



YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

YUZUNCU YIL UNIVERSITY

Journal of the Institute of Natural & Applied Sciences

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>

ISSN: 1300 - 5413 / e-ISSN: 2667-467X

Yıl / Year : 2023

Cilt / Volume : 28

Sayı / Issue : 1

**YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ /
YUZUNCU YIL UNIVERSITY JOURNAL OF THE INSTITUTE OF NATURAL AND
APPLIED SCIENCES**

SAHİBİ / OWNER

Prof. Dr. Hamdullah ŞEVLİ

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Rektörü / Rector of Van Yüzüncü Yıl University

EDİTÖR / EDITOR-IN-CHIEF

Prof. Dr. Harun AKKUŞ

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü / Director of Van Yüzüncü Yıl
University the Institute of Natural and Applied Sciences

YARDIMCI EDİTÖRLER / ASSOCIATE EDITORS

Doç. Dr. Dilara ÖZTÜRK

Doç. Dr. Ferda KARAKUŞ

Dr. Öğr. Üyesi Hasan ÇELİKYÜREK

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk ÖZDEMİR

YAYIN KURULU / EDITORIAL BOARD

Prof. Dr. Burak DİKİCİ, Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Burak ORDİN, Ege Üniversitesi

Prof. Dr. Cemil TUNÇ, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Prof. Dr. Csaba SZABO, Debrecen University

Prof. Dr. Çağdaş Hakan ALADAĞ, Hacettepe Üniversitesi

Prof. Dr. Emre ÇOMAK, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

Prof. Dr. Esin İSPİR, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Prof. Dr. Feyyaz DURAP, Dicle Üniversitesi

Prof. Dr. Hasan BULUT, Fırat Üniversitesi

Prof. Dr. Hüseyin KARAKUŞ, Dumlupınar Üniversitesi

Prof. Dr. Hüseyin MERDAN, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Prof. Dr. Hüsnü KOÇ, Siirt Üniversitesi

Prof. Dr. İsmail KASAP, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Prof. Dr. Kenan SÖĞÜT, Mersin Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet Emin MERAL, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet Sait TAYLAN, Hakkari Üniversitesi

Prof. Dr. Mubariz KARAEV, King Saud University

Prof. Dr. Naci GENÇ, Yalova Üniversitesi

Prof. Dr. Özdemir ADIZEL, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Prof. Dr. Özlem SELÇUK ZORER, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Prof. Dr. Rıdvan SARAÇOĞLU, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Prof. Dr. Sabri GÜL, Mustafa Kemal Üniversitesi

Prof. Dr. Sedat YAYLA, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Prof. Dr. Semra DEMİR, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Doç. Dr. Alper HAMZADAYI, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Doç. Dr. Baran YOĞURTÇUOĞLU, Hacettepe Üniversitesi

Doç. Dr. Barış ERDİL, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Doç. Dr. Çeknas ERDİNÇ, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Doç. Dr. Ekrem MUTLU, Kastamonu Üniversitesi

Doç. Dr. Emel ÖZ, Atatürk Üniversitesi

Doç. Dr. Erdal AĞLAR, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Doç. Dr. Ferhat KIZILGEÇİ, Mardin Artuklu Üniversitesi
Doç. Dr. Harun AYDIN, Hacettepe Üniversitesi
Doç. Dr. Mohammed J. K. BASHIR, University of Tunku Abdul Rahman
Doç. Dr. Nergiz YILDIZ YORGUN, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Doç. Dr. Onur ŞATIR, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Doç. Dr. Özal YILDIRIM, Fırat Üniversitesi
Doç. Dr. Reza ABDI-GHALEH, University of Bonab
Dr. Öğr. Üyesi Altuğ KARABEY, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Atabak ELMI, Deakin University
Dr. Öğr. Üyesi Zehra Funda AKBULUT, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Danielle RODRIGUES MAGALHAES, Zaragoza University
Dr. Madhumita MUKHOPADHYAY, Maulana Abul Kalam Azad University of Technology
Dr. Müge ÜNAL ÇİLEK, Fırat Üniversitesi

İSTATİSTİK EDİTÖRÜ / STATISTICS EDITOR

Prof. Dr. Abdullah YEŞİLOVA, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

DİL EDİTÖRLERİ / LANGUAGE EDITORS

Doç. Dr. Selçuk TOPAL, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Gül ŞEN, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Arş. Gör. Murat TURAN, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

MİZANPAJ EDİTÖRÜ / LAYOUT EDITOR

Dr. Öğr. Üyesi Fikriye Şeyma KAYA

SEKRETER / SECRETARY

Arş. Gör. Dr. Ogün Ozan VAROL, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

YAZI İŞLERİ / EDITORIAL AFFAIRS

Arş. Gör. Bahar KALKAN
Arş. Gör. Murat TURAN
Arş. Gör. Muhammed Coşkun IRMAK
Mehmet ERZEN
Zilan ŞİRP

YAZIŞMA ADRESİ / CORRESPONDENCE ADDRESS

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 65080 Tuşba/Van/Türkiye
Van Yüzüncü Yıl University the Institute of Natural and Applied Sciences, 65080
Tuşba/Van/Türkiye

Telefon / Telephone: +90 432 225 10 97

Belgegeçer / Fax: +90 432 225 11 23

E-posta / E-mail: fbedergi@yyu.edu.tr

Cilt / Volume: 28

Sayı / Issue: 1

Web: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>

Basım Yeri ve Tarih / Published in: Van, 2023

DERGİ BİLGİLERİ / INFORMATION

Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
Yüzüncü Yıl University Journal of the Institute of Natural and Applied Sciences
ISSN 1300-5413 | e-ISSN 2667-467X | **Yayın Aralığı** Yılda 3 Sayı / 3 Issues Per Year

İçindekiler / Contents

Araştırma Makaleleri / Research Articles

-
- Farklı Nohut (*Cicer arietinum L.*) Çeşitlerinde Bazı Teknolojik ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi 1-7
♦ *Haluk KULAZ, Rüveyde TUNÇTÜRK, Erol ORAL, Murat TUNÇTÜRK, İshak BARAN*
- A Generalization of G-Nilpotent Units in Commutative Group Rings to Direct Product Groups 8-18
♦ *Turgut HANOYMAK, Ömer KÜSMÜŞ*
- Kentsel Yeşil Alanların Planlamasında Kullanılan Konumsal Analiz Yöntemleri ve Kullanım Olanakları 19-37
♦ *Onur ŞATIR, Serkan KEMEÇ, Okan YELER*
- Performance and Harmonic Analysis of a Three-Phase Induction Motor with Various Coil Pitch Configurations 38-47
♦ *Atilla DÖNÜK, Osamah AL-DORİ*
- Optical and Morphological Properties of Cu₂FeSnS₄ Chalcogenide Films 48-59
♦ *Canan AYTUĞ AVA, Şilan BATURAY*
- Transmitting the Chaotic Masked Audio Signal from a Single Channel 60-75
♦ *Ali Can ÇABUKER, Mehmet Nuri ALMALI, İshak PARLAR*
- Theoretical Investigation of Some Synthesized 3-Arylamino-5-[2-(Substituted 1-imidazolyl) Ethyl 1]-1, 2, 4-Triazole Derivatives 76-91
♦ *Aybek YİĞİT, Zeynep Şilan TURHAN*
- Bizmut Tabanlı Bazı Alaşımların Radyasyon Zırhlama Kapasitelerinin İncelenmesi 92-105
♦ *Meryem YILMAZ, İlhami ERKOYUNCU, Hatice Gürel ÖZDEMİR, İskender DEMİRKOL, Mustafa Recep KAÇAL, Ferdi AKMAN*
- An Excel-based Calculator for Measuring Bacterial Concentration 106-112
♦ *Bahadır TÖRÜN*

- Effect of Different Drying Processes on Antioxidant and Antidiabetic
◆ Properties of Pomegranate Press Wastes 113-120
Emine OKUMUŞ
- Güneş Enerjisi Kullanılarak Bir Villanın Elektrik İhtiyacının Karşılanması
◆ *Melike YALILI KILIÇ, Sümeyye ADALI* 121-130
- Türkiye’de Hayvansal Gübre Kaynaklı Biyogazdan Üretilebilecek Elektrik
◆ Enerjisinin Bölgesel Analizi 131-139
Sinan ÜNVAR
- Hava ve Toprak Kaynaklı Isı Pompası Kullanımı için Teorik Enerji ve Ekserji
◆ Analizi: Kastamonu İli Örneği 140-153
Mehmet GÜRDAL
- Effects of Centrifugation at Different Levels of Freeze-Thawed Blood on
◆ DNA Isolation 154-163
Mevlüt ARSLAN
- Sazan Balığı (*Cyprinus carpio*)’nın Yaş Tayininde Bütün ve Kesit Otolit
◆ Yöntemlerinin Karşılaştırılması 164-174
Aykut AYDIN, Nazmi POLAT, Semra SAYGIN, Melek ÖZPİÇAK, Savaş YILMAZ
- Astragalus Gummifer* (Günizer)’in Toprak Üstü Kısımlarının Liyofilize Su
◆ Ekstresi Antioksidan Aktivitesi 175-184
Hatice KIZILTAŞ
- Yeşil Cevizlerden Ultrason Destekli Ekstraksiyon Yöntemiyle Fenolik
◆ Bileşiklerin Eldesi 185-191
Serdar UĞURLU, Emre BAKKALBAŞI
- Agelena orientalis* (Araneae: Agelenidae: Ageleninae) Huni Ağ Örümceğinin
◆ Ağ Yapısı ve Örü Aygıtının Morfolojisi 192-199
Nazife YİĞİT KAYHAN, İlkay ÇORAK ÖCAL, Ümmügülsüm Hanife AKTAŞ
- WHAM H α Verileri Kullanılarak NGC 7822 (Sh2-171) HII Bölgesinin
◆ İncelenmesi 200-214
Muhittin ŞAHAN

- ◆ Investigation of Callipyge Gene Polymorphism in Akkaraman Sheep Breed
Melike KAVUZKOZ, Koray KIRIKÇI 215-219
- ◆ A Study on the Non-selfadjoint Schrödinger Operator with Negative Density
Function
Nimet COSKUN 220-229
- ◆ The Screening of Black Point in Commercial Bread Wheat Cultivars Grown
in Turkey, and The Effect of Black Point on Thousand Grain Weight
Uğur SESİZ 230-238
- ◆ Mann Kendall, Spearman Rho ve Yenilikçi Şen Yöntemlerinin Meteorolojik
Veriler Kullanılarak Değerlendirilmesi: Batman Bölgesi Örneği
Ergun AKBAŞ, Recep ÇELİK, Musa EŞİT 239-251
- ◆ Stokastik Talepli Araç Rotalama Probleminin Şans Kısıtlı Matematiksel
Modeline Tavlama Benzetimi Algoritması ile Optimal Çözüm Yaklaşımları #
Adem ŞEHİTOĞLU, Şakir İŞLEYEN 252-270
- ◆ Catalytic Use of Pd(II) Complex Bearing 2-(thiophen-2-yl)-1H-
Benzimidazole Ligand for The Reduction / Degradation of Multiple Mixtures
Containing 4-NP, RhB and MB Organic Pollutants
Melek TERCAN 271-284
- ◆ A First Countable **T1** Topology as related to Statistical Metric Spaces
Hülya DURU, Serkan İLTER, Aygül BİLGİN 285-289
- ◆ Yapraktan Amino Asit Uygulamalarının Bazı Şeker Pancarı (Beta vulgaris
var. saccharifera L.) Çeşitlerinin Verim ve Kalitesine Etkileri
Arif ŞANLI, Fatma Zehra OK, Sabri ERBAŞ 290-298
- ◆ DP1200 Çeliği Lazer Kaynak İşleminde Proses Parametrelerinin Mekanik ve
Geometrik Özelliklere Etkisinin Bulanık Mantık Yöntemi ile Tahmini ve
Optimizasyonu
Meryem ALTAY, Hakan AYDIN 299-316

Derleme Makaleler / Review Articles

- ◆ Van Gölü Havzası ve Civarının Depremselliğine Genel Bir Bakış
Hamdi ALKAN, Mustafa TOKER, İsmail AKKAYA 317-333

 - ◆ Balık Yağında Emülsiyon ve Enkapsülasyon Uygulamaları
Gülistan OKUTAN, Gökhan BORAN 334-344
-



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Farklı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinde Bazı Teknolojik ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi

Haluk KULAZ*, Rüveyde TUNÇTÜRK, Erol ORAL, Murat TUNÇTÜRK, İshak BARAN

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü 65100 Van, Türkiye
Haluk KULAZ, [ORCID No: 0000-0003-3044-5046](https://orcid.org/0000-0003-3044-5046), Rüveyde TUNÇTÜRK, [ORCID No: 0000-0002-3759-8232](https://orcid.org/0000-0002-3759-8232),
Erol ORAL, [ORCID No: 0000-0001-9413-1092](https://orcid.org/0000-0001-9413-1092), Murat TUNÇTÜRK, [ORCID No: 0000-0002-7995-0599](https://orcid.org/0000-0002-7995-0599),
İshak BARAN, [ORCID No: 0000-0002-6299-8043](https://orcid.org/0000-0002-6299-8043)

*Sorumlu yazar e-posta: halukkulaz@yyu.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 22.03.2022
Kabul: 08.06.2022
Online Nisan 2023

DOI:[10.53433/yyufbed.1091667](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1091667)

Anahtar Kelimeler

Kalite,
Nohut,
Teknolojik özellikler

Öz: Bu çalışma 2022 yılında Van Yüzüncü Yıl üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Laboratuvarında yapılmıştır. Çalışmada Tarım ve Orman Bakanlığı'na bağlı Tarımsal Araştırma Enstitülerinden temin edilen tescilli 12 adet nohut çeşidinde bazı teknolojik ve kalite özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Denemede, tanede nem oranı (%), hektolitreye ağırlığı (kg/hl), kuru ağırlık (g), yaş ağırlık (g), ıslak hacim (ml), kuru hacim (ml), su alma indeksi (%), şişme kapasitesi (ml/tane), şişme indeksi (%) ve pişme süresi (dk) gibi özellikler incelenmiştir. Elde edilen veriler Tesadüf Parselleri Deneme desenine göre varyans analizine tabi tutulmuş ve ortalamalar LSD testi ile kıyaslanmıştır. Araştırma sonunda elde edilen verilere göre; tanede nem oranı % 8.20-10.50, hektolitreye ağırlığı 63.07-80.80 kg/hl, kuru ağırlık 27.40-45.79 g, yaş ağırlık 60.75-87.87 g, ıslak hacim 148-176.27 ml, kuru hacim 73.50-88.50 ml, su alma indeksi % 0.89-1.11, şişme kapasitesi 0.25-0.47 ml/tane, şişme indeksi % 1.92-2.63 ve pişirme süresi 49-80 dk arasında değişim göstermiştir. Tüketici ve pazar tercihleri göz önünde bulundurulduğunda nem oranında İnci, hektolitreye ağırlığında Hasanbey, kuru ağırlık, yaş ağırlık ve ıslak hacim kriterlerinde Canitez-87, kuru hacimde Azkan, şişme kapasitesi, su alma indeksi ve şişme indeksi değerleri bakımından Çağatay çeşitlerinde en yüksek, pişme süresi bakımından ise Hisar çeşidinde en düşük değerler tespit edilmiştir.

Determination of Some Technological and Quality Characteristics of Different Chickpea Cultivars (*Cicer arietinum* L.)

Article Info

Received: 22.03.2022
Accepted: 08.06.2022
Online April 2023

DOI:[10.53433/yyufbed.1091667](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1091667)

Keywords

Chickpea,
Quality,
Technological features

Abstract: This study was carried out in Van Yüzüncü Yıl University, Faculty of Agriculture, Field Crops Laboratory in 2022. It was aimed to determine the some technological and quality characteristics of 12 registered chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars obtained from Agricultural Research Institutes belong to Ministry of Agriculture and Forestry. In the experiment, moisture content in the grain (%), hectoliter weight (kg/hl), dry weight (g), wet weight (g), wet volume (ml), dry volume (ml), water absorption index (%), swelling capacity (ml/grain), swelling index (%) and cooking time (min) were investigated. The obtained data were subjected to analysis of variance according to the Random Plots Trial design and the averages were compared with the LSD test. According to the data obtained from the research; moisture content of the grain, hectoliter weight, dry weight, wet weight, wet volume, dry volume, water absorption index, swelling capacity, swelling index and cooking time varied between 8.20-10.50%, 63.07-80.80 kg/hl, 27.40-45.79 g, 60.75-87.87 g, 148-176.27 ml, 73.50-88.50 ml, 0.89-1.11%, 0.25-0.47 ml/grain, 1.92-2.63 % 49-80 min, respectively. Considering the consumer and market preferences, cv.İnci in humidity ratio, cv.Hasanbey in hectoliter weight, cv.Canitez-87 in dry weight, wet weight and wet volume criteria, cv.Azkan in dry volume, cv.Çağatay in terms of swelling capacity, water absorption index and swelling index values and cooking time was the highest. The lowest values in terms of cooking time were obtained from cv.Hisar.

1. Giriş

Nohut (*Cicer arietinum* L.), Asya'nın Orta ile Güneyinde, Avrupa'nın Güneyinde, Etiyopya ve Kuzey Afrika'da yetiştirilen eski dünya bitkilerinden biridir. Kanada ve Avustralya başta olmak üzere başka coğrafyalarda da yetiştirilmektedir. Cicer cinsi, 35'i çok yıllık, 9'u tek yıllık olmak üzere 44 tür içermektedir. *C. arietinum*, iki tip tohum içerir. Bunlardan küçük tohumlu grubunda olanlar (Desi) daha çok Afrika ve Hindistan'da yetiştirilirken, büyük tohumlu gruptaki nohutlar (Kabuli) genellikle Doğu Asya, Kuzey Afrika, Güney Amerika ve Avrupa'da yetiştirilmektedir (Jukanti ve ark., 2012). Ülkemizde daha çok Kabuli tipi nohut yaygın olarak yetiştirilmektedir. Kabuli tipi nohutların taneleri iri, karbonhidrat ve protein oranları yüksektir (El-Adawy, 2002). Gelişmekte olan ülkelerde Soya fasulyesinden sonra en çok tercih edilen tür olan nohut, simbiyotik nitrojen fiksasyon kapasitesi ve içerdiği besin maddeleri nedeniyle oldukça önemlidir (Varshney ve ark., 2013). Tanelerinin protein, kalsiyum, selüloz, karbonhidrat, vitamin ve mineral içeriği yanı sıra temel amino asitler bakımından da zengin olması nedeniyle nohut, insan beslenmesi için oldukça önemli bir besin maddesidir (Şehirli, 1988; Ercan ve ark., 2005; Doğanay ve ark., 2019). Yemeklik tane baklagiller vücut için gerekli proteinlerin %22'si, karbonhidratların %7'sini tek başına karşılamaktadır. Ayrıca hayvanların beslenme diyetlerindeki proteinlerin %38'inin ve karbonhidratların %5'inin temel kaynağını oluşturdukları bilinmektedir (Adak ve ark., 2010).

Dünya'da nohut yaklaşık 17 milyon hektarlık bir alanda yetiştirilmektedir (FAO, 2020). En fazla ekim alanına sahip olan Hindistan'ı (yaklaşık 11 milyon ha) Avustralya (1 milyon ha) ve Pakistan (976 bin ha) izlemektedir. Türkiye 514 bin ha ekim alanına sahip beşinci ülkedir (FAO, 2020). 2018 verilerine göre, Türkiye'nin yıllık nohut üretimi 630 bin tondur (TUİK, 2020).

Nohudun birincil kalite kriterleri tohum boyutu, tohum şekli ve rengi olmakla birlikte protein içeriği, sindirilebilirlik oranı, tohum kabuğu oranı, amiloz oranı ve pişirme süresi oranı da önemlidir. Singh ve ark. (1991), pişirme süresinin kalıtım düzeyini belirlemede önemli bir kriter olduğunu ve tohumların pişirmeden bir gece önce ıslatılmasının pişirme süresini kısalttığını bildirmişlerdir. Ayrıca nohudun yetiştirildiği yerde farklı ıslatma sürelerinin ve bölgesel özelliklerin pişirme süresini etkilediğini ve bitkinin yetiştirildiği yere bağlı olarak protein oranının da değiştiğini bildirmişlerdir.

Bu çalışma, Türkiye'nin farklı Tarımsal Araştırma Enstitülerinden temin edilen 12 nohut çeşidinin bazı teknolojik ve kalite özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Araştırma, 2022 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümünde bulunan laboratuvarında yapılmıştır. Çalışmada farklı Tarımsal Araştırma Enstitülerinden temin edilen 12 tescilli nohut çeşidi kullanılmıştır. Araştırma, tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekrarlamalı olarak yürütülmüştür.

Bu çalışmada tanede nem oranı (%), hektolitre ağırlığı (kg/hl), kuru ağırlık (g), yaş ağırlık (g), ıslak hacim (ml), kuru hacim (ml), su alma indeksi (%), şişme kapasitesi (ml/tane), şişme indeksi (%) ve pişirme süresi (dk) gibi özelliklerdeki gözlem ve ölçümler yemeklik tane baklagiller için uygulanan teknik talimatlara göre yapılmış ve bu özelliklerin belirlenmesinde aşağıdaki yöntemler kullanılmıştır (Kaya & Karaman, 2016).

Nem Oranı (%): PM-450 nem ölçer cihazı kullanılarak nohut tanelerinde nem yüzdesi tespit edilmiştir.

Hektolitre ağırlığı (kg/hl): PM-450 nem ölçer cihazı kullanılarak hektolitre ağırlığı tespit edilmiştir.

Kuru Ağırlık (g): 100 tane sayıldıktan sonra tartılarak kuru ağırlık değeri bulunmuştur.

Yaş Ağırlık (g): Saf su ile doldurulmuş 150 ml'lik erlenmayerin içine 100 tane atılarak 16 saat beklenmiştir. Daha sonra bu tohumlar kurutma kâğıdı ile kurulanıp tartılmıştır. Elde edilen değer yaş ağırlık olarak kayıt altına alınmıştır.

Islak Hacim (ml): Üzerlerine 50 ml saf su ilavesi yapılan 100 tane 16 saat boyunca bekletilmiştir. Sürenin sonunda peçete ile kurutularak 100 ml daha saf su ilavesi yapılmıştır. Elde edilen değerler ıslak hacim olarak kayıt altına alınmıştır.

Kuru Hacim (ml): 100 ml'lik silindire alınan 100 tane üzerine 50 ml saf su eklenmiş ve kuru hacim olarak hesaplanmıştır.

Su alma indeksi (%): Aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$SAİ = \text{Şişme kapasitesi(g/tane} - 1) / (\text{Kuru ağırlık} / 100) \quad (1)$$

Şişme Kapasitesi (ml/tane): Tane ağırlıkları belirlenerek 100 ml su barındıran ölçülü silindire konulup kuru hacmi belirlenen 100 tane, 16 saat suda bekletilmiştir. Daha sonra şişmiş olan tohumlar ölçülü silindire konularak üzerlerine 100 ml daha su ilave edilmiş yaş hacimleri belirlenmiş ve aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$ŞK = [(Y1 - Y2) - [(X1 - X2) - ((X1 - X2) / N1) * N2]] / (N1 - N2) \quad (2)$$

Y1: Su + ıslatılmış tohumların hacmi

X2: Kuru tohuma eklene suyun hacmi

Y2: Islatılmış tohumlara ilave edilen suyun hacmi

N1: Başlangıçtaki tane adedi

X1: Su + kuru tohum hacmi

N2: Şişmemiş sert kabuklu tane adedi

Şişme İndeksi (%): Tanenin ıslatıldıktan sonraki hacminin (ıslak hacim), ıslatmadan önceki hacmine (kuru hacim) bölünmesiyle hesaplanmıştır

Pişme Süresi (dk): Üstünde pişirme kaplarının bulunduğu ısıtıcılı düzenekli 600 ml hacimli behere 200 ml saf su bırakılmış, su kaynadıktan sonra 100 adet ıslatılmış tane eklenmiştir. 40 dakika geçtikten sonra 5 dakikada bir kontrol edilmiştir. Tanenin pişme düzeyi, nişastadaki jelatinleşmesi ile tanenin kolay bir şekilde ağız içinde parçalanıp yumuşaması dikkate alınarak kontrol edilmiştir. Tane içinde bulunan beyaz noktanın kaybolmasına kadar geçen süre pişme süresi olarak belirlenmiştir.

2.1. Verilerin istatistiksel analizi

Araştırma sonucunda elde edilen veriler Costat (6.303) paket programı kullanılarak Tesadüf Parselleri Deneme Desenine göre varyans analizine tabi tutulmuştur. Ortalamalar LSD çoklu karşılaştırma testine göre karşılaştırılmıştır (Düzgüneş ve ark., 1987).

3. Bulgular ve Tartışma

Deneme sonunda 12 farklı nohut çeşidinde nem oranı, hektolitre ağırlığı, kuru ağırlık, yaş ağırlık, ıslak hacim, kuru hacim, şişme indeksi, pişme süresi ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak %1 seviyesinde, su alma indeksi ve şişme kapasitesi ise %5 düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 1).

Bu çalışmada tespit edilmiş verilere göre nem oranı %8.20-10.50 arasında değişim göstermiştir. En yüksek nem oranı %10.50 ile İnci çeşidinde ölçülmüştür. Bu çeşidi %9.80 değeri ile Seçkin, %9.70 ile Hasanbey çeşitleri aynı grupta yer alarak izlemiştir. En düşük nem oranı ise %8.20 ile Arda çeşidinde bulunmuştur (Çizelge 1). Kaya & Karaman (2016) Göller Bölgesi'nden toplamış oldukları 18 genotip ve 4 standart çeşit ile yapmış oldukları çalışmada nem oranının %3.88-11.83 oranında değiştiğini belirtmişlerdir. Tohumdaki nem yüzdesi üzerine hasat zamanı, depo sıcaklığı ve depo süresi gibi birçok faktörün etkili olduğu bilinmektedir. Bulgularımız ile araştırmacıların sonuçları arasındaki farkın bu faktörlerin etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 1'de görüldüğü gibi nohut çeşitlerinde hektolitre ağırlığı 63.07-80.80 kg/hl aralığında değişkenlik göstermiştir. 80.80 kg/hl ile Hasanbey çeşidinde en yüksek hektolitre ağırlığı elde edilmiştir. Hasanbeyi sırasıyla Diyar 95, İnci, Damla ve Seçkin (80.37, 79.70, 79.10 ve 78.90 kg/hl) çeşitleri izlemiş ve bunlar aynı grupta yer almışlardır. En düşük hektolitre ağırlığı 63.07 kg/hl ile Aydın çeşidinde tespit edilmiştir. Nohut çeşitlerinde hektolitre ağırlığı büyük oranda genetik faktörlerin yanı sıra gübreleme, sulama ve ekim sıklığı gibi kültürel uygulamalara bağlı olarak değişmektedir. Nohutun hektolitre ağırlığının 78.0-80.0 kg/hl arasında değiştiği belirtilmiştir (Anonim, 2022).

Elde edilen verilere göre nohutta kuru ağırlık değerlerin 45.79 g arasında değiştiği tespit edilmiştir. En yüksek kuru ağırlık 45.79 g ile Canitez-87 çeşidinde elde edilirken, bu çeşidi 45.08 g Azkan çeşidi izlemiş ve her ikisi aynı grupta yer almışlardır. En düşük kuru ağırlık değeri 27.40 g ile Damla çeşidinde ölçülmüştür (Çizelge 1). Yemelik baklagillerde verimi etkileyen en önemli özellik hiç kuşkusuz tane iriliğidir. Pazar ve tüketici taleplerinin genelde büyük taneli çeşitler üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Nohut yetiştiriciliğinde genetik faktörlerin yanında yeterli sıcaklık ve nem gibi faktörlerin dolun süresini uzatarak tane iriliğini arttırdığı belirtilmiştir (Şehirli ve ark., 1994). 10

adet nohut çeşidiyle yapılan çalışmada kuru ağırlık değerlerinin 38.54-42.00 g arasında değiştiği belirtilmiştir (Erdemci, 2012). Çukurova koşullarında tescil adayı nohut genotiplerindeki kuru ağırlığın 42.0-50.0 g arasında değişirken (Mart ve ark., 2011) aynı bölgede yapılan başka bir çalışmada da nohut çeşitlerinin kuru ağırlık değerlerinin 33.36-54.4 g arasında tespit edildiği belirtilmiştir (Mart ve ark., 2021). Bu araştırmacıların elde ettiği sonuçlar ile bulgularımız kısmen benzerlik göstermiştir.

Araştırma sonunda nohut çeşitlerinde elde edilen yaş ağırlık değerleri 57.79-87.87 g arasında değişim göstermiştir. En yüksek yaş ağırlık değeri Canitez-87 ve Azkan (87.87 g, 87.54 g) çeşitlerinden elde edilmiştir. En düşük yaş ağırlık değeri ise Damla (57.79 g) çeşidinde tespit edilmiştir (Çizelge 1). Mart ve ark. (2021)'nın 20 nohut çeşidi ve hattı ile yürüttükleri çalışmada nohutlardaki yaş ağırlığın 65.18-106.48 g arasında değiştiği belirtilmiştir. Kuru ağırlığı yüksek olan çeşitlerin genel olarak yaş ağırlık değerleri de yüksek çıkmıştır. Tanede nişasta değeri artıkça tohum iriliği de artmakta bu da su alma miktarını arttırarak yaş ağırlığın yükselmesine neden olmaktadır (Erdemci, 2012). Benzer çalışmalarda karbonhidratların su emme miktarını arttırabileceği belirtilmiştir (Wani ve ark., 2017). Bir diğer çalışmada yaş ağırlığın tane iriliği ile doğru orantılı olduğu belirtilmiştir (Çalışkan ve ark., 2018). Araştırmacıların bulduğu sonuçlar ile bulgularımız benzerlik göstermektedir.

Nohut çeşitlerindeki ıslak hacim değerlerinin 159.00 ml ve 178.00 ml arasında değiştiği tespit edilmiştir. Buna göre en yüksek ıslak hacim sırasıyla 178.00 ml ve 176.27 ml ile Canitez-87 ve Çağatay çeşitlerinden elde edilmiştir. Islak hacim değeri en düşük 159.00 ml ile Aydın çeşidinde bulunmuştur (Çizelge 1). Benzer bir çalışmada nohut çeşit ve hatlarının ıslak hacim değerlerinin 156.0-196.0 ml arasında değiştiği belirtilmiştir (Mart ve ark., 2021).

Araştırma sonuçlarından göre elde edilen verilere göre kuru hacim değerleri 73.50-88.50 ml arasında değişim göstermiştir. Çalışmada en yüksek kuru hacim 88.50 ml ile Azkan çeşidinde ölçülürken bu çeşidi 83.00 ml değeri ile Seçkin ve 82.00 ml ile Canitez-87 çeşitleri izlemiştir. Nohut çeşitleri arasında en düşük kuru hacim 73.50 ml ile Damla çeşidinde saptanmıştır (Çizelge 1). Kaya ve Karaman (2016)'ın yapmış oldukları çalışmalarında kuru hacim değerlerini 27.33 - 49.66 ml arasında tespit ederken bu değer Mart ve ark. (2021) tarafından 80 -96 ml arasında tespit edilmiştir. Yine benzer bir çalışmada kuru hacim değerlerinin 82-87 ml arasında değiştiği belirtilmiştir (Mart ve ark., 2011). Elde ettiğimiz sonuçlara bakıldığında kuru ağırlık ile kuru hacim değerleri arasında pozitif bir ilişki olduğu görülmektedir. Kuru ağırlık değerleri yüksek olan çeşitlerin kuru hacim değerleri yüksek bulunmuştur.

Deneme sonunda elde edilen verilere göre nohut çeşitlerinde su alma indeksi (Eşitlik 1) %0.89-1.11 değerleri arasında değişim göstermiştir. Damla, Seçkin ve Çağatay çeşitleri en yüksek su alma indeksi değerine (%1.11, %1.09, %1.07) sahip çeşitler olmuştur. En düşük değer ise %0.89 ile İnci çeşidinde tespit edilmiştir (Çizelge 1). Bu değer su alma kapasitesinin/ tane ağırlığına oranı olarak ifade edilmektedir. Erdemci (2012) farklı lokasyonlarda kışlık ve yazlık olarak yapmış olduğu çalışmada çeşitlerin su alma indeksinin yazlık (%1.037-1.223) ve kışlık (%0.070-1.253) ekimlere göre değiştiğini bildirmiştir. Sarımurat ve ark. (2022) yapmış oldukları çalışmada çeşitlerin su alma indeksini %0.73-1.20 arasında, Mart ve ark. (2021) %0.91-1.08 Atmaca (2008) %0.973-1.053 ve Mart ve ark. (2011) %0.84-1.06 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Ercan ve ark. (1995) özellikle çevre koşulları ve genotip faktörlerin su alma indeksinde değişkenlik oluşturduğunu belirtmişlerdir. Elde ettiğimiz bulgular ile araştırmacıların sonuçları arasında büyük oranda benzerlik olduğu görülmüştür.

Şişme kapasitesi bakımından nohut çeşitlerinden elde edilen değerler (Eşitlik 2) 0.25-0.47 ml/tane arasında değişim göstermiştir. Çeşitler arasında en yüksek şişme kapasitesi aynı grupta yer alan Çağatay ve Canitez-87 çeşitlerinde ölçülmüştür (0.47 ml/tane, 0.46 ml/tane). Şişme kapasitesi 0.25 ml/tane ile Damla'da en az tespit edilmiştir (Çizelge 1). Elde ettiğimiz sonuçlara bakıldığında nohut çeşitleri arasında su alma, şişme kapasitesi, yaş ağırlık ve kuru ağırlık kapasitesi arasında bir paralel ilişkinin varlığı görülmüştür. Diyarbakır ekolojik koşullarında bazı nohut çeşitlerinin şişme kapasitesi değerlerini 0.398-0.530 ml/tane arasında değişim gösterdiği belirtilirken (Erdemci, 2012) başka bir çalışmada bu değer 0.420-0.481 ml/tane olarak tespit edilmiştir (Atmaca, 2008). Elde edilen bu sonuçlar ile bulgularımız arasında kısmen benzerlik olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 1: Nohut çeşitlerine ait bazı fiziksel kalite analizlerine ait ortalama değerler ve oluşan gruplar*

Çeşitler	Nem Oranı (%)	Hektolitre Ağırlığı (kg/hl)	Kuru Ağırlık (g)	Yaş Ağırlık (g)	Islak Hacim (ml)	Kuru Hacim (ml)	Su Alma İndeksi (%)	Şişme Kapasitesi (ml/tane)	Şişme İndeksi (%)	Pişme Süresi (dk)
Azkan	8.70±0.05f	74.90±4.04e	45.08±1.07a	87.54±1.69a	173.77±0.72b	88.50±0.86a	0.95±0.0cd	0.35±0.00fg	1.92±0.02e	70.33±0.57b
Damla	9.40±0.05c	79.10±6.35abcd	27.40±0.320h	57.79±0.43h	148.00±0.28h	73.50±0.28e	1.11±0.0a	0.25±0.00h	2.04±0.01e	61.00±1.73c
Hasanbey	9.70±0.11b	80.80±13.85a	36.94±0.17e	74.68±0.50e	165.00±0.00e	79.00±0.0cd	1.02±0.0abc	0.36±0.00fg	2.24±0.00cd	70.67±0.57b
İnci	10.50±0.1a	79.70±5.19abc	32.23±0.14g	60.75±0.22g	151.27±0.72g	75.00±0.0e	0.89±0.0d	0.26±0.01h	2.05±0.03e	65.66±1.15bc
Arda	8.20±0.05h	78.16±4.33bcd	38.36±0.48d	78.60±0.88cd	167.50±0.44d	80.50±0.28c	1.05±0.0ab	0.37±0.01f	2.21±0.03d	71.33±0.57ab
Diyar-95	8.50±0.00g	80.37±7.79 ab	39.40±0.14cd	79.94±0.47c	168.77±0.72d	79.00±0.57cd	1.03±0.0abc	0.40±0.00e	2.37±0.02bc	61.33±173c
Seçkin	9.80±0.05b	78.90±7.50abcd	40.79±0.12b	84.52±0.54b	173.77±0.72b	83.00±0.57b	1.07±0.0a	0.41±0.01de	2.24±0.06cd	65.67±2.30bc
Çağatay	8.80±0.00f	77.40±12.12d	40.40±0.12bc	84.49±0.29b	176.27±0.73a	79.00±0.57cd	1.09±0.0a	0.47±0.01a	2.630.08a	61.33±0.28c
Hisar	9.10±0.00e	77.90±4.04cd	41.23±0.12b	83.39±0.23b	173.77±0.28b	80.00±0.00cd	1.02±0.0abc	0.44±0.01bc	2.46±0.02b	49.00±0.57d
Canitez-87	9.20±0.05de	66.70±1.15f	45.79±0.23a	87.87±0.25a	178.00±0.62a	82.00±0.28b	0.92±0.0d	0.46±0.00ab	2.44±0.03b	80.00±1.15a
Yaşa-05	8.800.05±f	73.27±0.28e	39.40±0.15cd	77.61±0.17d	171.00±0.57c	78.50±0.86d	0.97±0.0bcd	0.43±0.01cd	2.50±0.09ab	57.66±0.86c
Aydın	9.30±0.05cd	63.07±0.28g	34.97±0.20f	68.03±0.47f	159.00±0.57f	75.00±0.57e	0.95±0.0cd	0.34±0.01g	2.36±0.08bcd	73.00±1.15ab
Çeşitler	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
V.K. (%)	1.22	1.58	1.72	1.47	0.74	1.11	1.20	4.09	3.75	6.81
LSD (0.01)	0.19	2.02	1.12	0.91	2.07	1.48	0.09	0.03	0.14	7.53

*: Aynı harf grubuna ait değerler LSD %1'e göre farklı değildir.

**::P<0.01 düzeyinde önemli.

V.K: Varyasyon Katsayısı

Çalışma sonunda elde edilen şişme indeksi değerleri %1.92-2.63 oranları arasında değişim göstermiştir. En yüksek şişme indeksi aynı grubu da oluşturmuş olan Çağatay (%2.63) ve Yaşa-05 (%2.50) çeşitlerinde hesaplanmıştır. Azkan (%1.92) çeşidi ise en düşük şişme indeksi değerine sahip olmuştur (Çizelge 1). Nohut genotipleri ile yürütülen çalışmalarda şişme indeksi değerlerinin %2.20-2.45 ve %2.06-2.38 arasında değiştiği belirtilmiştir (Mart ve ark., 2011). Benzer çalışmalarda şişme indeksi değerlerinin %2.128–2.628 (Erdemci, 2012) ve %2.426–2.596 (Atmaca, 2008) aralığında değiştiği belirtilmiştir. Bu sonuçlar elde ettiğimiz bulgular ile benzerlik göstermektedir.

Denemede elde edilen pişme süresi değerleri 49.0-80.0 dk arasında değişim göstermiştir. Canitez-87, Aydın ve Arda çeşitleri sırasıyla 80.0, 73.0 ve 71.33 dk ile en uzun pişme süresine sahipken, 49.0 dk ile Hisar çeşidinde en düşük süreler ölçülmüştür (Çizelge 1). Nohutta pişme süresi tüketici tercihlerini etkileyen önemli bir kalite kriteridir. Elde ettiğimiz sonuçlara göre kuru ağırlığı yüksek olan çeşitlerin pişme sürelerinin daha uzun olduğu görülmektedir. Elde ettiğimiz bulguları destekleyen başka bir çalışmada kuru ağırlığı düşük olan çeşitlerin pişme zamanlarının da daha kısa olduğu belirtilmiştir (Williams ve ark., 1983). Pişme süresi uzun olan çeşitlerin yemek suyunu koyulaştırması nedeniyle tüketici taleplerini olumsuz etkileyen bir durum olarak ortaya çıkmaktadır (Çulha ve Bozoğlu, 2017). Nohutların pişme süreleri 35-103 dk aralığında değişirken, pişme süreleri tane iriliklerine göre farklılıklar gösterebilir. Ayrıca nohutun pişme süresine tane yapısındaki nişastanın içeriği, olgunlaşma sırasındaki sıcaklık, nem oranı ve agronomik faktörler etkili olmaktadır (Singh ve ark., 1991). Nohut çeşit ve hatları kullanılarak yapılan başka çalışmalarda pişme sürelerinin 49.0-69.0 dk (Mart ve ark., 2011), 45.20-51.43 dk (Erdemci, 2012) ve 69.7-81.3 dk (Atmaca, 2008) arasında değiştiği belirtilmiştir. Bulgularımız ile araştırmacıların sonuçları kısmen benzerlik göstermektedir.

4. Sonuç

Baklagiller arasında nohut, besin değerleri açısından önemli bir yere sahiptir. Nohutta verim artışının yanında tüketici ihtiyaçlarına uygun kaliteli çeşitlerin yetiştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada 12 adet nohut çeşidinde fiziksel kalite özelliklerinin tespiti amaçlanmıştır. Tanede nem oranı (%), hektolitre ağırlığı (kg/hl), kuru ağırlık (g), yağ ağırlık (g), ıslak hacim (ml), kuru hacim (ml), su alma indeksi (%), şişme kapasitesi (ml/tane), şişme indeksi (%) ve pişirme süresi (dk) gibi kalite özellikleri bakımından çeşitler arasında önemli farklılıklar tespit edilmiştir. Tüketici ve pazar tercihleri göz önünde bulundurularak ele alınan kriterler incelendiğinde nem oranı bakımından İnci, hektolitre ağırlığı bakımından Hasanbey, kuru ağırlık ve yağ ağırlık bakımından Azkan ve Canitez-87, ıslak hacim bakımından Çağatay ve Canitez-87, kuru hacim bakımından Azkan, şişme kapasitesi gibi kriterler açısından Çağatay, su alma indeksinde Akın, şişme kapasitesi bakımından Çağatay ve Canitez-87, şişme indeksi değeri bakımından Çağatay ve Yaşa-05 çeşitlerinde en yüksek değerler elde edilmiştir. Pişme süresi tüketici açısından incelendiğinde en kısa sürede pişen çeşitler önem kazanmaktadır. Bu özellik bakımından Hisar çeşidi en düşük değerinde elde edildiği çeşit olmuştur. Ülke ekonomisine katma değer oluşturacak çeşit ve genotiplerin tespit edilmesinde benzer çalışmaların önemi daha da fazla artacaktır.

Kaynakça

- Adak, M. S., Güler, M., & Kayan, N. (2010, Ocak). *Yemeklik Baklagillerin Üretimini Arttırma Olanakları*. Türkiye Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi, Ankara.
- Anonim. (2022). TAGEM çeşit kataloğu. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr> Erişim tarihi: 05.01.2022.
- Atmaca, E. (2008). *The effect of different planting times and row spacing on yield, yield components and quality in some chickpea cultivars and lines in Eskişehir conditions*. (PhD), Ankara University, Institute of Natural and Applied Science Ankara, Turkey .
- CoStat (2004). CoHart Software. Version 6.303, Monterey, CA, USA.
- Çalışkan, S., Aytakin, R. İ., Yağız, A. K., & Yavuz, C. (2018). Bazı fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) çeşitlerinde tam ve kısıtlı sulama uygulamalarının tane kalitesi üzerine etkisi. *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(12), 1853-1859. doi:10.24925/turjaf.v6i12.1853-1859.2351
- Çulha, G., & Bozoğlu, H. (2017). Amazon ve sırma börülce çeşitlerinin tane kalitesine farklı kültürel uygulamaların etkisi. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 20 (Özel Sayı): 362-366. doi:10.18016/ksudobil.349303

- Doğanay, Ö., Köse, E., & Mut, Z. (2019). Determination of mineral content of chickpea varieties and lines grown in Turkey. *Derim*, 36(1), 73-78. doi:10.16882/derim.2019.516765
- Düzgüneş, O., Kesici, T., Kavuncu, O., & Gürbüz, F. (1987). *Araştırma ve Deneme Metotları. İstatistik Metotları-II, 1021*. Ankara, Türkiye: Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi.
- Ercan, G., Kaya, M., & Çiftçi, C. Y. (2005). Nohudun dünya ve Türkiye ekonomisindeki yeri. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1), 19-29.
- Erdemci, İ. (2012). *Determination of some agricultural and technological characteristics of different chickpea (Cicer arietinum L.) genotypes in summer and winter planting conditions in Southeastern Anatolia region*. (PhD), Çukurova University, Institute of Natural and Applied Science Adana, Turkey.
- El-Adawy, T. A. (2002). Nutritional composition and antinutritional factors of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) undergoing different cooking methods and germination. *Plant Foods for Human Nutrition*, 57, 83–97. doi:10.1023/A:1013189620528
- FAO. (2020). Dünya bitkisel üretim alan verileri. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> Erişim tarihi: 11.09.2020.
- Jukanti, A. K., Gaur, P. M., Gowda, C. L., & Chibbar, R. N. (2012). Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): A review. *The British Journal of Nutrition*, 108(S1), 11-26. doi:10.1017/S0007114512000797
- Kaya, M & Karaman R. (2016). Göller Bölgesi illerinde yetiştirilen nohut genotiplerinin bazı kalite ve teknolojik özellikleri yönünden değerlendirilmesi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25 (Özel sayı-1), 184-190. doi:10.21566/tarbitderg.280377
- Mart, D., Karaköy, T., & Türkeri, M. (2011, Eylül). *Çukurova bölgesinde tescile aday nohut (Cicer arietinum L.) çeşit ve hatlarında verim ve kalite kriterleri açısından değerlendirilmesi*. IX Türkiye Tarla Bitkileri Kongresi, Bursa.
- Mart, D., Türkeri, M., Akın, R., Yücel, D., & Mart, S. (2021). Çukurova bölgesinde bazı nohut (*Cicer arietinum* L.) çeşit ve hatlarında verim ve kalite özelliklerinin değerlendirilmesi. *Çukurova Tarım Gıda Bil. Dergisi*. 36(2), 357-368. doi:10.36846/CJAFS.2021.62
- Sarımurat, M. Ş., Kulaz, H., & Erdin, F. (2022). Determination of yield and quality characteristics of some chickpea (*Cicer arietinum* L.) varieties cultivated in Van ecological conditions. *MAS Journal of Applied Science*, 7(1), 128-138. doi:10.52520/masjaps.211
- Singh U., Subrahmanyam N., & Kumar J. (1991). Cooking quality and nutritional attributes of some newly developed cultivars of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 55(1), 37-46. doi:10.1002/jsfa.2740550106
- Şehirali, S., Özçelik, H., & Yorgancılar, Ö. (1994, Nisan). *Kuru tane olarak tüketilen bodur fasulye gen kaynaklarının karakterizasyonu üzerinde araştırma*. 1. Tarla Bitkileri Kongresi, Bitki Islahı Bildirileri 2, 134-140, Bornova-İzmir.
- Şehirali, S. (1988). *Yemeklik Tane Baklagiller*. Ankara, Türkiye: Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
- TUİK. (2020). Türkiye’de bitkisel üretim verileri. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=104&locale=tr> Erişim Tarihi: 21.04.2020.
- Wani, I. A., Sogi, D. S., Wani, A. A., & Gill, B. S. (2017). Physical and cooking characteristics of some Indian kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(1), 7-15. doi:10.1016/j.jssas.2014.12.002
- Varshney, R. K., Song, C., Saxena, R. K., Azam, S., Yu, S., Sharpe, A. G., Cannon, S., Baek, J., Rosen, B. D., Taran, B., Millan, T., Zhang, X., Ramsay, L. D., Iwata, A., Wang, Y., Nelson, W., Farmer, A. D., Gaur, P. M., Soderlund, C., Penmetsa, R. V., Xu, C., Bharti, A. K., He, W., Winter, P., Zhao, S., Hane, J. K., Garcia, N. C., Condie, J. A., Upadhyaya, H. D., Luo, M. C., Thudi, M., Gowda, C. L. L., Singh, N. P., Lichtenzveig, J., Gali, K. K., Josefa Rubio, J., Nadarajan, N., Dolezel, J., Bansal, K. C., Xu, X., Edwards, D., Zhang, G., Kahl, G., Gil, J., Singh, K. B., Datta, S. K., Scott, A., Jackson, S. A., Jun Wang, J., & Cook, D. R. (2013). Draft genome sequence of chickpea (*Cicer arietinum* L.) provides a resource for trait improvement. *Nature Biotechnology*, 31, 240-246. doi:10.1038/nbt.2491
- Williams, P. C., Nakoul, H., & Singh, K. B. (1983). Relationship between cooking time and physical characteristics in chickpeas (*Cicer arietinum* L.). *Journal Science Food Agriculture*, 34(5), 492-497. doi:10.1002/jsfa.2740340510



Research Article

A Generalization of G -Nilpotent Units in Commutative Group Rings to Direct Product Groups

Turgut HANOYMAK*, Ömer KÜSMÜŞ

Van Yuzuncu Yil University, Faculty of Science, Department of Mathematics, 65080, Van, Türkiye
Turgut HANOYMAK, ORCID No: 0000-0002-3822-2202, Ömer KÜSMÜŞ, ORCID No: 0000-0001-7397-0735

*Corresponding author e-mail: hturgut@yyu.edu.tr

Article Info

Received: 02.04.2022

Accepted: 29.08.2022

Online April 2023

DOI: [10.53433/yyufbed.1097581](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1097581)

Keywords

Direct product group,
Generalization,
Nilpotent,
Unit

Abstract: Let $V(RG)$ denote the normalized unit group of the group ring RG of a group G over a ring R . The concept of G -nilpotent unit in a commutative group ring has been defined in (Danchev, 2012). In this study, some necessary and sufficient conditions for a normalized unit group in a commutative group ring of a direct product group $G \times H$ to consist only of $G \times H$ -nilpotent units have been given and especially some results which are related to groups $G \times C_3$ and $G \times C_4$ have been introduced where C_3 and C_4 are cyclic groups of orders 3 and 4 respectively. In this context, we can say that the paper extends the results in (Danchev, 2012). At the end, an open problem is served as a future work.

Değişmeli Grup Halkalarında G -Nilpotent Birimsel Elemanların Direkt Çarpım Gruplarına Bir Genellemesi

Makale Bilgileri

Geliş: 02.04.2022

Kabul: 29.08.2022

Online Nisan 2023

DOI: [10.53433/yyufbed.1097581](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1097581)

Anahtar Kelimeler

Birimsel,
Direkt çarpım grubu,
Genelleme,
Nilpotent

Öz: $V(RG)$, bir R halkası üzerindeki bir G grubunun RG grup halkasının normalleştirilmiş birim grubunu gösterir. Değişmeli bir grup halkasındaki G -nilpotent birimsel kavramı (Danchev, 2012)'de tanımlanmıştır. Bu çalışmada da, bir $G \times H$ direkt çarpım grubunun değişmeli grup halkasında normalleşmiş birimsel elemanlar grubunun sadece $G \times H$ -nilpotent birimsel elemanlardan oluşabilmesi için bazı gerek ve yeter şartlar verilmiştir. Ayrıca özel olarak $G \times C_3$ ve $G \times C_4$ gruplarına dair bazı sonuçlar sunulmuştur ki burada C_3 ve C_4 sırasıyla 3 ve 4 mertebeli devirli gruplardır. Bu bağlamda, makale (Danchev, 2012)'deki sonuçları genişletir diyebiliriz. Sonunda, gelecek çalışma için açık problem sunulmuştur.

