⁻¹ olarak saptanmıştır.

ADF, NDF, SKM ve KMT oranları (%) ile NYD

Yemlik pancar çeşitlerinin ADF, NDF, SKM ve KMT oranları ile NYD'lerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4. Yemlik pancar çeşitlerinde saptanan ADF, NDF, SKM ve KMT oranları ile NYD'ne ait ortalama değerler

Çeşitler	ADF (%)	NDF (%)	SKM (%)	KMT (%)	NYD
Rekord Poly	8.93	14.73	81.95	8.21	521.31
Rota	9.95	15.80	81.15	7.65	481.45
Nedimbey	8.85	13.88	82.01	8.69	552.19
Brigadier	9.75	15.23	81.31	7.94	500.68
Feldherr	9.83	14.65	81.25	8.22	517.81
Ortalama	9.46	14.86	81.53	8.14	514.69

Çizelge 4 incelendiğinde, yemlik pancar çeşitlerine ait ADF oranlarının %8.85-9.95 arasında değiştiği görülmektedir. Yemlik pancar çeşitlerinin ADF oranı ortalaması %9.46 olarak tespit edilmiştir. NDF oranları ise %13.88-15.80 arasında değişim göstermektedir. Yemlik pancar çeşitlerinin NDF ortalaması %14.86 olarak tespit edilmiştir. Yemlik pancar yumrusunun ADF ve NDF oranlarıyla ilgili yapılan çalışmalarda, Albayrak ve Yüksel (2010) %11.39-14.75 ve %15.82-20.49, Türk (2010) %11.64-14.53 ve %16.12-20.15, Chakwizira ve ark. (2014) %15.5 ve %30.9, Salama ve Zeid (2017) %10.4-13.5 ve %20.9-27.4 olarak saptanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar araştırmacıların bulgularından düşük bulunmuştur.

Çizelgeye baktığımızda, çeşitlere ait SKM oranları %81.15-82.01 arasında değişim göstermektedir. Yemlik pancar çeşitlerinin SKM oranı ortalaması %81.53 olarak tespit edilmiştir. Yemlik pancar çeşitlerinin KMT oranları %7.65-8.69 arasında değişim göstermektedir. Yemlik pancar çeşitlerinin KMT oranı ortalaması %8.14 olarak tespit edilmiştir. Nispi yem değerleri ise 481.45-552.19 arasında değişim göstermektedir. Yemlik pancar çeşitlerinin nispi yem değeri ortalaması 514.69 olarak tespit edilmiştir. Yemin kalitesini genellikle yemin fiziksel, kimyasal ve biyolojik değerleri belirlemektedir. Yoncada kalite kontrolü için Amerika Birleşik Devletleri'nde geliştirilen nispi yem değeri (Relative Feed Value, RFV) metodu vardır ve bütün bitkiler için kullanılmaktadır (Ball ve ark., 1996). Nispi yem değerini hesaplamak için asit deterjan fiber (ADF) ve nötr deterjan fiber (NDF) değerlerinden yararlanılmaktadır. Tam çiçeklenme dönemindeki yonca kuru otunun içerdiği %41 ADF ve %53 NDF içeriğinden hesaplanan nispi yem değeri 100 olarak kabul edilmektedir. Nispi yem değeri, bu değer altına indikçe yem kalitesi de düşmektedir (Richardson, 2001). Buna göre nispi yem değeri 75'in altında ise 5. kalite, 75-86 ise 4. kalite, 87-102 ise 3. kalite, 103-124 ise 2. kalite, 125-150 ise 1. kalite ve 150'nin üzerinde ise en iyi kalite olarak kabul edilmektedir (Rohweder ve ark., 1978).

SONUÇ

Bingöl ili ekolojik koşullarında yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, yemlik pancarda en yüksek yaş yumru ve ham protein verimi, Brigadier ve Rekord Poly çeşitlerinden saptanmıştır. Bölge koşulları için en uygun çeşitlerin Brigadier ve Rekord Poly çeşitlerinin olabileceği düşünülmekle birlikte, aynı koşullarda çalışmanın birkaç yıl daha tekrarlanması ile kesin sonuca ulaşılabileceği kanaatine varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Abou-Deya IB, 1991. Productivity of Some Fodder Beet Cultivars as Influenced by Organic and Mineral Fertilizers under Şaline Conditions of South Sinai. *Annals of Agricultural Science*, 29(1): 29-35.
- Acar R, 2000. Bazı Yemlik pancar (*Beta vulgaris* L. *rapacea* Koch.) çeşitlerinde farklı ekim zamanı ve bitki sıklıkları uygulamalarının verim, verim unsurları ve kalite üzerine etkileri. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, s. 173.
- Açanal M, 1999. Harran Ovası koşullarında farklı ekim zamanlarının hayvan pancarında (*Beta vulgaris* var. *rapacea* Koch) verime etkisinin saptanması. Harran Üniv. Fen Bil. Enst. Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 49 s.
- Adıyaman M, Soya H, 2003. Değişik İklim Bölgelerimize Uygun Yemlik Pancar Çeşitlerinin Saptanması ve Verim Ögeleri İle Depolama Özellikleri Üzerinde Araştırmalar, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Bölümü Ders Notu.
- Albayrak S, Çamaş N, 2005. Influence of row spacing on root yield and yield potent of Fodder beet (*Beta vulgaris* var. *crassa* Mansf.) in the Black Sea Coastal Region. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 11(2): 160-164.
- Albayrak S, Çamaş N, 2006. Yield components of fodder beet (*Beta vulgaris* var. *crassa* Mansf.) under the Middle Black Sea Region conditions. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 12(1): 65-69.
- Albayrak S, Yüksel O, 2010. Effects of nitrogen fertilization and harvest time on root yield and quality of fodder beet (*Beta vulgaris* var. *crassa* Mansf.). *Turkish Journal of Field Crops*, 15(1): 59-64.
- Al-Jbawi E, Bagdadi M, Nemr Y, 2014. The effect of plant spacing on some quality traits of fodder beet (*Beta vulgaris* var. *crassa*) varieties. *International Journal of Environment*, 3(3): 286-293.
- Anonim, 1995. Tecator Application Note AN 300. The Determination of Nitrogen According to Kjeldahl Using Block Digestion and Steam Distillation, Tecator AB Sweden, s. 1-11.
- Avcıoğlu R, Geren H, Elmalı Y, Ereku O, 1999. Farklı ekim zamanı ve sıklığının hayvan pancarı (*Beta vulgaris* var. *rapacea* Koch.)'nda verim ve diğer bazı özelliklere etkisi üzerinde araştırmalar. Türkiye 3. Tarla Bitkileri Kongresi, 15-18 Kasım 1999, Adana, Cilt III, 113-118.
- Ball DM, Hoveland CS, Lacefield GD, 1996. Forage Quality in Southern Forages. Publ. By the Williams Printing Company, 124-132.
- Cankurt M, Miran B, Şahin A, 2010. Sığır eti tercihlerini etkileyen faktörlerin belirlenmesi üzerine bir araştırma: İzmir ili örneği. *Journal of Animal Production*, 51(2): 16-22.
- Chakwizira E, de Ruiter JM, Maley S, 2014. Growth, nitrogen partitioning and nutritive value of fodder beet crops grown under different application rates of nitrogen fertilizer. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 57(2): 75-89.
- Dündar Z, 2013. Tokat-Kazova ekolojik koşullarında bazı yemlik pancar (*Beta vulgaris* L. var. *rapacea* Koch.) çeşitlerinin verim ve verim özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, s. 27-57.
- Erdoğdu İ, Sever AL, Atalay AK, 2011. Eskişehir koşullarında hayvan pancarında yem verimleri ve bazı bitkisel özellikler. *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi*, 11: 57-63.

- Gençkan MS, 1983. Yem Bitkileri Tarımı. Ege Üniversitesi. Ziraat Fakültesi, İzmir, s. 467.
- Güleş A, 2009. Bazı hayvan pancarı (*Beta vulgaris* L. ssp. *crassa* Mansf.) çeşitlerinin verim ve verim ögeleri bakımından karşılaştırılması. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Kalaycı M, 2005. Örneklerle Jump kullanımı ve tarımsal araştırma için varyans analiz modelleri. Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, s. 21.
- Karadağ Y, Dündar Z, Özkurt M, 2014. Tokat-Kazova ekolojik koşullarında bazı yemlik pancar (*Beta vulgaris* L. var. *rapacea* Koch.) çeşitlerinin verim ve verim özellikleri. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 31(2): 1-6.
- Karaman MR, 2012. Bitki Besleme, GÜBRETAS Rehber Kitaplar Dizisi:2, ISBN: 978-605-87103-2-0.
- Morrison JA, 2003. Hay and Pasture Management, Chapter 8.Extension Educator, Crop Systems Rockford Extension Center.
- Özaslan Parlak A, Ekiz H, 2008. Ankara koşullarında bazı yemlik pancar (*Beta vulgaris* L. ssp. *crassa* Mansf.) çeşitlerinin verim ve verim ögeleri bakımından karşılaştırılması. Tarım Bilimleri Dergisi, 14(2): 95-100.
- Özen N, Çakır A, Haşimoğlu S, Aksoy A, 1981. Yemler Ders Teksiri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü, Erzurum.
- Özköse A, 2013. Determination of yield and yield components of fodder beet (*Beta vulgaris* L. var. *rapacea* Koch.) cultivars under the Konya Region conditions. International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering, 7(12): 1157-1160.
- Richardson C, 2001. Relative feeding value (RFV), an indicator of hay Quality. OSO Extension Fact F2117.<http://clay.agr.okstate.edu/alfalfa/webnews/quality3.htm>.
- Rohweder DA, Barnes RF, Jorgensen N, 1978. Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality. Journal of Animal Science, 47: 747-759.
- Salama HSA, Zeid MM, 2017. Fodder beet (*Beta vulgaris* L.) yield and quality attributes as affected by sowing date, age at harvest and boron application. Alexandria Science Exchange Journal, 38: 1-12.
- Türk M, 2010. Effects of fertilization on root yield and quality of fodder beet (*Beta vulgaris* var. *crassa* Mansf.). Bulgarian Journal of Agricultural Science, 16(2): 212-219.
- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA, 1991. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber and Non-starch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. Journal Dairy Science, 74: 3583-3597.
- Yılmaz M, 2018. Sakarya/Pamukova ekolojik koşullarında bazı yemlik pancar çeşitlerinin verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(3): 977-985.

Dallı Darı (*Panicum virgatum*)'nın Kurşun, Kadmiyum, Krom Toleransı ve Akümülyasyon Potansiyelinin Belirlenmesi

İdris ALACABEY¹, Şeyda ZORER ÇELEBİ^{1*}

ÖZET: Bu araştırmada, kurşun (Pb), kadmiyum (Cd) ve krom (Cr) ağır metallerinin dallı darı (*Panicum virgatum*)'nın gelişimi üzerine etkileri ile dallı darının bu metalleri akümülyasyon potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Deneme tesadüf parselleri deneme desenine göre üç tekrarlamalı olarak iklim odasında saksılarda yürütülmüştür. Araştırmada dallı darının Trailblazer çeşidi Pb'nin 0, 30, 60, 90, 120 mg kg⁻¹, Cd'nin 0, 2.5, 5, 10, 20 mg kg⁻¹ ve Cr'nin 0, 40, 80, 120, 160 mg kg⁻¹ uygulandığı yetiştirme ortamlarında büyütülmüş ve gelişimleri incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre her üç ağır metalin uygulanan düşük konsantrasyonlarında bitki boyu, yaş ve kuru biomas kontrole göre çok az gerileme gözlenmiştir. Uygulanan en yüksek konsantrasyonlarda gelişme geriliği artmış ancak bitki ölümleri olmamıştır. Bitkinin ağır metal içerikleri artan konsantrasyonlara bağlı olarak artmıştır. Biyolojik alınabilirlik indeksi her üç ağır metalin bütün konsantrasyonlarında 1'in üzerinde bulunmuştur. Sonuç olarak Pb, Cd ve Cr ağır metalleri ile kirlenmiş toprakların temizlenmesinde dallı darının iyi bir aday bitki olduğu düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Akümülyasyon, dallı darı, kadmiyum, krom, kurşun

Determination of Switchgrass (*Panicum Virgatum*)'s Lead, Cadmium, Crom Tolerance And Accumulation Potential

ABSTRACT: In this study, it is aimed to determine the effects of heavy metals, namely, lead (Pb), cadmium (Cd) and crom (Cr), on the development of switchgrass (*Panicum virgatum*) and Pb, Cd, Cr accumulation potential of switchgrass. This experiment was conducted in three times replicates through completely randomized block design, in plastik pots in the climate room. In the study, Trailblazer species of switchgrass were grown in soils where 0, 30, 60, 90, 120 mg kg⁻¹ concentrations of Pb; 0, 2.5, 5, 10, 20 mg kg⁻¹ concentrations of Cd and 0, 40, 80, 120, 160 mg kg⁻¹ concentrations of Cr were applied, and their developments were investigated. According to the results of this study, in low concentrations of each three heavy metals applied, very little regression was observed in plant height, green and dry biomass with respect to control. In the highest concentrations applied, development retardation increased, however, plant deaths did not occur. Heavy metal contents of the plant had increased with increasing concentrations. Bioconcentration factor was found to be higher than 1 in all concentrations of each three heavy metals. In light of these results, it is thought that *Panicum virgatum* is a good prospective plant in cleaning of soils contaminated with Pb, Cd, and Cr.

Keywords: Accumulation, *panicum virgatum*, cadmium, crom, lead

¹ İdris ALACABEY (Orcid ID: 0000-0001-7916-3221), Şeyda ZORER ÇELEBİ (Orcid ID: 0000-0003-1278-1994), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Şeyda ZORER ÇELEBİ, e-mail: seydazorer@yyu.edu.tr

* Bu çalışma İdris ALACABEY'in Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

GİRİŞ

Günümüzde canlıların sağlığını olumsuz yönde etkileyen problemlerden biri de çevre kirliliğidir. Dünya nüfusunun artışı, endüstriyel gelişmeler ve teknolojik gelişmelerin istenilmeyen bir sonucu olarak ortaya çıkan çevre sorunları giderek artan boyutlarda önemini korumaktadır (Baş ve Demet, 1992). Birçok ülkede özellikle yetmişli ve seksenli yıllarda yaşanan toprak kirliliği vakaları nedeniyle insanların ve diğer canlıların zarar görmüş olması toprak kirliliğinin giderek önem kazanmasına sebep olmuştur. Amerika'da Lovecanal ve Valley of Drums vakaları ile Almanya'da Biefeld, Barsbüttel ve Hamburg vakaları tarihe geçmiştir. Örneğin; tespitler Amerika'da 217 000, Almanya'da 362 689, Avusturya'da 80 000, Hollanda'da 600 000, Bulgaristan'da ise 45 000 hektar muhtemel kirlenmiş arazi bulunduğunu ortaya koymaktadır (Göksu ve Güngör, 2005).

Çevre Koruma Ajansı sunmuş oldukları rapora göre ağır metaller 129 öncelikli çevre kirleticileri arasında en önemli gruplardan birini oluşturmaktadır (Neilson ve ark., 2003). Topraklarda yoğunlukla belirlenen metal kirleticiler kurşun (Pb), civa (Hg), arsenik (As), krom (Cr), kadmiyum (Cd), bakır (Cu) ve nikel (Ni)'dir. Kurşunun bitkiler üzerindeki etkileri kök ve yeşil aksam gelişiminin engellenmesi ve klorozdur. Bitki tarafından çok düşük miktarda alınan Pb bile fizyolojik süreç üzerine olumsuz etki yapmaktadır (Sharma ve Dubey, 2005). Krom bitkilerde kök hücrelerinin bölünme ve uzamasını engelleyerek kök gelişimini sınırlar. Bu durum bitkilerin bitki besin maddesi ve suyun topraktan alınımını azaltarak bitki büyüme ve gelişmesini yavaşlatır (Khan ve ark., 2000).

Çeşitli sebeplerle ağır metal kirliliğine mağruz kalmış alanlarda sağlıklı bir bitkisel üretim yapmak mümkün değildir. Bu alanlarda bitkisel üretim yapabilmek için ağır metallerin uzaklaştırılması gerekmektedir. Ancak alınan bu önlemler genellikle ekonomik olmamaktadır. Bu aşamada ağır metallerle bulaşık alanlarda yapılacak tarımsal faaliyetlerde yetiştirilecek tür ve hatta çeşitlerden toleranslı olanların belirlenmesi bir çözüm yolu olarak değerlendirilebilir (Zenk, 1996). Fitoremediasyon alanı yeni bir ekolojik alan olmakla birlikte büyük potansiyele sahip bir imkandır. Fitoremediasyon daha ileri aşamasında, botanik bilimini, genetik mühendisliğini, toprak kimyasını ve mikrobiyolojisini, aynı zamanda tarımı ve çevre bilimini birleştiren, disiplinler arası bir çalışma alanı gerektirecektir (Hamutoğlu ve ark., 2012).

Bitkiler çeşitli kaynaklardan atmosfere salınan CO₂ gazının yaşamsal O₂ gazına dönüştürülmesi sürecinde aktif olarak yer alırlar. Bu bilgi ile pek çok bilim insanı, bitkilerin diğer kirleticiler için de bir temizleyici ajan olarak kullanılabileceği yönünde harekete geçmişlerdir. Bitkiler diğer yaşam biçimleri için birinci dereceden karbon kaynağıdır ve besin zincirine giren kirlilikler için taşıyıcı olarak görev yapabilirler (Ghosh ve Singh, 2005).

Fitoekstraksiyonda kullanılacak bitkilerin; hasat edilen toprak üstü bölgelerinde yüksek oranda metal biriktirebilmesi, biriken ağır metale tolerans gösterebilmesi gereklidir. Bu bitkilerin bu anlamda kullanılabilmesi için hızlı büyüyen, derin köklü, kolayca hasat edilen ve yüksek biyokütle üreten olması gerekmektedir. Yüksek miktarda ağır metal biriktirme özelliğine sahip olan hiperakümülatör bitkiler, kuru ağırlık esasına göre %0,1 den fazla Cr, Co ve Ni, %1 Zn ve Mn içerebilmektedir. Ancak, bu bitkilerin fitoekstraksiyon amacıyla kullanılmalarını sınırlayan yavaş büyüme ve az yeşil aksam üretme gibi istenmeyen durumlar söz konusudur. Ayrıca, bu tip bitkiler bir kaç elementi değil, yalnızca özel bir elementi bünyelerine alarak biriktirebilmektedirler. Fakat gen mühendisliğindeki gelişmelerle; fazla yeşil aksam üretebilen, çok sayıda ağır metali aynı anda absorbe edebilen, absorbe ettikleri ağır metalleri biriktirebilen ve biriken ağır metali tolere edebilen transgenik bitkiler geliştirilerek bu sorun ortadan kaldırılabilir (Eren, 2010). Chen ve ark. (2000), ağır metallerin topraklardan uzaklaştırılmasında Vetiver çimini değerlendirmiştir. Vetiver çimi uyum yeteneğinin yüksek olması ve güçlü kök sistemiyle

tanınmaktadır. Çalışmada bitkinin Cd, Pb ve Zn ile kirlenmiş bir toprakta büyüme ve gelişmesinde bir gerileme olmadığı gözlemlenmiş ve bitki gövdesinde yüksek konsantrasyonlarda Cd, Pb ve Zn olduğu tespit edilmiştir. Araştırma sonucunda Vetiver çiminin Cd, Pb ve Zn ile kirlenmiş topraklardan bu metallerin uzaklaştırılmasında etkili olabileceği ancak hasat edilen materyalin ne şekilde artırılacağıyla ilgili detaylı çalışmaların yapılması gerekliliği vurgulanmıştır.

Bu çalışmada değerlendirmeye alınan dallı darı derin ve iyi gelişmiş kök sistemine ve yüksek toprak altı ve toprak üstü biyokütle üretimine sahiptir. Özellikle yetiştirildiği toprakların organik maddesini artırması bile çok önemli sayılmaktadır. Bu bitkinin temel kullanım alanları arasında elektrik üretimi amaçlı termik santralarda kömürle birlikte yakma, gazifikasyon ve taşıtların yakıt ihtiyacı için etanol üretiminde sayılabilir (Turnhollow, 1991; Samson ve Omielan, 1992; Sanderson ve ark., 1996). Aynı zamanda güçlü kök bölgesi ve yüksek biyokütle üretimi fitoremediasyonda bu bitki üzerine dikkatleri çekmektedir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü iklim odasında yürütülmüştür. Araştırmada bitki materyali olarak kullanılan *Panicum virgatum*'un Trailblazer çeşidi, yayla tipi (upland) octoploid ploidi ve orjinini Nebraska'dan alan bir dallı darı çeşididir. Denemede toprak kirlenici kaynak olarak, kurşunun (Pb) $Pb(NO_3)_2$, kadmiyumun (Cd) $Cd(NO_3)_2$ ve kromun (Cr) $Cr(NO_3)_3$ formları kullanılmıştır. Deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Deneme yeri toprağının fiziksel ve kimyasal özellikleri*

Tekstür Sınıfı	Tuz (%)	Fosfor (mg kg ⁻¹)	Potasyum (mg kg ⁻¹)	Organik madde (%)	Kireç (%)	pH	Saturasyon
Killi-tınlı	0.04	3.95	49.61	1.7	28	7.1	64.2

*Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü laboratuvarı

Deneme, tesadüf parselleri deneme desenine göre 2 kg toprak alabilen saksılarda üç tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. Araştırmada kullanılan topraklar 4 mm'lik eleklerde elenerek kurumaya bırakılmıştır. Daha sonra her saksı için 2 kg toprak, 0.1 g hassas terazide tartılarak hazır hale getirilmiştir. Her bir saksı için tartılan toprak numunelerine ağır metallerden Pb için 0, 30, 60, 90, 120 mg kg⁻¹, Cd için 0, 2.5, 5, 10, 20 mg kg⁻¹ ve Cr için 0, 40, 80, 120, 160 mg kg⁻¹ konsantrasyonları hesaplanıp karıştırılmıştır. İçerisinde ağır metallerin bulunduğu topraklar saksılara yerleştirilerek her bir saksıya 6 adet tohum gelecek şekilde ekim yapılmış ve saksılar %70 nem, 25/20 °C gündüz/gece sıcaklığı ve 16/8 saatlik gündüz/gece fotoperiyoda ayarlı iklim odasına yerleştirilmiştir. Ekim işleminden hemen sonra temel gübreleme olarak, her bir saksıya 300 mg kg⁻¹ azot, 150 mg kg⁻¹ fosfor ve 200 mg kg⁻¹ potasyum uygulanmıştır (Kacar ve İnal, 2008). Çimlenmeden sonra tüm saksılarda iyi çimlenmiş üç bitki kalacak şekilde seyreltme yapılmıştır. Bitkiler uygun aralıklarla eşit oranda saf su ile sulanmıştır. Ekim işleminden altı hafta sonra saksılardaki bitkilerin bitki boyları ölçülüp kaydedilmiş ve hemen ardından hasat edilmiştir.

Araştırmada bitki boyu (cm), yaş biomas (g bitki⁻¹), kuru biomas (g bitki⁻¹) belirlenmiştir. Kurutulan numuneler değirmen yardımı ile öğütülmüştür. Öğütülen numuneler mikrodalgada (Advanced Microwave Digestion System, Ethos Easy) HNO₃:HClO₄ (6:2 v/v) ile yaş yakma yapılmıştır. Yaş yakma sonucu elde edilen numunelerde gövde Pb, Cd ve Cr içerikleri ICP-OES (iCAP 6000 SERIES, ICP Spectrometer) cihazı ile belirlenmiştir.

Bitkinin kurşun kadmiyum ve krom tolerans indeksleri Pb, Cd veya Cr uygulanan bitkinin kuru ağırlığının uygulama yapılmayan bitkinin kuru ağırlığına bölünmesi ile aşağıda verilen yöntemle hesaplanmıştır (Das ve ark. 1997).

$$TI = (\text{kuru biomas Pb, Cd, Cr}) / (\text{kuru biomas kontrol}) \times 100$$

Biyolojik alınabilirlik indeksi bitki numunelerinin Pb, Cd ve Cr miktarları dikkate alınarak elementin bitkideki içeriğinin uygulama dozuna bölünmesi ile aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır (Monni ve ark., 2000).

$$BCF = (\text{Pb, Cr, Cd bitki}) / (\text{Pb, Cr, Cd uygulama dozu})$$

İstatistiksel analizler, IBM SPSS Statistics, Version 23.0 yazılımı (IBM Corp.) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Veriler ANOVA'ya tabi tutuldu ve ortalamalar arasındaki farklar Duncan testi kullanılarak belirlenmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Farklı Dozlardakidaki Pb'nin Dallı Darının Gelişimi ve Ağır Metal Konsantrasyonu Üzerine Etkileri

Farklı Pb konsantrasyonlarının bitki boyu, yaş ve kuru biomas, bitkinin Pb içeriği tolerans indeksi ve biyolojik alınabilirlik indeksi üzerine etkileri önemli bulunmuştur. En yüksek bitki boyu kontrol ve Pb30 konsantrasyonlarında sırasıyla 23.7 ve 23.4 cm olarak ölçülmüştür. En yüksek yaş biomas kontrol ve Pb30 konsantrasyonlarında sırasıyla 0.53 ve 0.54 g olarak ölçülmüştür. En yüksek kuru biomas kontrol ve Pb30 konsantrasyonlarında sırasıyla 0.14 ve 0.13 g olarak ölçülmüştür. En düşük bitki boyu, yaş ve kuru biomas Pb120 uygulamasından belirlenmiştir. Bitkideki kurşun içeriği, en düşük Pb0 konsantrasyonunda 0.40 mg kg^{-1} olarak, en yüksek ise Pb120 uygulamasından 876 mg kg^{-1} olarak ölçülmüştür. En yüksek tolerans indeksi Pb30 konsantrasyonlarında 96, en düşük ise Pb120 uygulamasından 31 olarak belirlenmiştir. En düşük biyolojik alınabilirlik indeksi Pb30 konsantrasyonunda %2.34 olarak ölçülmüştür. En yüksek ise Pb120 uygulamasından %7.30 olarak belirlenmiştir (Çizelge 2).

Araştırma sonuçları pb'nin artan dozları karşısında bitki boyu, yaş ve kuru biomas azaldığını ancak yetiştirme süresince bitki ölümlerinin olmadığını gösterdi. Kurşun metalinin düşük dozlarında kontrolle benzer büyüme olduğu gözlenmiştir. Araştırmacılar, bazı ağır metallerin düşük dozlarda bitkiler için önemli mikro elementler olduğunu, fakat yüksek dozlarda bitki türlerinin çoğunun büyümesini engelleyebildiğini ve metabolik düzensizliğe sebep olabildiklerini bildirmişlerdir (Fernandes ve Henriques, 1991; Claire ve ark., 1991). Jana ve Barua (1987), *Lens culinaris* bitkisi ile yürütmüş oldukları çalışmada Pb'nin artan konsantrasyonlarının yaprak oluşumunu sekteye uğrattığını yapraklarda kloroz, nekroz ve solgunluğa neden olduğunu ve buna bağlı olarak bitki yaş ve kuru ağırlığında azalmalar meydana geldiğini bildirmişlerdir. Eren ve Dağhan (2014), transgenik ve transgenik olmayan tütün bitkilerinde farklı dozlardaki Pb uygulamalarının bitkilerde kontrol gruplarına göre, kuru ağırlıkta azalma, Pb (mg kg^{-1}) konsantrasyonunda ise artış olduğunu belirtmişler. Bioconcentration factor yüksekliği bitkilerin metalleri yüksek miktarda biriktirme potansiyelini gösterir (Chumbley ve Unwin, 1982; Cui, 2004). Bir hiperakümülatör bitkinin ağır metali yüksek miktarda absorbe edebilmesi yanında bioconcentration factor 1'in üzerinde olması gerekmektedir (McGrath ve Zho, 2003). Çalışmada Pb'nin bütün konsantrasyonlarında dallı darının bioconcentration factor 1'in üzerindedir. Çalışma sonuçları ortamdaki Pb miktarı arttıkça dallı darının gövde aksamında da Pb miktarının arttığını göstermektedir. Mısır ve ayçiçeği gibi yüksek düzeyde biomas içeren bitkilerin, önemli miktarlarda Pb toplayabildikleri, bu bitkilerin her yıl $180\text{-}530 \text{ kg ha}^{-1}$ Pb'yi uzaklaştırarak, 2500 mg kg^{-1} 'a kadar Pb ile kirlenmiş alanların, 10 yılda iyileştirilmesi olanağı olduğunu belirtmişlerdir (Salt

ve ark., 1998). Dallı darı yüksek biomas üreten bir bitkidir. Bu nedenle toprakların Pb ağır metalinden arındırılmasında kullanılmaya aday bir bitki olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 2. Farklı dozlarda uygulanan Pb'nin dallı darının gelişimi ve Pb konsantrasyonu üzerine etkisi

Pb dozları (mg kg ⁻¹)	Bitki boyu (cm)	Yaş biomas (g bitki ⁻¹)	Kuru biomas (g bitki ⁻¹)	Pb konsantrasyonu (mg kg ⁻¹)	Biyolojik alnabilirlik indeksi	Tolerans indeksi (%)
Kontrol	23.7 a	0.53 a	0.14 a	0.40 e		
30	23.4 ab	0.54 a	0.13 a	70 d	2.34 c	87 b
60	22.1 b	0.44 b	0.11 b	294c	4.91 b	66 c
90	16.9 c	0.36 c	0.09 c	608 b	6.76 a	31 d
120	15.2 d	0.21 d	0.04 d	876 a	7.30 a	96 a
F değeri	88.94**	172.3**	144.8**	951.2**	109.5**	164.2**

** P<0.01 düzeyinde önemlidir.

Farklı Dozlardaki Cd'nin Dallı Darının Gelişimi ve Ağır Metal Konsantrasyonu Üzerine Etkileri

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'nin incelenen bütün kriterler üzerine etkisi önemli bulunmuştur. En yüksek bitki boyu kontrol uygulamasında 23.7 cm olarak ölçülmüştür. En düşük bitki boyu ise Cd20 uygulamasından 13.8 cm olarak belirlenmiştir. En yüksek yaş ve kuru biomas kontrol uygulamasından, en düşük ise Cd20 konsantrasyonundan ölçülmüştür. Artan dozlarda Cd uygulamasına paralel olarak bitki Cd içeriği de artmıştır. En yüksek tolerans indeksi Cd2.5 konsantrasyonunda 85 olarak, en düşük tolerans indeksi ise Cd10 ve Cd20 uygulamalarında sırasıyla 45 ve 38 olarak belirlenmiştir. En düşük biyolojik alınabilirlik indeksi Cd2.5 konsantrasyonunda %16.0 olarak belirlenmiştir. En yüksek biyolojik alınabilirlik indeksi ise Cd20 uygulamasında % 30.1 olarak belirlenmiştir (Çizelge 3).

Yapılan araştırmalar, bitkilerde ağır metal zararının ilk etkisinin köklerde görüldüğünü ve ağır metal alımı devam ettikçe gövde uzamasının da etkilendiğini bildirmişlerdir (Tester ve Leigh, 2001; Verma ve Dubey, 2003). Citterio ve ark. (2003), *Cannabis sativa* L. bitkisinde, Cd ve Ni uygulamalarının sürgün uzunlukları ile sürgün yaş ağırlıklarına olumsuz etki yaparak önemli azalmalara neden olduklarını tespit etmişlerdir. Quariti ve ark. (1997), tarafından yapılan bir çalışmada 0-50 mM CdCl₂ içeren besin çözeltilerinin 7 gün süre ile bitkilere uygulanması durumunda, Cd uygulamasının sürgün ve kök kuru ağırlık üretimi üzerinde baskılayıcı etkilerini belirlemişlerdir. Çalışmada uygulanan konsantrasyonların artması ile büyümede gerilemeler olduğu görüldü. Bununla birlikte bitkiler yetiştirme süresi boyunca büyümeye devam etmiştir. Fediuc ve Erdei (2002), tarafından yapılan araştırmada farklı iki kamış türünde Cd dozlarına göre, kök ve gövdede Cd konsantrasyonunun arttığını belirtmişlerdir. Eren (2018), *Xanthium strumarium* bitkisinde, artan dozlarda Cd uygulamalarının bitki Cd (mg kg⁻¹) konsantrasyonunda artış, yaş ağırlık ve kuru ağırlıklarda ise azalmalara neden olduğunu belirtmiştir. Aynı durum bizim çalışmada da gözlenmiştir. Gövde de artan konsantrasyonlara paralel olarak Cd içeriği de artmıştır. Bu sonuç dallı darının Cd akümülyasyonunda değerlendirilebileceğini kanıtlamaktadır.

Farklı Dozdaki Cr'nin Dallı Darının Gelişimi ve Ağır Metal Konsantrasyonu Üzerine Etkileri

Farklı konsantrasyonlarda krom ağır metaline maruz kalan dallı darının bitki boyu, yaş ve kuru biomas, bitkinin Cr içeriği, tolerans indeksi ve biyolojik alınabilirlik indeksi üzerine etkileri önemli bulunmuştur. En yüksek bitki boyu, yaş ve kuru biomas kontrol uygulamasından sırasıyla 23.7 cm, 0.53 g, 0.13 g olarak ölçülmüş. En düşük bitki boyu, yaş ve kuru biomas ise Cr160 uygulamasından sırasıyla 13.7 cm, 0.16 g, 0.05 g olarak ölçüldü. Artan konsantrasyonlarda Cr uygulaması ile bitki Cr konsantrasyonunda artış olmuş ve en yüksek Cr içeriği Cr160 uygulamasından 791 mg kg⁻¹ olarak

belirlenmiştir. En yüksek tolerans indeksi Cr40 ve Cr80 konsantrasyonlarında sırasıyla 72 ile 64 olarak ölçülmüştür. En düşük tolerans indeksi ise Cd120 ve Cd160 uygulamalarında sırasıyla 48 ve 38 olarak belirlenmiştir. Biyolojik alınabilirlik indeksi Cr'nin yüksek konsantrasyonlarında daha yüksek olmakla beraber tüm konsantrasyonlarda birden büyük olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3. Farklı dozlarda uygulanan Cd'nin dallı darının gelişimi ve Cd konsantrasyonu üzerine etkisi

Cd dozları (mg kg ⁻¹)	Bitki boyu (cm)	Yaş biomas (g bitki ⁻¹)	Kuru biomas (g bitki ⁻¹)	Cd konsantrasyonu (mg kg ⁻¹)	Biyolojik alınabilirlik indeksi	Tolerans indeksi (%)
Kontrol	23.7 a	0.53 a	0.13 a	0.17 e		
2.5	19.1 b	0.39 b	0.11 b	40 d	16.0 d	85 a
5	19.1 b	0.31 c	0.08 c	104 c	20.9 c	60 b
10	16.4 c	0.25 d	0.06 d	257 b	25.7 b	45 c
20	13.8 d	0.18 e	0.05 d	602 a	30.1 a	38 c
F değeri	82.1**	102.3**	53.3**	844.4**	58.6**	32.1**

** P<0.01 düzeyinde önemlidir

Araştırma sonuçları, dallı darıda Cr'nin artan konsantrasyonları karşısında bitki boyu, yaş ve kuru biomas azaldığını göstermektedir. Khan ve ark. (2000), Cr'nin kök hücrelerinin bölünme ve uzamasını engelleyerek kök gelişiminin engellediği ve bu durumun topraktan alınan bitki besin maddesi ile suyun azalmasına yol açarak bitki büyüme ve gelişmesini azalttığını belirtmiştir. Kromun bitki büyümesi ve gelişimi üzerine olan toksik etkileri çimlenme işlevinin yanı sıra kök, gövde ve yaprak büyümesi ve buna bağlı olarak kuru madde üretimindeki değişimleri içermektedir (Shanker ve ark., 2005). Çalışmada dallı darının gövdesinde Cr'nin artan konsantrasyonları ile Cr içeriğinde arttığı gözlenmiştir. Dallı darının kontrole göre gelişiminde gerileme olmuştur. Bununla beraber büyüme devam etmiş ve bitki artan konsantrasyonları tolere etmiştir. Uygulanan bütün konsantrasyonlarda biyolojik alınabilirlik indeksi 1'in üzerinde belirlenmiştir. Brassicaceae familyasına ait *Brassica juncea* (Hint hardalı), *Brassica oleracea* var. *capitata* (lahana) ve *Brassica oleracea* var. *botrytis* (karnabahar) türlerinin toksisite belirtisi göstermeden ve dokularında yüksek miktarlarda Cr biriktirebildiği bildirilmiştir (Zayed ve Terry, 2003; Diwan ve ark., 2008).

Çizelge 4. Farklı dozlarda uygulanan Cr'nin dallı darının gelişimi ve Cr konsantrasyonu üzerine etkisi

Cr dozları (mg kg ⁻¹)	Bitki boyu (cm)	Yaş biomas (g bitki ⁻¹)	Kuru biomas (g bitki ⁻¹)	Cr konsantrasyonu (mg kg ⁻¹)	Biyolojik alınabilirlik indeksi	Tolerans indeksi (%)
Kontrol	23.7 a	0.53 a	0.13 a	0.28 e		
40	19.5 b	0.45 b	0.09 b	64 d	1.6 c	72 a
80	19.2 b	0.29 c	0.08 b	248 c	3.1 b	64 a
120	15.3 c	0.21 d	0.06 c	565 b	4.7 a	48 b
160	13.7 c	0.16 e	0.05 c	791 a	4.9 a	38 b
F değeri	55.7**	374.7**	45.5**	845.8**	213.4**	20.5*

* P<0.05 düzeyinde, ** P<0.01 düzeyinde önemlidir

SONUÇ

Ortamda bulunan ağır metaller karşısında bitkilerin farklı tepkileri olmaktadır. Bazı bitkiler yüksek ağır metal konsantrasyonları karşısında büyüme gelişmelerine devam edebilmekte ve bu ağır metalleri bünyelerine absorbe edebilmektedirler. Bu bitkiler son yıllarda toprakların ağır metallere arındırılmasında önemli ıslah bitkileri olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmanın sonuçları Trailblazer çeşidinin Pb, Cd, ve Cr'nin düşük konsantrasyonlarında çok önemli büyüme geriliği göstermediğini, artan konsantrasyonlarda büyümenin azalarak devam ettiğini göstermiştir. Pb 120 mg kg⁻¹, Cd 20 mg kg⁻¹, Cr 160 mg kg⁻¹ ağır metallerin çalışmada kullanılan en yüksek konsantrasyonları olup, bu

konsantrasyonlar karşısında bitki ölümleri olmamış ancak düşük konsantrasyonlu uygulamalara göre büyüme geriliği tespit edilmiştir. Yetiştirme ortamına uygulanan en yüksek ağır metal konsantrasyonlarında Trailblazer çeşidinin gövdesinde bulunan ağır metal konsantrasyonları da en yüksek miktarda bulunmuştur. Her üç ağır metal karşısında da dallı darının biyolojik alınabilirlik indeksi 1'in üzerinde bulunmuştur. Çalışmadan elde edilen sonuçlar ışığında dallı darının Pb, Cd ve Cr ile kontamine toprakların temizlenmesinde iyi bir Pb, Cd ve Cr akümülyatör bitki adayı olabilir. Bu konuda daha uzun süreli yetiştirme koşullarının denenmesi gereklidir.