1. Introduction

Let R be a ring and G be a group. Then the group ring RG is the set of all finite sums $\sum_{g \in G} r(g)g$ where $r(g) \in R$. The operations on the ring structure RG can be seen in (Sehgal, 1978; Karpilovsky, 1982; Milies & Sehgal, 2002; Görentaş, 2020) in detail. The sets of all units that are multiplicative invertible elements and normalized units which have augmentation 1 in RG are shown by $U(RG)$ and $V(RG)$ respectively (Küsmüş, 2020). Augmentation of a unit $u = \sum_{g \in G} r(g)g \in RG$ is defined as follows (Sehgal, 1978; Milies & Sehgal, 2002):

$$\varepsilon(u) = \sum_{g \in G} r(g) \quad (1)$$

Actually, one can see that $\varepsilon: RG \rightarrow R$ is a ring homomorphism with the transformation defined as in above equality. The kernel of ε is defined as follows:

$$\Delta(G) = \{\gamma \in RG: \varepsilon(\gamma) = 0\} \quad (2)$$

and it is generated as

$$\Delta(G) = \langle g - 1: g \in G, g \neq 1_G \rangle \quad (3)$$

which is said to be *augmentation ideal* of RG (Sehgal, 1978; Milies & Sehgal, 2002).

The p -primary component of a group G is generally displayed by G_p which consists of elements of order p^k for some $k \in \mathbb{N}$ and so the maximal torsion part G_0 of G is a co-product of primary components as (Danchev, 2010 and 2012).

$$G_0 = \coprod_p G_p \quad (4)$$

All the elements of G are trivial units in $V(RG)$ (Danchev, 2008 and 2009). An element e of a ring R is said to be idempotent if $e^2 = e$ and the set of all idempotent elements is shown by $id(R)$ (Görentaş, 1999). Also, we know that idempotent elements in a group ring RG have been defined as (Danchev, 2010).

$$id(RG) = \langle \sum_{r_g \in id_C(R)} r_g g: g \in G \rangle \quad (5)$$

An element a of R is called by nilpotent if $a^n = 0$ for some $n \in \mathbb{N}$. For a ring R , $N(R)$ is the set of all nilpotent elements in R and is said to be nil-radical of R . For an ideal $S \leq R$, $I(SG; G)$ is a fundamental ideal and $I(RG; H)$ is relative augmentation ideal of RG with respect to $H \leq G$ (Danchev, 2012). As mentioned in (Küsmüş, 2020), Danchev (2012) has defined some sets such as $inv(R) = \{p: p \cdot 1_R \in U(R)\}$, $zd(R) = \{p: pr = 0, \exists r \in R \setminus \{0\}\}$ and $supp(G) = \{p: G_p \neq 1\}$. He has also defined the followings:

Definition 1.1. Let $u \in V(RG)$. Then u is said to be G -nilpotent if $u = g(1 + n)$ for some $g \in G$ and $n \in I(N(R)G; G)$.

Definition 1.2. $V(RG)$ is called G -nilpotent if

$$V(RG) = G \times (1 + I(N(R)G; G)) \quad (6)$$

Under these definitions, Danchev (2012) has formally shown that $V(RG)$ is G -nilpotent if and only if $V(SG) = G$ where $S = R/N(R)$.

By the way, we deal with defining a novel type of units which are lifted from nilpotent elements because nilpotents are also special type elements in a group ring and we have a lot of information and motivation related to nilpotents and nil-radical of a ring in the corresponding literature. We already have some type of units which are well-known such as Bass cyclic units, bicyclic units, etc. By this reason, it is better to generate novel types of units using other type of elements in a group ring.

2. Material and Methods

In this section, we give some motivation and definitions related to the direct products of two commutative groups.

Let G and H be two commutative groups with p -primary and q -primary components G_p and H_q respectively. Utilizing maximal torsion parts of G and H , we show the maximal torsion part of the direct product $D = G \times H$ as follows:

$$D_0 = \prod_p \prod_q G_p \times H_q = \prod_q G_p \times \prod_p H_q \quad (7)$$

where p and q are prime integers (Küsmüş, 2019).

Due to the fact that $G_p = 1$ means that G has no p -primary component, we indicate by the notation $G_p \times H_q = 1$ that G or H has no p -primary or q -primary components respectively (Küsmüş, 2020).

$$\text{supp}_c(G \times H) = \{pq: G_p \times H_q \neq 1\} \quad (8)$$

is said to be the support of $G \times H$ (Küsmüş, 2020).

Besides, we use the sets

$$\text{zd}_c(R) = \{pq: \exists 0 \neq r \in R, pqr = 0\} \quad (9)$$

and

$$\text{inv}_c(R) = \{pq: pq \cdot 1 \in U(R)\} \quad (10)$$

are defined in (Küsmüş, 2020).

Throughout the paper, we also need the following propositions and definitions related to the ring R .

Proposition 2.1. Let R be a commutative and unital ring and $N(R)$ be the nil-radical of R . Then (Danchev, 2012).

$$U(R/N(R)) = \{r + N(R): r \in U(R)\} \quad (11)$$

Proposition 2.2. Since R is a commutative and unital ring (Danchev, 2012),

$$\text{inv}(R) = \text{inv}(R/N(R)) \quad (12)$$

Definition 2.3. Let \wp be the set of all prime integers. Then (Danchev, 2012),

$$\text{np}(R) = \{p \in \wp: \exists s \in R/N(R), ps \in N(R)\} \quad (13)$$

Corollary 2.4. $np(R) = zd(R/N(R))$ (Danchev, 2012).

We know that a ring R has nontrivial idempotents if and only if $R/N(R)$ has nontrivial idempotents as well. Actually, we can lift idempotent elements of a ring R from the nil-radical $N(R)$ (Bourbaki, 1989). Hence, if the quotient ring $R/N(R)$ has nontrivial idempotents, we can say R has so as well. Now, we can define $G \times H$ -nilpotent units since $G \times H$ is the direct product of groups G and H .

Definition 2.5. Let $u \in V(R(G \times H))$. Then u is said to be $G \times H$ -nilpotent if $u = gh(1 + n)$ for some $g \in G, h \in H$ and $n \in I(N(R)G \times H; G \times H)$, we say $V(R(G \times H))$ is $G \times H$ -nilpotent if every units in $V(R(G \times H))$ is $G \times H$ -nilpotent.

In the next section, we investigate some necessary and sufficient conditions for the normalized unit group $V(R(G \times H))$ to has only $G \times H$ -nilpotent units.

3. Results

Firstly, we should note that $C_n = \langle x: x^n = 1 \rangle$ denotes a cyclic group with a generator x of order n throughout the section. Now, recall some definitions in (Küsmüş, 2020) such as

$$i) \text{supp}_C(G \times H) = \{pq: G_p \times H_q \neq 1\}$$

$$ii) \text{zd}_C(R) = \{pq: \exists 0 \neq r \in R, pqr = 0\}$$

$$iii) \text{inv}_C(R) = \{pq: pq \cdot 1_R \in U(R)\}$$

Theorem 3.1. $V(R(G \times H))$ is $G \times H$ -nilpotent $\Leftrightarrow R$ is indecomposable and reduced,

$$V(R/N(R)(G \times H)_0) = (G \times H)_0 \tag{14}$$

and the followings hold:

i. $G \times H$ has only maximal torsion part or

ii. $G \times H \neq (G \times H)_0$ and

$$\text{supp}_C(D) \cap [\text{inv}_C(R) \cup \text{zd}_C(R)] = \emptyset \tag{15}$$

Proof. First, assume that $V(R(G \times H))$ is $G \times H$ -nilpotent and R is decomposable. Then, there exists a nontrivial $r \in id(R)$. Thus, we can generate a nontrivial unit in the unit group $V(R/N(R)(G \times H))$ such as

$$u = u(r, g, h) = 1_{R/N(R)} - (r + N(R)) + (r + N(R))gh \in V\left(\frac{R}{N(R)}G \times H\right) \setminus (G \times H) \tag{16}$$

with the inverse

$$u^{-1} = 1_{R/N(R)} + (r + N(R))(-1 + (gh)^{-1}) \tag{17}$$

This contradicts with Prop. 6 in (Danchev, 2012). Similarly, if we assume that R has a nontrivial nilpotent element, then

$$v = 1_{\frac{R}{N(R)}} + (f + N(R)) - (f + N(R))gh \tag{18}$$

is a nontrivial unit where $f \notin N(R)$. This contradiction also shows that R has to be reduced. We know that

$$V\left(\frac{R}{N(R)}D_0\right) \subseteq V\left(\frac{R}{N(R)}D\right) \quad (19)$$

and also $V(R/N(R)D) = D$ by the assumption. Therefore,

$$V\left(\frac{R}{N(R)}(G \times H)_0\right) = V\left(\frac{R}{N(R)}(G \times H)_0\right) \cap G \times H = (G \times H)_0 \quad (20)$$

and if $G \times H = (G \times H)_0$, we are done. Let us assume that $G \times H \neq (G \times H)_0$ and

$$\text{supp}_C(G \times H) \cap \text{inv}_C(R) \neq \emptyset \quad (21)$$

In this case, we obtain

$$e = \frac{1}{pq}(1 + gh + \dots + gh^{o(gh)-1}) = e^2 \quad (22)$$

which is a nontrivial idempotent where $pq \in \text{supp}_C(G \times H) \cap \text{inv}_C(R)$. So we can attain a nontrivial unit as above using $e \in \text{id}(R)$ which is a contradiction. Hence,

$$\text{supp}_C(G \times H) \cap \text{inv}_C(R) = \emptyset \quad (23)$$

On the other hand, if

$$\text{supp}_C(G \times H) \cap \text{zd}_C(R) \neq \emptyset \quad (24)$$

then

$$(r + N(R))(1 - g_p h_q)^{pq} = 0_{R/N(R)} \quad (25)$$

where $pqr = 0$, $g_p \in G_p \leq G$ and $h_q \in H_q \leq H$. Thus

$$u = 1 + (r + N(R))(1 - g_p h_q) \quad (26)$$

is a nontrivial unit in $V(R/N(R)(G \times H))$ which is another contradiction. So it has to be realized that $\text{supp}_C(G \times H) \cap \text{zd}_C(R) = \emptyset$. Conversely, let R be an indecomposable and reduced ring and also

$$\text{supp}_C(G \times H) \cap [\text{inv}_C(R) \cup \text{zd}_C(R)] = \emptyset \quad (27)$$

We have

$$V\left(\frac{R}{N(R)}(G \times H)_0\right) \cap (G \times H) = (G \times H)_0 \quad (28)$$

and

$$V\left(\frac{R}{N(R)}G \times H\right) = V\left(\frac{R}{N(R)}(G \times H)_0\right)(G \times H) \quad (29)$$

(May, 1976, p. 491). Extending the group epimorphism $\pi: G \times H \rightarrow \frac{G \times H}{(G \times H)_0}$ over the quotient ring $R/N(R)$ to

$$\pi: R/N(R)(G \times H) \rightarrow R/N(R)\left(\frac{G \times H}{(G \times H)_0}\right) \quad (30)$$

we get the inclusion

$$V\left(\frac{R}{N(R)}G \times H\right) \subseteq V(R/N(R)\left(\frac{G \times H}{(G \times H)_0}\right)) \quad (31)$$

Utilizing Lemma 4. in (May, 1976), one can notice that

$$V\left(\frac{R}{N(R)}\left(\frac{G \times H}{(G \times H)_0}\right)\right) = \frac{G \times H}{(G \times H)_0} \left(1 + N\left(\frac{R}{N(R)}\left(\frac{G \times H}{(G \times H)_0}\right)\right)^0\right) \quad (32)$$

Here, we denote the nilpotent elements which have augmentation 0 by $N\left(\frac{R}{N(R)}\left(\frac{G \times H}{(G \times H)_0}\right)\right)^0$. On the other hand, owing to the fact that

$$1 + N\left(\frac{R}{N(R)}\left(\frac{G \times H}{(G \times H)_0}\right)\right)^0 = \pi\left(1 + N\left(\frac{R}{N(R)}G \times H\right)^0\right) \subseteq \pi\left(V\left(\frac{R}{N(R)}\left(\frac{G \times H}{(G \times H)_0}\right)\right)\right) \quad (33)$$

we attain

$$\frac{G \times H}{(G \times H)_0} \left(1 + N\left(\frac{R}{N(R)}\left(\frac{G \times H}{(G \times H)_0}\right)\right)^0\right) \subseteq \pi\left(\frac{G \times H}{(G \times H)_0}\right)\pi\left(V\left(\frac{R}{N(R)}\left(\frac{G \times H}{(G \times H)_0}\right)\right)\right) \quad (34)$$

and so

$$\frac{G \times H}{(G \times H)_0} \left(1 + N\left(\frac{R}{N(R)}\left(\frac{G \times H}{(G \times H)_0}\right)\right)^0\right) \subseteq \pi\left(\frac{G \times H}{(G \times H)_0}V\left(\frac{R}{N(R)}\left(\frac{G \times H}{(G \times H)_0}\right)\right)\right) \quad (35)$$

This means that

$$\pi\left(V\left(\frac{R}{N(R)}\left(\frac{G \times H}{(G \times H)_0}\right)\right)\right) \subseteq \pi\left(\frac{G \times H}{(G \times H)_0}V\left(\frac{R}{N(R)}\left(\frac{G \times H}{(G \times H)_0}\right)\right)\right) \quad (36)$$

Since the inverse of the above inclusion is clear, one can conclude that

$$\pi\left(V\left(\frac{R}{N(R)}\left(\frac{G \times H}{(G \times H)_0}\right)\right)\right) = \pi\left(\frac{G \times H}{(G \times H)_0}V\left(\frac{R}{N(R)}\left(\frac{G \times H}{(G \times H)_0}\right)\right)\right) \quad (37)$$

and thus the image of $V\left(\frac{R}{N(R)}G \times H\right) - (G \times H)V\left(\frac{R}{N(R)}(G \times H)_0\right)$ under π is 0. This shows that

$$V\left(\frac{R}{N(R)}G \times H\right) - (G \times H)V\left(\frac{R}{N(R)}(G \times H)_0\right) \quad (38)$$

is in the kernel of π . We also know that

$$Ker \pi \subseteq V\left(\frac{R}{N(R)}(G \times H)_0\right) \quad (39)$$

Then

$$V\left(\frac{R}{N(R)}G \times H\right) \subseteq (G \times H)V\left(\frac{R}{N(R)}(G \times H)_0\right) + V\left(\frac{R}{N(R)}(G \times H)_0\right) \quad (40)$$

To sum up, we have the inclusion

$$V\left(\frac{R}{N(R)}G \times H\right) \subseteq (G \times H)V\left(\frac{R}{N(R)}(G \times H)_0\right) \quad (41)$$

As the converse of this inclusion is apparent, the equation

$$V\left(\frac{R}{N(R)}G \times H\right) = (G \times H)V\left(\frac{R}{N(R)}(G \times H)_0\right) \quad (42)$$

hold. Substituting the assumption

$$V\left(\frac{R}{N(R)}(G \times H)_0\right) = (G \times H)_0 \quad (43)$$

into the above equation, we have indicated that

$$V\left(\frac{R}{N(R)}G \times H\right) = (G \times H) \quad (44)$$

as claimed. ■

Theorem 3.2. Let G and H be Abelian groups where $|H| = 3$. Then, $V(R(G \times H))$ is $G \times H$ -nilpotent if and only if

i) $V(R/N(R)G) = G$,

ii) $1 + 3(a^2 + b^2 + ab + a + b) \in V\left(\frac{R}{N(R)}\right) \Leftrightarrow (a, b) \in \{(0,0), (-1,0), (0, -1)\}$.

Proof. \Rightarrow : Assume that $V(R(G \times H))$ has only $G \times H$ -nilpotent units. In this case, we equivalently have $V(R/N(R)(G \times H)) = G \times H$. Define a group epimorphism over $G \times H \simeq G \times \langle x: x^3 = 1 \rangle$ as

$$\chi: G \times H \rightarrow G, \chi(g, h) = g \quad (45)$$

Extending linearly χ over group ring, we attain

$$\bar{\chi}: R/N(R)(G \times H) \rightarrow R/N(R)G \quad (46)$$

with an element $\gamma = \sum_{gh \in G \times H} (r_{gh} + N(R)) gh$ which has the image

$$\bar{\chi}(\gamma) = \sum_{gh \in G \times H} (r_{gh} + N(R)) g \quad (47)$$

Restricting $\bar{\chi}$ to the unit groups yields

$$\chi_V: V(R/N(R)(G \times H)) \rightarrow V(R/N(R)G) \quad (48)$$

with

$$\text{Ker } \chi_V = V(1 + \Delta_{\frac{R}{N(R)G}}(H)) = (1 + \langle 1 - x, 1 - x^2 \rangle) \cap V(R/N(R)(G \times H)) \quad (49)$$

Thus,

$$\frac{V(R/N(R)(G \times H))}{V(1 + \Delta_{\frac{R}{N(R)G}}(H))} \simeq V\left(\frac{R}{N(R)}G\right) \quad (50)$$

and we form a short exact sequence $A \xrightarrow{i} B \xrightarrow{\chi_V} C$ where

$A = V(1 + \Delta_{R/N(R)G}(H))$, $B = V(R/N(R)(G \times H))$ and $C = V(R/N(R)G)$. Splitting $A \xrightarrow{i} B \xrightarrow{\chi_V} C$, we obtain a decomposition as $B = A \times C$. One can notice that if

$$V(R/N(R)(G \times H)) = G \times H \quad (51)$$

then $A = H$ and $C = V(R/N(R)G) = G$. Now, we should also explore necessary and sufficient conditions to be

$$A = V(1 + \Delta_{R/N(R)G}(H)) = H \quad (52)$$

Actually, since

$$A = 1 + \Delta_{\frac{R}{N(R)G}}(H) \cap V\left(\frac{R}{N(R)}(G \times H)\right) \quad (53)$$

a unit

$$u = 1 + a(1 - x) + b(1 - x^2) \in \langle x: x^3 = 1 \rangle \quad (54)$$

if and only if

$$uv = u[1 + c(1 - x) + d(1 - x^2)] = 1 + (1 - x)(a + c + 2ac + bc + ad - bd) + (1 - x^2)(b + d - ac + bc + ad + 2bd) = 1 \quad (55)$$

for some $v = 1 + c(1 - x) + d(1 - x^2)$ where $a, b, c, d \in R/N(R)G$. Then, we can constitute a system of linear equations as

$$a + c + 2ac + bc + ad - bd = 0 \quad (56)$$

$$b + d - ac + bc + ad + 2bd = 0 \quad (57)$$

so its matrix equivalent $A \begin{pmatrix} c \\ d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -a \\ -b \end{pmatrix}$ where

$$A = \begin{pmatrix} 1 + 2a + b & a - b \\ b - a & 1 + a + 2b \end{pmatrix} \quad (58)$$

has a unique solution $\begin{pmatrix} c \\ d \end{pmatrix}$ if and only if A is an invertible matrix so we can conclude that

$$\det A = 1 + 3(a^2 + b^2 + ab + a + b) \quad (59)$$

must be a unit in $V(R/N(R)G)$ because of the formula $A^{-1} = \frac{1}{\det A} \text{adj}(A)$. Hence,

$$1 + a(1 - x) + b(1 - x^2) \in \langle x: x^3 = 1 \rangle \quad (60)$$

and $\det A \in V(R/N(R)G)$ yields all of the following possible cases.

Case 1:

$$1 + a(1 - x) + b(1 - x^2) = 1 \text{ if and only if } (a, b) = (0, 0).$$

Case 2:

$$1 + a(1 - x) + b(1 - x^2) = x \text{ if and only if } (a, b) = (-1, 0).$$

Case 3:

$$1 + a(1 - x) + b(1 - x^2) = x^2 \text{ if and only if } (a, b) = (0, -1).$$

So we get *ii*) in the hypothesis. ■

Corollary 3.3. Let G and H be Abelian groups where $|H| = 3$ and $\text{char } R = 3$. Then, $V(R(G \times H))$ has only $G \times H$ -nilpotent units if and only if

$$V(RG) = G \times (1 + I(N(R)G; G)) \tag{61}$$

and $\text{Ker } \chi = \langle 1 - x, 1 - x^2 \rangle_S$ such that

$$S \times S = \{(0, \mu) : \mu \in \mathbb{Z}_3\} \cup \{(\mu, 0) : \mu \in \mathbb{Z}_3\} \tag{62}$$

Proof. If $\text{char } R = 3$, $\det A$ is

$$1 + 3(a^2 + b^2 + ab + a + b) = 1_{R/N(R)} \tag{63}$$

So, one can clearly deduce that $V(1 + \text{Ker } \chi_V)$ is $\{1 + a(1 - x) + b(1 - x^2) : a, b \in R/N(R)G\}$ and thus $V(1 + \text{Ker } \chi_V) = H$ if and only if at least one of a and b has to be 0. This requires

$$S \times S = \{(0, \mu) : \mu \in \mathbb{Z}_3\} \cup \{(\mu, 0) : \mu \in \mathbb{Z}_3\} \tag{64}$$

as claimed. ■

Theorem 3.4. Let G and H be Abelian groups with $|H| = 4$ which is cyclic. Then, $V(R(G \times H))$ has not only $G \times H$ -nilpotent units if and only if $V\left(\frac{R}{N(R)}G\right) \neq G$ or there exists a unit of the form

$$u(a, b, c) = (1 + 2a + 2c)(1 + 2a^2 + 4b^2 + 2c^2 + 4ab + 4bc + 2a + 4b + 2c) \tag{65}$$

where $a, b, c \in R/N(R)G$.

Proof. Utilizing the epimorphisms in the previous theorem, we can set the same short exact sequence there. In this case, $V(R(G \times H))$ has not only $G \times H$ -nilpotent units if and only if

$$V(R/N(R)G) \neq G \tag{66}$$

or

$$V(1 + \Delta_{R/N(R)G}(H)) \neq H \tag{67}$$

where $H = \langle x : x^3 = 1 \rangle$. Let

$$u = 1 + a(1 - x) + b(1 - x^2) + c(1 - x^3) \tag{68}$$

be a unit in $V(1 + \Delta_{R/N(R)G}(H))$ with the inverse $v = 1 + d(1 - x) + e(1 - x^2) + f(1 - x^3)$. Then $V(1 + \Delta_{R/N(R)G}(H)) \neq H$ if and only if u is nontrivial and uv is

$$1 + (1 - x)\beta_1 + (1 - x^2)\beta_2 + (1 - x^3)\beta_3 = 1 \tag{69}$$

where

$$\beta_1 = (a + d + 2ad + bd + cd + ae - ce + af - bf) \tag{70}$$

$$\beta_2 = (b + e - ad + bd + ae + 2be + ce + bf - cf) \tag{71}$$

$$\beta_3 = (c + f - bd + cd - ae + ce + af + bf + 2cf) \tag{72}$$

In this case, $uv = 1$ if and only if $M \begin{pmatrix} d \\ e \\ f \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -a \\ -b \\ -c \end{pmatrix}$ has a unique solution $\begin{pmatrix} d \\ e \\ f \end{pmatrix}$ where M is

$$\begin{pmatrix} 1 + 2a + b + c & a - c & a - b \\ b - a & 1 + a + 2b + c & b - c \\ c - b & c - a & 1 + a + b + 2c \end{pmatrix} \tag{73}$$

Thus $\det M$ is invertible in $(R/N(R))G$ and can be stated as

$$(1 + 2a + 2c)(1 + 2a^2 + 4b^2 + 2c^2 + 4ab + 4bc + 2a + 4b + 2c) \tag{74}$$

as claimed in the theorem. ■

Corollary 3.5. Let G and H be Abelian groups with $|H| = 4$ which is cyclic and also $\text{char } R = 2$. Then, $V(R(G \times H))$ has not only $G \times H$ -nilpotent units if and only if $V(R/N(R)G) \neq G$ or $\text{Ker } \chi = \langle 1 - x, 1 - x^2, 1 - x^3 \rangle_T$ such that $T^3 = \{(a, b, c) : a, b, c \in R/N(R)G\}$ where at least two of a, b and c is different from $0_{R/N(R)G}$.

Proof. If $V(R(G \times H))$ has not only $G \times H$ -nilpotent units and $V(R/N(R)G) = G$, then

$$V(1 + \text{Ker } \chi_v) \tag{75}$$

has to consist nontrivial units. As a unit $u = 1 + a(1 - x) + b(1 - x^2) + c(1 - x^3)$ has to be different from $1, x, x^2$ or x^3 . In this case, one can easily check that if only one of a, b or c is 0, u has one of the following forms:

$$u = 1 + a(1 - x) + b(1 - x^2) \tag{76}$$

$$u = 1 + a(1 - x) + c(1 - x^3) \tag{77}$$

$$u = 1 + b(1 - x^2) + c(1 - x^3) \tag{78}$$

Thus u may has a nontrivial form which is a contradiction. Hence, in order to insure that u has to be only $1, x, x^2$ or x^3 , we have to choose the parameters a, b, c as claimed. ■

4. Discussion and Conclusion

In this study, we have firstly defined some sets using primes related to a commutative group ring $R(G \times H)$ which is unity of Abelian groups G and H inspring from (Danchev, 2012). Later, we have determined some necessary and sufficient conditions for $V(R(G \times H))$ to be $G \times H$ -nilpotent based on our definitions such as $\text{supp}_C(G \times H)$, $\text{zd}_C(R)$ and $\text{inv}_C(R)$ in Theorem 3.1.

Li (1998) has proved that if RG has only trivial units, then $R(G \times C_2)$ has only trivial units as well where $R = \mathbb{Z}$. So, the results on $G \times C_2$ -nilpotency of the normalized unit group $V(R(G \times C_2))$ can be similarly obtained using his structure. In this paper, we have acquired some special necessary and sufficient conditions on $G \times H$ -nilpotency of $V(R(G \times H))$ for $H = C_3$ and $H = C_4$. As a future work, it may possible to get some results about $G \times C_n$ for a general n . Besides, we should note that the current paper already gives a characterization for $G_1 \times G_2 \times \cdots \times G_n$ since we can observe that

$$G_1 \times G_2 \times \cdots \times G_n = \overline{G_1} \times \overline{G_2} \quad (79)$$

where $\overline{G_1} = G_1 \times G_2 \times \cdots \times G_k$ and $\overline{G_2} = G_{k+1} \times G_{k+2} \times \cdots \times G_n$ for $1 \leq k < n$. So, it is an easy implementation of this paper and can only be evaluated as an example.

As widely known, units are one of exclusive elements in group rings. In addition, defining a new type of units creates a remarkable area in the theory of group rings. Being able to attract more researchers plays a crucial role by sharing ideas and open problems.

In this context, we think that investigating necessary and sufficient conditions for

$$V(R(G \times H)) = V(RG) \times (1 + I) \quad (80)$$

where $I = I(N(R)G \times H; G \times H)$ can be appreciated as an open problem and so a future work.

References

- Bourbaki, N. (1989). *Elements of Mathematics, Commutative Algebra*. Berlin, Germany: Springer.
- Danchev, P. (2008). Trivial units in commutative group algebras. *Extracta mathematicae*, 23(1), 49-60.
- Danchev, P. (2009). Trivial units in abelian group algebras. *Extracta mathematicae*, 24(1), 47-53.
- Danchev, P. (2010). Idempotent units of commutative group rings. *Communications in Algebra*, 38(12), 4649-4654. doi:10.1080/00927871003742842
- Danchev, P. (2012). G-nilpotent units in Abelian group rings. *Commentationes Mathematicae Universitatis Carolinae*, 53(2), 179-187.
- Görentaş, N. (1999). A characterization of idempotents and idempotent generators of $\mathbb{Q}S_3$. *Bulletion of pure and Applied Sciences*, 2(18), 289-292.
- Görentaş, N. (2020). A note on simple trinomial units in $U_1(\mathbb{Z}C_p)$. *Turkish Journal of Mathematics*, 44(5), 1783-1791. doi:10.3906/mat-2003-63
- Karpilovsky, G. (1982). On units in commutative group rings. *Archiv der Mathematik*, 38, 420-422. doi:10.1007/BF01304809
- Küsmüş, Ö. (2019, Aralık). *Nilpotent, idempotent and units in group rings*. (PhD), Yuzuncu Yıl University, Institute of Natural and Applied Science Van, Turkey.
- Küsmüş, Ö. (2020). On idempotent units in commutative group rings. *Sakarya University Journal of Science*, 24(4), 782-790. doi:10.16984/sofenbilder.733935
- Li, Y. (1998). Units of $\mathbb{Z}(G \times C_2)$. *Quaestiones Mathematicae*, 21(3-4), 201-218. doi:10.1080/16073606.1998.9632041
- May, W. (1976). Group algebras over finitely generated rings. *Journal of Algebra*, 39(2), 483-511. doi:10.1016/0021-8693(76)90049-1
- Milies, C. P., & Sehgal, S. K. (2002). *An Introduction to Group Rings*. Amsterdam, North-Holland: Kluwer.
- Sehgal, S. K. (1978). *Topics in group rings*. New York, US: Marcel Dekker.



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Kentsel Yeşil Alanların Planlamasında Kullanılan Konumsal Analiz Yöntemleri ve Kullanım Olanakları

Onur ŞATIR*¹, Okan YELER¹, Serkan KEMEÇ²

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 65090, Van, Türkiye

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, 65090, Van, Türkiye

Onur ŞATIR, ORCID No: 0000-0002-0666-7784, Okan YELER, ORCID No: 0000-0002-0405-4829,

Serkan KEMEÇ, ORCID No: 0000-0001-5604-1088

* Sorumlu yazar e-posta: osatir@yyu.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 28.06.2022
Kabul: 03.09.2022
Online Nisan 2023

DOI: [10.53433/yyufbed.1137450](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1137450)

Anahtar Kelimeler

CBS,
Kentsel yeşil alan,
Mekânsal analizler,
Uzaktan algılama,
Yeşil altyapı

Öz: Çalışmanın amacı, kentsel yeşil alan planlaması ve konumsal analizlerin kullanım olanaklarını, dünyadaki bilimsel literatürlerdeki yerini ve konuyla ilgili genel olarak yapılabilecek çalışmaları, farklı literatürlerden elde edilen orijinal çıkarımlar üzerinden analizini yapmaktır. Çalışma kapsamında, kentsel yeşil alan kavramı, yeşil alanların sınıflandırılması, kentsel planlama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), mekânsal analizlerin yeşil alan planlamasında kullanımı ve coğrafi bilgi teknolojileri yardımıyla kentsel yeşil alan planlaması konularında ülkemiz ve dünya literatürlerindeki eğilimler irdelenmiştir. Sonuç olarak; genel literatürde otonom sistemlerin oluşturulması ve akıllı şehirler kapsamında yeşil alan planlamasına yönelik çalışmaların, ulaşım ve erişim imkanlarına odaklanan nitelikli planlama yaklaşımlarının, kent ölçeğinde, çevre biyolojisi, toprak ve rehabilitasyon konularında coğrafi veriye dayalı çalışmaların yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Konuyla ilgili en çok bilimsel yayın yapılan dergiler incelendiğinde, ilk 10'a giren dergilerin çoğunluğunun Web of Science (WOS) veri tabanında Quarter-1 (Q1) kategorisindeki dergiler olduğu, dolayısıyla yüksek kalitedeki dergilerde konuyla ilgili çalışmaların yayımlandığı görülmüştür. Ülkeler bazında bilimsel katkı açısından değerlendirildiğinde konuyla ilgili en etkin çalışmaların Finlandiya'da yapıldığı belirlenmiştir.

Spatial Analysis Methods Used in the Planning of Urban Green Areas and Their Usage Opportunities

Article Info

Received: 28.06.2022
Accepted: 03.09.2022
Online April 2023

DOI: [10.53433/yyufbed.1137450](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1137450)

Keywords

GIS,
Green infrastructure,
Remote sensing,
Spatial analyses,
Urban green area

Abstract: The purpose of the study was to analyze the various literature on urban green area planning and spatial analyses, and to define the possible related subject in the future. Urban green area term, green area classification, urban planning and Geographic Information System (GIS), green area planning and spatial analyses, green area planning using GIS, and trends in national and world literature on these subjects were investigated. It was detected that studies on autonomous system development on green area planning and intelligent cities, and qualified planning approaches focused on spatial accessibility, environmental biology, soil and rehabilitation using GIS on an urban scale were insufficient in the literature. When the top 10 journals with the publication counts on the subject were examined, it was determined that most of the journals were in the Web Of Science database Quarter 1 category, and similar subjects were popular in high-quality journals. According to the scientific contribution, the highest effect based on countries was detected in Finland.

1. Giriş

Kentsel yeşil alanlar, toplumsal yaşantımızda doğa ve ekoloji temelli yaklaşımlar göz önüne alındığında, bu alanların planlanması ve yönetiminin kent sakinlerinin hayatlarına temel faydalar sağladığından kavram bakımından çok önemli bir konudur (Pauleit, 2003; Tzoulas ve ark., 2007; James ve ark., 2009). Ayrıca bu alanlar özellikle yaban hayatı için hassas bir öneme sahip yaşam alanları sunmaktadır (Goddard ve ark., 2010). Kentsel yeşil alanların çok işlevsel oluşu, rekreasyon, sosyal etkileşim, estetik, kültürel miras ve ekolojik katma değerlerle ilgili çok işlevsel oluşu vurgulanmaktadır (Priemus ve ark., 2004; Mell, 2009). Sürdürülebilir kentsel gelişme için önemli olan ve ekosistem işlevlerinden elde edilen insan faydalarını içeren ekosistem hizmetleri kavramı (Costanza ve ark., 1997), kentsel yeşil alanlara da uygulanmıştır (Tratalos ve ark., 2007; Ernstson ve ark., 2008; Niemelä ve ark., 2010; Young, 2010; Kabisch, 2015). Ekosistem hizmetlerini temel olarak, Destekleyici, tedarik edici, düzenleyici ve kültürel hizmetler olarak 4 sınıfa ayırmak mümkündür (MEA, 2005). Kentsel yeşil alanların faydaları, özellikle destekleyici ve düzenleyici hizmetlerde daha etkin görülmektedir. Destekleyici hizmetlerde Net Birincil Üretim (NBÜ) (Bulut ve ark., 2019; Berberoglu ve ark., 2021), habitat sağlanması (Lanzas ve ark., 2019), toprak oluşumu ve korunumunun desteklenmesi (Çilek, 2021). Düzenleyici hizmetler arasında havayı temizleme (Bell ve ark., 2011; Tallis ve ark., 2011; Saebo ve ark., 2012), su ve iklim düzenlemesi (Bowler ve ark., 2010; Depietri ve ark., 2012), karbon depolama (Davies ve ark., 2011; Strohbach ve ark., 2012) ve yağmur suyu düzenlemesi (Zhang ve ark., 2012) önemli örnekler arasında yer almaktadır. Bu alanlar aynı zamanda kentsel alanlarda biyolojik çeşitliliğin korunması için de çok önemlidir (Goddard ve ark., 2010; Nielsen ve ark., 2014).

Son dönemlerde insanlar tarafından özellikle kent doğasının algılanmasına, biyolojik çeşitlilik konularına ve sağlık bakımından yararları kavramlarına artan bir ilgi vardır. Bu ilgi genellikle insan-çevre etkileşimi üzerine kurgulanarak, bu konularda yapılan araştırma, gözlem ve incelenmeler ile somut bir şekilde ortaya konulmaya çalışılmaktadır (Fuller ve ark., 2007; Jorgensen & Gobster, 2010; Dean ve ark., 2011). Rekreasyon, estetik ve kültürel miras gibi kültürel ekosistem hizmetlerine genellikle kentsel yeşil alanların planlanması, tasarımı ve yönetiminde öncelik verilmektedir. Kentsel yeşil alanlarda gerçekleştirilen fiziksel aktiviteler, sosyal etkileşim ve topluluk bağlılığı konularında da farkındalık artmaktadır. Bu alanların insan sağlığı üzerine sağladığı önemli faydalar nedeni ile, yeşil alanlara erişim, insan refahı ile ilgili yeşil alan araştırmalarında önemli bir konu olmuştur (Hillsdon ve ark., 2006; Kabisch, 2015).

Kentsel yeşil alanlar, aynı zamanda nitelik ve niceliği erişilebilirlik ölçütünde değiştirebilen, yeni oluşturulmuş veya mevcut olanı koruyarak anlamlandırılmış alanlar olarak tanımlanır. Bu oluşturulan alanlar özel ve kamusal alanlarda farklı ölçeklerde başlıklar altında örneklendirilebilir (soldan sağa ve aşağıya doğru numaralı);

Resim 1: yol kenarındaki caddeler veya tren yolları boyunca; yeşil alan ve bitki örtüsü bariyerleri

Resim 2: küçük kentsel yeşil alanlar (bahçeler veya cep parkları) ve oyun alanları;

Resim 3: yeşil çatılar ve cepheler;

Resim 4: parklar ve kentsel çim alanlar;

Resim 5: yeşil yollar ve koridorlar (yeşil yürüyüş/bisiklet yolları);

Resim 6: yeşil açıklıklı kıyı bağlantıları, nehir kenarı veya göl kenarı patikaları;

Resim 7: rekreasyonel ve kentsel bahçe tesisleri (topluluk bahçeleri, spor ve oyun alanları ve okul alanları); ve

Resim 8: kentsel ormanlık alanlara kolay erişim, ormanlar ve doğal vahşi yaşam alanları şeklinde ortaya konabilir (Hartig ve ark., 2014; WHO, 2016) (Şekil 1).



Şekil 1. Kentsel yeşil alan örnekleri (Hartig ve ark., 2014).

Kentsel yeşil alan özellikleri dört ana başlık altında toplanmaktadır. Bu başlıklar kullanılabilirlik ve ulaşılabilirlik, estetik, olanaklar ve yönetim olarak sıralanır. Yeşil alanların çevreye ve toplumsal yaşama etkileri de üç ana başlık altında sıralanmaktadır (Kabisch, 2015). Kullanım ve işlev, katma değer özellikleri ve çevreyi düzenleme hizmeti olarak üç başlıkta ele alınan etkiler farklı alt başlıklarla da desteklenmektedir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Kentsel yeşil alanların etkilerinin nedensel bir modeli (Milvoy & Roué-Le Gall, 2015)

Yeşil Alan Özellikleri			
Kullanılabilirlik ve Ulaşılabilirlik (Konum, mesafe, büyüklük, miktar, kalite, güvenlik vb.)	Estetik (Manzara, kalite, Algı vb.)	Olanaklar (Altyapı, hizmetler vb.)	Yönetim (Sıklık, pestisitler, Sulama vb.)
Yeşil Alan Etkileri			
Kullanım ve İşlev <ul style="list-style-type: none">Aktif hareketlilikGıda üretimiBahçecilikFiziksel aktivite ve sporDinlenme ve rekreasyonSosyal değişim	Katma Değer Özellikleri <ul style="list-style-type: none">Arsa fiyatına etkisiYaşam kalitesine etkisiÇevre ve konut kalitesi	Çevreyi Düzenleme Hizmeti <ul style="list-style-type: none">Biyoçeşitlilik desteğiKarbon depolamaKirlilik yönetmeliğiToprak korumaSıcaklık regülasyonuSu düzenlemesi	

Kentsel yeşil alanların sağladığı etkiler kapsamında gürültü kirliliği ve etkilerinin azaltılması ile iyileştirilmiş hava ve su kalitesi sayesinde çevreye olan katma değeri ve sağlık riskinin azaltılması yönünde büyük önem taşımakta ve bu alanların var olduğu bölgelerin pozitif yönde doğrudan etkilendiği gözlenmektedir. Ayrıca, sağlığı destekleyerek kolaylaştırırken, insan stresinin hafifletilmesini ve rahatlamasını sağlayarak esenlik ve gelişmiş sosyal etkileşim ve topluluk bütünlüğünü sağladığı bilinmektedir (CABE, 2006).

1.1. Kentsel yeşil alanların sınıflandırılması

ABD şehirleri ve bazı dünya örnekleri incelendiğinde en tipik kentsel yeşil alanların kentsel parklar ve sokak parkları olduğu gözlenmektedir (Sugiyama ve ark., 2010; Oliver ve ark., 2011). Kentsel parklar, farklı kuruluşlar ve literatüre dayalı bilimsel çalışmalar sonucu belirli ölçülere göre sınıflandırılmıştır (Rundle ve ark., 2013). Çizelge 2’de terminoloji ve boyut kriterlerindeki farklılıkları vurgulanarak kentsel parkların farklı ülkelerde ve farklı ölçülerde sınıflandırma örnekleri gösterilmektedir. Her toplumun farklı istek ve talepleri var olduğundan standart belirlemede değişikliklerin var olması kaçınılmazdır. Kentsel yeşil alanların parklar üzerinden sınıflandırılması açık yeşil alanların planlanmasının temeli olarak bilinmektedir (Jansen ve ark., 2017).

Her ne kadar parklar çeşitli büyüklüklerde farklı sosyal ihtiyaçların karşılanmasında önemli rol alsada etkin oldukları alanlardaki karmaşıklıkların çözümünde, ekolojileri oluşturmada ve sosyal ilişkilerde birleştirici olarak önemli rol almakta ve özel ilgi görmektedirler. Küçük parklar içerisinde bulunan tesisleşmelere odaklanarak tasarlanabilirken, büyük parklar ise çeşitli doğal yaşam alanlarını oluşturarak, toplumsal yaşantıda ihtiyaç duyulan sosyal, sağlık ve çevresel faydaları ve benzersiz bitki örtüsü varlıklarının ortamlara kazandırılması ile benzersiz bir doğal deneyim sunmaktadırlar (Oliver ve ark., 2011).

Çizelge 2. Farklı ülkelerde kentsel yeşil alanların sınıflandırılması (Choi ve ark., 2020)

Ülke	Kaynak	Park Türü	Boyut Kriterleri
Amerika Birleşik Devletleri	National Recreation and Park Association (Mertes & Hall, 1995)	Mini Park	0.4-2 hektar
		Mahalle Parkı	2-4 hektar
		Topluluk Parkı	8-20 hektar
		Ulusal araştırma alanı	Değişken
İngiltere	Greater London Authority (2016)	Cep parkları	0.4 hektarın altı
		Küçük açık alanlar	2 hektarın altı
		Lokal parklar ve açık alanlar	2 hektar
		Mahalle parkları	20 hektar
		Büyükşehir parkları	60 hektar
Bölgesel parklar	400 hektar		
Kanada	City of Toronto (2013)	Parketler	0.5 hektarın altı
		Mahalle parkları	0.5 hektarın üstü
		Topluluk Parkı	3 hektarın üstü
		Semt Parkları	5 hektarın üstü
		Kent Parkları	15 hektarın üstü

1.2. Kentsel yeşil alan planlaması

Kentsel yeşil alanların planlanması hem ulusal hem de yerel düzeyde bir dizi fayda sağlayarak insanlara farklı şekillerde birçok kullanım fırsatı sunar. Ayrıca doğru bir planlama ile kentsel yeşil alan kullanımı şehirlerin yaşam kalitesini iyileştirmede kilit rol oynamaktadır. Özellikle kentlerde yaşamak, çalışmak ve yatırım yapmak için çekiciliği ve turizm faaliyetlerini artırmaya yönelik kent kimliğini tanımlamaya ve desteklemeye yardımcı olurlar. Dolayısıyla planlı alan kullanımı ile şehirlerin rekabet gücüne olumlu katkı sağlayabilirler. Öte yandan kentsel yeşil alanlar ekolojik ve planlama sistemine, bir bütün olarak kentsel yaşam kalitesine, sosyal ve ekonomik hayata birçok katkı sağlamaktadır (Kwon ve ark., 2017).

Yapılan önceki çalışmalar, kentsel yeşil alan planlamalarının toplumsal yaşantı üzerine katkılarını çeşitli alanlara ayırarak vurgulamıştır. Bu alanlar; sosyal, ekonomik, ekolojik veya planlama boyutlarını içermektedir (Dole, 1989; Stanners & Bourdeau, 1995; Baycan ve ark., 2003; Baycan & Nijkamp, 2004; Rodenburg ve ark., 2004).

Sosyal bir bakış açısıyla, uygun yeşil alan türleri daha fazla çeşitlilik sunabilmektedir. Arazi kullanımları ve çok çeşitli faaliyetler için fırsatlar, aktif kentsel gelişmeyi teşvik etmeye yardımcı olabilmekte, yaşam tarzları ve sosyal sağlığa gerçek fayda sağlayabilmektedir. İyi yönetilen ve bakımlı

yeşil mekânlar, her yaşta insana birçok fırsat yaratarak sosyal adalete katkıda bulunabilmektedir (Campbell, 2001). Kentsel yeşil alanlar aynı zamanda kentsel çeşitliliği vurgulayarak, yerelden uluslararası kadar değişen farklı toplulukların ihtiyaçlarını yansıtmaktadır. Örnek olarak yerel festivaller, sivil kutlamalar ve tiyatro gösterileri için mekânlar sağlayarak kültürel yaşamı geliştirmeye katkı sunmaktadır. Kentsel yeşil alanlar çocuklar için güvenli bir oyun alanı sağlayabilir (Haughton & Hunter, 2003), çocukların fiziksel, zihinsel ve sosyal gelişimine katkıda bulunmakla beraber okul çocuklarının temel eğitiminde önemli bir rol oynamaktadır (Hart, 1997).

Planlama açısından kentsel yeşil alanlar, yerleşim alanlarını birbirine bağlayan yüksek kaliteli yeşil alanlar ağı ile iş ve eğlence alanındaki gelişmelerle erişilebilirliği iyileştirmeye yardımcı olarak, yerel tesislerin ve istihdam merkezlerinin çekiciliğini artırabilmektedirler. İyi tasarlanmış yeşil mekânlar, insanları işe gidip gelme, dinlenmek veya eğlenmek için yürüyerek veya bisikletle güvenli bir şekilde seyahat etmeye teşvik etmeye yardımcı olmaktadır. Ayrıca, iyi tasarlanmış kentsel yeşil alanlar gürültüye karşı bir bariyer sağlar ve çok fazla uzamsallıktan kaçınmak için tek düzelikten uzak görsel bir ekran işlevi görebilmektedir (Dole, 1989; Haughton & Hunter, 2003). Sonuç olarak, kentsel yeşil alan planlamaları, kentsel çevreye katma değer sağlamakta ve yeşil alan içerisinde bulunan biyoçeşitliliği artırarak birçok sosyo-ekonomik fırsat sunmaktadır.

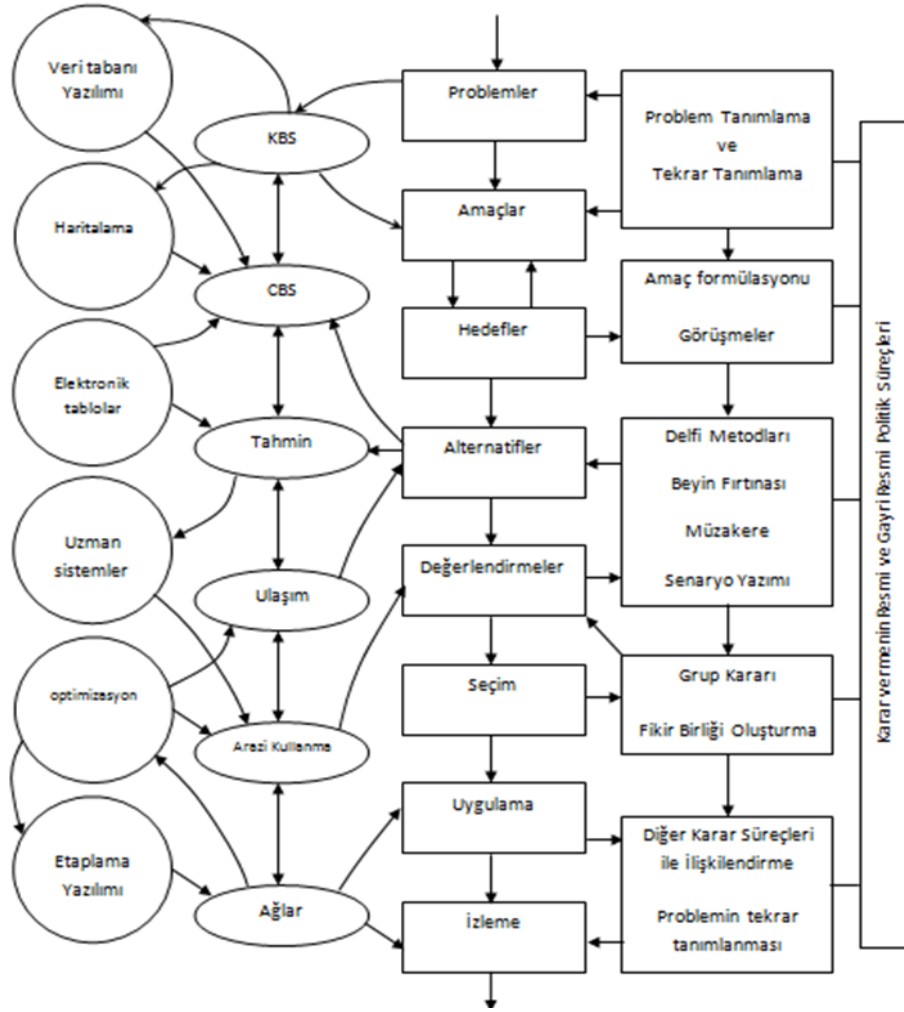
1.3. Coğrafi bilgi sistemleri- planlama süreçleri

Davidoff & Reiner (1962) tarafından geleceğe yönelik eylemlerin sistematik biçimde tasarlanması süreci olarak tanımlanan planlama doğası gereği çok disiplinli bir yapıya sahiptir ve ilgilenilen mekânsal karar problemleri iyi tanımlanamayan problemler (ill structured problems) şeklindedir. Başta kentsel alanlardaki farklı arazi kullanımlarının mekânda yerlerinin ve büyüklüklerinin belirlenmesi şeklinde, mimarlık disiplini altında bir alt alan olarak, alan araştırması ve fiziki planlama ile sınırlı şekilde başlamıştır. Bu noktada sanata daha yakın bir noktada iken özellikle Coğrafya ve Sosyoloji gibi alanlarda başlayan sosyal bilimlerdeki niceliksel devrimden etkilenmiş ve teknik bir disiplin kimliği kazanmıştır (White; 1974, Ceuclelis; 1982, Taylor; 1998, Brail & Klostermann; 2001, Çubukçu, 2008).

Planlama süreci temel olarak dört alt süreç altında değerlendirilebilir. Bunlar sırası ile araştırma, plan yapımı, uygulama ve değerlendirmedir. Yapılan her ölçekteki mekânsal planlama faaliyetinde, planlama kavramının özünde yer alan “Yaşanabilir Çevreleri Nasıl Oluşturabiliriz?” ana sorusuna cevap bulmak için büyük ölçekli mekânsal – zamansal içerikli veri setleri ile uğraşmak durumu ile karşılaşmaktadır. Karşılaşılan mekânsal problemlerin yapısı ve boyutları nedeni ile karar süreçlerini destekleyici sistemlerden bahsedebiliriz, bunlar akademik yazında Planlama Destek Sistemleri (PDS) şeklinde tanımlanmaktadır (Şekil 2). Planlama sürecinde yer alan araştırma alt sürecinde toplanacak veriler planlanacak alanın; doğal, sosyal ve demografik, ekonomik ve idari yapısına ilişkin verileri olmaktadır. Toplanan verilerin sürece doğru bir şekilde aktarılması sırasında planlancının kullandığı farklı araçlar vardır, bunlar;

- Projeksiyonlar (nüfus artışı, işgücü olanaklarının artışı)
- Analitik metotlar (istatistik, grafik, modeller, simülasyonlar, sistem analizleri)
- Akıl göstergeleri (matematiksel metotlar, programlama, listeleme, bilgisayar programları vb.)
- Halk katılımı (görüşmeler, anket uygulamaları)
- Değerlendirme (alternatif seçimi; elle tutulabilen ve elle tutulamayan etkiler)
- Uygulama (ekonomik konular –finansman, fonlar vb. düzenleyici konular-yönetmelikler, siyasi fizibilite vb.)

Diğer taraftan, “konuma dayalı grafik ve grafik olmayan bilgilerin toplanması, saklanması, işlenmesi ve kullanıcıya sunumu işlerini bütünlük içerisinde gerçekleştiren bir çeşit bilgi sistemi” olan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) bu mekânsal – zamansal verinin işlenmesinde karar vericiler için önemli avantajlar sunmaktadır. Planlamada CBS yeteneklerinin kullanımı, planlamanın; ölçeği, sektörü (arazi kullanımı, ulaşım, konut, arazi geliştirme ve çevre vb.) ve planlamada bulunan alt sürece göre çeşitlenmektedir.



Şekil 2. Planlama Destek Sistemi (PDS) (Batty, 1995).

Mekânsal analizin en önemli özelliği CBS'de var olan verilerden yararlanarak yeni veriler üretmektir. Mekânsal analizler tek bir katman kullanılarak yapılabileceği gibi iki ya da daha çok katman kullanılarak da elde edilebilir. PDS de yer alan CBS kapsamında gerçekleştirilebilecek analiz olanakları Tek katmanla yapılanlar ve çoklu katmanlarla yapılanlar olarak iki grupta incelenebilir. Tek bir katman kullanılarak yapılan analizler; Sınır kaldırma, Yakınlık analizleri, Ara değer kestirimi (interpolation) iken iki ya da daha çoklu katman kullanılarak yapılan temel mekânsal analizler arasında en yaygınları, ekleme, ayırma, kesişim, birleşimdir.

Yukarıda listelenen plancının kullandığı araçlar arasında yer alan halk katılımı planlama faaliyetlerinde bir yöntem veya bir amaç olarak tanımlanabilir. Günümüzde, halkın / paydaşların mekânsal karar gerektiren süreçlere dâhil edilme yollarının geliştirilmesi kentsel araştırmacıların zorlu araştırma alanlarından biri haline gelmiştir. Ancak pratikte, katılımın 'güçlendirilmesi' için önemli engeller vardır, katılımcı CBS sunduğu yeni bilgilerle, halkın ihtiyaçlarının aktarımını kolaylaştırarak ve bu amaçlarla bilgisayar ve ağ tabanlı teknolojilerini kullanarak kamuoyunun güçlendirilmesini amaçlanmaktadır (Kamaci & Kemeç, 2015). Katılımcı CBS üzerine yapılan çalışmalar göstermektedir ki, çevrimiçi kamu katılımı teknolojisi karar alma ve politika desteğini genişletmektedir. Son olarak sadece bilginin görselleştirilmesi bile mücadele edilen karmaşık süreçlerin çözümüne değer katabilmekte ve katılımı kolaylaştırabilmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmada, WOS veri tabanı ağırlıklı olmak üzere çeşitli veri tabanlarından alınan konuyla ilişkili yayın bilgileri (yazar, yayın yılı, dergi adı, dergi kategorisi, anahtar sözcükler, başlıklar vb.) ve

SciMAT (A New Science Mapping Analyses Software Tool) (Cobo ve ark., 2012) temel materyaller olarak kullanılmıştır.

SciMAT gelişmiş bir JAVA ara yüze sahip, literatür tabanlı veri madenciliği ve analizi yapabilen ücretsiz kullanıcı dostu bir yazılımdır. Farklı bilimsel yayın – atıf veri tabanlarından Research Information Systems (RIS), Comma-Separated Variables (CSV) gibi genel kabul gören formatlarda veri temini yapabilen ve bu verileri bütün genel başlıklarda (kelime, yazar, konu, yayın yılı vb.) analiz yapabilen ayrıca çapraz analizlere ve grup analizlerine de imkan veren modüllere sahiptir. Bu çalışmada, elde edilen amaç ve konuya yönelik çıkarımlarda veri gruplama ve sayısal analizlerde yardımcı olarak kullanılmıştır.

Çalışmanın yöntemi temelde 3 aşamada tasarlanmıştır; i. Kentsel yeşil alanların literatürdeki genel sistematığının tespiti, ii. Mekansal analiz yöntemlerinin WOS literatürü özelinde kentsel yeşil alan planlamasında kullanımının SciMAT ortamında gruplama analizleri ve konu başlıklarına göre incelenmesi, iii. Ülkeler, konular, dergiler ve anahtar sözcükler özelinde analiz sonuçlarının yorumlanmasıdır.

- i. Mekansal analiz yöntemleri ve kentsel planlamaya olan katkıları, uygulama tekniklerine göre kategorilendirilmiştir. Bu yöntemde, basit kümeleme analiziyle SciMAT ara yüzündeki, kelime gruplama özelliği destek olarak kullanılmıştır. Özellikle UA tekniklerinin sağladığı faydaların ortaya konmasında ilgili literatürden filtreleme teknikleriyle kelime tabanlı benzerlik analizlerinden yararlanılmıştır.
- ii. WOS veri tabanı kullanılarak, belirlenen anahtar sözcüklerle ilişkili yayınların yıl, ülke, konu ve sonuçlar itibarıyla analizlerinin SciMAT ortamında tamamlanarak grafiklenmesi aşamasıdır. Standart WOS veri tabanı online arayüzünden farklı olarak, anahtar sözcüklere dayalı analiz ve dergi gruplarının tespiti de SciMAT ara yüzünde mümkündür. Bu nedenle, analizler ilgili ara yüzde yapılmıştır.
- iii. Analiz sonuçları, ana konu temel alınarak yorumlanmış ve literatürdeki çalışmaların hangi alanlarda yetersiz olduğu, ülkelerin konuya verdikleri bilimsel önem ve dünya literatüründe çalışma konusunun yeri detaylı olarak sunulmuştur.

3. Bulgular ve Tartışma

Araştırma bulguları, neden-analiz ve sonuç ilişkisi gözetilerek detaylı olarak vurgulanması açısından genelden özele doğru ortaya konmuş ve literatürün doğru anlaşılması için özellikle, kentsel yeşil alan uygunluğunun mekansal analiz yöntemleriyle ortaya konması açısından, kullanılan teknikler, ilgili tekniklerin başarısı ve kullanılabilirliği, ihtiyaç duyduğu veriler veya standart tekniklerle olan ilişkileri özelinde değerlendirilmiştir. Bu nedenle, özellikle konunun literatürdeki yerine yönelik SciMAT ara yüzündeki verilerden, uzaktan algılamanın sağladığı faydalar ve kentsel yeşil alan planlaması konularındaki makaleler ve ülkemizdeki tezler de ayrıca incelenmiştir.

3.1. Mekânsal analiz yöntemleri ve kentsel yeşil alan planlaması

Kentsel yeşil alanların planlaması süreçlerinde coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama gibi coğrafi bilgi teknolojilerinin kullanılması, mecburi bir unsur olmuştur. Mekânsal sistemlerin analizi, çok ölçütlü (çok kriterli) coğrafi veri tabanlı yaklaşımları gerektirmektedir (Şatır, 2016). Kentsel yeşil alanların planlamasında, planlamadaki temel akış olan, analiz, sentez ve plan süreçlerinin ihtiyaç duyduğu mekânsal verilerin elde edilmesi ve doğru bir yönetsel yaklaşımla bu verilerin amaca uygun bütünleştirilmesi gerekmektedir.

Analiz aşaması; genel olarak mevcut aktif ve pasif yeşil alanların tespiti ve temel peyzaj analiz ilkeleri bağlamında, fiziki, biyolojik, sosyo-kültürel ve risk faktörleri başlıkları altında verilerin temin edilip bütünleştirilmesi ve farklı senaryolarla alternatiflerin ortaya konması süreçlerini içerir. Sentez aşaması ise; analiz sürecindeki elde edilen verilerin, temel bulgular ışığında plan hedeflerine göre sınıflandırılması ve farklı ölçeklerdeki plan kararlarına altlıkların oluşturulmasını sağlar. Plan aşamasında ise; stratejik hedeflere yönelik ideal ölçeklerdeki planlar oluşturulur ve uygulama aşamasına geçilir.

Ülkemizde yeşil alanların kişi başına düşen yeşil alan miktarının 7 m²'den aşağıya düşürülmemesi koşulu 1972 yılındaki Avrupa İmar yasasında yapılan değişiklikle birlikte getirilmiştir (Keleş, 2012). Ülkemizde yapılan bazı araştırmalar incelendiğinde, bu oran Şanlıurfa ili için 1.26 m² (Benek & Şahap, 2017), Kahramanmaraş için 1.24 m² (Doygün ve ark., 2015), Adana İli için 25 m² (Satır & Berberoğlu, 2010), olarak belirlenmiştir. Bu oranlarda bulunan bölge, yeşil alan sınıflandırması ve kullanılan yöntemler farklılıklar oluşturabilir. Ülkemizdeki ilgili kanun ve yönetmelikler gereği yapılan imar planlarında kişi başına düşen yeşil alan miktarının 10 m² olması gerektiği belirtilmiştir (Gül ve ark., 2020). Ülkemizde genel olarak kentsel yeşil alan miktarının nüfusa oranla yeterli olmadığı, yaşam kalitesini etkileyen temel sorunlardan birisi olduğu bilimsel olarak da birçok kere ortaya konmuştur.

Mevcut durum analizlerinde genel olarak uzaktan algılama araçları ve sayısal haritalardan yararlanılmaktadır. Bu sayede, mevcut yeşil alanların büyüklükleri, konumları, çevre ile etkileşimleri, yaşam kalitesine etkisi, değişimi ve sağladığı bazı ekosistem hizmetleri çeşitli indisler veya doğrudan hesaplamalarla elde edilebilmektedir (Bilgili ve ark., 2014; Yeler, 2017). Genel olarak imar planlarında yasal kriterlerin dikkate alınsa bile, uygulamada yeterince dikkate alınmadığı ve yeşil alanların miktarının, yapılan nazım imar planlarıyla uyummadığı Bursa ili örneğinde tespit edilmiştir (Atanur & Mirici, 2020). Ayrıca bazı kentlerimizde mevcut yeşil alanların büyüklüklerinin de işlevsellik açısından yeterli olmadığı farklı çalışmalarla ortaya konmuştur (Yeler ve ark., 2016).

Uzaktan algılama araçları kullanılarak kentsel yeşil alan planlamasına yönelik elde edilebilecek bilgilerle ilgili; bilgi türü, materyal türü, yöntemi ve sağladığı faydalar açısından veriler 56 farklı literatürden faydalanılarak Çizelge 3'de sunulmuştur.

Çizelge 3'ten de anlaşılacağı üzere Uzaktan Algılama (UA) planlama için ihtiyaç duyulan altlık verilerin elde edilmesi sürecince, kolay, hızlı, doğru, az maliyetli ve güncel imkânlar sunmaktadır. Ancak, planlama sürecindeki senaryo tabanlı analizlerde ve mekânsal karar destek sistemlerinin kullanımı konularında CBS ortamlarından yararlanılmaktadır. Dolayısıyla, UA verilerin analiz için ihtiyaç duyulan girdilerin elde edilmesinde önemli bir bileşenken, CBS bu verilerin analizi ve planlama süreçlerine dahil edilmesinde devreye girmektedir.

Kentsel yeşil alanların planlanması konularında mekânsal karar destek sistemlerinin kullanılması konusunu 2 temel başlık altında incelemek gerekmektedir. Bunlar; raster temelli analiz yöntemleri ve vektör temelli analiz yöntemleri olarak tanımlanabilir. Bu analiz yöntemlerinin dışında, genellikle yersel ölçümlere bağımlı model tabanlı analizler de kullanılmaktadır.

Raster temelli analizler, çok ölçütlü karar destek sistemleri içerisinde, daha çok kentsel yeşil alan uygunluğunun ve yeterliliğinin belirlenmesinde (Abebe & Megento, 2017), kentsel yeşil koridorların ve kuşakların belirlenmesinde (Chang ve ark., 2012), etkin olarak kullanılır. Bu yöntemler, veri bağımsız ve veri bağımlı yöntemler olarak sınıflandırılabilir (Şatır & Berberoğlu, 2021). Buradaki veri kavramı, ideal yeşil alanın konumu ve büyüklüğüdür.

Çok Ölçütlü Mekânsal Karar Destek Sistemleri (ÇÖMEKDS) veya Çok Kriterli Mekânsal Analizler (ÇKMA) de, veri bağımlı veya olmayan sistemlerle ortak nokta, ölçütlerin belirlenmesi aşamasıdır. Bu aşamada, temel olarak kentsel yeşil alan planlamasını etkileyen, sayısal (artan veya azalabilen) faktörler belirlenir. Bu aşama çalışmanın ana hedefine göre değişiklik göstermekle birlikte çoğunlukla iki temel duruma bağlıdır. Bunlar; veriye erişim imkanları ve benzer literatür çalışmalarıdır. İhtiyaç duyulan veriler hali hazırda üretilmiş veya üretilebilecek şekilde olmalıdır. Bununla birlikte veri seti hazırlanırken benzer içerikteki çalışmalarda kullanılan ölçütlerden de yararlanılabilir.

Veri bağımsız yaklaşımlarda ikinci aşama standardizasyon aşamasıdır. Farklı kaynaklardan elde edilen veriler, parametrik (temel matematik ve istatistiğe dayalı) olarak analiz edilirken, her bir ölçütün sayısal değer aralığı aynı olmalıdır. Bu nedenle veriler farklı yöntemlerle standart hale getirilir. Bu yöntemler Boolean (uygun – uygun değil), sıralı (belirli bir değer aralığında kategorilere ayrılmış) veya bulanık (fuzzy) olarak yapılabilir. Konuyla ilgili detaylı bilgiler Şatır (2016) veya Şatır & Berberoğlu (2021)'de detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Çizelge 3. Uzaktan algılama araçlarının kentsel yeşil alan planlamasına sağladığı faydalar

Bilgi Türü	Materyal türü	Elde edilme Yöntemi	Kullanım biçimi (faydası)
Yeşil alan miktarı ve değişimi	Hava fotoğrafları, uydu verileri	Sınıflama yöntemleri, indis tabanlı yöntemler, değişim analizleri	Geçmiş ve güncel yeşil alan miktarının tespiti.
Yol ağları	Hava fotoğrafları, uydu verileri	Sayısallaştırma teknikleri, otomatik obje çıkarım teknikleri, sınıflandırma teknikleri	Erişilebilirlik analizleri, ağ tabanlı analizler.
Bina miktarı ve stoğu	Hava fotoğrafları, uydu verileri	Sayısallaştırma teknikleri, otomatik obje çıkarım teknikleri, sınıflandırma teknikleri	Yeşil alanlardan faydalanma düzeyinin tespiti, gayrimenkul değerlendirme
Topografya	Orto-foto teknikleri (İnsansız Hava Aracı vb.), radar verileri, steryo uydu verileri.	Nokta bulutu oluşturma, hazır işlenmiş veri temini.	Eğim, bakı, yükseklik ve arazi formu verilerinin elde edilmesi.
İklim verileri	Termal görüntü algılayıcıları, meteoroloji ve atmosferik araştırma uyduları	Termal veri işleme teknikleri, radyasyon transfer modelleri, işlenmiş veri temini.	Yüzey sıcaklık verileri, yağış miktarı, buharlaşma miktarı, nem oranı.
Toprak verileri	Hiperspektral uydu verileri ve hava fotoğrafları, geniş bantlı uydu verileri, radar verileri (C ve X bant özellikli)	Hedef tabanlı sınıflama teknikleri, hedef tabanlı indisler, radar interpolasyon ve işleme teknikleri.	Toprak nemi, toprak tuzluluğu, toprak organik karbonu, topraktaki bazı besin elementleri, genel toprak tekstürü, taşlılık durumu.
Vejetasyon verileri	Kızıl ötesi uydu verileri ve hava fotoğrafları	Vejetasyon indisleri, geleneksel veya obje tabanlı sınıflama teknikleri	Yeşil örtünün belirlenmesi, bitki türünün belirlenmesi, değişim analizleri.
Sosyal verileri	Ekosisteme yönelik antropojenik etkiler	Antropojenik etki indeksleri, Çevresel etki analizleri, peyzaj metrikleri.	Doğal yapılar üzerindeki baskılar, zamansal baskı değişimleri.

Üçüncü ve son aşama ise ağırlıklandırma aşamasıdır. Veri bağımsız yöntemlerde genellikle uzman görüşüne bağlı ağırlıklandırma tercih edilir. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) bu noktada ikili olarak her bir faktörü birbirlerine göre karşılaştırıp genel olarak ağırlıkların (önceliklerin) belirlenmesinde kullanışlı bir yaklaşımdır ve uzmanlardan kaynaklı sübjektiviteyi bir miktar düşürür (Saaty, 2008). Ağırlıklandırma aşaması literatüre dayalı olarak yapılabilir. Ancak, her bölgenin kendine özel dinamikleri olabileceği için, öncelikleri de farklılıklar gösterebilir. Bu nedenle, literatüre dayalı ağırlıklandırma daha az tercih edilmektedir.

Veri bağımlı teknikler ise analiz için ideal veriye ve bazı yaklaşımlarda ise ideal olmayan veriye de ihtiyaç duyarlar. Bunlardan en bilinen parametrik tekniklerden birisi “Weight of Evidence (WOE)”

veya “Göstergelerin Ağırlıklandırılması (GA)” yöntemidir (Dickson ve ark., 2006; Zheng & Lv, 2016). Bu tekniği kentsel yeşil alan için uygun alanların belirlenmesi temelinde ele alırsak, mevcut yeşil alanların konumsal bilgileri ve yeşil alan uygunluğunu etkileyen faktörlerle bu konumların ilişkisi temelinde benzer alanların uygun olduğu kabulüne bağlıdır. Yöntemde, standardizasyon veya ağırlıklandırmaya gerek yoktur. Yeşil alanların bulunduğu yerlerin özelliklerine göre, her bir ölçüt otomatik ağırlıklandırılır. Yöntemin temel eksikliği, her bir ölçütü kategorik olarak değerlendirmesidir. Örneğin; yükseklik verisi 5 farklı kategoriye ayrılır. Yeşil alanların kategoriler arasındaki frekans dağılımına göre, yüksekliğin önceliği belirlenir. Eğer bu dağılım kategoriler arasında homojen (eşit veya eşite yakın) ise önemsiz olarak değerlendirilir. Çünkü yüksekliğin yeşil alanların dağılımına belirgin bir etkisinin olmadığı tespit edilir. Eğer dağılım heterojen ise; yüksekliğin önemli olduğu ve yeşil alanların dağılımını etkilediği belirlenir.

Veri bağımlı yaklaşımlara en iyi örneklerden birisi de parametrik olmayan (mantıksal bağıntılar, doğrusal olmayan analizler içeren) makine öğrenme teknikleridir. Bu tekniklerin çoğunda ideal verinin yanı sıra ideal olmayan veriyi de tanımlamak gerekir. Örneğin; Yeşil alanlar için ideal bölgelerin ve kesinlikle yeşil alan olamayacak bölgelerin tanımlanması gibi. Mekansal karar verme konularında bu tekniklerden en bilinenleri; Destek Vektör Makinaları (DVM) (Bui ve ark., 2016), Karar ağacı (KA) (Hong ve ark., 2015) ve Yapay Sınır Ağları (YSA) (Satır ve ark., 2016) olarak gösterilebilir. Bu teknikleri diğerlerinden ayıran en önemli avantajları;

- Veri bağımlı oldukları için uzman görüşüne ihtiyaç duymazlar.
- Eğitim aşaması ve karar verme aşaması ayrı olduğu için, bir bölgede eğitildikten sonra farklı bölgelere de uygulanabilirler. Örneğin: Van Bölgesi’ndeki bir toprak kayması riski haritalandığında, aynı eğitim verisiyle sadece girdileri konumsal olarak değiştirerek İzmir Bölgesi’ndeki riski de haritalamak mümkündür.
- Az sayıda eğitim verisiyle de çalışabilir ve yüksek doğruluklar elde edilebilir.
- Standardizasyon ve ağırlıklandırma için ayrıca işlem yapılmasına gerek yoktur. Sistem otomatik olarak ağırlıkları, girilen eğitim verisine (ideal ve ideal olmayan) bağlı olarak oluşturur.
- Döngüsel bir işlem tabanlı sisteme sahip olduğu için, her döngüde kendini doğrulayarak en ideal eğitim verisini otomatik oluşturur.

Makine öğrenme tekniklerinin avantajlarının yanı sıra bazı zorlukları da vardır:

- Programlama bilgisi ve ayrıca uzmanlık gerektirir.
- Eğitim veri setinin ve girdilerin doğru olması, güvenilirliği doğrudan etkiler.
- Yeterli eğitim verisi olması halinde ve girdi verileri normal dağılıma uyuyorsa parametrik teknikler daha doğru sonuç üretebilir.
- İşlem süresi uzun olabilir.

Bu tekniklere ek olarak makine öğrenme tekniklerinden Derin Öğrenme (DÖ) algoritmaları da son yıllarda yapay zekâyla bütünleştirilerek kullanılmaktadır (Naderpour ve ark., 2021). Bu noktada, uzman sistemlere dayalı yapay zekâ araçları hızla gelişmektedir. Bunların temel işlevi; verilen verileri yorumlayarak en ideal çözümün bulunmasına dayanır. Örneğin; anlık trafik bilgileriyle en kısa süreli rota tahmini gibi. Yeşil alan planlamasına uyarken; istenilen yeşil alan kriterlerine göre en ideal bölgelerin otomatik tespiti yapılabilir. Literatürde henüz doğrudan yeşil alan planlamasına uyarlanmış bir DÖ ve uzman sistemlerin birlikte kullanıldığı yaklaşıma rastlanmamıştır. Bu konuda kullanılacak bir başka makine öğrenme tekniği de Maksimum Entropi (MaxEnt) yaklaşımıdır. Diğer makine öğrenme tekniklerinden farklı olarak sadece ideal veri veya bir şeyin var olma durumu verisi yeterlidir. Bu yöntem genel olarak habitat dağılım tespitlerinde kullanılmaktadır (Pourghasemi & Rossi, 2019; Şen ve ark., 2022). Ancak bu yaklaşımın mekânsal uygunluk ve risk analizlerinde de kullanılması mümkündür.

Vektör temelli analizler, genel olarak ağ tabanlı mekânsal analizlerdir. Çoğunlukla mekânsal erişim temel alınarak analizler yapılır. Bu doğrultuda, erişim imkânı sağlayan ağlar (yollar) mekânsal planlamada en önemli girdiyi oluşturur. İkinci en önemli girdi ise hedef kitledir. Mekânsal erişilebilirlik analizlerinde hedef kitle, amaca göre farklılık gösterebilir. Örneğin; ilkokullara erişim imkânını amaç olarak belirleyen bir çalışmada, ilkokul çağındaki çocuk grupları hedef kitledir. Bununla beraber, çoğu analizde mesken yoğunluğu dikkate alınır ve kentsel planlamada kent sakinlerinin genelinin erişim kabiliyeti buna göre hesaplanabilir (Güray & Kemeç, 2016; Sayın ve ark., 2017).

Ağ analizleri, mevcut yeşil ağların birbirleriyle bağlantılarının analiz edilmesinde, en uygun habitat koridorların belirlenmesinde ve kentsel yeşil alan ihtiyacının belirlenmesinde aktif olarak

kullanılabilmektedir (Unal & Uslu, 2018). Ağ analizleri, standart kuş uçuşu mesafe analizlerine göre, çok daha doğru bir erişim hesabı sunar. Bunun temelinde, yolların düz olmaması, eğim, trafik yoğunluğu gibi stokastik (duruma göre rastlantısal olarak değişebilen) etkenleri de hesaba katabilmesi gösterilebilir. Ertuğay ve ark., (2007)' de yaptıkları bir çalışmada, bisikletle bir bölgedeki erişimin eğime olan duyarlılığını tespit etmişlerdir. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar, ağ analizlerine eklenebilir ve erişim imkânlarının hesaplanmasındaki doğruluğu arttırabilir.

Erişilebilirlik analizleri değerlendirildiğinde genel olarak kullanılan imkanlar dahilinde ortalama erişim hızı en önemli girdilerden birisidir. Genel kabuller ve birçok çalışma incelendiğinde bu erişim hızlarını Çizelge 4'deki gibi tanımlamak mümkündür.

Çizelge 4. Kullanılan imkânlarla göre erişim hızı ve mesafe değerlendirmesi

İmkân/Araç	Ortalama erişim hızı*	5dk. Sonra alınan mesafe	10dk. Sonra alınan mesafe	15dk. Sonra alınan mesafe
İnsan	4 – 5 km/h	~300 – 400m	~600 – 800m	~1150 – 1600m
Bisiklet	23 – 25 km/h	~1900 – 2000m	~3800 – 4000m	~5500 – 6000m
**Kişisel Araç (şehir içi yoğun trafik)	10 – 20 km/h	~800 – 1600m	~1600 – 3200m	~2400 – 4800m
**Kişisel Araç (şehir içi normal trafik)	30 – 40 km/h	~2500 – 3300m	~5000 – 6600m	~7500 – 9900m
**Kişisel Araç (şehirlerarası)	80 – 100 km/h	~6600 – 8300m	~13200 – 16600m	~19800 – 24900m

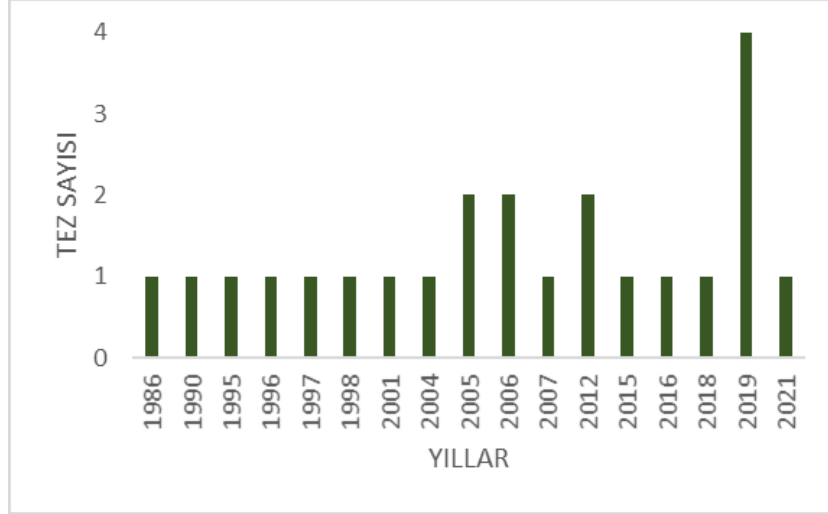
* Düz bir alandaki ortalama hız dikkate alınmıştır.

** İstanbul anlık trafik yoğunluk bilgi sistemi temel alınmıştır.

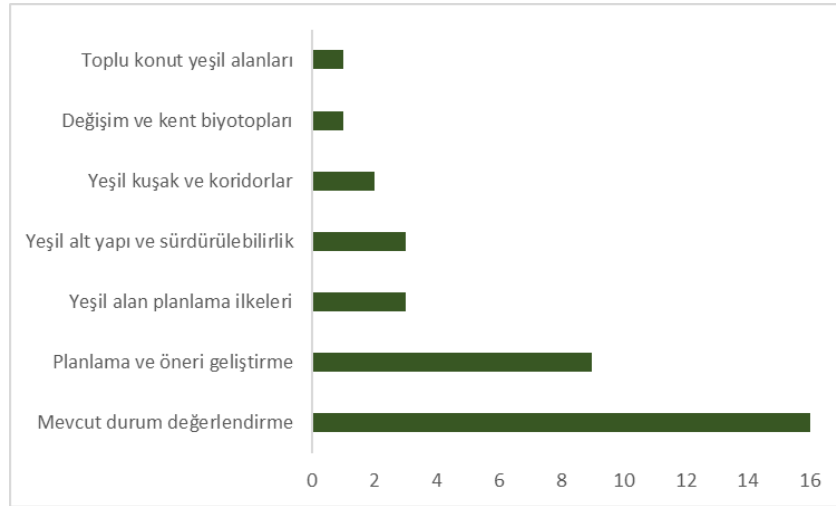
Model tabanlı analizler, genellikle kentsel yeşil alanların sağladığı peyzaj hizmetlerine (ekosistem hizmetlerine) odaklanmaktadır. Kentsel alanlardaki ısı adası etkisi, karbon tutumu, bitki büyüme hızı (net birincil üretim), toprağın fiziki ve kimyasal yapısına katkılar, sel ve afet önleme potansiyeli vb. birçok çalışma model tabanlı analizlerle mümkündür. Hepcan & Hepcan, (2021) yaptıkları çalışmada, kent içerisinde bulunan bir mezarlık alanındaki 4 farklı düzenleyici ekosistem hizmetini sayısal olarak ortaya koymuşlardır. Bu kapsamda; karbon tutulması ve depolanması, yüzey akışının önlenmesi, hava kirleticilerinin tutulması ve oksijen üretimini modellemişlerdir. Bu veriler ışığında, özellikle ağaçlar bazında daha yüksek ekosistem hizmeti sunulabilmesi için gerekli olan önerileri ortaya koyabilmişlerdir. Modellerin uygulanmasında I-Tree Eco gibi kullanıcı dostu hazır modüler yapıların yanı sıra, doğrudan ara hedeflere yönelik indikatörleri modelleyen, açık kaynaklı yazılımlar da mevcuttur. Kentsel planlamada farklı amaç ve süreçlerin modellenebileceği açık kaynaklı yazılımlar ile ilgili en detaylı bilgiye Yap ve ark., (2022) kaynağından ulaşmak mümkündür. Bu kaynağa genel olarak bakıldığında JAVA alt yapısında hazırlanan modüler modellerin kullanım kolaylığı açısından daha yaygın olduğu görülmektedir. Ayrıca son yıllarda, veri modifikasyonuna ve model girdileriyle oynanmasına izin veren, dolayısıyla senaryoların uygulanmasına ve yeni modeller de geliştirilmesine olanak sağlayan, Phyton ve R tabanlı programlama dilleri de kullanılabilmektedir.

3.2. Kentsel yeşil alan planlaması ve coğrafi bilgi teknolojilerinin literatürdeki yeri

Ülkemizde yapılan yeşil alan planlaması içerikli veya konulu tezlerin YÖK tez merkezi verilerine göre 1986 yılında başladığı görülmektedir (YÖK TM, 2022). Bu çalışmanın derlendiği tarih olan Haziran 2022 yılına kadarki geçen süreçte 26 adet konuyla ilişkili çalışma tespit edilmiştir. Bu çalışmaların yıllara göre dağılımı (Şekil 3) ve içerdiği konulara göre 7 farklı kategorideki dağılımları ise Şekil 4'de detaylı olarak verilmiştir. Bu kapsamda, özellikle ülkemizde 2015 yılına kadarki süreçte tez çalışmalarının daha seyrek olduğu, sonraki süreçte ise daha sık çalışmalara rastlandığı görülmektedir. Belirlenen 7 farklı kategorideki tez çalışmalarına bakıldığında ise; yeşil alanların mevcut durumunun değerlendirilmesi üzerine yapılan çalışmalar ilk sırayı alırken, planlama ve öneri geliştirme konusunda yapılan çalışmalar ikinci sıradadır.



Şekil 3. Yeşil alan planlaması ile ilişkili yapılan tez çalışmalarının yıllara göre dağılımı.



Şekil 4. Yapılan tezlerin belirlenen konulara göre dağılımı (bir tez çalışılan konuya göre birden fazla alt başlıkta işlenmiştir).

Uluslararası yayınlara bakıldığında, ülkemiz yeşil alan planlaması ve coğrafi bilgi teknolojilerinin bütünleştirilmesi konusunda Web Of Science (WOS)' ta taranan dergilerde yapılan makale sıralamasında 2010 yılından sonraki çalışmalar temel alındığında dünyada 5. sıradadır (WOS, 2022). Ancak, ilgili konuda yapılan çalışma sayılarından ziyade, ülke nüfusuna oranlanması sonucunda, bilimsel farkındalığın yorumlanması daha doğru olacaktır. Nüfusa oranla standardize edilmiş değerlere bakıldığında, Türkiye 10. sırada yer almaktadır. Konumsal yeşil alan planlaması konusuna en çok önem veren ülkeler sırasıyla Finlandiya, İsveç, Portekiz, Avusturya ve Avustralya'dır. Çalışma sayılarının ülke nüfuslarına göre standardize edilmiş değerleri Çizelge 5'de sunulmuştur.

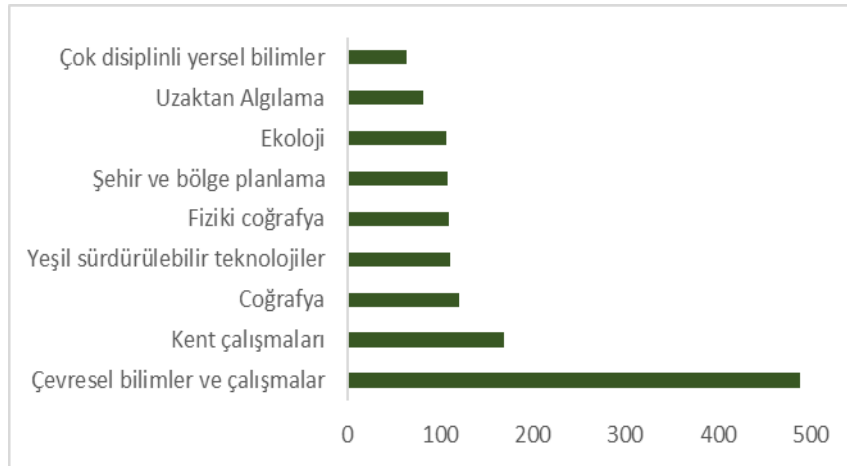
Uluslararası yapılan çalışmalar WOS'ta taranan konular itibarıyla değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, en fazla odaklanılan 10 konu başlığı değerlendirildiğinde, çevresel bilimler ve çalışmalar açık ara en fazla odaklanılan konu olurken, kent çalışmaları, coğrafya, sürdürülebilir teknolojiler ve ekoloji gibi konular ön sıralarda yer almaktadır. Bununla beraber en az çalışılan ve ihtiyaç duyulan konularda tespit edilmiştir. Genel olarak, otonom karar destek sistemleri, ulaşım ve erişim temelli yeşil alan çalışmaları, kentsel yeşil alan planlamasında toprak bilimi, biyoloji, rehabilitasyon, ornitoloji, agronomi ve kent tarımı – biyolojik etkileri gibi konuların çok sınırlı düzeyde çalışıldığı ve kentsel ölçeklerde daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğu belirlenmiştir (Şekil 5).

Çizelge 5. Yeşil alan planlaması ve CBS konulu 2010 yılı itibariyle en fazla çalışma yapan 20 ülkenin, nüfusa oranla bilimsel katkı endeksi

Ülkeler	Çalışma sayısı	Ülke nüfusu milyon*	Standardize değer**
Finlandiya	22	6	1
İsveç	19	10	0.52
Portekiz	18	10	0.51
Avusturya	17	9	0.49
Avustralya	39	26	0.41
Hollanda	24	18	0.36
Belçika	16	12	0.36
İtalya	74	59	0.34
Almanya	50	83	0.17
Türkiye	48	85	0.16
Birleşik Krallık	35	67	0.15
Güney Kore	31	52	0.15
İspanya	27	47	0.15
Malezya	21	33	0.14
Polonya	21	38	0.14
İran	31	85	0.1
Çin	157	1439	0.09
Endonezya	20	272	0.02
ABD	132	332	0.01
Hindistan	36	1374	0.00005

* Ülke nüfusu verileri yuvarlama yapılarak işlenmiştir.

** Minimum-maksimum normalizasyonu temel alınmıştır.



Şekil 5. WOS veri tabanında kentsel yeşil alan planlaması ve CBS konulu makalelerin ilgili alanlara dağılımı (İlk 10 sıra temel alınmıştır).

Kentsel yeşil alan planlaması ve mekânsal analizler konulu makalelerin en çok yayımlandığı ilk 9 WOS dergileri de bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Böylece, ilgili konulardaki araştırmacıların, dergi kategorileri, 2010 yılı itibariyle konuyla ilgili yayın sayıları ve dergilerin ortalama değerlendirme süreleriyle ilgili bilgileri tek bir platformdan edinmeleri sağlanmıştır. Bu kapsamda en çok konuyla ilgili yayının “Landscape and Urban Planning” dergisinde bulunduğu ve bunu sırasıyla “Sustainability” ve “Urban Forestry and Urban Greening” dergilerinin izlediği tespit edilmiştir. İlk 9’ a giren dergilerin

yarısından fazlasının Q1 kategorinde dergiler olması, ilgili konuların dünya literatüründe güncel ve önemli olduğunu göstermektedir (Çizelge 6).

Çizelge 6. Kentsel yeşil alan planlaması ve CBS konularında en çok yayın yapılan WOS dergileri

Dergiler	WOS Kategorisi	Yayın sayısı	Ortalama Değerlendirme Süresi
Landscape and Urban Plan. Sustainability	Q1	65	8 hafta
Urban Forestry and Urban Greening	Q2	51	3 hafta
Int.J. of Env.Research and Public Health	Q1	36	7 hafta
Land Use Policy	Q1	19	3 hafta
ISPRS Int.J. Of Geoinf.	Q1	15	18 hafta
Ecological Indicators	Q2	13	4 hafta
Science of Total Env.	Q2	12	7 hafta
Fresenius Env. Bul.	Q1	12	4 hafta
	Q4	11	Veri yok

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, kentsel yeşil alanların genel yapısı, planlamada kullanılan mekânsal analiz yöntemleri, dünya literatüründeki yeri ve günümüzdeki önemi ve gelecekteki potansiyel eğilimler irdelenmiştir. Araştırmada, farklı veri tabanlarından alınan bilgiler orijinal çıkarımlarla özet olarak ilgili kullanıcılara sunulmuş ve kentsel yeşil alanların planlanması süreçlerinde, mekânsal analizlerin bulunduğu noktanın daha iyi anlaşılması hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında, aşağıda belirtilen temel sonuçlara ulaşılmıştır:

- Kentsel yeşil alanları genel olarak sağladığı faydalar dikkate alındığında, i. Kullanım ve hizmet, ii. Katma değer özellikleri ve iii. Çevre koruma hizmetleri olarak kategorilendirmek mümkündür.
- Ülkeden ülkeye farklılık göstermekle birlikte, yeşil alanlar ölçeklerine göre sınıflandırılırken, büyüklüklerine göre benzer sınıflama eşikleri kullanılmaktadır.
- Coğrafi Bilgi Teknolojileri günümüzde kentsel yeşil alan planlamasında kullanılan en önemli veri ve analiz araçlarını temin etmektedir. Bu kapsamda, uzaktan algılama bilimi, daha çok altlık verilerin temini aşamasında önemli katkılar sunarken, CBS araçları, analiz ve plan süreçlerinde daha etkin olarak devreye girmektedir.
- Günümüzde kentsel yeşil alan planlamasında Derin Öğrenme, Destek Vektör Makineleri, Karar Ağacı gibi makine öğrenme teknikleri potansiyeli olmasına rağmen henüz çok yaygın kullanılmamaktadır. Ayrıca yapay zekaya dayalı uzman sistemlerin analiz ve planlama süreçlerine dahil edilmesi konusunda neredeyse hiçbir çalışmaya rastlanmamıştır.
- Ağ tabanlı analizlerin de planlama süreçlerine dahil edilmesi, özellikle yeşil alanların sağladığı faydaların etkin ve doğru şekilde ortaya konması açısından önemlidir.
- Model tabanlı analiz yöntemleri, kentsel yeşil alanların peyzaj hizmetleri açısından sayısal olarak değerlendirilmesinde ve geleceğe yönelik tahminlerin küçük ölçekler de dahi belirlenebilmesinde önemli katkılar sağlayabilir.
- Ülkemiz yeşil alan planlamasında mekânsal analiz yöntemlerinin kullanımı konusunda bilimsel etki indeksi hesaplamasına göre (yayın sayısının nüfusa oranına göre) ilk 10 sıradadır. Ancak, buna rağmen, ülke genelinde kentlerimizdeki aktif yeşil alan miktarları, ülkemizdeki kanun ve yönetmeliklerin önerdiği oran olan 10 m² / kişi' den düşüktür.
- 2010 yılından günümüze kadarki süreçte yapılan çalışmalar bakıldığında, kentsel yeşil alan planlaması ve CBS konularında ileri düzeyde nitelikli çalışmalar ön plana çıkmaktadır. Bu durum, bilimsel alt yapının yeterli olduğunu ve yapılan planlamalarda bilimsel yaklaşımlara dayalı analizlerin zorunlu olması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Kaynakça

- Abebe, M. T., & Megento, T. L. (2017). Urban green space development using GIS-based multi-criteria analysis in Addis Ababa metropolis. *Applied Geomatics*, 9(4), 247-261. doi:10.1007/s12518-017-0198-7
- Atanur, G., & Mirici, M. E. (2020). Yeşil Altyapı Kavramı Çerçevesinde Bursa Merkez Planlama Bölgesi Yeşil Alan Sisteminin Belirlenmesi. *Peyzaj Araştırmaları ve Uygulamaları Dergisi*, 2(1), 11-18.
- Batty, M. (1995). Planning support systems and the new logic of computation. *Regional Development Dialogue*, 16(1), 1-17.
- Baycan, T., van Leeuwen, E. S., Rodenburg, C. A., & Nijkamp, P. (2003). Development and Management of Green Spaces in European Cities: A Comparative Analysis. In E. Beriatos, & J. Colman (Eds.), *The Pulsar Effect in Urban Planning* (pp. 237-247). Thessaly, Greece: Isocarp press.
- Baycan, T., & Nijkamp, P. (2004). Evaluation of Urban Green Spaces. In D. Miller and D. Patassini (2004) *Accounting for Non-Market Values in Planning Evaluation: Alternative Methodologies and International Practices*, Aldershot, UK: Ashgate press.
- Bell, M.L., Morgenstern, R.D., & Harrington, W. (2011). Quantifying the human health benefits of air pollution policies: review of recent studies and new directions in accountability research. *Environmental Science & Policy*, 14(4), 357-368. doi:10.1016/j.envsci.2011.02.006
- Benek, S., & Şahap, A. (2017). Şanlıurfa şehrinde coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama (UA) kullanılarak yeşil alanların yeterliliğinin belirlenmesi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (36), 304-314.
- Berberoglu, S., Donmez, C., & Cilek, A. (2021). Modelling climate change impacts on regional net primary productivity in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(5), 1-15. doi:10.1007/s10661-021-09031-z
- Bilgili, B. C., Satir, O., Muftuoglu, V., & Ozyavuz, M. (2014). A simplified method for the determination and monitoring of green areas in urban parks using multispectral vegetation indices. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 15(3), 1059-1065.
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape Urban Planning*, 97, 147-155. doi:10.1016/j.landurbplan.2010.05.006
- Brail, R. K., & Klosterman, R. E. (2001) *Planning Support Systems*, California USA: ESRI Press.
- Bui, D.T., Le, K.Th., Nguyen, V.C., Le H.D., Revhaug, I. (2016) Tropical forest fire susceptibility mapping at the Cat Ba National Park area, Hai Phong City, Vietnam, using GIS-based kernel logistic regression. *Remote Sensing*, 8(4), 347. doi:10.3390/rs8040347
- Bulut, S., Satir, O., & Gunlu, A. (2019). Determining the interactions of black pine net primary productivity and forest stand parameters in northern Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2), 4459 - 4473. doi:10.15666/aeer/1702_44594473
- CABE. (2006). Commission for architecture and built environment (CABE) report on Green space strategies: A good practice guide. London, UK: Spellman Walker.
- Campbell, K. (2001). Rethinking open space, open space provision and management: A way forward, *Report presented by Scottish executive central research unit*. Edinburgh, Scotland.
- Ceuclelis, H. (1982). Planning and System Approach: Exploring Some Myths, Creating Reality, Human and Energy Factors, In Laconte, P., Gibson, J.E. & A. Rapoport (Eds.), *Urban Planning: A System Approach*, (pp.65-78). Newyork, US: Springer.
- Chang, Q., Li, X., Huang, X., & Wu, J. (2012). A GIS-based green infrastructure planning for sustainable urban land use and spatial development. *Procedia Environmental Sciences*, 12, 491-498. doi:10.1016/j.proenv.2012.01.308
- Choi D. A, Park, K., & Rigolon, A. (2020). From XS to XL urban nature: Examining access to different types of green space using a 'just sustainabilities' framework. *Sustainability*, 12(17), 6998. doi:10.3390/su12176998
- Cobo, M. J., López-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., & Herrera, F. (2012). SciMAT: A new Science mapping analysis software tool. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 63(8), 1609-1630. doi:10.1002/asi.22688

- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260. doi:10.1038/387253a0
- COT. (2013). City of Toronto. <https://www.toronto.ca/data/parks/prd/facilities/parks/index.html>. Erişim tarihi: 10.06.2022.
- Çilek, A. (2021). Düzenleyici ekosistem hizmetlerinde toprak erozyonunun haritalanması: Göksu Havzası örneği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 36(2), 409-419. doi:10.21605/cukurovaumfd.982792
- Çubukçu, K. M. (2008). *Planlamada Klasik Sayısal Yöntemler*. Ankara, Türkiye: ODTÜ Yayıncılık.
- Davidoff, P., & Reiner, T. A. (1962). A choice theory of planning. *Journal of American Institute of Planners*, 28, 103-115. doi:10.1080/01944366208979427
- Davies, Z. G., Edmondson, J. L., Heinemeyer, A., Leake, J. R., & Gaston, K. J. (2011). Mapping an urban ecosystem service: Quantifying above-ground carbon storage at a city-wide scale. *Journal of Applied Ecology*, 48(5), 1125-1134. doi:10.1111/j.1365-2664.2011.02021.x
- Dean, J., van Dooren, K., & Weinstein, P. (2011). Does biodiversity improve mental health in urban settings?. *Medical Hypothesis*, 76(6), 877-880. doi:10.1016/j.mehy.2011.02.040
- Depietri, Y., Renaud, F. G., & Kallis, G. (2012). Heat waves and floods in urban areas: A policy-oriented review of ecosystem services. *Sustainability Science*, 7, 95-107. doi:10.1007/s11625-011-0142-4
- Dickson, B. G., Prather, J. W., Xu, Y., Hampton, H. M., Aumack, E. N., & Sisk, T. D. (2006). Mapping the probability of large fire occurrence in northern Arizona, USA. *Landscape Ecology*, 21, 747-761. doi:10.1007/s10980-005-5475-x
- Dole, J. (1989). Greenscape 5: Green cities. *Architects Journal*, 10(1989), 61-69.
- Doygun, H., Atmaca, M., & Zengin, M. (2015). Kahramanmaraş'ta kentleşme ve yeşil alan varlığındaki zamansal değişimlerin incelenmesi. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 18(4), 55-61. doi:10.18016/ksujns.32716
- Ernstson, H., Sörlin, S., & Elmqvist, T. (2008). Social movements and ecosystem services - the role of social network structure in protecting and managing urban green areas in Stockholm. *Ecology & Society*, 13(2), 39. doi:10.5751/ES-02589-130239
- Ertuğay, K., Kemeç, S., San, D. K., & Özdarıcı, A. (2007, Mayıs). *Fiziksel erişebilirlik analizlerine eğimin etkisi: ODTÜ yerleşkesi bisiklet erişebilirliği örneği*. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, KTÜ, Trabzon.
- Fuller, R. A., Irvine, K. N., Devine-Wright, P., Warren, P. H. & Gaston, K. J. (2007). Psychological benefits of greenspace increase with biodiversity. *Biology Letters*, 3, 390-394.
- GLA. (2016). Greater London Authority. <https://www.london.gov.uk/programmes-strategies/planning/london-plan/past-versions-and-alterations-london-plan/london-plan-2016/london-plan-2016-pdf>. Erişim tarihi: 20.06.2022
- Goddard, M. A., Dougill, A. J., & Benton, T. G. (2010). Scaling up from gardens: Biodiversity conservation in urban environments. *Trends in Ecology & Evolution*, 25, 90-98. doi:10.1016/j.tree.2009.07.016
- Gül, A., Dinç, G., Akın, T., & Koçak, A. İ. (2020). Kentsel açık ve yeşil alanların mevcut yasal durumu ve uygulamadaki sorunlar. *İdealkent*, 11(Kentleşme ve Ekonomi Özel Sayısı), 1281-1312.
- Güray, E., Kemeç, S. (2016, Ekim). *Van metropolitan alanında bulunan okul öncesi, ilk ve orta dereceli okulların mekânsal erişebilirlik analizi*. 6. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2016), Adana, Türkiye.
- Hart, R. A. (1997). *Children's Participation: The Theory and Practice of Involving Young Citizens in Community Development and Environmental Care* (1st ed.). London, UK: Routledge. doi:10.4324/9781315070728
- Hartig, T., Mitchell, R., de Vries, S., & Frumkin, H. (2014). Nature and health. *Annual Review of Public Health*, 35, 207-228. doi:10.1146/annurev-publhealth-032013-182443
- Haughton, G., & Hunter, C. (2003). *Sustainable Cities* (1st ed.). London, UK: Routledge. doi:10.4324/9780203645567

- Hepcan, Ş., & Hepcan, Ç. C. (2021). Assessing ecosystem services of urban green spaces: The case of Eugene Pioneer Cemetery, Eugene, OR (USA). *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 58(4), 513-522. doi:10.20289/zfdergi.900698
- Hillsdon, M., Panter, J., Foster, C., & Jones, A. (2006). The relationship between access and quality of urban green space with population physical activity. *Public Health*, 120(12), 1127-1132. doi:10.1016/j.puhe.2006.10.007
- Hong, H., Pradhan, B., Xu, C., & Tien Bui, D. (2015). Spatial prediction of landslide hazard at the Yihuang Area (China) using two-class kernel logistic regression, alternating Decision tree and support vector machines. *Catena*, 133, 266-281. doi:10.1016/j.catena.2015.05.019
- James, P., Tzoulas, K., Adams, M. D., Barber, A., Box, J., Breuste, J., Elmqvist, T., Frith, M., Gordon, C., Greening, K. L., Handley, J., Haworth, S., Kazmierczak, A. E., Johnston, M., Korpela, K., Moretti, M., Niemela, J., Pauleit, S., Roe, M. H., Sadler, J. P., & Ward Thompson, C. (2009). Towards an integrated understanding of greenspace in the European built environment. *Urban Forestry and Urban Greening* 8, 65-75. doi:10.1016/j.ufug.2009.02.001
- Jansen, F. M., Ettema, D. F., Kamphuis, C. B. M., Pierik, F. H., & Dijst, M. J. (2017). How do type and size of natural environments relate to physical activity behavior?. *Health Place*, 46, 73-81. doi:10.1016/j.healthplace.2017.05.005
- Jorgensen, A., & Gobster, P. H. (2010). Shades of green: measuring the ecology of urban green space in the context of human health and well-being. *Nature & Culture*, 5(3), 338-363. doi:10.3167/nc.2010.050307
- Kabisch, N. (2015). Ecosystem services implementation and governance challenges in urban green space planning - the case of Berlin, Germany. *Land Use Policy*, 42, 557-567. doi:10.1016/j.landusepol.2014.09.005
- Kamacı, E., & Kemec, S. (2015, September). *Improved and extended public participation by city information systems: A quasi-3D example of Kayseri municipality, Turkey*. Generative Places Smart Approaches Happy People, Joint Conference Citta 8th Annual Conference On Planning Research AESOP TG Public Spaces & Urban Cultures Annual Meeting, Porto, Portugal.
- Keleş, R. (2012). *Kentleşme Politikası*. Ankara: İmge Kitapevi Yayınları.
- Kwon, Y., Joo, S., Han, S., & Park, C. (2017). Mapping the distribution pattern of gentrification near urban parks in the case of Gyeongui Line Forest Park, Seoul, Korea. *Sustainability*, 9, 231. doi:10.3390/su9020231
- Lanzas, M., Hermoso, V., de-Miguel, S., Bota, G., & Brotons, L. (2019). Designing a network of green infrastructure to enhance the conservation value of protected areas and maintain ecosystem services. *Science of the Total Environment*, 651, 541-550. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.09.164
- Mell, C. (2009). Can green infrastructure promote urban sustainability? *Engineering Sustainability*, 162, 23-34. doi:10.1680/ensu.2009.162.1.23
- Mertes, J. D., Hall, J. R. & Park, R. (1995). Open space and greenway guidelines, National Recreation and Park Association (NRPA), Arlington, VA, USA.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington, DC, USA: Island Press.
- Milvoy, A., & Roué-Le Gall, A. (2015). Aménager des espaces de jeux favorables à la santé. *La Santé en action*, 444, 38-39.
- Naderpour, M., Hossein, M. R., & Fahimeh, R. (2021). Forest fire risk prediction: A spatial deep neural network-based framework. *Remote Sensing*, 13(13) 2513. doi:10.3390/rs13132513
- Nielsen, A. B., Van den Bosch, M., Maruthaveeran, S., & Konijnendijk Van den Bosch, C. (2014). Species richness in urban parks and its drivers: A review of empirical evidence. *Urban Ecosystems*, 17, 305-327. doi:10.1007/s11252-013-0316-1
- Niemelä, J., Saarela, S.-R., Tarja Söderman, T., Kopperoinen, L., Yli-Pelkonen, V., Väre, S., & Kotze, D. J. (2010). Using the ecosystem services approach for better planning and conservation of urban green spaces: A Finland case study. *Biodiversity and Conservation*, 19, 3225-3243. doi:10.1007/s10531-010-9888-8
- Oliver, A. J., Hong-Wa, C., Devonshire, J., Olea, K. R., Rivas, G. F., & Gahl, M. K. (2011). Avifauna richness enhanced in large, isolated urban parks. *Landscape & Urban Planning*, 102, 215-225. doi:10.1016/j.landurbplan.2011.04.007

- Pauleit, S., (2003). Perspectives on urban green space in Europe. *Built Environment*, 29, 89-93. doi:10.2148/benv.29.2.89.54470
- Pourghasemi, H. R., & Rossi, M. (2019). *Natural Hazards GIS-Based Spatial Modeling Using Data Mining Techniques*. Switzerland: Springer Cham. doi:10.1007/978-3-319-73383-8
- Priemus, H., Rodenburg, C. A., & Nijkamp, P. (2004). Multifunctional urban land use: A new phenomenon? A new planning challenge? *Built Environment*, 30, 269-273. doi:10.2148/benv.30.4.269.57153
- Rodenburg, C. A., van Leeuwen, E. S., & Nijkamp, P. (2004). Environmental Assessment Indicators for Urban Green Spaces, A comparative study on Dutch cities. In M. Fritsch (Eds.), *Markt dynamik und Innovation - Gedächtnisschrift für Hans-Jürgen Ewers (Market Dynamics and Innovation - Contributions in Memory of Hans-Jürgen Ewers)* (pp. 365-382). Berlin, Germany: Duncker & Humblot.
- Rundle, A., Quinn, J., Lovasi, G., Bader, M. D. M., Yousefzadeh, P., Weiss, C., & Neckerman, K. (2013). Associations between body mass index and park proximity, size, cleanliness, and recreational facilities. *American Journal of Health Promotion*, 27, 262-269. doi:10.4278/ajhp.110809-QUAN-304
- Saaty, T. (2008). Relative measurement and its generalization in decision making why Pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process. *Review of the Royal Spanish Academy of Sciences Series A Mathematics*, 102(2), 251-318. doi:10.1007/BF03191825
- Saebo, A., Popek, R., Hanslin, H. M., Gawronska, H., & Gawronsk, S. W. (2012). Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. *Science of Total Environment*, 427-428, 347-354. doi:10.1016/j.scitotenv.2012.03.084
- Satir, O., & Berberoğlu, S. (2010). Estimating urban green cover using fuzzy (soft) land use classification techniques and ancillary data. *ECLAS 2010 congress proceeding book*, 741- 752. doi:10.13140/2.1.4501.0241
- Satir, O., Berberoglu, S., & Donmez, C. (2016). Mapping regional forest fire probability using artificial neural network model in a Mediterranean forest ecosystem. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(5), 1645-1658. doi:10.1080/19475705.2015.1084541
- Sayın, H., Aydın, E., & Kemeç, S. (2017, Şubat). *Determination of public transportation accessibility level for Van metropolitan area*, International Symposium on GIS Applications in Geography and Geosciences, Çanakkale, Türkiye.
- Stanners, D., & Bourdeau, P. (1995). *Europe's Environment - The Dobris Assessment*, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Strohbach, M. W., Arnold, E., & Haase, D. (2012). The carbon footprint of urban greenspace - A life cycle approach. *Landscape and Urban Planning*, 104, 220-229. doi:10.1016/j.landurbplan.2011.10.013
- Sugiyama, T., Francis, J., Middleton, N. J., Owen, N., & Giles-Corti, B. (2010). Associations between recreational walking and attractiveness, size, and proximity of neighborhood open spaces. *American Journal of Public Health*, 100, 1752-1757. doi:10.2105/AJPH.2009.182006
- Şatir, O. (2016). Mapping the land-use suitability for urban sprawl using remote sensing and GIS under different scenarios. In Ergen, M. (Ed), *Sustainable Urbanization*, (pp. 205 – 226). Horwich, UK: InTech press.
- Şatır, O., & Berberoğlu, S. (2021). Geçmişten günümüze orman yangınlarının önlenmesinde kullanılan risk haritalama yaklaşımlarına metodolojik bir bakış. Kavzoğlu, T. (Ed). *Orman Yangınları; Sebepleri, Etkileri, İzlenmesi, Alınması Gereken Önlemler ve Rehabilitasyon Faaliyetleri*, (ss.137-164). Ankara, Türkiye: Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA) Yayınları.
- Şen, İ., Sarıkaya, O., & Örucü, Ö. K. (2022). Predicting the future distributions of *Calomicrus apicalis* Demaison, 1891 (Coleoptera: Chrysomelidae) under climate change. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 129(2), 325-337. doi:10.1007/s41348-022-00579-7
- Tallis, M., Taylora, G., Sinnet, D., & Freer-Smith, P., (2011). Estimating the removal of atmospheric particulate pollution by the urban tree canopy of London, undercurrent and future environments. *Landscape and Urban Planning*, 103, 129-138. doi:10.1016/j.landurbplan.2011.07.003
- Taylor, N. (1998). *Urban Planning Theory Since 1945*. London, UK: Sage Publications.