TEŞEKKÜR

Bu projenin yürütülmesine 2015-FBE-YL279 No'lu proje kapsamında destekte bulunan Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar ve Proje Başkanlığına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Baş AL, Demet Ö, 1992. Çevresel Toksikoloji Yönünden Bazı Ağır Metaller. *Ekoloji* 5, 42-46.
- Chen HM, Zheng CN, Tu C, Shen ZG, 2000. Chemical Methods and Phytoremediation of Soil Contaminated with Heavy Metals. *Chemosphere*, 41, 229-234.
- Chumbley CG, Unwin RJ, 1982. Cadmium and Lead Content of Vegetable Crops Grown on Land with a History of Sewage Sludge Application. *Environmental Pollution Series B, Chemical and Physical* 4(3), 231-237.
- Citterio S, Santagostino A, Fumagalli P, Prato N, Ranalli P, Sgorbati S, 2003. Heavy Metal Tolerance and Accumulation of Cd, Cr, and Ni by *Cannabis sativa* L. *Plant and Soil*, 256, 243-252.
- Claire LC, Adriano DC, Sajwan KS, Abel SL, Thoma DP, Driver JT, 1991. Effects of Selected Trace Metals on Germinating Seeds of Six Plant Species. *Water, Air, and Soil Pollution*, 59, 231-240.
- Cui YJ, Zhu YG, Zhai RH, Chen DY, Huang YZ, Qiu Y, Liang JZ, 2004. Transfer of Metals From Soil to Vegetables in an Area Near a Smelter in Nanning, China. *Environment International* 30(6), 785-791.
- Das P, Samantaray S, Rout GR, 1997. Studies on Cd Toxicity in Plants ; a Review. *Environ. Pollution*, 98, 29-36.
- Diwan H, Ahmad A, Iqbal M, 2008. Genotypic Variation in the Phytoremediation Potential of Indian Mustard for Chromium. *Environmental Management*, 41, 734-741.
- Eren A, 2010. Kurşun Kirliliği Görülen Toprakların Transgenik Tütün Bitkisi Kullanılarak Temizlenmesi. Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Eren A, Dağhan H, 2014. Transgenic tobacco-bearing p-cV-ChMTIIGFP gene accumulated more lead compared to wild type. *Polish Journal of Environmental Studies*, 23(2), 569-571.
- Eren A, 2018. *Xanthium Strumarium* L. Bitkisi Yetiştirilerek Kadmiyum ile Kirlenmiş Toprakların Temizlenme Olanağının Araştırılması. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 55(3), 265-270.
- Fediuc E, Erdei L, 2002. Physiological and Biochemical Aspects of Cadmium Toxicity and Protective Mechanisms in *Phragmites australis* and *Typha latifolia*. *Journal of Plant Physiology*, 159, 265-271.
- Fernandes JC, Henriques FS, 1991. Biochemical, Physiological and Structural Effects of Excess Copper in Plants. *The Botanical Review*, 57, 246-273 .
- Ghosh M, Singh SP, 2005. A Comparative Study of Cadmium Phytoextraction by Accumulator and Weed Species. *Environmental Pollution*, 133, 365-371.

- Göksu Ö, Güngör B, 2005. Toprak Kirliliğinin Önemi ve Kontrol Teknikleri. 6. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Poster Sunumlar, Samsun.
- Hamutoğlu R, Dinçsoy AB, Cansaran Duman D, Saras S, 2012. Biyosorpsiyon, Adsorpsiyon ve Fitoremediasyon Yöntemleri ve Uygulamaları. Türk Hij. Den. Biyol. Derg, 69, 235–253.
- Jana TD, Barua B, 1987. Effects and Relative Toxicity of Heavy Metals on *Cuscuta reflexa*, Water, Air and Soil Pollution, 33, 23-27.
- Kacar B, İnal A, 2008. Bitki Analizleri, Cilt 1., Nobel yayınları, Ankara 892 s.
- Khan AG, Kuek C, Chaudhry TM, Khoo CS, Hayes WJ, 2000. Role of Plants, Mycorrhizae and Phytochelators in Heavy Metal Contaminated Land Remediation. Chemosphere, 41, 197-207.
- McGrath SP, Zhao FJ, 2003. Phytoextraction of Metals and Metalloids from Contaminated Soils. Curr. Opin. Biotechnol. 14, 277–282.
- Monni S, Salemaa M, Millar N, 2000. The Tolerance of *Empetrum nigrum* to Copper and Nickel. Environ. Pollution, 109, 221-229.
- Neilson JW, Artiola JF, Maier RM, 2003. Characterization of Lead Removal from Contaminated Soils by non Toxic Washing Agents. Journal of Environmental Quality, 32, 899-908.
- Quariti O, Gouia H, Ghorbal MH, 1997. Responses of Bean and Tomato Plants to Cadmium: Growth, Mineral Nutrition and Nitrate Reduction. Plant Physiology and Biochemistry, 35 (5), 347- 354.
- Salt, DE, Smith RD, Raskin I, 1998. Phytoremediation. Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol., 49, 643-668.
- Samson RA, Omielan JA, 1992. Switchgrass: A potential biomass energy crop for ethanol production Thirteenth North American Prairie Conference. Windsor, Ontario, Canada. 253-258.
- Sanderson MA, Reed RL, McLaughlin SB, Wulschleger SD, Conger BV, Parrish D J, Wolf DD, Taliaferro C, Hopkins AA, Ocumpaugh WR, Hussey MA, Read JC, Tischler CR, 1996. Switchgrass as a Sustainable Bioenergy Crop. Bioresource Technology, 56, 83-93.
- Shanker AK, Cervantes C, Loza-Tavera H, Avudainayagam S, 2005. Chromium Toxicity in Plants. Environment International, 31, 739-753.
- Sharma P, Dubey RS, 2005. Lead Toxicity in Plants. Brazilian Journal of Plant Physiol, 17 (1), 35-52.
- Tester M, Leigh RA, 2001. Partitioning of Nutrient Transport Processes in Roots. 1. Exp. Bot., 52, 445-457.
- Turhollow AF, 1991. Screening Herbaceous Lignocellulosic Energy Crops in Temperate Regions of the USA. Bioresource Technology, 36, 247-252.
- Verma S, Dubey RS, 2003. Lead Toxicity Induces Lipid Peroxidation and Alters the Activities of Antioxidant Enzymes in Growing Rice Plants. Plant Sci., 164, 645-655.
- Zayed A, Terry N, 2003. Chromium in the Environment: Factors Affecting Biological Remediation. Plant and Soil, 249, 139-56
- Zenk MH, 1996. Heavy Metal Detoxification in Higher Plants-a Review. Gene, 179, 21-30.

Farklı Dozlarda Fosfor ve Zeolit Uygulamasının Yoncanın Kuru Madde Verimi ve Bazı Özelliklerine Etkileri

Kambiz KHARAZMİ¹, Mustafa TAN^{2*}

ÖZET: Bu araştırma, farklı fosforlu gübre ve zeolit dozlarının sulu şartlarda yonca (*Medicago sativa* L.)'nin kuru madde verimi ve bazı özellikleri üzerindeki etkilerini belirlemek için yürütülmüştür. Araştırma şansa bağlı tam bloklar deneme deseninde faktöriyel düzenlemeye göre 3 tekrarlamalı olarak kurulmuştur. Dört fosfor (0, 5, 10 ve 15 kg P₂O₅ da⁻¹) ve 4 zeolit dozu (0, 50, 100 ve 150 kg da⁻¹) kombinasyon halinde uygulanmıştır. Tarla çalışması 2012 yılında kurulmuş, 2013 ve 2014 yıllarında alınan veriler değerlendirilmiştir. Araştırmada bitki boyu, kuru madde verimi, tesis sıklığı ve otun ham protein, ADF ve NDF oranları incelenmiştir. Fosforlu gübre ve zeolit uygulamaları ile kuru madde verimi ve bitki sıklığı önemli ölçüde artmıştır. Ot kalite parametreleri (ham protein, ADF ve NDF oranları) ise yapılan uygulamalardan etkilenmemiştir. Mevcut koşullar altında yoncadan yüksek kuru madde verimi elde etmek ve tesisin seyrelmesini yavaşlatmak için dekara 10 kg P₂O₅ ile 150 kg zeolit uygulaması önerilebilir.

Anahtar Kelimeler: *Medicago sativa*, zeolit, fosfor, ot verimi, tesis sıklığı, ot kalitesi

Effects of Phosphorus and Zeolite Application at Different Doses on Yield and Some Properties of Alfalfa

ABSTRACT: This research was carried out to determine the effects of different phosphorus and zeolite doses on dry matter yield and some properties of alfalfa (*Medicago sativa* L.) in irrigated conditions. The experiment was established in a randomized complete blocks design with three replications according to the factorial arrangement. Four phosphorus (0, 5, 10 and 15 kg P₂O₅ da⁻¹) and 4 zeolite doses (0, 50, 100 and 150 kg da⁻¹) were applied in combination. Field study was established in 2012 and the data received in 2013 and 2014 were evaluated. In the study, plant height, dry matter yield, plant density and crude protein, ADF and NDF ratios of the hay were investigated. Dry matter yield and plant density have increased significantly with phosphorus fertilizer and zeolite applications. Hay quality parameters (crude protein, ADF and NDF ratios) were not affected by the applications. Under current conditions, it is recommended to apply 10 kg P₂O₅ and 150 kg zeolite per decare to obtain high dry matter yield from alfalfa and keep the plant density high.

Keywords: *Medicago sativa*, zeolite, phosphorus, hay yield, stand density, hay quality

¹Kambiz KHARAZMİ (Orcid ID: 0000-0002-1759-7742), Batı Azerbaycan Tarım ve Doğal Kaynaklar Araştırma ve Eğitim Merkezi, Tohum ve Bitki Islahı Araştırma Bölümü, Urmiye, İran

² Mustafa TAN (Orcid ID: 0000-0001-7939-7087), Trakya Üniversitesi Havsa Meslek Yüksekokulu, Park ve Bahçe Bitkileri Bölümü, Edirne, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Mustafa TAN, e-mail: mustafatan@trakya.edu.tr

Bu çalışma Kambiz KHARAZMİ'nin Doktora Tezinden üretilmiştir.

GİRİŞ

Yonca yem bitkileri arasında çok biçim vermesi, ot veriminin yüksekliği ve besleme değerinin yüksek olması ile dikkat çekmektedir. Engin ve Mut (2017) Yozgat şartlarında incelenen çeşitlerin 5-6 biçim verdiğini, otun ham protein oranlarının %24.2-26.1, kuru ot verimlerinin 2107.0-4330.5 kg da⁻¹ arasında olduğunu belirlemişlerdir. Ancak yoncanın yüksek verim ve besleme değeri toprak verimliliğine bağlıdır. Besin elementleri ve organik maddece fakir topraklarda yüksek verim alabilmek için mutlaka yüksek dozlarda gübreleme yapmak gerekir. Yonca için azotlu gübre sadece ilk yıl önerilmektedir (Tan, 2018). Yapılan araştırmalar uygulanacak azot dozunun topraktaki organik madde durumuna göre 2-5 kg N da⁻¹ seviyesinde olması gerektiğini bildirmektedir (Serin ve ark., 2005). Yonca daha çok fosforlu gübreye ihtiyaç duymakta ve fosforlu gübrelerin her yıl uygulanması gerekmektedir. Topraktaki rezervlere bağlı olarak yoncaya uygulanması gereken fosfor miktarı 10-15 kg P₂O₅ da⁻¹'dir (Öden, 1987; Serin ve ark., 2005; Türk ve ark., 2018).

Son yıllarda tarımsal üretimde geline nokta, daha güvenilir gıda üretmek ve çevreye zarar vermeyen teknikler kullanmaktır. Bu kapsamda organik tarım ve iyi tarım gibi anlayışlar ortaya çıkmıştır. Bunun bir sonucu olarak kimyasal girdilerin azaltılması ve bitkilerin ihtiyaçlarının doğal yollarla karşılanması yoluna gidilmektedir. Organik yapıdaki materyaller topraktaki besin döngüsüne katkıda bulunarak besin elementlerinin elverişliliğini artırır ve bitkilerin faydalanmasını kolaylaştırır. Organik yapıdaki materyallerde bulunan humat moleküllerinin etrafı negatif yüklüdür. Bu nedenle uygulanan gübredeki besin maddelerinin topraktaki negatif yüklü kil mineralleri tarafından bloke edilmesini engelleyerek, bitkiler tarafından alınmasını kolaylaştırır.

Tarımda kullanılan kimyasal gübrelerin yıkanma ve buharlaşma gibi yollarla kaybolması önemli bir sorundur. Bu nedenle toprağa uygulanan gübrelerin kaybını önleyen ve yarayışlılığını artıran toprak düzenleyicilerin kullanımı önem kazanmaktadır. Bu amaçla kullanılabilir doğal materyallerden birisi zeolittir. Zeolitler hidrate alüminyum silikat minerallerdir. Geniş izomorfik yer değiştirme özelliği olan zeolitin yüksek bir katyon değişim kapasitesi vardır (Işıldar, 1999). Yüksek su tutma ve iyon değiştirme özelliği nedeniyle özellikle kil bakımından fakir topraklarda toprak yapısını iyileştirmek için kullanılır. Organik madde ve özellikle de azot yönünden yetersiz olan tarım topraklarında ciddi gübre tasarrufu sağlayacağı iddia edilmektedir (Demir ve Polat, 2003).

Yonca ülkemiz için en önemli yem bitkilerinden birisidir. Ancak yüksek verim için sulu şartlarda yoğun gübre kullanımı gerekmektedir. Bu çalışmada kimyasal gübre uygulamalarının zeolit kullanımı ile azaltılıp azaltılamayacağı sorusuna cevap aranmıştır. Farklı oranlarda zeolit ve kimyasal gübre uygulamaları ile yoncanın verimi ve bazı kalite özelliklerinde oluşan değişimler belirlenmeye çalışılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma 2012-2014 yılları arasında Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Araştırma ve Yayın Merkezi Müdürlüğüne bağlı sulu deneme alanlarında yürütülmüştür. Çalışmada yonca (*Medicago sativa* L.)'nın Bilensoy çeşidi kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan zeolit, Manisa Gördes'ten (Enli Madencilik A.Ş.) klinoptilolit formunda elde edilmiştir. Bu malzemenin pH'sı 6-8 civarında olup, %25 nem, %25 organik madde, %40 humik asit + fulvik asit ve %10 dolgu maddesi içermektedir.

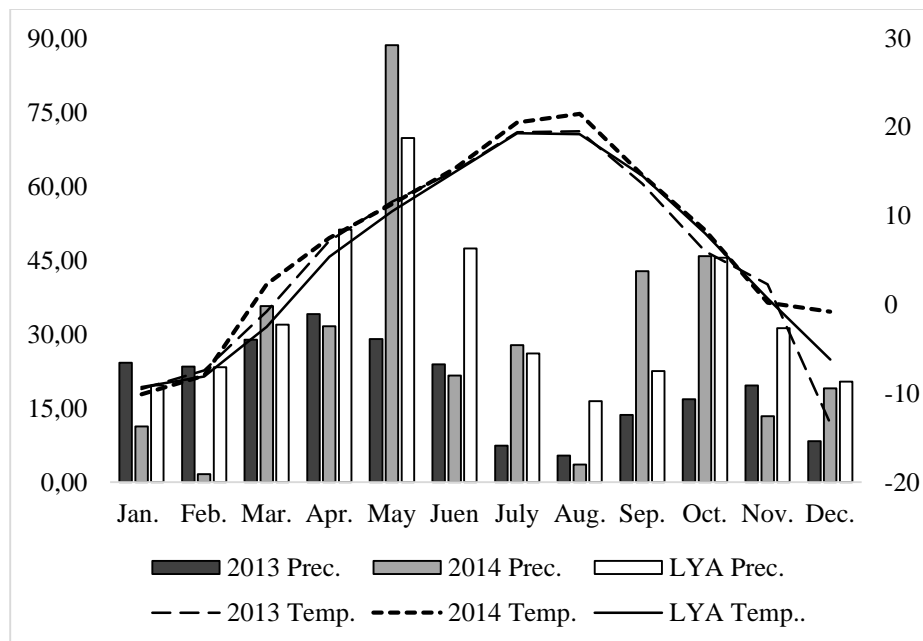
Tarla çalışması 2012 yılında sulu koşullar altında kurulmuş, birinci yıl verim alınmamış, 2013 ve 2014 yıllarında veri elde edilmiştir. Araştırmanın her yılında 4 farklı fosfor dozu (0, 5, 10 ve 15 kg P₂O₅ da⁻¹) ve sadece ilk yıl 4 farklı zeolit dozu (0, 50, 100 ve 150 kg da⁻¹) parsellere uygulanmış ve toprağa karıştırılmıştır. Deneme Şansa Bağlı Tam Bloklar deneme desenine göre 3 tekrarlamalı olarak

kurulmuştur. Ekimler önceden hazırlanmış tohum yatağına el mibzeri ile yapılmıştır. Ekimde sıra aralıkları 30 cm, tohumluk miktarı 2 kg da⁻¹ ve ekim derinliği 2-3 cm olarak ayarlanmıştır (Açıkgöz, 2001). Ekimden bir ay sonra ve denemenin ikinci yılında birer defa olmak üzere çapa ile yabancı ot mücadelesi yapılmıştır. Temmuz ve Ağustos aylarında yağış durumu ve bitkilerin ihtiyacına göre salma şeklinde su verilmiştir. Ot hasatları her iki yılda da 3 defa çiçeklenme başlangıcında yapılmıştır (Manga 1978; Keskin ve ark., 2018). Araştırmada yoncanın bitki boyu, kuru madde verimi, ham protein oranı, ADF (asit eriticilerde erimeyen lif) ve NDF (doğal eriticilerde erimeyen lif) oranları ile tesis sıklığı incelenmiştir.

Bitki boyu hasat esnasında her parselden 10 bitkinin boyları ölçülüp ortalaması alınarak belirlenmiştir. Biçilen otlar torbalara doldurulmuş, önce açık havada, ardından 65 °C'ye ayarlı kurutma fırınında sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Kurutulan örnekler verimi belirlemek için tartılmış, daha sonra da analizler için öğütülmüştür. Öğütülen örneklerde ham protein, ADF ve NDF oranları belirlenmiştir. Ham protein oranları Mikro Kjeldahl metoduyla Kacar ve İnal (2013)'a göre, ADF ve NDF analizleri ise ANKOM Fiber Analiz cihazında Van Soest ve ark. (1991)'nin belirttiği esaslara göre yapılmıştır. 2014 yılında son hasat yapıldıktan sonra her parselde bitki sıklığı sayılmıştır. Orta sıralardan birinde 1 m² alanda yapılan bitki sayımı ile yoncada tesis sıklığı belirlenmiştir.

Elde edilen veriler MSTAT-C paket programı yardımıyla varyans analizine tabi tutulmuştur. Önemli bulunan ortalamalar LSD çoklu karşılaştırma testi kullanılarak harflendirilmiştir.

Araştırmanın yürütüldüğü Erzurum ilinin 2013 ve 2014 yılları ile uzun yıllar ortalamasına (1950-2012) ait bazı iklim verileri Şekil 1'de görülmektedir. Araştırmanın ilk yılı (2013) uzun yıllar ortalamasına benzer bir sıcaklık rejimine sahip olmuştur. Farklı olarak aralık ayının belirgin olarak düşük olması dikkat çekmektedir. 2014 yılı 2013 yılı ve uzun yıllar ortalamasına göre nispeten daha sıcak geçmiştir. Araştırmanın yürütüldüğü yıllar genel olarak uzun yıllar ortalamasına göre daha az yağış almıştır. Ancak 2014 yılı mayıs ve eylül ayları uzun yıllar ortalamasından belirgin olarak daha yağışlı olmuştur. Araştırmanın ikinci yılı (2014) ilk yıla göre daha yağışlı olmuştur. Bu durum özellikle bitkilerin hızlı büyüme gösterdiği nisan, mayıs ve haziran aylarında oldukça belirgindir.



Şekil 1. Erzurum ilinin 2013, 2014 ve uzun yıllar ortalaması (1950-2012) sıcaklık ve yağış değerleri

Deneme arazisi topraklarının (0-30 cm) bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre denemenin kurulduğu toprakların tekstür sınıfı tınlıdır. Deneme sahası toprakları tuzsuz (%0.06), hafif alkalın (7.45), az kireçli (%1.3), bitkilere yararışlı fosforca fakir (5.4 kg P₂O₅ da⁻¹), potasyumca zengin (174 kg K₂O da⁻¹) ve organik maddece fakir durumdadır.

Çizelge 1. Deneme alanı topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Toprak Özellikleri	Sonuçlar
Kum	%33.8
Silt	%48.5
Kil	%17.7
Tekstür sınıfı	Tınlı
Tuzluluk	%0.06
pH (1:25)	7.45
Elektriksel iletkenlik	2.39 dS m ⁻¹
Kireç (CaCO ₃)	%1.3
Organik madde	%0.97
Bitkilere yararışlı fosfor	5.4 kg P ₂ O ₅ da ⁻¹
Bitkilere yararışlı potasyum	174 kg K ₂ O da ⁻¹

BULGULAR VE TARTIŞMA

Yoncanın bitki boyu üzerinde yıl, fosfor ve zeolitin önemli etkisi görülmemiş, fosfor x zeolit interaksyonu önemli bulunmuştur (Çizelge 2). Birinci yıl 54.1 cm olan bitki boyu ikinci yılda 51.4 cm olarak ölçülmüştür. İki yıllık bitki boyu fosfor dozlarına bağlı olarak 51.6-53.8 cm, zeolit dozlarına bağlı olarak 52.1-54.2 cm arasında küçük değişimler göstermiştir. İki yıllık ortalamada fosfor x zeolit interaksyonu önemli bulunmuş (p<0.01), uzun bitki boyları (56.9 cm, 56.8 cm, 55.0 cm ve 54.8 cm) sırasıyla 10 kg P₂O₅ da⁻¹ + 0 kg da⁻¹ zeolit, 5 kg P₂O₅ da⁻¹ + 100 kg da⁻¹ zeolit, 15 kg P₂O₅ da⁻¹ + 0 kg da⁻¹ zeolit ve 15 kg P₂O₅ da⁻¹ + 50 kg da⁻¹ zeolit uygulamalarında belirlenmiştir. Bu uygulamaların kontrol parseli ile olan farklılığı istatistiksel olarak önemlidir. Fosfor yonca için önemli bir besin elementidir (Kacar ve Katkat, 2007). Bitkinin sağlıklı gelişmesi ve verimli olması için bu besin elementinin yeterli miktarda topraktan alınması gerekir. Bu araştırmanın yürütüldüğü topraklarda fosfor miktarı fakir (5.4 kg P₂O₅ da⁻¹) olarak bulunmuştur (Çizelge 1). Buna rağmen gübre olarak verilen fosfor yonca bitki boyuna etki etmemiştir. Bu durum fosforun toprakta bloke edilmesi ve bitki tarafından alınmasının zorlaşmasından kaynaklanabilir. Çünkü fosfor, zeolit ile birlikte interaksyon halinde etkili olmuştur. Muhtemelen bitkiler zeolitin varlığında fosforu daha etkin kullanmışlardır. Kiknadze ve ark. (2008) da zeolit uygulamasıyla toprakta bitkinin yararlanabileceği fosfor, kalsiyum ve magnezyumun hareketli formlarının miktarında artış olduğunu ve toprağın verimliliğinin arttığını bulmuşlardır. Zeolitin olmadığı parsellerde yüksek boylu bitkiler yüksek fosfor dozlarında belirlenirken, zeolitin varlığında düşük dozda fosfor uygulamasıyla daha uzun bitki boyları ölçülmüştür (Çizelge 2). Tiryakioğlu ve Karanlık (2010) da ticari gübre (NP) + klinoptilolit uygulamasının buğdayda bitki boyunu artırdığını belirlemişlerdir.

Araştırmanın 2013 yılında kuru madde verimi 858.8 kg da⁻¹ olarak bulunmuştur. İkinci yılda ise verim önemli artış göstererek 1069.1 kg da⁻¹'a yükselmiştir (Çizelge 3). Yoncada en yüksek verimler ekimi takip eden ilk 4 yılda gerçekleşir (Çoruh ve Tan, 2008). Bu çalışmada ikinci verim yılında daha yüksek kuru madde üretimi gerçekleşmiştir. Muhtemelen bitkiler kök gelişmelerini tamamladıkları için ikinci verim yılında daha yüksek üretime ulaşmışlardır. Ayrıca uygulanan kimyasal gübrelerin birikmesinden doğan etkiler ve 2014 yılının daha yağışlı geçmesi (Çizelge 1) de ikinci yıl verimlerini artırmış olabilir.

Çizelge 2. Farklı dozlarda fosfor ve zeolit uygulanan yoncanın bitki boyu (cm)¹

Fosfor (kg P ₂ O ₅ da ⁻¹)	Zeolit (kg da ⁻¹)				Ortalama
	0	50	100	150	
2013					
0	48.9	52.9	57.9	55.3	53.8
5	52.3	52.9	59.5	51.5	54.1
10	57.1	50.1	54.1	54.0	53.6
15	58.5	56.7	53.2	51.9	55.1
Ortalama	54.2	53.2	56.2	52.9	54.1
2014					
0	44.3	50.3	50.1	53.2	49.5
5	47.9	52.8	54.1	51.4	51.6
10	56.7	48.5	51.5	51.9	52.2
15	51.6	52.7	53.1	52.4	52.4
Ortalama	50.1	51.1	52.2	52.2	51.4
İki Yıllık Ortalama					
0	46.6 B	51.6 AB	54.0 AB	54.3 A]	51.6
5	50.1 AB	52.9 AB	56.8 A	51.5 A]	52.8
10	56.9 A	49.3 AB	52.8 AB	52.5 A]	52.9
15	55.0 A	54.8 A	53.1 AB	52.1 A]	53.8
Ortalama	52.2	52.1	54.2	52.6	52.8
Önemlilik	Yıl: ns	Fosfor: ns	Zeolit: ns	Fosfor x Zeolit: **	

¹ Aynı harfle işaretlenen ortalamalar istatistiksel olarak farklıdır. **: 0.01, *: 0.05 ihtimal sınırlarında önemlidir, ns: önemsiz

Kuru madde verimi üzerinde fosfor ve zeolit interaksiyon olarak etkili olmamış fakat münferit olarak önemli etkiler yapmışlardır. İki yıllık ortalama sonuçlara göre en yüksek kuru madde verimleri fosforun 10-15 kg P₂O₅ da⁻¹ ve zeolit 150 kg da⁻¹ dozlarında elde edilmiştir (Çizelge 3). Yonca baklagil olması nedeniyle fosforlu gübreye tepki veren bir bitkidir (Berg ve ark., 2005; Hakkı ve ark., 2016). Bu durum özellikle sulanan şartlarda daha belirgindir. Yoncaya Öden (1987) Iğdır şartlarında 12-15 kg P₂O₅ da⁻¹, Türk ve ark. (2018) Isparta şartlarında 12 kg P₂O₅ da⁻¹ önermişlerdir. Bu araştırmada ise 10 kg P₂O₅ da⁻¹ dozu istatistiksel olarak yeterli gözükmemektedir. Zeolit uygulamasının kuru madde verimini artırması topraktaki besin elementlerinin alımını kolaylaştırmasından kaynaklanmış olabilir. Bilindiği gibi zeolit, uygulanan gübrelerin yıkanma veya buharlaşma ile kaybolmasını azaltmakta; daha etkin kullanımını sağlamaktadır (Mumpton ve Ormsby, 1978; Yolcu ve ark., 2011). Gül ve ark. (2015) da fiğde yapılan bir çalışmada zeolit kuru madde verimini artırdığını tespit etmişlerdir. Bitkilerdeki verim artışı zeolit olan ortamlarda daha iyi köklenmeden de kaynaklanabilir. Türk ve ark. (2006) toprağa %20 oranında katılan zeolit yoncada köklenmeyi ve bitki başına yaş ot verimini artırdığını bulmuşlardır.

Yonca otunun kalite parametrelerini gösteren ham protein, ADF ve NDF oranları yıllara göre değişim göstermiş, fakat fosfor ve zeolit bu parametreler üzerine önemli bir etkisi görülmemiştir (Çizelge 4). İki yıllık ortalama ham protein, ADF ve NDF oranları sırasıyla %18.10, %38.7 ve %40.5 olarak belirlenmiştir. Araştırmanın ilk yılında ham protein ve ADF oranları daha yüksek bulunurken, ikinci yılında NDF oranı daha yüksek bulunmuştur (Şekil 1). 2014 yılında ham protein oranının daha düşük, NDF oranının daha yüksek olması bu yılda bitkilerin daha fazla gelişme göstermesi, otun içerisindeki yapısal maddeleri taşıyan sapların daha fazla olmasından kaynaklanmış olabilir. Nitekim 2014 yılında kuru madde verimleri daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 3).

Çizelge 3. Farklı dozlarda fosfor ve zeolit uygulanan yoncanın kuru madde verimleri (kg da⁻¹)¹

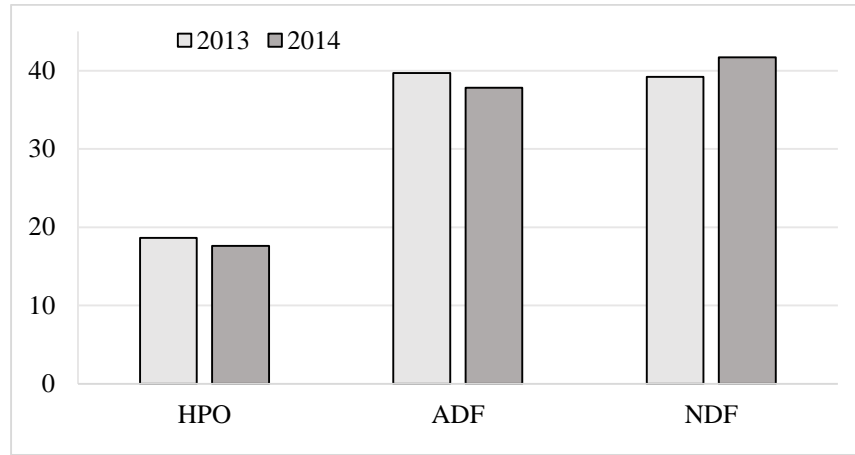
Fosfor (kg P ₂ O ₅ da ⁻¹)	Zeolit (kg da ⁻¹)				Ortalama
	0	50	100	150	
2013					
0	769.1	677.1	754.8	967.9	792.2
5	827.9	838.0	929.9	873.0	867.2
10	781.3	819.7	949.7	997.0	886.9
15	915.0	909.3	809.7	921.17	888.8
Ortalama	823.4	811.0	861.0	939.8	858.8 b
2014					
0	662.3	697.0	726.3	915.4	750.3
5	958.5	1000.1	982.2	1144.5	1021.3
10	1108.3	1197.9	1292.5	1282.2	1220.2
15	1274.9	1292.6	1268.2	1305.4	1285.3
Ortalama	1000.1	1046.9	1067.3	1161.9	1069.1 a
İki Yıllık Ortalama					
0	715.7	687.1	740.6	941.7	771.3 C
5	893.3	919.1	956.1	1008.8	944.3 B
10	944.8	1008.8	1121.1	1139.6	1053.6 A
15	1094.9	1100.9	1038.9	1113.3	1087.0 A
Ortalama	912.2 B	928.9 B	964.2 B	1050.8 A	964.0
Önemlilik	Yıl: *	Fosfor: **	Zeolit: **	Fosfor x Zeolit: ns	

¹ Aynı harfle işaretlenen ortalamalar istatistiksel olarak farklıdır. **: 0.01, *: 0.05 ihtimal sınırlarında önemlidir, ns: önemsiz

Çizelge 4. Farklı dozlarda fosfor ve zeolit uygulanan yonca otunun iki yıllık ortalama ham protein, ADF ve NDF oranları

Zeolit (kg da ⁻¹)	Fosfor (kg P ₂ O ₅ da ⁻¹)	Ham Protein (%)	ADF (%)	NDF (%)
0	0	18.46	36.7	40.9
	5	18.30	38.7	40.4
	10	18.01	39.3	41.3
	15	18.00	39.0	40.5
Ortalama		18.19	38.4	40.8
50	0	18.53	38.0	40.8
	5	18.40	39.5	41.2
	10	18.13	39.1	40.6
	15	18.59	39.8	40.6
Ortalama		18.41	38.8	40.8
100	0	17.50	38.9	40.9
	5	18.40	38.8	39.9
	10	18.33	38.5	40.3
	15	17.50	39.5	40.7
Ortalama		17.93	38.9	40.5
150	0	17.74	38.6	40.3
	5	18.01	38.9	39.7
	10	18.10	39.2	40.1
	15	17.92	38.8	39.6
Ortalama		17.94	38.9	39.9
	0	18.10	38.1	40.7
	5	18.30	39.0	40.3
	10	18.27	39.0	40.6
	15	18.00	39.1	40.3
Ortalama		18.10	38.7	40.5
<i>F-Test</i>				
Yıl		**	*	**
Fosfor		ns	ns	ns
Zeolit		ns	ns	ns
Fosfor x Zeolit		ns	ns	ns

** : 0.01, * : 0.05 ihtimal sınırlarında önemlidir, ns: önemsiz



Şekil 1. Yoncanın 2013 ve 2014 yıllarında ham protein, ADF ve NDF oranları (%)

Araştırmada ekimden sonraki üçüncü yıl (2014) sonunda parsellerdeki bitki sıklığına ait değerler Çizelge 5'te verilmiştir. Fosforlu gübre ve zeolit uygulamasının bitki sıklığı üzerine önemli etkileri olmuştur. Fosforlu gübre verilmeyen kontrol parsellerinde metrekarede 95.9 bitki m⁻² yer alırken, 5, 10 ve 15 kg da⁻¹ fosfor verilen parsellerin sıklığı sırasıyla 110.0, 119.4 ve 121.5 bitki m⁻² olarak belirlenmiştir. Görüldüğü gibi fosfor uygulamasıyla yonca sıklığı artmış olup, 0 kg P₂O₅ da⁻¹ ile 10 ve 15 kg P₂O₅ da⁻¹ dozları arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Yine zeolit dozlarına bağlı olarak bitki sıklığı 80.2 bitki m⁻² ile 133.8 bitki m⁻² arasında değişim göstermiştir. Zeolitin kontrol dozu ile en yüksek doz olan 150 kg da⁻¹'in bitki sıklıkları arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir. Ekimde kullanılan tohumluk miktarı, sıra aralığı ve sulama gibi uygulamaların homojen olduğu şartlarda ortaya çıkan bu farklılıklar farklı dozlarda verilen gübre ve zeolitten kaynaklanmıştır. Toprakta eksik olan bitki besin elementlerinin gübre olarak verilmesi bitki sıklığını artırır (Vural, 2009). Bu çalışmada da fosforlu gübre uygulamasının yonca sıklığını artırdığı ortaya çıkmıştır. Yoncada fosforlu gübrelemenin birim alandaki bitki sayısına etki yaptığını Çerekçi (2003) de belirlemiştir. Zeolit uygulamasıyla yoncada bitki sıklığının artması zeolitin yonca tesis sağlığına olumlu katkı yaptığını göstermektedir. Bu durum zeolitin topraktaki besin elementlerinin daha kolay alınmasını sağlamasından ve toprak şartlarını iyileştirmesinden ileri gelmiş olabilir (Polat ve ark., 2004). Zeolitin bitki sıklığına olumlu etki yaptığı sonucunu Szatanik-Kloc ve ark. (2019) da yulafta belirlemişlerdir.

Çizelge 5. Farklı dozlarda fosfor ve zeolit uygulanan yoncanın tesis sıklığı (bitki m⁻²)¹

Fosfor (kg P ₂ O ₅ da ⁻¹)	Zeolit (kg da ⁻¹)				Ortalama
	0	50	100	150	
0	76.0	86.6	71.0	150.0	95.9 b
5	46.3	138.6	104.3	150.6	110.0 ab
10	129.0	127.3	122.0	99.3	119.4 a
15	69.3	134.6	146.6	135.3	121.5 a
Ortalama	80.2 b	121.8 ab	111.0 ab	133.8 a	111.7
Önemlilik	Fosfor: *		Zeolit: *		Fosfor x Zeolit: ns

¹ Aynı harfle işaretlenen ortalamalar istatistiksel olarak farksızdır. *: 0.05 ihtimal sınırlarında önemlidir, ns: önemsiz

SONUÇ

Araştırma, bitkilere yararlı fosforun yetersiz seviyede olduğu topraklarda fosforlu gübre ve zeolit uygulamasının yonca üzerine olan etkilerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Yapılan uygulamalar yoncanın ot kalite parametreleri (ham protein, ADF ve NDF oranları) üzerine önemli bir etki yapmamıştır. Fosforlu gübre ve zeolit münferit olarak yoncanın kuru madde verimi ve tesis sıklığını

artırmıştır. Dekara 10-15 kg P₂O₅ ve 150 kg zeolit uygulamasıyla verim yükselmekte, birim alandaki bitki sıklığı artmaktadır. Ancak bu çalışmanın hedeflerinden birisi zeolit uygulaması ile fosforlu gübre dozlarının azaltılmasıdır. Bu interaksyon sadece bitki boyunda önemli bulunmuştur. Bundan sonraki çalışmalarda daha yüksek zeolit dozlarının denenmesinde fayda vardır.