- Tratalos, J., Fuller, R. A., Warren, P. H., Davies, R. G., & Gaston, K. J. (2007). Urban form, biodiversity potential and ecosystem services. *Landscape and Urban Planning*, 83, 308-317. doi:10.1016/j.landurbplan.2007.05.003
- Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kazmierczak, A., Niemelä, J., & James, P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using green infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning*, 81, 167-178. doi:10.1016/j.landurbplan.2007.02.001
- Unal, M., & Uslu, C. (2018). Evaluating and optimizing urban green spaces for compact urban areas: Cukurova District in Adana, Turkey. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(2), 70. doi:10.3390/ijgi7020070
- White, B. (1974). *The Literature and Study of Urban and Regional Planning*. UK: Taylor & Francis.
- WHO, Regional Office for Europe. (2016). *Urban green spaces and health: A review of evidence*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe. https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/321971/Urban-green-spaces-and-health-review-evidence.pdf. Erişim tarihi: 29.03.2022.
- WOS. (2022). Clarivate Web Of Science “Green Area Planning and GIS” konulu 2010 ve sonrası makaleler veri tabanı. <https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/00fdf389-6399-4514-a24b-c16c703e5687-3f5d7c3c/relevance/1> Erişim tarihi: 21.06.2022.
- Yap, W., Janssen, P., & Biljecki, F. (2022). Free and open source urbanism: Software for urban planning practice. *Computers, Environment and Urban Systems*, 96, 101825. doi:10.1016/j.compenvurbsys.2022.101825
- Yeler, S. T. (2017). *Türkiye’de ulaşım ve HES politikalarının bazı ekosistem servisleri üzerine etkilerinin incelenmesi*. (Yüksek lisans tezi), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Van, Türkiye.
- Yeler, O., Aslantaş, P., Şatır, O., & Alp, Ş. (2016, Eylül). *Examination of Van province urban green areas with respect to landscape values*. International Conference on Natural Science and Engineering, Kilis, Türkiye.
- Young, R. F. (2010). Managing municipal green space for ecosystem services. *Urban Forestry and Urban Greening*, 9, 313-321. doi:10.1016/j.ufug.2010.06.007
- YÖK TM. (2022). Yüksek Öğretim Kurulu Başkanlığı Tez Merkezi, “Yeşil Alan Planlama” ilişkili tezler veri tabanı. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp> Erişim tarihi: 20.06.2022.
- Zhang, B., Xie, G., Zhang, C., & Zhang, J. (2012). The economic benefits of rain water-runoff reduction by urban green spaces: A case study in Beijing, China *Journal of Environmental Management*, 100, 65-71. doi:10.1016/j.jenvman.2012.01.015
- Zheng X., & Lv, L. (2016). A WOE method for urban growth boundary delineation and its applications to land use planning. *International Journal of Geographical Information Science*. 30(4), 691-707. doi:10.1080/13658816.2015.1091461



Research Article

**Performance and Harmonic Analysis of a Three-Phase Induction Motor
with Various Coil Pitch Configurations**

Atilla DÖNÜK*¹, Osamah AL-DORI²

¹ Aydın Adnan Menderes University, Engineering Faculty, Electrical and Electronics Department, Aydın, Turkey

² Gaziantep University, Engineering Faculty, Electrical and Electronics Department, Gaziantep, Turkey

Atilla DÖNÜK, ORCID No: 0000-0001-9468-8456, Osamah AL-DORI, ORCID No: 0000-0002-3295-4218

*Corresponding author e-mail: adonuk@adu.edu.tr

Article Info

Received: 18.04.2022

Accepted: 07.09.2022

Online April 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1105237

Keywords

Coil pitch,
Finite element analysis,
Harmonics,
Induction motor,
Stator winding

Abstract: In this work, analyses of the effect of full-, under-, and over-pitched stator winding configurations on the efficiency, output power, torque characteristics, and current and voltage harmonic components are carried out on a three-phase, squirrel cage induction motor. Performance analyses have been performed both via Ansys/RMxprt and Maxwell/2D software by modelling the stator winding with coil pitches of 100°, 120°, 140°, 160°, 180°, 200°, 220°, 240°, and 260°. Current and voltage harmonics analyses have been performed in Matlab using the data obtained from Maxwell/2D simulations. Maxwell/2D results showed that the maximum efficiency is attained at 200° over-pitched configuration, which is 0.73% higher than the efficiency when the motor is full-pitched. The maximum output power and torque are attained at 240° over-pitched configuration, which is 7.96% and 7.45% more than the power and torque obtained when the motor is full-pitched, respectively. Harmonic analysis results showed that both under-pitched and over-pitched coils can be used to eliminate harmonics in the current and voltage waveforms. However, over-pitched coils performed better in eliminating the phase current harmonics. The minimum total harmonic distortion (THD) of the phase current and induced voltage are reached at 260° over-pitched and 120° under-pitched configurations, which is 52.39% and 74.36% lower than the THD when the motor is full-pitched, respectively. Over-pitched coils provide slightly higher efficiency, output power, and torque than the under-pitched coils. There is no unique coil pitch configuration to eliminate all harmonic components. Therefore, in order to eliminate a specific harmonic component, a specific coil-pitch must be applied.

**Üç Fazlı Bir Asenkron Motorun Çeşitli Bobin Adım Biçimi ile
Performans ve Harmonik Analizi**

Makale Bilgileri

Geliş: 18.04.2022

Kabul: 07.09.2022

Online Nisan 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1105237

Anahtar Kelimeler

Asenkron motor,
Harmonik,
Sargı adımı,

Öz: Bu çalışmada üç-fazlı sincap kafesli bir asenkron motorun akım ve gerilim harmonikleri ile verim, çıkış gücü ve tork karakteristikleri sinüzoidal uyarım altında stator sargısında tam ve kesirli farklı sargı adımları kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiştir. Stator sargısı, Ansys/RMxprt ve Maxwell/2D yazılımı kullanılarak 100°, 120°, 140°, 160°, 180°, 200°, 220°, 240° ve 260° sargı adımları ile modellenmiş ve performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Akım ve gerilim harmonik analizleri Maxwell/2D benzetim verilerinin Matlab ortamında işlenmesi ile elde edilmiştir. Maxwell/2D sonuçları maksimum verimin 200° yüksek adımlı konfigürasyonun tam sargı adımına göre %0.73 daha yüksek olduğunu göstermiştir. Maksimum çıkış gücü ve tork değerleri 240° yüksek adımlı konfigürasyon için tam sargı adımına göre sırasıyla

Sonlu elemanlar yöntemi,
Stator sargısı

%7.96 ve %7.45 daha yüksek gerçekleşmiştir. Sonuçlar hem düşük hem de yüksek adımlı kesirli sargıların akım ve gerilim dalga şekillerindeki harmonik eliminasyonu için kullanılabileceğini göstermiştir. Ancak, yüksek adımlı sargılar faz akımı harmoniklerini bastırmada daha iyi sonuç vermiştir. Faz akımı ve endüklenen gerilim THD değerleri, 260° yüksek adımlı ve 120° düşük adımlı konfigürasyonlar için tam sargı adımına göre sırasıyla %52.39 ve %74.6 daha düşük elde edilmiştir. Yüksek adımlı sargılar, az farkla da olsa, düşük adımlı sargılara göre daha yüksek verim, çıkış gücü ve tork sunmaktadır. Tüm harmonik bileşenleri ortadan kaldırmak için tek bir sargı adımı konfigürasyonunun olmadığı anlaşılmıştır. Bu nedenle, spesifik bir harmonik bileşeni ortadan kaldırmak için özel bir sargı adımı uygulanmalıdır.

1. Introduction

Harmonic components of the air-gap flux density in an AC machine cause the stator voltage and current to be distorted and to have a non-sinusoidal shape. Several techniques have been developed to suppress these undesired harmonic components in the output voltages and currents of a machine. One of the well-known techniques is the use of fractional-pitch windings (Chapman, 2012).

In general, a distributed double-layer winding, where the coil sides belonging to the same phase occupy more than a single slot, is used in three-phase AC machines. The coil sides are distributed along the periphery in several slots. One coil side is placed at the bottom of a slot and the other coil side is placed at the top of another slot. The stator region corresponding to a phase over π electrical angle is known as the phase-belt. A pole-pitch, which is always π electrical degrees, is defined as the electrical angle between the corresponding points of successive poles. The electrical angle between the sides of a coil is called coil-pitch. If the coil-pitch is equal to the pole-pitch, it is a full-pitched coil. If the coil-pitch is less than π electrical degrees, it is an under-pitched coil, and if the coil-pitch is higher than π electrical degrees, it is an over-pitched coil (Fitzgerald et al., 2013).

The per-phase generated voltage can be calculated by (1) (Chapman, 2012; Fitzgerald et al., 2013), where k_w is the winding factor, N_{ph} is the number of series turns per-phase, \emptyset is the flux, and f is the frequency.

$$E = \sqrt{2}\pi k_w f N_{ph} \emptyset \quad (1)$$

The winding factor (k_w), is the multiplication of the distribution factor (k_d) and the pitch (or chording) factor (k_p). Distribution and pitch factors are calculated as in (2) (Chapman, 2012; Fitzgerald et al., 2013), where n is the harmonic number, q is the number of slots per phase-belt, α is the slot angle, and λ is the coil-pitch.

$$k_d = \frac{\sin\left(qn \frac{\alpha}{2}\right)}{q \sin\left(n \frac{\alpha}{2}\right)} \quad (2)$$

$$k_p = \sin\left(\frac{n\lambda}{2}\right)$$

$$k_w = k_d k_p$$

As seen from equations (1) and (2), harmonic components in the voltage can be eliminated by proper choice of coil-pitch, in other words, by using fractional-pitched windings.

Motor harmonics reduction research has been widely adopted due to the harmful effects of harmonics. In (Karnavar & Jisha, 2020), a control technique is developed with the objective of reducing brushless DC motors current harmonics. An algorithm for minimizing the overall harmonic distortion of the air-gap MMF of single- and double-layer three-phase windings is presented in (Silva et al., 2018). The algorithm is based on choosing the optimal combination of turns per coil. In (Lu et al., 2015), harmonic compensation technique, which is based on harmonic voltage injection, has been proposed in order to achieve stable operation of permanent magnet synchronous motor without torque ripple caused

by flux/current harmonics. Using the high-precision harmonic detection approach, (Liu et al., 2018) presented a selective current harmonic suppression strategy for high-speed permanent magnet synchronous motors.

One of the widely used methods for harmonics suppression of induction motors is using fractional-pitched windings. Low-order odd harmonic voltage component and efficiency at different loads for four different pitched pulse-width modulation (PWM) inverter-fed induction motors are experimentally tested at different loads in (R. Deshmukh et al., 2006b), and the total harmonic distortion (THD) due to 3rd, 5th, and 9th harmonics is found to be less with a coil-pitch of 160° and the efficiency is increased by 7.5% with a coil-pitch of 120°. However, the results for sinusoidal voltage supply have not been reported. Design criteria for stator winding coil-pitch decision in AC inverter-fed multi-phase motors are discussed in (Tessarolo, 2008). Moreover, the effects of coil-pitch on motor dimensioning, motor overload capability, commutation transients, and harmonic reactance are investigated analytically and Finite Element Analysis (FEA) has been performed to test the harmonic inductance calculated by the proposed analytical approach. Design and testing of the stator winding configuration of three-phase induction motors with various coil pitches (180°, 160°, 140°, and 120°) under sinusoidal and PWM supplies are investigated experimentally in (R. R. R. Deshmukh, 2006). However, investigation for over-pitched windings has not been reported. A 12-pole, three-phase, squirrel cage induction motor is designed with full-pitched and under-pitched coils and THD analysis for phase current has been performed by FEA in (Srinivasan et al., 2016). It has been found that the under-pitch configuration reduces the phase current THD by around 3.9%. However, the analysis contains only one under-pitched coil case and does not include over-pitched coils. The performance analysis of squirrel-cage induction motor for electric vehicle applications with different stator coil pitches is studied experimentally and by 2D FEA in (Gundogdu et al., 2020). The coil pitch is changed by changing the stator slot number, layers, and winding topology. However, this study keeps the stator and rotor slot number along with the number of poles unchanged and investigates the optimal coil pitch for minimum THD and maximum performance. In (Hua et al., 2018), harmonic analysis of the induced voltage has been performed on flux-reversal permanent magnet machines with different coil pitches using analytical expression and 2D FEA. It has been found that the optimal coil pitch can enhance the winding factor, which in turn enhances the fundamental induced voltage. In (Birbir & Nogay, 2007), harmonic analysis of the voltage and current has been performed for 1100W, 36-slot, three-phase, four-pole squirrel cage induction motors with full-pitch and different under-pitch configurations of the stator windings. The analysis has been carried out experimentally and the motors are supplied both using sinusoidal PWM inverter and sinusoidal voltage excitation. In (R. Deshmukh et al., 2006a), harmonic analysis of the voltage has been performed for three-phase, 746 W, four-pole squirrel cage induction motors with full-pitch and under-pitch stator windings configurations. The analysis has been carried out experimentally and the motors are supplied using sinusoidal PWM inverter and sinusoidal voltage excitation. A double layer short-pitched asymmetric winding arrangement with prefabricated coils is proposed by (Di et al., 2019) to mitigate the solid-rotor losses of induction machines. Effect of the distributed fractional-pitched winding (one-layer, two-layer and three-layer) on the electromagnetic performance of a three-phase HTS induction motor has been analyzed by (Arish & Yaghobi, 2021) via ANSYS-Maxwell software using FEM method. In (Deshmukh et al., 2020), the effect of under-pitching the stator windings on the efficiency of a PWM inverter fed three-phase induction motor is investigated with various switching frequencies, where it has been found out the under-pitched stator winding provided higher efficiency. In (Li et al., 2022), experimental and FEA have been carried out on four reluctance motors with the same slot and pole number but with different layers and coil pitches in order to verify the unity of the proposed vector model. However, in the studies mentioned above, the stator windings have not been configured as over-pitched.

In this work, we take a step further to existing literature examples in investigating motor efficiency, output power, torque, and current and voltage harmonics by configuring the stator coil pitch not just as full- and under-pitch, but also as over-pitch. Nine finite element models of 5.5 kW, three-phase, squirrel cage induction motor are carried out to perform FEA with sinusoidal excitation. The investigated coil pitches are; 100°, 120°, 140°, 160°, 180°, 200°, 220°, 240°, and 260°.

2. Motor Specifications

Since this study aims to compare the performance of the motor with different stator coil pitches, a motor design was not performed from scratch, instead, the parameters of the designed motor in (Yetgin et al., 2019) were used for analysis. The general data of the motor under consideration are given in Table 1.

Table 1. Motor specifications

Output power (W)	5500
Rated voltage (V)	460
Frequency (Hz)	60
Synchronous speed (rpm)	1800
Operation speed (rpm)	1750
Winding connection	Y
Number of poles	4
Number of phases	3
Type of load	Constant power
Operating temperature (°C)	75
Number of turns per phase	192

By using the data in Table 1, q , α , λ , and other parameters can be calculated as given in (3).

$$\begin{aligned} \frac{\text{slots}}{\text{pole}} &= \frac{36}{4} = 9 \text{ slots per-pole} \\ q &= \frac{9}{3} = 3 \\ \alpha &= \frac{180}{9} = 20^\circ \end{aligned} \quad (3)$$

A coil pitch of 180° corresponds to full-pitched, 100° , 120° , 140° , 160° to under-pitched, and 200° , 220° , 240° , 260° to over-pitched windings, respectively.

3. Modeling for FEA

Several motors, each with a different coil pitch, have been modeled in Ansys/RMxpert software to observe efficiency, output power, and torque characteristics. Motor data for FEA are given in Table 2.

Table 2. Motor data for FEA

Number of stator slots	36
Stator outer diameter (mm)	180
Stator inner diameter (mm)	111.6
Stator core length (mm)	131.5
Stator stacking factor	0.92
Type of steel	M19_24G
Number of parallel branches	1
Number of conductors per slot	32
Winding layer	Double
Rotor type	Squirrel cage with cast aluminum bars
Number of rotor slots	28
Air-gap (mm)	0.175
Rotor inner diameter (mm)	35
Rotor length (mm)	131.5
Rotor stacking factor	0.92
Type of steel	M19_24G

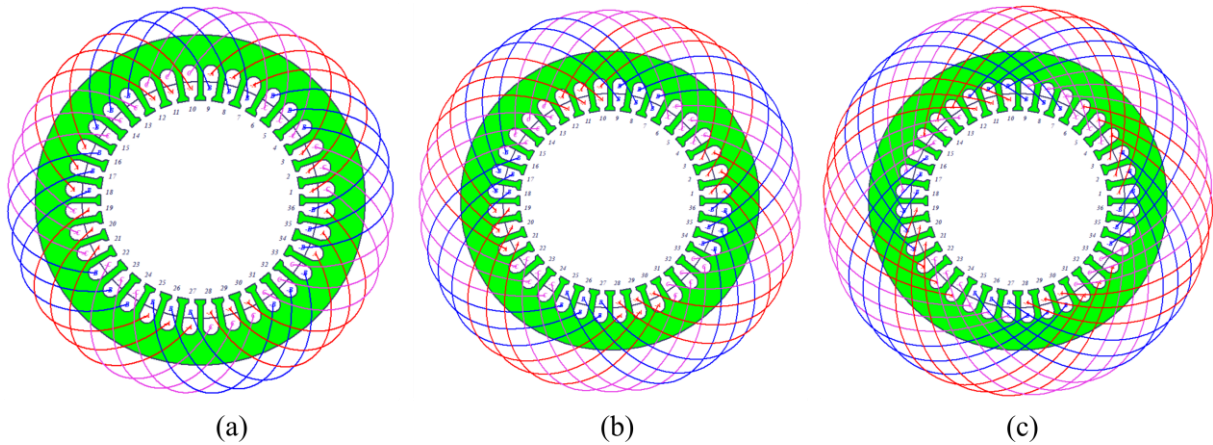


Figure 1. Slot and winding configurations for (a) 120°, (b) 180°, (c) 240° coil spans.

Figure 1 shows slot and winding configurations for 120° (under-pitched), 180° (full-pitched), and 240° (over-pitched) coil spans. The same sinusoidal excitation has been applied for each configuration.

In the second phase of the analysis, a 2D finite element model of each configuration is generated in Ansys/Maxwell to obtain the induced voltage and current waveforms. The models are simulated using the transient solution with the laminated structure of the stator and rotor being neglected. The obtained waveform data are then exported and the graphs for harmonic analysis are plotted by FFT analysis in Matlab. Maxwell 2D model with the plot of magnetic flux distributions for 120° (under-pitched), 180° (full-pitched), and 240° (over-pitched) coil spans are given in Figure 2. It can be recognized that there is no significant variation between the three configurations, however, the 240° over-pitched one provided slightly higher values of stator and rotor flux densities.

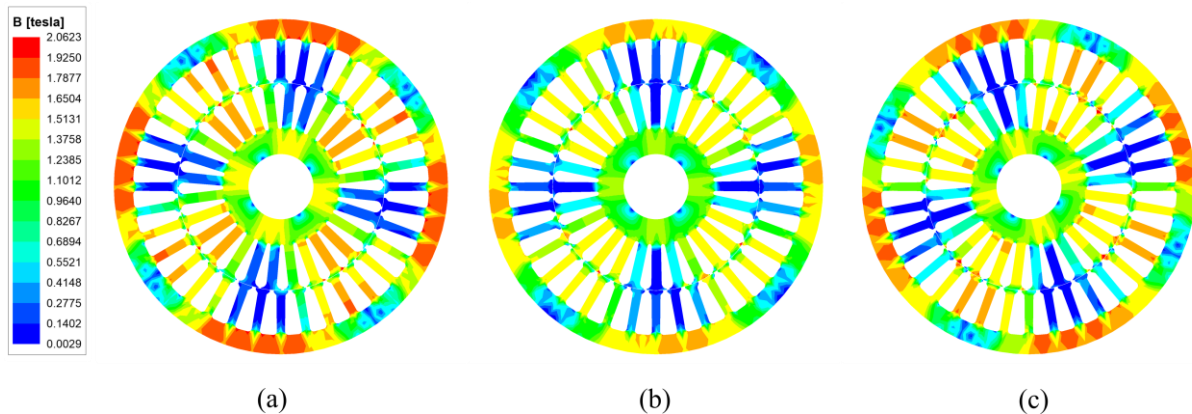


Figure 2. Magnetic flux distributions for (a) 120°, (b) 180°, (c) 240° coil spans.

4. Results and Discussion

The variation of efficiency, output power, and torque with rotational speed obtained by RMxprt analysis for each coil pitch configuration are shown in Figure 3. Comparison between the latter performance parameters obtained using RMxprt and Maxwell/2D is shown in Figure 4. The error between the two solutions is found to be negligible, especially in the power and torque results.

Simulation results show that the highest efficiency rate is reached for full-pitched and 160° under-pitched coils and the lowest efficiency rate is reached for 100° under-pitched coil. The output

power and hence the torque is observed to be the highest for the 100° under-pitched coil and to be the lowest for the full-pitched coil. In general, in terms of efficiency, power, and torque the motor performed better with under-pitched coils than with over-pitched coils at the same coil span.

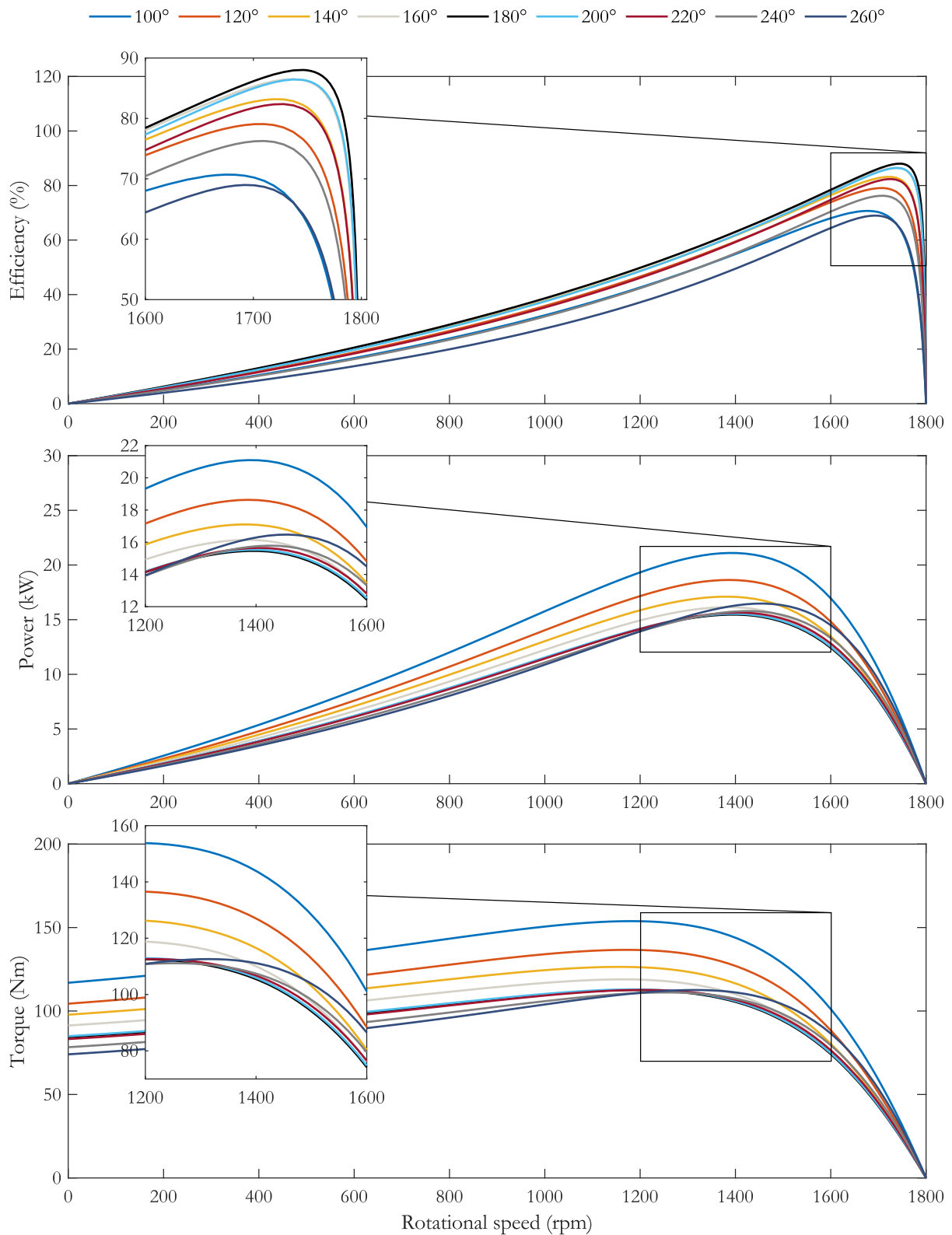


Figure 3. Efficiency, output power, and torque variation with motor rotational speed.

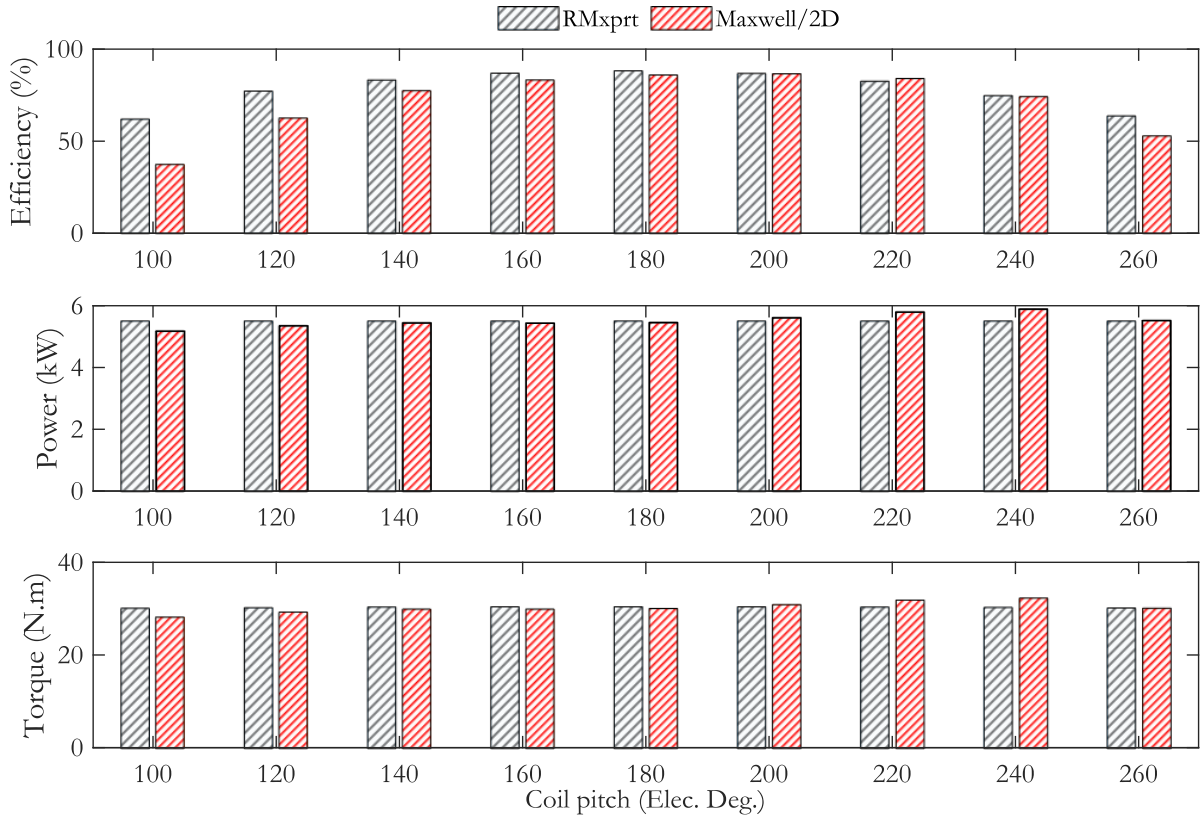


Figure 4. Efficiency, output power, and torque results obtained using RMxprt and Maxwell/2D.

The phase current and induced voltage waveforms for all pitch configurations are shown in Figure 5. Harmonic components in these waveforms are investigated and current and voltage results are shown in Figures 6 and 7, respectively.

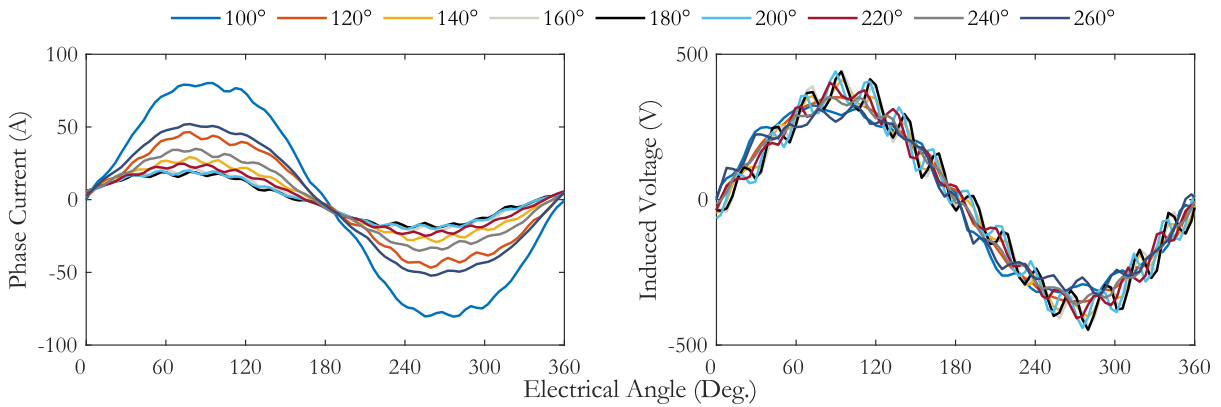


Figure 5. Motor Phase-A current and induced voltage waveforms.

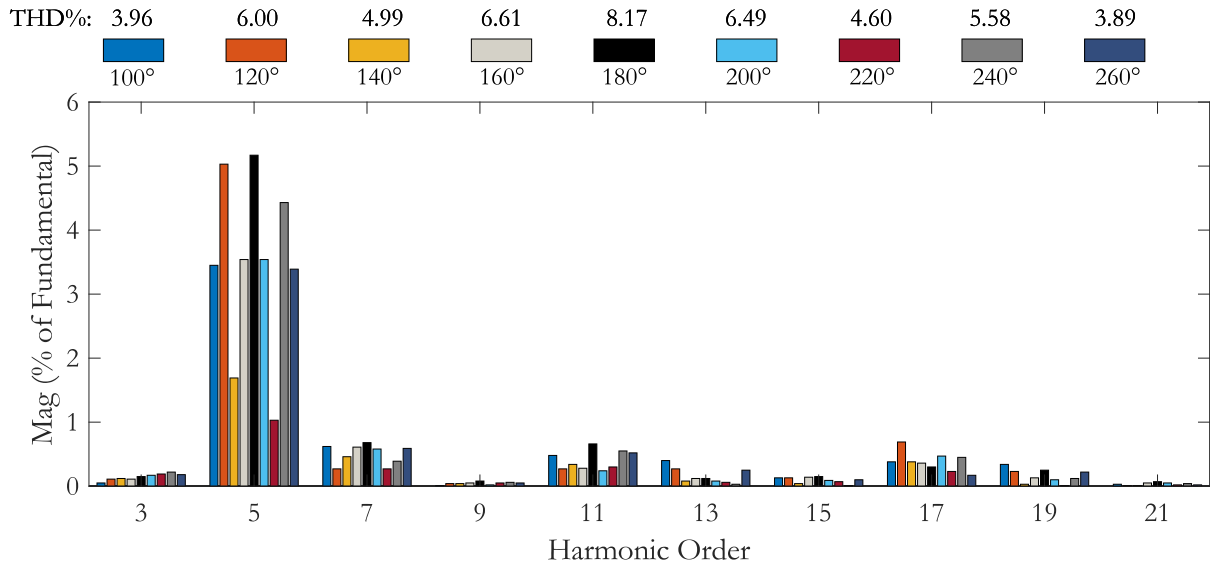


Figure 6. Phase current harmonic components.

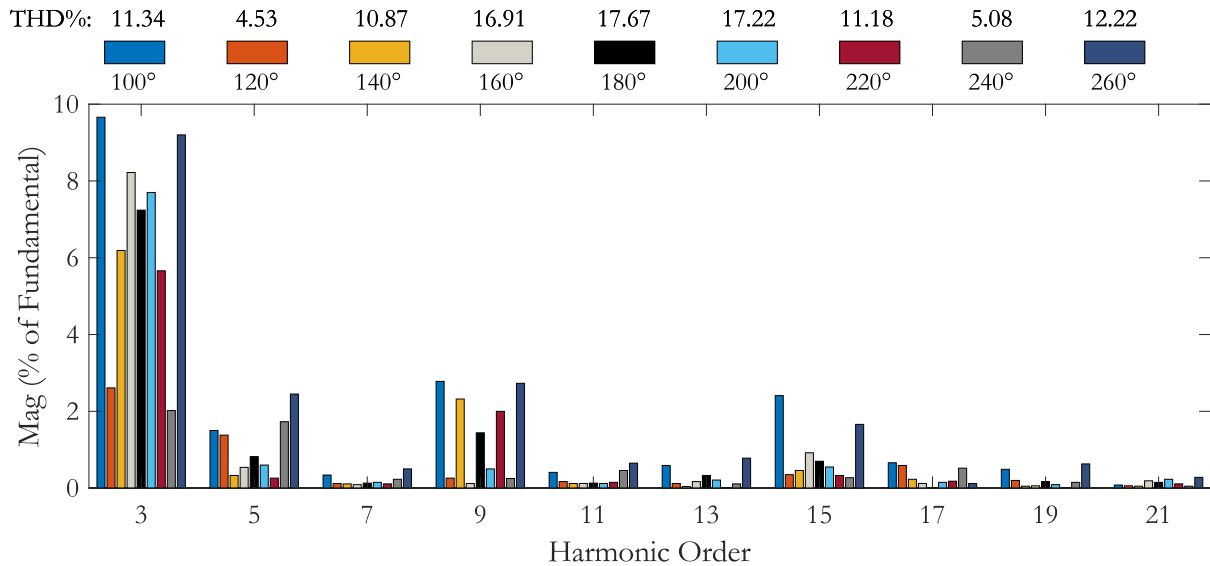


Figure 7. Induced phase voltage harmonic components.

Odd harmonics up to 21st have been considered for the FFT analysis. The triplen harmonics for all winding configurations were found to be very small. The most significant harmonic component in the current waveform is observed to be the 5th harmonic. For all under and over-pitched coils 5th harmonic reduction was achieved, where the reduction for 220° was the most significant. Over-pitched coils performed better in reducing both 5th and 7th harmonic. In the current waveform, 220° over-pitched coil seemed to be the best configuration for reducing almost all the harmonic components. Reduction rate in 5th harmonic was much higher than the others for all coil-pitch configurations. Only 220° and 260° over-pitched coils performed a decrease in 17th harmonic.

Same odd harmonics as in the current waveform have been considered for the induced voltage FFT analysis. The triplen harmonics, except 21st, were found to be high for all coil-pitch configurations, with the 3rd harmonic being the most significant. For 140° and 120° under-pitched, and 220° and 240° over-pitched coils, 3rd harmonic reduction was achieved. Over-pitched coils performed better than the under-pitched ones in terms of 3rd harmonic reduction. Although there exists a significant reduction in the 3rd harmonic with 120° under-pitched and 240° over-pitched coils, it is not zero as theoretically

expected. Reduction in the 5th harmonic has been satisfied for 160° and 140° under-pitched, and 200° and 220° over-pitched coils, with the 220° pitched coil resulting in the highest reduction. The 7th harmonic was reduced with the 160°, 140°, and 120° under-pitched, and 220° over-pitched coils. When it came to 7th harmonic reduction, under-pitched coils performed better than the over-pitched coils. The most significant decrease in 9th harmonic was caused by 160° under-pitched coil. Neither under-pitched nor over-pitched coils caused a notable reduction in the 11th harmonic. The 13th and 19th harmonic reduction is achieved by almost all the under-pitched and over-pitched coils (excluding 100° and 260°). For 140° and 120° under-pitched, and 200°, 220°, and 240° over-pitched coils, 15th harmonic component is reduced. All under and over-pitched coils cause 17th harmonic to increase. Whilst 100°, 120°, and 140° under-pitched, and 200° and 220° over-pitched coils reduced the 21st harmonic.

5. Conclusion

The harmonic reduction in the current and voltage waveforms of induction motors is mostly achieved and reported by applying under-pitched fractional coils in the literature. Results of this study reveal that both under-pitched and over-pitched coils are capable of harmonic reduction under sinusoidal excitation. However, it should be taken into account that this is valid to some extent. According to the Maxwell/2D results, the maximum efficiency is achieved at 200° over-pitched configuration, which is 0.73% higher than the efficiency when the motor is full-pitched. The maximum output power and torque are achieved at 240° over-pitched configuration. Power and torque values are 7.96% and 7.45% higher than the values when the motor is full-pitched. The minimum THD of the phase current and induced voltage is achieved at 260° over-pitched and 120° under-pitched configurations, respectively. Phase current and induced voltage THD values are 52.39% and 74.36% lower than the THD values when the motor is full-pitched. It is found that there is no unique coil pitch configuration to eliminate all harmonic components. Therefore, in order to eliminate a specific harmonic component, a specific coil-pitch must be applied. The results reported in this work were obtained by simulations and only for full-load condition and sinusoidal voltage excitation. Therefore, comparing the results with the experimental ones and performing the analyses for different loading conditions with both sinusoidal and PWM excitation may be subject of future work.

References

- Arish, N., & Yaghobi, H. (2021). *Effect of winding arrangement on the electromagnetic performance of HTS squirrel cage induction motor*. 2021 29th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE), Theran, Iran. doi:10.1109/ICEE52715.2021.9544360
- Birbir, Y., & Nogay, H. S. (2007). Voltage and current harmonic variations in three-phase induction motors with different stator coil pitches. *International Journal of Energy*, 1(4).
- Chapman, S. J. (2012). *Electric machinery fundamentals* (5th Ed.). New York, USA: Mcgraw-Hill.
- Deshmukh, R., Moses, A. J., & Anayi, F. (2006a). Behavior of three-phase induction motors with variable stator coil winding pitch. *Journal of Applied Physics*, 99(8), 08R310. doi:10.1063/1.2170062
- Deshmukh, R., Moses, A. J., & Anayi, F. (2006b). Voltage harmonic variation in three-phase induction motors with different coil pitches. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 304(2), e810–e812. doi:10.1016/j.jmmm.2006.03.005
- Deshmukh, R. R. R. (2006). *Voltage Harmonics Analysis and Efficiency of Three-phase Induction Motor with Change in Coil Pitch of the Stator Winding*. UK: Cardiff University.
- Deshmukh, R., Kumar, K. S., Joshi, P., & Subrahmanyam, K. (2020). Effect of chording on the efficiency of induction motor supplied by PWM inverter. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 981(4), 42058. doi:10.1088/1757-899X/981/4/042058

- Di, C., Petrov, I., & Pyrhönen, J. J. (2019). Design of a high-speed solid-rotor induction machine with an asymmetric winding and suppression of the current unbalance by special coil arrangements. *IEEE Access*, 7, 83175-83186. doi:10.1109/ACCESS.2019.2925131
- Fitzgerald, A. E., Kingsley, C., & Umans, S. D. (2013). *Electric machinery* (6th Ed.). New York, USA: Mcgraw-Hill.
- Gundogdu, T., Zhu, Z., & Mipo, J. (2020). Analysis of coil pitch in induction machines for electric vehicle applications. *IET Electric Power Applications*, 14(12), 2525–2536. doi:10.1049/iet-epa.2019.0980
- Hua, W., Zhu, X., & Wu, Z. (2018). Influence of coil pitch and stator-slot/rotor-pole combination on back EMF harmonics in flux-reversal permanent magnet machines. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 33(3), 1330–1341. doi:10.1109/TEC.2018.2795000
- Karnavar, P. H., & Jisha, V. R. (2020). *Harmonic reduction and performance improvement of BLDC motor using a selective harmonic elimination PWM based controller*. 2020 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES), Jaipur, India. doi:10.1109/PEDES49360.2020.9379727
- Li, A., Jiang, D., Sun, J., Liu, Z., & Lee, C. H. T. (2022). Unified vector torque control for reluctance motor with different coil pitch. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 70(6), 5527-5536. doi:10.1109/TIE.2022.3192600
- Liu, G., Chen, B., Wang, K., & Song, X. (2018). Selective current harmonic suppression for high-speed PMSM based on high-precision harmonic detection method. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(6), 3457–3468. doi:10.1109/TII.2018.2873652
- Lu, J., Yang, J., & Ma, Y. (2015). *Research on harmonic compensation for flux and current of permanent magnet synchronous motor*. 2015 IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), Busan, Korea (South). doi:10.1109/AIM.2015.7222600
- Silva, A. M., Ferreira, F. J. T. E., Falcão, G., & Rodrigues, M. (2018). *Novel method to minimize the air-gap MMF spatial harmonic content in three-phase windings*. 2018 XIII International Conference on Electrical Machines (ICEM), Alexandroupoli, Greece. doi:10.1109/ICELMACH.2018.8507206
- Srinivasan, J., Selvaraj, K., Chitrarasu, J., & Resmi, R. (2016). *Design and analysis of squirrel cage induction motor in short pitch and full pitch winding configurations using FEA*. 2016 International Conference on Emerging Technological Trends (ICETT), Kollam, India. doi:10.1109/ICETT.2016.7873759
- Tessarolo, A. (2008). *Design criteria for stator winding coil pitch choice in AC inverter-fed multi-phase motors*. 4th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2008), York. doi:10.1049/cp:20080610
- Yetgin, A. G., Turan, M., Cevher, B., Çanakoğlu, A. İ., & Ayhan, G. Ü. N. (2019). Squirrel cage induction motor design and the effect of specific magnetic and electrical loading coefficient. *International Journal of Applied Mathematics Electronics and Computers*, 7(1), 1-8. doi:10.18100/ijamec.461795



Research Article

Optical and Morphological Properties of Cu₂FeSnS₄ Chalcogenide Films

Canan AYTUĞ AVA^{*1,2}, Şilan BATURAY³

¹ Dicle University, Institute of Natural Sciences, Department of Physics, 21280, Diyarbakir, Türkiye

² Dicle University, Science and Technology Application and Research Center, 21280, Diyarbakir, Türkiye

³ Dicle University, Faculty of Science, Department of Physics, 21280, Diyarbakir, Türkiye

Canan AYTUĞ AVA, ORCID No: 0000-0003-4771-816X, Şilan BATURAY, ORCID No: 0000-0002-8122-6671

*Corresponding author e-mail: cananaytug@hotmail.com

Article Info

Received: 27.05.2022

Accepted: 08.09.2022

Online April 2023

DOI: [10.53433/yyufbed.1122310](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1122310)

Keywords

Crystal size,
Optical properties,
Spin coating,
Thin film

Abstract: *P*-type Cu₂FeSnS₄ (CFTS) and Cu₂ZnSnS₄ (CZTS) quaternary chalcogenide films have been grown by the method of spin coating on glass substrates relate to 30 and 40 sccm sulfur flux. Physical properties of obtained samples were investigated by X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), atomic force microscopy (AFM) and ultraviolet visible spectroscopy (UV-Vis) to see the effect of deposition parameters on the thin film. The crystal parameters including crystal size, dislocation density and strain value of the samples were changed related to the deposition parameters. XRD results indicated an improvement of the crystalline quality of quaternary chalcogenide CFTS with a maximum crystal size of about 50 nm for (112) peak orientation. SEM images illustrated that the particle size was changed with an increase in the flux of sulfur, which was confirmed with both XRD and AFM images. It was seen that the absorption and energy band gap value of the samples changed the effect of sulfur flux and CZTS film for 40 sccm exhibited more strong absorption all samples in the UV-Vis region. The band gap values of the samples were calculated 1.51, 1.53, 1.82 and 1.91 eV for CZTS (30 sccm), CZTS (40 sccm), CFTS (30 sccm) and CFTS (40 sccm) films annealed H₂S gas, respectively.