KAYNAKLAR

- Açıkgöz E, 2001. Yem Bitkileri. Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayınları No: 182, VİPAŞ A.Ş. Yay. No: 58, Bursa, 584 s.
- Berg WK, Cunningham SM, Brouder SM, Joern BC, Johnson KD, Santini J, Volenec JJ, 2005. Influence of Phosphorus and Potassium on Alfalfa Yield and Yield Components. *Crop Science*, 45: 297-304.
- Coruh I, Tan M, 2008. Lucerne Persistence, Yield and Quality as Influenced by Aging. *New Zealand Journal Agricultural Research*, 51: 39-43. (Short Note).
- Çerekçi AŞ, 2003. Değişik Metotlarla ve Farklı Dozlarda Verilen Fosforlu Gübrenin Yonca (*Medicago sativa* L.) ve Otlak Ayrığı (*Agropyron cristatum* L. Gaertn)'nın Yem Verimine Etkileri. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı Doktora Tezi, Ankara.
- Demir H, Polat E, 2003. Zeolit (klinoptilolit) ve tarımda kullanımı. *Hasad*, 221: 54-59.
- Engin B, Mut H, 2017. Farklı Yonca Çeşitlerinin Ot Verimi ve Bazı Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 27(2): 212-219.
- Gül İ, Dumlu Gül Z, Tan M, 2015. Yerli Fiğ (*Vicia sativa* L.)'de Kimyasal Gübre, Ahır Gübresi ve Bazı Toprak Düzenleyicilerin Ot ve Tohum Verimine Etkileri. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 51(1): 65-72.
- Hakl J, Kunzova E, Konecna J, 2016. Impact of Long-Term Organic and Mineral Fertilization on Lucerne Forage Yield over an 8-Year Period. *Plant, Soil and Environment*, 60: 36-41.
- İşıldar AA, 1999. Toprağa Zeolit İlavesinin Nitrifikasyon Üzerine Etkisi. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23: 363-368.
- Kacar B, İnal A, 2013. Bitki Analizleri, Nobel Yayıncılık, 912 s., Ankara.
- Kacar B, Katkat V, 2007. Bitki Besleme. Nobel Yayın Dağıtım, Genişletilmiş 3. Baskı, 659 s.
- Keskin B, Temel, S, Eren B, 2018. Bazı Yonca Çeşitlerinin Iğdır Koşullarında Adaptasyon Çalışması. *Iğdır International Conference on Multidisciplinary Studies*, Noveber 6-7, 2018 Iğdır-Turkey, p: 1424-1430.
- Kiknadze N, Kiknadze M, Lomtadze N, Alasania N, 2008. Güney-Batı Gürcistan'da Kızıltoprak Arazilerinin Kimyasal İçeriklerine Zeolit Etkisi. *Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi*, 9(1-2): 77-80.
- Manga İ, 1978. Yonca ve Korungada Değişik Olgunluk Devrelerinde Yapılan Biçimlerin Ot verimine, Otun kalitesine ve Yedek Besin Maddeelerine Etkileri Üzerinde Araştırmalar. *Atatürk Üniversitesi Yayınları No: 482, Ziraat Fakültesi Yayınları No: 228, Erzurum*.
- Mumpton FA, Ormsby WA, 1978. The Rol of Natural Zeolites in Sedimentary Rocks by Scanning Electron Microscopy. *Natural Zeolites*, 113-307.
- Öden O, 1987. Iğdır Ovası Koşullarında Yoncanın Fosforlu Gübre İsteği ve Uygulama Zamanı. *Erzurum Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları No: 16, Rapor Seri No: 13*.
- Polat E, Karaca M, Demir H, Naci-Onus A, 2004. Use of Natural Zeolite (Clinoptilolite) in Agriculture. *Journal Fruit Ornamental and Plant Research*, 12: 183-189.
- Serin Y, Tan M, Erkovan Hİ, 2005. Yoncada Azot ve Fosforla Gübrelemenin Kuru Ot ve Ham Protein Verimi ile Ham Protein Oranına Etkileri Üzerinde Bir Araştırma. *Türkiye VI. Tarla Bitkileri Kongresi*, 5-9 Eylül 2005, Antalya, s: 953-956.

- Szatanik-Kloc A, Ambrozewicz-Nita A, Franus W, Jozefaciuk G, 2019. Early Effect of Clinoptilolite on Yield and Quality of Oat (*Avena sativa* L.). *International Agrophysics*, 33: 107-112.
- Tan M, 2018. Baklagil ve Buğdaygil Yem Bitkileri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Yayınları No: 256, Erzurum, 356 s.
- Tiryakioğlu M, Karanlık S, 2010. Klinoptilolit-Leonardit-Mineral Gübre Uygulamasının Buğday Bitkisinde Verim ve Verim Unsurlarına Etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi Özel Sayısı*, s: 171-176.
- Türk M, Bayram G, Budaklı E, Çelik N, 2006. A Study on Effects of Different Mixtures of Zeolite with Soil Rates on Some Yield Parameter of Alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Journal of Agronomy*, 5(1): 118-121.
- Türk M, Alagöz M, Bıçakçı E, 2018. Effects of Phosphorus Fertilization on Forage Yield and Quality of Alfalfa (*Medicago sativa* L.). VI. International Multidisciplinary Congress of Eurasia, September 4-6, 2018, Rome, Italy, p: 329-331.
- Van Soest, PJ, Robertson JB, Lewis BA, 1991. Method for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nostarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *Journal Dairy Science*, 74: 3583-3597.
- Vural A, 2009. Çinko Uygulamalarının Yoncanın (*Medicago sativa* L.) Yem Verimi ve Bazı Kalite Özelliklerine Etkisi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.
- Yolcu H, Seker H, Gullap MK, Lithourgidis A, Gunes A, 2011. Application of Cattle Manure, Zeolite and Leonardite Improves Hay Yield and Quality of Annual Ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) under Semiarid Conditions. *Australian Journal of Crop Science* 58: 926-931.

Serin iklim yeşil alan bitkilerinin Samsun koşullarında uyum, kalite ve devamlılık özellikleriSedat ARSLAN¹, İlknur AYAN¹, Zeki ACAR^{1*}

ÖZET: Bu çalışma, Samsun ekolojik şartlarında bazı serin iklim yeşil alan bitkilerinin uyumunu ve kalite özelliklerini belirlemek amacıyla, Kasım 2010 ile Aralık 2012 tarihleri arasında eksik bloklar deneme desenine göre dört tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. Denemede bitki materyali olarak Çok yıllık çim (*L. perenne* L.), Kamışsı yumak (*F. arundinacea* Schreb.), Rizomsuz kırmızı yumak (*F. rubra* L. subsp. *commutata*), Rizomlu kırmızı yumak (*F. rubra* L. subsp. *rubra*), Narin kırmızı yumak (*F. rubra trichophyla*), Koyun yumağı (*F. ovina* L.), Çayır salkım otu (*P. pratensis* L.), Adi salkım otu (*P. trivialis* L.), Stolonlu tavusotu (*A. stolonifera* L.), Narin tavusotu (*A. tenuis* Sibth.) türlerine ait 38 adet serin iklim yeşil alan çim çeşidi kullanılmıştır. Araştırmada ilk yıl çıkış hızı ve kaplama hızı, ikinci yıl kaplama derecesi, yenilenme gücü, kışa dayanıklılık ve yeşil kütle verimi gözlem ve ölçümleri alınmıştır. Çıkış hızı, kaplama hızı ve derecesi yönleriyle çok yıllık çim ve kamışsı yumak; yenilenme gücü açısından narin kırmızı yumak; kış koşullarına dayanıklılık bakımından narin kırmızı yumak, tavus otu ve kamışsı yumak; yeşil kütle veriminin düşüklüğü yönünden çayır salkım otu ve adi salkım otu çeşitleri öne çıkmıştır. Yeşil alanlarda ekilen tohumların hızla çimlenip çıkış yaparak ortamı kapatmaları, olumsuz koşullardan olabildiğince az etkilenmeleri, yenilenme gücünün yüksek olması ve bakım masraflarını azaltabilmek adına kütle verimlerinin düşük olması istenir. Bu özelliklerin tümünü tek bir tür veya çeşitte bulmak mümkün görünmemektedir. Bu nedenle, istenen özelliklere en yakın sonuçlara ulaşabilmek için, bölge koşullarına uygun karışımların hazırlanmasının çok önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yeşil alan, karışım, kalite, devamlılık,

Harmony, quality and continuity characteristics of cool season turf grasses in Samsun conditions

ABSTRACT: This study was carried out in four replicates according to the trial pattern of missing blocks between November 2010 and December 2012 in order to determine the compatibility and quality characteristics of some cool season turf grasses in Samsun ecological conditions. In the study, 38 cool season cultivars belonging to *Lolium perenne* L., *Festuca arundinacea* Schreb., *Festuca rubra* L. subsp. *commutata*, *Festuca rubra* L. subsp. *rubra*, *Festuca rubra trichophyla*, *Festuca ovina* L., *Poa pratensis* L., *Poa trivialis* L., *Agrostis stolonifera* L. and *Agrostis tenuis* Sibth. species were used. In the first year, emergence speed and covering speed, second year covering degree, regeneration power, winter resistance and green mass yield observations and measurements were taken. *L. perenne* and *F. arundinacea* for emergence speed, covering speed and grade; *F. rubra trichophyla* for regeneration power; *F. rubra trichophyla*, *Agrostis sp.* and *F. arundinacea* for resistance to winter conditions; *Poa sp.* for low yield of green mass are prominent. It is desired that the seeds planted in the grassland will germinate and covered the area rapidly, be affected by the adverse conditions as little as possible, have high regeneration power and low green mass efficiencies in order to reduce maintenance costs. It does not seem possible to find all of these features in a single species or variety. Therefore, it is concluded that it is very important to prepare mixtures suitable for the region conditions in order to reach the results closest to the desired properties.

Keywords: Turf grass, mixture, quality, continuity,

¹Sedat ARSLAN (Orcid ID: 0000-0002-1407-9018), İlknur AYAN (Orcid ID: 0000-0002-5097-9013), Zeki ACAR (Orcid ID: 0000-0002-0484-1961), Ondokuzmayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Samsun, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Zeki ACAR, e-mail: zekiacar@omu.edu.tr

Bu çalışma Sedat ARSLAN'ın Yüksek Lisans tezinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

Makale 05-08 Ekim 2017 tarihlerinde Jahorina'da düzenlenen "AGROSYM 2017'de" sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

Geliş tarihi / Received: 05-05-2020

Kabul tarihi / Accepted: 27-05-2020

GİRİŞ

İnsan nüfusunun arttığı sanayileşme ve teknolojinin hızla geliştiği çağımızda, insanların rahatça dolaşabilecekleri, keyifli vakit geçirebilecekleri, şehir sıklığından uzaklaşabilecekleri yeşil alanlar günden güne azalmaktadır. Dar alanlarda yaşamını devam ettirmeye çalışan insanoğlu bulduğu küçük alanları yeşillendirmeye çalışmış ve bu dar alanları kullanarak, görselliğe önem veren, estetik açıdan gösterişli, bölgeye uygun yeşil alanlar tesis etmeye başlamıştır. Yaşadığımız mekanların çevresindeki bitkisel öğelerin en önemlisini oluşturan yeşil alanlar (çim örtüleri), özellikle sahil bölgelerimiz olmak üzere, ülkemizde giderek artmakta, mimari teknikler kullanılarak estetik ve görsel amaçlarla oluşturulan yeşil örtüler; ferahlık yaratma, göze hitap etme gibi üstün özellikleriyle insanın gereksinim duyduğu dinlenme ortamlarını oluşturmaktadır (Avcıoğlu, 1997; Varoğlu, 2010).

Yeşil alanların kullanım amacına uygun çim tohumlarının belirlenmesi, çim tesisinin uzun ömürlü olmasının ön koşulları arasındadır. Bu yüzden kullanılacağı yerin iklimine, zamana ve amaca uygun çim tohumunun seçiminde dikkat edilecek hususlar şöyle sıralanabilir; hastalık, zararlı ve yabancı otlarla mücadelesi güçlü, soğuk, sıcak ve kuraklığa karşı dayanıklı, homojen yapılı ve üniform görünümlü olmalıdır (Alagöz ve Türk, 2017). Çim bitkileri, oyun alanları, spor sahaları ve yapı çevrelerinde önemli fonksiyonlara sahiptirler. Oyun ve spor alanlarındaki çim bitkileri haftada belirli sayıda ve yoğunlukta kullanıma imkan tanımalı ve basılmaya uygun olmalıdır. Bu yetenek çim bitkisinin seçimi yönünden önemli bir karakterdir (Yazgan ve ark., 1992). Çim alanların oluşturulmasında genellikle buğdaygil türleri tercih edilir. Bazı durumlarda baklagil bitkilerinden veya az da olsa diğer familyalardan türler de kullanılabilir (Açıkgöz, 1994). Tesis edilecek bölgeye uyum sağlamış çim türlerinin seçilmesi son derece önemlidir. Bulunduğu bölgenin toprak ve iklim koşullarına uygun özellik taşımayan buğdaygil türleri seçilerek kurulmuş yeşil alan örtüleri, çok kısa sürede bozulup kaybolmakta, tüm emeklere ve masraflara karşılık, aynı alanda her yıl yeniden ekim ve bakım yapmak zorunda kalınmaktadır (Avcıoğlu, 1997).

Uygun çim türlerinin seçilmesi konusunda ilk sistematik araştırmalara 1885 yılında J.B Olcott tarafından ABD'de Connecticut'da başlanmıştır (Bread, 1973). Yeşil alan bitkilerinin yetiştirileceği bölgenin iklim koşullarına uyumunun yanı sıra, karışımı oluşturacak bitkilerin birbirleri ile uyumu ve devamlılık, görünüm ve estetik yönlerden de beklentileri karşılama çok önemlidir. Beklentilerin ne kadar karşılandığının göstergesi yeşil alan kalitesi olarak değerlendirilmektedir. Günümüzde, çağdaş yaşamın ayrılmaz bir parçası haline gelen yeşil alanların kalitesinin belirlenmesi iki ayrı açıdan gerçekleştirilmektedir. Birincisi, çim dokusunu meydana getiren ve esas olarak buğdaygillerden oluşan bitkilerin; renk, büyüme ve gelişme hızı, büyüme formu, kök gelişmesi, yoğun ve dipten biçimlere, ezilmeye ve trafik etkisine, sık biçim ve basılmaya, kuraklık ve sıcaklığa, hastalık ve zararlılara dayanıklılık göstermeleri gibi bireysel kalite özellikleridir. İkincisi de, bu bitkilerin bir arada büyüüp gelişerek meydana getirdikleri yeşil alan vejetasyonlarının; üniformite, doku, düzlük, sıklık (bitki ile kaplı alan) ve kuru ot verimi gibi genel özelliklerdir (Bread, 1973; Uzun, 1989; Altan, 1989; Açıkgöz, 1994; Avcıoğlu, 1997).

Samsun ili ülkemizin Karadeniz bölgesinde yer almaktadır. Kışları serin ve yağışlı bir iklim görülmesinden dolayı, serin iklim çimleri için uygun bir ortama sahiptir. Serin iklim buğdaygillerinden çok yıllık çim (*Lolium perenne* L.), çayır salkımotu (*Poa pratensis* L.), yumak türleri (*Festuca* sp.), tavus otu (*Agrostis* sp.) Samsun ili kıyı kesimlerine uyum sağlayabilecek türlerdir (Acar ve Ayan, 2012). Bu araştırmanın amacı Samsun kıyı kesimleri için uyum, kalite ve diğer bazı özellikler yönünden en uygun türleri belirlemektir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma, Samsun ekolojik şartlarında bazı serin iklim yeşil alan bitkilerinin uyumunu ve kalite özelliklerini belirlemek amacıyla, Kasım 2010 ile Aralık 2012 tarihleri arasında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme alanlarında yürütülmüştür. Çalışmanın yürütüldüğü alana ait toprak örnekleri 0-30 cm derinlikten alınmış ve Toprak Bölümü laboratuvarlarında analiz edilmiştir. Deneme alanı topraklarının killi yapıda, nötr özellikte, az kireçli, tuzsuz, fosfor ve potasyum yönünden zengin ve organik madde yönünden iyi durumda olduğu belirlenmiştir. Denemelerin yürütüldüğü alanda bitkilerin normal gelişimini kısıtlayacak bir etken bulunmamaktadır. Denemenin yürütüldüğü yıllardaki aylık ortalama sıcaklık değerlerini incelediğimizde, özellikle 2010 yılının hem 2011, hem de uzun yıllar ortalamasına göre çok sıcak bir yıl olduğu anlaşılmaktadır. Tohum ekiminin yapıldığı Kasım ve Aralık ayları oldukça sıcak seyretmiştir. Bitkilerin arazide bulunduğu aylarda 2011 ve 2012 yılı sıcaklık değerleri uzun yıllar ortalamasına yakın olmuştur.

Yağış değerleri incelendiğinde, 2011 yılındaki toplam yağışın uzun yıllar ortalamasının altında, 2010 ve 2012 yıllarında ise üzerinde olduğu görülmektedir. Bitkilerin arazide olduğu aylardaki yağış verileri değerlendirildiğinde, 2010 yılı Kasım, 2011 yılı Aralık ve 2012 Nisan ve Mayıs aylarının beklenenden kurak, buna karşın 2011 yılı Ocak ayının çok yağışlı geçtiği görülmektedir.

Denemede materyal olarak, özel sektör firmalarından temin edilen yeşil alan düzenlemelerinde sıkça kullanılan serin iklim bitkilerinden tür ve çeşitler kullanılmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Denemede kullanılan çim bitkileri tür ve çeşitleri

Türler	Çeşitler
Çok yıllık çim (<i>L. perenne</i> L.) (Lp)	Roadstar, Evening Shade, Pearlgreen, Topgun Caddieshack, Recital
Kamışsı yumak (<i>F. arundinacea</i> Schreb.) (Fa)	Millenium, Jaguar, Tomahawk, Lucky, Apache
Rizomsuz kırmızı yumak (<i>F. rubra</i> L. subsp. <i>Commutata</i>) (Frc)	Intrugue, Cassanova, Raymond, Musica, Y-5
Rizomlu kırmızı yumak (<i>F. rubra</i> L. subsp. <i>rubra</i>) (Frr)	Gondolin, Elliot, Avolubon, Redskin, Bassonava, Franklin
Narin kırmızı yumak (<i>F. rubra trichophylla</i>) (Frt)	Zamboni
Koyun yumağı (<i>F. ovina</i> L.) (Fo)	Auroa, Marco polo, Nordic, Bornito, Ridu
Çayır salkım otu (<i>P. pratensis</i> L.) (Pp)	Brooklawn, Avoulance, 4season, Europa, Everest, Compact, Gerenimo
Adi salkım otu (<i>P. trivialis</i> L.) (Pt)	Cypress, Starlite
Stolonlu tavusotu (<i>A. stolonifera</i> L.) (As)	Truline
Narin tavusotu (<i>A. tenuis</i> Sibth.) (At)	Highland bentgrass, highlandbent

Rizomlu Kırmızı Yumak (*Festuca rubra* L. subsp. *rubra*) Franklin ve çayır salkım otu (*Poa pratensis* L.) Geranimo çeşitleri çıkış yapamadıkları için deneme 38 çeşit ile yürütülmüştür.

Deneme, Eksik Bloklar Deneme Desenine (Confounding) göre 4 tekrarlamalı olarak planlanmış, parsel boyutları 2*1=2 m², parsel sayısı 40x4=80 adet, toplam deneme alanı 40x2x4=320 m² olarak kurulmuştur. Yabancı otlarla mücadele ve işlem kolaylığı açısından parseller arasında boşluk bırakılmamıştır. Çalışmada ekim işlemi 9 ve 10 Kasım 2010 tarihlerinde, uygun ekolojik şartlar oluştuğunda yapılmıştır.

Tohumların bin tane ağırlığı ve çeşitlerin bitkisel özellikleri dikkate alınarak m²'ye o çeşit için en uygun tohum miktarı gelecek şekilde, ekim oranları *Lolium perenne* L.'de 40 g m⁻², *Festuca rubra* var. *rubra* ve *Festuca rubra* var. *commutata*'da 30 g m⁻², *Festuca arundinacea* Schreb.'da 40 g m⁻², *Poa pratensis*'de 20 g m⁻², *Festuca rubra trichophylla*'da 30 g m⁻², *Agrostis stolonifera* ve *Agrostis tenuis*'te

5 g m⁻², *Festuca ovina* 'da 25 g m⁻² saf ve canlı tohum olarak alınmıştır (Beard, 1973; Hope, 1978; Oral ve Açıkgöz, 1999).

Ekim işlemi elle serpmeye şeklinde yapılmış, ekim işleminden sonra tohumların üstüne az miktarda kum serpilerek bastırılmıştır. Ekimden 10 gün önce alana 4 kg da⁻¹ (N-P-K:15-15-15) kompoze gübre, bitkilerin parselleri tamamen kaplamasından sonra ve ilkbahardan itibaren her ay 10 kg da⁻¹ amonyum nitrat uygulanmıştır. Yağışların kesildiği Haziran ayından itibaren ekim ayına kadar, bitkiler çok ihtiyaç duyduğunda yağmurlama sulama ile yeterli miktarda su verilmiştir. İlk yıl 7 biçim, ikinci yıl sonbaharda yapılan temizleme biçmesi ile birlikte toplam 5 biçim yapılmıştır. Tüm ölçüm ve gözlemler Yeşil Alan (Çim) Bitkileri Tarımsal Değerleri Ölçme Teknik Talimatı (Anonim, 2001)'na uygun olarak yapılmıştır.

İlk yıl yapılan gözlem ve ölçümler

Çıkış hızı (gün); Ekim tarihi ile parselde %50 çıkışın tespit edildiği tarih arasındaki gün sayısı olarak belirlenmiştir.

Kaplama hızı (gün); Ekim tarihi ile parselin %75'inin tamamen bitki ile kaplandığı tarih arasındaki gün sayısı olarak belirlenmiştir.

İkinci yıl yapılan gözlem ve ölçümler

Kısa dayanıklılık (1-9); Gözlemler; şubat ayı sonunda, ilkbahar büyüme başlangıcından önce yapılmıştır.

1=Çok kötü (bitkilerin tümü ölü), 3=Kötü (bitkilerin %50 si ölü), 5=Orta (parselin tümü sararmış), 7=İyi (parselin %50'den azı sararmış), 9=Çok iyi (parselde herhangi bir sararma yok)

Kaplama derecesi (1-9) (%); Kullandığımız çeşitler serin iklim buğdaygil bitkileri olduğundan ilkbaharda ikinci biçimden hemen sonra, parselin bitki ile kaplı olduğu alan tespit edilmiş ve aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır.

1=Çok seyrek (%20), 3=Seyrek (%20-40), 5=Orta (%40-60), 7=Sık (%60-80), 9=Çok sık (%80-100)

Yenilenme gücü (1-5); İlkbahar döneminde ve 2. biçimden önce türler kendi aralarında 1-5 skalasına göre değerlendirilmiştir.

1=Çok hızlı büyüme, 3=Orta büyüme, 5=Çok yavaş büyüme

Yeşil kütle verimi; Her biçimden önce her parselden 0.25 m²'lik iki alan biçilmiş, örnekler tartılarak ortalaması alınmış ve m²'ye verime dönüştürülmüştür (g m⁻²). İki yılın toplam yeşil kütle verimi üzerinden değerlendirme yapılmıştır.

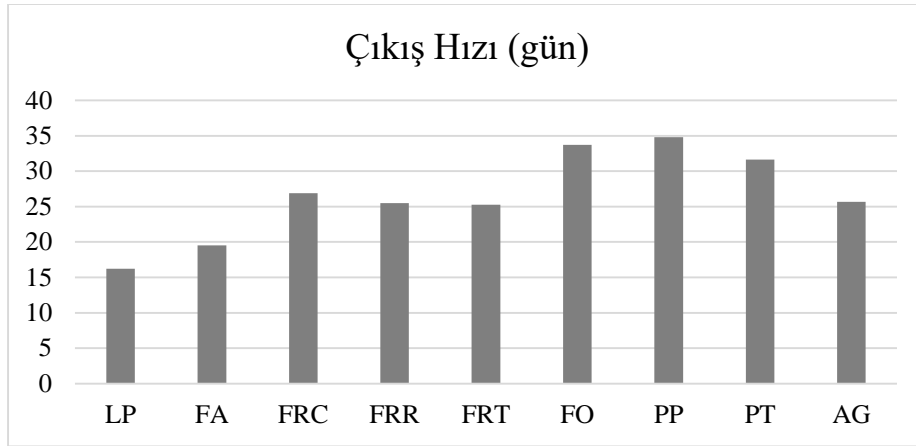
İncelenen özellikler arasındaki farklılıklar Eksik Bloklar Deneme Desenine (Confounding) göre bilgisayarda SPSS paket programı kullanılarak istatistik analize tabi tutulmuş, aralarında farklılık belirlenen ortalamalar DUNCAN çoklu karşılaştırma testi ile gruplandırılmıştır (Gülümser ve ark., 2013).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Çıkış Hızı

Bazı yeşil alan çim bitkisi türlerinin çıkış hızına ilişkin ortalama değerler Çizelge 2 ve Şekil 1'de verilmiştir. Çizelge 2'de görülebileceği gibi, çıkış hızı yönünden türler arasındaki farklılığın önemli olduğu belirlenmiştir. En hızlı çıkış çok yıllık çim, en geç çıkış ise çayır salkım otu parsellerinde gözlemlenmiştir. Çok yıllık çim çeşitlerinin çıkış hızı ortalaması 16.21 gün iken, çayır salkım otunda bu değer 34.8 gün olmuştur (Çizelge 2 ve Şekil 1). Çeşitler düzeyinde incelendiğinde, Eveningshade ve

Topgun adlı çok yıllık çim çeşitlerinin (15-16 gün) en erken; Everest, Brooklawn ve 4season adlı çayır salkım otu çeşitlerinin (35-36 gün) en geç çıkış yapan çeşitler olduğu saptanmıştır.



Şekil 1. Bazı yeşil alan çim bitkilerinin ortalama çıkış hızı değerleri (gün)

Elde edilen veriler incelendiğinde, tohum boyutu küçük olan türlerde çıkış hızının daha yavaş olduğu gözlenmiştir. Örneğin, tohum boyutu daha büyük olan çok yıllık çim çeşitleri ortalama 16.21, kamışsı yumak çeşitleri ortalama 19.5 günde çıkışlarını tamamlarken, küçük tohumlulardan çayır salkım otu çeşitleri ise ortalama 34.83 günde çıkışlarını tamamlamışlardır (Çizelge 2 ve Şekil 1). Birçok kaynakta, çim bitkilerinde tohum boyutu küçüldükçe ekimin zorlaştığı ve çıkışta sorunlar görüldüğü, çıkış süresinin arttığı belirtilmektedir. Çıkış hızı üzerine genetik yapı çok önemli olmakla birlikte, tohum küçüldükçe toprakla teması ve dolayısıyla su alıp çimlenmesi zorlaşmaktadır (Açıkgöz,1994; Avcıoğlu, 2014).

Açıkgöz (1994), tüm şartlar uygun olsa bile türler arasında çimlenme ve çıkış süreleri açısından farklılıklar olabileceğini belirtmektedir. Araştırmacı ideal şartlarda çim (*Lolium* sp.) tohumları 5-10 gün, yumak (*Festuca* sp.) tohumları 10-15 gün içerisinde çimlenirken, çimlenme süresinin tavusotu (*Agrostis* sp.) türlerinde 20, salkım otu (*Poa* sp.) türlerinde 30 güne kadar uzayabileceğini bildirmektedir. Çim bitkilerinin çıkış hızı ile ilgili yapılan çalışmalarda ise; Petersen (1991) *Lolium perenne* ve *Festuca arundinacea* çeşitlerinin en hızlı çıkış yapan çim bitkileri olduğunu, Barış (1996) çok yıllık çim ve kırmızı yumak çeşitlerinin en hızlı, çayır salkım otu ve narin tavusotu'nun ise en son çimlendiğini, Güneçlioğlu (2007) *Lolium perenne* çeşitlerinde çıkış hızının 12-13 gün arasında değiştiğini, Kesemen (2008) kırmızı yumak türleri ile yürüttükleri bir çalışmada ortalama çıkış hızının 28.6 gün olduğunu belirlemişlerdir.

Çeşitlerin çıkış hızının bu çeşitler için verilen ideal çimlenme sürelerinden birkaç gün geç olduğu tespit edilmiştir. Deneme alanının killi ve ağır bünyeli toprağında istenilen özellikte tohum yatağının hazırlanamaması ve çimlenme dönemindeki yağış miktarının az ve sıcaklığın düşük olmasının bu sonucu ortaya çıkardığı düşünülmektedir. Nitekim, Açıkgöz (1994), nem ve sıcaklık gibi şartlarda meydana gelen olumsuzlukların çimlenme süresinin uzamasına neden olduğunu belirtmektedir.

Kaplama Hızı

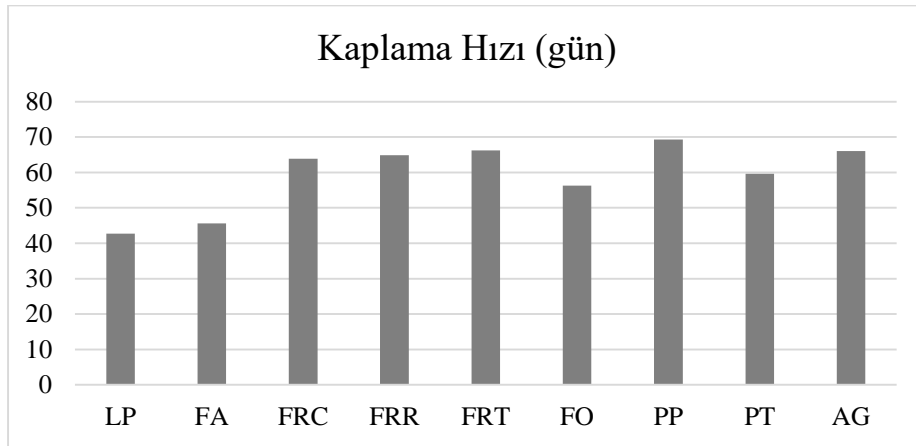
Yeşil alan çim bitkilerinin kaplama hızına ilişkin değerler Çizelge 2 ve Şekil 2'de verilmiştir. Kaplama hızı yönünden yeşil alan çim bitkileri arasındaki farklılık önemli bulunmuştur. Kaplama hızı sonuçları incelendiğinde, çok yıllık çim çeşitlerinin çıkış hızında olduğu gibi, kaplama hızında da (42.7 gün) ilk sırada olduğu görülmektedir. Kaplama hızı yönünden son sırada çayır salkım otu (69.3 gün) çeşitleri gelmektedir (Çizelge 2 ve Şekil 2).

Çizelge 2. Kullanılan çeşitlerin ortalaması olarak türlerin çıkış hızı, kaplama hızı ve kaplama derecesi değerleri*

Türler	Çıkış Hızı (gün)	Kaplama Hızı (gün)	Kaplama Derecesi (1-9)
LP	16.21 a	42.67 a	7.25 bc
FA	19.50 b	45.6 b	8.60 a
FRC	26.90 c	63.90 e	7.70 b
FRR	25.50 c	64.85 e	6.80 c
FRT	25.25 c	66.25 e	7.00 c
FO	33.70 e	56.25 c	8.30 a
PP	34.83 e	69.33 f	7.00 c
PT	31.63 d	59.60 d	5.00 d
AG	25.67 c	66.08 e	7.33 bc

*Aynı sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında 0.01 düzeyinde farklılık yoktur.

Bazı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda *Lolium perenne*'nin hızlı bir şekilde çimlenerek kısa sürede alanı kapladığı bildirilmiştir (Petersen, 1991; Oral, 1998; Güneylüoğlu, 2007). Ekiz ve ark., (1995), Zorer ve ark., (2009) ve Avcıoğlu (2014) çok yıllık çim ve kamışsı yumak türlerinin yüksek oranda buldukları karışımların kaplama hızı bakımından üstün olduklarını belirtmektedirler.

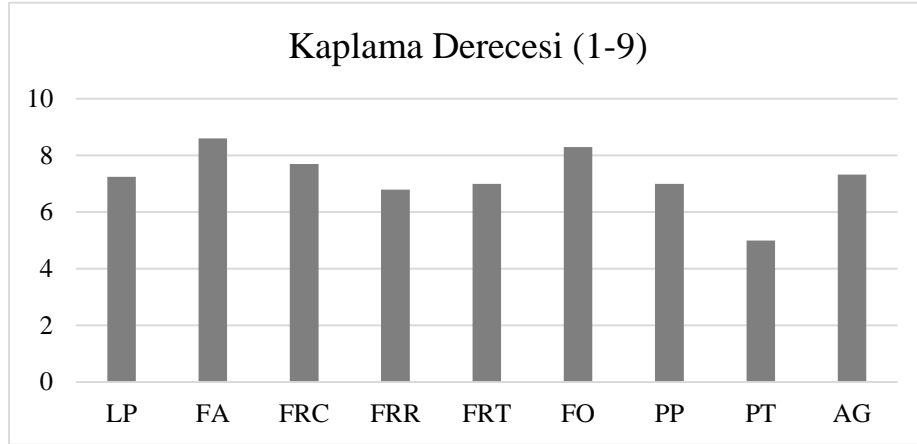
**Şekil 2.** Bazı yeşil alan çim bitkilerinin ortalama kaplama hızı değerleri (gün)

Çeşitlerin kaplama hızları arasında çok önemli farklılıklar tespit edilmiştir. Kaplama hızı en yüksek olan çeşitler çok yıllık çim türüne ait Topgun ve Eveningshade (41 gün) olurken, kaplama hızı en yavaş olanlar çayır salkım otu türüne dahil Everest ve Brooklawn (70-71 gün) çeşitleridir. Çıkış hızı ve kaplama hızına ilişkin veriler arasında paralellik bulunmaktadır. Çıkış hızı yüksek olan çeşitler erkenden gelişerek alanı kaplamışlardır (Çizelge 2). Çıkış hızında da değinildiği gibi, iri tohumlu bitkilerin kaplama hızının da daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bazı araştırmacılar tohum büyüklüğü arttıkça çıkış ve kaplama hızının da arttığını belirtmektedirler (Avcıoğlu ve Soya 1996). Bazı araştırmacılar çok yıllık çimin hızlı tesis olduğunu, alanı kısa sürede kapladığını ve bu bitkiyi *Festuca* taksonlarının takip ettiğini, çayır salkım otu bitkisinin yavaş yapılandığını bildirmişlerdir (Oral, 1998; Öztarhan, 2010).

Kaplama Derecesi

Kaplama derecesi yönünden çeşitler arasındaki farklılığın önemli olduğu belirlenmiştir. Bitkiler 1-9 skalasına göre değerlendirilmiş, en yüksek kaplama derecesi kamışsı yumak ve koyun yumağı türlerinde belirlenmiştir. En iyi kaplama derecesi yönünden türler; kamışsı yumak, koyun yumağı,

rizomsuz kırmızı yumak, tavus otu, çok yıllık çim, çayır salkım otu, narin kırmızı yumak, rizomlu kırmızı yumak ve adi salkımotu şeklinde sıralanmaktadır (Çizelge 2 ve Şekil 3).

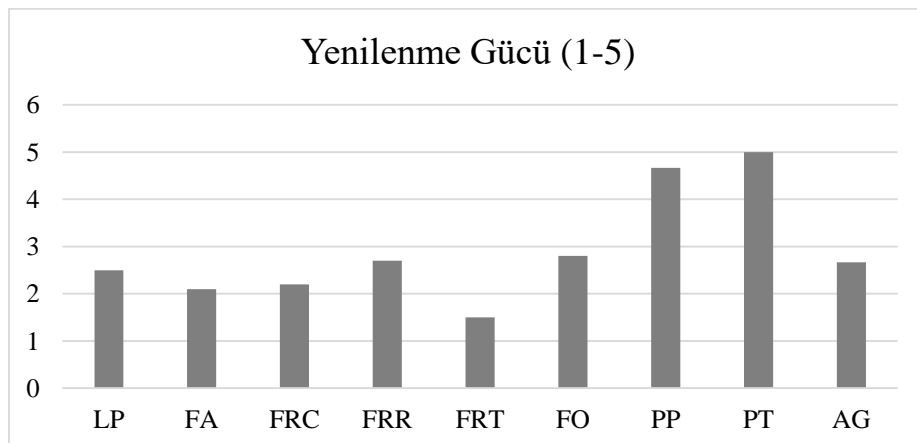


Şekil 3. Bazı yeşil alan çim bitkilerinin ortalama kaplama derecesi değerleri (1-9)

Kaplama derecesi açısından elde edilen bulgular, kırmızı yumak çeşitleri dışında, diğer araştırmacıların bulguları ile örtüşmektedir (Varoğlu, 2010; Öztarhan, 2010). Beşkonaklı (1989) koyun yumağının çim alanlarda sık bir bitki örtüsü oluşturduğunu belirlemiştir. Bu çalışmada, kırmızı yumak çeşitlerinin, diğer çalışmaların aksine, daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. Avcıoğlu (1997) ve Açıkgöz (1994), yazları bu çim türünün Akdeniz iklim koşullarında sıcaktan etkilenerek zayıflaması sonucu, kaplama derecesinin düştüğünü bildirmektedirler. Yazları Akdeniz iklimi kadar sıcak ve kurak olmayan Samsun ilinde kırmızı yumak türlerinin toprak yüzeyini çok iyi kapladıkları gözlenmiştir.

Yenilenme Gücü

İlkbahar döneminde ikinci biçimden önce 1-5 skalasına göre yapılan yenilenme gücü değerlendirmesine ilişkin veriler Çizelge 3 ve Şekil 4’de görülmektedir. Yenilenme gücü yönünden yeşil alan çim türleri arasında önemli farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. En yüksek yenilenme gücü narin kırmızı yumak türünde (1.5) belirlenirken, en düşük yenilenme gücünün adi salkım otu ve çayır salkım otu türlerinde olduğu saptanmıştır (Çizelge 3 ve Şekil 4). Çeşitler düzeyinde incelendiğinde kamışsı yumak çeşitlerinden Jaguar ve Apache ile Zamboni narin kırmızı yumak çeşitlerinin 1.5 değeri ile en yüksek yenilenme gücüne sahip oldukları belirlenmiştir. Buna karşılık, tüm salkım otu çeşitlerinin en düşük yenilenme gücü (4.5-5.0) gösteren grubu oluşturdukları saptanmıştır. Elde edilen bulgular, benzer sonuçlara ulaşan Varoğlu (2010)’nun bildirdiği değerlerle uyumlu bulunmuştur.



Şekil 4. Bazı yeşil alan çim bitkilerinin ortalama yenilenme gücü değerleri (1-5)

Kışa Dayanıklılık

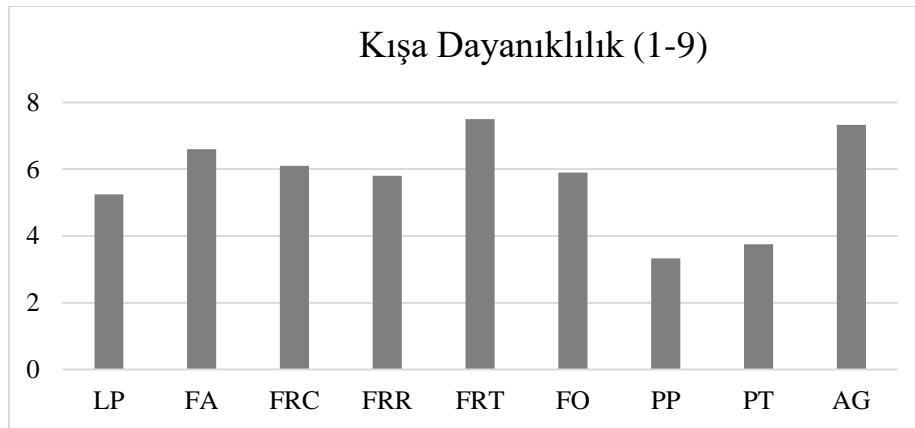
Kışa dayanıklılık yönünden türler arasında önemli farklılıklar saptanmıştır. Narin kırmızı yumak ve tavusotu türlerinin ortalama 7 ve üzerinde puan alarak kış dayanıklılığı en yüksek türler oldukları, bunları diğer yumak otu türlerinin izlediği, çok yıllık çim, adi salkım otu ve çayır salkım otu türlerinin son üç sırada yer aldıkları belirlenmiştir (Çizelge 3 ve Şekil 5).