Cu₂FeSnS₄ Kalkojenit Filmlerin Optik ve Morfolojik Özellikleri

Makale Bilgileri

Geliş: 27.05.2022

Kabul: 08.09.2022

Online Nisan 2023

DOI: [10.53433/yyufbed.1122310](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1122310)

Anahtar Kelimeler

İnce film,
Kristal boyut,
Optik özellikleri,
Spin kaplama

Öz: *P*-tipi Cu₂FeSnS₄ (CFTS) ve Cu₂ZnSnS₄ (CZTS) kuaterner kalkojenit filmler, 30 ve 40 sccm kükürt akışıyla ilgili cam alt-tabakalar üzerinde döndürmeli kaplama yöntemiyle büyütülmüştür. Elde edilen numunelerin fiziksel özellikleri, X-ışını kırınımı (XRD) ölçüm sistemi, taramalı elektron mikroskobu (SEM), atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ve ultraviyole görünür (Uv-vis) spektrofotometre ölçüm sistemi ile araştırılarak ince filmlerin biriktirme parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Numunelerin kristal boyutu, dislokasyon yoğunluğu ve gerinim değeri gibi kristal parametreleri biriktirme parametrelerine bağlı olarak değişmektedir. XRD sonuçları, (112) pik yönelimi için yaklaşık 50 nm maksimum kristal boyutu ile kuaterner kalkojenit CFTS'nin kristal kalitesinde bir gelişmeyi gösterir. SEM görüntüleri hem XRD hem de AFM görüntüleri ile teyit edilen, kükürt akışındaki artışla parçacık boyutunun değiştiğini göstermektedir. Örneklerin absorpsiyon ve enerji bant aralığı değerinin kükürt akışının etkisini değiştirdiği ve 40 sccm için CZTS filmi, Uv-vis bölgesindeki tüm numunelerden daha güçlü absorpsiyon göstermiştir. Örneklerin bant aralığı değerleri, H₂S gazında tavlanan CZTS (30 sccm), CZTS (40 sccm), CFTS (30 sccm) ve CFTS (40 sccm) filmler için sırasıyla 1.51, 1.53, 1.82 ve 1.91 eV olarak hesaplanmıştır.

1. Introduction

Cu₂XSnS₄ (X= Fe, Zn, Ni, Mn, Co) (Ansari et al., 2019; Elsaedy, 2019; Krishnaiah et al., 2019; Rudisch et al., 2019; Zhou et al., 2019) films which are known as quaternary chalcogenides have been attracted extra consideration due to their physical and chemical properties including semiconducting and optical properties for the application of photovoltaic. These chalcogenides show conductivity of *p*-type and are used as absorbers in the application of solar cell. These chalcogenides also possess an optical band gap in the around 1.0–1.5 eV (Rudisch et al., 2019), a good absorption value (10⁴ cm⁻¹) coefficient (Guan et al., 2014) and a high electrical mobility value about 11.44 cm² V⁻¹ s⁻¹ (Prabhakar et al., 2014). Different types of absorber layers for solar cells, with good absorption coefficient value and suitable optical energy band gaps resembles to CIGS (Cu(InGa)Se₂) films have been recently attracted considerable interest in some experimental applications like optoelectronic and photovoltaic and solar cell due to their good power conversion efficiency (Jackson et al., 2011; Friedlmeier et al., 2015). However, the high cost and non abundance of gallium (Ga) and indium (In) elements limit the production of Cu(InGa)Se₂ films as absorber layer in solar cells. Monsefi & Kuo (2014) have recently studied electrical properties of Mg:CIGSe₂ film using method of liquid phase sintering. They indicated a charge carrier concentration of 2.86×10¹⁶ cm⁻³ and mobility value of 4.23 cm²V⁻¹S⁻¹ was gained for 10% Mg:CIGS compared to 3.25×10¹⁶ cm⁻³ carrier concentration and 1.16 cm²V⁻¹s⁻¹ mobility value for the 0%Mg:CZTS. Among most promising material for photovoltaic films that may replace CIGS is the quaternary chalcogenide CFTS (Cu₂FeSnS₄) and CZTS (Cu₂ZnSnS₄) which has the main advantages with low cost and its non toxic formation process. In recent years, several studies have been carried out on the structural, optical and electrical properties of CFTS and CZTS thin films (Meng et al., 2015; Miao et al., 2017; Wang et al., 2017). CFTS films show stannite tetragonal type, which is derived from a type of zinc blende. In stannite tetragonal structure, anion sulfur is encircled by two copper, one iron and one tin and every cation is tetrahedrally organized by sulfur. It has been theoretically demonstrated that the presence of stannite tetragonal type coordinated semi-conductor in which each anion sulphur is encircled by four cations and each cation is tetrahedrally organized by four sulfur anion is a critical feature for the exhibition of excellent photovoltaic properties of chalcogenide absorber materials (Domain et al., 2003). Additionally, it possess a suitable energy band gap value of between 1.2 and 1.5 eV (Mokurala et al., 2014; Wang et al., 2014; Meng et al., 2015) for absorber material in application of photovoltaic and a good value of absorption up to 10⁵ cm⁻¹ (Guan et al., 2014). Therefore, in this work, we have systematically varied sulphur flow and doping effect to obtain a better Cu based multinary chalcogenide absorber material by using a spin coating for better results.

Shape controlled topologies, doping elements and thin film deposition parameters have a significant role in the thin film's physical properties in the nanoscale region. Also, a lots metal can be employed as doping elements to improve the quality of crystalline thin films' properties with excellent physical and chemical properties of nanostructured thin films. Abundant and environment-friendly quaternary CFTS films have been grown by different fabrication methods such as the spray pyrolysis method (Nefzi et al., 2020b), electrochemical deposition technique (Miao et al., 2017), chemical method (Nefzi et al., 2018), RF-magnetron sputtering (Meng et al., 2015a), chemical spray pyrolysis (Khadka & Kim, 2015) and spin coating (Dong et al., 2018). To our knowledge, there is limited information on the effect of sulfur on the physical properties of CFTS films fabrication using different techniques (Meng et al., 2015b; Meng et al., 2017). There is also no work in the literature on the effect of sulfur flux on physical properties of CFTS film using the spin coating technique. However, these deposition systems have some disadvantages, such as costly vacuum conditions, expensive precursors, and difficulties in substrate temperature. Compared with these deposition techniques, spin-coating is a very efficient method in transition metal oxide due to its adjustable fabrication rate, its advantages of low cost and flexible substrate temperature.

Sulfur flux has a large impact on the crystal parameters and optical properties of CZTS and CFTS film (Mokurala et al., 2014). The main gain of our work is to investigate the effect of varying sulphur flux rate and ion effect (Zn²⁺ Fe³⁺) in order to improve the crystal and optical properties of CZTS and CFTS thin films. Thus, to get more light on the understanding of the effect of sulfur flux on the physical properties of CFTS film, more experimental studies are necessary. For this reason, we are focused on the modified the physical properties of CZTS and CFTS samples related to the sulfur flux rate. We have successfully fabricated CZTS and CFTS thin films related to 30 and 40 sccm H₂S:Ar(1:9)

rate by spin coating on glass substrates using ethanol solvent and glacial acetic acid (GAA). Physical properties including crystal parameter, morphological properties, absorbance and energy band gap were studied by X-ray diffraction (XRD) system, scanning electron microscopy (SEM), atomic force microscopy (AFM) and ultraviolet visible spectroscopy (UV-Vis) system to get more knowledge about CZTS and CFTS quaternary semiconductor needing further widespread works on physical parameters of the film.

2. Material and Methods

Quaternary chalcogenide CFTS and CZTS films at various annealing conditions were deposited on well-cleaned glass substrates by the spin coating method at a 240 °C substrate temperature. The films under two different annealing conditions were deposited by using 0.2 M cupric chloride (CuCl_2), 0.1 M Ferrous (II) chloride dehydrate (FeCl_2), 0.04 M Zinc chloride (ZnCl_2), and 0.1 M tin (II) chloride dihydrate ($\text{Cl}_2\text{Sn} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) as copper, iron, zinc and tin source, respectively. The chemical with a 2:1:1 stoichiometric ratio was separately prepared in a mixture of 50 ml ethanol, 5 ml GAA and a small amount of diethanolamine and mixed for 2 h on a magnetic stirrer at room temperature. During the preparation of homogenous white solutions to gain CFTS thin film, FeCl_2 solution was added to the cupric chloride solution, and finally, the corresponding amount of tin(II) chloride dihydrate solution was added to the iron/cupric chloride solution. Also, during the preparation of homogenous white solutions to gain CZTS thin film, ZnCl_2 solution was added to the cupric chloride solution, and finally, the corresponding amount of tin(II) chloride dihydrate solution was added to the zinc/cupric chloride solution. To obtain clear and homogenous films and remove any residual waste, the glass substrates and glass bottles were cleaned by boiling in adequate quantities of H_2O (distilled water), NH_3 (ammonia), and H_2O_2 (hydrogen peroxide) mixtures at 105 °C and then in adequate quantities of H_2O , H_2O_2 , and HCl (hydrochloric acid) mixtures at the same condition before fabrication process. Then each, substrates and glass bottles were cleaned in deionized water for 3 min and dried in N_2 atmosphere. After obtaining the final solutions and cleaning the substrates, the CFTS and CZTS films with 2:1:1 stoichiometric ratios were separately spin coated on substrates at a rate of 5000 rpm for 55 s in air condition as reference. The final solutions were dropped onto the substrate by layer and layer, and obtained samples were preheated to 240 °C for 10 min in air. Having obtained 10 layers of CFTS and CZTS samples, these samples were gradually annealed in a quartz furnace at 30 and 40 sccm $\text{H}_2\text{S}:\text{Ar}$ flows for 90 minutes at 550 °C, respectively. The sample names were CFTS(I) and CFTS(II) for 30 sccm and 40 sccm sulfur flux and CZTS(I) and CZTS(II) for 30 sccm and 40 sccm sulfur flux, respectively.

Structural analysis, including crystal parameters, was performed using a Rigaku ultima III diffractometer system between 20° and 60°. Topologies and composition of the films were analyzed by SEM and AFM. Optical properties including absorbance and energy gap were studied by UV-Vis spectrophotometer in the wavelength range of 1100-300 nm at room temperature under air atmosphere as reference.

3. Results and Discussion

3.1. Structural properties

The crystal parameters and quality of the grown samples were determined from the results of the XRD data. Figure 1 displays the XRD spectrum of the *p*-type quaternary CZTS and CFTS samples annealed at 550 °C. The CZTS thin films annealed under 30 and 40 sccm sulphur flows which exhibited about $2\theta \approx 28.52^\circ, 47.40^\circ, \text{ and } 56.23^\circ$ could be indexed to (112), (220) and (312) crystal planes of kesterite structure. The intensity of the peak around 28.52° is stronger than other peaks and indicates preferential orientation. When the XRD patterns of the thin films with Fe substitution was analyzed, it was seen that the XRD patterns of the samples which exhibited about $2\theta \approx 28.80^\circ$ could be indexed to the (112), 47.60° could be indexed to the (204) plane and the weak diffraction peaks at about 33.27° could be indexed to the (200) plane of the stannite CFTS thin film. It showed that Fe atoms were joined with CTS in the unit cell volume annealed sulfur flux. In addition, the XRD results of CFTS samples exhibited sharp peaks that correspond to the dominant (112) orientation. A change in the

FWHM and the intensity of all thin film peaks by XRD data can be seen in Figure 1. The intensity of the main peak was almost unchanged as the intensity of (204) plane decreased. The (112) and (204) planes of the samples showed a shift in peak position. (Wang et al., 2017) indicated that CFTS films obtained from the blade-coating process were crystallized in a similar structure.

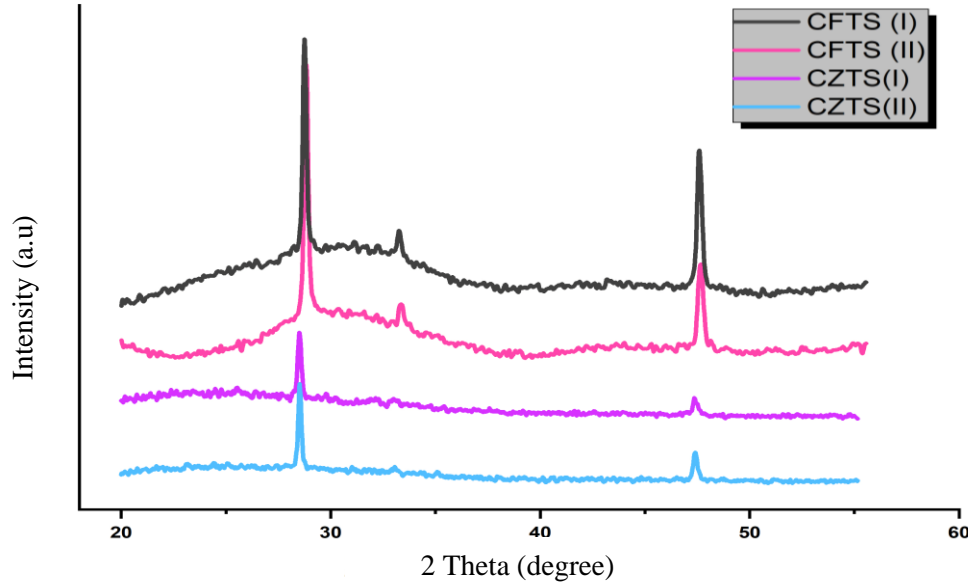


Figure 1. XRD patterns of CZTS and CFTS film annealed at H₂S:Ar flow.

The theoretically calculated interplanar spacing (d), the crystal size (D), the dislocation density (δ) and the values of strain (ε) for all peaks for the obtained samples are given in Table 1. As understood from this table, the position of main peak (112) planes shifted from 28.75° to 28.83° and (002) planes shifted from 47.59° to 47.66° for the CFTS samples under increasing sulfur flux while this shift was attributed to the increase of H₂S:Ar flow rate on the crystal structure of the obtained samples and also Fe³⁺ and Zn²⁺ substitution influence on the crystal parameters of the film. The difference in the ionic radius of Zn and Fe substitution caused disorder in the lattice parameters, resulting in changing of peak orientation towards the higher diffraction angle. Scherer's equation which is used to determine the D value of obtained samples from the XRD data is described as (Cullity, 1956):

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

where λ is the wavelength ($\lambda = 1.540056 \text{ \AA}$), β is the FWHM value of the peaks, θ is the Bragg's angle in degree, and k is the constant which shows shape factor ($k = 0.89$). As seen from the table 1, the value of crystal size corresponding to (112) planes for CZTS(II) film was higher than the CZTS(I) film. When Fe substitution was added, the crystal size value was rapidly increase. The D corresponding main planes for the CFTS(I) (50.43 nm) were higher than the all samples, which can be seen from table. The maximum D value of the samples was found to be 50.43 nm, corresponding to the main peak for CFTS(I) thin film. The largest D value of the main peak showed that precursors might be transformed into samples with good crystalline quality. The calculated results displayed the D value of the samples was changed with H₂S:Ar flows. This calculated crystal size value was higher than in earlier studies (Adelifard, 2016; Nilange et al., 2019). Nanocrystals in the samples must form a bigger crystal size in order to gain high solar cell effectiveness (Tanaka et al., 2006).

Table 1. XRD samples of CFTS thin films annealed in sulphur flux at 550°

Sample	2θ (Derece)	D (nm)	d (calculated) (Å)	δ (10 ¹⁴ m ²)	ε (X10 ⁻³)	hkl
CZTS (I)	28.51	32.15	3.13	9.67	4.4	112
CZTS (II)	28.52	33.53	3.13	8.90	4.2	112
CFTS (I)	28.75	50.4	3.11	3.93	2.9	112
	47.59	35.9	1.91	7.77	2.5	204
CFTS (II)	28.83	43.7	3.11	5.23	3.3	112
	47.66	31.6	1.91	10	2.9	204

d , δ and ϵ value of the CFTS samples were calculated by the equation (2), (3) and (4), respectively (Shaikh et al., 2011; Tiong et al., 2014):

$$2d\sin\theta = n\lambda \quad (2)$$

$$\delta = \frac{1}{D^2} \quad (3)$$

$$\epsilon = \frac{\beta\cos\theta}{4} \quad (4)$$

where n is a constant which gives the order of diffraction, strain (ϵ) and dislocation density (δ) value of all films which is one of the significant factors negatively changing the crystal structure. We can see from Table 1 that the calculated d value of the both CFTS and CZTS thin films annealed under 30 sccm sulphur flow was close to the both CFTS and CZTS thin film annealed under 40 sccm sulphur flows. The calculated d value of the thin films complies with the standard values. In our study, the value d was decreased from 3.13 to 3.11 Å after substituting Fe atom. This result can be owing to the different atomic radii of Fe atom compared to Zn atom.

As seen from table, the calculated dislocation density values of CZTS(I) and CZTS(II) for main peak were 9.67 and $8.90 \times 10^{14} \text{ m}^{-2}$, respectively. The calculated δ values of the main peak for CFTS(I) were changed between $3.93 \times 10^{14} \text{ m}^{-2}$ and $7.77 \times 10^{14} \text{ m}^{-2}$. The minimum value of δ was found to be $3.93 \times 10^{14} \text{ m}^{-2}$ for CFTS(I) film, which displayed the better crystallinity of the film because δ was a measurement of the quantity of defect. Nefzi et al. (2020a) indicated that dislocation density was found to be between $25 \times 10^{13} \text{ m}^{-2}$ to a minimum value of $4.93 \times 10^{13} \text{ m}^{-2}$. When these values were examined for the main peak, both δ and ϵ values were changed depending on sulfur flux. The change in the calculated δ values indicated the presence of strain in the films. The variation in the strain was related to the lattice defects being dependent on the deposition parameter. It can be seen from these results that the reason for the change in crystal size is the change in strain. As the sulfur flux increased, the increase in strain value in thin films belonging to the main peak caused an increase in lattice defects and affected the quality of the obtained film.

3.2. Morphological properties

The surface morphologies of the obtained samples are very important for analyzing the surface properties of thin films. Figure 2 shows SEM images of samples with different sulfur flux grown using the spin coating method. It is seen that the films have less uniform surface, although there are very few defects such as cracks and voids in Figure 2. The samples obtained appear to be relatively uniformly dispersed with little agglomeration to the substrate due to more interactions between the thin films and sulphur flow. As seen in Figure 2, there is a difference in CFTS and CZTS morphology as they tend to be like spherical nanostructured films with more uniformly distribution and small agglomeration. It can be seen from SEM images that the surfaces of the CFTS(I) thin films is more homogeneous than all thin film.

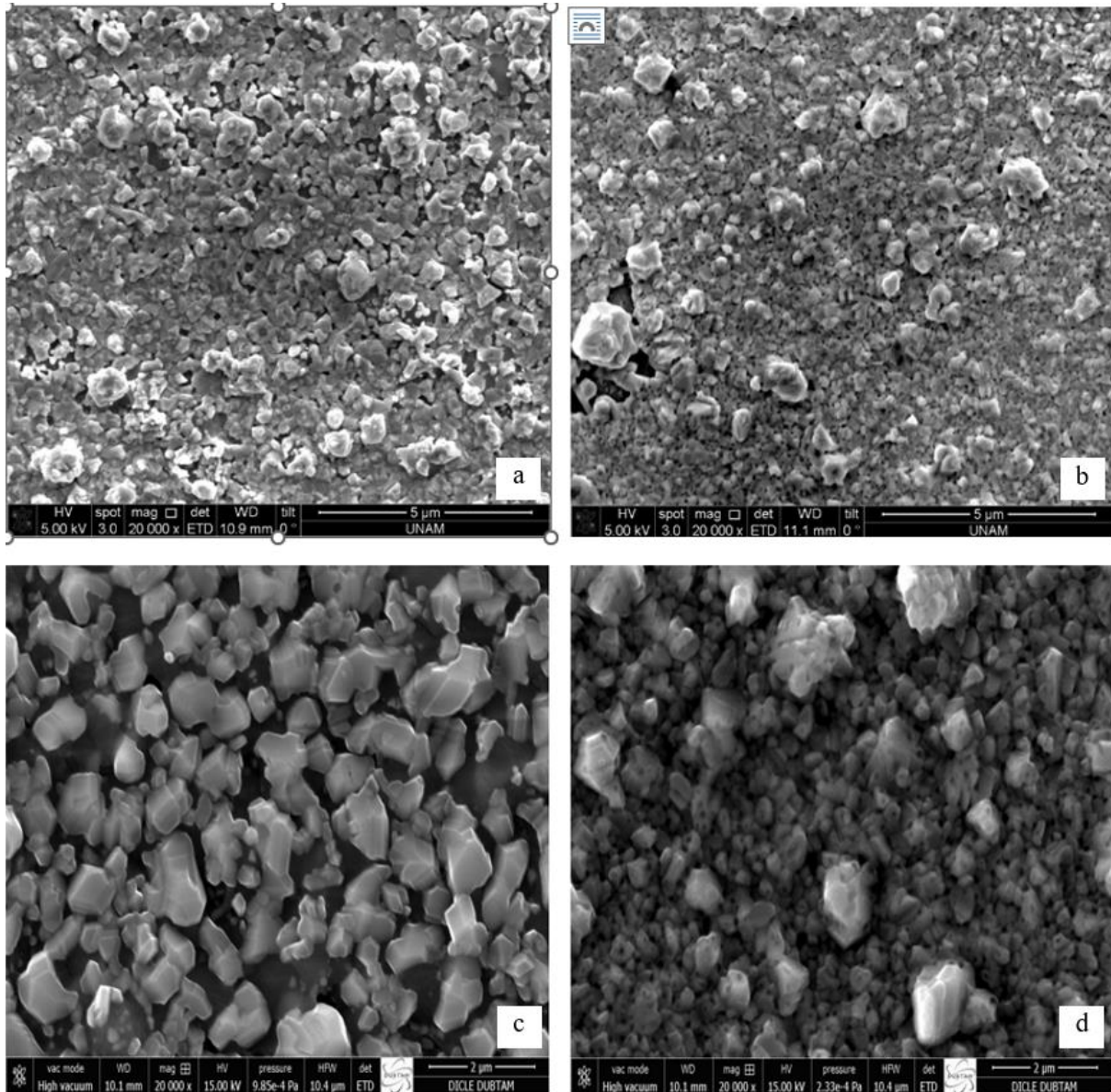


Figure 2. SEM images of a) CZTS(I), b) CZTS (II), c) CFTS(I), d) CFTS(II) samples.

Figure 3(a-b) displays the topology of both CFTS and CZTS samples annealed $\text{H}_2\text{S}:\text{Ar}$ ambient by AFM images. The CFTS(I) sample displays bigger lumps than the CFTS(II) sample while the CZTS(II) sample displays bigger lumps than the CZTS(I) sample. The figures indicate thin films with the structure of grain particles. The AFM tip photographs the seeming of the samples and does not go deep to describe the size of the particle. Nevertheless, if some spaces on the samples have gaps, the tip gives that as the valley and the superficial of the sample appear both bumpy and cloggy, just what occurred here for the obtained samples. The obtained sample outcome is less uniform and grain particles have been placed in an inhomogeneous manner. The obtained results are consistent with previous studies (Madhusudanan et al., 2019).

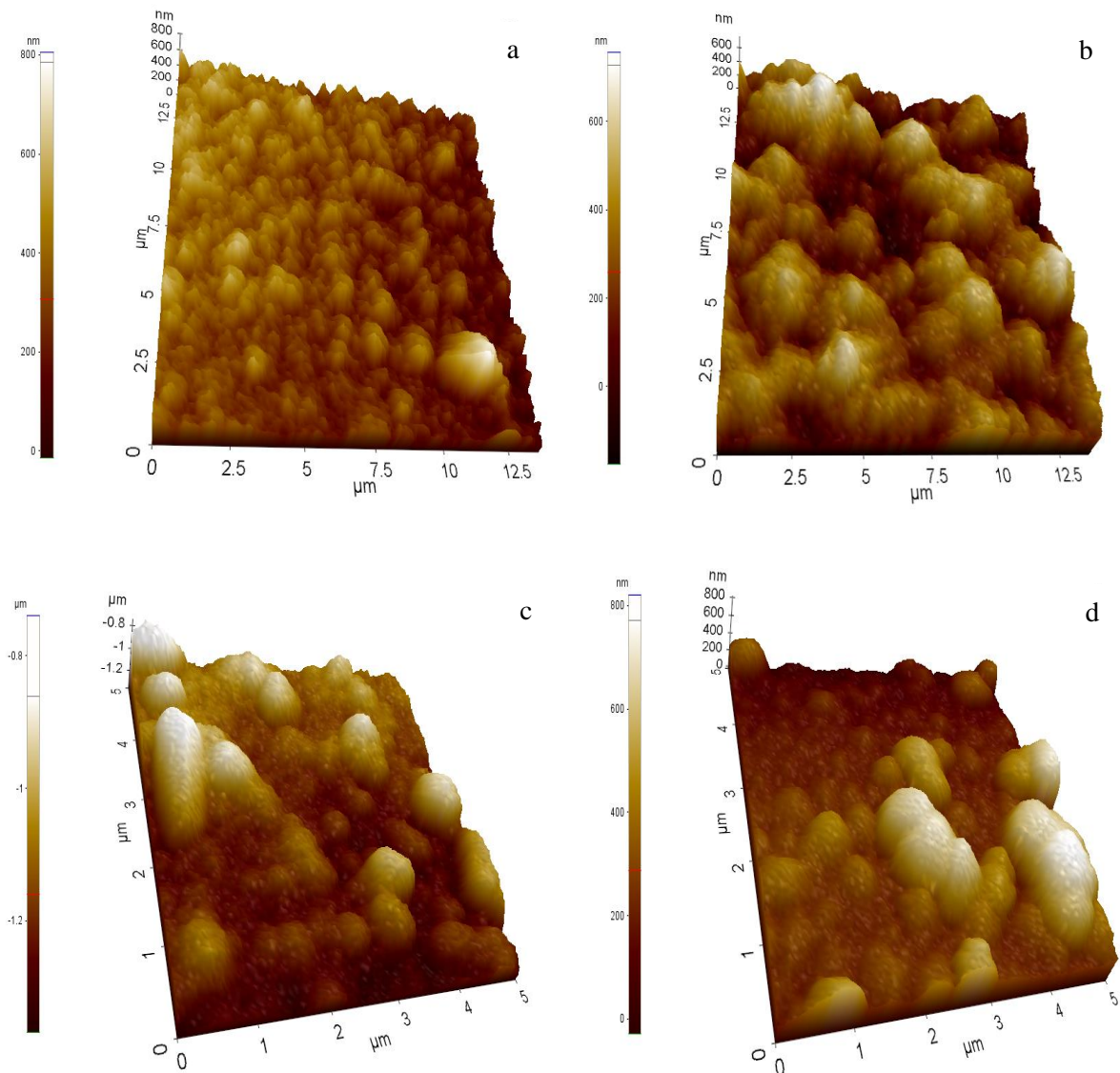


Figure 3. AFM images of a) CZTS(I), b) CZTS (II), c) CFTS(I), d) CFTS(II) samples.

3.3. Optical properties

The absorbance and transmittance of used nanostructured materials can be effected by many variables like the deposition technique, surface topology, and some deposition conditions (temperature, film thickness, annealed time), related to their interaction with the ambient. Furthermore, the absorbance-wavelength of CZTS and CFTS films were analyzed using UV-Vis data gained between 1100 and 300 nm wavelength. The analysis of the value of absorption coefficient for any nanostructured thin film gives extra knowledge concerning the levels of electrons in the high-energy range of the absorption spectra, while the low-energy range of the absorption spectrum relate to the atoms' vibration (Urbach, 1953; El-Hagary et al., 2012). It can be seen from Figure 4, CZTS(II) film exhibit more strong absorption than all other thin film in the all-region. The increase in sulfur flux rate and exchange in Zn^{2+} and Fe^{3+} may also induce a change in absorbance values. From these absorption spectra, we noted That absorption of CFTS(I) film has the minimum absorption value while CZTS(II) has the maximum. As seen from the Figure 4, all samples have high absorption till the region of infrared. The decreasing absorption tendency in the Fe incorporated films visible region is lower than the pure CZTS thin film. It is seen from these results that the CZTS and CFTS samples have sensitive to absorption in the UV-vis range. The change in the absorption value of the samples indicates that obtained thin films can be

applied in various optical applications including optical windows and suitable materials for UV filter production.

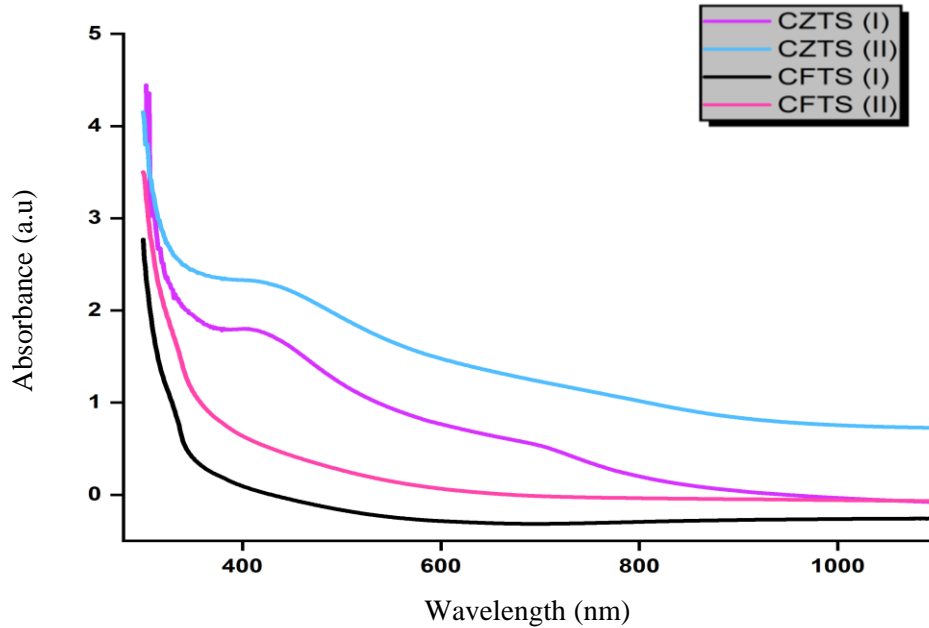


Figure 4. Absorption spectra of CFTS thin films.

The band-gap (E_g) of the CZTS and CFTS samples was calculated using relation of Tauc (2012):

$$\alpha h\nu = A(h\nu - E_g)^m \quad (5)$$

where A is the material's energy independent constant, m is constant that based on the transition nature, $m = 1/2, 2, 3/2$, or 3 for direct, nondirect allowed transition, forbidden direct or forbidden nondirect transitions, respectively. α is a constant that gives the coefficient of absorption in cm^{-1} and λ is the wavelength. plot of $(\alpha h\nu)^2$ versus photon energy ($h\nu$) for the obtained samples with sulphur flux at 550°C is given in Figure 5. As seen Figure 5, the linear nature of all energy band gap graphs indicates that CZTS and CFTS semiconductors have the direct band gap.

Figure 5 indicates the E_g value of CZTS and CFTS films, and the E_g value is calculated to be 1.51, 1.53, 1.82 and 1.91 eV for CZTS(I), CZTS(II), CFTS(I) and CFTS(II) films, respectively. The obtained energy band gap value of CZTS thin film was given previous study (Ava et al., 2021). The change in band gap value might be owing to the difference in the crystallinity nature of the film, which is seen from XRD data. The increasing of energy band gap values was owing to the effect of the change of crystalline quality and ionic radius of Zn^{2+} (0.74Å) and Fe^{3+} (0.55Å) ions in obtained films. The obtained energy band values were different from the previous studies of 1.37, 1.42 and 1.71 eV (Khadka & Kim, 2015; Hannachi et al., 2017; Vanalakar et al., 2018) which attributed to the different annealed condition, deposition method and element composition. We noted that the band gap value of the CZTS and CFTS samples is in good agreement with those given previously (Nefzi, 2020b). The increase of E_g values was due to the effect of the change of crystalline quality in obtained CFTS films. In this study, we experimentally showed that the cationic substitution of Zn by Fe could change the physical properties including absorbance and energy band gap of CZTS material.

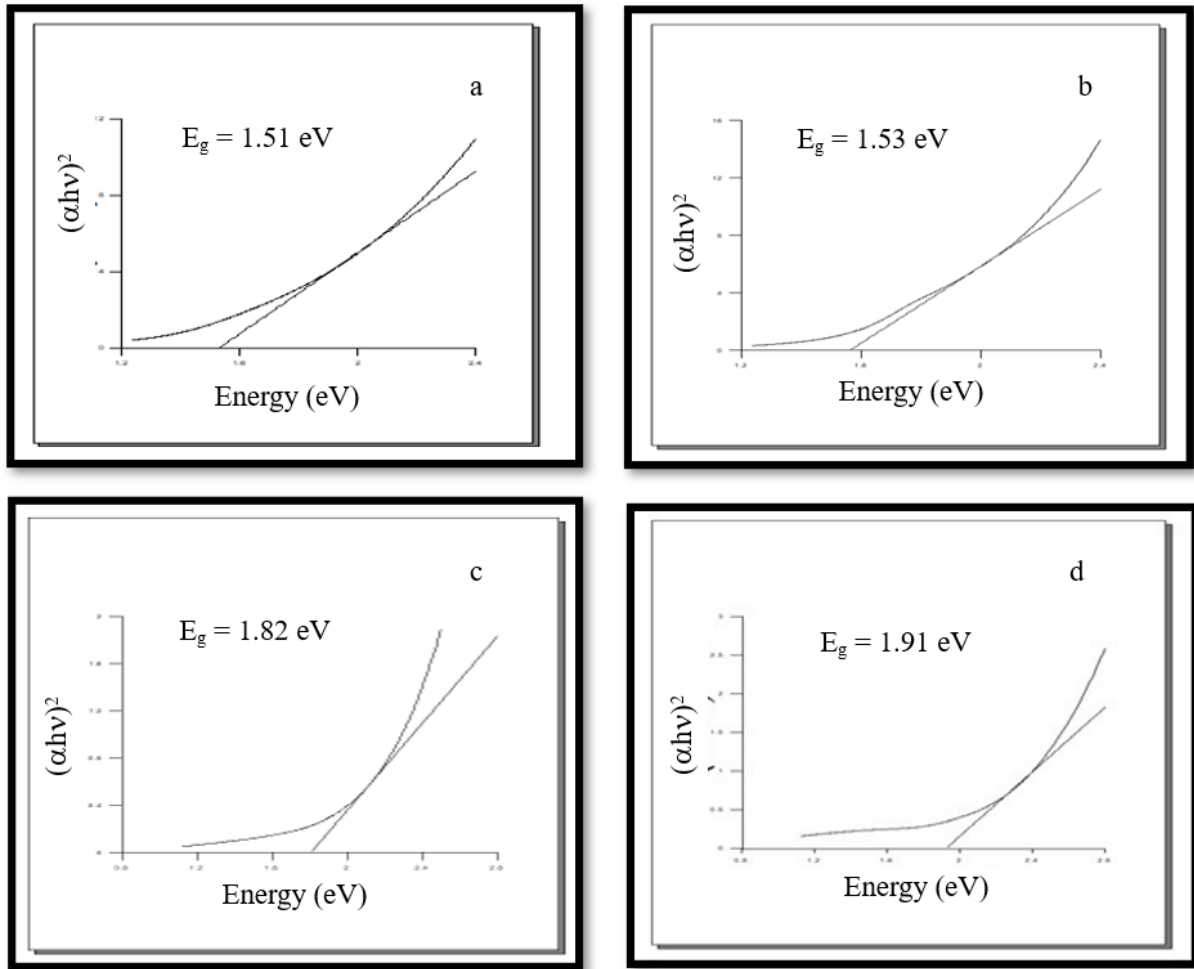


Figure 5: Energy band gap of a) CZTS(I), b) CZTS(II), c) CFTS(I) and d) CFTS(II) film.

4. Conclusion

In summary, in this study, CFTS and CZTS thin films with different sulfur flows were obtained annealed at 550 °C using the spin coating technique. The effect of sulfurization on the structural, morphological and optical properties of the film were investigated XRD, SEM, AFM and UV-Vis measurement system. The maximum D value of the samples was found to be 50.43 nm, corresponding to the main peak for CFTS(I) thin film. The calculated δ value of the main peak for CFTS(I) film was changed between $3.93 \times 10^{14} \text{ m}^{-2}$ and $7.77 \times 10^{14} \text{ m}^{-2}$. The minimum value of calculated δ was found as $3.93 \times 10^{14} \text{ m}^{-2}$ for CFTS(I), which displayed the better crystallinity of the film. When the surface properties of the films were examined, it was seen that spherical-like nanostructures were formed and the number of these nanoparticles increased depending on the sulfur flux. It was observed that CZTS(II) film exhibit more strong absorption than all other thin film in the all-region. The films had strong absorption in the UV region and a strong affinity for UV light. The energy band gap values of the obtained samples were calculated as 1.51, 1.53, 1.82 and 1.91 eV for CZTS(I), CZTS(II), CFTS(I) and CFTS(II) films, respectively and it was seen that the sulfur flux affected the energy band gap and absorbance value.

Acknowledgements

We thank Dicle University Science and Technology Application and Research Center (DUBTAM) for their support to our study.

References

- Adelifard, M. (2016). Preparation and characterization of Cu₂FeSnS₄ quaternary semiconductor thin films via the spray pyrolysis technique for photovoltaic applications. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 122, 209-215. doi:10.1016/j.jaap.2016.09.022
- Ansari, M. Z., Singh, S., & Khare, N. (2019). Visible light active CZTS sensitized CdS/TiO₂ tandem photoanode for highly efficient photoelectrochemical hydrogen generation. *Solar Energy*, 181, 37-42. doi:10.1016/j.solener.2019.01.067
- Ava, C. A., Ocak, Y. S., Asubay, S., & Celik, O. (2021). The influence of Ge substitution and H₂S annealing on Cu₂ZnSnS₄ thin films. *Optical Materials*, 121, 111565. doi:10.1016/j.optmat.2021.111565
- Cullity, B. D. (1956). *Elements of X-ray diffraction*: Boston, USA: Addison-Wesley. ISBN-0201012308.
- Domain, C., Laribi, S., Taunier, S., & Guillemoles, J. F. (2003). Ab initio calculation of intrinsic point defects in CuInSe₂. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 64(9-10), 1657-1663. doi:10.1016/S0022-3697(03)00208-7
- Dong, C., Ashebir, G. Y., Qi, J., Chen, J., Wan, Z., Chen, W., & Wang, M. (2018). Solution-processed Cu₂FeSnS₄ thin films for photovoltaic application. *Materials Letters*, 214, 287-289. doi:10.1016/j.matlet.2017.12.032
- El-Hagary, M., Emam-Ismail, M., Shaaban, E., & El-Taher, A. (2012). Effect of γ -irradiation exposure on optical properties of chalcogenide glasses Se₇₀S₃₀-xSbx thin films. *Radiation Physics and Chemistry*, 81(10), 1572-1577. doi:10.1016/j.radphyschem.2012.05.012
- Elsaeedy, H. I. (2019). Growth, structure, optical and optoelectrical characterizations of the Cu₂NiSnS₄ thin films synthesized by spray pyrolysis technique. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 30(13), 12545-12554. doi:10.1007/s10854-019-01615-3
- Friedlmeier, T. M., Jackson, P., Bauer, A., Hariskos, D., Kiowski, O., Wuerz, R., & Powalla, M. (2015). Improved photocurrent in Cu(In, Ga)Se₂ solar cells: from 20.8% to 21.7% efficiency with CdS buffer and 21.0% Cd-free. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 5(5), 1487-1491. doi:10.1109/PVSC.2015.7356152
- Guan, H., Shen, H., Jiao, B., & Wang, X. (2014). Structural and optical properties of Cu₂FeSnS₄ thin film synthesized via a simple chemical method. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 25, 159-162. doi:10.1016/j.mssp.2013.10.021
- Hannachi, A., Oueslati, H., Khemiri, N., & Kanzari, M. (2017). Effects of sulfurization on the optical properties of Cu₂ZnxFe_{1-x}SnS₄ thin films. *Optical Materials*, 72, 702-709. doi:10.1016/j.optmat.2017.07.031
- Jackson, P., Hariskos, D., Lotter, E., Paetel, S., Wuerz, R., Menner, R., Wischmann, W., & Powalla Prog, M., (2011). New world record efficiency for Cu(In,Ga)Se₂ thin-film solar cells beyond 20%. *Photovoltaics*, 19, 894-897. doi:10.1002/pip.1078
- Khadka, D. B., & Kim, J. (2015). Structural, optical and electrical properties of Cu₂FeSnX₄ (X= S, Se) thin films prepared by chemical spray pyrolysis. *Journal of Alloys and Compounds*, 638, 103-108. doi:10.1016/j.jallcom.2015.03.053
- Krishnaiah, M., Mishra, R. K., Seo, S. G., Jin, S. H., & Park, J. T. (2019). Highly crystalline, large grain Cu₂CoSnS₄ films with reproducible stoichiometry via direct solution spin coating for optoelectronic device application. *Ceramics International*, 45(9), 12399-12405. doi:10.1016/j.ceramint.2019.03.167
- Madhusudanan, S. P., Mohanta, K., & Batabyal, S. K. (2019). Electrical bistability and memory switching phenomenon in Cu₂FeSnS₄ thin films: role of pn junction. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 23(5), 1307-1314. doi:10.1007/s10008-019-04213-9
- Meng, X., Deng, H., He, J., Sun, L., Yang, P., & Chu, J. (2015a). Synthesis, structure, optics and electrical properties of Cu₂FeSnS₄ thin film by sputtering metallic precursor combined with rapid thermal annealing sulfurization process. *Materials Letters*, 151, 61-63. doi:10.1016/j.matlet.2015.03.046
- Meng, X., Deng, H., Sun, L., Yang, P., & Chu, J. (2015b). Sulfurization temperature dependence of the structural transition in Cu₂FeSnS₄-based thin films. *Materials Letters*, 161, 427-430. doi:10.1016/j.matlet.2015.09.013

- Meng, X., Deng, H., Zhang, Q., Sun, L., Yang, P., & Chu, J. (2017). Investigate the growth mechanism of Cu₂FeSnS₄ thin films by sulfurization of metallic precursor. *Materials Letters*, 186, 138-141. doi:10.1016/j.matlet.2016.10.002
- Miao, X., Chen, R., & Cheng, W. (2017). Synthesis and characterization of Cu₂FeSnS₄ thin films prepared by electrochemical deposition. *Materials Letters*, 193, 183-186. doi:10.1016/j.matlet.2017.01.099
- Mokurala, K., Bhargava, P., & Mallick, S. (2014). Single step synthesis of chalcogenide nanoparticles Cu₂ZnSnS₄, Cu₂FeSnS₄ by thermal decomposition of metal precursors. *Materials Chemistry and Physics*, 147(3), 371-374. doi:10.1016/j.matchemphys.2014.06.049
- Monsefi, M., & Kuo, D. H. (2014). Influence of Mg doping on electrical properties of Cu(In, Ga)Se₂ bulk materials. *Journal of Alloys and Compounds*, 582, 547-551. doi:10.1016/j.jallcom.2013.08.101
- Nefzi, C., Souli, M., Cuminal, Y., & Kamoun-Turki, N. (2018). Effect of sulfur concentration on structural, optical and electrical properties of Cu₂FeSnS₄ thin films for solar cells and photocatalysis applications. *Superlattices and Microstructures*, 124, 17-29. doi:10.1016/j.spmi.2018.09.033
- Nefzi, C., Souli, M., Cuminal, Y., & Kamoun-Turki, N. (2020a). Effect of sprayed volume on physical properties of Cu₂FeSnS₄ thin films and an efficient p-type Cu₂FeSnS₄/n-type F-doped SnO₂ heterojunction. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 144, 109497. doi:10.1016/j.jpcs.2020.109497
- Nefzi, C., Souli, M., Jeyadevan, B., & Kamoun-Turki, N. (2020b). Effect of substrate temperature on physical properties of Cu₂FeSnS₄ thin films for photocatalysis applications. *Materials Science and Engineering: B*, 254, 114509. doi:10.1016/j.mseb.2020.114509
- Nilange, S. G., Patil, N. M., & Yadav, A. A. (2019). Growth and characterization of spray deposited quaternary Cu₂FeSnS₄ semiconductor thin films. *Physica B: Condensed Matter*, 560, 103-110. doi:10.1016/j.physb.2019.02.008
- Prabhakar, R. R., Huu Loc, N., Kumar, M. H., Boix, P. P., Juan, S., John, R. A., Wong, L. H. (2014). Facile water-based spray pyrolysis of earth-abundant Cu₂FeSnS₄ thin films as an efficient counter electrode in dye-sensitized solar cells. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 6(20), 17661-17667. doi:10.1021/am503888v
- Rudisch, K., Espinosa-García, W. F., Osorio-Guillén, J. M., Araujo, C. M., Platzer-Björkman, C., & Scragg, J. J. (2019). Structural and Electronic Properties of Cu₂MnSnS₄ from Experiment and First-Principles Calculations. *Physica Status Solidi (b)*, 256(7), 1800743. doi:10.1002/pssb.201800743
- Shaikh, J., Pawar, R. C., Devan, R. S., Ma, Y.-R., Salvi, P. P., Kolekar, S. S., & Patil, P. S. (2011). Synthesis and characterization of Ru doped CuO thin films for supercapacitor based on Bronsted acidic ionic liquid. *Electrochimica Acta*, 56(5), 2127-2134. doi:10.1016/j.electacta.2010.11.046
- Tanaka, T., Kawasaki, D., Nishio, M., Guo, Q., & Ogawa, H. (2006). Fabrication of Cu₂ZnSnS₄ thin films by co-evaporation. *Physica Status Solidi C*, 3(8), 2844-2847. doi:10.1002/pssc.200669631
- Tauc, J. (2012). *Amorphous and liquid semiconductors*. Newyork, USA: Springer. doi:10.1007/978-1-4615-8705-7
- Tiong, V. T., Zhang, Y., Bell, J., & Wang, H. (2014). Phase-selective hydrothermal synthesis of Cu₂ZnSnS₄ nanocrystals: The effect of the sulphur precursor. *Cryst Eng Comm*, 16(20), 4306-4313. doi:10.1039/C3CE42606H
- Urbach, F. (1953). The long-wavelength edge of photographic sensitivity and of the electronic absorption of solids. *Physical Review*, 92(5), 1324. doi:10.1103/PhysRev.92.1324
- Vanalakar, S. A., Patil, P. S., & Kim, J. H. (2018). Recent advances in synthesis of Cu₂FeSnS₄ materials for solar cell applications: A review. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 182, 204-219. doi:10.1016/j.solmat.2018.03.021
- Wang, W., Shen, H., Yao, H., & Li, J. (2014). Preparation and properties of Cu₂FeSnS₄ nanocrystals by ultrasound-assisted microwave irradiation. *Materials Letters*, 125, 183-186. doi:10.1016/j.matlet.2014.03.166
- Wang, S., Ma, R., Wang, C., Li, S., & Wang, H. (2017). Fabrication and photoelectric properties of Cu₂FeSnS₄ (CFTS) and Cu₂FeSn(S, Se)₄ (CFTSSe) thin films. *Applied Surface Science*, 422, 39-45. doi:10.1016/j.apsusc.2017.05.244

Zhou, J., Yu, S., Guo, X., Wu, L., & Li, H. (2019). Preparation and characterization of Cu₂FeSnS₄ thin films for solar cells via a co-electrodeposition method. *Current Applied Physics*, 19(2), 67-71. doi:10.1016/j.cap.2018.10.014



Research Article

Transmitting the Chaotic Masked Audio Signal from a Single Channel

Ali Can ÇABUKER*, Mehmet Nuri ALMALI, İshak PARLAR

Van Yuzuncu Yil University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering
65080, Van, Türkiye

Ali Can ÇABUKER, [ORCID No: 0000-0003-2011-2117](#), Mehmet Nuri ALMALI, [ORCID No: 0000-0003-2763-4452](#), İshak PARLAR, [ORCID No: 0000-0002-3383-8091](#)

*Corresponding author e-mail: alicancabuker@gmail.com

Article Info

Received: 08.06.2022

Accepted: 10.09.2022

Online April 2023

DOI:[10.53433/yyufbed.1127800](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1127800)

Keywords

Chaotic masking audio signal,
Chaotic signal synchronization,
Frequency division
multiplexing (FDM),
Histogram analysis,
Sprott chaotic system

Abstract: Data security is very crucial for communication systems. Encryption methods are frequently used to ensure security. Chaotic oscillators are used for the encryption of data because they produce signals that do not repeat themselves. Identical chaotic oscillators should be used and synchronized with each other in order to perform encryption and decryption processes healthily. In this study, the encrypted data and synchronization signal are transmitted to the receiver side using the frequency division multiplexing (FDM) method to realize the synchronization between two chaotic oscillators. High-frequency keying is used to increase the encryption quality of the signal to be encrypted on the transmitter side. Proportional-Integral-Derivative (PID) control is used to provide synchronization between two chaotic oscillators. The correlation test, peak signal to noise ratio (PSNR), mean square error (MSE) and spectral entropy were used to determine the accuracy relationship between the original signal and the decryption signal. As a result, simulation programs and numerical analysis verified the encryption success and reliability of the created system.

Tek Bir Kanaldan Kaotik Maskelenmiş Ses Sinyalinin İletilmesi

Makale Bilgileri

Geliş: 08.06.2022

Kabul: 10.09.2022

Online Nisan 2023

DOI:[10.53433/yyufbed.1127800](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1127800)

Anahtar Kelimeler

Frekans bölmeli çoğullama (FBÇ),
Histogram analizi,
Kaotik maskeleyme ses sinyali,
Kaotik sinyal senkronizasyonu,
Sprott kaotik sistemi

Öz: Veri güvenliği iletişim sistemleri için çok önemlidir. Güvenliği sağlamak için şifreleme yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Kaotik osilatörler, kendilerini tekrar etmeyen sinyaller ürettikleri için verilerin şifrelenmesi için kullanılır. Şifreleme ve şifre çözme işlemlerinin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için aynı kaotik osilatörler kullanılmalı ve birbirleri ile senkronize edilmelidir. Bu çalışmada, iki kaotik osilatör arasındaki senkronizasyonu gerçekleştirmek için frekans bölmeli çoğullama (FBÇ) yöntemi kullanılarak şifrelenmiş veri ve senkronizasyon sinyali alıcı tarafına iletilmiştir. Verici tarafında şifrelenecek sinyalin şifreleme kalitesini artırmak için yüksek frekanslı anahtarlar kullanılır. Oransal-İntegral-Türevsel (OIT) kontrol, iki kaotik osilatör arasında senkronizasyon sağlamak için kullanılır. Orijinal sinyal ile şifre çözme sinyali arasındaki doğruluk ilişkisini belirlemek için korelasyon testi, tepe sinyali gürültü oranı (TSGO), ortalama kare hatası (OKH) ve spektral entropi kullanıldı. Sonuç olarak oluşturulan sistemin şifreleme başarısı ve güvenilirliği simülasyon programları ve sayısal analizler ile doğrulanmıştır.