Çizelge 3. Kullanılan çeşitlerin ortalaması olarak türlerin yenilenme gücü, kışa dayanıklılık derecesi ve yeşil kütle verimi değerleri*

Türler	Yenilenme Gücü (1-5)	Kışa Dayanıklılık (1-9)	Yeşil Kütle Verimi (g m ⁻²)
LP	2.50 b-d	5.25 c	1274 b
FA	2.10 b	6.6 ab	1045 b
FRC	2.20 bc	6.1 bc	1798 c
FRR	2.70 cd	5.8 bc	1861 cd
FRT	1.50 a	7.5 a	2240 d
FO	2.80 d	5.9 bc	1797 c
PP	4.67 e	3.33 d	672 a
PT	5.00 e	3.75 d	608 a
AG	2.67 b-d	7.33 a	1988 cd

*Aynı sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında 0.01 düzeyinde farklılık yoktur.

Denemede kullanılan tüm kamışı yumak, tavus otu çeşitleri ile bazı kırmızı yumak ve koyun yumağı çeşitlerinin kışa dayanıklılık yönünden ilk sırada (6.5-7.5) oldukları belirlenmiştir. Buna karşılık, değerlendirmeye alınan tüm çayır salkım otu ve adi salkım otu çeşitlerinin kışa duyarlılığının (3-4) en yüksek olduğu saptanmıştır. Çayır salkım otu dışında diğer türler ve çeşitlere ilişkin tespit edilen değerler diğer birçok araştırmacının verileri ile uyumludur (Uzun 1989; Altan, 1989; Arslan, 2004). Daha önce yapılan çalışmalar ve literatür bilgileri göz önüne alındığında, çayır salkım otu çeşitlerinin kışa dayanımlarının daha yüksek olması beklenmekteydi. Bu duruma, her ne kadar sulama yapılsa da, kurak ve sıcak geçen yaz döneminde bitkilerin fizyolojik olarak hırpalanması sonucunda kışa yeterince güçlü girememeleri ve bitkilerde bir miktar pas hastalığının görülmesinin neden olduğu düşünülmektedir.



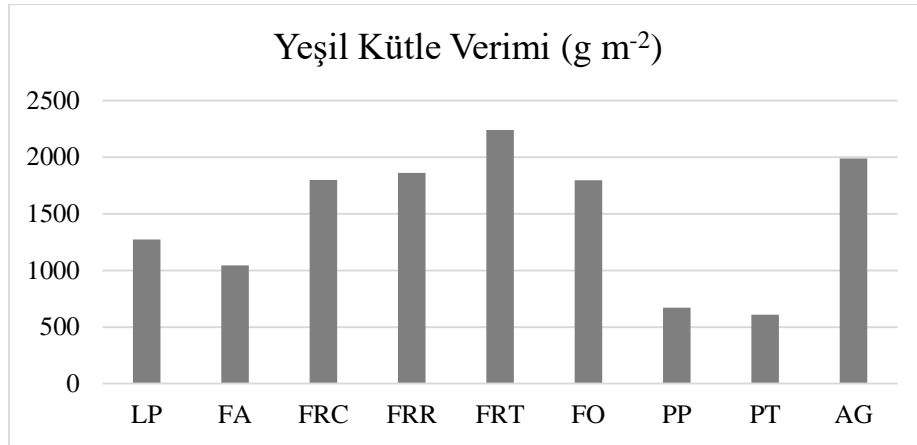
Şekil 5. Bazı yeşil alan çim bitkilerinin ortalama kışa dayanıklılık değerleri (1-9)

Yeşil Kütle Verimi

Yeşil alanın birim alanından, biçimlerle elde edilen yeşil ot o alanın canlılığı ve güçlülüğü, büyüme hızı ve gücü açısından iyi bir fikir vermektedir. Biçim sonrası bitkilerin hızla kendilerini yenilemeleri ve istenilen görünüme sahip olmaları gerekmektedir. Çim bitkilerinde ekim veya dikim sonrasında hızlı

büyüme ve gelişme özelliği istenmesine rağmen, tamamen bitki örtüsü ile kaplanmış olan çim alanlarda büyüme ve gelişmenin nispeten yavaş olması arzu edilir. Biçimden sonra çim örtüsünü tamamlayan fakat bol vejetatif aksam meydana getirmeyen çeşitler tercih edilmektedir (Avcıoğlu, 2014).

Bu çalışmada, iki yılın toplamı olarak elde edilen yeşil kütle verimi değerleri Çizelge 3 ve Şekil 6'da verilmiştir. Yeşil kütle verimi bakımından türler arasında önemli farklılıklar bulunmuştur. En düşük toplam yeşil kütle verimi adi salkım otu ve çayır salkım otu (608 ve 672 g m⁻²) türlerinden alınırken, en yüksek değerler narin kırmızı yumak, tavus otu ve rizomlu kırmızı yumak (sırasıyla; 2240 , 1988 ve 1861 g m⁻²) türlerinden elde edilmiştir (Çizelge 3 ve Şekil 6).



Şekil 6. Bazı yeşil alan çim bitkilerinin ortalama yeşil kütle verimleri (gm⁻²)

Çalışmadan elde edilen bulgular bazı araştırmacıların bulguları ile uyumlu iken, bazı araştırma sonuçlarından farklılık göstermektedir. Hosaflıoğlu (2009), genel olarak en yüksek yeşil ot verimini çayır salkım otu (*Poa pratensis* L.) çeşitlerinde, en düşük verimi ise narin kırmızı yumak (*Festuca rubra trichophylla*) çeşitlerinde belirlemiştir. Zorer ve ark., (2009) ise yaprak ayası genişliği yüksek olan, kaba dokulu türlerden elde edilen yeşil ot verimlerinin daha yüksek olduğunu belirtmektedir. Farklı iklim - toprak koşullarında ve farklı çeşitlerle yürütülen çalışmalardan elde edilen sonuçlarda farklı olmaktadır.

SONUÇ

Yeşil alanlarda ekilen tohumların hızla çimlenip çıkış yaparak ortamı kapatmaları, olumsuz koşullardan olabildiğince az etkilenmeleri, yenilenme gücünün yüksek olması ve bakım masraflarını azaltabilmek adına yeşil kütle verimlerinin düşük olması istenir. Bu özelliklerin tümünü tek bir tür veya çeşitte bulmak mümkün görünmemektedir. Bu nedenle, istenen özelliklere en yakın sonuçlara ulaşabilmek için bölge koşullarına uygun yapılacak karışımlar çok önemlidir. Çalışma sonucunda bölge koşullarında uygun tek tür veya tek bir karışım önerilmemektedir. Bunun yerine değerlendirme kriterlerine göre en uygun sonucu veren karışımlar ortaya konulmuştur. Bu durumda park ve bahçe alanları için kaplama hızının en iyi sonucu verdiği çok yıllık çim ve kamışsı yumak; kış koşullarının değişken ve riskli olduğu durumlarda narin kırmızı yumak ve tavus otu; biçim güclüğü çekilen tesisler için ise yeşil kütle verimi düşük olan çayır salkım otu ve adi salkım otu türleri ve bunların yer aldığı karışımlar önerilebilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Ondokuzmayıs Üniversitesi Proje Yönetim Ofisi tarafından "PYO.ZRT.1904.11.001" kodlu proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Acar Z, Ayan İ, 2012. Yem Bitkileri Kültürü. OMÜ Ziraat Fakültesi Yay. Ders Kitabı No. 2, Samsun.
- Açıkgöz E, Başbuğ S, 1993. Bazı Çim Bitkisi Tür ve Çeşitlerinin Bursa Koşullarına Uygunluklarının Saptanması Üzerine Araştırmalar, Çağdaş Yaşamda Çim Alanlar Sempozyumu III. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 105-113s., Ankara.
- Açıkgöz E, 1994. Çim Alanlar Yapım ve Bakım Tekniği. Çevre Peyzaj Mimarlığı Yayınları, No:4, 204 Bursa.
- Alagöz M, Türk M, 2017. Isparta Ekolojik Koşullarında Bazı Buğdaygil Çim Bitkileri ve Karışımlarının Çim Alan Performanslarının Belirlenmesi. Ziraat Fakültesi Dergisi, 12 (2): 30-39.
- Altan S, 1989. PM Yerörtücüleri, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitabı, 108, Adana.
- Anonim, 2001. Tarımsal Değerleri Ölçme Denemeleri Teknik Talimatı “Yeşil Alan Bitkileri”, TC Tarım ve Köyşleri Bakanlığı Koruma ve Kontrol Genel Müdürlüğü Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkezi Müdürlüğü, Ankara.
- Arslan M, 2004. Farklı çim tür ve çeşitlerinin Antalya ili sahil koşullarında, adaptasyon yeteneklerinin ve performanslarının belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, 67 s., Antalya.
- Avcıoğlu, R. ve Soya, H., 1996, Akdeniz İklimine Uygun Bazı Yeşil Alan Buğdaygillerinde Vejetatif Tohumluk Üretimi İle Vejetasyon Özellikleri Üzerinde Araştırmalar, TÜBİTAK Proje No: TOAG-879, Bornova-İzmir.
- Avcıoğlu R, 1997. Çim Tekniği Yeşil Alanların Ekimi Dikimi ve Bakımı. Ege Üniversitesi Matbaası, 271, Bornova, İzmir.
- Avcıoğlu R, 2014. Çim Ekimi Dikimi Bakımı. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, 332 s., Bornova, İzmir.
- Barış Y, 1996. Yeşil Alan Bitkisi Olarak Kullanılan Bazı Buğdaygillerin Morfolojik ve Agronomik Özellikleri ile Kaplama Dereceleri Üzerinde Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Bornova/İzmir.
- Beşkonaklı F, 1989. Ankara Koşullarında Çim Alanların Başarı Durumu ve TBMM Parkı Örneği. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bread JB, 1973. Turfgrass Science And Culture. Englewood Cliffs, N. J. Pointice Hall, London.
- Ekiz H, Yazgan M, Kendir H, Kardeniz N, 1995. Danimarka Kökenli Bazı İthal Çim Tohumlarında Ankara Koşullarında Yeşil Saha Tesislerinde Kullanılabilecek Türlerin Belirlenmesinde Bazı Morfolojik ve Fenolojik Karakterler Üzerinde Bir Araştırma, A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayın No: 1401, Bilimsel Araştırma ve İnceleme: 781, Ankara.
- Gülümser A, Bozoğlu H, Pekşen E, 2013. Araştırma ve Deneme Metodları. OMÜ, Ziraat Fakültesi Ders Kitabı No: 48 (3. Baskı), 264 s, Samsun.
- Güneylioğlu H, 2007. Çok Yıllık Çim (*Lolium perenne* L.) Çeşitlerinin Ankara Koşullarında Tarımsal Özelliklerinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Ankara.
- Hope, F., 1978. Turf Culture. Blandford Pres Ltd., 294, Great Britain.
- Hosafıoğlu İ, Yılmaz İH, 2017. Bazı Serin İklim Bitkilerinin Çim Kaliteleri ve Kaplama Derecelerinin Belirlenmesi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(1): 301-308.
- Kesemen E, 2008. Kırmızı yumak (*Festuca rubra* L.)'ın değişik azotlu gübreleme koşullarında bitkisel özelliklerinin değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 55, Ankara.

- Oral N, 1998. Bursa Bölgesinde Tesis Edilecek Çim Alanları için Tohum Karışımları, Ekim Oranları ve Azotlu Gübre Uygulaması Üzerinde Araştırmalar. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı, 216 s., Bursa.
- Oral, N., ve Açıkgöz, E., 1999. Bursa Bölgesinde Tesis Edilecek Çim Alanlar İçin Tohum Karışımları, Ekim Oranları ve Azotlu Gübre Uygulamaları Üzerinde Araştırmalar. Türkiye 3. Tarla Bitkileri Kongresi, 155-159, Adana.
- Öztarhan H, 2010. Serin iklimlerde kullanılan bazı buğdaygillerin ege sahil kuşağına adaptasyonu üzerine araştırmalar. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, 54 s., İzmir.
- Petersen M, 1991. Management of Turf and Football Fields. DLF Trifolium Publications, Roskilde, Denmark.
- Uzun G, 1989. Peyzaj Mimarlığında Çim Ve Spor Alanları Yapımı. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yardımcı Ders Kitabı, No:20, 170, Adana.
- Varoğlu H, 2010. Bazı yeni Kamışsı Yumak (*Festuca arundinaceae*), Çayır Salkım Otu (*Poa pratensis*), Kırmızı Yumak (*Festuca rubra*), İngiliz Çimi (*Lolium perenne*) çeşitlerinin çim alan özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı, 58 s., İzmir.
- Yazgan E, Ekiz H, Karadeniz N, Kendir H, 1992. Ankara Koşullarında Yeşil Saha tesisinde Kullanılabilecek Önemli Çim Türlerinin Belirlenmesinde Bazı Morfolojik ve Fenolojik Karakterler Üzerinde Bir Araştırma. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları:1277, 37, Ankara.
- Zorer Ş, Andiç N, Yılmaz İH, 2009. Van Bölgesinde Tesis Edilecek Çim Alanları İçin Uygun Tür Karışımlarının Saptanması. YYÜ. Tar. Bil. Dergisi, 19(2): 91101.

Ekim Zamanları ve Bor Uygulamalarının Çörekotu (*Nigella sativa* L.) Bitkisinin Agronomik ve Kalite Özellikleri Üzerine Etkileri

Erman BEYZİ^{1*}, Şafak KARER¹

ÖZET: Bu çalışma çörekotu bitkisinde farklı ekim zamanı ve bor uygulamalarının agronomik ve kalite özellikleri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Deneme, Erciyes Üniversitesi Tarımsal Araştırma ve Uygulama Merkezi arazisinde bulunan deneme alanında 2019 yılında ‘‘Tesadüf Bloklarında Bölünmüş Parseller Deneme Desenine’’ göre üç tekerrürlü olarak kurulmuştur. Çalışmada dört farklı ekim zamanı (25 Mart, 10 Nisan, 25 Nisan, 10 Mayıs) ve üç farklı bor dozu (Kontrol, 250, 500 ve 750 g da⁻¹) denenmiştir. Hasat sonrası bitkide tarımsal özellikler olarak bitki boyu, bitkide kapsül sayısı, kapsülde tohum sayısı, bin tohum ağırlığı, tohum verimi, biyolojik verim ile kalite özellikleri olarak sabit yağ oran ve bileşenleri belirlenmiştir. Araştırma sonunda bitki boyu 33.13-56.60 cm, tohum verimi 57.03-103.73 kg da⁻¹, sabit yağ oranı % 11.94-19.34 ve bin tohum ağırlığı ise 2.46-2.70 g arasında değişiklik göstermiştir. Ayrıca çörekotu bitkisinde 7 adet bileşen belirlenmiş olup, bunlardan linoleik asit major bileşen olarak ortaya çıkmıştır. Bu bileşeni sırasıyla oleik ve palmitik asit izlemiştir. Çörekotu bitkisinde linoleik asit oranı % 56.83-60.82 arasında değişkenlik göstermiştir. Çalışma sonucunda en yüksek tohum veriminin elde edildiği 25 Nisan ekim tarihi Kayseri ekolojik koşullarında yazlık ekimlerde çörekotu yetiştiriciliği için uygun olduğu söylenebilir.

Anahtar kelimeler: *Nigella sativa*, çörekotu, bor, ekim zamanı, tohum verimi, sabit yağ bileşenleri

Effects of Sowing Times and Boron Applications on Agronomic and Quality Properties of Black Cumin (*Nigella sativa* L.)

ABSTRACT: This study was carried out to determine the effects of different sowing time and boron applications on agronomic and quality characteristics in black cumin. Field experiment was setup in 2019 over the experimental fields of Erciyes University Agricultural Research and Implementation Center, in ‘‘randomized split blocks design’’ with 3 replications. Four different sowing times (25 March, 10 April, 25 April, 10 May) and three different boron doses (Control, 250, 500 and 750 g da⁻¹) were tried in this study. Plant size, number of capsules in the plant, number of seeds in the capsule, thousand seed weight, seed yield, biological yield and quality characteristics were determined as agricultural properties in post-harvest plant. At the end of the research, plant height varied between 33.13-52.27 cm, seed yield varied between 57.03-103.73 kg da⁻¹, crude oil content varied between 11.94-22.40% and thousand seed weight varied between 2.46-2.70 g. In addition, seven components have been identified in black cumin, and linoleic acid has emerged as a major component. This component was followed by oleic and palmitic acid, respectively. The linoleic acid content in black cumin varied between 56.83-60.82%. As a result of this study, it can be said that the highest seed yield was obtained on 25 April sowing time and it is suitable for black cumin cultivation in summer plantings under Kayseri ecological conditions.

Keywords: *Nigella sativa*, black cumin, boron, sowing time, seed yield, fatty acid compositions

¹Erman BEYZİ (Orcid ID:0000-0002-0248-4227), Şafak KARER (Orcid ID:0000-0002-7186-1364), Erciyes Üniversitesi, Seyrani Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Kayseri, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Erman BEYZİ, e-mail: ebeyzi@erciyes.edu.tr

GİRİŞ

Tek yıllık ve *Ranunculaceae* familyasına ait olan çörekotu bitkisinin tohumları özel kokulu olup baharat olarak değerlendirilmektedir. Tohumları, baharat olarak kullanılması yanında ilaç, parfümeri ve kozmetik sanayinde de değerlendirilir (Ceylan,1997). Çörekotunun bir diğer kullanım alanı ise modern tıptır. Bu alanda bitkinin sabit ve uçucu yağlarından ağrı kesici, antibakteriyel, antitümör, sakinleştirici, yatıştırıcı ve kan şekeri düşürücü etkileri nedeniyle yararlanılmaktadır (Nickavar ve ark., 2003; Kılıç ve Arabacı, 2016).

Çörekotu bitkisi 20-60 cm kadar boylanan, dik gelişen, yaprakları ana sap üzerinde almaşıklı olarak dizilmiş, otsu bir bitkisidir (Baydar, 2009). Siyah renkte olan tohumlarında sabit yağ (yaklaşık % 30-40), protein, karbonhidrat, saponin, uçucu yağ, vitaminler, mineral maddeler bulunur (Akgül, 1993). 2019 yılı verilerine bakıldığında ülkemizde çörekotu Afyonkarahisar, Ankara, Antalya, Balıkesir, Burdur, Bursa, Denizli, Eskişehir, Isparta, Kahramanmaraş, Karabük, Kars, Kayseri, Kilis, Konya, Kütahya, Kırşehir, Malatya, Muğla, Nevşehir, Samsun, Sivas, Uşak, Yozgat ve Çorum illerinde yetiştirilmektedir (Anonim, 2020).

Yapılan çalışmalar ekim zamanının çörekotu bitkisinde verim, verim ögeleri ve kalite özellikleri üzerinde etkili olduğunu bildirmiştir. Şahin (2013), yaptığı çalışmada farklı ekim zamanlarının çörekotunda birçok tarımsal özellik üzerine etkili olduğunu, Özel ve ark. (2002) Şanlıurfa kıraç koşullarında farklı ekim zamanlarının çörekotu türlerinin verim ve bazı tarımsal karakterlerine etkisini belirlediği bir çalışmada en uygun ekim zamanının kasım ayı ortası olduğunu, Kılıç ve Arabacı (2016), Aydın ekolojik koşullarında yürüttüğü çalışmada çörek otu bitkisinin en uygun ekim zamanının 15 Ekim tarihi olduğunu ve en uygun ekim zamanının belirlendiği diğer bir çalışmada ise İnan (2020), bitkinin yarı kurak koşullarda sonbahar ilk yağışlarından hemen sonra ve kasım ayı içerisinde yapılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Bir mikro besin elementi olan bor, bitki gelişimi için gerekli olmakla beraber, bitki organlarında hareketi kısıtlıdır ve immobil bir özelliكتedir (Günlü, 2004). Yapılan çalışmalarda borun bitkide karbonhidrat metabolizmasında, hücre duvarında ve plasma membranlarının dayanıklılığında, fenolik bileşiklerin metabolizmasında önemli rol üstlendiği ve bor eksikliğinde plasma mebran sağlamlığının azaldığı belirtilmiştir. Ayrıca soğuk zararında bitkiye dayanıklılık kazandırdığı da yapılan çalışmalarda vurgulanmaktadır (Huang ve ark., 2005; Çakmak ve Römheld, 1997; Gupta ve ark., 2013; Işık, 2017). Bor elementinin çörekotu bitkisinde verim veya kalite özellikleri üzerinde etkilerinin belirlendiği çalışmalar yürütülmüştür (Mohammadi ve ark., 2016; Bhutia ve ark., 2015). Bu çalışmalarda, Mohammadi ve ark. (2016) yapraktan uyguladığı mikro elementlerin (Fe, Zn, B ve Mn) çörekotu bitkisinde kışık ekimde yağ oranı ve yağ asitleri bileşimi üzerine etkisini incelemiş ve bor uygulamasında yağ oranının % 34.35 olarak gerçekleştiğini ve yağ asitlerinde linoleik, oleik ve palmitik asit oranlarının sırasıyla % 58.03, % 23.12 ve % 11.68 olduğunu bildirmişlerdir.

Yapılan bu çalışmada, önemli bir tıbbi ve aromatik bitki olan çörekotunun verim ve bazı tarımsal karakterleri üzerine farklı ekim zamanlarının ve bor uygulamasının etkilerini belirlemek amaçlanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Kullanılan Materyal ve Denemenin Kurulması

Denemenin kurulmasında materyal olarak Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından tescil edilen Çameli çörekotu çeşidi kullanılmıştır. Arazi denemesi, Erciyes Üniversitesi Tarımsal Araştırma ve Uygulama Merkezi arazisinde bulunan deneme alanında 2019 yılında Tesadüf Bloklarında Bölünmüş Parseller Deneme Desenine göre üç tekerrürlü olarak kurulmuştur. Çalışmada çörek otu bitkisinde dört farklı ekim zamanı ana parsellere (25 Mart, 10 Nisan, 25 Nisan, 10 Mayıs) ve üç farklı

bor dozu ise alt parsellere (Kontrol, 250, 500 ve 750 g da⁻¹) uygulanmıştır. Denemede parseller 4 m uzunluğunda, 30 cm sıra aralığında ve 5 sıra olarak kurulmuştur. Buna göre bir parsel alanı 6 m², toplam ekim alanı ise 288 m² olarak ortaya çıkmıştır. Çizelge 1'de denemenin kurulduğu alanın iklim ve toprak özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1. Deneme kurulan arazinin iklim ve toprak özellikleri

Aylar	İklim özellikleri			Toprak özellikleri		
	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama Nispi Nem (%)	Toplam Yağış (mm)			
Mart	5.6	59.3	29.3	pH		8.00
Nisan	9.2	66.4	41.1	EC (mmhos cm ⁻¹)		0.076
Mayıs	17.4	50.2	25.7	Kireç (%)		2.67
Haziran	21.3	55.8	54.0	Organik madde (%)		0.85
Temmuz	21.6	49.1	35.3	Fosfor (kg da ⁻¹)		0.97
Ağustos	22.3	50.3	-	Tekstür		Killi

Bor Uygulaması ve Bakım İşlemleri

Bitkiler çiçeklenmeye gelmeden önce belirlenen dozlarda (Kontrol, 250, 500 ve 750 g da⁻¹, H₃BO₃ formunda) bor ikiye bölünerek yapraklara pülverizatör ile uygulanmıştır. Ayrıca deneme alanında bitkilere dekara 4 kg azot ve 4 kg fosfor gelecek şekilde taban ve üst gübreleme yapılmış olup, gerekli görüldüğünde bitkilerin su ihtiyacı damla sulama ile verilmiştir. Arazide bitkinin vejetasyon süresi boyunca devamlı el ve çapa ile yabancı ot temizliği yapılmış ve bitkilerin yabancı otlardan arındırılmış bir şekilde hasada gelmesi sağlanmıştır.

Hasatların Yapılması ve Verilerin Alınması

Hasatlar, kapsüllerdeki tohumlar tamamen olgunlaştığında el ile orta üç sıradan yapılmıştır. Bitki boyu, bitkide kapsül sayısı ve kapsülde tohum sayısı her parselde rastgele seçilen 10 adet bitkide belirlenmiştir. Biyolojik verim için parseldeki tüm bitkiler, tohum verimi için ise parseldeki tüm tohumlar alınmış, tartılmış ve elde edilen veriler dekara çevrilmiştir. Bin tohum ağırlığını belirlemek için her parselden alınan tohumlardan 4 adet 100 tohum sayılmış ve elde edilen değerlerin ortalaması alınarak 10 ile çarpılmıştır. Sabit yağ oranı AOAC (1990) 'da belirtilen yöntemine uygun olarak belirlenmiştir. Sabit yağ bileşenleri ise gaz kromatografi (Schimadzu, GC 2010 plus) cihazı kullanılarak tespit edilmiştir. Analiz sırasında FID detektör (Alev İyonizasyon Dedektörü (Schimadzu)) ve Restek kolon (60 m, 0.53 mm, RTX-200) kullanılmıştır. Sabit yağ bileşenleri, yağ asitlerini içeren standartların (FAME mix 37 components; Matreya, Sigma-Aldrich, Milan, Italy) piklerinin tutulma zamanları dikkate alınarak eşleştirme yapılarak belirlenmiştir. Çizelge 2'de deneme alanında gerçekleştirilen ekim, bor uygulama, çiçeklenme ve hasat tarihleri verilmiştir.

Çizelge 2. Denemede gerçekleşen ekim, bor uygulama, çiçeklenme ve hasat tarihleri

Ekim	2019 Yılı		Çiçeklenme	Hasat
	Bor uygulaması			
	1. uygulama	2. uygulama		
25 Mart	20 Mayıs	28 Mayıs	20 Haziran	31 Temmuz
10 Nisan	28 Mayıs	03 Haziran	25 Haziran	06 Ağustos
25 Nisan	14 Haziran	21 Haziran	02 Temmuz	15 Ağustos
10 Mayıs	30 Haziran	07 Temmuz	24 Temmuz	31 Ağustos

Verilerin Analizi ve Değerlendirilmesi

Deneme sonunda bitki boyu, bitkide kapsül sayısı, kapsülde tohum sayısı, bin tohum ağırlığı, tohum verimi, biyolojik verim ve sabit yağ oranı ile ilgili veriler, MSTAT-C istatistik programı kullanılarak varyans analizine tabi tutulmuş ve ortalamalar arasındaki farklılıklar Duncan testi ile karşılaştırılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bitki Boyu (cm) ve Dal Sayısı (adet bitki⁻¹)

Çalışmada bor dozlarının bitki boyu üzerine etkisi önemsiz bulunmuşken, ekim zamanı ve ekim zamanı x bor dozları interaksyonunun etkisi ise önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Ekim zamanı ve bor dozu interaksyonuna göre çörekotu bitkisinde bitki boyu 33.13-56.60 cm arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek bitki boyu 25 Mart ekiminde ve bor dozu uygulanmayan parsellerden, en düşük ise 10 Mayıs ekiminde 250 g da⁻¹ bor dozundan alınmıştır. Ekim zamanları karşılaştırıldığında bitki boyu, 25 Mart ekiminde 49.00 cm, 10 Nisan ekiminde 46.60 cm, 25 Nisan ekiminde 50.53 cm ve 10 Mayıs ekiminde ise 35.88 cm olarak belirlenmiştir. Bitki boyu bakımından ilk üç ekim zamanı (25 Mart, 10 Nisan ve 25 Nisan) arasında istatistiksel olarak farklılık görülmemiş ve bu ekim zamanlarında en yüksek bitki boyu değerleri elde edilmiştir. Bor dozları karşılaştırıldığında ise bitki boyu bor uygulanmayan kontrol parsellerinde 46.96 cm, 250 g da⁻¹ dozunda 43.69 cm, 500 g da⁻¹ dozunda 45.53 cm ve 750 g da⁻¹ dozunda ise 45.83 cm olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 3).

Çalışmada bor dozları ve ekim zamanının dal sayısı üzerine etkisi önemsiz, ekim zamanı x bor dozları interaksyonu ise önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Ekim zamanı ve bor dozu interaksyonuna göre çörekotu bitkisinde dal sayısı 2.20-3.60 adet bitki⁻¹ arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek dal sayısı 25 Nisan ekiminde ve bor dozu uygulanmayan parsellerden, en düşük ise 25 Mart ekiminde 500 g da⁻¹ bor dozundan alınmıştır. Ekim zamanları karşılaştırıldığında dal sayısı, 25 Mart ekiminde 2.42 adet bitki⁻¹, 10 Nisan ekiminde 2.88 adet bitki⁻¹, 25 Nisan ekiminde 3.18 adet bitki⁻¹ ve 10 Mayıs ekiminde ise 2.86 adet bitki⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bor dozları karşılaştırıldığında ise dal sayısı, kontrol, 250 g da⁻¹, 500 g da⁻¹ ve 750 g da⁻¹ dozlarında sırasıyla 2.83, 2.68, 2.89 ve 2.93 adet bitki⁻¹ olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 3).

Kapsül Sayısı (adet bitki⁻¹) ve Kapsülde Tohum Sayısı (adet kapsül⁻¹)

Çalışmada bor dozları ve ekim zamanı x bor dozları interaksyonunun kapsül sayısı üzerine etkisi önemsiz bulunmuşken, ekim zamanının etkisi ise önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Ekim zamanı ve bor dozu interaksyonuna göre çörekotu bitkisinde kapsül sayısı 2.83-5.40 adet bitki⁻¹ arasında değişiklik göstermiştir. Ekim zamanları karşılaştırıldığında kapsül sayısı, 25 Mart ekiminde 2.97 adet bitki⁻¹, 10 Nisan ekiminde 3.65 adet bitki⁻¹, 25 Nisan ekiminde 4.46 adet bitki⁻¹ ve 10 Mayıs ekiminde ise 4.61 adet bitki⁻¹ olarak belirlenmiştir. Son iki ekim zamanında (25 Nisan ve 10 Mayıs) kapsül sayısı, ilk iki ekim zamanına (25 Mart ve 10 Nisan) göre artış göstermiş, 25 Nisan ve 10 Mayıs ekimleri arasında kapsül sayısı bakımından istatistiki olarak farklılık görülmemiş ve en yüksek kapsül sayısı değerleri elde edilmiştir. Bor dozları karşılaştırıldığında ise kapsül sayısı, kontrol, 250 g da⁻¹, 500 g da⁻¹ ve 750 g da⁻¹ dozlarında sırasıyla 3.78, 3.70, 4.18 ve 4.03 adet bitki⁻¹ olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 3)..

Çalışmada bor dozlarının kapsülde tohum sayısı üzerine etkisi önemsiz bulunmuşken, ekim zamanı ve ekim zamanı x bor dozları interaksyonunun etkisi ise önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Ekim zamanı ve bor dozu interaksyonuna göre çörekotu bitkisinde kapsülde tohum sayısı 52.21-78.96 adet kapsül⁻¹ arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek kapsülde tohum sayısı 25 Nisan ekiminde ve 500 g da⁻¹ bor dozundan, en düşük ise 10 Mayıs ekiminde ve 250 g da⁻¹ bor dozundan alınmıştır. Ekim zamanları karşılaştırıldığında kapsülde tohum sayısı, 25 Mart ekiminde 63.93 adet kapsül⁻¹, 10 Nisan ekiminde 67.72 adet kapsül⁻¹, 25 Nisan ekiminde 73.08 adet kapsül⁻¹ ve 10 Mayıs ekiminde ise 57.49 adet kapsül⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bor dozları karşılaştırıldığında ise kapsülde tohum sayısı bor uygulanmayan kontrol parsellerinde 65.15 adet kapsül⁻¹, 250 g da⁻¹ dozunda 63.97 adet kapsül⁻¹, 500 g da⁻¹ dozunda 65.13 adet kapsül⁻¹ ve 750 g da⁻¹ dozunda ise 67.97 adet kapsül⁻¹ olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 3).

Bin Tohum Ağırlığı (g)

Çalışmada bor dozları, ekim zamanı ve ekim zamanı x bor dozları interaksiyonunun bin tohum ağırlığı üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur. Ekim zamanı ve bor dozu interaksiyonuna göre çörekotu bitkisinde bin tohum ağırlığı 2.46-2.70 g arasında değişiklik göstermiştir. Ekim zamanları karşılaştırıldığında bin tohum ağırlığı, 25 Mart ekiminde 2.50 g, 10 Nisan ekiminde 2.55 g, 25 Nisan ekiminde 2.66 g ve 10 Mayıs ekiminde ise 2.64 g olarak belirlenmiştir. Bor dozları karşılaştırıldığında ise bin tohum ağırlığı, kontrol, 250 g da⁻¹, 500 g da⁻¹ ve 750 g da⁻¹ dozlarında sırasıyla 2.59, 2.58, 2.59 ve 2.59 g olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 3).

Biyolojik Verim (kg da⁻¹) ve Tohum Verimi (kg da⁻¹)

Çalışmada bor dozları ve ekim zamanı x bor dozları interaksiyonunun biyolojik verim üzerine etkisi önemsiz bulunmuşken, ekim zamanının etkisi ise önemli bulunmuştur (p<0.05). Ekim zamanı ve bor dozu interaksiyonuna göre çörekotu bitkisinde biyolojik verim 226.67-541.29 kg da⁻¹ arasında değişiklik göstermiştir. Ekim zamanları karşılaştırıldığında biyolojik verim, 25 Mart ekiminde 474.16 kg da⁻¹, 10 Nisan ekiminde 493.86 kg da⁻¹, 25 Nisan ekiminde 506.85 kg da⁻¹ ve 10 Mayıs ekiminde ise 280.21 kg da⁻¹ olarak belirlenmiştir. Biyolojik verim bakımından ilk üç ekim zamanı (25 Mart, 10 Nisan ve 25 Nisan) arasında istatistiksel olarak farklılık görülmemiş ve özellikle 10 Mayıs tarihinde ekilen parsellerde biyolojik verim oldukça düşüş göstermiştir. Bor dozları karşılaştırıldığında ise biyolojik verim, kontrol, 250 g da⁻¹, 500 g da⁻¹ ve 750 g da⁻¹ dozlarında sırasıyla 445.35, 422.64, 421.40 ve 465.69 kg da⁻¹ olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 3).

Çalışmada bor dozları ve ekim zamanı x bor dozları interaksiyonunun tohum verimi üzerine etkisi önemsiz bulunmuşken, ekim zamanının etkisi ise önemli bulunmuştur (p<0.05). Ekim zamanı ve bor dozu interaksiyonuna göre çörekotu bitkisinde tohum verimi 57.03-103.73 kg da⁻¹ arasında değişiklik göstermiştir. Ekim zamanları karşılaştırıldığında tohum verimi, 25 Mart ekiminde 80.21 kg da⁻¹, 10 Nisan ekiminde 69.70 kg da⁻¹, 25 Nisan ekiminde 101.35 kg da⁻¹ ve 10 Mayıs ekiminde ise 70.10 kg da⁻¹ olarak belirlenmiştir. Çalışmada 25 Nisan ekiminde diğer ekimlere göre daha yüksek tohum verimi elde edilmiştir. Bor dozları karşılaştırıldığında ise tohum verimi, kontrol, 250 g da⁻¹, 500 g da⁻¹ ve 750 g da⁻¹ dozlarında sırasıyla 80.45, 76.57, 77.25 ve 87.08 kg da⁻¹ olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 3).

Sabit Yağ Oranı (%)

Çalışmada bor dozları ve ekim zamanı x bor dozları interaksiyonunun sabit yağ oranı üzerine etkisi önemsiz bulunmuşken, ekim zamanının etkisi ise önemli bulunmuştur (p<0.05). Ekim zamanı ve bor dozu interaksiyonuna göre çörekotu bitkisinde sabit yağ oranı % 11.94-19.34 arasında değişiklik göstermiştir. Ekim zamanları karşılaştırıldığında sabit yağ oranı, 25 Mart ekiminde % 16.66, 10 Nisan ekiminde % 13.31, 25 Nisan ekiminde % 17.44 ve 10 Mayıs ekiminde ise % 18.19 olarak belirlenmiştir. Bor dozları karşılaştırıldığında ise sabit yağ oranı, kontrol, 250 g da⁻¹, 500 g da⁻¹ ve 750 g da⁻¹ dozlarında sırasıyla % 17.08, % 16.36, % 16.21 ve % 15.96 olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 3).

Sabit Yağ Bileşenleri (%)

Ekim zamanı ve bor dozlarına göre yapılan sabit yağ bileşen analizine göre çörekotu bitkisinde 7 adet bileşen belirlenmiştir. Bu bileşenlerden linoleik asit ilk sırada yer alırken, bu bileşeni sırasıyla oleik ve palmitik asit izlemiştir.

Ekim zamanı ve bor dozu interaksiyonuna göre çörekotu bitkisinde linoleik asit oranı % 56.83-60.82 arasında değişkenlik göstermiştir. En yüksek linoleik asit oranı 25 Nisan tarihinde ekilen ve 250 g da⁻¹ bor uygulanan parsellerden elde edilmiştir. Ekim zamanları karşılaştırıldığında linoleik asit oranı, 25 Mart ekiminde % 59.17, 10 Nisan ekiminde % 59.83, 25 Nisan ekiminde % 60.55 ve 10 Mayıs

ekiminde ise % 59.78 olarak belirlenmiştir. Bor dozları karşılaştırıldığında ise en yüksek linoleik asit oranı (% 60.21) 750 g da⁻¹ bor uygulanan parsellerden elde edilmiştir.