1. Introduction

Chaotic signals never repeat themselves periodically during the oscillation process, and chaotic signals are nonlinear. Because of these features, they have been used extensively in communication systems to prevent message signals from being masked and unauthorized users from accessing data (Lorenz, 1963; Chua, 1993; Sprott, 2000). The masking of the data with chaotic signals has also brought about the synchronization problem on the receiver side. Although the transmitter and receiver sides have identical chaotic oscillators, the difference between the oscillators in real-time operation occurs. Various synchronization studies have been conducted to eliminate this difference (Pecora & Carroll, 1990; Almeida et al., 2006; Yau, 2008; Atan, 2016; Elkholy et al., 2016). Due to the synchronization process, more than one transmission channel is used on the receiver and transmitter sides in chaotic communication systems (Kiani-B et al., 2009; Sheu et al., 2010; Vafamand et al., 2018). Many multiplexing methods are used to reduce the number of transmission channels. There are analogue and digital multiplexing methods such as Frequency-division multiplexing (FDM), Wavelength-division multiplexing (WDM), Time-division multiplexing (TDM), Code-division multiplexing (CDM) (Wu, 2010; Feng et al., 2010; Han et al., 2013; Sofi et al., 2017). FDM, one of the analogue multiplexing methods, is based on the principle that the signals to be carried in a transmission channel are placed and transported on the frequency band in accordance with the guard bands (Wu, 2010). The placement of the signals on the frequency band is realized by double side-band amplitude modulation (Pursley, 2002; Rao, 2018). In this study, mask and decoding processes were performed for two speech signals and two music signals. In the following sections, the experimental methods of the study, the proposed encryption scheme, synchronization, simulation and the results of security analysis methods such as Histogram Analysis, Spectral Entropy, Correlation Test, PSNR and MSE Test are given.

Today, frequency division multiplexing has different applications. Frequency division multiple access (FDMA) system is used to transmit image data using chaotic interleaving (Mehallel et al., 2021). In addition, Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) is used for multiplexing on 4G mobile lines. OFDM has also been used to transmit chaotic-based encrypted audio signal and used multi-carrier chaotic Communication (Chen et al., 2019; El-Zoghdy et al., 2020). Generalized frequency division multiplexing (GFDM) is a multi-carrier method for the secure transmission of data for the next generation communication band, 5G (Kumar et al., 2021). Another usage area of GFDM is for underwater systems to communicate with each other. In the study, acoustic communication of underwater systems was provided (Hebbar & Poddar, 2020). GFDM has been used not only in unencrypted but also in encrypted communication systems. For example, GFDM has been used in a structure based on the encoding of audio signals in hyperchaotic systems (Ameen & Hreshee, 2022).

2. Material and Methods

2.1. Audio signal masking in FDM

In the FDM method, masking and transmitting the audio signal can be achieved by increasing the width of the guard band. The guard band shown in Figure 1 is used to reduce the interference of signals in the same channel.

The guard bands in frequency division multiplexing allow signals to be separated from each other with eighth-order Butterworth filters at the receiver side. (Andrew, 1976). The wall effect of the Butterworth filter order is shown in Figure 2. Increasing the filter order contributes to separating signals transmitting the same channel.

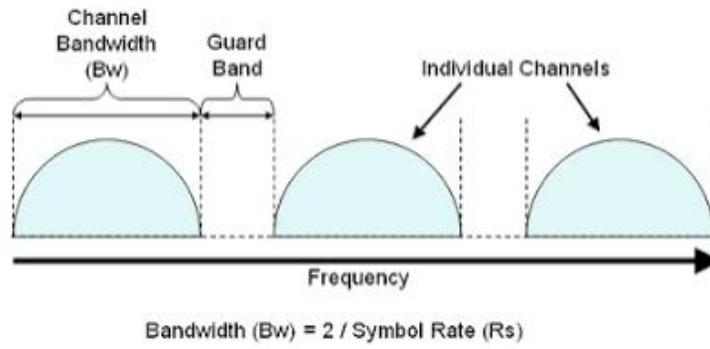


Figure 1. FDM channels and guard band relationship.

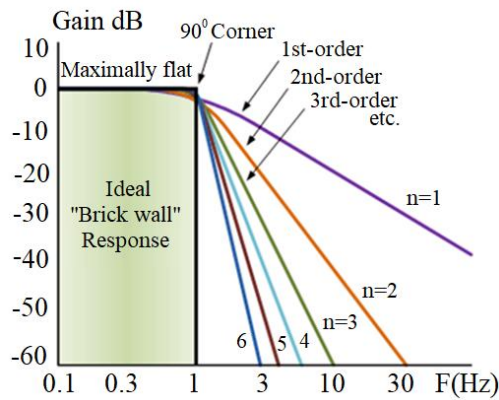


Figure 2. The wall effect of the Butterworth filter order.

2.2. Chaotic system

The Sprott chaotic oscillator, which is generally preferred, is chosen for masking the audio signals. For this purpose, the chaotic switching method was used in our system.

2.2.1. Sprott chaotic system

The mathematical expressions of the Sprott chaotic oscillator are given in Eq.1 (Chen et al., 2008; Almalı & Dikici, 2016).

$$\begin{aligned} x' &= y' \\ y' &= z' \\ z' &= a.x + b.y + c.z + 2\text{sign}(x) \end{aligned} \quad (1)$$

x , y and z are the chaotic signals in equation 1. The initial values of the variables x , y and z are taken as $x(0) = 0$, $y(0) = 1$ and $z(0) = 0$ and a , b and c coefficients are taken as $a = -1.2$, $b = -1$ and $c = 0.6$. Figure 3 shows the x - y chaotic attractor and initial conditions of the Sprott chaotic system.

Chaotic signals show a very sensitive behaviour against the a , b and c coefficient values used in Eq. 1.

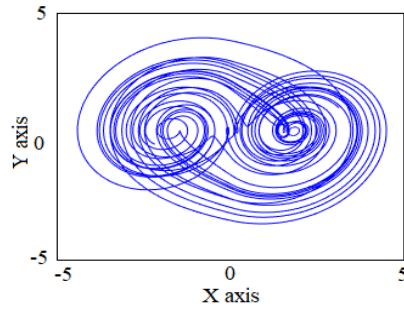


Figure 3. X-Y Sprott chaotic signals attractor.

2.2.2. Chaotic based key system

The general structure of a chaotic based key system is shown in Figure 4:

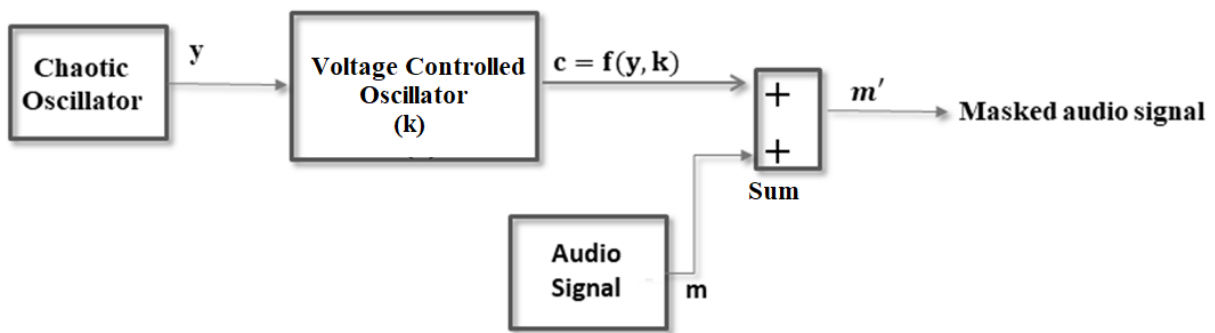


Figure 4. Chaotic base key system.

Thanks to the random key, the distortion of the data is increased, the signal of the data is entirely distorted, and its intelligibility is wholly eliminated. The random key minimized the data security problem and enabled the data to be encrypted.

2.3. Proposed masking scheme

The general structure of the FDM-based chaotic masking system is shown in Figure 5. This system's general purpose is to communicate between the receiver and the transmitter over a single channel.

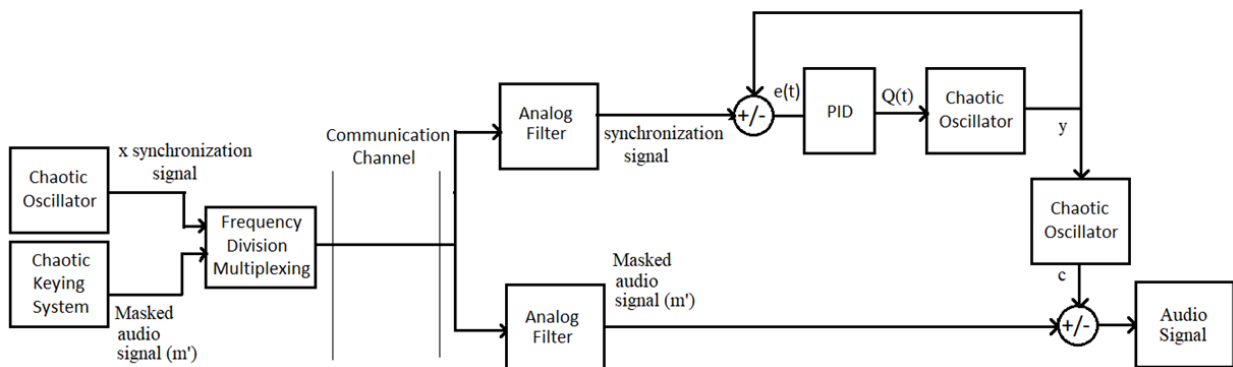


Figure 5. Chaotic masking system.

In order to eliminate unauthorized users' access to data in the transmission channel and the

mathematical expression of the chaotic encryption system in Figure 5 is given in Eq. 2 and Eq. 3.

$$c = f(y, k) \tag{2}$$

$$m' = f(c, m) \tag{3}$$

In equations, c is the chaotic random key of the y chaotic signal, and k is the function of keying. The key c is obtained to encrypt the message signal (m). The message signal is encrypted, and m' masked audio signal is obtained by the key. In contrast, in algorithmic key-based encryption, random key generation is performed using a voltage-controlled oscillator depending on the dynamics of the Sprott chaotic oscillator (Keuninckx et al., 2017).

2.4. Synchronization

PID controller is used to synchronising identical chaotic oscillators in the system. K_p , K_i and K_d values, which are the coefficients of the PID controller, were found by trial and error with PID tuning. In order to find the K_p , K_i and K_d coefficients, the adjustment in the properties of the PID block diagram on MATLAB/Simulink was used, considering the rise time, the overshoot and how fast it reached the reference value. In this block diagram, it is possible to set how fast the system will respond or have robust behavior. In order to make the synchronization fast, it is crucial to reach the reference value quickly. The reason for this is to prevent data loss in communication. It is shown in Figure 6. The values found are $K_p = 21.12$, $K_i = 11.81$ and $K_d = 7.65$, respectively. The expressions of the chaotic oscillator used on the receiving side are given in Eq. 4 (Vaidyanathan et al., 2015; Almalı & Dikici, 2016).

$$\begin{aligned} x' &= y \\ y' &= z + Q(t) \\ z' &= a.x + b.y + c.z + 2sign(x) \end{aligned} \tag{4}$$

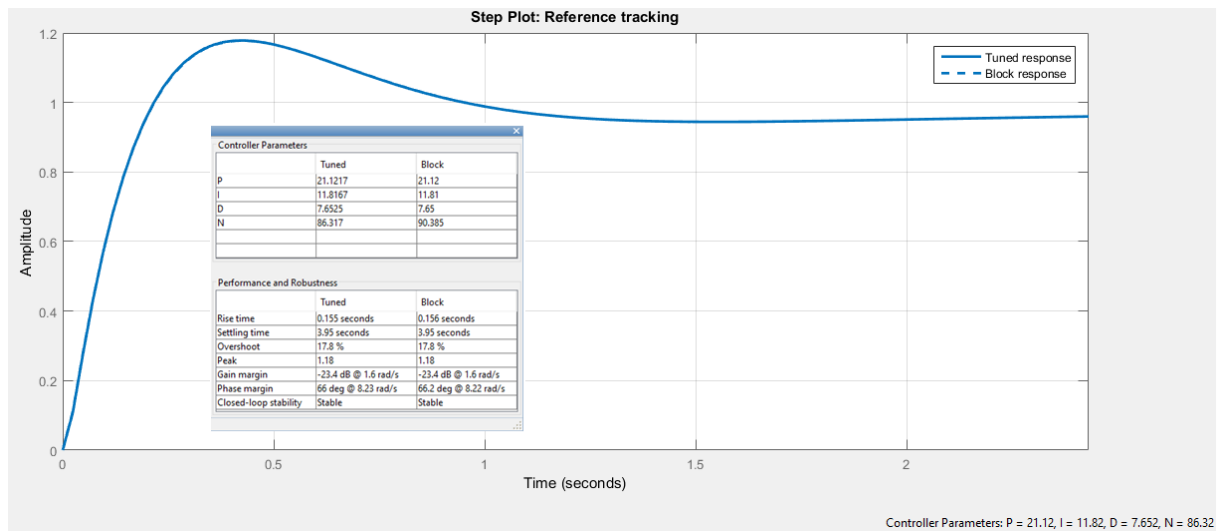


Figure 6. Synchronization of chaotic oscillators.

The only difference between the two chaotic oscillator equations is the $Q(t)$ value obtained from the PID output to synchronize the y signal. The standard PID controller model of $Q(t)$ value is given in Eq. 5.

$$Q(t) = K_p.e(t) + K_i. \int e(t) + K_d. \frac{d(e(t))}{dt} \tag{5}$$

$$e(t) = X_m(t) - X_s(t) \quad (6)$$

$X_m(t)$ is x master chaotic signal and $X_s(t)$ is x slave chaotic signal. Master and slave chaotic signals are written in $Q(t)$.

3. Results

The following methods were used to test the safety and success of the masking and decoding method applied to the audio signal;

- Histogram Analysis
- Spectral Entropy
- Correlation Test
- PSNR and MSE Tests

3.1. Simulation of masking and decrypting

In this section, encryption and decryption processes were performed. It was observed that the audio signals were completely distorted, and the original audio signal was obtained after the synchronization provided during decoding. The original, masked and decoded versions of four different audio signals, including selected speech and music, as examples are given in Figure 7 and Figure 8.

Figure 7 and Figure 8 shows the original, masked and decoded versions of audio and music signals. Here, it has been observed that synchronization must be provided to reach the actual signal on the receiver side. It is seen that the encrypted state of the signal continues for a particular time until the synchronization is achieved. After synchronization, an intelligible sound was received on the receiver side. As the synchronization time increases, the data loss on the receiver side will also increase.

3.2. Histogram analysis

In this study, histogram analysis was performed to examine the distribution of original, masked, and decoded voice data. Histogram analysis shows the relationship between the similarity of the original, masked and decoded audio signals (Lagmiri et al., 2018; Huang et al., 2019). Figure 9 and Figure 10 show histogram plots of the original, masked and decoded signals of Speech 1, Speech 2, Music 1 and Music 2. When the histogram plots of the audio signals were analyzed, changes in masking were also observed due to the success of random switching. It has been observed that the success of speech signals in both masking and decoding processes is higher than that of music signals. Because the data distribution of the music signal is different from the data distribution of the speech signal. In addition to the human voice, the music signal also includes the sound of musical notes. Different amplitudes and rapid changes in music signals cause distortions in amplitude modulation.

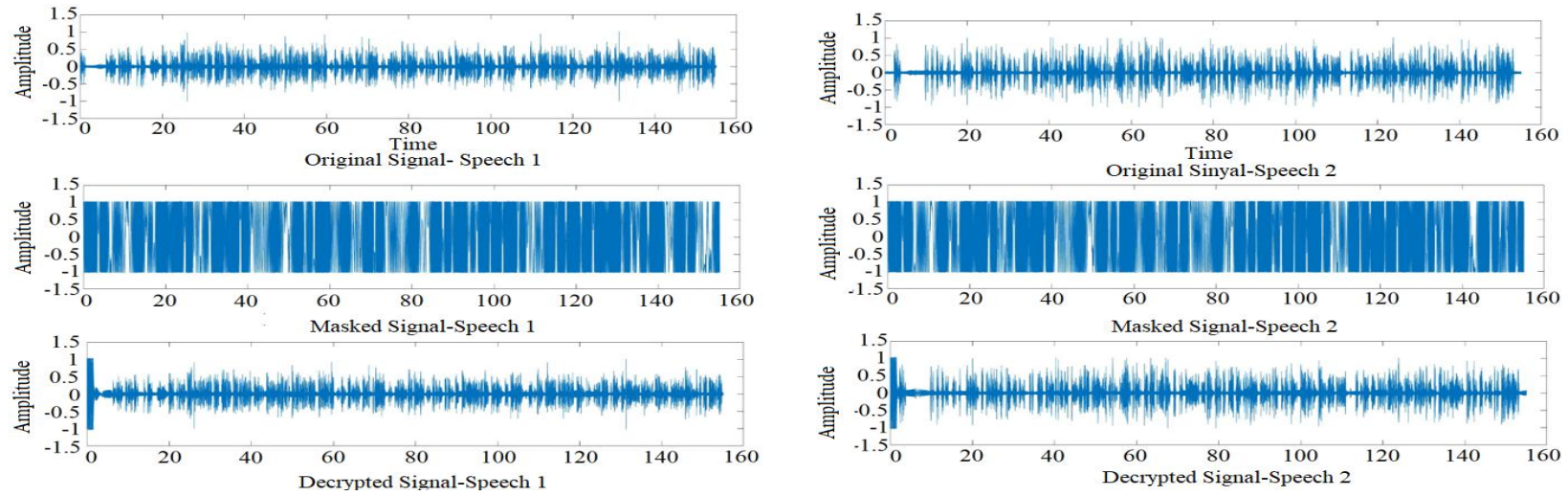


Figure 7. Audio (speech tests) signals.

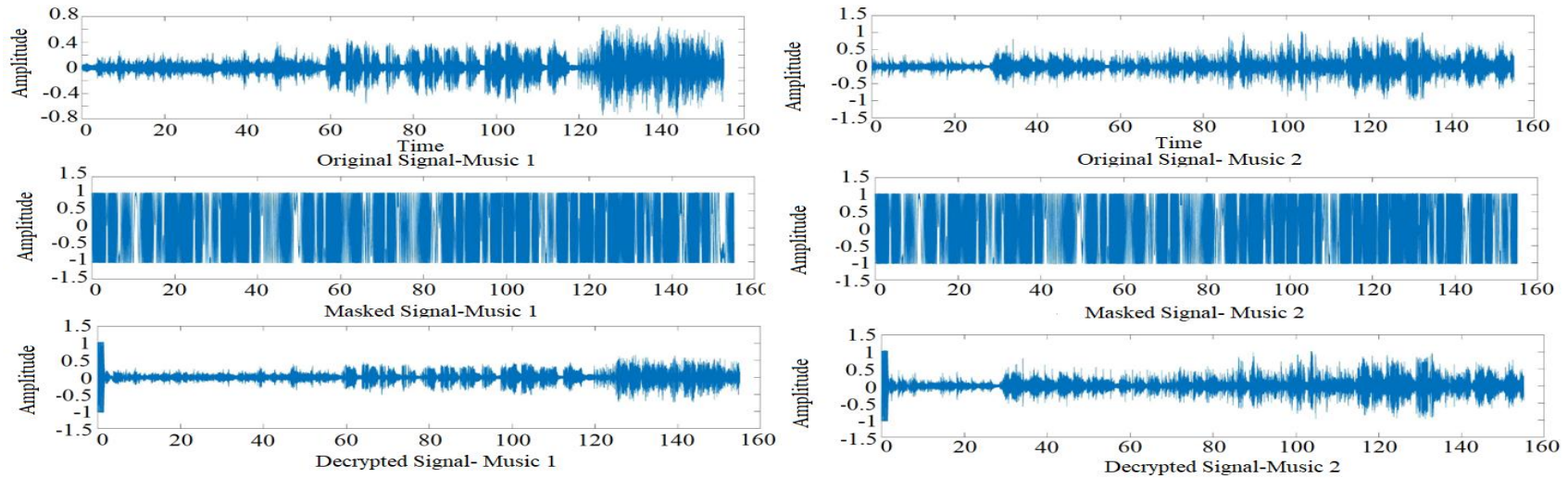


Figure 8. Audio (music tests) signals.

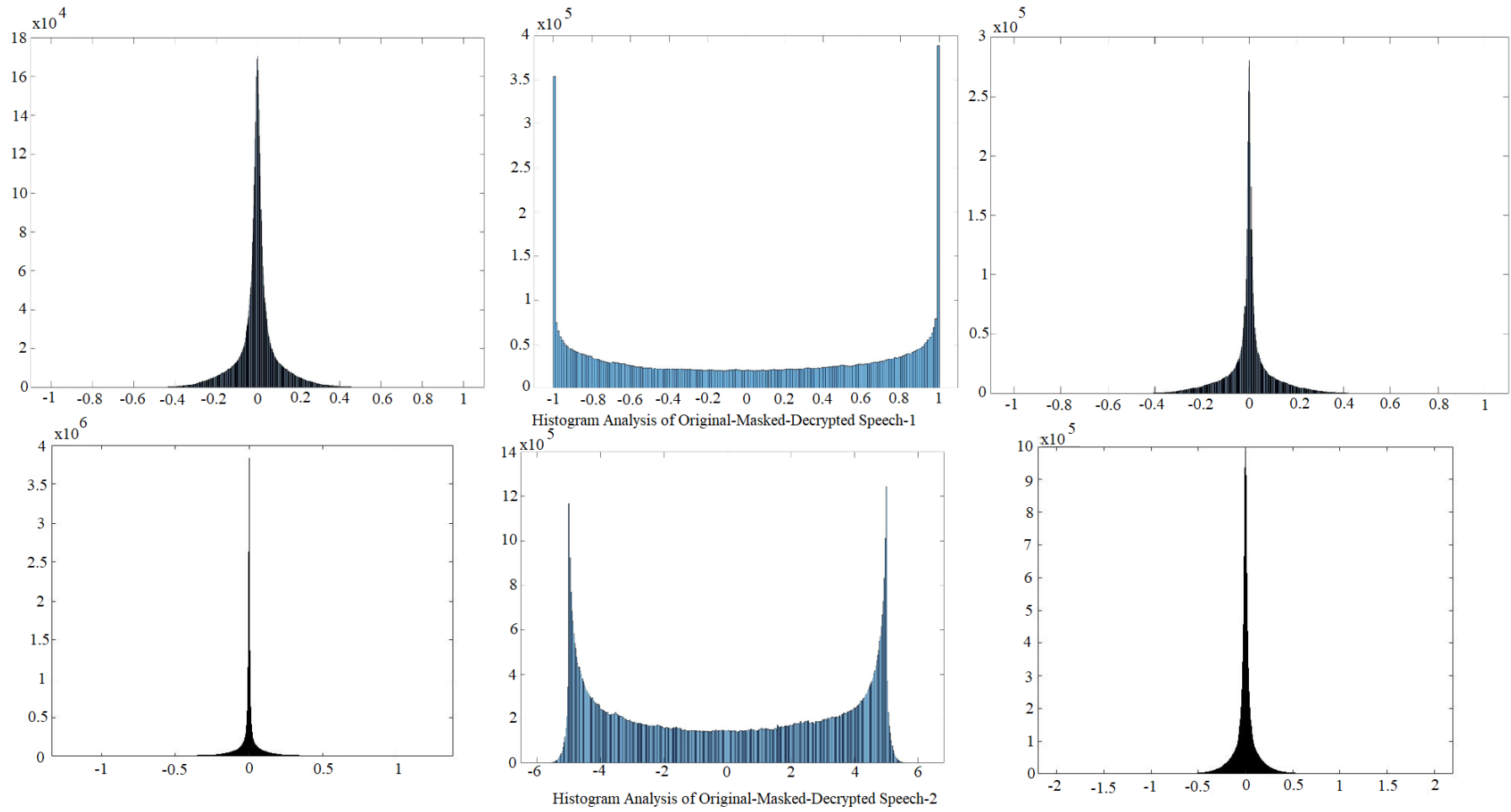


Figure 9. Histogram analysis of speech signals.

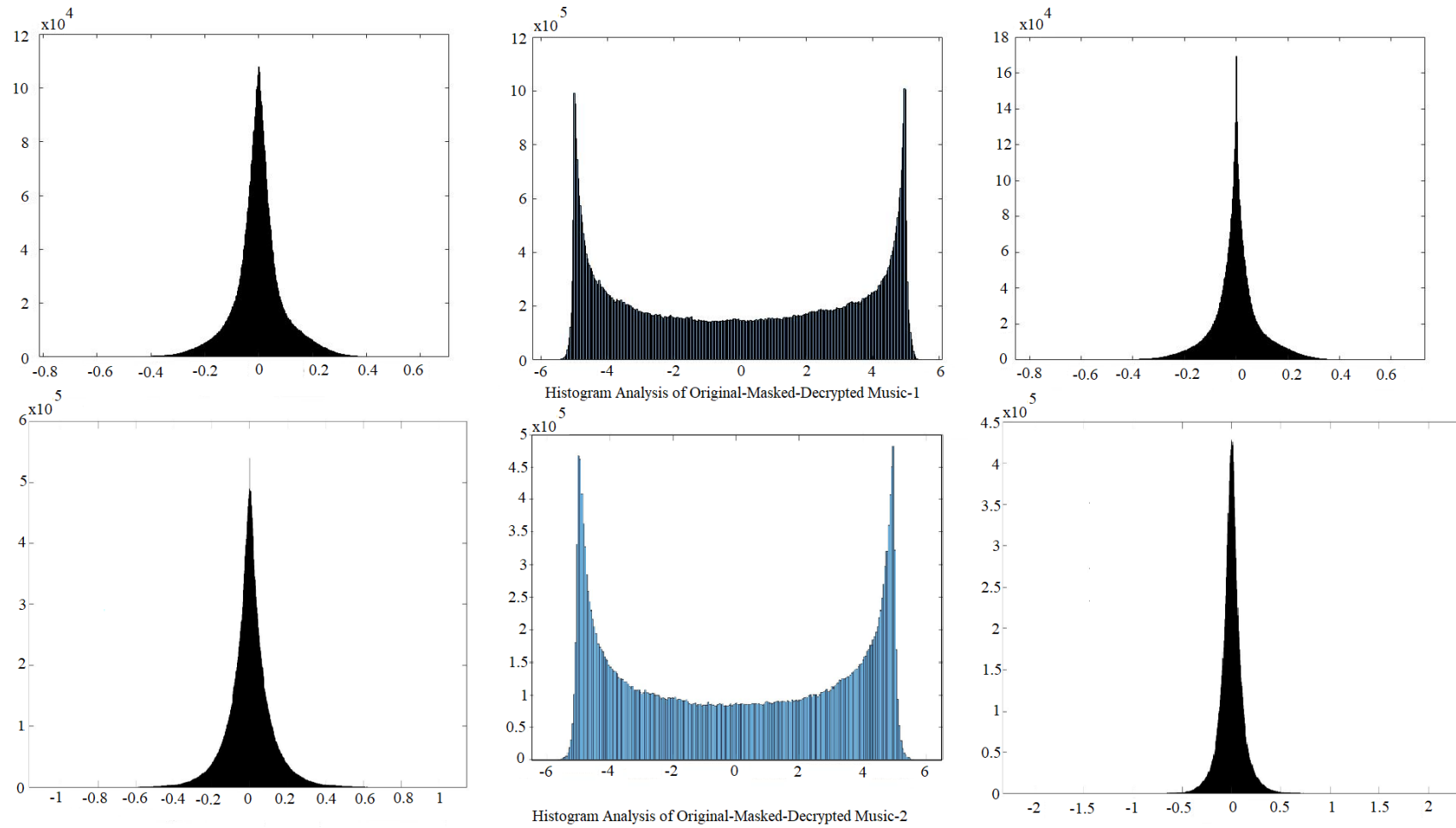


Figure 10. Histogram analysis of music signals.

3.3. Spectral entropy of audio signals

Spectral entropy is used to detect the region and movement of silences and speech activities in audio data. Thus, it is revealed whether the compared data belong to the same audio data (Toh et al., 2005). In spectral entropy graphs, the entropies of the original audio signals and the decoded audio signals locally alternate in value and motion. Masked signals do not resemble the original signal regarding value and movement. In the simulation, the difference between the decoded and original signals after synchronization is eliminated. The spectral entropy of the signal is shown in Figure 11 and Figure 12.

3.4. Correlation tests

Correlation test is a method used to examine the relationship between data. It can take values between -1 and 1. The correlation value close to -1 means a negative relationship, close to 1 means a positive relationship, and close to 0 means no relation between them (Sathiyamurthi & Ramakrishnan, 2017; Lagmiri et al., 2018). The mathematical expression of correlation is given in Eq. 7.

$$r_{xk} = \frac{c_{xk}}{\sqrt{V(x) \cdot V(k)}} \quad (7)$$

While c_{xk} gives the covariance between the two data, $V(x)$ gives the variances of the original signal and $V(k)$ gives the variances of the masked signal. Correlation values are given in Table 1 to explain the relationship between the different audio signals used in the study and the masked and decrypted signals.

Table 1. Correlation of signals

Correlation	Original/Masked	Original/Decrypted
Speech 1	0.1226	0.8200
Speech 2	0.1463	0.8220
Music 1	0.1172	0.8221
Music 2	0.1505	0.7999

The correlation value determines the level of relationship between the signals. A value of 0.7 and above indicates that the relationship between the signals is positive and strong, and a value between 0-0.3 indicates that the relationship is positive and weak (Rumsey, 2016; Sathiyamurthi & Ramakrishnan, 2017; Lagmiri et al., 2018). In the correlation values obtained in this study, it was found that there was a robust relationship between the original and the decrypted signal and a weak relationship between the original and the masked signal. These correlation values were adequate according to the reference ranges given above.

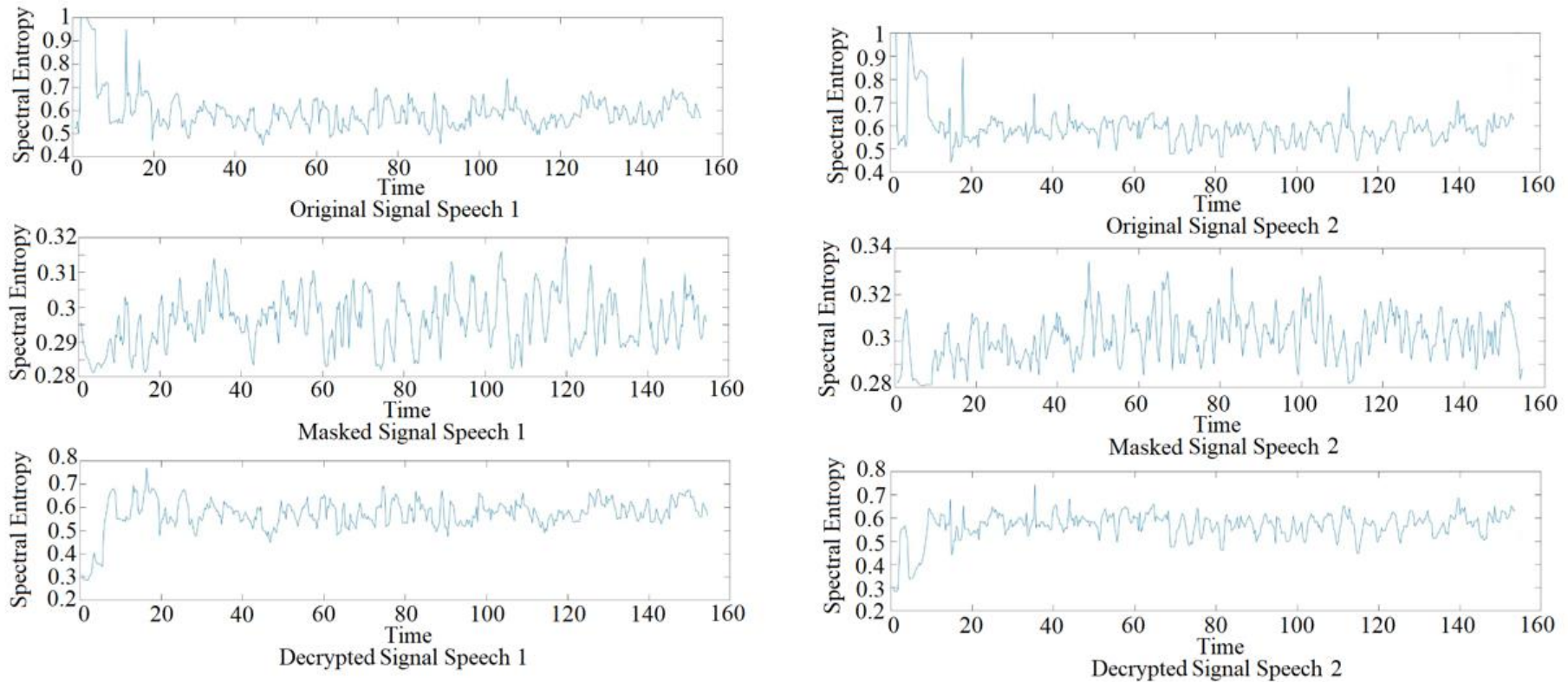


Figure 11. Spectral entropy of Speech signals.

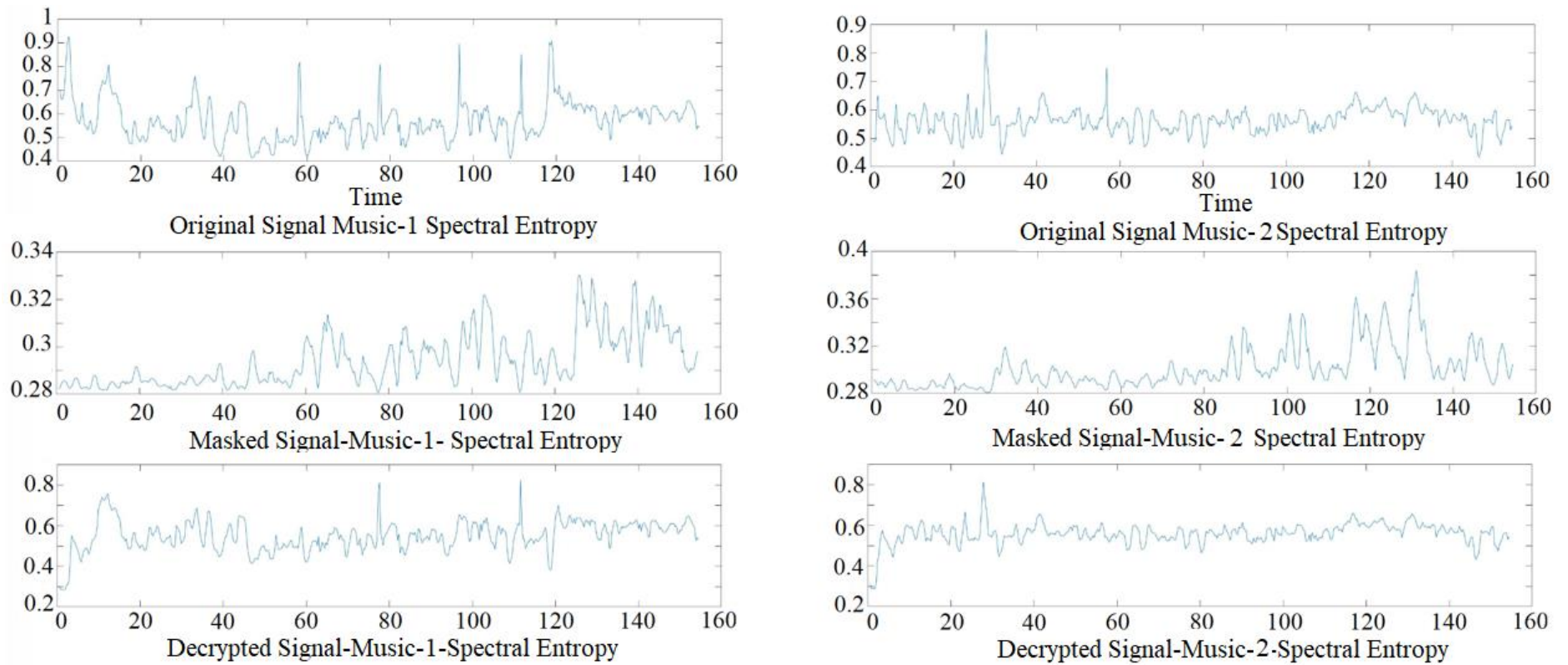


Figure 12. Spectral entropy of music signals.

3.5. PSNR and MSE tests

The PSNR test is the ratio between the maximum power that the original audio signal can reach and the strength of the encrypted audio signal. This ratio can also be made with the sound decrypted or with the original sound. However, this ratio should be low between original/ masked and high between original / decrypted (Sathiyamurthi & Ramakrishnan, 2017; Lagmiri et al., 2018). The mathematical expression used in calculating the PSNR value in Eq. 8 and the PSNR values of the different audio signals used in this study are given in Table 2.

$$PSNR = 10 \log \frac{n \cdot x^2}{\|x - k\|^2} \quad (8)$$

Table 2. PSNR test of audio signals

	Speech 1	Speech 2	Music 1	Music 2
Original/Decrypted	25.73	24.74	32.62	31.07
Original/Masked	3.14	3.16	3.09	3.10

In Eq. 8, n is the number of data, x is the original signal, and k is the masked signal. The high PSNR test value is due to the low MSE value between the original and decrypted signals. Similarly, the high PSNR value between the original and the masked is due to the high MSE (Almalı & Dikici, 2016). The PSNR test and MSE values were measured between 15-25 seconds of audio signals MSE values of the studied audio signals are presented in Table 3.

Table 3. MSE test of audio signals

MSE	Speech 1	Speech 2	Music 1	Music 2
Original/Decrypted	0.0027	0.0037	5.40e-04	7.81e-4
Original/Masked	0.9296	0.4826	0.4902	0.4893

When the mean squared error is close to or zero, the two data are considered to have a high similarity rate or the data to be the same. As can be seen in Table 3, it was observed that the mean of error squares between the original and decoded audio and music signals was low and close to zero. This gives the result that the decryption process is successful. Likewise, when the original and masked audio signals were compared, it was observed that the mean squared error value approached 1 and the two data were different from each other due to the increase in the amount of error, that is, the masking process was performed successfully.

PSNR value is used for sound quality comparison. The higher the PSNR value, the higher the sound quality. When the original and decoded music and audio signals were compared in terms of PSNR value, it was seen that the value did not fall below the acceptable values of 20-25 dB and the decoding process was successful. Likewise, when the original and masked signals were compared, it was concluded that the PSNR value was low and the encryption process was successful.

4. Discussion and Conclusion

In this study, four different audio signals are masked with the help of a signal from a chaotic oscillator. The masked audio signal and a second chaotic signal to synchronize the system were transmitted over a single channel with the FDM method. In this method, signals are placed in the frequency spectrum using DSB-SC amplitude modulation. In addition, shielding bands have been created to prevent overlap between signals. The synchronization of the second identical chaotic oscillator was achieved on the receiver side using the split synchronization signal PID controller. The masked audio signal was decrypted using the resulting chaotic signal. Some tests such as histogram analysis, PSNR, MSE, correlation test and spectral entropy were performed for the four different audio

signals sampled. The distribution of masked and decoded audio data with the original audio data was examined in histogram analysis charts. It was observed that the data distribution of the original signal was similar to the decoded signal, with differences from the masked signal. It was seen in histogram analysis that masking and decoding in speech signals were more successful.

The masking process in the music signals was not as successful as the speech signals and was reflected in the MSE values. The mean frame error between the original music and the decoded music was lower than the speech signals, which is attributed to the ease of unmasking the music signals. For the original/decrypted signals, the MSE was calculated as 0.0027 for Speech 1 and 5.40e-04 for Music 1. Similarly, this effect was observed in PSNR values. It was observed that the PSNR values of the music signals were higher than the speech signals. For decoded signals, the PSNR of Speech 1 was calculated as 25.73, while the PSNR of Music 1 was calculated as 32.62.

The typical PSNR test value is between 20 and 40 (Thomos et al., 2005). Since the MSE values between the decoded and original audio signals are not zero, the PSNR value value between the original and decrypted is infinite. Spectral entropy was used to track the region and movement of the audio signals. In the spectral entropy simulations, it has been observed that the original and decoded audio signals are in the same ranges and follow each other. When the spectral entropies of the original and masked signals were compared, it was determined that the intervals and movements were different from each other.

Finally, correlation analysis was performed on the voice data. In the correlation test, the relationship between the signals was examined. The correlation test value between 0.1 and 0.3 indicates a weak and positive relationship, and values between 0.7 and 1 indicate a strong relationship. It was determined that the audio data had a positive and weak correlation between the original and masked signals and a positive and strong correlation between the original and decoded signals. In correlation tests of the Speech 1 signal, it was determined to be 0.1226 between the original and masked signals and 0.82 between the original decoded signals. Other correlation test values were found to be close to these values. It can be inferred from the results obtained in the study that the proposed system is reliable and successful in encryption. In addition, it is thought that using a single channel to transmit the masked audio signal and synchronization signal to the receiving side will provide public telephones and AM, FM broadcasting practical benefits in communication systems for analogue signals. It provides communication security, and slow narrowband fade is prevented.

References

- Almalı, M. N., & Dikici, Z. (2016). The simulation of sound signal masking with different chaotic oscillations and its circuit application. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 24(5), 4284-4293. doi:10.3906/elk-1504-264
- Almeida, D. I. R., Alvarez, J., & Barajas, J. G. (2006). Robust synchronization of Sprott circuits using sliding mode control. *Chaos, Solitons & Fractals*, 30(1), 11-18. doi:10.1016/j.chaos.2005.09.011
- Ameen, M. J. M., & Hreshee, S. S. H. (2022). Hyperchaotic modulo operator encryption technique for massive multiple input multiple output generalized frequency division multiplexing system. *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, 14(2), 311-329. doi:10.15676/ijeei.2022.14.2.4
- Andrew, H. J. (1976). *Stochastic Processes and Filtering Theory*. Newyork, USA: Academic Press
- Atan, Ö. (2016). Synchronisation and circuit model of fractional-order chaotic systems with time-delay. *IFAC-PapersOnLine*, 49(29), 68-72. doi:10.1016/j.ifacol.2016.11.097
- Chen, C. H., Chang, C. F., Yan, J. J., & Liao, T. H. (2008). EP-based PID control design for chaotic synchronization with application in secure communication. *Expert Systems with Applications* 34(2), 1169-1177. doi:10.1016/j.eswa.2006.12.023
- Chen, M., Xu, W., Wang, D., & Wang, L. (2019). Multi-carrier chaotic communication scheme for underwater acoustic communications. *IET Communications*, 13(14), 2097-2105. doi:10.1049/iet-com.2018.5524
- Chua, L. O., Wu, C.W., Huang, A., & Zhong G.Q. (1993). A universal circuit, for studying and generating chaos. I. Routes to chaos. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*, 40(10), 732-744. doi:10.1109/81.246149

- Elkholy, M., El Hennawy, H. M., & Elkouny, A. (2016). *Real time implementation of secure communication system based on synchronization of hyper chaotic systems*. 2016 33rd National Radio Science Conference (NRSC), Aswan, Egypt. doi:10.1109/NRSC.2016.7450849
- El-Zoghdy, S. F., El-sayed, H. S., & Faragallah, O. S. (2020). Transmission of chaotic-based encrypted audio through OFDM. *Wireless Personal Communications*, 113(1), 241-261. doi:10.1007/s11277-020-07187-4
- Feng, Y., Li, J., & Yu, X. (2010). *Multi-dimensional signals transmission via single channel for chaos synchronization*. IECON 2010-36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, Glendale, AZ, USA. doi:10.1109/IECON.2010.5675531
- Han, F., Feng, Y., & Qi, C. (2013). Time division multiplexing based multiple synchronised chaotic signals transmission. *Electronics Letters*, 49(1), 42-44. doi:10.1049/el.2012.3950
- Hebbar, R. P., & Poddar, P. G. (2020). Generalized frequency division multiplexing-based acoustic communication for underwater systems. *International Journal of Communication Systems*, 33(10), e4292. doi:10.1002/dac.4292
- Huang, H., Yang, S., & Ye, R. (2019). Image encryption scheme combining a modified Gerchberg-Saxton algorithm with hyper-chaotic system. *Soft Computing*, 23, 7045-7053. doi:10.1007/s00500-018-3345-0
- Keuninckx, L., Soriano, M. C., Fischer, I., Mirasso, C. R., Nguimdo, R. M., & Van der Sande, G. (2017). Encryption key distribution via chaos synchronization. *Scientific Reports*, 7(1), 1-14. doi:10.1038/srep43428
- Kiani-B, A., Fallahi, K., Pariz, N., & Leug, H. (2009). A chaotic secure communication scheme using fractional chaotic systems based on an extended fractional Kalman filter. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 14(3), 863-879. doi:10.1016/j.cnsns.2007.11.011
- Kumar, P., Kansal, L., Gaba, G. S., Mounir, M., Sharma, A., & Singh, P. K. (2021). Impact of peak to average power ratio reduction techniques on Generalized Frequency Division Multiplexing for 5th generation systems. *Computers and Electrical Engineering*, 95, 107386. doi:10.1016/j.compeleceng.2021.107386
- Lagmiri, S. N., Elalami, J., Sbiti, N., & Amghar, M. (2018). Hyperchaos for improving the security of medical data. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(3), 1049-1055. doi:10.14419/ijet.v7i3.10572
- Lorenz, E. N. (1963). Deterministic nonperiodic flow. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 20(2), 130-141. doi:10.1175/1520-0469(1963)020%3C0130:DNF%3E2.0.CO;2
- Mehallel, E., Abed, D., Boukaache, A., & Bouchemel, A. (2021). Enhancement of image transmission using chaotic interleaving with discrete wavelet transform-based single-carrier frequency division multiple access system. *International Journal of Communication Systems*, 34(7), e4728. doi:10.1002/dac.4728
- Pecora, L. M., & Carroll, T. L. (1990). Synchronization in chaotic systems. *Physical Review Letters*, 64(8), 821. doi:10.1103/PhysRevLett.64.821
- Pursley, M. B. (2005). *Introduction to Digital Communications*. USA: Pearson/Prentice Hall.
- Rao, R. P. (2018). Real time audio signal processing through DSB-SC using Simulink. *International Journal of Scientific Development and Research (IJSDR)*, 3(6), 52-55.
- Rumsey, D. J. (2016). How to interpret a correlation coefficient r. *Statistics for dummies*, 26. <http://mathaction.pbworks.com/w/file/attach/133081815/3.CorrelationCoefficient.pdf> Date of access: 10.05.2022.
- Sathiyamurthi, P., & Ramakrishnan, S. (2017). Speech encryption using chaotic shift keying for secured speech communication. *EURASIP Journal on Audio, Speech, and Music Processing*, 1-11. doi:10.1186/s13636-017-0118-0
- Sheu, L. J., Chen W. C., Chen, Y. C., & Weng, W. T. (2010). A two-channel secure communication using fractional chaotic systems. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 65, 1057-1061. doi:10.5281/zenodo.1079581
- Sofi, N., Bendimerad, F. T., & Debbat, F. (2017, May). Compromise between spectral efficiency and interference cancellation in OFDM system. In *2017 International Conference on Engineering & MIS (ICEMIS)*, 1-7. IEEE. doi:10.1109/ICEMIS.2017.8273009
- Sprott, J. C. (2000). A new class of chaotic circuit. *Physics Letters A*, 266(1), 19-23. doi:10.1016/S0375-9601(00)00026-8

- Thomos, N., Boulgouris, N. V., & Strintzis, M. G. (2005). Optimized transmission of JPEG2000 streams over wireless channels. *IEEE Transactions on Image Processing*, 15(1), 54-67. doi:10.1109/TIP.2005.860338
- Toh, A. M., Togneri, R., & Nordholm, S. (2005). Spectral entropy as speech features for speech recognition. *Proceedings of PEECS*, 1, 92.
- Vafamand, N., Khorshidi, S., & Khayatian, A. (2018). Secure communication for non-ideal channel via robust TS fuzzy observer-based hyperchaotic synchronization. *Chaos, Solitons & Fractals*, 112, 116-124. doi:10.1016/j.chaos.2018.04.035
- Vaidyanathan, S., Idowu, B. A., Azar, A. T. (2015). Backstepping Controller Design for the Global Chaos Synchronization of Sprott's Jerk Systems. In A., Azar, & S., Vaidyanathan (Eds) *Chaos Modeling and Control Systems Design. Studies in Computational Intelligence*, (pp. 39-58). Springer, Cham. doi:10.1007/978-3-319-13132-0_3
- Wu, D. (2010, August). *Application research on frequency-division multiplexing to chaos secret communication*. 2010 International Conference of Information Science and Management Engineering, Shaanxi, China. doi:10.1109/ISME.2010.180
- Yau, H. T. (2008). Chaos synchronization of two uncertain chaotic nonlinear gyros using fuzzy sliding mode control. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 22(2), 408-418. doi:10.1016/j.ymsp.2007.08.007



Research Article

Theoretical Investigation of Some Synthesized 3-Arylamino-5-[2-(Substituted 1-imidazole) Ethyl 1]-1,2,4-Triazole Derivatives

Aybek YİĞİT*¹, Zeynep Şilan TURHAN²

¹ Iğdır University, Research Laboratory Application and Research Center, 76000, Iğdır, Türkiye

² Iğdır University, Faculty of Science and Literature, Department of Biochemistry, 76000, Iğdır, Türkiye

Aybek YİĞİT, [ORCID No: 0000-0001-8279-5908](https://orcid.org/0000-0001-8279-5908), Zeynep Ş. TURHAN, [ORCID No: 0000-0002-3587-2576](https://orcid.org/0000-0002-3587-2576)

*Corresponding author e-mail: aybek.yigit@igdir.edu.tr

Article Info

Received: 30.05.2022

Accepted: 12.09.2022

Online April 2023

DOI: [10.53433/yyufbed.1123076](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1123076)

Keywords

Antimicrobial,
Chemical Parameters,
DFT,
Imidazole,
Nonlinear Optical Properties,
1,2,4-triazole

Abstract: In this study, quantum chemical calculations were made and interpreted to obtain chemical, nonlinear optical properties and antibacterial activity parameters of eight 1,2,4-triazole derivatives. In addition, the most stable structure was found in the B3LYP/6-311++G(d,p) method by optimizing the density functional theory of eight compounds. Based on the results of optimized molecules, HOMO-LUMO energies and chemical parameters calculated from these energy values (I: ionization potential, A: electron affinity, ΔE energy gap, χ : electronegativity, σ : molecular softness, η : molecular hardness, ω : electrophilic index, ϵ : nucleophilic index, μ : chemical potential) values were determined.

Bazı Sentezlenmiş 3-Arylamino-5-[2-(Süstitüe Edilmiş 1-İmidazol) Etil 1]-1,2,4-Triazol Türevlerinin Teorik İncelenmesi

Makale Bilgileri

Geliş: 30.05.2022

Kabul: 12.09.2022

Online Nisan 2023

DOI: [10.53433/yyufbed.1123076](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1123076)

Anahtar Kelimeler

Antimikrobiyal,
DFT,
Doğrusal olmayan optik özellikler,
İmidazol,
Kimyasal parametreler,
1,2,4-triazole

Öz: Bu çalışmada, sekiz adet 1,2,4-triazol türevinin kimyasal, doğrusal olmayan optik özellikleri ve antibakteriyel aktivite parametrelerini elde etmek için kuantum kimyasal hesaplamaları yapılmış ve yorumlanmıştır. Ayrıca, sekiz bileşiğin en kararlı yapıları, yoğunluk fonksiyonel teorisinde B3LYP/6-311++G(d,p) kullanılarak optimize edilerek bulunmuştur. Optimize edilmiş moleküllere ait sonuçlardan yola çıkarak HOMO-LUMO enerjileri ve bu enerji değerlerinden hesaplanan kimyasal parametreler (I: iyonizasyon potansiyeli, A: elektron ilgisi, ΔE enerji aralığı, χ : elektronegatiflik, σ : moleküler yumuşaklık, η : moleküler sertlik, ω : elektrofilik indeks, ϵ : nükleofilik indeks, μ : kimyasal potansiyel) değerleri belirlendi.