Çizelge 3. Ekim zamanı (EZ) ve bor dozlarına göre çörekotu bitkisinde incelenen özelliklerde oluşan ortalama değerler

Ekim Zamanı	Bor dozları (g da ⁻¹)				Ortalama
	Kontrol	250	500	750	
Bitki boyu (cm)					
25 Mart	56.60 a*	46.53 bcd	45.83 cd	47.05 bcd	49.00 a
10 Nisan	44.75 d	45.47 cd	47.93 bcd	48.23 bcd	46.60 a
25 Nisan	50.93 bc	49.63 bcd	52.00 ab	49.53 bcd	50.53 a
10 Mayıs	35.57 ef	33.13 f	36.33 ef	38.50 e	35.88 b
Ortalama	46.96	43.69	45.53	45.83	-
VK (%): 6.36, AÖF (EZ): 6.083, AÖF (int): 4.876					
Dal sayısı (adet bitki⁻¹)					
25 Mart	2.40 cd	2.43 cd	2.20 d	2.63 cd	2.42
10 Nisan	2.77 bcd	2.70 cd	3.00 abc	3.03 abc	2.88
25 Nisan	3.60 a	3.03 abc	3.50 ab	2.60 cd	3.18
10 Mayıs	2.57 cd	2.56 cd	2.87 a-d	3.47 ab	2.86
Ortalama	2.83	2.68	2.89	2.93	-
VK (%): 14.12, AÖF (int): 0.6741					
Kapsül sayısı (adet bitki⁻¹)					
25 Mart	2.87	2.83	2.90	3.27	2.97 c
10 Nisan	3.65	3.50	3.53	3.90	3.65 b
25 Nisan	4.30	4.60	5.40	3.55	4.46 a
10 Mayıs	4.30	3.87	4.87	5.40	4.61 a
Ortalama	3.78	3.70	4.18	4.03	-
VK (%): 17.88, AÖF (EZ): 0.2095					
Kapsülde tohum sayısı (adet kapsül⁻¹)					
25 Mart	58.91 def	62.11 c-f	63.90 b-f	70.80 a-d	63.93 b
10 Nisan	67.21 a-e	65.76 b-e	63.22 b-f	74.67 abc	67.72 ab
25 Nisan	75.45 ab	75.78 ab	78.96 a	62.13 c-f	73.08 a
10 Mayıs	59.02 def	52.21 f	54.44 ef	64.28 b-f	57.49 c
Ortalama	65.15	63.97	65.13	67.97	-
VK (%): 10.21, AÖF (EZ): 5.722, AÖF (int): 11.28					
Bin tohum ağırlığı (g)					
25 Mart	2.51	2.50	2.53	2.46	2.50
10 Nisan	2.51	2.57	2.55	2.55	2.55
25 Nisan	2.64	2.62	2.68	2.68	2.66
10 Mayıs	2.70	2.62	2.58	2.66	2.64
Ortalama	2.59	2.58	2.59	2.59	-
Biyolojik verim (kg da⁻¹)					
25 Mart	461.18	517.62	417.30	500.56	474.16 a
10 Nisan	532.25	451.84	450.05	541.29	493.86 a
25 Nisan	524.08	494.44	496.48	512.41	506.85 a
10 Mayıs	263.89	226.67	321.76	308.52	280.21 b
Ortalama	445.35	422.64	421.40	465.69	-
VK (%): 22.26, AÖF (EZ): 129.3					
Tohum verimi (kg da⁻¹)					
25 Mart	82.26	85.76	57.03	95.81	80.21 b
10 Nisan	64.16	58.21	74.96	81.45	69.70 b
25 Nisan	103.73	100.92	101.23	99.52	101.35 a
10 Mayıs	71.67	61.39	75.79	71.55	70.10 b
Ortalama	80.45	76.57	77.25	87.08	-
VK (%): 18.77, AÖF (EZ): 15.52					
Sabit yağ oranı (%)					
25 Mart	19.34	15.53	16.73	15.06	16.66 a
10 Nisan	13.34	11.94	14.33	13.64	13.31 b
25 Nisan	17.38	18.76	17.24	16.38	17.44 a
10 Mayıs	18.28	19.20	16.52	18.77	18.19 a
Ortalama	17.08	16.36	16.21	15.96	-
VK (%): 12.12, AÖF (EZ): 3.277					

*: Harfler % 5 düzeyinde farklı grupları göstermektedir, VK: Varyasyon katsayısı, AÖF: Asgari önemli fark

Ekim zamanı ve bor dozu interaksiyonuna göre çörekotu bitkisinde oleik asit oranı % 20.23-24.56 ve palmitik asit oranı ise % 11.75-12.62 arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek oleik asit oranı %

24.56 ile 25 Mart tarihinde ekilen ve 250 g da⁻¹ bor uygulanan parsellerde, en yüksek palmitik asit oranı ise % 12.62 ile 25 Nisan tarihinde ekilen ve 500 g da⁻¹ bor uygulanan parsellerde ortaya çıkmıştır (Çizelge 4).

Çizelge 4. Ekim zamanı ve bor dozlarına göre çörekotu bitkisinde sabit yağ bileşenlerinde oluşan ortalama değerler (%)

Ekim Zamanı	Bor dozları (g da ⁻¹)				Ortalama
	Kontrol	250	500	750	
Miristik asit (C14:0)					
25 Mart	0.17	0.40	0.22	0.17	0.24
10 Nisan	0.18	0.20	0.18	0.19	0.19
25 Nisan	0.16	0.20	0.17	0.17	0.18
10 Mayıs	0.18	0.19	0.27	0.20	0.21
Ortalama	0.17	0.25	0.21	0.18	
Palmitik asit (C16:0)					
25 Mart	11.81	11.75	12.13	12.14	11.96
10 Nisan	11.90	12.16	12.08	11.98	12.03
25 Nisan	12.16	12.24	12.62	12.28	12.33
10 Mayıs	11.92	11.91	12.35	12.04	12.06
Ortalama	11.95	12.02	12.30	12.11	
Stearik asit (C18:0)					
25 Mart	2.52	2.41	2.34	2.60	2.47
10 Nisan	2.72	2.72	2.63	2.67	2.69
25 Nisan	2.65	2.73	2.79	2.77	2.74
10 Mayıs	2.68	2.86	2.83	2.92	2.82
Ortalama	2.64	2.68	2.65	2.74	
Oleik asit (C18:1)					
25 Mart	21.12	24.56	21.21	20.70	21.90
10 Nisan	21.93	21.14	20.90	20.91	21.22
25 Nisan	20.40	20.23	20.47	20.46	20.39
10 Mayıs	21.21	21.75	21.06	21.25	21.32
Ortalama	21.17	21.92	20.91	20.83	
Linoleik asit (C18:2)					
25 Mart	60.32	56.83	59.28	60.25	59.17
10 Nisan	59.26	59.63	60.15	60.27	59.83
25 Nisan	60.68	60.82	60.23	60.47	60.55
10 Mayıs	60.15	59.56	59.56	59.84	59.78
Ortalama	60.10	59.21	59.81	60.21	
Linolenik asit (C18:3)					
25 Mart	0.36	0.27	0.34	0.34	0.33
10 Nisan	0.33	0.37	0.41	0.35	0.37
25 Nisan	0.38	0.33	0.24	0.34	0.32
10 Mayıs	0.34	0.35	0.40	0.34	0.36
Ortalama	0.35	0.33	0.35	0.34	
Eikosadienoik asit (C20:2)					
25 Mart	3.70	3.78	4.48	3.81	3.94
10 Nisan	3.67	3.78	3.64	3.63	3.68
25 Nisan	3.56	3.45	3.48	3.51	3.50
10 Mayıs	3.60	3.38	3.53	3.40	3.48
Ortalama	3.63	3.60	3.78	3.59	

Yapılan literatür taraması sonucunda çörekotu bitkisinde bor uygulamasının denendiği çok az çalışmaya rastlanmıştır (Mohammadi ve ark., 2016; Bhutia ve ark., 2015). Bu çalışmalarda Mohammadi ve ark. (2016) çörekotunda sabit yağ oranı ve bileşenlerini incelemiş ve yağ oranının % 58.03, linoleik asidin ise majör bileşen olduğunu, bu bileşeni oleik ve palmitik asidin izlediğini bildirmişlerdir. Diğer bir çalışmada Bhutia ve ark. (2015) çörekotunda bor uygulamasının kontrole göre bin tohum ağırlığını, bitki boyunu, dal sayısını ve verimi arttırdığı bildirmişlerdir. Bu çalışmada, çörekotunda yapılan genel çalışmalarda bitki boyu (Özel ve ark., 2002; Şahin, 2013; Kılıç ve Arabacı, 2016; İnan, 2020), dal sayısı (Özel ve ark., 2002; İnan, 2020), kapsül sayısı (Özel ve ark., 2002; Şahin, 2013), kapsülde tohum sayısı (İnan, 2020), bin tohum ağırlığı (Kılıç ve Arabacı, 2016; İnan, 2020) ve tohum verimine (Kılıç ve Arabacı, 2016) ilişkin bildirilen sonuçlar ile benzer bulgular elde edilmiştir.

SONUÇ

Farklı ekim zamanı ve bor uygulamalarının çörekotu bitkisinin agronomik ve kalite özellikleri üzerine etkilerinin belirlendiği çalışmada çörekotu bitkisinde ekim zamanlarının bitki boyu, kapsül sayısı, kapsülde tohum sayısı, biyolojik verim, tohum verimi ve sabit yağ oranı üzerinde ve ekim zamanı x çörekotu interaksyonunun ise bitki boyu, dal sayısı ve kapsülde tohum sayısı üzerinde istatistiksel olarak önemli olduğu ve bor uygulamalarının ise önemsiz olduğu belirlenmiştir. Ekim zamanında kapsül sayısı ve sabit yağ oranı dışında incelenen tüm özelliklerde 25 Nisan ekimi ön plana çıkmıştır. Ayrıca major bileşen olan linoleik asit oranında da aynı sonuçlar ortaya çıkmıştır. Tüm sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde en yüksek tohum veriminin elde edildiği 25 Nisan ekim tarihi Kayseri ekolojik koşullarında yazlık ekimlerde çörekotu yetiştiriciliği için önerilebilir.

KAYNAKLAR

- Akgül A, 1993. Baharat Bilimi ve Teknolojisi. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları No:15.Ankara. sayfa: 72-74.
- Anonim, 2020. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Bitkisel üretim istatistikleri verileri, Erişim Tarihi: 08.04.2020.
- AOAC, 1990. Official Methods of Analysis (15th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Inc., Arlington, Virginia, USA.
- Baydar H, 2009. Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Bilimi ve Teknolojisi Kitabı. Genişletilmiş 3. Baskı. No: 51 Sayfa 229-230.
- Bhutia KC, Bhandari S, Chatterjee R, Bhutiaand SO, Gurung N, 2015. Integrated micronutrient spray on yield assessment of black cumin (*Nigella sativa*) in Nadia district of West Bengal. Journal Crop and Weed, 11(Special Issue): 205-209.
- Ceylan A, 1997. *Tıbbi Bitkiler II (Uçucu Yağ Bitkileri)*. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü. Ege Üniversitesi Basımevi, Bornova-İZMİR.
- Çakmak İ, Römheld V, 1997. Boron Deficiency-Induced Impairments of Cellular Functions in Plants. Plant and Soil, 193 (1): 71-83.
- Gupta UC, Solanki HA, 2013. Impact of Boron Deficiency On Plant Growth. International Journal of Bioassays, 2 (07): 1048-1050.
- Günlü H, 2004. Bor Uygulamasının Bazı Haşhaş (*Papaver somniferum* L.) Çeşitlerinin Verim ve Kalitesi Üzerine Etkisi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Huang L, Ye Z, Bell RW, Dell B, 2005. Boron Nutrition and Chilling Tolerance of Warm Climate Crop Species. Annals of Botany, 96 (5): 755-767.
- Işık M, 2017. Sera Koşullarında Farklı Bor Uygulamalarının Patates Bitkisinde Büyüme Ve Yeşil Aksam Bor Konsantrasyonuna Etkisinin Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- İnan M, 2020. Yarı Kurak Koşullarda Ekim Zamanlarının Çörekotu (*Nigella sativa* L.) Verim ve Verim Özelliklerine Etkisi. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 7 (1): 32-37.
- Kılıç C, Arabacı O, 2016. Çörek Otu (*Nigella sativa* L.)'nda Farklı Ekim Zamanı ve Tohumluk Miktarının Verim ve Kaliteye Etkisi. Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 13 (2): 49 – 56.
- Mohammadi KS, Rahimi A, Zartoshti MR, 2016. The effect of micronutrients (Fe, Zn, B, and Mn) applied to the leaf on oil content and fatty acid composition of black cumin (*Nigella sativa* L.) in winter sowing condition. ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 4 (2): 87-93.
- Nickavar B, Mojab F, Javidni K, Amoli MAR, 2003. Chemical Composition of the Fixed and Volatile Oils of *Nigella Sativa* L. from Iran. Zeitschriftfür Naturforschung, 58 (9): 629-631.
- Özel A, Demirbilek T, Güler İ, 2002. Harran Ovası Kuru Koşullarında Farklı Ekim Zamanlarının Çörekotu Türleri (*Nigella* spp.)'nin Verim ve Bazı Tarımsal Karakterlerine Etkisi. Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 6 (3-4): 81-90.
- Şahin B, 2013. Farklı Ekim Zamanlarında Yetiştirilen Bazı Tıbbi Bitkilerin Verim ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Konya.

Bazı Anason (*Pimpinella anisum* L.) ve Tatlı Rezene (*Foeniculum vulgare* Mill. var. *dulce*) Populasyonlarının Uçucu Yağ Bileşenlerinin Belirlenmesi

Hülya DOĞAN^{1*}

ÖZET: Anason (*Pimpinella anisum* L.) ve tatlı rezene (*Foeniculum vulgare* Mill. var. *dulce*) ülkemizde yoğun olarak tarımı yapılan ve ekonomik önemi olan tıbbi ve aromatik bitkiler arasında yer almaktadır. Bu çalışmada farklı bölgelerden temin edilen anason ve tatlı rezene populasyonlarına ait meyvelerin uçucu yağ oranları ile bileşenlerini belirlemek amaçlanmıştır. Hidro-distilasyon yöntemi kullanılarak uçucu yağ elde edilmiştir. GC / MS yöntemi ile de uçucu yağ bileşenleri belirlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre, uçucu yağ oranı anason meyvelerinde 3.24 ± 0.03 - 3.48 ± 0.04 , tatlı rezene meyvelerinde ise 2.37 ± 0.10 - 3.24 ± 0.10 arasında bulunmuştur. Her iki türün uçucu yağ bileşenlerinde *trans*-anethol en yüksek oranda tespit edilmiştir. *Trans*-anethol oranı, anason populasyonlarında (85.22 ± 3.98 - 97.23 ± 0.18), tatlı rezene (81.63 ± 3.79 - 92.64 ± 1.90) populasyonlarına göre daha yüksek oranda bulunmuştur. Anason ve tatlı rezene uçucu yağında yüksek oranda bulunan *trans*-anetholden sonra en fazla görülen bileşenlerin estragol, *L*-fenkhon ve limonen olduğu belirlenmiştir. Bu dört ana bileşenle birlikte anason ve tatlı rezene uçucu yağında yedi oksijenli monoterpen ve sekiz monoterpen hidrokarbon olduğu tespit edilmiştir. En yüksek *trans*-anethol oranı tatlı rezenede Konya-1 (92.64 ± 1.90) populasyonundan, anason için ise Burdur (97.23 ± 0.18) populasyonundan elde edilmiştir. Anason ve rezenede yeni çeşit geliştirme amacıyla ıslah çalışmalarında bu populasyonlar başlangıç materyali olarak kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Anason, tatlı rezene, *trans*-anethol, uçucu yağ

Determination of Essential Oil Components of Some Anise (*Pimpinella anisum* L.) and Sweet Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill. var. *dulce*) Populations

ABSTRACT: Anise (*Pimpinella anisum* L.) and sweet fennel (*Foeniculum vulgare* Mill. var. *dulce*) are among the medicinal and aromatic plants cultivated in our country and of economic importance. This study was carried out to investigate the effects of anise and sweet fennel populations on essential oil ratios and components. Essential oils were obtained by using hydro-distillation method. Essential oil components were also examined by GC / MS method. According to the findings, the essential oil rate obtained from anise fruits was between 3.24 ± 0.03 - $3.48\pm 0.04\%$, while it was found between 2.37 ± 0.10 - $3.24\pm 0.10\%$ in sweet fennel populations. *Trans*-anethole was found at the highest rate in the essential oil components of both species. The rates of *trans*-anethole detected in anise (85.22 ± 3.98 - $97.23\pm 0.18\%$) populations were found to be higher than that of sweet fennel (81.63 ± 3.79 - $92.64\pm 1.90\%$). After *trans*-anethole, which is highly found in anise and sweet fennel essential oil, the most common components were determined to be estragole, *L*-fenkhon and limonene. Along with these four main components, anise and sweet fennel essential oils have been found to contain seven oxygen monoterpen and eight monoterpen hydrocarbons. The highest *trans*-anethole ratio was obtained from Konya-1 ($92.64\pm 1.90\%$) population in sweet fennel and Burdur ($97.23\pm 0.18\%$) population for anise. These populations can be used as starting material in breeding studies for the purpose of developing new varieties in the future for anise and sweet fennel.

Keywords: Anise, fennel, *trans*-anethole, essential oil

¹Hülya DOĞAN (Orcid ID: 0000-0003-1970-4123), Yozgat Bozok Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Tohumculuk Programı, Yozgat, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Hülya DOĞAN, e-mail: hulya.dogan@bozok.edu.tr

Geliş tarihi / Received: 06-05-2020

Kabul tarihi / Accepted: 18-06-2020

GİRİŞ

Anason (*Pimpinella anisum* L.) ve tatlı rezene (*Foeniculum vulgare* Mill. var. *dulce*) Apiaceae familyasının üyeleridir. Bu familya kendine özgü aroması ve uçucu yağı ile bilinmektedir (Baydar, 2016). Bu bitkiler ülkemizde yoğun olarak tarımı yapılan ve ekonomik önemi olan tıbbi ve aromatik bitkiler arasında yer almaktadır. Anason Türkiye, İran, Hindistan, Mısır ve dünyanın pek çok sıcak bölgesinde yetişen beyaz çiçekleri ve küçük yeşil ya da sarı tohumları olan tek yıllık bir bitkidir (Besharati-Seidani ve ark., 2005). Türkiye’de anason ile rezene üretiminin büyük bir kısmı Burdur ili ve çevresinde yapılmaktadır. Rezene (*Foeniculum vulgare*) türüne göre tek yıllık, iki yıllık ya da çok yıllık bir bitki olup, Akdeniz bölgesi’ne özgüdür. Dünyada ticari önemi olan rezenenin acı rezene (*Foeniculum vulgare* subsp. *vulgare* var. *vulgare*) ve tatlı rezene (*Foeniculum vulgare* subsp. *vulgare* var. *dulce*) olarak iki farklı kültür varyetesi vardır (El Wahab, 2006; Baydar, 2016). Rezene uçucu yağı solunum yolları rahatsızlıklarında kullanılmaktadır. Rezene yağının ekspektoran etkisinden dolayı özellikle Almanya ve ABD’de öksürüğe karşı kullanılan şurupların bileşimine katılmaktadır (Gruenwald ve ark., 2004). Antimikrobiyal ve mukus sekresyonunu artırıcı özelliklerinden dolayı rezene meyvesi solunum rahatsızlıklarında ve boğazı rahatlatıcı etkisinden dolayı da çay olarak kullanılmaktadır (Puodziuniene ve ark., 2004).

Anason ve rezene sindirim sistemini uyarıcı etkisi ile besinlerin sindirilebilirliğini artırarak hazmı kolaylaştırmaktadır. Rahatlatıcı etkisi ve bebeklerin gaz sancılarının giderilmesinde yaygın olarak tercih edilmektedir. Ayrıca solunum yolu hastalıklarının tedavisinde de sıklıkla kullanılmaktadırlar (Başer ve ark., 2003; Esquivel-Ferriño ve ark., 2012). Anason ve rezene genelde bitkisel çay olarak kullanılmaktadır. Çoğu zaman kaynatılarak ve demlenerek tüketilir.

Bunun dışında, bu bitkilerin meyvelerinden elde edilen uçucu yağın antimikrobiyal ve antioksidan aktiviteleri ile birlikte tıbbi alanda birçok faydaya sahip olduğu belirlenmiştir (Gende ve ark., 2009). Anason ve tatlı rezene meyvelerinden hidro-distilasyon yöntem ile uçucu yağ, solvent ekstraksiyonu yöntemi ile de sabit yağ elde edilmektedir (Baydar 2016). Anason meyvelerinde yaklaşık uçucu yağ oranı %1.5-5 ve rezene tohumlarında ise genellikle %2-6 arasında uçucu yağ oranı bulunmaktadır (Najdoska ve ark., 2010; Ullah ve Honermeier, 2013). Anason ve rezene uçucu yağları *trans*-anethol ana bileşen bakımından zengindirler. Bu bileşen anasonda %75-95 ve rezenede %35-82 arasında bulunmaktadır (Kara, 2015; Raal ve ark., 2012; Baydar 2016). *Trans*-anethol hoş olmayan kokuları giderilmesinde tuvalet sabunu, diş macunu, gargara gibi ürünlerde yaygın olarak kullanılır. Uçucu yağları dışında meyvelerden solvent ekstraksiyonu ile elde edilen sabit yağları da (%20-30) çok önemlidir (Baydar ve Erbaş 2014). Ayrıca gıda sanayinde içecekler, likör, şekerleme, unlu mamuller, sakız ve sigara gibi ürünlerde aroma katkısı olarak kullanılmaktadır (Damjanovic, 2005; Zongliang, 2012).

Bu çalışmada bazı anason ve tatlı rezene populasyonlarının meyvelerinde mevcut olan uçucu yağ bileşenlerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bitki materyali

Araştırmada materyal olarak 2019 yılında Denizli, Burdur, Konya ve Tokat illerinden temin edilen tatlı rezene (*Foeniculum vulgare* Mill. var. *dulce*) ve anason (*Pimpinella anisum* L.) populasyonlarına ait meyve kısımları kullanılmıştır. Rezene populasyonlarından biri Orta Karadeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü’nden (Tokat), diğer ikisi de Konya illerindeki yerel üreticilerden temin edilmiştir. Anason populasyonları ise Denizli, Burdur ve Konya (Ilgın) illerindeki yerel üreticilerden

sağlanmıştır. Çalışma Yozgat Bozok Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü laboratuvarında her bir analiz için 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür.

Uçucu yağ oranı (%)

Uçucu yağ oranı, Clevenger cihazında hidro-distilasyon yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Distilasyon işleminde her bir populasyona ait 20 gram meyve örneği tartılmış Blender yardımıyla öğütülen örneklerin üzerine 200 ml saf su eklendikten sonra 100 °C’ de 3 saat süreyle damıtılmıştır. Elde edilen uçucu yağların miktarları mL olarak ölçülerek ortalamaları alındıktan sonra % olarak oranları (v/w) hesaplanmıştır.

Gaz kromatografisi – kütle spektroskopisi analizi (GC / MS)

Uçucu yağ bileşenleri, Yozgat Bozok Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde GC/MS (Shimadzu, QP2010 ULTRA) cihazı ile C₅-C₄₀ n-alkan standardı, Rtx-2330 (60 m x 0.25 mm, 0.10 µm) kolonu kullanılarak belirlenmiştir. Analizlerde fırın sıcaklık programı dakikada 3 °C artarak 60 °C’den 200 °C’ye ulaşmış ve bu sıcaklıkta 4 dakika kadar bekletilmiştir. Enjektör sıcaklığı 260 °C ve tarama aralığı 35-600 m/z olarak ayarlanmıştır. Taşıyıcı gaz olarak helyum gazı (1.00 ml/dakika, split 1:30) kullanılmıştır. Uçucu yağ bileşikleri kütle spektrumları, tutulma süreleri (RT) ve tutulma indeksleri (RI) ile referans numunelerin FFNSC 1.2 ve W9N11 kütüphanelerinin ve literatürün değerleri karşılaştırılarak tanımlanmıştır.

İstatistiksel Analizler

Araştırmada, elde edilen sayısal veriler SPSS 23 istatistik programı ile varyans analizine tabi tutulmuştur (ANOVA). Veriler, ortalama ± standart sapma (SD) olarak sunulmuştur (Efe ve ark., 2000).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Tatlı rezene populasyonlarının meyvelerinden elde edilen uçucu yağ oranına ait varyans analizi sonucuna göre istatistiki olarak önemli fark bulunmuştur (P<0.01). En yüksek uçucu yağ oranı Konya-2 (%3.24±0.10) ve Konya-1 (%2.87±0.04) populasyonlarından elde edilirken, en düşük oran Tokat populasyonundan (%2.37±0.10) elde edilmiştir. Anwar ve ark., (2009) yapmış oldukları çalışmada rezene meyvelerinde %2.8-3.5 uçucu yağ oranı belirlemişlerdir. Mimica-Dukic ve ark. (2003) rezene meyvelerinden elde ettikleri uçucu yağ oranını %2.82-3.38 arasında, Coşge ve ark. (2008) tatlı rezene tohumlarından %3.00, Özkan ve Gürbüz (2000) %1.93-2.28 ve Keskin ve Baydar (2016) %2.20-3.13 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada elde ettiğimiz sonuçlar literatürle uyumlu bulunmuştur. Ancak, Damjanovic ve ark. (2005) yapmış olduğu çalışmada tatlı rezene tohumları için %5.0 oranında uçucu yağ elde etmişlerdir.

Tatlı rezene meyvelerinden elde edilen toplam uçucu yağ ve bileşen oranları Çizelge 1’de verilmiştir. Uçucu yağ bileşenlerinin %100’ ünü temsil eden 15 bileşik GC-MS yardımıyla tanımlanmıştır. Rezene populasyonları arasında uçucu yağ ana bileşenlerinden *trans*-anethol, estragol ve limonen oranları istatistiki olarak önemli (P<0.01) bulunurken ve *L*-fenkhon oranı istatistiki olarak önemsiz (P<0.01) bulunmuştur. En yüksek *trans*-anehtol değeri Konya-1 (%92.64±1.90) populasyonunda tespit edilmiştir. Konya-2 populasyonu %82.60±0.05 oranla ikinci yüksek değere ulaşırken, en düşük *trans*-anethol değeri %81.63±3.79 oranla Tokat populasyonunda elde edilmiştir. Tokat populasyonu %5.32 ±0.05 oranla en yüksek estragol ana bileşen oranını içermiştir. Konya-2 populasyonu %3.69 ±0.00 oranla bunu takip etmiş ve en düşük estragol oranı %2.97 ±0.10 ile Konya-1 populasyonunda belirlenmiştir. Ayrıca, tespit edilen rezene uçucu yağı bileşenlerinden <% 1 oranında minör bileşenlerde bulunmuştur.

Çizelge 1. Tatlı rezene meyvelerinden elde edilen toplam uçucu yağ ve bileşen oranı (%)

Bileşikler	RI	Konya-1	Konya-2	Tokat
α -pinen	1001	0.095	0.87	1.37
Sabinen	1011	0.045	0.17	0.165
β -Myrcene	1013	0.08	0.30	0.175
Limonen	1016	2.05±1.32	3.94±0.01	5.56±0.49
α -Terpinen	1017	-	0.69	-
β -fellandren	1019	0.045	0.37	0.35
β -osimen	1021	0.28	0.76	0.17
1,8-sineol	1024	0.125	1.36	0.61
β -simen	1029	0.045	1.01	0.80
L-Fenkhon	1054	0.61±0.09	1.35±0.00	1.59±0.72
Estragol	1071	2.97±0.10	3.69±0.00	5.32±0.05
<i>cis</i> - Anetol	1077	0.065	-	0.045
Karvon	1080	0.64	1.62	0.12
<i>trans</i> - Anethol	1083	92.64±1.90	82.60±0.05	81.63±3.79
<i>p</i> -Anisaldehit	1095	0.31	1.27	2.10
Toplam		100.00	100.00	100.00
Uçucu yağ oranı (%)		2.87±0.04	3.24±0.10	2.37±0.10

Ana bileşenler ve yağ oranına ait veriler, ortalama \pm SD olarak sunulmuştur. (F değeri: Limonen =13.93**, L-Fenkhon=4.46, Estragol=10.90**, *trans*- Anethol=18.65**, Uçucu yağ oranı=78.40**, *0.05, **0.01 düzeyinde önemlidir.)

Bu dört ana bileşenle birlikte tatlı rezene uçucu yağında yedi oksijenli monoterpen ve sekiz monoterpen hidrokarbon olduğu tespit edilmiştir. Her bir populasyon için oksijenli monoterpenlerin toplam oranı sırasıyla %97.36 (Konya-1), %91.89 (Konya-2) ve %91.41 (Tokat) olarak hesaplanmıştır. Monoterpen hidrokarbonlar ise %8.59 (Tokat), %8.11 (Konya-2) ve %2.64 (Konya-1) olarak belirlenmiştir. Ana bileşenlerden *trans*-anethol, L-fenkhon ve estragol oksijenli monoterpenler grubunda, limonen ise monoterpen hidrokarbon grubu içerisinde yer almaktadır. En yüksek *trans*-anethol değeri Konya-1 (%92.64±1.90) populasyonundan elde edilirken daha önce yapılan çalışmalara göre, Coşge ve ark. (2008) tatlı rezene tohumlarından elde edilen uçucu yağa ait ana bileşenleri *trans*-anethol (%95.25), limonen (%0.91), estragol (%2.87), fenkhon (%0.62), *p*-Anisaldehit (%0.24) olarak belirlemişlerdir. Dadalıoğlu ve Evrendilek (2004) rezene uçucu yağında yüksek oranda *trans*-anethol (%83.13) bulunduğunu, Mimica-Dukic ve ark. (2003) rezene tohumlarında ana bileşen olarak *trans*-anethol oranlarını (%72.27-74.18), fenkhon oranlarını (%11.32-16.35) ve estragol oranlarını (%3.78-5.29) arasında belirlemişlerdir. Bu değerlere göre her üç populasyondan elde edilen uçucu yağ ana bileşeni bizim değerlerimizden daha düşük bulunmuştur. Rezene uçucu yağının kimyasal bileşimindeki bu tür farklılıklar, bölgelerin çeşitli (iklimsel, mevsimsel, coğrafi) koşulları ve bitkilerin genetik yapısıyla ilişkilendirilebilir (Anwar, 2009). Şanlı ve ark. (2008) yapmış oldukları çalışmada, tatlı rezene uçucu yağının en önemli bileşenlerinin *trans*-anethol (%18.93-76.00), fenkhon, estragol ve anisaldehit olduğu, α -pinen, mirsen, limonen, sineol, γ -terpinen, sitronellol ve kafur ise düşük oranlarda bulunduğu ifade etmiştir.

Anason populasyonlarının meyvelerinden elde edilen uçucu yağ oranına göre istatistiki olarak önemli fark ($P<0.01$) bulunmamıştır. Tüm populasyonlara ait uçucu yağ oranı %3.24±0.03-3.48±0.04 arasında değişmiştir.

Daha önce yapılan çalışmalara göre, anasonda uçucu yağ oranları %3.10-3.60 (Kesin ve Baydar, 2016), %1.3-3.7 (Arslan ve ark., 2004) ve %1.8-2.9 (Kaya, 1990) arasında değişmiştir. Bizim çalışmamızda elde ettiğimiz veriler literatürdekiler ile uyumludur.

Anason meyvelerinden elde edilen toplam uçucu yağ ve bileşen oranları Çizelge 2’de verilmiştir. Anason uçucu yağ bileşenlerinin %99-100’ünü temsil eden 15 bileşik GC-MS yardımıyla tanımlanmıştır. Anason populasyonları arasında uçucu yağ ana bileşenlerinden *trans*-anethol, *L*-fenkhon ve limonen oranları istatistiki olarak önemli ($P<0.01$) bulunurken, estragol oranı istatistiki olarak önemsiz ($P<0.01$) bulunmuştur. En yüksek *trans*-anethol değeri aynı istatistik grupta yer alan Burdur (97.23 ± 0.18) ve Denizli (97.09 ± 0.05) populasyonlarında tespit edilmiştir. Konya-Ilgın populasyonundan en düşük değer elde edilmiştir (85.22 ± 3.98).

Konya- Ilgın populasyonu 1.58 ± 0.29 oranla en yüksek *L*-fenkhon ana bileşen oranını içermiştir. En düşük *L*-fenkhon oranı Denizli ve Burdur populasyonlarında (0.05 ± 0.00 ve 0.075 ± 0.00) belirlenmiştir. Limonen ana bileşen oranı populasyonlar içerisinde en fazla Konya-Ilgın’ dan (2.69 ± 1.22) elde edilmiş, en düşük oran ise Denizli ve Burdur (0.17 ± 0.00 ve 0.14 ± 0.03) populasyonlarında görülmüştür.

Acimovic ve ark. (2015), yapmış oldukları çalışmada, anason uçucu yağında *trans*-anetholden sonra en fazla görülen bileşeni %1.84 ile γ -himachalene olduğunu ve diğer 5 bileşenin, *trans*-pseudoisoeugenyl 2- metilbutirat (%0.32), *cis*-dihidrokarvone (%0.26), estragol (%0.19), a-himachalene (%0.13) ve *p*-himachalene (%0.11) ise %1’den daha az olduğunu belirlemişlerdir. Bu çalışmada bizim bulgularımızla farklı sonuçlar elde edilmiştir.

Elde etmiş olduğumuz sonuçlara göre, anason uçucu yağı bileşenlerinde <%1 oranında minör bileşenler de tespit edilmiştir. Anason populasyonlarına ait uçucu yağ kimyasal bileşen grupları, oksijenli monoterpenler, Burdur (%99.53), Denizli (%99.45) ve Konya-Ilgın (%92.68) ve monoterpen hidrokarbonlardan, Burdur (%0.47), Denizli (%0.55) ve Konya-Ilgın (%7.32) oluşmuştur (Çizelge 2).

Acimovic ve ark. (2015) anason uçucu yağında *trans*-anethol oranını %96.80, Kesin ve Baydar (2016) %95.56-95.88, Gende ve ark. (2009) %96.30, Arslan ve ark. (2004) %78.60-95.20 ve Kaya (1990) %95.80-97.10 olarak belirlemişlerdir. Çalışmamızda elde edilen veriler literatürle benzerlik göstermektedir.

Çizelge 2. Anason meyvelerinden elde edilen toplam uçucu yağ ve bileşen oranı (%)

Bileşikler	RI	Denizli	Burdur	Konya-Ilgın
α -pinen	1001	0.11	0.075	1.29
β - pinen	1008	0.11	0.035	-
Sabinen	1011	0.01	0.015	0.25
β -Myrcene	1013	0.01	0.025	0.415
Limonen	1016	0.17±0.00	0.14±0.03	2.69±1.22
β -fellandren	1019	0.06	0.055	0.39
β -osimen	1021	-	0.015	0.77
1,8-sineol	1024	-	0.125	2.18
β -simen	1029	0.08	0.115	1.525
L-Fenkhon	1054	0.05±0.00	0.075±0.00	1.58±0.29
Estragol	1071	1.69±0.00	1.67±0.06	1.57±0.30
<i>cis</i> -Anetol	1077	0.14	0.145	-
Karvon	1080	0.12	0.03	0.49
<i>trans</i>- Anethol	1083	97.09±0.05	97.23±0.18	85.22±3.98
<i>p</i> -Anisaldehyt	1095	0.30	0.255	1.63
Toplam		99.94	100.00	100.00
Uçucu yağ oranı (%)		3.24±0.03	3.25±0.10	3.48±0.04

Ana bileşenler ve yağ oranına ait veriler, ortalama \pm SD olarak sunulmuştur. (F değeri: Limonen =12.83*, *L*-Fenkhon=82.39**, Estragol=0.38, *trans*- Anethol=26.9**, Uçucu yağ oranı=11.12; *0.05, **0.01 düzeyinde önemlidir.)

Sharifi ve ark. (2008), anason uçucu yağının %99.9' nu oluşturan 17 ana bileşeni tanımlamışlar ve *trans*-anethol (%92.9), *p*-Allylanisol (%2.2) ve *Z*-a-bisabolen (%1.8) ana bileşen olarak tespit etmişlerdir. Çalışmalar arasında elde edilen sonuçlardaki farklılık genotip, iklim özellikleri ve agronomik uygulamalardan kaynaklanabilir (Doğan ve ark., 2018).

SONUÇ

Çalışmada ülkemizde farklı illerden temin edilen anason ve tatlı rezene populasyonlarına ait meyvelerin uçucu yağlarında sırasıyla %85.22±3.98-97.23±0.18 ve %81.63±3.79-92.64±1.90 arasında yüksek oranda *trans*-anetol tespit edilmiştir. Tüm populasyonlarda *Trans*-anethol, estragol, *L*-fenkhon ve limonen' in mevcut olduğu belirlenmiştir. Populasyonlar içerisinde en yüksek uçucu yağ oranı Konya- Ilgın, Burdur ve Denizli anason meyvelerinden elde edilmiştir. Anason meyvelerinden elde edilen uçucu yağ oranı tatlı rezeneye oranla yüksek bulunmuştur. En yüksek *trans*-anethol oranı tatlı rezenede Konya-1 populasyonunda (%92.64±1.90), anason için ise Burdur populasyonundan (%97.23±0.18) elde edilmiştir. Yozgat bölgesinde tıbbi ve aromatik bitki türlerinin çoğunluğunu doğal ortamda görmek mümkündür. Anason ve tatlı rezene populasyonları (Burdur ve Konya-1) ileride yeni çeşit geliştirme amacıyla ıslah çalışmalarında başlangıç materyali olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Acimovic M, Tesevic V, Todosijevec M, Djisalov J, Oljaca S, 2015. Compositional characteristics of the essential oil of *Pimpinella anisum* and *Foeniculum vulgare* grown in Serbia. *Botanica Serbica*, 39 (1): 09-14.
- Anwar F, Hussain AI, Sherazi STH, Bhangar MI, 2009. Changes in Composition and Antioxidant and Antimicrobial Activities of Essential Oil of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) Fruit at Different Stages of Maturity. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 15:187–202.
- Arslan N, Gürbüz B, Sarıhan EO, Bayrak A, Gümüşçü A, 2004. Variation in Essential Oil Content and Composition in Turkish Anise (*Pimpinella anisum* L.) Populations. *Turkish Journal of Agricultural Forestry*, 28: 173-177.
- Başer KHC, Tabanca N, Krimer N, Khan S, Bedir E, Khan S, Jacob M, Khan I, 2003. Antimicrobial Compounds from *Pimpinella* Species Growing in Turkey, *Planta Med*, 69: 933-938.
- Baydar H, Erbaş S, 2014. Yağ Bitkileri Bilimi ve Teknolojisi. SDÜ Yayınları, Yayın No: 97, Isparta.
- Baydar H, 2016. Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Bilimi ve Teknolojisi (Genişletilmiş 5. Baskı). Süleyman Demirel Üniversitesi Yayın No: 51 (ISBN: 975-7929-79-4).
- Besharati-seidani A, Jabbari A, Yamini Y, 2005. Headspace solvent microextraction: a very rapid method for identification of volatile component of Iranian *Pimpinella anisum* seed. *Anal. Chim. Acta.*, 530: 155-161. doi:10.1016/j.aca.2004.09.006.
- Coşge B, Kiralan M, Gürbüz B, 2008. Characteristics of fatty acids and essential oil from sweet fennel (*Foeniculum vulgare* Mill. var. *dulce*) and bitter fennel fruits (*F. vulgare* Mill. var. *vulgare*) growing in Turkey. *Natural Product Research*, 22 (12): 1011–1016.
- Damjanovic B, Lepojevic Z, Ivkovic VZ, Tolic A, 2005. Extraction of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) seeds with supercritical CO₂ : Comparison with hydrodistillation. *Food Chem.*, 92: 143-149.
- Dadalioglu I, Evrendilek GA, 2004. Chemical composition and antibacterial effects of essential oils of Turkish oregano (*Origanum minutiflorum*), bay laurel (*Laurus nobilis*), Spanish lavender (*Lavandula stoechas* L.), and fennel (*Foeniculum vulgare*) on common food borne pathogens. *J. Agric. Food Chem.*, 52(26):8255–8260.
- Doğan Ö, Kara N, Tonguç M, 2018. Anason Populasyonlarında Verim, Uçucu Yağ Oranı ve Genetik İlişkilerin Araştırılması. *Black Sea Journal of Agriculture*, 1(4): 110-116.

- El Wahab MAA, 2006. The efficiency of using saline and fresh water irrigation as alternating methods of irrigation on the productivity of *Foeniculum vulgare* Mill subsp. *vulgare* var. *vulgare* under North Sinai conditions, Res. J. Agric. Biol. Sci., 2: 571-577.
- Efe E, Bek Y, Şahin M, 2000. SPSS’de Çözümleri ile İstatistik Yöntemler II. Yayın No: 73, KSÜ Yayınları, Kahramanmaraş.
- Esquivel-Ferriño PC, Favela-Hernández MJ, Garza- González E, Waksman N, Ríos MY, Camacho-Corona MR, 2012. Antimycobacterial activity of constituents from *Foeniculum vulgare* var. *dulce* grown in Mexico. Molecules, 17: 8471-8482.
- Gende LB, Maggi MD, Fritz R, Eguaras MJ, Bailac PN, Ponzi MI. 2009. Antimicrobial activity of *Pimpinella anisum* and *Foeniculum vulgare* essential oils against *Paenibacillus larvae*. J Essential Oil Res, 21: 91-93.
- Gruenwald J, Brendler T, Jaenicke C. 2004. PDR for Herbal Medicines, 3rd edition. Medical Economics Company, New Jersey, 316-317.
- Kara N, 2015. Yield, quality and growing degree-days of anise (*Pimpinella anisum* L.) under different agronomic practices. Turkish Journal of Agricultural and Forestry, 39: 1014-1022.
- Kaya N, 1990. Batı Anadolu Anason (*Pimpinella anisum* L.)’larının Bazı Kalite Özellikleri Üzerinde Araştırma. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 26: 91-101.
- Keskin S, Baydar H, 2016. Umbelliferae familyasından bazı önemli kültür türlerinin Isparta ekolojik koşullarında tarımsal ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20(1): 133-141.
- Mimica-Dukic N, Kujundzic S, Sokovic M, Couladis M, 2003. Essential oil composition and antifungal activity of *Foeniculum vulgare* Mill. obtained by different distillation conditions. Phytother. Res., 17(4):368-371.
- Najdoska M, Bogdanov J, Zdravkovski Z, 2010. TLC and GC-MS analyses of essential oil isolated from Macedonian *Foeniculi fructus*. Macedonian Pharmaceutical Bulletin, 56: 29-36.
- Özkan F, Gürbüz B, 2000. Tatlı rezene (*Foeniculum vulgare* Mili. var. *dulce*)’de bitki sıklığının verim ve verim özellikleri üzerine etkileri. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 9: 1-2.
- Puodziuniene G, Janulis V, Milasius A, Budnikas M. 2004. Development of throat clearing herbal teas, Medicina (Kaunas), 40(8), 762-7.
- Raal A, Orav A, Arak E, 2012. Essential oil composition of *Foeniculum vulgare* Mill. fruits from pharmacies in different countries. Nat Prod Res 26: 1173-1178.
- Sharifi R, Kiani H, Farzaneh M, Ahmadzadeh M, 2008. Chemical Composition of Essential Oils of Iranian *Pimpinella anisum* L. and *Foeniculum vulgare* Miller and their Antifungal Activity Against Postharvest Pathogens. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 11(5): 514 – 522.
- Şanlı A, Karadoğan T, Baydar H, 2008. Doğal Olarak Yetişen Tatlı Rezene (*Foeniculum vulgare* Mill. var. *dulce*)’nin Farklı Büyüme ve Gelişme Dönemlerinde Uçucu Yağ Miktarı ile Bileşenlerinin Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 3(2): 17-22.
- Ullah H, Honermeier B, 2013. Fruit yield, essential oil concentration and composition of three anise cultivars (*Pimpinella anisum* L.) in relation to sowing date, sowing rate and locations. Industrial Crops and Products, 42: 489-499. doi: 10.1016/j.indcrop.2012.06.011.
- Zongliang H, 2012. Anethole development trends. International Conference in Singapore, 4 - 8 November 2012 ‘Essential Asia’, Conference Proceedings, pp. 103-111.

Combined Iodine, Iron and Zinc Biofortification of Tomato FruitÖzge ŞAHİN^{1*}

ABSTRACT: Deficiencies of zinc (Zn), iron (Fe) and iodine (I) are major malnutritional health problem in the developing countries. Biofortification of vegetables with I, Fe and Zn can become an alternative strategy of introducing these elements for human dietary intake. The purpose of this study was to determine the effect of combined I (KIO₃), Fe (FeSO₄.7H₂O) and Zn (ZnSO₄.7H₂O) supply on I, Fe and Zn concentrations of tomato plants, which is stem and leaf, and their fruits (*Lycopersicon esculentum* L. cv. Swanson). Tomato cultivar was grown in glasshouse conditions with four replications in 10 kg soil and 5% peat mixture. The treatments as contain: contol, each element applied at 10, 20 and 40 mg I-Fe-Zn kg⁻¹, respectively. Concentrations of I, Fe and Zn and essential elements (P, K, Ca, Mg, S, Cu, Mn, Mo, Cl, Si and Ni) as well as non-essential elements (Al, Co, Ti, Br, Rb, Sr, Ba, Cr, Sn, Sb, Te, Ge, Cs, Ce, Ga, Ta, Hf) were determined by Polarized Energy Dispersive X-ray Fluorensence (PEDXRF). Effect of combined I-Fe-Zn treatments on fresh and dry weights of plant and fruit were found statistically important. Iron and Zn concentrations of fruits and plants were increased by combined I-Fe-Zn treatment except for Fe concentration in plant. Application of I-Fe-Zn were not significant effect on essential element concentrations in both plants and fruits, out of Ca, Na and Si concentrations in fruit. No influence of I-Fe-Zn treatment on the measured non-essential elements concentrations with the exception of plant Br concentration and fruit Sr concentration. This study revealed that combined I-Fe-Zn treatment can be used effectively for I, Fe and Zn biofortification of tomato fruits for the dietary intake for human.

Key words: Biofortification, iodine, iron, zinc, tomato (*Lycopersicon esculentum*)

¹ Özge ŞAHİN (Orcid ID: 0000-0003-3593-4594), Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ankara, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Özge ŞAHİN, e-mail: osahin@ankara.edu.tr

Geliş tarihi / Received: 21-02-2020
Kabul tarihi / Accepted: 06-04-2020

INTRODUCTION

Micronutrient malnutrition is an inadequate daily diet of iron (Fe), zinc (Zn) and iodine (I) (Stein, 2010; Clemens, 2014) and deficiency of these nutrients is a reason of serious health problem on world population especially in developing countries (Welch et al., 2013; Cakmak and Kutman, 2018; Zou et al., 2019). There are some methods to combat nutrient deficiency such as biofortification, specific plants, transgenic plants or conventional breeding and etc. (Dimkpa and Bindraban, 2016; Kumar et al., 2019) but biofortification is the more impactful, sustainable, low-cost and easier method to enrich the micronutrient content of crops than the other methods for developing countries (Bouis et al., 2011; Diaz-Gomez et al., 2017; Sazawal et al., 2018).

Iodine, Fe and Zn are essential micronutrient for human health and unfortunately, deficiencies are common in both developing and developed countries. Iodine necessity of people is about $150 \mu\text{g day}^{-1}$ which is especially need for activity of thyroid hormones, besides infant mortalities, mental retardation (Lin et al., 2004; Smolen and Sady, 2012). Anemia is the one of the common health problem by the reason of Fe deficiency, especially about 40-45% of preschool-age children are anemic, which more than half of the Fe in the human body is bound to hemoglobin (Grillet et al., 2014). The recommended human dietary of Fe varies between 8-18 mg day^{-1} depending on the age, body weight, gender and pregnancy (Anonymous, 2009). Zinc is structural role on thousands of proteins for microorganisms, plants, animals and humans. People daily Zn requirement is 1.5-2.5 mg day^{-1} and due to the deficiency of Zn may occur retarded growth, skeletal abnormalities, hypogonadism, diarrhea, immune dysfunction, delayed wound healing etc. (Salgueiro et al., 2000; Anonymous, 2009; Anonymous, 2017).

Deficiency of reasons of I, Zn and Fe in soil and plant are soil texture, pH, tillage, water management, nutrient interactions, fertilization, type of nutrients and plant cultivars (Hetzl and Pandav, 1994; Lin et al., 2004, Smolen and Sady, 2012; Prasad et al., 2014; Patel et al., 2018; Gonzali et al., 2017; Lyons, 2018). In addition, main important reason of deficiency of I, Fe and Zn concentration is phytic acid. Phytic acid is a compound, which found especially in cereals and therefore has an important influence in daily human food consumption. Unfortunately, bioavailability of some element such as Zn, Fe are relationship with phytic acid. Because, phytic acid obstructed the availability of these element in cereals which there are many studies about it (Cakmak et al., 2010; White and Broadley, 2011; Sperotto et al., 2012; Shahzad et al., 2014; Guo et al., 2016; Maqbool and Beshir, 2018; Cakmak and Kutman, 2018). While vegetables have low phytic acid and high ascorbate content as well as phenolics and carotenoids that it is increased availability of these elements (Gillooly et al., 1983; Siegenberg et al., 1991; Garcia-Alonso et al., 2004; La Frano et al., 2014; Krzepilko et al., 2015; Woch and Hawrylak-Nowak, 2019; Giordano et al., 2019). In these way biofortification of vegetable is an alternative to suppress on the phytic acid metabolism (Majumber et al., 2019). Besides, vegetables such as spinach, lettuce, tomato etc. are short-term growing than the cereals which means that people can uptake nutrient is more quickly and easily. At the same time increases of concentrations of I, Fe and Zn not only effect on the concentrations of deficit nutrients but also increase the antioxidant compound of plants and so increases of these nutrients will have a positive effect on human health (Blasco et al., 2008; Przybysz et al., 2016; Incrocci et al., 2019).

Among the vegetables, tomato is the most consumed and traded vegetables in the world and it has important nutrients and antioxidants which plays an important role in human diet, especially for vegetarian diet. Additionally, tomato is not only used as a fresh but also it uses as a souce, paste, dried, peeled etc. There is some study about Zn and Fe biofortification on most important cereal like maize, rice or wheat etc. (Cakmak et al., 2010; Sperotto et al., 2012; White and Broadley, 2011; Guo et al.,

2016; Maqbool and Beshir, 2018; Cakmak and Kutman, 2018). Unfortunately, there is not any study on the combined I, Fe and Zn biofortification of edible plants (Kiferli et al., 2013; La Frano et al., 2014; Krzepilko et al., 2015; 2016; Giordano et al., 2019).

The aim of this study is to find out I, Fe and Zn biofortification with the supply of those elements and also determine the variations of essential (K, P, Ca, Mg, S, Cu, Mn, Mo, Cl, Si and Ni) and some non-essential (Co, Ti, Br, Rb, Sr, Ba, Cr, Sn, Sb, Te, Ge, Cs, La, Ce, Ga, Ta, Hf,) elements concentrations of tomato plants and fruits. This is the first study about combine I, Fe and Zn biofortification on vegetables and I expect this study to lead the new studies with other vegetables.

MATERIALS AND METHODS

Plant Growth Conditions and Treatments

Tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Swanson) were grown from May 23 to August 16, 2018 in a glasshouse condition at the Department of Soil Science and Plant Nutrition, Ankara University. The experiment was carried out in plastic pots (30cm×24cm×27cm) holding 10,000 g air-dried soil and 5% peat of total soil weight. The soil was taken from the 0-20 cm of experimental fields of the Agricultural Faculty, Ankara University and properties of the soil were determined by the Page (1982) (Table 1). For each element from I (KIO₃), Fe (FeSO₄.7H₂O) and Zn (ZnSO₄.7H₂O) were applied at the rates of 0, 10, 20 and 40 mg kg⁻¹ of soil after the seedling transplantation, respectively. For the basal fertilization, 400 mg N kg⁻¹ soil from KNO₃ and 100 mg N kg⁻¹ from CaNO₃, 100 mg P kg⁻¹ from (NH₄)H₂PO₄ which total amount of N, P, K and Ca was 545, 100, 1110, 170 mg kg⁻¹ respectively, were applied during the plant growth period. The experiment was designed according to a randomized block design with four replications-one plant per one replicate in each treatment. Plants were irrigated with tap water until reached the 70% of field capacity. Plants were cultivated until the bud of the inflorescences in the four cluster was formed. Ripening fruits and leaves were collected for each cluster, weighed and dried during the experiment. Plants were harvested and separated into leaf and stem (plant) and unripened fruits. After determining of fresh weight, the plants and fruits were washed once with tap water and twice in deionized water. Four cluster of plants and fruits were combined with each other, separately. Unripened fruits were omitted after weighing while concentrations of elements were determined in only ripening fruits. Plant and fruit samples, which are expressed as homogenized leaf and stem and fruit samples, were dried in a drying oven at 65°C and then dry weight recorded. All samples were grounded. Before the determination of elemental concentrations by PEDXRF elemental analysis, samples were pelleted with press machine.

Determination of Mineral Element Concentraions of Soil, Plant and Fruit

Homogenied plants and fruit samples were sieved (200 µm) to determine of the essential and non-essential element concentraions by PEDXRF (Spectro XLAB2000) as reported by Gunes et al., (2009) at the Earth Sciences Application and Research Centre (YEBIM) of Ankara University.

Statistical Analysis

Analysis of variance was performed on the data with one-way ANOVA using MINITAB 17 and significant differences among treatment means were calculated by LSD test (LSD; $P < 0.05$) and compared by descriptive statistics [\pm standart error (SE)].

Table 1. Some physical and chemical properties of soil

Properties	Method	Amount/ Quantification	
Texture	-	Loamy	
CaCO ₃	Scheibler	59.60 g kg ⁻¹	
pH	1/2.5 water	7.80	
EC	1/2.5 water	0.35 dS m ⁻¹	
Organic Matter	Walkley Black	18.20 g kg ⁻¹	
N	Kjeldahl	3.52 g kg ⁻¹	
Concentration of elements (NH ₄ OAc-extractable, g kg ⁻¹)			
K	0.79	Mg	1.86
Ca	5.10	Na	0.25
Concentration of elements (DTPA-extractable, mg kg ⁻¹)			
Fe	8.73	Cu	2.06
Zn	4.02	Mn	22.6
Total concentrations of elements (XRF, g kg ⁻¹)			
P	0.97	Na	0.37
K	13.9	Cl	0.05
Ca	47.7	Si	155
Mg	9.23	Al	42.68
S	1.01	-	-
Total concentrations of elements (mg kg ⁻¹)			
I	2.30	Ba	452
Fe	32570	Sb	1.60
Zn	123	Sn	7.20
Cu	41.20	Rb	58.04
Mn	703	Cr	72.12
Mo	2.70	Ga	13.60
Se	0.30	Ge	1.00
Cd	0.80	Cs	3.80
Co	37.50	Ta	4.20
Br	3.90	Te	1.20
Ti	3288	Ce	60.30
Ni	54.70	Hf	4.00
Sr	256	-	-

RESULTS AND DISCUSSION

Dry and Fresh Weight of Plant and Fruit

Plant and fruit weight of the tomatoes was presented in Table 2. Biofortification with I-Fe-Zn had positive effect on plant and fruit weight. Effect of combined I-Fe-Zn treatments on dry and fresh weight of plant and fruit were statistically important. The highest fresh and dry weight of plant were determined by 10 mg I-Fe-Zn kg⁻¹ of soil, respectively 472, 79.50. There was a relationship between the levels of I-Fe-Zn and fruit weight. Fruit fresh weight increased by the combined I-Fe-Zn treatments and the highest fruit weight were determined by the highest level of combined I-Fe-Zn treatment (40 mg I-Fe-Zn kg⁻¹ of soil). Especially, fruit weights were increased by the combined I-Fe-Zn treatments, respectively 16%, 47%, 74% when compared the control treatment. This result is accordance with the study of Weng et al. (2013) who explained that I had positive effect on biomass of 10 different vegetables cultivars. Weng et al. (2008) in their study showed that I treatment is effective on growth rate of spinach. Blasco et al., (2008), concentration of I and antioxidant compounds of lettuce were increased due to the treatment of I. Gioia et al. (2019) suggested that growth rate with Fe and Zn concentrations of microgreen plants were increased by the Fe and Zn treatments.

Table 2. Effect of combined iodine, iron and zinc treatment on plant fresh and dry weight, and fruit weight

Treatments	Plant	Fruit	
	Fresh weight g plant ⁻¹	Dry weight g plant ⁻¹	Fresh weight g fruit ⁻¹
Control	254±11.41 c	53.22±4.22 c	522±22.62 d
10 I-Fe-Zn	472±12.48 a	79.50±4.52 a	607±19.00 c
20 I-Fe-Zn	360±8.34 b	63.92±1.75 b	766±16.50 b
40 I-Fe-Zn	372±9.55 b	64.28±0.48 b	906±5.87 a
F	71.27	11.68	98.26
LSD	32.50**	9.74**	26.63**

** $P < 0.01$.

Concentrations of the Elements

Plant I concentrations were increased by the combined treatment of I, Fe and Zn. The highest concentrations of I and Zn in the plants were determined by the 40 mg kg⁻¹ of soil. However, concentration of Fe in plant were not change statistically important. The highest concentrations of I, Fe and Zn in the fruits were determined by highest combine I-Fe-Zn treatment (40 mg kg⁻¹) as 19.9, 39.7 and 39.6 mg kg⁻¹ in fruit, respectively (Table 3). Iodine concentrations of plants and fruits were increased due to the increases treatment levels that the highest I concentration were determined by the highest combine treatment, but there was no statistically important difference between the other treatment. Zinc and Fe concentrations of fruits were increased by the the treatments. Some studies demonstrated that some vegetables and fruits such as spinach (Zhu et al., 2003; Weng et al., 2003; Dai et al., 2006; Humphrey et al., 2019), lettuce (Blasco et al., 2008; Voogt et al., 2010), radish and Chinese cabbage (Weng et al., 2003), strawberry (Li et al., 2017a), pepper (Li et al., 2017b) can store I by levels of I treatment. According Landi et al., (2011) fresh weight and I concentration of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) were increased by I treatment (5, 10 and 20 mM) and as a result, 5 mM I treatment was enough to uptake a daily human I requirement. Hong et al. (2008) reported that higher than 50 mg I kg⁻¹ of soil treatment was shown chlorosis effect on tomato. In the other study by Weng et al. (2013) reported that biofortification of I can be changed due to the different genotypes within the same type of vegetables and levels of treatments. All of these studies results like our results. Iron and Zn concentration of tomato fruits were increased by the I, Fe and Zn treatments. Especially, effect of the highest combined I, Fe and Zn treatment on Fe and Zn concentraions of fruits were remarkable than the other treatment. Researches conducted by Cakmak (2008), Prasad et al. (2014), White and Broadley (2009, 2011), Shahzad et al. (2014), Zaman et al. (2018), Patel et al. (2018), Giardono et al. (2019) shows that combined or separately application of Zn and Fe was reason of the increases of Fe and Zn concentrations as in this research.

Table 3. Effect of combined iodine, iron and zinc treatment on plant and fruit I, Fe and Zn concentrations

Treatments	Plant (mg kg ⁻¹ DW)		
	I	Fe	Zn
Control	2.50±0.24 c	210±26.20	16.90±1.30 d
10 I-Fe-Zn	68.50±13.0 bc	188±11.10	30.80±0.85 c
20 I-Fe-Zn	162±27.02 b	221±20.10	40.90±1.94 b
40 I-Fe-Zn	308±60.62 a	197±15.50	55.30±4.48 a
F	15.4	0.57	26.2
LSD	104**	ns	7.89**
Treatments	Fruit (mg kg ⁻¹ DW)		
	I	Fe	Zn
Control	2.73±0.30 b	28.75±1.11 c	21.05±1.34 c
10 I-Fe-Zn	2.74±0.29 b	30.83±1.57 bc	28.52±1.28 b
20 I-Fe-Zn	5.24±1.77 b	32.39±0.91 b	29.70±0.94 b
40 I-Fe-Zn	19.85±2.71 a	39.64±1.03 a	39.58±1.54 a
F	25.37	16.10	35.54
LSD	5.03**	3.64**	3.99**

ns, non-significant; ** $P < 0.01$.

Treatments of combined I-Fe-Zn had no statistically important effect on the concentrations of P, K, Mg, Na, S, Ca, Si and Al of plants. On the other hand, effect of treatments (40 mg I-Fe-Zn kg⁻¹ of soil) on Ca, Na and Si concentrations of fruit were statistically important while P, K, S and Mg of fruit were not statistically important (Table 4). Essential and non-essential elements concentrations of plant and fruit were not significantly changed by combined I, Fe and Zn treatments. In the study conducted by Smolen and Sandy (2012) effect of I treatment on P, K, Mg, S, B, Cu, Mn, Mo and Cd concentrations in spinach were not significant. On the contrary, concentrations of N, Ca, Na, Fe and Zn of plant were significantly increased by I treatment. Islam et al. (2018) were examined the effect of Fe and I treatment on cherry tomato genotypes. For this purpose, 1 mg Fe L⁻¹ and 1 I L⁻¹ were applied, separately. Treatments of these elements were not significant effect on Fe, Mn, Cu and Zn concentrations. In an another study by Krzepilko et al. (2016), 0.5 µM KI L⁻¹ treatment was sufficient to enrich seedlings with I and K; however, effect of this treatment was not significant effect on Ca, Zn, Fe and Cu concentration. Krzepilko et al. (2015) who reported I positive affected the uptake of Mg, Na, Ca and Fe but negative affected Cr uptake in the spinach plant. Smolen and Sady (2011), I treatment was increased the concentrations of Na, Fe, Zn and Al and reduced concentrations of P, S, Cu and Ba concentrations. All of these results show that levels of mineral element concentrations can be change due to the level of I, and Zn treatment and plant genotypes. All of these results of different researcher were showed that concentrations of some essential and non-essential element can change by the levels of treatments and plant cultivars.

Table 4. Effect of combined iodine, iron and zinc treatment on plant and fruit P, K, S, Ca, Mg, Na, Si and Al concentrations

Treatments	Plant (g kg ⁻¹ DW)							
	P	K	S	Ca	Mg	Na	Si	Al
Control	1.85±0.16	27.80±1.43	7.20±0.97	34.7±5.62	5.90±1.27	3.60±0.88	2.20±0.17	0.58±0.06
10 I-Fe-Zn	2.16±0.11	28.83±1.74	8.35±0.60	36.9±3.09	6.52±0.63	3.98±0.67	2.08±0.13	0.48±0.02
20 I-Fe-Zn	2.05±0.27	27.98±1.51	8.48±0.54	39.2±1.60	6.45±0.34	3.40±0.65	2.09±0.11	0.53±0.02
40 I-Fe-Zn	2.02±0.05	24.59±0.32	8.77±0.51	41.4±1.78	6.80±0.38	3.60±0.31	2.17±0.11	0.48±0.02
F	0.60	1.86	1.04	0.71	0.25	0.39	0.20	1.84
LSD	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Treatments	Fruit (g kg ⁻¹ DW)							
	P	K	S	Ca	Mg	Na	Si	Al
Control	3.24±0.17	39.29±1.68	1.61±0.09	0.76±0.05 b	1.17±0.11	0.25±0.00 b	0.69±0.02 b	0.32±0.02
10 I-Fe-Zn	3.52±0.15	42.77±2.13	1.79±0.12	0.68±0.02 b	1.18±0.17	0.24±0.00 b	0.68±0.01 b	0.32±0.00
20 I-Fe-Zn	3.33±0.12	43.39±2.47	1.75±0.07	0.81±0.06 b	1.01±0.08	0.32±0.06 b	0.79±0.03 a	0.37±0.01
40 I-Fe-Zn	3.89±0.32	49.88±4.21	2.10±0.16	1.08±0.11 a	1.29±0.14	0.97±0.38 a	0.75±0.02 a	0.32±0.02
F	1.94	2.50	3.22	6.23	0.83	3.29	5.81	2.43
LSD	ns	ns	ns	0.21**	ns	0.60*	0.06**	ns

ns non-significant; * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

Levels of treatment had no statistically significant effect on the Cu, Mn, Mo, Cl, Al, Ni, Co and Ce concentrations of the plant and fruit (Table 5).

Table 5. Effect of combined iodine, iron and zinc treatment on plant and fruit Cu, Mn, Mo, Cl, Al, Ni, Co and Ce concentrations

Treatments	Plant (g kg ⁻¹ DW)						
	Cu	Mn	Mo	Cl	Ni	Co	Ce
Control	7.08±0.69	55.0±6.50	1.43±0.09	16.3±3.17	3.48±0.77	1.93±0.47	14.55±1.27
10 I-Fe-Zn	7.58±0.21	58.1±6.15	2.58±0.32	17.4±0.60	3.95±0.45	1.93±0.40	15.00±2.00
20 I-Fe-Zn	6.73±0.98	54.3±3.78	2.25±0.66	16.9±1.06	3.75±0.47	2.70±0.34	14.57±1.57
40 I-Fe-Zn	6.10±0.57	51.5±1.94	1.93±0.27	16.7±0.65	3.33±0.36	2.35±0.79	15.88±1.07
F	0.85	0.30	1.55	0.08	0.27	0.50	0.17
LSD	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Treatments	Fruit (g kg ⁻¹ DW)						
	Cu	Mn	Mo	Cl	Ni	Co	Ce
Control	7.15±0.58	11.20±0.35	1.43±0.08	4.16±0.25	1.58±0.15	0.73±0.06	16.25±2.16
10 I-Fe-Zn	7.80±0.65	12.40±0.84	1.75±0.10	4.95±1.16	2.50±0.35	0.95±0.25	14.57±1.92
20 I-Fe-Zn	7.60±0.22	14.15±1.54	2.45±0.56	4.28±0.41	2.10±0.24	0.88±0.28	18.32±1.93
40 I-Fe-Zn	9.10±0.88	19.57±3.98	1.68±0.37	5.09±0.54	3.65±1.48	1.92±1.04	16.40±1.51
F	1.79	2.88	1.67	0.47	1.29	0.97	0.66
LSD	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns, non-significant.

Biofortification treatments at all levels had no significant effect on Cr, Ti, Ga, Rb and Ba concentrations both plant and fruits out of the Br concentration of plant. Compared to the control, Br concentration in the plants and Sr concentration of fruits significantly increased; however, there were no effect on the other elements (Table 6).

Table 6. Effect of combined iodine, iron and zinc treatment on plant and fruit Cr, Ti, Ga, Br, Rb, Ba and Sr concentrations

Treatments	Plant (mg kg ⁻¹ DW)						
	Cr	Ti	Ga	Br	Rb	Ba	Sr
Control	4.43±0.96	49.95±6.58	0.50±0.12	20.68±3.29 b	3.03±0.29	50.28±5.51	222±31.70
10 I-Fe-Zn	5.63±1.50	52.17±3.68	0.48±0.12	27.23± 1.07 a	3.45±0.19	51.65±2.36	227±19.30
20 I-Fe-Zn	5.67±1.42	59.55±6.77	0.78±0.30	28.80±0.74 a	3.35±0.16	52.40±3.23	244±7.92
40 I-Fe-Zn	4.33±0.51	67.05±6.48	0.55±0.13	28.72±1.82 a	2.93±0.17	53.95±0.44	260±9.83
F	0.40	1.66	0.56	3.75	1.51	0.20	0.79
LSD	ns	ns	ns	6.13*	ns	ns	ns
Treatments	Fruit (mg kg ⁻¹ DW)						
	Cr	Ti	Ga	Br	Rb	Ba	Sr
Control	2.53±0.09	3.58±1.22	0.30±0.07	4.38±0.86	4.38±0.34	12.40±2.16	5.53±0.90 b
10 I-Fe-Zn	3.30±0.80	3.35±1.04	0.45±0.10	4.45±0.16	4.80±0.15	6.63±0.43	4.20±0.25 b
20 I-Fe-Zn	2.75±0.10	1.73±0.13	0.23±0.03	5.30±0.72	4.85±0.23	9.35±1.90	5.15±0.48 b
40 I-Fe-Zn	3.20±0.27	1.87±0.09	0.38±0.11	6.30±0.62	5.93±0.58	11.10±2.94	7.70±0.84 a
F	0.74	1.44	1.30	1.94	3.29	1.45	4.81*
LSD	ns	ns	ns	ns	ns	ns	2.08

ns non-significant; * $P < 0.05$

Levels of combined I-Fe-Zn treatments had no statistically significant effects on the concentrations of Sn, Cs, Ge, Sb, Ta, Te and Hf both plant and fruits (Table 7).

Table 7. Effect of combined iodine, iron and zinc treatment on plant and fruit Sn, Cs, Ge, Sb, Ta, Te and Hf concentrations

Treatments	Plant (mg kg ⁻¹ DW)						
	Sn	Cs	Ge	Sb	Ta	Te	Hf
Control	0.95±0.16	5.70±0.82	0.23±0.03	0.88±0.03	1.20±0.21	1.08±0.16	1.35±0.16
10 I-Fe-Zn	0.85±0.03	5.63±1.26	0.20±0.01	0.95±0.03	1.45±0.06	1.48±0.11	1.40±0.39
20 I-Fe-Zn	0.90±0.00	4.23±0.31	0.20±0.01	0.95±0.12	1.05±0.25	1.40±0.04	1.58±0.19
40 I-Fe-Zn	0.95±0.03	4.23±0.06	0.20±0.01	0.95±0.09	1.35±0.27	1.53±0.33	1.33±0.18
F	0.35	1.17	1.00	0.24	0.65	1.10	0.21
LSD	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
Treatments	Fruit (mg kg ⁻¹ DW)						
	Sn	Cs	Ge	Sb	Ta	Te	Hf
Control	1.05±0.32	5.53±0.83	0.15±0.03	0.85±0.03	1.15±0.03	1.53±0.26	1.00±0.11
10 I-Fe-Zn	0.93±0.13	4.15±0.03	0.40±0.20	0.88±0.03	1.20±0.04	1.23±0.19	1.63±0.23
20 I-Fe-Zn	0.83±0.03	5.95±1.18	0.15±0.03	0.85±0.03	1.05±0.16	1.28±0.03	1.10±0.15
40 I-Fe-Zn	0.85±0.05	4.20±0.01	0.23±0.03	0.90±0.06	2.78±1.85	1.25±0.03	3.72±2.33
F	0.34	1.64	1.32	0.41	0.78	0.74	1.17
LSD	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns, non-significant

CONCLUSION

Especially in developing countries, people needs daily intake such as Fe, Zn and I which essential for people. This study is the first proof to determine the effect of combined I-Fe-Zn treatments on concentrations of I, Fe and Zn with yield and it shows that biofortification was an important way to eliminate of these three elements deficiency in plants.

REFERENCES

- Anonymous, 2009. World Health Organization of the United Nations. 2009. Global Health Risks: Mortality and Burden of Disease Attributable to Selected Major Risks. WHO, Geneva (Date of access: 15.10.2019).
- Anonymous, 2017. Dietary Reference Values for Nutrients Summary Report, European Food Safety Authority (EFSA), December 2017 (Date of access: 15.10.2019).
- Anonymus, 2019. National Institutes of Health: Iron Dietary Supplement Fact Sheet. 2016 (Date of access: 20.11.2019).
- Blasco B, Rios JJ, Cervilla LM, Sanchez-Rodriguez E, Ruiz JM, Romero I, 2008. Iodine Biofortification and Antioxidant Capacity of Lettuce: Potential Benefits for Cultivation and Human Health. *Annals of Applied Biology*, 152: 289-299.

- Bouis HE, Hotz C, McClafferty B, Meenakshi, JV, Pfeiffer WH, 2011. Biofortification: A New Tool to Reduce Micronutrient Malnutrition. *Food and Nutrition Bulletin*, 32: 31-40.
- Cakmak I, 2008. Enrichment of Cereal Grains With Zinc: Agronomic or Genetic Biofortification?. *Plant and Soil*, 302: 1-17.
- Cakmak I, Pfeiffer WH, McClafferty B, 2010. Biofortification of Durum Wheat with Zinc and Iron. *Cereal Chemistry*, 87: 10-17.
- Cakmak I, Kutman UB, 2018. Agronomic Biofortification of Cereals with Zinc: A Review. *European Journal of Soil Science*, 69: 172-180.
- Clemens S, 2014. Zn and Fe Biofortification: The Right Chemical Environment for Human Bioavailability. *Plant Science*, 225: 52-57.
- Dai JL, Zhu YG, Huang YZ, Zhang M, Song J, 2006. Availability of Iodide and Iodate to Spinach (*Spinacia oleracea* L.) in Relation to Total Iodine in Soil Solution. *Plant and Soil*, 289: 301-308.
- Diaz-Gomez J, Twyman RM, Zhu C, Farre G, Serrano J, Portero-Otin M, Munoz P, Sandmann G, Capell T, Christou P, 2017. Biofortification of Crops with Nutrients: Factors Affecting Utilization and Storage. *Current Opinion in Biotechnology*, 44: 115-123.
- Dimkpa CO, Bindraban PS, 2016. Fortification of Micronutrients for Efficient Agronomic Production: A Review, *Agronomy for Sustainable Development*, 36: 7-27.
- FAO, 2019. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. (Date of access: 12.01.2020)
- Garcia-Alonso M, Pascual-Teresa S, Santos-Buelga C, Rivas-Gonzalo JC, 2004. Evaluations of the Antioxidant Properties of Fruit, *Food Chemistry*, 84: 13-18.
- Gillooly M, Bothwell TH, Torrance JD, MacPhail AP, Derman DP, Bezwoda WR, Mills W, Charlton RW, 1983. The Effects of Organic Acids, Phytates and Polyphenols on the Absorption of Iron from Vegetables. *British Journal of Nutrition*, 49: 331-342.
- Gioia DF, Petropoulos SA, Ozores-Hampton M, Morgan K, Roskopf EN, 2019. Zinc and iron agronomic biofortification of *Brassicaceae* microgreens, *Agronomy*, 9: 1-20.
- Giordano M, El-Nakhel C, Pannico A, Kyriacou MC, Stazi ST, Pascale S, Roupheal Y, 2019. Iron Biofortification of Red and Green Pigmented Lettuce in Closed Soilless Cultivation Impacts Crop Performance and Modulates Mineral and Bioactive Composition. *Agronomy Journal*, 290: 1-21.
- Gonzali S, Kiferli C, Perata P, 2017. Iodine Biofortification of Crops: Agronomic Biofortification, Metabolic Engineering and Iodine Bioavailability. *Current Opinion Biotechnology*, 44: 16-26.
- Grillet L, Mari S, Schmidt W, 2014. Iron in Seeds Loading Pathways and Subcellular Localization, *Frontiers in Plant Science*, 4: 1-8.
- Guo JX, Feng XM, Hu XY, Tian GL, Ling N, Wang JH, Shen QR, Guo SW, 2016. Effects of Soil Zinc Availability, Nitrogen Fertilizer Rate and Zinc Fertilizer Application Method on Zinc Biofortification of Rice. *Journal of Agricultural Science*, 154: 584-597.
- Gunes A, Inal A, Pilbeam DJ, Kadioglu YK, 2009. Determination of Mineral Element Concentrations in Wheat, Sunflower, Chickpea and Lentil Cultivars in Response to Phosphorus Fertilization by Polarized Energy Disperse X-ray fluorescence. *X-ray Spectrometry*, 38: 451-462.
- Hetzel B, 1989. *The Story of Iodine Deficiency*. Delhi: Oxford University Press.
- Hetzel B, Pandav C, 1994. *S.O.S. for a Billion. The Conquest of Iodine Deficiency Disorders*. Delhi: Oxford University Press.
- Hong C, Weng H, Qin Y, Yan A, Xie L, 2008. Transfer of Iodine from Soil to Vegetables by Applying Exogenous Iodine. *Agronomy for Sustainable Development*, 28: 575-583.
- Humphrey OS, Young SD, Bailey EH, Crout NMJ, Ander EL, Hamilton EM, Watts MJ. 2019. Iodine Uptake, Storage and Translocation Mechanisms in Spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Environmental Geochemistry and Health*, 41: 1-12.
- Incrocci L, Carmassi G, Maggini R, Poli C, Saidov D, Tamburini C, Kiferli C, Perata P, Pardossi A. 2019. Iodine Accumulation and Tolerance in Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.) with Green or Purple Leaves Grown in Floating System Technique. *Frontier in Plant Science*, 10: 1-15.