31++G(d,p). The calculation results did not yield any negative frequency results (Turhan Irak & Gümüş, 2017; Manap & Medetalibeyoğlu, 2018).

The HP420WS desktop computer with Intel Xeon® CPU E5-1650 v2Q 3.50 GHz X 12 64-bit 48 GIB is used in the calculations. Calculations were carried out on the WINDOWS operating system, with high-performance server systems (workstations).

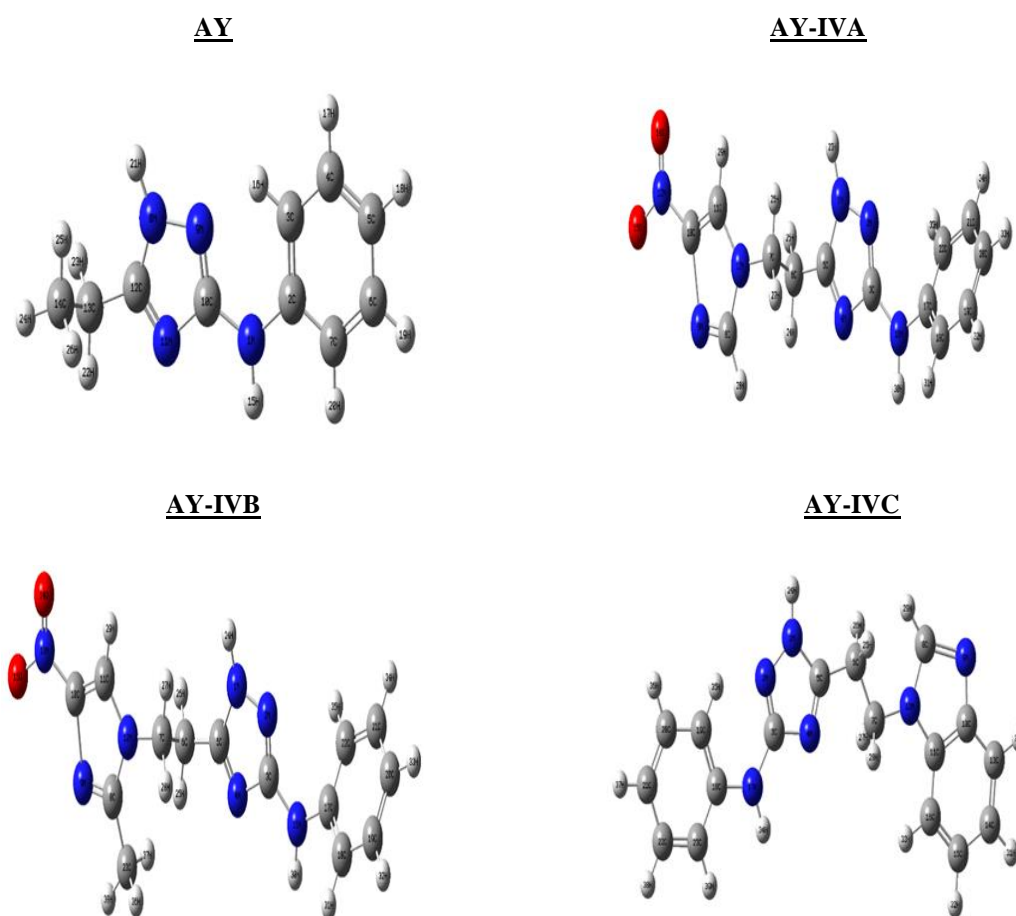
3. Results

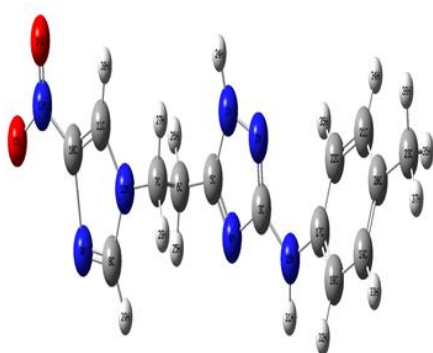
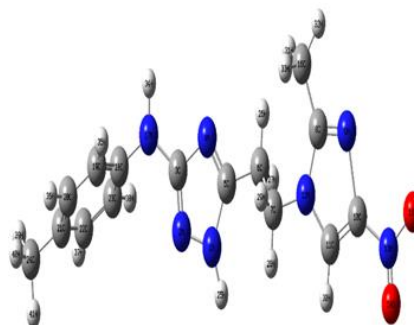
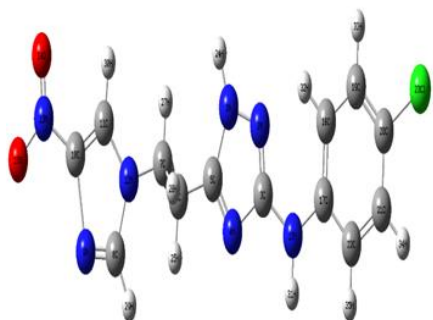
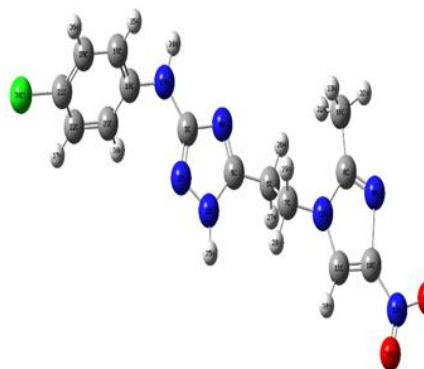
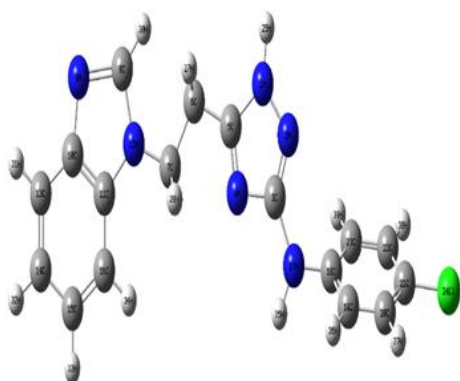
With the development of modern computational simulation methods, specific features such as some orbital, optical, and structural, were able to be calculated accurately, and in many cases results comparable to experimental data were obtained (Zhou et al., 2013; Sebastian et al., 2013). HOMO-LUMO energies calculated from the optimized structures, energy differences and electronic data obtained from HOMO-LUMO energies (“I; Ionization potential, A; electron affinity, ΔE ; Energy Gap, χ ; electronegativity, σ ; molecular softness, ω ; Electrophilic Index, ϵ ; Nucleophilic Index, μ ; Chemical Potential”) values were determined. In the last step, the antimicrobial activity parameters of the molecules were calculated theoretically and compared with the experimental data by calculating the volume.

3.1. Calculated geometric optimization and energy results of molecules

As a result of the calculations, the IR and NMR values calculated from the optimized structure obtained for the AY-IVA molecule were compared with the available experimental data, and the most appropriate method and base set correlation coefficients were taken into consideration. The ground state optimized structures are given in Table 1.

Table 1. Optimized structures using 6-311++g(d,p) basis set at DFT/B3LYP theory level in gas phase



AY-VA**AY-VB****AY-VIA****AY-VIB****AY-VIC**

In Table 2, the values recorded in the literature calculated in the gas phase “3-Phenylamino-5-[2-(4-nitroimidazol-1-yl)-ethyl]1,2,4-triazole (**IVa**), 3-Phenylamino-5-[2-(2-methyl-4-nitroimidazol-1-yl)-ethyl]1,2,4-triazole (**IVb**), 3-Phenylamino-5-[2-(benzimidazol-1-yl)-ethyl]1,2,4-triazole (**IVc**), 3-(4-Methyl)phenylamino-5-[2-(4-nitroimidazol-1-yl)-ethyl]1,2,4-triazole (**Va**), 3-(4-Methyl)phenylamino-5-[2-(2-methyl-4-nitroimidazol-1-yl)-ethyl]1,2,4-triazole (**Vb**), 3-(4-Chloro)phenylamino-5-[2-(4-nitroimidazol-1-yl)-ethyl]1,2,4-triazole (**VIa**), 3-(4-Chloro)phenylamino-5-[2-(2-methyl-4-nitroimidazol-1-yl)-ethyl]1,2,4-triazole (**VIb**), 3-(4-Chloro)phenylamino-5-[2-(benzimidazol-1-yl)-ethyl]1,2,4-triazole (**VIc**)” the energy values of the molecules calculated using the 6-311++g(d,p) basic set at the DFT/B3LYP theory level are given.

Table 2. Total energy values of the molecules calculated in the gas phase at the DFT/B3LYP theory level using the 6-311++g(d,p) basic set

Molecule	E_{total} (au)
AY	-607.46488
AY-IVA	-1037.0977
AY-IVB	-1076.4309
AY-IVC	-986.2213
AY-VA	-1076.4247
AY-VB	-1115.7578
AY-VIA	-1496.7201
AY-VIB	-1536.0533
AY-VIC	-1445.8439

When Table 2 is examined, it can be said that the energy decreases with the addition of the substituent and thus becomes more stable. The energy ranking is as follows:

$$E_{total} : AY > AY-IVC > AY-IVA > AY-IVB = AY-VA > AY-VB > AY-VIC > AY-VIA > AY-VIB$$

Considering the above order, the addition of substituent according to the AY molecule has a positive effect on the energy.

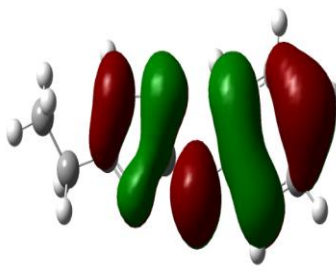
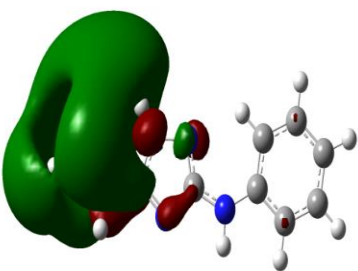
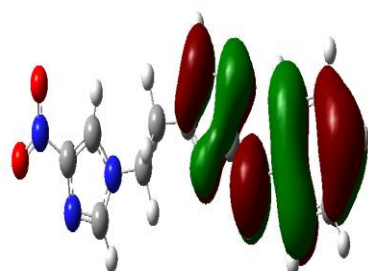
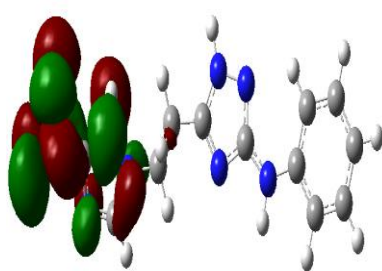
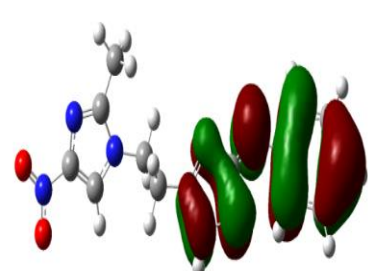
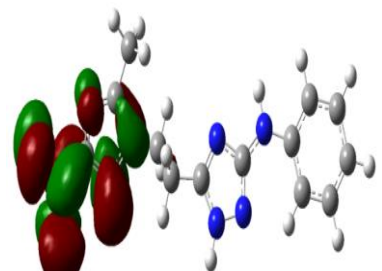
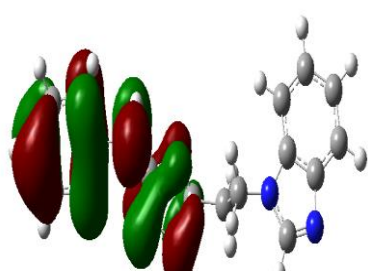
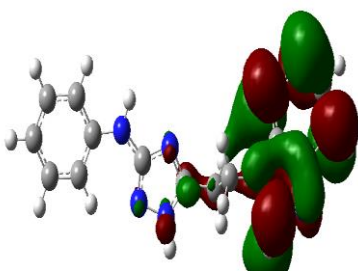
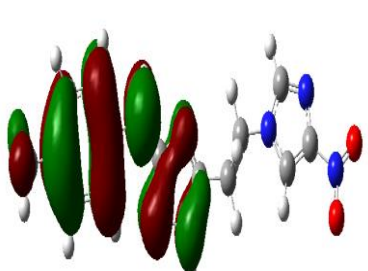
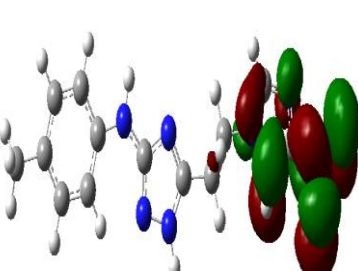
3.2. Frontier orbitals

The optimized ground state geometries and 3D boundary MO energy diagrams of the compounds are given in Table 2. Boundary molecular orbitals (MO) energy diagrams provide information about the reactivity of compounds. The highest occupied molecular orbital (HOMO) gives information about the basicity of the compound; The lowest unoccupied molecular orbital (LUMO) provides information about the acidity of the system. Therefore, it is important to investigate the boundary MOs of a molecule and to know which atoms contribute to these orbitals. The most important reason for this is; reactivity centers are determined by these energy schemes (Turhan Irak et al., 2019; Fukui, 1982).

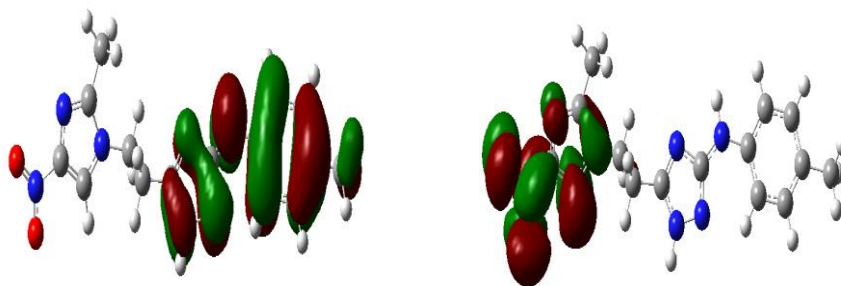
The HOMO and LUMO representations calculated by the 6-311++G(d,p) polarized basis set B3LYP method for the molecules whose structures were examined theoretically are given in Table 3.

As seen in the diagrams of IVA-VIB molecules in Table 3, HOMOs and LUMOs are separated from each other. The separation of HOMO-LUMO gives small exchange energies (Nakagawa et al., 2012; Mehes et al., 2012; Nasu et al., 2013; Gümüş & Gümüş, 2017). In the main structure (AY), HOMO-LUMO is dispersed into alkyl and Phenyl-(1H-[1,2,4]triazol-3-yl)-amine. When the HOMO-LUMO schemes of the other molecules in Table 3, which are formed by substitutions to the parent compound, are examined, it is seen that this distinction becomes more evident, as a result, it separates and is clearly dispersed.

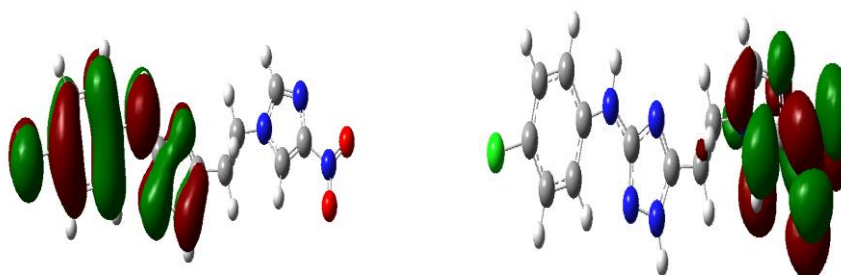
Table 3. HOMO and LUMO orbital surface views of molecules in the gas phase

Molecule	HOMO	LUMO
AY		
AY-IVA		
AY-IVB		
AY-IVC		
AY-VA		

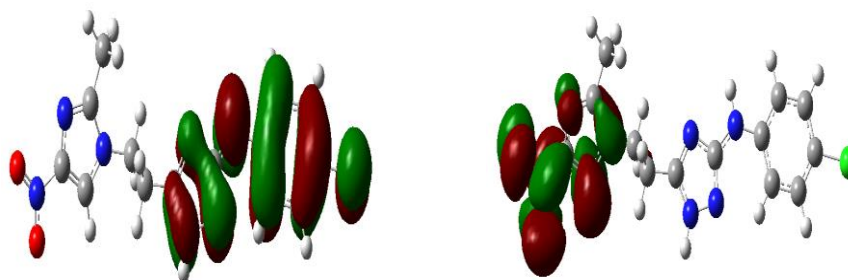
AY-VB



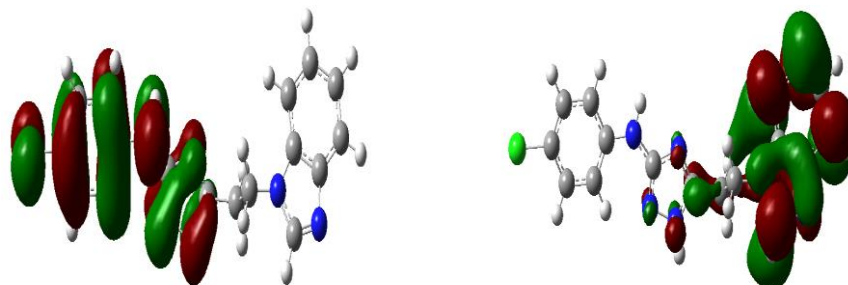
AY-VIA



AY-VIB



AY-VIC



3.3. Electronic structure identifiers

“Descriptors that depend on the electronic order and derive from the electronic structure of the compound are called electronic structure descriptors” (Koopmans, 1933). Some of them are “highest occupied molecular orbital energy (E_{HOMO}), lowest unoccupied molecular orbital energy (E_{LUMO}), LUMO-HOMO energy gap (ΔE), absolute hardness (η), absolute softness (σ), electronegativity (χ), chemical potential (μ), electrophilicity index (ω), nucleophilicity index (ϵ) and dipole moment (DM)”. Of these descriptors, HOMO, LUMO and DM (Dipole Moment) are obtained from the Gaussian output file of the molecule.

Other descriptors can be calculated with the help of the equations found in the literature. According to Koopman's theorem, as seen from equations (1) and (2), the E_{HOMO} and E_{LUMO} values of any chemical species are related to its ionization energy and electron affinity values (Koopmans, 1933; Sastri & Perumareddi, 1997).

$$I = -E_{HOMO} \quad (1)$$

$$A = -E_{LUMO} \quad (2)$$

Energy gap (ΔE) (Jesudason et al., 2009), absolute hardness (η) (Gökçe & Bahçeli, 2011), absolute softness (σ) (Arivazhagan & Subhasini, 2012), electronegativity (χ) and chemical potential (μ) (Masoud et al., 2012) It can be calculated by equation 3-7.

$$\Delta E = E_{LUMO} - E_{HOMO} \quad (3)$$

$$\eta = I - A / 2 \quad (4)$$

$$\sigma = I / \eta \quad (5)$$

$$\chi = I + A / 2 \quad (6)$$

$$\mu = -\chi \quad (7)$$

R. G. Parr and colleagues proposed an identifier defined as the electrophilicity index (ω). According to Parr & Yang (1989) “electrophilicity index is a measure of the energy decrease due to the maximum electron flow between the donor and the acceptor” and is given as in equation 8.

$$\omega = \mu^2 / 2\eta \quad (8)$$

$$\varepsilon = \mu \times \eta \quad (9)$$

Table 4. Some electronic structure descriptors calculated in gas phase for optimized molecules

	E_{HOMO} (eV)	E_{LUMO} (eV)	ΔE (eV)	η (eV)	σ (eV)	χ (eV)	μ (eV)	ω (eV)	DM (D)	ε (eV ²)
AY	-5,49	-0,59	4,90	2,45	0,40	3,04	-3,04	1,89	3,62	-7,46
AY-IVA	-5,94	-2,56	3,38	1,69	0,59	4,25	-4,25	5,34	6,43	-7,18
AY-IVB	-5,92	-2,44	3,48	1,74	0,57	4,18	-4,18	5,02	6,57	-7,29
AY-IVC	-5,75	-1,00	4,74	2,37	0,42	3,37	-3,37	2,40	1,55	-8,01
AY-VA	-6,04	-2,81	3,22	1,61	0,61	4,43	-4,43	6,08	8,13	-7,16
AY-VB	-6,03	-2,67	3,35	1,67	0,59	4,35	-4,35	5,65	8,17	-7,31
AY-VIA	-6,04	-2,60	3,44	1,72	0,58	4,32	-4,32	5,43	4,26	-7,45
AY-VIB	-6,03	-2,48	3,55	1,77	0,56	4,26	-4,26	5,11	4,47	-7,57
AY-VIC	-5,87	-1,06	4,80	2,40	0,41	3,46	-3,46	2,49	1,11	-8,33

Electronic structure descriptors of 8 molecules registered in the literature, including the studied main structure and reference molecules, are given in Table 4.

3.4. HOMO and LUMO energies

According to Koopmans theorem, “HOMO energy is directly related to ionization potential and LUMO energy is directly related to electron affinity. If the HOMO is high-energy, such a molecule has a high tendency to donate electrons. If the LUMO is of low energy, such a molecule has a high tendency to gain electrons. In other words, HOMO water with high energy can be considered as a good Lewis base, and LUMO water with low energy can be considered as a good Lewis acid” (Sayın & Karakas, 2013).

The HOMO energies in Table 4 for the investigated compounds; E_{HOMO} : AY > AY-IVC > AY-VIC > AY-IVB > AY-IVA > AY-VB \cong AY-VIB > AY-VIA \cong AY-VA while decreasing during: LUMO energies; E_{LUMO} : AY-VA < AY-VB < AY-VIA < AY-IVA < AY-VIB < AY-IVB < AY-VIC <

AY-IVC < AY increases during. It has been observed that the addition of substituent changes the boundary orbital energies according to the main structure and is effective. When the compounds obtained during the addition reactions are evaluated among themselves, no significant changes are observed in the HOMO values; A great difference was observed in LUMO values. It was observed that LUMO energy values changed with the effect of the substituent.

3.5. Energy gap (ΔE)

The energy gap of a molecule depends on the LUMO and HOMO energies of the molecule and is calculated from the equation in equation 3 ($\Delta E = E_{LUMO} - E_{HOMO}$). The HOMO-LUMO energy gap is a parameter needed to explain molecular properties (Lewis et al., 1994). The energy gap value of a molecule is used to measure the activity of the molecule against another molecule. When the compounds are evaluated among themselves;

ΔE : AY > AY-VIC > AY-IVC > AY-VIB > AY-IVB > AY-VIA > AY-IVA > AY-VB > AY-VA
 decreases during.

When paying attention to the table; The energy gap values of the compounds decreased compared to AY. It has been observed that the addition of substituent changes the energy gap value as in the boundary orbitals. Since the gap between HOMO and LUMO energy values is defined as the chemical stability of the molecule, the closer this energy gap is to each other, the easier the interaction will be. Thus, the smaller the energy, the easier it will be for the reactants to interact and react. Among the results obtained, AY-VA compound has the lowest energy gap. This compound, respectively; Compounds AY-VB, AY-IVA and AY-VIA follow.

3.6. Hardness (η), softness (σ), electronegativity (χ), and chemical potential (μ)

Hardness is a measure of the polarizability of a chemical species. Lewis acids and bases can be classified as hard or soft. If the electron cloud of a chemical species is strongly attracted by the nucleus, it is soft if not by hard force. Therefore, hard species have low polarizability and soft species have high polarizability. According to the concept of hard and soft acids and bases (HSAB), hard acids interact more strongly with hard bases, and soft acids interact more strongly with soft bases (Sayin & Karakaş, 2017).

η : AY > AY-VIC > AY-IVC > AY-VIB > AY-IVB > AY-VIA > AY-IVA > AY-VB > AY-VA
 σ : AY < AY-VIC < AY-IVC < AY-VIB < AY-IVB < AY-VIA < AY-IVA \cong AY-VB < AY-VA

Mulliken electronegativity is the arithmetic mean of the ionization energy and electron affinity of the chemical species. Species with low electronegativity tend to donate more electrons. The chemical potential is defined as the partial molar Gibbs free energy, the opposite of electronegativity. In that case, it can be said that the efficiency of the substance with low chemical potential against other substances is low (Kaya et al., 2014).

χ : AY-VA > AY-VB > AY-VIA > AY-VIB > AY-IVA > AY-IVB > AY-VIC > AY-IVC > AY
 μ : AY-VA < AY-VB < AY-VIA < AY-VIB < AY-IVA < AY-IVB < AY-VIC < AY-IVC < AY

In the light of this information, AY-5A compound has the highest η and χ values. Likewise, the compound with the lowest σ and μ values, respectively, is AY-VA. Compounds AY-VB and AY-VIA follow. It was determined that the AY-VA molecule was softer when compared with other molecules in terms of Hardness (η) and Softness (σ). This showed that this molecule can be polarized more easily. AY-VA (μ) indicates that the molecule with a low chemical potential has a lower effectiveness against other substances. In addition, the molecule with low electronegativity has a higher tendency to donate electrons AY (χ). Theoretical methods used to calculate the hardness and softness parameters, which cannot be found experimentally, give very good results. With the obtained data, the high hardness and

low softness data of the molecules show that the chemical activity is low and the kinetic stability is high. This trend is quite consistent with the ΔE rank.

3.7. Electrophilicity (ω) and nucleophilicity (ϵ) index

The electrophilicity index is a descriptor proposed by Parr & Yang (1989). This descriptor is the numerical expression of the spherical electrophilic power of a molecule. The electrophilicity index of the molecule provides quantitative classification of its reactivity (Kiyooka et al., 2013).

ω : AY-5A > AY-5B > AY-6A > AY-4A > AY-6B > AY-4B > AY-6C > AY-4C > AY

When compared with other molecules, the electrophilic index of the AY-5A(ω) molecule was determined to be higher, which indicates that this molecule is more reactive. The nucleophilicity index is a numerical expression of the electron donating ability of the molecule (Erkan Kariper et al., 2014).

ϵ : AY-VA > AY-IVA > AY-IVB > AY-VB > AY-VIA > AY > AY-VIB > AY-IVC > AY-VIC

The decreasing electrophilicity index and increasing nucleophilicity index of the molecule play an important role in its efficiency. When Table 4 is examined, it is seen that there is a linear trend between the ω and ϵ values of the compounds and the ΔE η , σ , χ and μ values.

3.8. Dipole moment (DM)

The dipole moment, a measure of its polarity, is given in debye (D) units. The increase in polarity parallels the increase in dipole moment. The electronic structure parameters change according to the differences in the molecular structure, and the activities of the compounds can be correlated with these parameters.

DM: AY-VB > AY-VA > AY-IVB > AY-IVA > AY-VIB > AY-VIA > AY > AY-VIA > AY-IVC > AY-VIC

According to the results given above, it is possible to talk about high dipole interaction in the AY-VA molecule.

3.9. Non-linear optical (NLO) properties

Average linear polarizability (α), anisotropic polarizability ($\Delta\alpha$), primary hyperpolarizability (β_0) parameters are used to predict the NLO properties computationally. α ; is the average linear polarizability (Govindarajan et al., 2012). Molecules with large polarizability in a given electric field have large induced dipole moments. The components of polarizability ($\Delta\alpha$) in the direction of x, y and z coordinates are calculated with the following

Equation 10 from the outputs of the average linear polarizability calculation program as α_{xx} , α_{yy} and α_{zz} .

$$\alpha = 1/3(\alpha_{xx} + \alpha_{yy} + \alpha_{zz}) \quad (10)$$

Primary hyperpolarizability (β_0) is the first derivative of polarizability with respect to the applied electric field. Primary hyperpolarizability is calculated by equation 11 from the β_0 components obtained from the calculation methods.

$$\beta_0 = [(\beta_{xxx} + \beta_{yyy} + \beta_{zzz})^2 + (\beta_{yyy} + \beta_{xxx} + \beta_{zzz})^2 + (\beta_{zzz} + \beta_{xxx} + \beta_{yyy})^2]^{1/2} \quad (11)$$

The polarizability (α), and hyperpolarizability (β_0) values calculated using the molecule are given Table 5.

Table 5. NLO values calculated using the 6–311++G(d,p) basis set at the DFT/B3LYP theory level

	α ($\times 10^{-24}$ esu)	β_0 ($\times 10^{-30}$ esu)
AY	152.591	0.452
AY-IVA	221.703	0.787
AY-IVB	235.143	0.896
AY-IVC	250.373	0.508
AY-VA	237.456	0.732
AY-VB	250.660	0.864
AY-VIA	237.507	0.896
AY-VIB	250.995	0.982
AY-VIC	266.375	0.929

In organic-based materials, optical properties are defined by polarizability. Hyperpolarizability is a quantity that affects the performance of nonlinear optical properties of matter (Papadopoulos et al., 2006). In order for a molecule to show NLO properties, it is desired that polarizability, hyperpolarity and dipole moment are high, and the HOMO-LUMO energy difference is small.

When polarity is maximum, the HOMO-LUMO energy difference is minimum; At the point where the hyperpolarizability is maximum, the dipole moment should also be maximum. Looking at the polarizability and hyperpolarity values in Table 5, when the polarity is high, the HOMO-LUMO energy difference is low; It has been observed that the dipole moment is maximum when the hyperpolarizability is high. Urea is used as a reference in compounds with nonlinear optical properties. The hyperpolarity value of urea was calculated at the DFT/B3LYP theory level on the basis of 6–311++G(d,p) and was found to be 0.766×10^{-30} esu. When Table 5 is examined, it is seen that except AY AY-4C and AY-5A compounds have higher hyperpolarity values than urea. It can be said that molecules with a higher β_0 value of urea can be used as optical materials (Beytur & Avinca, 2021).

3.10. Antibacterial properties

Its antibacterial activity is described by the descriptive LUMO and density function. LUMO is a parameter that describes the electronegativity and reactivity of a molecule. Molecules with low capacity LUMO can accept electrons more than molecules with high capacity LUMOs and as a result show higher activity. Density indicates how tightly atoms are packed into a molecule; calculated as the ratio of molecular weight and molecular volume. Density is negatively correlated with reactivity hence activity. Thus, a molecule with a lower density will have higher activity (Khan et al., 2017).

Table 6. Antibacterial molecular descriptive parameters of the compounds calculated using the DFT/B3LYP/6-311++G(d,p) method

	E_{LUMO} (eV)	m	v	d
AY	-0.59	188.100	148.651	1.26
AY-IVA	-2.56	299.113	208.273	1.43
AY-IVB	-2.44	313.128	247.246	1.26
AY-IVC	-1.00	304.143	205.698	1.47
AY-VA	-2.81	313.128	201.300	1.55
AY-VB	-2.67	327.144	276.223	1.18
AY-VIA	-2.60	333.074	236.738	1.40
AY-VIB	-2.48	347.089	215.365	1.61
AY-VIC	-1.06	338.104	240.633	1.40

Total energy, LUMO, molecular weight and volume were calculated to examine the correlation between molecular properties (Table 6) and antibacterial activities to gain insight into the structure-activity relationship.

AY-VIA, AY-VB, AY-VA; it is thought that AY-VIA, AY-VB, AY-VA molecules show more antibacterial activity compared to other molecules.

Antibacterial activity is described on the basis of density and function of LUMO descriptors. Looking at the results in the table, it can be said that the compounds show antimicrobial activity as a result of theoretical calculations. The reason for this can be explained as follows: LUMO energy values of eight compounds formed by the addition of substituent to AY compound are lower than that of AY (-0.59 eV). Therefore, microbial activity can be considered in all molecules. In addition, when the density values are examined, it is observed that AY-IVB and AY-VB (1.26 g cm^{-3} and 1.18 g cm^{-3}) compounds are approximately equal to and lower than the density value of AY compound (1.26 g cm^{-3}). It is seen that the density values of other compounds are higher than that of AY. On the other hand, it is thought that AY-IVB and AY-VB molecules may show activity in this context. It is known that the membrane of bacteria is surrounded by an outer membrane containing lipopolysaccharides. Due to the high electrophilic and reactivity measured by LUMO, all the molecules studied seem to be able to associate with the lipophilic layer to increase the permeability. According to the theoretically calculated density results, AY-VB has the lowest concentration (1.18 g cm^{-3}) among the compounds, and therefore it can be expected to show higher antibacterial activity. Besides AY-VB, it can be said that AY-IVB may show higher activity compared to other molecules.

Experimental antimicrobial activities of IV(A-C), V(A-B), VI(A-C) compounds in the study conducted by Demirayak et al. (2000) using tube dilution technique, *Staphylococcus aureus*, *Micrococcus luteus*, *Escherichia coli* B, *Pseudomonas aeruginosa*, *Candida albicans* and *Candida* observed against *glabrata* fungi. They were tested against 6 microorganisms and their activities against Chloramphenicol succinate were evaluated. Considering the results, it was concluded that "some of the products tested had significant antibacterial activities. Most of the compounds have MIC values of 62.5 or 125 mg mL^{-1} against these microorganisms. However; unfortunately, no correlation could be detected between the substituents and biological activities of the compounds. The activities of the compounds against bacteria differed. As a result, it can be said that the antimicrobial activity results calculated theoretically are in harmony with the experimental studies.

4. Conclusion

Molecules with different functionalizations were calculated using the DFT/B3LYP/6-311++G(d,p) base set. The following results were obtained from the calculations made.

1. It can be said that the energy decreases and thus becomes more stable with different addition reactions such as hydrogen, methyl, 4-nitro imidazole, 2-methyl 4-imidazole and benzimidazole.
2. Addition reactions affect the total electronic energy. When looking at the HOMO-LUMO schemes, it is clearly observed that changes occur with the addition of the substituent.
3. It has been observed that some addition reactions change the boundary orbital energies with respect to the main structure and are effective. When the additions were evaluated among themselves, no great changes were observed between the HOMO values of the compounds, but significant differences were determined in the LUMO values. It can be said that the LUMO energy values changed with the effect of the substituent.
4. Energy gap (ΔE) values have decreased. However, it still showed that it is in a very stable form with wide energy band gap, low chemical activity, high kinetic stability.
5. With the data obtained, the high hardness and low softness data of the molecules show that the chemical activity is low and the kinetic stability is high. This trend is quite consistent with the ΔE rank. Likewise, ω and ϵ values of the compounds showed a linear trend with the results of ΔE , η , σ , χ and μ as a result of the calculations.
6. The electronic structure parameters change according to the differences in the molecular structure and the activities of the compounds can be correlated with these parameters. It can be said that the polarity increases with the substituent effect.
7. Considering the NLO properties, the α values are in agreement with the dipole moment values. It is seen that except AY-IVC, AY-VIC and AY-VIB compounds have higher

hyperpolarity values than urea. It can be said that molecules with a β_0 value of urea can be used as optical materials.

According to the theoretically calculated density results, AY-VB has the lowest concentration (1.18 g cm⁻³) among the compounds, and therefore it can be expected to show higher antibacterial activity. This calculated value shows parallelism with the experimental result.

References

- Acosta, A. C., Cardoso, M. V., Oliveira Filho, G. B., Pinheiro Junior, J. W., Leite, A. C. L., & Mota, R. A. (2021). Antimicrobial properties of heterocyclic compounds against clinical mastitis isolates. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 41. doi:10.1590/1678-5150-PVB-6862
- Ahmad, A., Varshney, H., Rauf, A., Sherwani, A., & Owais, M., (2017). Synthesis and anticancer activity of long chain substituted 1,3,4-oxadiazol-2-thione,1,2,4-triazol-3-thione and 1,2,4-triazolo [3,4-b]-1,3,4-thiadiazine derivatives. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S3347-S3357. doi:10.1016/j.arabjc.2014.01.015
- Amir, M., Kumar, H., & Javed, S. A. (2008). Condensed bridgehead nitrogen heterocyclic system: Synthesis and pharmacological activities of 1,2,4-triazolo-[3,4-b]-1,3,4-thiadiazole derivatives of ibuprofen and biphenyl-4-yloxy acetic acid. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 43(10), 2056-2066. doi:10.1016/j.ejmech.2007.09.025
- Arivazhagan M., & Subhasini V. P. (2012). Quantum chemical studies on structure of 2-amino-5-nitropyrimidine. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 91, 402-410. doi:10.1016/j.saa.2012.02.018
- Bagihalli, G. B., Avaji, P. G., Patil, S. A., & Badami, P. S. (2008). Synthesis, spectral characterization, in vitro antibacterial, antifungal and cytotoxic activities of Co (II), Ni (II) and Cu (II) complexes with 1,2,4-triazole Schiff bases. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 43(12), 2639-2649. doi:10.1016/j.ejmech.2008.02.013
- Beytur, M., Irak, Z. T., Manap, S., & Yükses, H. (2019). Synthesis, characterization and theoretical determination of corrosion inhibitor activities of some new 4, 5-dihydro-1H-1, 2, 4-triazol-5-one derivatives. *Heliyon*, 5(6), e01809. doi:10.1016/j.heliyon.2019.e01809
- Beytur, M., & Avinca, I. (2021). Molecular, electronic, nonlinear optical and spectroscopic analysis of heterocyclic 3-substituted-4-(3-methyl-2-thienylmethyleneamino)-4, 5-dihydro-1H-1, 2, 4-triazol-5-ones: experiment and DFT calculations. *Heterocyclic Communications*, 27(1), 1-16. doi:10.1515/hc-2020-0118
- Chou, T. C., & Talalay, P. (1984). Quantitative analysis of dose-effect relationships: the combined effects of multiple drugs or enzyme inhibitors. *Advances in Enzyme Regulation*, 22, 27-55. doi:10.1016/0065-2571(84)90007-4
- Demirayak, Ş., Benkli, K., & Güven, K. (2000). Synthesis and antimicrobial activities of some 3-arylamino-5-[2-(substituted 1-imidazolyl) ethyl]-1, 2, 4-triazole derivatives. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 35(11), 1037-1040. doi:10.1016/S0223-5234(00)01178-8
- Dennington, R., Keith, T., & Millam, J. (2009). GaussView, Version 5. Semichem Inc., Shawnee Mission KS, USA.
- Erkan Kariper, S., Sayın, K. & Karakaş, D. (2014). Salisilaldehid ve anilin ligandlarını içeren sekiz oksovanadyum IV kompleksi üzerine teorik çalışmalar. *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry*, 42(3), 337-342.
- Eswaran, S., Adhikari, A. V., & Shetty, N. S. (2009). Synthesis and antimicrobial activities of novel quinoline derivatives carrying 1,2,4-triazole moiety. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 44(11), 4637-4647. doi:10.1016/j.ejmech.2009.06.031
- Fletcher, R. A., Hofstra, G., & Gao, J. G. (1986). Comparative fungitoxic and plant growth regulating properties of triazole derivatives. *Plant and Cell Physiology*, 27(2), 367-371. doi:10.1093/oxfordjournals.pcp.a077111
- Foresman, J. B., & Frisch, A. (1996). *Exploring Chemistry with Electronic Structure Methods*. Pittsburgh, PA, USA: Gaussian, Inc.

- Frisch, M. J., Trucks, G. W., Schlegel, H. B., Scuseria, G. E., Robb, M. A., Cheeseman, J. R., ... & Fox, D. J. (2009). GAUSSIAN09. Gaussian Inc., Wallingford, CT, USA.
- Fukui, K. (1982). The role of frontier orbitals in chemical reactions (Nobel Lecture). *Angewandte Chemie International Edition in English*, 21(11), 801-809. doi:10.1002/anie.198208013
- Govindarajan, M., Periandy, S., & Carthigayen, K. (2012). FT-IR and FT-Raman Spectra, Thermo Dynamical Behavior, HOMO and LUMO, UV, NLO Properties, Computed Frequency Estimation Analysis and Electronic Structure Calculations on α -Bromotoluene. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 97, 411-422. doi:10.1016/j.saa.2012.06.028
- Gökçe, H., & Bahçeli, S. (2011). A study on quantum chemical calculations of 3-, 4-nitrobenzaldehyde oximes. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 79, 1783-1793. doi:10.1016/j.saa.2011.05.057
- Gundlewad, G. B., & Patil, B. R. (2018). Synthesis and Evaluation of Some Novel 2-Amino-4-Aryl Thiazoles for Antitubercular Activity. *Journal of Heterocyclic Chemistry*, 55(3), 769-774. doi:10.1002/jhet.3098
- Gümüş, PH, Tamer, Ö., Avcı, D., & Atalay Y., (2015). 4-(Metoksimetil)-1,6- dimetil-2-okso-1,2-dihidropiridin-3-karbonitril molekülünün teorik olarak incelenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 19(3), 303-311. doi:10.16984/saufenbilder.86449
- Gümüş, S., & Gümüş, A. (2017). A computational study on a series of phenanthrene and phenanthroline based potential organic photovoltaics. *Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 36(2), 239-249. doi:10.20450/mjcc.2017.1199
- Holla, B. S., Veerendra, B., Shivananda, M. K., Poojary, B. (2003). Synthesis characterization and anticancer activity studies on some Mannich bases derived from 1,2,4-triazoles. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 38(7-8), 759-767. doi:10.1016/S0223-5234(03)00128-4
- Invidiata, F. P., Simoni, D., Scintu, F., & Pinna, N. (1996). 3, 6-Disubstituted 1, 2, 4-triazolo [3, 4-b][1, 3, 4] thiadiazoles: synthesis, antimicrobial and antiviral activity. *II. Farmaco (Societa Chimica Italiana: 1989)*, 51(10), 659-664. https://europepmc.org/article/med/8981756
- Irak, Z. T., & Beytur, M. (2019). 4-Benzilidenamino-4, 5-dihidro-1H-1, 2, 4-triazol-5-on türevlerinin antioksidan aktivitelerinin teorik olarak incelenmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9 (1), 512-521. doi:10.21597/jist.481990
- Jesudason, E., Sridhar, S. K., Malar, E. J., Shanmugapandiyar, P., Inayathullah, M., Arul, V., Selvaraj D., & Jayakumar, R. (2009). Synthesis, pharmacological screening, quantum chemical and in vitro permeability studies of N-Mannich bases of benzimidazoles through bovine cornea. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 44, 2307-2312. doi:10.1016/j.ejmech.2008.03.043
- Kaya, S., Kariper, S. E., Ungördü, A., & Kaya, C. (2014). Effect of some electron donor and electron acceptor groups on stability of complexes according to the principle of HSAB. *Journal of New Results in Science*, 3(4), 82-89.
- Khan, S. A., Asiri, A. M., & Sharma, K. (2017). Efficient microwave assisted synthesis and computational study of isoxazole Schiff base as an antibacterial agent. *Indian Journal of Chemistry*, 56 B, 453-457.
- Kiyooka, S. I., Kaneno, D., & Fujiyama, R. (2013). Parr's index to describe both electrophilicity and nucleophilicity. *Tetrahedron Letters*, 54(4), 339-342. doi:10.1016/j.tetlet.2012.11.039
- Koopmans, T. (1933). Ordering of wave functions and eigenenergies to the individual electrons of an atom. *Physica*, 1, 104-113. doi:10.1016/S0031-8914(34)90011-2
- Kuş, C., Ayhan-Kılıçgil, G., Özbey, S., Kaynak, F. B., Kaya, M., Çoban, T., & Can-Eke, B. (2008). Synthesis and antioxidant properties of novel N-methyl-1,3,4-thiadiazol-2-amine and 4-methyl-2H-1,2,4-triazole-3(4H)-thione derivatives of benzimidazole class. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 16(8), 4294-4303. doi:10.1016/j.bmc.2008.02.077
- Lewis, D. F. V., Ioannides, C., & Parke, D. V. (1994). Interaction of a series of nitriles with the alcohol-inducible isoform of P450: Computer analysis of structure activity relationships. *Xenobiotica*, 24(5), 401-408. doi:10.3109/00498259409043243
- Malbec, F., Milcent, R., Vicart, P., & Bure, A. M. (1984). Synthesis of new derivatives of 4-amino-2,4-dihydro-1,2,4-triazol-3-one as potential antibacterial agents. *Journal of Heterocyclic Chemistry*, 21 (6), 1769-1774. doi:10.1002/jhet.5570210641

- Manap, S., & Medetalibeyoğlu, H. (2018, Aralık). *Investigation of theoretical/experimental spectroscopic and electronic properties of 1-Acetyl-3-Methyl-4-[3-(2-Methylbenzoxy)-4-Methoxy]-Benzylidenamino-4,5-Dihydro-1H-1,2,4-Triazol-5-One by using 6-31G(d,p) method*. IV. Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresi, Erzurum.
- Masoud, M. S., Ali, A. E., Shaker, M. A., & Elasal, G. S. (2012). Synthesis, computational, spectroscopic, thermal and antimicrobial activity studies on some metal–urate complexes. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 90, 93-108. doi:10.1016/j.saa.2012.01.028
- Méhes, G., Nomura, H., Zhang, Q., Nakagawa, T., & Adachi, C. (2012). Enhanced electroluminescence efficiency in a spiro-acridine derivative through thermally activated delayed fluorescence. *Angewandte Chemie International Edition*, 51(45), 11311-11315. doi:10.1002/anie.201206289
- Mishra, L., Ram, V. J., & Kushwaha, D. S. (1989). Preparation and structure of cobalt (II), nickel (II), copper (II) and zinc (II) complexes with 3-amino-5-(α/β) pyridyl-1,2,4-triazoles. *Transition Metal Chemistry*, 14 (5), 384-386. doi:10.1007/BF01032516
- Mohamed, G. G., & Gad-Elkareem, M. A. (2007). Synthesis, characterization and thermal studies on metal complexes of new azo compounds derived from sulfa drugs. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 68(5), 1382-1387. doi:10.1016/j.saa.2007.01.034
- Nakagawa, T., Ku, S. Y., Wong, K. T., & Adachi, C. (2012). Electroluminescence based on thermally activated delayed fluorescence generated by a spirobifluorene donor–acceptor structure. *Chemical Communications*, 48(77), 9580-9582. doi:10.1039/C2CC31468A
- Nasu, K., Nakagawa, T., Nomura, H., Lin, C. J., Cheng, C. H., Tseng, M. R., Yasuda, T., & Adachi, C. (2013). A highly luminescent spiro-anthracenone-based organic light-emitting diode exhibiting thermally activated delayed fluorescence. *Chemical Communications*, 49(88), 10385-10387. doi:10.1039/C3CC44179B
- Papadopoulos, M. G., Sadlej, A. J., & Leszczynski, J. (2006). *Non-linear Optical Properties of Matter*. Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Parr, R. G., & Yang, W. (1989). *Density Functional Theory in Atoms and Molecules*. New York, USA: Oxford Science Publications.
- Rejhova, A., Opattova, A., Čumová, A., Slíva, D., & Vodička, P., (2018). Natural compounds and combination therapy in colorectal cancer treatment. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 144, 582-594. doi:10.1016/j.ejmech.2017.12.039
- Salgın-Gökşen, U., Gökhan-Kelekçi, N., Göktaş, Ö., Köysal, Y., Kılıç, E., Işık, Ş., & Özalp, M. (2007). 1-Acylthiosemicarbazides, 1,2,4-triazole-5 (4H)-thiones, 1,3,4-thiadiazoles and hydrazones containing 5-methyl-2-benzoxazolinones: synthesis, analgesic-anti-inflammatory and antimicrobial activities. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, 15(17), 5738-5751. doi:10.1016/j.bmc.2007.06.006
- Sastri, V. S., & Perumareddi, J. R. (1997). Molecular orbital theoretical studies of some organic corrosion inhibitors. *Corrosion*, 53(8), 617-622. https://doi.org/10.5006/1.3290294
- Sayın, K., & Karakas, D. (2013). Quantum chemical studies on the some inorganic corrosion inhibitors. *Corrosion Science*, 77, 37-45. doi:10.1016/j.corsci.2013.07.023
- Sayın, K., & Karakaş, D. (2017). Theoretical study on the antitumor properties of Ru (II) complexes containing 2-pyridyl, 2-pyridine-4-carboxylic acid ligands. *Journal of Molecular Structure*, 1149, 473-486. doi:10.1016/j.molstruc.2017.07.079
- Sebastian, S., Sylvestre, S., Sundaraganesan, N., Amalanathan, M., Ayyapan, S., Oudayakumar, K., & Karthikeyan, B. (2013). Vibrational spectra, molecular structure, natural bond orbital, first order hyperpolarizability, TD-DFT and thermodynamic analysis of 4-amino-3-hydroxy-1-naphthalenesulfonic acid by DFT approach. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 107, 167-178. doi:10.1016/j.saa.2013.01.041
- Shaker, R. M., Mahmoud, A. F., & Abdel-Latif, F. F. (2005). Synthesis and biological activities of novel 1,4-bridged bis-1,2,4-triazoles, bis-1,3,4-thiadiazoles and bis-1,3,4-oxadiazoles. *Phosphorus, Sulfur and Silicon*, 180(2), 397-406. doi:10.1080/104265090509199
- Singh, K., Barwa, M. S., & Tyagi, P. (2007). Synthesis and characterization of cobalt (II), nickel (II), copper (II) and zinc (II) complexes with Schiff base derived from 4-amino-3-mercapto-6-

- methyl-5-oxo-1,2,4-triazine. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 42(3), 394-402. doi:10.1016/j.ejmech.2006.10.016
- Turhan Irak, Z. Ş., & Gümüş, S. (2017). Heterotricyclic compounds via click reaction: a computational study. *Noble International Journal of Scientific Research*, 1(7), 80-89.
- Turhan Irak, Z., Gümüş, A., & Gümüş, S. (2019). Investigation of TADF properties of novel donor-acceptor type pyrazine derivatives. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 64(1), 4303-4309. doi:10.4067/s0717-97072019000104303
- Yüksek, H., Özdemir, G., Manap, S., Yılmaz, Y., Kotan, G., Gürsoy-Kol, Ö., & Alkan, M. (2020). Synthesis and Investigations of Antimicrobial, Antioxidant Activities of Novel Di-[2-(3-alkyl/aryl-4, 5-dihydro-1H-1, 2, 4-triazol-5-one-4-yl)-azomethinephenyl] Isophthalates and Mannich Base Derivatives. *ACTA Pharmaceutica Scientia*, 58(1), 49-68. doi:10.23893/1307-2080.APS.05804
- Zhou, X., Cui, J., Li, Z. H., Wang, G., Liu, Z., & Zhou, M. (2013). Carbonyl bonding on oxophilic metal centers: Infrared photodissociation spectroscopy of mononuclear and dinuclear titanium carbonyl cation complexes. *The Journal of Physical Chemistry A*, 117(7), 1514-1521. doi:10.1021/jp3120429



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Bizmut Tabanlı Bazı Alaşımların Radyasyon Zırhlama Kapasitelerinin İncelenmesi

Meryem YILMAZ^{*1}, İlhami ERKOYUNCU¹, Hatice GÜREL ÖZDEMİR², İskender DEMİRKOL¹, Mustafa RECEP KAÇAL³, Ferdi AKMAN^{4,5}

¹ Bingöl Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 12000, Bingöl, Türkiye

² İstinye Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Optisyenlik Programı, 34010, İstanbul, Türkiye

³ Giresun Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 28100, Giresun, Türkiye

⁴ Bingöl Üniversitesi, Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı, 12000, Bingöl, Türkiye

⁵ Bingöl Üniversitesi, Merkezi Laboratuvar Uygulama ve Araştırma Merkezi, 12000, Bingöl, Türkiye

Meryem YILMAZ, ORCID No: 0000-0001-7513-4001, İlhami ERKOYUNCU, ORCID No: 0000-0003-1639-5062, Hatice GÜREL ÖZDEMİR, ORCID No: 0000-0002-6590-2334, İskender DEMİRKOL, ORCID No: 0000-0002-8065-6717, Mustafa Recep KAÇAL, ORCID No: 0000-0002-3183-5516, Ferdi AKMAN, ORCID No: 0000-0002-8838-1762

*Sorumlu yazar e-posta: meryilmz157@gmail.com

Makale Bilgileri

Geliş: 06.07.2022
Kabul: 27.09.2022
Online Nisan 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1140507

Anahtar Kelimeler

FLUKA,
Gama radyasyonu,
GEANT4,
WinXCOM,
Zırhlama

Öz: Sunulan çalışmada, 0.060 MeV ila 2.614 MeV foton enerjileri aralığında 18 farklı enerjide bizmut tabanlı bazı alaşımların gama radyasyonu zırhlama kapasiteleri incelenmiştir. Farklı oranlarda bizmut içeren Bi50/Pb25/Cd12.5/Sn12.5, Bi50/Pb28/Sn22, Bi55.5/Pb44.5, Bi58/Sn42 alaşımlarının gama radyasyonu azaltma kapasiteleri belirtilen enerjilerde WinXCOM programı, GEANT4 ve FLUKA simülasyon programları yardımı ile incelenmiştir. Gama radyasyonu zırhlama özelliklerini incelemek için BiPbCdSn, BiPbSn, BiPb ve BiSn olarak kodlanan alaşımların kütle ve lineer azaltma katsayıları, yarı ve onda-bir kalınlık değerleri, ortalama serbest yolları ve etkin atom numaraları parametreleri belirtilen enerji aralığında hesaplanmıştır. μ/ρ değerlerinin düşük enerjilerde daha yüksek olduğu görülmüştür ve WinXCOM'a göre BiPbCdSn, BiPbSn, BiPb ve BiSn için 0.060 MeV enerjideki μ/ρ değerleri sırasıyla 5.4663, 5.4392, 5.1380 ve 5.7924 şeklindedir. BiPb kodlu alaşımın çalışılan diğer alaşımlara göre gama radyasyonu zırhlama kapasitesinin daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Investigation of Radiation Shielding Capacities of Some Bismuth-Based Alloys

Article Info

Recieved: 06.07.2022
Accepted: 27.09.2022
Online April 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1140507

Keywords

FLUKA,
Gamma radiation,
GEANT4,
Shielding,
WinXCOM

Abstract: In the present study, gamma radiation shielding capacities of some bismuth-based alloys in the photon energies range of 0.060 MeV to 2.614 MeV at 18 different energies were investigated. Gamma radiation attenuation capacities of Bi50/Pb25/Cd12.5/Sn12.5, Bi50/Pb28/Sn22, Bi55.5/Pb44.5, Bi58/Sn42 alloys containing different amounts of bismuth were investigated with the help of WinXCOM program, GEANT4 and FLUKA simulation programs at the specified energies. In order to investigate the gamma radiation shielding properties, the mass and linear attenuation coefficients, half and tenth value layers, mean free paths and effective atomic numbers parameters of the alloys coded as BiPbCdSn, BiPbSn, BiPb and BiSn were calculated in the specified energy range. μ/ρ values were found to be higher at low energies and according to WinXCOM, μ/ρ values at 0.060 MeV energies for BiPbCdSn, BiPbSn, BiPb and BiSn are 5.4663, 5.4392, 5.1380 and 5.7924, respectively. It has been

observed that the gamma radiation shielding capacity of the BiPb coded alloy is better than the other studied alloys.