- Islam MZ, Mele MA, Baek JP, Kang H. 2018. Iron, Iodine and Selenium Effects on Quality, Shelf Life and Microbial Activity of Cherry Tomatoes. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanica Cluj-Napoca*, 46: 388-392.
- Kiferli C, Gonzali S, Holwerda HT, Ibaceta RR, Perata P, 2013. Tomato fruits: A Good Target for Iodine Biofortification. *Frontier in Plant Science*, 4: 1-10.
- Krzepilko A, Zych-Wezyk I, Molas A, 2015. Alternative Ways of Enriching the Human Diet with Iodine. *Journal Pre-Clinical and Clinical Research*, 9: 167-171.
- Krzepilko A, Zych-Wezyk I, Swiecilo A, Molas, Skwarylo-Bednarz B, 2016. Effect of Iodine Biofortification of Lettuce Seedlings on Their Mineral Composition and Biological Quality. *Journal of Elementology*, 21: 1071-1080.
- Kumar S, Palve A, Joshi C, Srivastava RK, Rukhsar, 2019. Crop biofortification for Iron (Fe), Zinc (Zn) and Vitamin a with Transgenic Approaches. *Heliyon*, 5: 1-6.
- La Frano MR, De Moura FF, Boy E, Lönnerdal B, Burri BJ, 2014. Bioavailability of Iron, Zinc, and Provitamin A Carotenoids in Biofortified Staple Crops. *Nutrition Reviews*, 72: 289-307.
- Landini M, Gonzali S, Perat P, 2011. Iodine Biofortification in Tomato. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 174: 480-486.
- Li R, Liu HP, Hong CL, Dai ZX, Liu JW, Zhou J, Hua CQ, Weng HX, 2017a. Iodide and Iodate Effects on the Growth and Fruit Quality of Strawberry. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 97: 230-235.
- Li R, Li WD, Liu HP, Hong CL, Song MY, Dai ZX, Liu JW, Zhou J, Weng HX, 2017b. Enhancing Iodine Content and Fruit Quality of Pepper (*Capsicum annuum* L.) through Biofortification. *Scientia Horticulturae*, 214: 165-173.
- Lin NF, Tang J, Bian JM, 2004. Geochemical Environment and Health Problems in China. *Environmental Geochemistry and Health*, 26: 81-88.
- Lyons G, 2018. Biofortification of Cereals with Foliar Selenium and Iodine Could Reduce Hypothyroidism. *Food and Nutrition Bulletin*, 9: 730-738.
- Majumber S, Datta K, Datta K, 2019. Rice Biofortification: High Iron, Zinc, and Vitamin-A to Fight against 'Hidden Hunger'. *Agronomy*, 803: 1-22.
- Maqbool MA, Beshir A, 2018. Zinc Biofortification of Maize (*Zea mays* L.): Status and Challenges. *Plant Breeding*, 138: 1-28.
- Page AL, 1982. *Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and Microbiological properties*, 2nd edn. American Society of Agronomy Inc. Soil Science Society of America Inc. Madison, WI.
- Patel P, Trivedi G, Saraf M, 2018. Iron Biofortification in Mungbean Using Siderophore Producing Plant Growth Promoting Bacteria. *Environmental Sustainability*, 1: 357-365.
- Prasad R, Shivay YS, Kumar D, 2014. Agronomic Biofortification of Cereal with Iron and Zinc. *Advanced in Agronomy*, 125: 55-91.
- Przybysz A, Wrochna M, Malecka-Przybysz M, Gawronska H, 2016. Vegetable Sprouts Enriched with Iron: Effects on Yield, ROS Generation and Antioxidative System. *Scientia Horticulturae*, 203: 110-117.
- Salgueiro MJ, Zubillaga M, Lysionek A, Cremaschi G, Goldman CG, Caro R, De Paoli T, Hager A, Weill R, Boccio J, 2000. Zinc Status and Immune System Relationship: A Review. *Biological Trace Element Research*, 76:193-205.
- Sazawal S, Dhingra, Dhingra P, Dutta A, Deb S, Kumar J, Devi P, Prakash A, 2018. Efficacy of High Zinc Biofortified Wheat in Improvement of Micronutrient Status, and Prevention of Morbidity among Preschool Children and Women - a Double Masked, Randomized, Controlled Trial. *Nutritional Journal*, 17: 1-10.
- Shahzad Z, Rouached H, Rakka A, 2014. Combating Mineral Malnutrition through Iron and Zinc Biofortification of Cereals. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13. 329-346.
- Siegenberg D, Baynes RD, Bothwell TH, Macfarlane BJ, Lamparelli RD, Car NG, MacPhail P, Schmidt U, Tal A, Mayet F, 1991. Ascorbic Acid Prevents the Dose-Dependent Inhibitory Effects of Polyphenols and Phytates on Nonheme-Iron Absorption. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 53: 537-541.

- Smolen S, Sady W, 2011. Influence of Soil Application of Iodine and Sucrose on Mineral Composition of Spinach Plants. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 10: 3-13.
- Smolen S, Sady W, 2012. Influence of Iodine Form and Application Method on the Effectiveness of Iodine Biofortification, Nitrogen Metabolism as well as the Content of Mineral Nutrients and Heavy Metals in Spinach Plants (*Spinacia oleracea* L.). *Scientia Horticulturae*, 143: 176-183.
- Sperotto RA, Ricachenevsky FK, Waldow VA, 2012. Iron Biofortification in Rice: It's a Long Way to the Top. *Plant Science*, 190: 24-39.
- Stein AJ, 2010. Global Impact of Human Mineral Malnutrition. *Plant and Soil*, 335: 133-154.
- Voogt W, Holwerda, HT, Khodabaks R, 2010. Biofortification of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) with Iodine: The Effect of Iodine Form and Concentration in the Nutrient Solution on Growth, Development and Iodine Uptake of Lettuce Grown in Water Culture. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90: 906-913.
- Welch RM, Graham RD, Cakmak I, 2013. Linking Agricultural Production Practices to Improving Human Nutrition and Health. Expert Paper Written for ICN2 Second International Conference on Nutrition Preparatory Technical Meeting, November 13-15, 2013, Rome, Italy.
- Weng HX, Weng JK, Yong WB, Sun XW, Zhong H, 2003. Capacity and Degree of Iodine Absorbed and Enriched by Vegetable from Soil. *International Journal of Environ Science and Technology*, 15: 107-111.
- Weng HX, Yan AL, Hong CL, Xie LL, Qin YC, Cheng CQ, 2008. Uptake of Different Species of Iodine by Water Spinach and its Effect to Growth. *Biological Trace Element Research*, 124: 184-194.
- Weng HX, Hong CL, Xia TH, Bao LT, Liu HP, DeWang L, 2013. Iodine Biofortification of Vegetable Plants-An Innovative Method for Iodine Supplementation. *Chinese Science Bulletin*, 58: 2066-2072.
- White PJ, Broadley MR, 2009. Biofortification of Crops with Seven Mineral Elements Often Lacking in Human Diets Iron, Zinc, Copper, Calcium, Magnesium, Selenium and Iodine. *New Phytologist*, 182: 49-84.
- White PJ, Broadley MR, 2011. Physiological Limits to Zinc Biofortification of Edible Crops. *Frontiers in Plant Science*, 2: 1-11.
- Woch E, Hawrylak-Nowak B, 2019. Selected Antioxidant Properties of Alfalfa, Radish, and White Mustard Sprouts Biofortified with Selenium. *Acta Agrobotonica*, 72: 1-11.
- Zaman, Q, AslamZ, Yaseen M, Ihsan MZ, Khaliq A, Fahad S, Bashir S, Ramzani PMA, Naeem M, 2018. Zinc Biofortification in Rice. *Levearing Agriculture to Moderate Hidden Hunger in Developing Countries. Archives of Agronomy and Soil Science*, 64: 147-161.
- Zhu YG, Huang YZ, Hu Y, Liu YX, 2003. Iodine Uptake by Spinach (*Spinacia oleracea* L.) Plants Grown in Solution Culture: Effects of Iodine Species and Solution Concentrations. *Environment International*, 29: 33-37.
- Zou C, Du Y, Rashid A, Ram H, Savasli E, Pieterse PJ, Ortiz-Monasterio I, Yazici A, Kaur C, Mahmood K, Singh S, Le Roux, MR, Kuang W, Onder O, Kalayci M, Cakmak I, 2019. Simultaneous Biofortification of Wheat with Zinc, Iodine, Selenium, and Iron through Foliar Treatment of a Micronutrient Cocktail in Six Countries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67: 8096-8106.

Doğu Anadolu Bölgesi İllerine ait Hayvan Varlıklarının Basit Uyum Analizi ile İncelenmesiYıldırım DEMİR^{1*}

ÖZET: Basit uyum analizi, iki kategorik değişken ve bu değişkenlerin kategorileri arasındaki ilişkinin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden birisidir. Çapraz tabloları daha detaylı analiz etme, analiz sonuçlarını analitik ve grafiksel olarak gösterme ve sonuçları kolaylıkla yorumlama bakımından tercih edilmektedir. Günümüzde ülke refah seviyesini belirleyen önemli göstergelerden biri de kişi başı hayvansal ürün tüketimi olmasıdır. Türkiye’de Doğu Anadolu Bölgesinin tarım ve hayvancılık bakımından iyi bölgelerden bir olması nedeniyle bölge hayvancılık (sığır, koyun ve keçi) potansiyeli basit uyum analizi ile incelenmiştir. Bu doğrultuda, bölge illeri hayvancılık verileri TÜİK’in resmi internet adresinden alınmış ve analiz edilmiştir. Toplam değişkenliğin %18.9’u birinci boyut, %5.9’u ise ikinci boyut tarafından açıklanmış ve bu iki boyutun birlikte varyansı açıklama oranı %24.8 olarak bulunmuştur. Buna göre Ardahan, Kars ve Erzincan sığır yetiştiriciliği, Ağrı, Erzurum, Iğdır ve Van koyun yetiştiriciliği, Bitlis, Bingöl, Hakkâri ve Tunceli ise Keçi yetiştiriciliği ile ülke hayvancılık sektörüne önemli bir katkı sağladığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hayvancılık, kategorik değişken, özdeğer, uyum analizi.

Examination of Animal Assets of Eastern Anatolia Region Provinces with Simple Correspondence Analysis

ABSTRACT: Simple correspondence analysis is one of the methods used in determining the relationship between two categorical variables and their categories. It is preferred in terms of analyzing the cross tables in more detail, showing the analysis results analytically and graphically and interpreting the results easily. Today, one of the important indicators determining the welfare level of the country is the consumption of animal product per person. Due to be one of the good areas of Eastern Anatolia Region in terms of agriculture and animal farming in Turkey, potential (cattle, sheep and goats) of livestock of the region were examined by a simple correspondence analysis. In this direction, the livestock data of the provinces of the region were taken from the official internet address of TURKSTAT and analyzed. 18.9% of the total variability was explained whit the first dimension and 5.9% whit the second dimension, and the variance explanation rate of these two dimensions was found to be 24.8%. Accordingly, it has been observed that Ardahan, Kars and Erzincan made an important contribution to the country's livestock sector with cattle breeding, Ağrı, Erzurum, Iğdır and Van sheep breeding, Bitlis, Bingöl, Hakkâri and Tunceli goat breeding.

Keywords: Farming, categorical variable, inertia, correspondence analysis.

¹Yıldırım DEMİR (Orcid ID: 0000-0002-6350-8122), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü, Van, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Yıldırım DEMİR, e-mail: ydemir.yyu@gmail.com

GİRİŞ

İnsanlık tarihinden günümüze hayvancılık insanların hayatında önemli bir yere sahiptir. Gerek ekonomik kalkınma, gerekse gıda ihtiyaçlarının giderilmesi amacıyla hayvancılık her geçen gün büyük bir önem arz etmektedir. Sağlıklı ve dengeli beslenme için gerekli olan proteinin yarısının hayvansal ürünlerden sağlanması gerekmektedir. Türkiye gerek coğrafik yapısı gerekse iklim koşulları bakımından hayvancılığa elverişli bir bölgedir. Ancak, nüfus artışı ile birlikte hayvansal ürün ihtiyacı da artmaktadır. Hayvan sayısının azalması ve meydana gelen talep artışının karşılanmaması sonucunda ürün fiyatlarının artması hayvansal ürün tüketimini de olumsuz etkilemektedir (Tosun ve Demirbaş, 2012). Türkiye'nin coğrafik yapısı hayvancılık sektöründe bölgeler arsında farklı hayvan türlerinin yetiştirilmesine neden olmaktadır. Bu durum hayvansal ürün üretimi yatırımlarında da farklılıklara neden olmaktadır (Polat, 2017). Örneğin, ağırlıklı sığır yetiştiriciliği yapılan bir bölgeye tiftik ile ilgili bir işletmenin kurulması uygun değildir.

Hayvancılık alanında elde edilen veriler, ya doğrudan ya da elde edildikten sonra kategorize edilmektedir. Kategorilere ayrılan bu veriler genellikle Ki-kare testi, Fisher'in Kesin Olasılık testi, G-İstatistiği ve Oran testi gibi istatistiki yöntemler kullanılarak analiz edilir. Bu istatistiki yöntemlerin kullanılabilmesi için bazı test varsayımlarının sağlanması gerekmektedir. Ancak, genellikle test varsayımları sağlanmadığı gibi, sağlansa bile bazı durumlarda çıktılar genel kalmakla beraber çıktı sonuçlarının yorumlanmasında da güçlükler yaşanabilmektedir (Başpınar ve Mendeş, 2000). Ayrıca bu testler hem değişkenler arasındaki hem de değişkenlerin seviyeleri arasındaki ilişkileri daha ayrıntılı bir biçimde ortaya çıkarmada ve çıktı sonuçlarının görsel olarak sunmada yetersiz kalmaktadır (Devillers ve Karcher, 1991). Böylece, bu gibi sorunların üstesinden gelmek amacıyla geliştirilen analiz yöntemlerinden birisi de uyum analizi yöntemidir (Blasius ve Greenacre, 1998).

Uyum analizi; kategorik olarak elde edilmiş ya da elde edildikten sonra kategorik hale dönüştürülüp parametreler arasındaki korelasyonların iki veya daha fazla boyutlu çapraz tablolar ile analiz edildiği durumlarda kullanılan ve tanımlayıcı tipte olan çok değişkenli istatistik yöntemidir. Bu yöntem kategoriler arasındaki uyumu daha detaylı bir biçimde analiz etmekte ve sonuçları grafiksel olarak göstermektedir. Uyum analizi basit ve çoklu uyum analizi olmak üzere iki farklı başlık altında incelenmektedir. Basit uyum analizi sadece iki kategorik değişken arasındaki ilişkiyi ele almaktadır (Chou, 1994; Gifi, 1990; Keskin, 2001).

Tarım ve hayvancılık alanında yapılan çalışmalarda kategorik veriler genellikle frekans tabloları olarak özetlenmiş ve gerekli yorumlar bu tablolara göre yapılmıştır. Ancak kategorik verilerin daha detaylı incelenmesinin bu alanda önem arz ettiği düşünülmektedir. Bu bağlamda uyum analizinin geleneksel yöntemlerden görsellik, hesaplama ve yorumlama bakımından daha avantajlı olduğu vurgulanabilir.

Bu çalışmanın amacı, kategorik olarak elde edilen ya da elde edildikten sonra kategorilere ayrılan verilerin analizinde diğer alternatif yöntemlere göre daha detaylı bilgi verebilen basit uyum analizinin tarım ve hayvancılık alanında yapılan araştırmalarda da kullanılabileceğini göstermektir. Ayrıca, Doğu Anadolu Bölgesi illerinin hayvan varlığının durumunu ortaya koyabilmektir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma materyali, Doğu Anadolu Bölgesi illerine ve 2019 yılına ait sığır, koyun ve keçi sayısından oluşmaktadır. Veriler Türkiye İstatistik Kurumunun <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=101&locale=tr> resmi internet adresinden indirilmiştir (TÜİK, 2019). İndirilen veriler Microsoft Excel 2010 programı ile yeniden düzenlendikten sonra IBM SPSS Statistics 21 programı ile analiz edilmiştir.

Bu çalışmada yöntem olarak basit uyum analizi kullanılmıştır. Uyum analizi, çapraz tablo yapılarının araştırılması için değişkenlerin kategorilerini noktasal olarak göstermekte, grafik oluşturması için de geometrik tekniklerin bir bileşimi olarak değerlendirilmektedir (Andersen, 1994; Keskin, 2001). Temel amacı çapraz tablolardaki satır ve sütun kategorileri arasındaki ilişkiyi grafiksel olarak göstermek, bu gösterimi sağlayacak basit faktörler sunmak ve çapraz tabloların boyutunu azaltmak şeklinde sıralanabilir (Alpar, 2011). Uyum analizi, çapraz tablonun içerdiği değişken sayısına göre farklı şekillerde adlandırılmaktadır. Çapraz tablodaki değişken sayısı 2 olduğunda basit uyum analizi, 3 ve daha fazla değişken olduğunda ise çoklu uyum analizi olarak adlandırılmaktadır (Alpar, 2011; Özdamar, 2010). Basit uyum analizinde kullanılan $k \times l$ boyutlu kontenjans tablosu Tablo 1.'de verilmiştir.

Çizelge 1. $k \times j$ boyutlu kontenjans tablosunun genel gösterimi

i / j	Sütun Parametreleri					
Satır Parametresi	C_1	C_2	...	C_l	Satır Toplamı	
R_1	f_{11}	f_{12}	...	f_{1l}	$f_{1.}$	
R_2	f_{21}	f_{22}	...	f_{2l}	$f_{2.}$	
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	
R_k	f_{k1}	f_{k2}	...	f_{kl}	$f_{k.}$	
Sütun Toplamı	$f_{.1}$	$f_{.2}$	...	$f_{.l}$	$f_{..}$

Tablo 1'de; f_{ij} : Kontenjans tablosunun satır değişkeninin i . kategorisi ile sütun değişkeninin j . kategorisine ait negatif olmayan frekans değeridir. Ayrıca, $i = 1, 2, \dots, k$; $j = 1, 2, \dots, l$ olduğundan k ; Satır değişkeninin kategori sayısını ve l ; Sütun değişkeninin kategori sayısını vermektedir.

$f_{i.}$; Satır değişkeninin i . kategorisine ait toplam frekans

$$f_{i.} = \sum_{j=1}^l f_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, k; \quad j = 1, 2, \dots, l \quad (1)$$

$f_{.j}$; Sütun değişkeninin j . kategorisine ait toplam frekans

$$f_{.j} = \sum_{i=1}^k f_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, k; \quad j = 1, 2, \dots, l \quad (2)$$

$f_{..}$; Tüm kategorilere ait toplam frekans ise;

$$f_{..} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l f_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, k; \quad j = 1, 2, \dots, l \quad (3)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır (Özdamar, 2010).

Tablo 1'in her hücresinde verilen gözlenen frekansların profilleri (a_{ij} =Marjinal gözlenen frekanslar) Eşitlik 4. yardımıyla bulunur. Ayrıca aynı eşitlik ile her bir satır ve sütun için marjinal olasılık (mass) denilen ortalama sıra ve ortalama sütun profilleri hesaplanabilir.

a_{ij} ; i . satır ve j . sütun profili (Satır profili),

$a_{.j}$; Ortalama satır profili ve

$a_{i.}$; Ortalama sütun profili olduğuna göre satır profili,

$$a_{ij} = f_{ij}/f_{i.} \quad veya \quad a_{ij} = f_{ij}/f_{.j} \quad (4)$$

eşitliği ile hesaplanabilir.

Uyum analizi satır ve sütun arasındaki bağımlılığı belirlemek için, satır profilleri (a_{ij} 'ler) karşılaştırılır. İki değişken birbirinden bağımsız ise satır profilleri (a_{ij}) ortalama satır profiline ($a_{.j}$) eşit olur. Böylece değişkenlerin birbirlerine benzerliği veya farklılığı belirlenmiş olur.

Uyum analizinde varyans terimi yerine kullanılan inertia değeri Pearson Ki-kare test istatistiği ile ilişkilidir. Bazı modellenmiş çalışmalarda uyum iyiliği testleri uygulandığında buna bağlı olan kriterlerin çok yüksek Toplam inertia profil noktalarının merkeze olan uzaklıklarının toplam ölçüsüdür. Bunu hesaplamak için ki-kare uzaklığı ya da Öklid uzaklığı yardımıyla her kategorinin birbirine olan uzaklığı belirlenir. Ancak ilk önce Tablo 1.'de verilen her bir gözlenen gözlemin (f_{ij}), beklenen frekansının (t_{ij}) belirlenmesi gerekmektedir. Gözlemlerin beklenen frekansları,

$$t_{ij} = a_i \cdot a_j \cdot f_{..} \quad \text{veya} \quad t_{ij} = \frac{f_{i.} \cdot f_{.j}}{f_{..}} \quad (5)$$

eşitliği ile belirlendikten sonra Ki-kare uzaklığı kullanılarak Λ^2 ile gösterilen İntertia ise Eşitlik (6) yardımıyla hesaplanmaktadır (Özdamar, 2010).

$$\Lambda^2 = \frac{\chi_{ij}^2}{\chi_{..}^2} = \frac{\frac{(f_{ij} - t_{ij})^2}{t_{ij}}}{\sum_i \chi_i^2} \quad (6)$$

Eşitlik (6)'da;

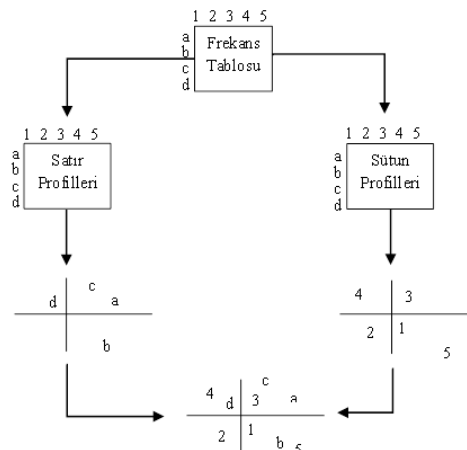
$\chi_{ij}^2 = i.$ satır ve $j.$ sütundaki gözleme ait ki-kare değerini,

$\chi_i^2 = i.$ satırdaki gözlemlere ait ki-kare değerlerinin toplamını ve

$\chi_{..}^2 =$ Toplam ki-kare değerini vermektedir.

Eşitlik (6)'daki Ki-kare, non-parametrik bir test olup n hacimli örneğin belirli bir anakütleden çekilip çekilmediği ile ilgilenir ve elde edilen örneklem p serbestlik dereceli Ki-kare dağılımına sahip olduğunda grafiksel olarak da gösterilebilmektedir (Eygü ve Özçomak, 2017). Ayrıca, eşitlik değişkenlerin birbirinden bağımsız olup olmadığını belirlemede kullanılmaktadır. Toplam inertianın alabileceği en küçük değer sıfır ve en büyük değer ise satır ve sütun sayısından küçük olandan 1 eksiktir. İntertianın büyümesi bütün noktaların uçlara doğru dağıldığını gösterirken, küçülmesi noktaların oluşturduğu profillerin merkeze doğru yoğunlaştığını göstermektedir. Toplam inertia, her bir boyut için satır profilleri ile sütun profilleri arasındaki tekil değerlerin karesidir. Tekil değerlerden yararlanılarak değişimin (inertianın) önemli bir kısmının kaç boyutta açıklanabileceği belirlenir. Böylece toplam değişimin her boyuttaki payı, ancak her boyutun açıklayabildiği inertia değerinin bulunmasıyla mümkündür (Keskin ve Gürbüz, 2001). Basit uyum analizi farklı aşamalardan geçmektedir. Uyum analizine ait aşamalar Şekil 1'de detaylı bir şekilde verilmiştir.

Şekil 1 parametrelerin kategorilerine göre elde edilen frekans tablosundan satır profilleri ve sütun profilleri hesaplanarak buradan elde edilen koordinatlar yardımıyla kategoriler koordinat düzleminde gösterilmektedir. Son aşamada ise satır ve sütun profilleri aynı düzlemde gösterilerek yorumlanmaktadır.



Şekil 1. Uyum analizi aşamaları

BULGULAR VE TARTIŞMA

Tablo 2’de Doğu Anadolu Bölgesi illerinde kırmızı et potansiyelinin belirlenmesi için bölge hayvan (Sığır, Koyun ve Keçi) varlığı verilmiştir.

Çizelge 2. Hayvan varlığının illere göre dağılımı

İller	Hayvan Cinsi			Toplam
	Sığır	Koyun	Keçi	
Ardahan	348886	95468	3772	448126
Ağrı	399838	1263535	71469	1734842
Bingöl	140229	467117	168486	775832
Bitlis	100945	448489	239750	789184
Elazığ	191399	602803	119375	913577
Erzurum	112468	414382	48800	575650
Erzincan	826914	689158	92536	1608608
Hakkâri	46921	497927	168661	713509
İğdır	154452	1100053	49615	1304120
Kars	596928	440272	28229	1065429
Malatya	180645	286114	71904	538663
Muş	322810	870338	214253	1407401
Tunceli	37791	303597	100887	442275
Van	180203	2505417	202595	2888215
Toplam	3640429	9984670	1580332	15205431

Tablo 2 incelendiğinde; Ardahan’da sığır yetiştiriciliği, Van, Ağrı ve Erzurum’da ise koyun yetiştiriciliği belirgin bir şekilde öne çıktığı görülmektedir. Ayrıca sığır yetiştiriciliğinde Erzincan-Kars, Koyun yetiştiriciliğinde Van-Ağrı ve keçi yetiştiriciliğinde ise Bitlis-Muş önemli bir potansiyele sahiptir.

Çizelge 3. Verilere ait sıra ve sütun profiller

İller	Satır Profilleri					Sütun Profilleri			Ortalama Sütun Profili (Mass)
	Hayvan Cinsi			Active Margin	Satır Ağırlığı	Hayvan Cinsi			
	Sığır	Koyun	Keçi			Sığır	Koyun	Keçi	
Ardahan	0.779	0.213	0.008	1.000	0.029	0.096	0.010	0.002	0.029
Ağrı	0.230	0.728	0.041	1.000	0.114	0.110	0.127	0.045	0.114
Bingöl	0.181	0.602	0.217	1.000	0.051	0.039	0.047	0.107	0.051
Bitlis	0.128	0.568	0.304	1.000	0.052	0.028	0.045	0.152	0.052
Elazığ	0.210	0.660	0.131	1.000	0.060	0.053	0.060	0.076	0.060
Erzurum	0.195	0.720	0.085	1.000	0.038	0.031	0.042	0.031	0.038
Erzincan	0.514	0.428	0.058	1.000	0.106	0.227	0.069	0.059	0.106
Hakkâri	0.066	0.698	0.236	1.000	0.047	0.013	0.050	0.107	0.047
İğdır	0.118	0.844	0.038	1.000	0.086	0.042	0.110	0.031	0.086
Kars	0.560	0.413	0.026	1.000	0.070	0.164	0.044	0.018	0.070
Malatya	0.335	0.531	0.133	1.000	0.035	0.050	0.029	0.045	0.035
Muş	0.229	0.618	0.152	1.000	0.093	0.089	0.087	0.136	0.093
Tunceli	0.085	0.686	0.228	1.000	0.029	0.010	0.030	0.064	0.029
Van	0.062	0.867	0.070	1.000	0.190	0.050	0.251	0.128	0.190
Ortalama Satır Profili (Mass)	0.239	0.657	0.104	1.000					
Active Margin						1.000	1.000	1.000	
Sütun Ağırlığı						0.239	0.657	0.104	

Tablo 3'te, Tablo 2'de verilen verilere ait satır ve sütun profilleri verilmektedir. Tablo 3'te satır profillerine göre bölgede hayvancılık sektörünün %23.9'unu sığır, %65.7'sini koyun ve %10.4'ünü keçi oluşturmaktadır. Ardahan'da sığır %77.9 ile büyük bir potansiyel oluştururken keçi %0.8 gibi önemsiz bir potansiyel oluşturmaktadır. Ayrıca Kars (%56) ve Erzincan'da da (%51.4) sığır yetiştiriciliği diğer iki hayvan cinsine göre önemli bir potansiyele sahiptir. Van (%86.7), Iğdır (84.4), Ağrı (%72.8) ve Erzurum (%72) illerinde koyun yetiştiriciliğinin çok daha iyi olduğu gözlenmektedir. Her ne kadar bazı illerin keçi popülasyonu sığır popülasyonundan yüksek olsa da hiçbir ilin keçi popülasyonu koyun popülasyonundan yüksek değildir. Yaklaşık 1.9 kat fark olmasına rağmen koyun (%56.8)-keçi (%30.4) oranının en düşük olduğu il Bitlis'tir.

Sütun profillerine göre bölge hayvancılık sektöründe en yüksek payı oluşturan ilk üç il sırayla Van (%19), Ağrı (%11.4) ve Erzincan (%10.6)'dır. Sığır yetiştiriciliğinde ilk üç il arasında Erzincan (%22.7), Kars (%16.4) ve Ağrı (%11) yer alırken %1 gibi küçük bir değer ile Tunceli sonuncu il konumundadır. Koyunculukta en yüksek pay %25.1 gibi önemli bir oran ile Van'a ait iken bunu sırasıyla Ağrı (%12.7) ve Iğdır (%11) izlemekte olup en küçük pay ise %1 ile Ardahan'a aittir. Bölgede keçi en çok %15.2'lik bir oranla Bitlis'te yetiştirilmektedir. Bitlis'i sırasıyla Muş (%13.6) ve Van (%12.8) izlemekte olup en az keçinin yetiştirildiği il ise Ardahan (%0.2)'dir.

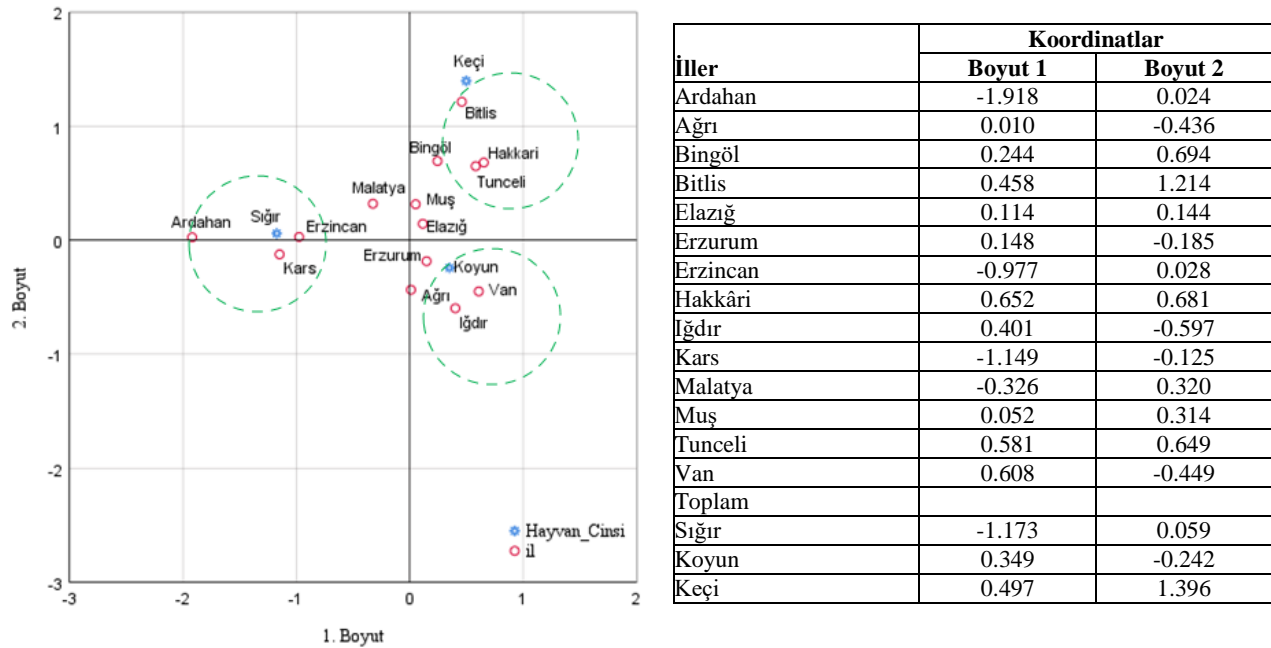
Ortalama satır profilleri, her bir sütun toplamının genel toplama oranı ile hesaplanabileceği gibi $(0.779*0.029)+(0.230*0.114)+...+(0.062*0.190)=0.239$ şeklinde satır profillerinin ağırlıklı ortalaması olarak da hesaplanabilmektedir. Merkezi oluşturan ortalama satır profilleri ana eksenin orijinini de belirlemektedir. Böylece bir profilin orijine ne kadar yakın veya uzak olduğunu ortalama profil belirlemekte olup, ortalama profile yakın olan profil orijine de yakın olacaktır (Alpar, 2011). Bu durumda, orijine en yakın olan ilk ve son iki profiller belirlenirse, orijine en yakın olan profilin Elazığ'a ve hemen sonraki profilin Erzurum'a ait olduğu; en uzak olan profilin Ardahan'a ve bir önceki profilin ise keçiye ait olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4. İllere ait hayvan verisinin boyutlarına ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Boyutlar	Tekil Değerler	Inertia (Özdeğerler)	Ki Kare	p.	Inertiadaki Pay (%)	Birikimli Yüzde
1	0.435	0.189			0.764	0.764
2	0.242	0.059			0.236	1.000
Toplam (p<0.01)		0.248	3 769 382.084	0.001 ^a	1.000	1.000

Tablo 4'te verilere ait tanımlayıcı istatistikler verilmiştir. Ele alınan iki boyuttan 1. boyuta ait tekil değer 0.435 ve 2. boyuta ait tekil değer ise 0.242 olarak bulunmuştur. Bu değerlerden yararlanılarak boyut inertiaları sırasıyla 0.189 ve 0.059 olarak hesaplanmıştır. Uyum analizinde varyans yerine inertia kullanıldığından toplam varyansın %18.9'unun birinci boyut ve %5.9'unun ise ikinci boyut tarafından açıklandığı görülmektedir. Böylece ilk iki boyutun birlikte varyansı açıklama oranı %24.8 olarak bulunmuştur. Ayrıca 1. boyutun inertiadaki payı %76.4 iken 2. boyutun inertiadaki payı %23.6'dır.

Ki-kare istatistiği 3 769 382.084 olarak ve olasılık değeri de 0.001 olarak bulunmuştur. Bulunan bu olasılık değerine (p<0.05) göre hayvan cinsi tercihlerinin illere göre değiştiği yani hayvan tercihlerinin illerden bağımsız olmadığı söylenebilir. Değişkenlerin konumu ve iki değişkenin kategorileri arasındaki ilişki Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Uyum analizi diyagramı ve veri koordinatları

Şekil 2 incelendiğinde; Ardahan, Kars ve Erzincan'da sığır yetiştiriciliği, Ağrı, Erzurum, İğdir ve Van'da koyun yetiştiriciliği, Bitlis, Bingöl, Hakkâri ve Tunceli'de ise Keçi yetiştiriciliği; ilin yanı sıra ülke hayvancılık sektörüne de önemli bir katkı sağladığı söylenebilir. Elazığ, Malatya ve Muş'un ise herhangi bir hayvan cinsi etrafında ciddi bir kümeleme eğilimi göstermediği söylenebilir. Şekil 2'de iki boyutlu koordinat sisteminde verilen her bir verinin düzlemdeki koordinatları da verilmiştir. Buna göre 1. boyutta soldan sağa Ardahan (-1.918), sığır (-1.173),..., Tunceli (0.581) ve Van (0.608) şeklinde bir sıralama; 2. boyutta ise aşağıdan yukarıya İğdir (-0.597), Van (-0.449),..., Bitlis (1.214) ve keçi (1.396) şeklinde bir sıralama olduğu gözlenmektedir. Ayrıca orijine en yakın noktaya Elazığ ve en uzak noktaya ise Ardahan konumlanmıştır.

Çalışmada, toplam değişkenliğin %18.9'u birinci boyut ve %5.9'u ise ikinci boyut tarafından açıklandığı görülmektedir. Bu iki boyutun varyansı açıklama oranının (%24.8) çok düşük olduğu söylenebilir. Ki-kare test istatistiği olasılık değeri de 0.001 olarak bulunmuştur. Her ne kadar varyans açıklama oranı düşük bulunmuş olsa da boyutlara ait hesaplanan olasılık değeri ($p < 0.05$) bölge illeri ile illerde yetiştirilen hayvan cinsleri arasında anlamlı bir ilişki olduğunu göstermektedir. Yani, hayvan cinsi tercihlerinin illere göre değiştiği gözlenmiştir. Böylece; Ardahan, Kars ve Erzincan sığır yetiştiriciliği, Ağrı, Erzurum, İğdir ve Van koyun yetiştiriciliği, Bitlis, Bingöl, Hakkâri ve Tunceli ise keçi yetiştiriciliği ile ilin yanı sıra ülke hayvancılık sektörüne de önemli bir katkı sağladığı söylenebilir.

Uyum analizi modelden bağımsız ve üzerinde çok az kısıtlamanın olduğu tanımlayıcı tipte bir analiz olup bu analizde veri tipi niteldir. Analizin tek varsayımı çapraz tablodaki sıklıkların pozitif sayılar olmasıdır. Bunun dışından verinin dağılımı açısından bir varsayımı yoktur. Ayrıca uyum analizinde anlamlılık testi de yoktur (Alpar, 2011; Clausen, 1998). Başka bir ifadeyle, basit uyum analizi, negatif olmayan veri matrisinde kategorik değişkenlerin yer aldığı çapraz tablolarda, değişkenlerin kategorilerini genellikle iki boyutlu uzayda nokta olarak gösteren ve bunlar hakkında açıklayıcı bilgiler sunan analiz tekniklerinden birisidir (Devillers ve Karcher, 1991).

Günümüzde ülke refah seviyesini belirleyen önemli göstergelerden biri de kişi başı hayvansal ürün tüketimi olması ve hayvancılık sektöründe geri kalmış ülkeler, bu alandaki ihtiyaçlarını ithal mallarla çözmeye çalışmaları ülke üretimini ve ekonomisini ciddi anlamda olumsuz etkilemektedir (Morrison ve ark., 2003).

SONUÇ

Tarım ve hayvancılık alanında yapılan araştırmaların yanı sıra bu alanda elde edilen verilerin daha detaylı bir şekilde analiz edilmesi de önemlidir. Bu bağlamda, çapraz tabloları daha detaylı analiz etmede, analiz sonuçlarını analitik ve grafiksel olarak göstermede ve sonuçların kolaylıkla yorumlanmasını sağlamada basit uyum analizi etkili bir yöntem olarak önerilebilir. Tarım ve hayvancılık alanında da elde edilecek iki ya da daha fazla kategorik değişken arasındaki ilişkinin belirlenmesinde uyum analizi tekniğinin diğer alternatif tekniklere göre daha avantajlı olduğu söylenebilir. Ülkemizde kısa, orta ve uzun vadeli hayvancılık programlarının planlanmasında ve yapılacak yatırımlarda illerdeki hayvan türleri varlığının bilinmesi ve buna göre hayvancılık programlarının göz önüne alınması büyük önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- Alpar R, 2011. Uygulamalı Çok değişkenli İstatistiksel Yöntemler. Detay Yayıncılık, ss.355-382, Ankara-Türkiye.
- Anderson EB, 1994. The Statistical Analysis of Categorical Data. Springer-Verlag, pp.362-402, Berlin-German.
- Başpınar E, Mendeş M, 2000. İki Yönlü Tablolarda Uyum Analizi Tekniğinin kullanımı. Tarım Bilimleri Dergisi, 6 (2): 98-106.
- Blasius J, Greenacre M, 1998. Visualization of Categorical Data. Academic Press, pp.107-311, San Diego-USA.
- Chou RJ, 1994. Multivariate Analysis and Its Application. Institute of Mathematical Statistics, pp. 195-210, California-USA.
- Clausen SE, 1998. Applied correspondence analysis: An introduction. Sage Publications, p.80, California-USA.
- Devillers J, Karcher W, 1991. Applied Multivariate Analysis in SAR and Environmental Studies. Springer-Science+Business Medai, pp.1-33, Dordrecht-Netherlands.
- Eygü H, Özçomak MS, 2018. Multivariate Statistical Quality Control Based on Ranked Set Sampling. Asian Social Science, 14 (1): 1-10.
- Gifi A, 1990. Nonlinear Multivariate Analysis. John Willey and Sons Ltd., p.579, West Sussex-England.
- IBM SPSS Statistics 21, 2012. IBM base 10.0 for windows. 64-bit edition. IBM Corporation and other, Chicago.
- Keskin S, Gürbüz F, 2001. İki Yönlü Tablolarda Basit Uygunluk (Correspondence) Analizi. Biyoteknoloji (Kükem) Dergisi, 25 (2): 77-83.
- Keskin S, 2001. Çoklu Uyum Analizi ve Bir Uygulaması. Tarım Bilimleri Dergisi, 7 (4): 91-95.
- Morrison JA, Balcombe K, Bailey A, Klonaris S, Rapsomanikis G, 2003. Expenditure on Different Categories of Meat in Greece: The Influence of Changing Tastes. Agricultural Economics, 28 (2): 139-150.
- Özdamar K, 2010. Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi-2 (Çok Değişkenli Analizler), Kaan Kitapevi, ss.445-482, Eskişehir-Türkiye.
- Polat M, 2017. Hayvancılık Sektörünün TRA2 Bölgesinin Ekonomik Kalkınması Üzerine Etkileri. International Journal of Social Sciences and Education Research, 3 (2): 2149-5939.
- Tosun D, Demirbaş N, 2012. Türkiye’de Kırmızı Et ve Et Ürünleri Sanayiinde Gıda Güvenliği Sorunları ve Öneriler. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 26 (1): 93-101.
- TÜİK, 2019.Türkiye İstatistik Kurumu veri tabanı, <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=101&locale=tr> (Erişim Tarihi: 25.12.2019).

The Effects of Common Vetch Grain (*Vicia Sativa*) on Some Blood, Rumen Parameters and Rumen Protozoa in Lambs

Cemal BUDAĞ^{1*}, Evrim TAŞ¹

ABSTACT: This study investigated the effect of different levels of common vetch (CV) grain feed on some blood and rumen parameters and rumen protozoa in lambs consuming sainfoin hay (SH). In the study two-month-old weaned, SH consumed, 36.25 ± 2.49 kg average body weight (BW), twenty-four female lambs were used. Ration groups were established as follows; In the first group (C, control), 2% SH and 0.00% CV of the lamb's live weight (LW) were adopted while in the second group, 1.25% SH and 0.75% CV (CVI) and in the third group, 0.5% SH and 1.50% CV (CVII) were adopted. Blood and rumen fluid samples were taken twice, once at the beginning of the study and once on the 30th day of the study. Although there were statistical differences in some of the parameters investigated in the study, all blood and rumen parameters were within the normal limits specified for lambs in the literature. In this study, it was concluded that feeding the lambs that are consuming SH with CV 1.5% of their live weight did not have a negative effect and the total ration can be formed using both SH and CV.

Key Words: Blood-parameters, lamb, protozoa, rumen, sainfoin, vetch

¹ Cemal BUDAĞ (Orcid ID: 0000-0003-3532-7727), Evrim Taş: (Orcid ID:0000-0001-8234-5296) Van Yüzüncü Yıl University, Faculty of Agriculture, Department of Animal Science, Van, Turkey

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Cemal BUDAĞ¹, e-mail: cbudag@yyu.edu.tr

This study was produced from Evrim Taş's Master's thesis.

The article was presented as a poster at the 6th National Animal Science Congress held in Erzurum on 24-26 JUNE 2009. 6. National Animal Science Congress, Book, Poster Presentation Paper 24-26 / 2009. Page 161. Erzurum

ETİK KURUL ONAYI / ETHICS COMMITTEE APPROVAL: This study was conducted under the control of Dr. Cemal Budağ and Prof. Dr. Abuzer Taş, who possessed the "Animal Experiment Authorization Certificate" of Yüzüncü Yıl University, in 2008. Animal experiments ethics committee report was not requested at the time. has been updated due to regaining importance in their countries.

Geliş tarihi / Received: 08-01-2020

Kabul tarihi / Accepted: 22-05-2020

INTRODUCTION

Food and feed production, which does not increase in parallel to population growth in the world, creates increasing biomass and an industrial raw material deficit in human and animal nutrition. It has been reported that agricultural productivity should be increased between 70-and 110% by 2050 to cover this deficit. Accordingly, in many countries, especially in Europe, studies have been carried out to diversify and to increase the production of high-stress-resistant, high-yielding products. In many European countries, governments support the production of legumes, including common vetch, which is used successfully in soil improvement and is more resistant to aggressive climatic conditions compared to wheat (Hanbury et al. 2000; Lestingi et al. 2015; Asharf et al. 2018).

Huang et al. (2017), in a review study, have reported that common vetch grains were less expensive compared to its alternatives, rich in protein and mineral resources for livestock, it has a high digestibility and high energy content, therefore, it can be partially or solely used in the rations as an alternative to soybean, and as a sole alternative to most of the grains used in rations. Further research is needed to determine the nutritional values of common vetch and to understand its effects on various animal species (fish, poultry, pigeons, pigs, horses, cattle, sheep, goats) considering the physiological periods of the animals (young, adult, lactation period, pregnancy period). (McDonald and Copeland 1997). Common vetch species (including *V. sativa* L.) are characterized by the presence of γ -glutamyl- β -cyano-alanine (GCA) and β -cyano-L-alanine (BCA), which are toxic to monogastric animals (Huang et al. 2017; Sherasia et al. 2017). Common vetch has the potential to be an additional feed source with high energy and protein contents. It has been reported that the protein level in the structure of common vetch grain varies between 26.6 and 39.3% in dry matter (Abreu and Bruno-Soares 1998; Eugeniusz et al. 2010; Seifdavati and Taghizadeh 2012; Mao et al. 2015; Huang et al. 2017). The metabolic energy level of common vetch grain has been reported in the range of 8.67–12.50 MJ kg⁻¹ in dry matter (Huang et al. 2017).

The production of various leguminous forage crops has become widespread in the structural improvement studies of the soils that are impoverished by conventional production (Sheppard et al. 2019). Also, the fact that leguminous roughage crops synthesize higher microbial protein compared to wheat forages directs producers to produce leguminous roughage (Wilkinsa and Jones 2000). As well as the roughage production for ruminant feeding in the world, leguminous roughage remaining from leguminous crop production for both human food and animal feed originating from plant stems and leaves of grain legumes are also intensively used in rations. These products, which are of legume origin, are mostly supplemented with starch feeds such as corn and barley with high production costs and protein feeds such as soybean meal (Bruno-Soares et al. 2000; Yeheyis et al. 2004; Carbonero et al. 2011; Dejene et al. 2018).

This study was conducted to investigate the effects of using sainfoin hay as a forage source in lamb rations, and common vetch grain, as an intense feed source on some blood and rumen parameters and rumen protozoa in lambs.

MATERIAL AND METHOD

This study was carried out in Van Yüzüncü Yıl University Research and Application Farm. In this study, 24 female lambs, accustomed to consuming sainfoin hay (SH), weaned, approximately four weeks old and with an average live weight of 36.25 ± 2.49 kg were used. The dry matter (DM) requirements of lambs were determined as 2% of their live weight (LW). In the control group (C) CV 0.00% and SH 2.00% of LW, in Group 1 (CVI), CV 0.75% and SH 1.25% of live weight and group 2 (CVII), CV 1.50% and SH as 0.50% of LW was given: exercise feeding was performed for 5 days. Then the trial

lasted 25 days. The daily ration for each lamb was split into equal two portions and fed at 08: 00 and 16: 00 h. The mineral vitamin supplement contents of which are given in Table 3 was added to the rations at a level of 0.10% during the experiment (Table 1-2).

While feed's dry matter (DM), crude protein (CP), ether extract (EE) and crude ash CA analyzes were carried out according to AOAC (1990), acid detergent fiber (ADF) and neutral detergent fiber (NDF) analyzes were carried out in Van Soest et al. (1991) (Table 3).

Table 1. The amount of sainfoin hay and common vetch given to animals in the study

	CV*	SH*	CV**	SH**	CV***	SH***
C	0.0	100	0.000	0.725	0.00	2.00
CVI	37.5	62.5	0.272	0.453	0.75	1.25
CVII	75.0	25.0	0.544	0.181	1.50	0.50

*CV and SH Ratios in Ration (%), **CV and SH amounts (grams / lamb), ***Ratio of CV and SH to Animal Weight (%).

Table 2. Chemical composition of group feeds (%)*.

	DM	CP	EE	CA	ADF	NDF
C	92.89	11.43	0.86	16.97	47.44	66.69
CVI	93.31	16.77	7.18	14.50	32.96	59.50
CVII	93.73	22.12	5.75	12.04	18.48	52.31

* Vitamin mineral (Fascovite) was added to the diet at a rate of 0,10%. 1 kg of Faskoviti; 1 000 000 IU of vitamin A, 200 000 IU of vitamin D3, 400 mg of vitamin E, 500 mg of vitamin B1, 500 mg of vitamin B2, 304 mg of vitamin B6, 5 000 mg of Fe, 1000 mg of Cu, 5 000 mg of Zn, 80 mg of Mn. , 20 mg Co, 21 mg Se, 9,180 mg Mg, 12 750 P, 18 750 mg Ca.

Table 3. Nutrient Contents of CV and SH (%).

	DM	CP	EE	CA	ADF	NDF
CV	92.89	11.43	0.86	16.97	47.44	66.69
SH	94.01	25.68	0.48	10.39	8.83	47.51

The first blood samples were collected in the morning after the study groups were formed before the animals were fed, and the second samples were collected on the 30th day of the study as in the first sample collection. For blood analysis 10 ml blood samples were collected from each animal from the vena jugular with a cannula. After the serum was separated from the blood samples by centrifugation, the samples were kept in a cool, without light condition until analysis. In the serum samples, blood sugar (BG), total protein (TP), triglyceride (TG), blood urea nitrogen (BUN), calcium (Ca), phosphorus (P), potassium (K), chloride (Cl) and sodium (Na) amount analysis were made using the modular type e Hitachi Automated Analyzer and Tokyo/Japan and Roche kits (Qing-jun at al. 2008).

The first rumen liquid samples were collected in the morning after the study groups were formed before the animals were fed, and the second samples were collected on the 30th day of the study as in the first sample collection. As was the case for blood collection, before and after the study, rumen fluid samples (50 ml per animal) were taken by oral rumen probe twice, one before and one after the experiment. The samples were slightly stirred to stabilize the rumen liquid, and then, the rumen liquid pH values were immediately measured with a digital pH meter. Concentrations of ammonia nitrogen in the rumen fluid was performed according to the method of Markham steam distillation (Markham, 1942). Preparation of rumen fluid for protozoa count and the number of protozoa in the rumen fluid was made according to Dehority (1984).

Descriptive statistics of the characteristics were expressed as mean and standard error. To determine whether there were differences between application groups (C, CVI, and CVII) and times (B

and A) in terms of characteristics; Two-way ANOVA (repeated measurement on one-factor levels) was performed. To determine the different group means; Tukey multiple comparison test was used. All statistical analyses were carried out in the STATISTICA statistical package program (Winer, 1971).

RESULTS AND DISCUSSION

The nutrient contents of sainfoin hay (SH) used as roughage in the study are as follows (Table 2); DM 92.89%, CP 11.43%, CF 0.86%, CA 16.97%, ADF 47.44%, and NDF 66.69%. The nutrient contents of common vetch (CV) used as grain feed are as follows; DM 94.01%, CP 25.68%, EE 0.48%, CA 10.39%, ADF 8.83%, and NDF 47.51% (Table 3).

In this study no differences were observed between blood serum BG, TP and TG levels in lambs consuming SH depend-on time and CV consumption ($P < 0.05$). The Ca and Cl values of the groups consuming SH at the beginning of the study increased at the end of the experiment independent of the CV consumption ($P < 0.001$), whereas the P values decreased over time independent of the CV consumption ($P < 0.05$). As seen in Table 4, the blood serum BUN ($P < 0.001$) and K ($P < 0.05$) levels decreased due to the increase in CV consumption and were different from the control group. A random change in the blood Na level depend on time and CV was observed ($p < 0.05$), however, this change could not be explained by feed and time factors. While ruminal pH levels of lambs consuming SH did not change depend-on time and CV consumption, the rumen protozoa counts increased in all groups over time ($P < 0.001$), but no differences were observed between the control group and CV-consuming groups (Table 5). With the addition of CV to the diets of lambs consuming SH, rumen $\text{NH}_3\text{-N}$ levels increased parallel to the increase in the CV ratio and found to be statistically different from the control group ($P < 0.05$).

The SH and CV nutrient contents used in this study (Table 2) were similar to the nutrients given for SH and CV in numerous similar studies, however different from the nutrients given in some other studies. It was thought that this difference was caused by the variety, cultivation and harvest conditions of the feed (Seifdavati and Taghizadeh 2012; Aufre`re et al. 2013; Mao et al. 2015; Huang et al. 2017). In this study, some blood and rumen parameters obtained from animals are summarized in Tables 4 and 5.

In many studies on blood BG levels in lambs depending on different feeding conditions and age, it has been reported that blood values ranged between 50 and 144 mg/dl (El-Barody et al. 2002; Lestingi et al. 2015; Malekkhahi et al. 2015). In this study, no statistically significant differences were observed between the blood BG levels of lambs consuming SH and blood BG levels obtained after CV consumption. The results suggesting that blood BG levels were not negatively affected after vetch consumption was consistent with the literature. Lestingi et al. (2015) have reported that different leguminous grains did not affect blood BG levels and that BG levels varied between 65.4 and 70.9 mg/dl. Elmalı et al. (2011) have reported that the use of common vetch up to 30% instead of soy did not affect blood BG levels in lambs.

In studies conducted with legume grains, it has been reported that blood BUN values in lambs ranged between 21.24 and 25.58 mg/dl (Lestingi et al. 2015) and in sheep between 12.9 and 49.00 mg/dl, and blood BUN values increased due to increased protein levels. In this study, the blood BUN values of SH and CV consuming lambs were found close to the upper limit stated in the literature and, with the increase in common vetch consumption, similar to those reported in the literature (Kohn et al. 2005), the BUN levels increased with the increase in the protein levels in the rations ($P < 0.05$). In this study, it was thought that the blood BUN values of lambs were close to the upper limit since both feeds used in ration were protein-rich legumes.

Leguminous grains have been reported to reduce blood TG levels in monogastric animals but not in ruminant animals (Kobeisy at al. 2017). The low fat levels in the structure of legume grains other than soy also lead to a decrease in blood TG levels in monogastric animals (Ouanes et al. 2011). In this study, there were no statistical differences in blood TG levels after CV addition to the rations of lambs consuming SH. This result was higher than those reported by Malekkhahi et al. (2015) in the study reporting that the ration was rich in starch (13.6-18.8 g/dl), whereas similar to those reported by Facciolongo et al. (2014) and Mieczan and Kwiecien (2010) on their study on legumes (19.20-25.78 mg/dl). In this study, the reason for the absence of an increase in blood TG level is the absence of fat level feed source in the ration.

Lestingi et al. (2015) have reported that the use of broad bean and sweet lupins did not affect the blood TP levels and that the blood TP levels varied between 6.06 and 6.58 g dl⁻¹. Elmalı et al. (2011) have reported that using 10, 20 or 30% CV instead of soybean meal did not affect the blood TP levels of lambs and that blood TP levels ranged between 6.25 and 7.04 g dl⁻¹. In the present study, it was found that the use of CV and SH did not affect the blood TP levels of the lambs. Studies have reported that the blood TP levels in lambs varied depending on age (6.30-7.36 g 100 ml⁻¹), in addition to feeding (El-Barody et al. 2002; Bórnez et al.2009). Lestingi et al. (2015) have reported that the anti-nutritional factors in the rations increased the blood TP levels. The blood TP levels determined in the present study were found to be between the upper and lower limits of blood TP of lambs given in the literature. This was associated with the absence of stress on the immune system as a result of the degradation of the rumen antimicrobial factors in the structure of CV. In this study, the probable reason why blood TP level is close to the upper limit is that both of the feeds used in the ration are protein-rich feed.

Kaneko and Kornelius (1970) have reported the blood Ca limit values in lambs as 8.30-11.43 mg dl⁻¹. It has been stated in the literature that race, sex, and housing conditions did not affect blood serum Ca level, however, the ration was affected by the Ca content (Ouanes et al. 2011) and the low blood Ca level after milk sucking period adversely affected the growth and development of lambs (Ataollahia at al. 2018). In this study, the blood Ca levels of the lambs consuming SH were lower than the mean values reported in the literature, however, these values increased independently after common vetch consumption (p <0.05). In the literature, it has been reported that the Ca level of CV (1.08-1.97 g/kg DM) was lower than the Ca level (12.0 g kg⁻¹ DM) of SH (Gizachewa and Smit 2005; Scharenberg et al. 2007; Eugeniusz et al. 2010; Uzun et al. 2011; Mao et al. 2015). In this study, despite the low Ca level, it was determined that, after the consumption of CV, the blood Ca value was not negatively affected and the blood Ca levels of the lambs were within the normal values. This result was associated with the incomplete rumen development in lambs at the beginning of the experiment.

The blood P levels of the lambs have been reported in the range of 4-7 mg dl⁻¹, and when blood P level was lower than 4 mg dl⁻¹, it was regarded that there was a P deficiency in animals (Pugh and Baird 2012). In this study, the blood P levels at the beginning of the study were found to be close to the upper values reported in the literature (Pugh and Baird 2012). However, after CV consumption, the blood P values of lambs decreased to normal limits independent of CV consumption (P <0.05). The P value in the structure of CV (3.50--11.70 g kg⁻¹ DM) was lower than the P value (3.44 g kg⁻¹ DM) found in the structure of SH (Gizachewa and Smit 2005; Scharenberg et al. 2007; Uzun et al. 2011; Mao et al. 2015). It was thought that the balancing of blood P level in lambs due to CV consumption was caused by the combined effect of both feed mineral structures.

In some studies, normal blood K levels in lambs have been reported to be in the range of 4.53 to 8.31 mg dl⁻¹ (Bórnez et al. 2009; Denek et al. 2009; Al-dain and Jarjeis 2015). In this study, the blood K levels of the lambs consuming SH were found to be close to the lower limit reported in the literature,

and after CV consumption, it decreased further due to CV consumption ($P < 0.05$). This was associated with the fact that the K value ($0.12-1.42 \text{ g kg}^{-1} \text{ DM}$) present in the CV was lower than the K value in the SH ($0.25 \text{ g kg}^{-1} \text{ DM}$), as also stated in the literature (Gizachewa and Smit 2005; Uzun et al. 2011; Turk et al. 2011).

In some studies, the blood Cl levels in lambs have been reported as $103.50-119.67 \text{ mg dl}^{-1}$. (Denek et al. 2009; Al-dain and Jarjeis 2015). At the beginning of the study, the blood Cl levels of lambs were close to the lower limit of normal blood Cl levels, but after the experiment, the blood Cl levels of the lambs increased in all groups independent of the CV consumption. In the literature, the chlorine content of CV has been reported as 0.50 g kg^{-1} (Riasi et al. 2014; Riasi et al. 2015), while the chlorine content of SH has been reported as 0.32 g kg^{-1} (Xionga et al. 2008). Since the chlorine contents of CV and SH were similar, it was thought that the rumen development was caused by the increase in blood Cl levels of lambs.

Table 4. Pre (A)-and post (B)-research blood sugar (BS), total protein (TP), triglycerides (TG), urea blood urea nitrogen (BUN) blood calcium (Ca), blood potassium (K), blood phosphorus (P), blood chlorine (Cl), blood sodium (Na) (data represents the mean \pm SEM)

	Time	C	CVSI	CVSII	P<0,
BG (mg dl^{-1})	B	60.75 ± 5.47	56.37 ± 2.15	66.25 ± 4.17	,582567
	A	66.00 ± 3.94	57.62 ± 3.13	66.37 ± 3.17	,393109
TP (g dl^{-1})	B	7.13 ± 0.16	7.44 ± 0.32	7.69 ± 0.16	,542622
	A	7.25 ± 0.13	7.65 ± 0.19	7.65 ± 0.23	,972842
TG (mg dl^{-1})	B	24.67 ± 3.42	21.52 ± 1.52	24.23 ± 3.05	,266702
	A	23.93 ± 2.31	25.40 ± 2.14	26.43 ± 4.83	,741169
BUN (mg dl^{-1})	B	$42.83 \pm 1.68\text{cA}^*$	$56.38 \pm 2.27\text{bA}^\#$	$63.75 \pm 1.84\text{aA}$	,582567
	A	$44.62 \pm 0.99\text{aA}$	$41.00 \pm 2.25\text{aB}$	$41.25 \pm 2.29\text{aB}$	,000001
CALCIM (mg dl^{-1})	B	$9.51 \pm 0.14\text{B}$	$9.80 \pm 0.19\text{B}$	$9.53 \pm 0.23\text{B}$	,000000
	A	$10.23 \pm 0.08\text{A}$	$10.15 \pm 0.21\text{A}$	$10.24 \pm 0.15\text{A}$	,000000
PHOSPHORUS (mg dl^{-1})	B	$8.21 \pm 0.28\text{A}$	$7.51 \pm 0.44\text{A}$	$8.97 \pm 0.57\text{A}$	,932127
	A	$6.58 \pm 0.39\text{B}$	$6.13 \pm 0.45\text{B}$	$6.16 \pm 0.44\text{B}$	,000000
POTASSIUM (mmol dl^{-1})	B	$5.62 \pm 0.20\text{A}$	$5.04 \pm 0.32\text{A}$	$4.97 \pm 0.16\text{A}$	,000000
	A	$4.97 \pm 0.18\text{A}$	$4.74 \pm 0.29\text{B}$	$4.73 \pm 0.12\text{B}$	,000000
CHLORINE (mmol dl^{-1})	B	$103.75 \pm 0.45\text{B}$	$101.00 \pm 1.63\text{B}$	$101.37 \pm 0.86\text{B}$	,000000
	A	$108.50 \pm 0.86\text{A}$	$105.00 \pm 2.75\text{A}$	$105.87 \pm 0.58\text{A}$	,000000
SODIUM (mmol dl^{-1})	B	$145.62 \pm 0.86\text{A}$	$143.00 \pm 1.90\text{A}$	$142.50 \pm 0.90\text{B}$	,000000
	A	$150.00 \pm 1.21\text{aA}$	$142.50 \pm 3.85\text{bA}$	$148.12 \pm 0.97\text{aA}$	,000000

* It shows different group means in the same time level (same line) ($p < 0.05$). #: Different capital letters within the same group (in the same column) show the difference between pre-research and post-research ($p > 0.05$).

In the literature, the blood Na levels of lambs have been reported in the range of $142.38-154.09 \text{ mg dl}^{-1}$ (Bórnez et al. 2009; Al-dain and Jarjeis 2015) and have been reported to be affected by the Na level of the ration (Vugrovečki et al. 2017). In the present study, Na levels of the lambs in the SHII group were slightly lower than those of the C and SHI group. This was associated with the individual differences of the animals in the group. However, after CV consumption, this difference disappeared and the blood Na levels of lambs in the CVI and CVII group consuming CV were higher than that of the C group ($p < 0.05$). This increase in CV consumption was since the Na level in the structure of SH ($0.10-0.12 \text{ g kg}^{-1} \text{ DM}$) was lower than the Na level in the structure of CV ($0.20-1.28 \text{ g kg}^{-1} \text{ DM}$) (Scharenberg 2007; Xionga et al. 2008; Mao et al. 2015).

It has been reported that rumen pH was approximately 7 after a normal rumen development in lambs and that rumen flora and fauna were preserved when rumen pH was in the range of $6.0-6.7$

(Mackie et al. 1978). In one study, it has been reported that the addition of 10, 20 and 30% common vetch instead of soybean did not change the rumen pH and the rumen pH was between 5.28 and 5.45 (Elmalı et al. 2011). Watson et al. (1984), in a study where they used 100% lupine instead of wheat, observed no difference in rumen pH, while rumen pH was 6.05 in the ration where 100% wheat was used, and 5.08 when 100% lupine was used. In the present study, it was observed that CV substitution at the 75% level of SH to rations of lambs consuming SH did not affect the rumen pH and the rumen pH was between 6.64 and 6.70. The fact that rumen pH was higher than the other two studies was associated with the fact that the ration consisted entirely of legumes. Indeed, Wang et al. (2007) have reported that the rumen pH values changed between 6.34 and 6.44 in sheep consuming legume.

The mean rumen NH₃-N value or high microbial fermentation has been reported to be 45 mg/ml (McDonald and Copeland 1997). In animals fed with starch-based rations, the rumen NH₃-N values decreased (10.12-10.47 mg ml⁻¹) whereas the NH₃-N value (110 mg ml⁻¹) increased in protein-based feeds. In a study where common vetch was used instead of soybeans, no difference was observed between rumen NH₃-N values, and rumen NH₃-N value was between 25.12 and 35.15 mg dL⁻¹. In a study using clover and sainfoin hay, rumen NH₃-N values have been reported to be 36.1 and 27.1 mg dL⁻¹, respectively. The use of SH in the ration somehow causes NH₃-N to decrease in the rumen (Wang et al. 2007). In the present study where CV was added instead of SH, vetch addition increased the rumen NH₃-N value (p > 0.05). In a study conducted with oatmeal hay, vetch addition increased the rumen NH₃-N value (White et al. 2002). This was associated with the fact that high protein CV was not used effectively by rumen microorganisms.

The protozoa counts in lambs increase parallel to a normal rumen development after birth and reaches 10⁴-10⁶/ ml in the adult period (Kamra 2005). In one study the rumen protozoa counts in sheep consuming SH have been reported as 483.000±432/ ml (Scharenberg et al. 2007), while in another study, it has been reported that the rumen protozoa counts (137000±0.169) increased (173 000±0.169) in the case of 50% SH addition as well as using clover (Wang et al. 2007). In this study, the rumen protozoa count of the lambs consuming SH were lower at the beginning of the experiment, independent of the CV consumption at the end of the trial, and were found to be higher than the values mentioned in some literature (p < 0.005). Although the possible reason for this increase was the rumen development, CV consumption caused an increase in the protozoa counts, however, this increase was not statistically significant. In the present study, CV consumption did not have a negative effect on rumen protozoa.

Table 5. Pre (A)-and post (B)-research the amount of ammonia, the pH and the protozoa numbers in rumen liquid (data represents the mean ± SEM)

	Time	C	CVSI	CVSII	P<0,
Ruminal pH	B	6.59 ± 0.04	6.64 ± 0.06	6.70 ± 0.10	,413678
	A	6.68 ± 0.02	6.61 ± 0.05	6.55 ± 0.02	,422045
Protozoa Number, [x10 ⁵ /ml]	B	1.65690 ± 0.394B#	1.79100 ± 0.342B	1.70730 ± 0.397B	,235467
	A	3.66550 ± 0.322A	4.47190 ± 0.7072A	4.73970 ± 0.7504A	,000000
Ruminal NH ₃ -N, mg/dL	B	24.85 ± 1.75 A	22.36 ± 2.00 B	22.31 ± 1.63 B	,001725
	A	34.62 ± 4.26 bA*	67.11 ± 4.34 aA	68.91 ± 9.58 aA	,000000

* It shows different group means in the same time level (same line) (p < 0.05). #: Different capital letters within the same group (in the same column) show the difference between pre-research and post-research (p > 0.05).

CONCLUSION

In this study, it was found that vetch substitution (25, 50, and 75%) instead of sainfoin had no exceeding effect on blood and rumen parameters the limit values reported in the literature for lambs. Giving vetch instead of sainfoin caused a decrease towards lower limit values at blood K level and an

increase towards upper limit values at Na level. The reason for this is thought to be due to K and Na in the structure of the vetch. Another result of this study is the vetch seed instead of sainfoin has increased blood NH₃-N, rumen NH₃-N, and rumen pH to normal upper limit values. The probable cause of this situation is attributed to the fact that the vetch is rich in N. However, further studies are needed on this subject.

REFERENCES

- Abreu M, Bruno-Soares AM, 1998. Chemical composition, organic matter digestibility and gas production of nine legume grains. *Animal Feed Science Technology*, 70 (1-2): 49-57.
- Al-dain QZS, Jarjeis EA, 2015. Evaluation of using some medical herbs seeds as feed additive on some hematological and biochemical parameters for male awassi lambs under local environmental condition of nineveh province, IRAQ. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 9(20): 527-537.
- Asharf MY, Asharf M, Öztürk M, 2018. Underutilized vegetable: A Tool to Address Nutritional Issues, Poverty Reduction and Food Security. *Global Perspectives on Underutilized Crops*, 1-23.
- Ataollahia F, Frienda M, McGratha S, Duttona G, Petersa A, Bhanugopana M. 2018. Effect of calcium and magnesium supplementation on minerals profile, immune responses, and energy profile of ewes and their lambs. *Livestock Science* 217:167–173
- AOAC.1990. Official Methods of Analysis 15th ed., Association of Official Agricultural Chemists, Washington, D C, 1990.
- Aufre`re J, Dudilieu M. Andueza D, Poncet C, Baumont R, 2013. Mixing sainfoin and lucerne to improve the feed value of legumes fed to sheep by the effect of condensed tannins. *Animal*, 7(1): 82–92.
- Bruno-Soares AM, Abreu JMF, Guede CVM, Dias-da-Silva AA, 2000. Chemical composition, DM and NDF degradation kinetics in rumen of seven legume straws. *Animal Feed Science and Technology*, 83(1-2): 75-80.
- Bórnez R, Linares MB, Vergara H, 2009. Haematological, hormonal and biochemical blood parameters in lamb: Effect of age and blood sampling time. *Livestock Science*, 121(2-3): 200–206.
- Carbonero CH, Mueller-Harvey I, Terence BA, Smith L., 2011. Sainfoin (*Onobrychis viciifolia*): A beneficial forage legume. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization*, 9(1): 70–85.
- Dehority BA, 1984. Evaluation of subsampling and fixation procedures used for counting rumen. *Applied and environmental microbiology*, 48(1): 182-185
- Dejene M. Dixon RM, Duncan AJ, Wolde-meskel E, Walsh KB, McNeill D, 2018. Variations in seed and post-harvest residue yields and residues quality of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as a ruminant feedstuff. *Animal Feed Science and Technology*, 244: 42-55.
- Denek N, Can A, Tufenk S, Yazgan K, Ipek H, Iriadam M, 2006. The effect of heat load on nutrient utilization and blood parameters of Awassi ram lambs fed different types and levels of forages. *Small Ruminant Research*, 63: 156–161.
- El-Barody MAA, Abdalla EB, Abd El-Hakeam AA, 2002. The changes in some blood metabolites associated with the physiological responses in sheep. *Livestock Production Science*, 75(1): 45–50.
- Elmalı DA, Ogun M, Merhan O, Kaya I, 2011. The effect of various concentrated feed mixtures on certain blood parameters in tuj lambs. *YYU Veteriner Fakultesi Dergisi*, 22(3): 153-157.
- Eugeniusz R, Rybinski W, Klebaniuk R, Matras J, 2010. Morphological characteristics of some accessions of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) grown in Europe and nutritional traits of their seeds. *Genet Resour Crop Evol*, 57 :693–701.
- Facciolongo AM, Rubino G, Zarrilli A, Vicenti A, Ragni M, Totoda F, 2014. Alternative protein sources in lamb feeding 1. Effects on productive performances, carcass characteristics and energy and protein metabolism. *Progress in Nutrition*, 16(2): 105-115.

- Gizachewa L, Smit GN, 2005. Crude protein and mineral composition of major crop residues and supplemental feeds produced on Vertisols of the Ethiopian highland. *Animal Feed Science and Technology*, 119(1-2): 143–153.
- Hanbury CD, White CL, Mullan BP, Siddique KHM. 2000. A review of the use and potential of *Lathyrus sativus* L. and *L. cicera* L. grain for animal feed. *Animal Feed Sci Tech*, 87(1-2): 1–27.
- Huang YF, Gao XL, Nan ZB, Zhang ZX, 2017. Potential value of the common vetch (*Vicia sativa* L.) as an animal feedstuff: a review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 101 (5):807–823.
- Kamra DN, 2005. Rumen microbial ecosystem. Special Section: Microbial Diversity. *Current Science*, 89(1): 124-135.
- Kaneko JJ, Kornelius CE, 1970. *Clinical biochemistry of domestic animals*, 5th edn. Academic Press, New York, USA.
- Kohn R.A., Dinneen M.M., Russek-Cohen E., 2005. Using blood urea nitrogen to predict nitrogen excretion and efficiency of nitrogen utilization in cattle, sheep, goats, horses, pigs, and rats. *American Society of Animal Science*, 83(5): 879–889.
- Kobeisy M. Soliman IA. Mohamed SF. Al-Khateeb A. 2017. Effect of dietary addition of lupin and/or fenugreek seeds on thermo-respiratory response and some blood constituents of rahmani sheep. *Egyptian J. Anim. Prod.* 54(3):185-192.
- Lestingi A, Toteda F, Vicenti A, Marzo DD, Facciolongo AM, 2015. The use of faba bean and sweet lupin seeds alone or in combination for growing lambs. 1. Effects on growth performance, carcass traits, and blood parameters. *Pakistan J. Zool.*, vol, 47(4): 989-996.
- Mackie, RI. Gilchrist FMC. Robberts AM. Hannah PE. Schwartz HM. 1978. Microbiological and chemical changes in the rumen during the stepwise adaptation of sheep to high concentrate diets. *The Journal of Agricultural Science*, 90(2), 241–254.
- Malekhhahi M, Tahmasbi AM, Naserian AA, Danesh MM, Kleen JL, Parand AA, 2015. Effects of essential oils, yeast culture and malate on rumen fermentation, blood metabolites, growth performance and nutrient digestibility of Baluchi lambs fed high concentrate diets. *J of Anim. Phys. and Anim. Nutr.* 99(2): 221–229.
- Mao Z, Fu H, Nan Z, Wan C, 2015. Fatty acid, amino acid, and mineral composition of four common vetch seeds on Qinghai-Tibetan plateau. *Food Chemistry*, 171(15): 13-18.
- Markham R, 1942. A steam distillation apparatus suitable for micro-kjeldahl analysis. *Biochem. J.* 36:790-797.
- McDonald NB, Copeland LO, 1997. Part II: Seed production. *Practices of Seed Production*. Springer-Science+Business Media, M.V. Chapman and Hall Chapman and Hall, pp. 357. New York.
- Mieczan AW, Kwiecien M, 2010. The influence of raw grass pea (*Lathyrus sativus* L.) seeds on growth performance and biochemical and haematological parameters in the blood of grower-finisher pigs. *Agricultural and Food Science*, 19 :223-232.
- Ouanes I. Abdennour C. Aouadjia N. 2011. Effect of cold winter on blood biochemistry of domestic sheep fed natural pasture. *Annals of Biological Research*, 2(2): 306-313.
- Pugh DG, Baird AN, 2012. *Sheep and goat medicine*. chapter 2. (2nd edition). Elsevier Saunders. 3251 Riverpot Lane Maryland Heights, 63043, pp. 21. Missouri.
- Qing-jun S. Ye-hui H. Jian-guo C. 2008. Clinical laboratory 322nd Hospital of PLA Datong Shanxi 037006 China: Maintenance of Reaction Cup for HITACHI 7180 Automatic Biochemical Analyzer.
- Riasi A, Golizadeh M, Fathi MH, Asadzadeh N, Taghizadeh AJ, 2014 Determination of the nutritive value of unheated vs. heat processed grass pea seed in ruminants. *Agr. Sci. Tech*, 16(3): 527-536.
- Riasi A, Mahdavi AH, Bayat E, 2015. Effect of different levels of raw and heated grass pea seed (*Lathyrus sativus*) on nutrient digestibility, intestinal villus morphology and growth performance of broiler chicks. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 99(5): 924-931.
- Satter LD, Slyter LL, 1974. Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production in vitro. *Br. J. Nutr.* 32: 199-208.

- Seifdavati J, Taghizadeh A, 2012. Effects of moist heat treatment on ruminal nutrient degradability of and in vitro intestinal digestibility of crude protein from some of legume seeds. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 10(2): 390-397.
- Scharenberg A, Arrigo Y, Gutzwiller A, Wyss U, Hess HD, Kreuzer M, Dohme F, 2007. Effect of feeding dehydrated and ensiled tanniferous sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) on nitrogen and mineral digestion and metabolism of lambs. *Archives of Animal Nutrition*, 6(5): 390–405.
- Sheppard SC, Cattani DJ, Ominski KH, Biligetü B, Bittman S, McGeough EJ, 2019. Sainfoin production in western Canada: A review of agronomic potential and environmental benefits. *Grass Forage Sci.* 74: 6–18.
- Sherasia PL, Garg MR, Bhandari MB, 2017. Pulses and their by-products as animal feed. (Ed. Calles T. and Makkar H.P.S.). Food and Agriculture Organization of the United Nations. pp. 171-172. Rome, Italy.
- Turk M, Albayrak S, Tuzun CG, Yuksel O, 2011. Agricultural academy effects of fertilisation and harvesting stages on forage yield and quality of sainfoin (*Onobrychis sativa* L.). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 17(6): 789-794.
- Uzun A, Gücer S, Acikgoz E, 2011. Common vetch (*vicia sativa* l.) germplasm: correlations of crude protein and mineral content to seed traits. *Plant Foods Hum Nutr*, 66: 254–260.
- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis D, 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci*, 74: 3583-3597.
- Vugrovečki AS, Vojta A, Miljenko Š, 2017. Establishing reference intervals for haematological and biochemical blood variables in Lika pramenka sheep. *Veterinarski Arhiv*, 87(4): 487-499.
- Wang Y, Barbieri LR, Berg P, McAllister TA, 2007. Effects of mixing sainfoin with alfalfa on ensiling, ruminal fermentation and total tract digestion of silage. *Animal Feed Science and Technology*, 135(3): 296–314
- White CL, Hanbury CD, Young P, Phillips N, Wiese SC, Milton JB, Davidson RH, Siddique KHM, Harris D, 2002. The nutritional value of *Lathyrus cicera* and *Lupinus angustifolius* grain for sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 99: 45–64.
- Wilkinsa RJ, Jones R, 2000. Alternative home-grown protein sources for ruminants in the United Kingdom. *Animal Feed Science and Technology*, 85(1-2): 23-32
- Winer BJ, 1971. *Statistical principles in experimental design*. Mc Graw Hill Book Company New York. USA. p:907.
- Yeheyis L, Tsegahun A, Muchie Y, Bediye S, 2004. Growth performance of yearling menz ram lambs fed on different pulse crop residues. *Proceedings of the 12th annual conference of the Ethiopian Society of Animal Production (ESAP) held in Addis Ababa, Ethiopia, August, 12(14): 229-232.*
- Xionga S, Zhanga Q, Zhanga D, Olsson R, 2008. Influence of harvest time on fuel characteristics of five potential energy crops in northern China. *Bioresource Technology*, 99(3): 479–485.