1. Giriş

Tüm canlılar yaşamları boyunca bir şekilde radyasyona maruz kalır ve bu gayet doğal bir süreçtir. Gıdalarımıza bile toprak yoluyla radyoaktif maddeler taşınmaktadır. Doğal veya yapay radyoaktivitenin keşfiyle iyonlaştırıcı radyasyon kaynakları yaşamın çoğu alanında karşımıza çıkmaktadır. İyonlaştırıcı radyasyon tıp, nükleer santraller, araştırma laboratuvarları, ziraat, astronomi ve arkeoloji gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Al-Hadeethi, 2020; Mhareb, 2020). Teknolojinin sürekli gelişmesi ile radyasyon kullanım alanlarının da hızla büyümesi beklenmektedir. Radyasyonun kullanım alanlarının artması, canlıların ve radyasyondan etkilenme ihtimali olan cihazların daha fazla iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalacağına bir göstergesidir. İyonlaştırıcı radyasyonun renksiz ve kokusuz oluşu duyu organlarımız tarafından kolaylıkla ayırt edilmesini engeller, bu durum tehlikenin boyutunun anlaşılmasının ve uygun müdahalelerde bulunulmasının büyük oranda önüne geçmektedir. Bu tür bir radyasyonun şiddeti, enerjisi veya türü ancak geliştirilmiş özel detektörlerle algılanıp ölçülebilir. İyonlaştırıcı radyasyonun canlı dokuların kimyasal yapısına, fiziksel ve biyolojik özelliklerine hasar verme ihtimali vardır. Bu hasar radyasyon tipine ve soğurulan radyasyon dozuna bağlı olarak canlı dokularda sıklıkla hastalığa ve ölüme neden olabilir. İyonlaştırıcı radyasyon, insan dokusu ile temas ettiğinde son derece tehlikelidir (Aygün, 2020) ve bu tür bir radyasyona uzun süre maruz kalınması durumunda cilt hücrelerinde ve dokularda kalıcı hasara ve hatta kansere de neden olabilir (Akleyev, 2016).

Radyasyona maruz kalmanın önüne geçmek için zırhlamada kullanılan malzemenin radyasyon zırhlama özelliklerinin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi hayati önem taşımaktadır. Radyasyon zırhlama yeteneği iyi olan malzemelerin tercih edilmesi, radyasyon yayan bazı elektronik cihazların ve radyoaktif kaynakların güvenli bir şekilde kullanılmasını sağlar. Kurşun gibi yüksek atom numarası ve yoğunluğa sahip malzemeler gama radyasyonuna karşı etkili zırhlama sağlamaktadır. Ancak kurşunun sahip olduğu bazı dezavantajlar vardır. Bu yüzden yapılan araştırmalarda hâlihazırda sıklıkla kullanılan kurşuna alternatif olabilecek veya kurşun miktarı düşük yeni malzeme arayışları devam etmektedir. Bu amaçla gerçekleştirilen çalışmalarda kurşuna alternatif veya düşük miktarda kurşun içeren kompozit çeşitleri (AlMisned ve ark., 2021; Prabhu ve ark., 2022; Gilys ve ark., 2022; Özkalaycı ve ark., 2022), beton (Makarious ve ark., 1996; Azeed ve ark., 2019), cam (Al-Hadeethi ve ark., 2021 ve 2022; Al-Ghamdi ve ark., 2022; Chinthakayala ve ark., 2022; Elias ve ark., 2022), mineral (McCaffrey ve ark., 2007; Agar, 2018; Mansour ve ark., 2020; Öztürk ve ark., 2022) ve alaşım (Singh ve ark., 2018; Akman ve ark., 2019a, 2019b ve 2022; Levet ve ark., 2020; Abdel-latif & Kassab, 2022; Hamad ve ark., 2022a ve 2022b; Özkalaycı ve ark., 2022; Reda & El-Daly, 2022; Saad ve ark., 2022; Turhan ve ark., 2022) gibi malzemelerin araştırmaları devam etmektedir.

Alaşım, bir metalin diğer metallerle uygun oranlarda karıştırılması ile elde edilen bir materyaldir. Alaşımlar genellikle doğaları gereği metalik olarak kabul edilir, yani iyi bir termal ve elektriksel iletkenliğe sahiptirler. Alaşımların üretimi için çeşitli metotlar mevcuttur. En yaygın olarak kullanılan üretim metodu, bileşenleri bir arada eritmek ve elde edilen karışımı tek veya çok fazlı bir katı oluşturmak üzere soğutmaktır. Çeşitli radyasyon koruyucu malzemeler arasında alaşımlar, mükemmel kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri nedeniyle son zamanlarda araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Ayrıca genellikle yüksek yoğunluğa sahip oldukları için iyonlaştırıcı radyasyonları zırhlama kapasitelerinin de yüksek olması beklenmektedir. Genel olarak, iyi bir iyonlaştırıcı radyasyon zırh malzemesi yüksek bir yoğunluğa sahip olmalı ve yüksek atom numaralı elementler içermelidir. Alaşımlar, yüksek yoğunluklu ve yüksek atom numaralı elementlerin kullanımı ile üretilebildikleri için bu alaşımlar çeşitli nükleer tesislerde radyasyondan korunmada yaygın olarak kullanılabilir. Literatürde alaşımlar üzerine yapılan bazı çalışmalarda mevcuttur. Örneğin bazı Pb-Cu ikili alaşımları için gama radyasyonu zırhlama parametreleri incelenmiştir (Singh ve ark., 2018). Bu alaşımların gama radyasyonu zırhlama özelliklerini incelemek için kütle azaltma katsayıları (μ/ρ), yarı kalınlık değerleri (YKD), onda-bir kalınlık değerleri (OKD), ortalama serbest yolları (OSY), etkin atom numaraları ($Z_{\text{etk.}}$), etkin elektron yoğunlukları ($N_{\text{etk.}}$) ve radyasyon koruma verimleri (RKV) parametrelerini belirlemişlerdir. Bizmut bazlı (%40 Bi, %20 Pb, %40 Sn ve %40 Bi, %10 Pb, %10 Sn, %40 Cd) ve düşük erime sıcaklığına sahip olduğu bilinen iki farklı bizmut alaşımlarının radyasyon zırhlama parametreleri Saad

ve ark. (2022) tarafından incelenmiştir. Cd içermeyen alaşım örneğinin diğerine göre radyasyon zırhlama özelliğinin daha iyi olduğunu rapor etmişlerdir. Hamad ve ark. (2022b) tarafından hazırlanan $Fe(x)Se_{0.5}Te_{0.5}$ ($0.95 \leq x \leq 1.05$) polikristal numunelerin radyasyon zırhlama özellikleri araştırılmıştır. Numunelerin kütle azaltma katsayıları deneysel olarak ölçülmüş ve elde edilen deneysel sonuçlar XCOM sonuçları ile karşılaştırılmıştır. $Fe_{0.95}Se_{0.5}Te_{0.5}$ örneğinin diğer numunelere kıyasla daha iyi zırhlama özelliğine sahip olduğunu not etmişlerdir. Akman ve ark., (2019b) $Ag_{92.5}/Cu_{7.5}$, Ag_{72}/Cu_{28} , Pd_{94}/Cr_6 ve Pd_{60}/Cu_{40} alaşımlarının radyasyon zırhlama özelliklerini ^{22}Na , ^{54}Mn , ^{57}Cu , ^{60}Cu , ^{133}Ba ve ^{137}Cs nokta kaynaklarını kullanarak deneysel olarak belirlemişlerdir. Elde ettikleri deneysel sonuçları WinXCOM programı ve MCNPX simülasyon kodu sonuçları ile karşılaştırmışlardır. $Ag_{92.5}/Cu_{7.5}$ alaşımının çalışılan diğer alaşımlardan daha iyi bir iyonlaştırıcı radyasyon zırhlama malzemesi olduğunu not etmişlerdir.

Bu çalışmada ise kurşun miktarı düşük olan $BiPbCdSn$, $BiPbSn$, $BiPb$ ve $BiSn$ olarak kodlanan $Bi_{50}/Pb_{25}/Cd_{12.5}/Sn_{12.5}$, $Bi_{50}/Pb_{28}/Sn_{22}$, $Bi_{55.5}/Pb_{44.5}$, Bi_{58}/Sn_{42} (Goodfellow, 2023) alaşımlarının gama radyasyonu zırhlama özellikleri WinXCOM (Gerward ve ark., 2004) programı, GEANT4 (Agostinelli ve ark., 2003) ve FLUKA (Böhlen ve ark., 2014) simülasyon kodları ile incelenmiştir. Gama radyasyonu zırhlama kapasitelerini incelemek için μ/ρ , lineer azaltma katsayısı (μ), YKD, OKD, OSY ve Z_{etk} parametreleri 0.060 MeV ila 2.614 MeV foton enerjisi aralığında 18 farklı enerji değerinde hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışma ile bizmut tabanlı ikili, üçlü ve dörtlü alaşımların sunulan enerjilerde ilk kez iyonlaştırıcı radyasyon zırhlama kapasiteleri incelenmiştir. Ayrıca GEANT4 ve FLUKA simülasyon kodlarının belirtilen enerjilerde radyasyon zırhlama özelliklerinin incelenmesi için hassasiyetleri test edilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Gama radyasyonu zırhlama parametrelerinin belirlenmesi

Çalışılan numune birden fazla elementi içeren bir materyal ise, kütle azaltma katsayısı karışım kuralı kullanılarak belirlenebilir. Seçilen alaşımlar için teorik μ/ρ değerleri denklem (1) kullanılarak elde edilmiştir (Yorgun, 2019a).

$$\frac{\mu}{\rho} = \sum W_i \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_i \quad (1)$$

Burada μ/ρ malzemenin toplam kütle azaltma katsayısı (cm^2/g), $(\mu/\rho)_i$ malzeme içindeki i. elementin kütle azaltma katsayısı ve W_i malzeme içindeki i. elementin ağırlıklı kesridir. Malzeme içindeki elementlerin toplam ağırlıklı kesri 1'dir, yani $\sum W_i = 1$ 'dir. Lineer azaltma katsayısı (μ , cm^{-1}), dikkate alınan malzemenin kütle azaltma katsayısı ile yoğunluğunun çarpımından elde edilebilir (Eke ve ark., 2017):

Yarı kalınlık değeri (YKD, cm), başlangıç radyasyon şiddetinin %50'sinin azaltıldığı numune kalınlığını tanımlar. Onda-bir kalınlık değeri ise (OKD, cm), başlangıç radyasyon şiddetinin %10'nun geçebileceği numune kalınlığı olarak tanımlanır, yani başlangıç radyasyon şiddetinin %90'nın soğurulduğu numune kalınlığıdır. YKD ve OKD parametreleri lineer azaltma katsayısı yardımıyla denklem (2-3) kullanılarak belirlenebilir (Akkaş, 2016).

$$YKD = \ln 2 / \mu = 0,693 / \mu \quad (2)$$

$$OKD = \ln 10 / \mu = 2,303 / \mu \quad (3)$$

Fotonların madde içindeki ortalama serbest yolu (OSY), başlangıç radyasyon şiddetinin %36.8'sinin geçebileceği numune kalınlığı olarak tanımlanır ve aşağıdaki denklem ile ifade edilir (Manjunatha ve ark., 2017).

$$OSY = 1 / \mu \quad (4)$$

Herhangi bir materyalin radyasyon zırlama özelliğinin incelenmesinde etkin atom numarası parametresinin de hesaplanması önemlidir. Belirtilen enerji değerlerinde sunulan alaşımların etkin atom numarası parametreleri aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır:

$$Z_{etk.} = \frac{\sum f_i A_i (\mu/\rho)_i}{\sum \frac{f_j A_j}{Z_j} (\mu/\rho)_j} \quad (5)$$

burada, f_i , A_i ve Z_i sırasıyla, i . elementin alaşım içindeki bolluğunu, atom ağırlığını ve atom numarasını ifade eder (Manohara ve ark., 2008; Yorgun, 2019b).

2.2. WinXCOM ve Monte Carlo simülasyon kodları

XCOM, materyalin standart bir enerji aralığında (1 keV-100 GeV) veya seçilen enerjilerde tesir kesitlerini ve azaltma katsayılarını belirlemek için kullanılan bir arayüzdür. İnkoherent, koherent, fotoelektrik olay ve çift oluşumu gibi olayların tesir kesitlerini de sunmaktadır. Bileşikler için de belirtilen tesir kesitleri ve azaltma katsayılarının hesabını gerçekleştirir. Toplam azaltma katsayısına koherent saçılmanın etkisi olmadan da sonuçlar sunabilmektedir. Bu ara yüzün Windows versiyonu WinXCOM (Gerward ve ark., 2004) programı olarak kullanılmaktadır.

Monte Carlo simülasyonları hem deneysel hem de teorik araştırmalara önemli katkılar sunmaktadır. Deneysel ve teorik çalışmaları desteklemek için çeşitli simülasyon kodları kullanılmaktadır. Çalışmanın amacına göre Monte Carlo simülasyonları farklılık göstermekte ve yapılacak uygulamaya göre simülasyon kodlarının seçilmesi gerekmektedir. Gama radyasyonu zırlama özelliklerinin belirlenmesinde GEANT4 (Agostinelli ve ark., 2003) ve FLUKA (Böhlen ve ark., 2014) en tercih edilen simülasyon kodları arasındadır. FLUKA ve GEANT4 simülasyon kodları, termal nötronlardan ultra rölativistik hadron çarpışmalarına kadar uzanan çok geniş bir enerji aralığında çalışabilen, anlaşılması güç geometrilere sahip sistemlerin herhangi bir parçacık ve çekirdek tipinin taşınmasını ve etkileşimini tanımlama amacı ile kullanılan Monte Carlo kodlarıdır. Sunulan çalışmada, bu simülasyon kodları ile seçilen alaşımların yoğunlukları ve elementel içerikleri (Çizelge 1) kullanılarak simüle çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bunun için hedef malzeme üzerine 18 farklı enerjide 10 milyon foton gönderilerek kütle azaltma katsayıları hesaplanmıştır. Simülasyonların gerçekleştirildiği geometri Şekil 1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Simülasyon geometrisi ve kesitsel görüntüsü.

Çizelge 1. Seçilen alaşımların kimyasal içerikleri ve yoğunlukları

Numune Kodu	Bileşimi (% Ağırlık)				ρ (g/cm ³)
	Bi	Pb	Cd	Sn	
BiPbCdSn	50	25	12.5	12.5	9.67
BiPbSn	50	28	22	-	9.85
BiPb	55.5	44.5	-	-	10.44
BiSn	58	42	-	-	8.56

3. Bulgular ve Tartışma

BiPbCdSn, BiPbSn, BiPb ve BiSn ile kodlanan alaşımların radyasyon zırhlama özelliklerinin incelemek için μ , μ/ρ , OKD, YKD, OSY, Z_{etk} gibi farklı parametreler belirlenmiştir. Bu parametreler arasında μ/ρ , hedef malzeme ile radyasyon etkileşiminin (soğurulan veya saçılan) olasılığı hakkında bilgi veren en temel parametredir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 2’de verilmiştir. μ/ρ ’daki değişimi daha iyi gözlemlemek için WinXCOM, GEANT4 ve FLUKA’dan elde edilen sonuçlar Şekil 2.’de sunulmuştur. Şekil 2. ve Çizelge 2’den de görüldüğü gibi μ/ρ değerleri seçilen alaşımlar için artan enerji ile eksponansiyel olarak azalmaktadır. Düşük enerji bölgesinde keskin bir azalış gözlemlenirken orta ve yüksek enerji bölgelerinde ise gözlemlenen azalış daha düşüktür. Bu düşüşlerin sebebi, düşük enerji bölgesinde fotoelektrik tesir kesitinin, orta ve yüksek enerji bölgelerinde Compton saçılması ve çift oluşum tesir kesitlerinin daha baskın olmasıdır. Fotoelektrik tesir kesiti Z^{4-5} (Z, atom numarası) ve $E^{-3.5}$ (E, foton enerjisi) ile Compton saçılması tesir kesiti Z ve E^{-1} ile ve çift oluşum tesir kesiti Z^2 ve E ile orantılıdır. Sonuçlar değerlendirildiğinde düşük enerjilerde bir sıçrama olduğu görülmektedir. Bu sıçramanın sebebi bizmut veya kurşun elementlerinin K tabakası soğurma enerjisinin (Bi için 0.09053 MeV ve Pb için 0.08800 MeV) bu enerji bölgesinde bulunmasıdır. (Skuld, 2023)

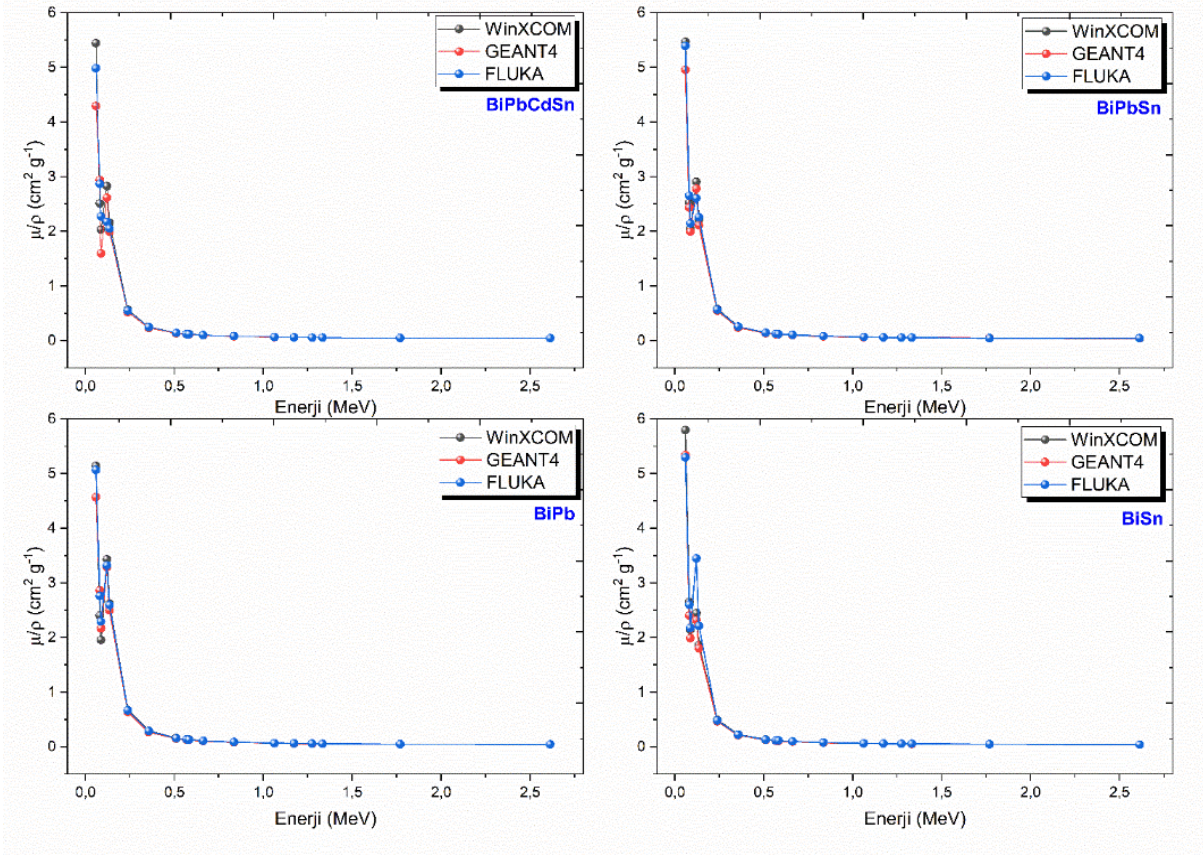
Çizelge 2 incelendiğinde, BiPbCdSn kodlu alaşım için WinXCOM değerlerinde 0.136 ile 0.239 MeV arasındaki μ/ρ ’daki düşüş %73.85 iken, 1.275 ile 1.333 MeV arasında %3.00 kadardır. BiPbSn alaşımı için belirtilen enerji aralığında μ/ρ ’daki düşüş %73.93 iken, bu düşüş 1.275 ile 1.333 MeV arasında %2.82 civarındadır. BiPb alaşımı için belirtilen enerji aralığında μ/ρ ’daki düşüş %74.29 iken, bu düşüş 1.275 ile 1.333 MeV arasında %3.08 civarındadır. BiSn alaşımı için aynı enerji aralığında μ/ρ ’daki düşüş %74.35 iken, bu düşüş 1.275 ile 1.333 MeV arasında %4.91 civarındadır. Ayrıca WinXCOM sonuçlarına göre 0.060 MeV foton enerjisinde BiSn numunesinin μ/ρ değeri BiPb numunesininkinden %11.3, BiPbSn numunesininkinden %5.6 ve BiPbCdSn numunesininkinden %6.1 daha yüksektir. 0.662 MeV foton enerjisinde ise BiPb kodlu numunenin μ/ρ değeri BiSn numunesininkinden %13.0, BiPbSn numunesininkinden %7.0 ve BiPbCdSn numunesininkinden %7.9 daha yüksektir. 1.333 MeV foton enerjisinde ise BiPb numunesinin μ/ρ değeri BiSn numunesininkinden %5.1, BiPbSn numunesininkinden %2.7 ve BiPbCdSn numunesininkinden %3.0 daha yüksektir. Bu yüzde farklılıklara göre BiSn numunesinin kütle azaltma katsayı değerinin düşük enerjilerde diğer alaşımlara göre daha yüksek ve BiPb numunesinin kütle azaltma katsayısı değerlerinin orta ve yüksek enerjilerde diğer alaşımlara göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

WinXCOM ve GEANT4 μ/ρ sonuçları arasındaki yüzde farklılıklar %0 ila %9.31 arasında değişmektedir (BiPbCdSn ve BiPb kodlu numuneler için 0.060 MeV, 0.081 MeV, ve 0.088 MeV enerji değerleri hariç). WinXCOM ve FLUKA μ/ρ sonuçları arasındaki yüzde farklılıklar ise %0 ila %10.31 arasında değişmektedir (BiPbCdSn kodlu numune için 0.081 MeV, 0.088 MeV, ve 0.122 MeV; BiPb kodlu numune için 0.081 MeV, 0.088 MeV enerjileri; BiSn kodlu numune için 0.122 MeV ve 0.136 MeV enerjileri hariç). Bu yüzde farklılıklara göre iki simülasyon kodunun da WinXCOM’a göre güvenilir sonuçlar verdiğini söyleyebiliriz.

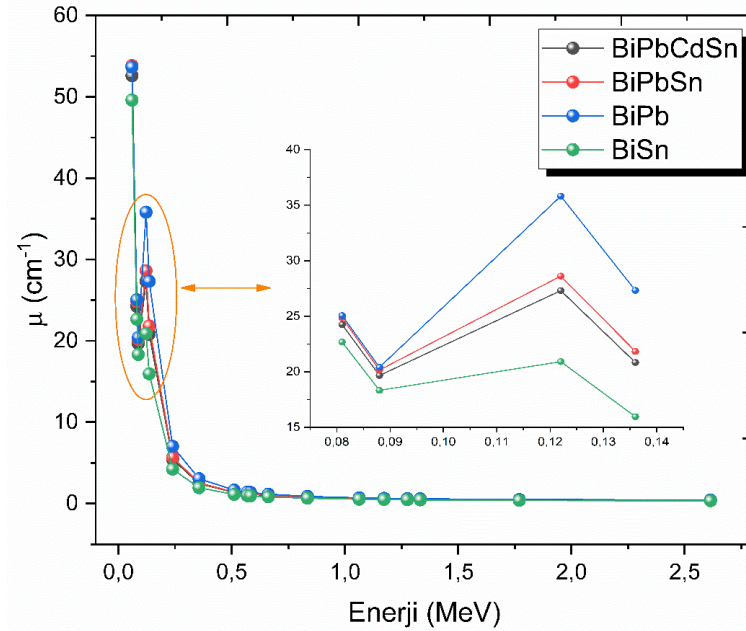
Lineer azaltma katsayısı numunenin yoğunluğuna bağlı olup, kütle azaltma katsayısı ile numune yoğunluğunun çarpımından belirlenebilen bir parametredir. Lineer azaltma katsayısının foton enerjisi ile değişimi belirtilen alaşımlar için Şekil 3.’te verilmiştir. Kütle azaltma katsayısı sonuçlarında olduğu gibi lineer azaltma katsayısı sonuçlarında da enerji ile değişim eksponansiyel bir azalmadır. Kütle azaltma katsayılarında da bahsedildiği gibi bu azalmalar ilgili bölgeye göre fotoelektrik, Compton saçılma ve çift oluşum tesir kesitlerinin baskınlığına göre değişmektedir. Şekil 3.’ten de görüldüğü gibi BiPb ile kodlanmış numunenin lineer azaltma katsayıları diğerlerinininkine göre daha yüksektir, yani lineer azaltma katsayısı dikkate alındığında BiPb kodlu numune diğerlerine göre daha iyi bir gama radyasyonu zırh malzemesidir.

Çizelge 2. Bizmut tabanlı bazı alaşımların karşılaştırmalı kütle azaltma katsayı (μ/ρ , cm^2/g) değerleri

Enerji (MeV)	Kütle azaltma katsayısı (cm^2/g)											
	BiPbCdSn			BiPbSn			BiPb			BiSn		
	XCOM	GEANT	FLUKA	XCOM	GEANT	FLUKA	XCOM	GEANT	FLUKA	XCOM	GEANT	FLUKA
0.060	5.4392	4.2912	4.9832	5.4663	4.9574	5.389	5.1380	4.5677	5.0651	5.7924	5.3400	5.2941
0.081	2.5076	2.9422	2.8654	2.5236	2.4301	2.6537	2.4005	2.8637	2.7631	2.6484	2.4018	2.5982
0.088	2.0329	1.5951	2.2714	2.0467	1.9947	2.1448	1.9546	2.1667	2.2926	2.1409	1.9883	2.1765
0.122	2.8230	2.6158	2.1765	2.9049	2.7822	2.6054	3.4304	3.2851	3.3217	2.4422	2.3192	3.4462
0.136	2.1540	1.9889	2.0521	2.2162	2.1091	2.258	2.6168	2.4974	2.5923	1.8634	1.8020	2.2088
0.239	0.5632	0.5226	0.5482	0.5777	0.5477	0.5689	0.6727	0.6383	0.6648	0.4943	0.4655	0.4835
0.356	0.2523	0.2309	0.2495	0.2575	0.2380	0.2563	0.2923	0.2700	0.2865	0.2271	0.2095	0.2216
0.511	0.1420	0.1332	0.1412	0.1441	0.1351	0.1435	0.1584	0.1480	0.1581	0.1316	0.1235	0.1297
0.569	0.1231	0.1164	0.1231	0.1247	0.1175	0.1238	0.1358	0.1275	0.1351	0.1151	0.1088	0.1129
0.583	0.1194	0.1130	0.1189	0.1209	0.1140	0.1205	0.1313	0.1234	0.1302	0.1118	0.1058	0.1116
0.662	0.1027	0.0982	0.1030	0.1037	0.0986	0.1038	0.1115	0.1056	0.1109	0.0970	0.0927	0.0966
0.835	0.0806	0.0783	0.0813	0.0812	0.0781	0.0810	0.0856	0.0821	0.0856	0.0773	0.0747	0.0768
1.063	0.0649	0.0639	0.0654	0.0652	0.0634	0.0651	0.0677	0.0656	0.0677	0.0630	0.0615	0.0630
1.173	0.0600	0.0593	0.0610	0.0602	0.0587	0.0602	0.0622	0.0605	0.0622	0.0585	0.0572	0.0585
1.275	0.0565	0.0561	0.0571	0.0566	0.0554	0.0566	0.0583	0.0569	0.0590	0.0552	0.0543	0.0552
1.333	0.0548	0.0545	0.0555	0.0550	0.0538	0.0550	0.0565	0.0552	0.0561	0.0536	0.0527	0.0536
1.770	0.0472	0.0472	0.0478	0.0474	0.0467	0.0435	0.0485	0.0476	0.0485	0.0464	0.0459	0.0463
2.614	0.0421	0.0418	0.0423	0.0422	0.0417	0.0422	0.0434	0.0427	0.0434	0.0412	0.0408	0.0412



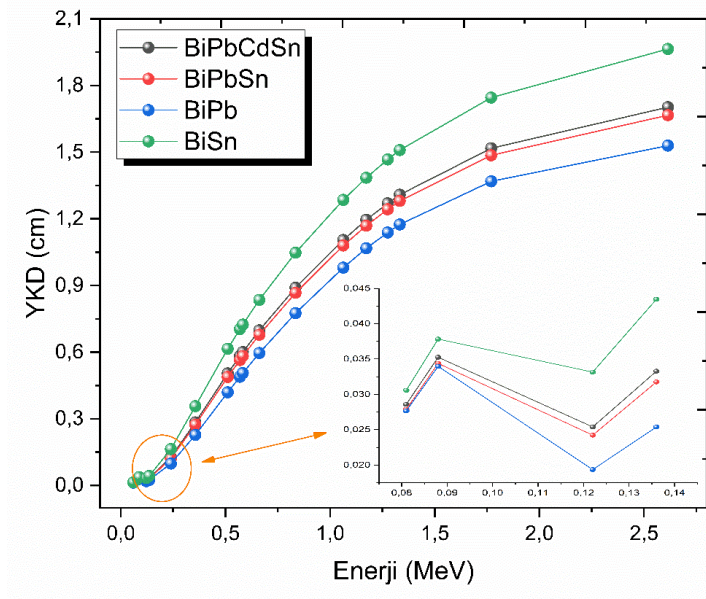
Şekil 2. Bizmut tabanlı bazı alaşımların karşılaştırmalı kütle azaltma katsayı (μ/ρ , cm^2/g) değerleri grafiği.



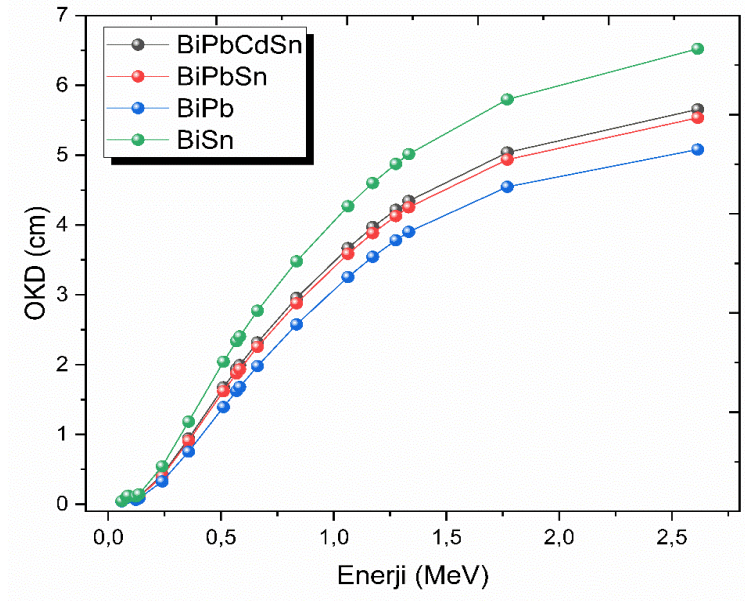
Şekil 3. Bizmut tabanlı bazı alaşımların karşılaştırmalı lineer azaltma katsayı (μ , cm^{-1}) değerleri grafiği.

YKD, OKD ve OSY parametreleri gama zırhlama özelliklerinin belirlenmesinde önemli parametrelerdir. Bu üç parametre lineer azaltma katsayıları kullanılarak hesaplanabilir. 0.060 MeV ve 2.614 MeV enerji aralığındaki 18 farklı enerjide seçilen bizmut tabanlı alaşımların yarı kalınlık değerlerinin foton enerjisi ile değişimi Şekil 4.'te, onda-bir kalınlık değerlerinin foton enerjisi ile

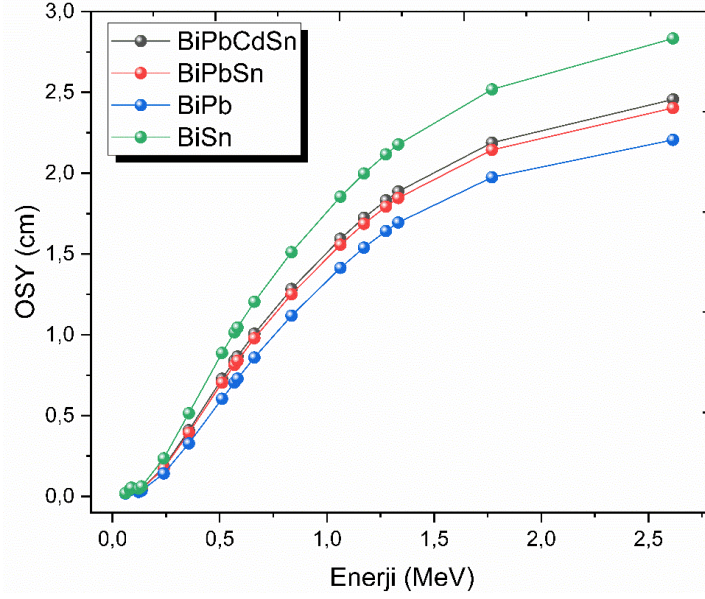
değişimi Şekil 5.'te ve ortalama serbest yol değerlerinin foton enerjisi ile değişimi Şekil 6.'da sunulmuştur.



Şekil 4. Bizmut tabanlı bazı alaşımlar için YKD'nin enerji ile değişimi.



Şekil 5. Bizmut tabanlı bazı alaşımlar için OKD'nin enerji ile değişimi.



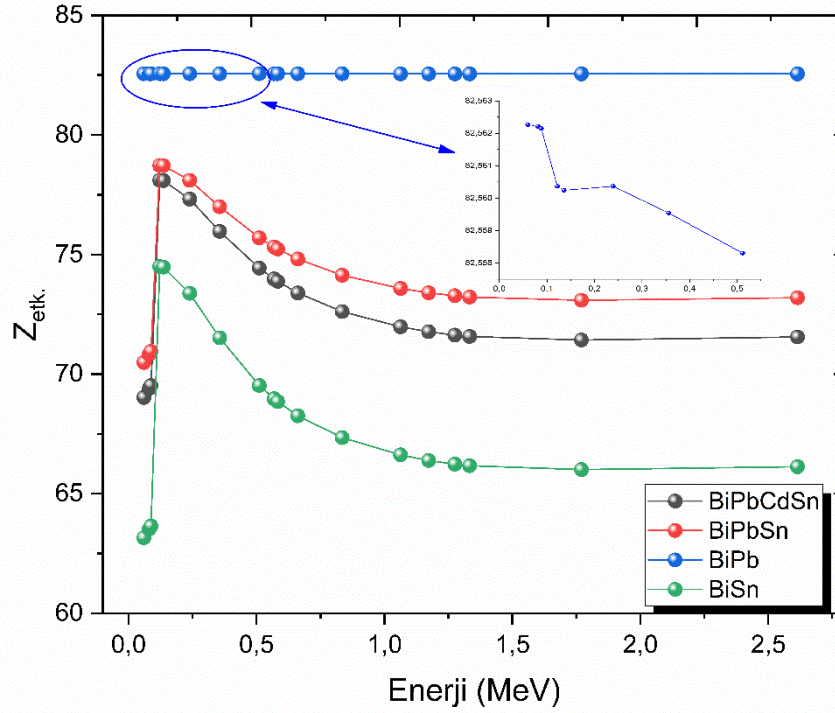
Şekil 6. Bizmut tabanlı bazı alaşımlar için OSY'nin enerji ile değişimi.

Şekil 4-6'dan de görüldüğü gibi artan foton enerjisi ile YKD, OKD ve OSY parametreleri hızla artmaktadır. Hızlı artışlar YKD, OKD ve OSY parametrelerinin lineer azaltma katsayısı ile ters orantılı olarak değişmesi ile açıklanabilir. 0.662 MeV enerjide YKD değerleri incelendiğinde, BiPbCdSn, BiPbSn, BiPb ve BiSn kodlu numuneler için sırasıyla; 0.6982, 0.6784, 0.5957 ve 0.8347 sonuçları WinXCOM programı yardımı ile elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre en küçük değere sahip olan BiPb kodlu numunenin radyasyon zırh malzemesi olma özelliğinin diğer numunelerden daha iyi olduğu söylenebilir. 1.333 MeV enerjide OKD değerleri incelendiğinde, BiPbCdSn, BiPbSn, BiPb ve BiSn kodlu numuneler için sırasıyla; 4.3448, 4.2526, 3.9016 ve 5.0143 sonuçları WinXCOM programı yardımı ile elde edilmiştir. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde en küçük değere sahip olan BiPb kodlu numunenin daha iyi bir zırhlama malzemesi olduğu görülür. 0.081 MeV enerjide ise OSY değerleri incelendiğinde, BiPbCdSn, BiPbSn, BiPb ve BiSn kodlu numuneler için sırasıyla; 0.0412, 0.0402, 0.0399 ve 0.0441 sonuçları WinXCOM programı yardımı ile elde edilmiştir. Yine bu numuneler içerisinde en küçük OSY değerine sahip olan BiPb kodlu numunenin diğer numuneler ile kıyaslandığında daha iyi bir zırhlama malzemesi olduğu gözlemlenmiştir. Bu üç parametre de dikkate alındığında BiPb kodlu alaşımın diğer seçilen alaşımlara göre daha iyi gama radyasyonu zırhlama özelliğine sahip olduğu görülmüştür.

Sunulan çalışmada dikkate alınan son parametre Z_{etk} değeridir. Bu parametre aynı zamanda radyasyon azaltmanın iyi bir göstergesidir. Bu parametre ne kadar yüksek değerlere sahip olursa ilgili malzeme de o derecede gama radyasyonu zırhlama açısından elverişli olacaktır. Z_{etk} 'nin fotoelektrik etkinin baskın olduğu düşük enerji bölgesinde en yüksek değerlerini aldığı Şekil 7.'den görülmektedir. Alaşımlardaki bizmutun ağırlık kesri arttıkça Z_{etk} değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca etkin atom numarasının foton enerjisine bağlı olduğu da Çizelge 3.'te görülmektedir ve bu bağlılık artan enerji ile eksponensiyel azalma şeklindedir (Bi veya Pb K tabakaları soğurma kıyıları hariç). 0.081 MeV enerjide BiPbCdSn, BiPbSn, BiPb ve BiSn numunelerinin Z_{etk} değerleri karşılaştırıldığında sıralamanın BiPb > BiPbSn > BiPbCdSn > BiSn şeklinde olduğu görülmektedir. En büyük Z_{etk} değerine sahip olan BiPb kodlu numunenin en iyi gama radyasyonu zırhlama özelliğine sahip materyal olduğunu görülmüştür.

Çizelge 3. Bizmut tabanlı bazı alaşımların karşılaştırmalı etkin atom numarası ($Z_{\text{etk.}}$) değerleri

Enerji (MeV)	Etkin Atom Numarası ($Z_{\text{etk.}}$)											
	BiPbCdSn			BiPbSn			BiPb			BiSn		
	XCOM	GEANT	FLUKA	XCOM	GEANT	FLUKA	XCOM	GEANT	FLUKA	XCOM	GEANT	FLUKA
0.060	69.0196	54.4525	63.2336	70.4869	63.9248	69.4902	82.5623	73.3980	81.3907	63.1573	58.2242	57.7237
0.081	69.3997	81.4286	79.3031	70.8348	68.2100	74.4862	82.5622	98.4918	95.0319	63.5213	57.6071	62.3178
0.088	69.5234	54.5501	77.6786	70.9505	69.1477	74.3511	82.5621	91.5234	96.8415	63.6435	59.1072	64.7019
0.122	78.1051	72.3719	60.2177	78.7287	75.4036	70.6119	82.5604	79.0628	79.9437	74.4920	70.7404	105.1162
0.136	78.0892	72.1030	74.3942	78.7203	74.9167	80.2057	82.5602	78.7945	81.7886	74.4758	72.0235	88.2828
0.239	77.3151	71.7336	75.2462	78.1037	74.0492	76.9155	82.5604	78.3360	81.5908	73.3752	69.1041	71.7762
0.356	75.9691	69.5107	75.1165	76.9961	71.1498	76.6367	82.5595	76.2781	80.9305	71.5162	65.9992	69.7978
0.511	74.4288	69.7903	73.9985	75.6987	70.9510	75.3903	82.5583	77.1283	82.3917	69.5202	65.2501	68.5258
0.569	73.9800	69.9443	73.9640	75.3169	70.9522	74.7755	82.5579	77.5490	82.1522	68.9669	65.1941	67.6757
0.583	73.8817	69.9276	73.5656	75.2331	70.9604	74.9932	82.5578	77.5963	81.8458	68.8472	65.1397	68.7302
0.662	73.3921	70.2154	73.6341	74.8138	71.1397	74.8680	82.5573	78.1957	82.1436	68.2586	65.1988	67.9592
0.835	72.6114	70.5962	73.2580	74.1354	71.3685	73.9744	82.5565	79.1657	82.5129	67.3414	65.0870	66.9268
1.063	71.9782	70.9205	72.5498	73.5834	71.5560	73.4544	82.5555	79.9381	82.4596	66.6219	65.0665	66.5617
1.173	71.7713	71.0247	73.0508	73.4007	71.5946	73.4285	82.5553	80.2762	82.5809	66.3908	65.0079	66.3717
1.275	71.6318	71.1700	72.4681	73.2760	71.7321	73.1942	82.5553	80.5055	83.5656	66.2352	65.1145	66.2545
1.333	71.5737	71.1638	72.4554	73.2244	71.7321	73.2387	82.5552	80.5708	81.8560	66.1705	64.9958	66.1269
1.770	71.4248	71.3159	72.2456	73.0907	72.0882	67.1313	82.5551	81.0593	82.5142	66.0061	65.2361	65.9304
2.614	71.5489	70.9846	71.8649	73.1947	72.1890	73.0763	82.5544	81.2848	82.5723	66.1254	65.4000	66.1138



Şekil 7. Bizmut tabanlı bazı alaşımların etkin atom numarasının enerjiye karşı grafiği.

4. Sonuç

Bu çalışmada, 0,060 MeV ila 2,614 MeV foton enerjileri aralığında 18 farklı enerjide bizmut tabanlı BiPbCdSn, BiPbSn, BiPb, BiSn kodlu alaşımların gama radyasyonu zırhlama kapasiteleri incelenmiştir. Bu alaşımların μ/ρ , μ , YKD, OKD, OSY ve Z_{etk} radyasyon zırhlama parametreleri WinXCOM programı ve GEANT4 ve FLUKA simülasyon kodlarıyla hesaplanarak elde edilmiştir. Üç farklı yolla elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. WinXCOM, FLUKA ve GEANT4 sonuçlarının genel olarak birbirleriyle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Belirlenen bu parametrelere göre BiPb kodlu alaşımın diğerlerine göre daha iyi bir gama radyasyonu zırh malzemesi olduğu görülmüştür. Bazı enerji değerleri hariç, Monte Carlo simülasyon kodlarından elde edilen sonuçlar ile WinXCOM değerleri arasında tutarlılık görülmektedir. Gerçekleştirilen bu çalışma ile bizmut tabanlı seçilen alaşımların sunulan enerjilerde ilk kez iyonlaştırıcı radyasyon zırhlama kapasiteleri incelenmiştir. Çalışmada kullanılan GEANT4 ve FLUKA simülasyon kodları ile elde edilen sonuçların WinXCOM ile karşılaştırılması bu simülasyon kodlarının güvenilirliğini doğrulamıştır. Belirlenen bu parametrelerden elde edilen sonuçlara göre BiPb kodlu numunenin günümüzde sıklıkla gama radyasyonu zırh malzemesi olarak kullanılan kurşun veya türevlerinden üretilmiş zırh malzemelerine alternatif olma potansiyeline sahip olduğu gözlemlenmiştir. Mevcut sonuçlara göre BiPb kodlu numune hastanelerde ve tıp merkezlerinde, radyasyon yayan ekipman bulunan odalarda, radyoaktif atık ürünlerin depolanmasında ve nükleer santrallerde çevre ve insan sağlığını korumak için gama radyasyonu zırh malzemesi olarak kullanılabilir.

Kaynakça

- Abdel-latif M. A., & Kassab, M. M. (2022). Effect of chromium contents on radiation shielding and macroscopic cross-section in steel alloys. *Applied Radiation Isotopes*, 186, 110263. doi:10.1016/j.apradiso.2022.110263
- Agar, O. (2018). Study on gamma ray shielding performance of concretes doped with natural sepiolite mineral. *Radiochimica Acta*, 106, 12. doi:10.1515/ract-2018-2981
- Agostinelli, S., Allison, J., Amako, K. A., Apostolakis, J., Araujo, H., Arce, P., ... & Geant4 Collaboration. (2003). Geant4—a simulation toolkit. *Nuclear Instruments and Methods in*

- Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. 506(3), 250-303. doi:10.1016/S0168-9002(03)01368-8
- Akkaş, A. (2016). Determination of the tenth and half value layer thickness of concretes with different densities. *Acta Physica Polonica A*, 129(4), 770-772. doi:10.12693/APhysPolA.129.770
- Akleyev, A. V. (2016). Normal tissue reactions to chronic radiation exposure in man. *Radiation Protection Dosimetry*, 171(1), 107–116. doi:10.1093/rpd/ncw207
- Akman, F., Kaçal, M. R., Sayyed, M. I., Karataş, H. A. (2019a). Study of gamma radiation attenuation properties of some selected ternary alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 782(25), 315-322. doi:10.1016/j.jallcom.2018.12.221
- Akman, F., Sayyed, M. I., Kaçal, M. R., Tekin, H. O. (2019b). Investigation of photon shielding performances of some selected alloys by experimental data, theoretical and MCNPX code in the energy range of 81 keV–1333 keV. *Journal of Alloys and Compounds*, 772, 516-524. doi:10.1016/j.jallcom.2018.09.177
- Akman, F., Ogul, H., Ozkan, I., Kaçal, M. R., Agar, O., Polat, H., Kamuran Dilsiz, K. (2022). Study on gamma radiation attenuation and non-ionizing shielding effectiveness of niobium-reinforced novel polymer composite. *Nuclear Engineering and Technology*, 54(1), 283-29. doi:10.1016/j.net.2021.07.006
- Al-Ghamdi, H., AshokKumar, A. Jecong, J. F. M., Almuqrina, H. A., Tishkevich, D. I., Sayyed, M. I. (2022). Optical and gamma ray shielding behavior of PbO–B₂O₃–CuO–CaO glasses. *Journal of Materials Research and Technology*, 18, 2494-2505. doi:10.1016/j.jmrt.2022.03.120
- Al-Hadeethi, Y., Sayyed, M. I., Raffah, B. M., Kumar, A. (2022). Physical, structural and gamma ray shielding behaviour of PbO–CuO–CaO–B₂O₃ glasses. *Optik*, 258, 168881. doi:10.1016/j.ijleo.2022.168881
- Al-Hadeethi, Y., Sayyed, M. I., Rahman, Y. S. (2020). Fabrication, optical, structural and gamma radiation shielding characterizations of GeO₂–PbO–Al₂O₃–CaO glasses. *Ceramics International*, 46(2), 2055-2062. doi:10.1016/j.ceramint.2019.09.185
- ALMised, G., Akman, F., AbuShanab, W. S., Tekin, H. O., Kaçal M. R., Issa, A. M. S., Polat, H., Oltulu, M., Ene, A., Zakaly M. H. H. (2021). Novel Cu/Zn reinforced polymer composites: experimental characterization for radiation protection efficiency (rpe) and shielding properties for alpha, proton, neutron, and gamma radiations. *Polymers*, 13(18), 3157. doi:10.3390/polym13183157
- Aygün, B. (2020). High alloyed new stainless steel shielding material for gamma and fast neutron radiation. *Nuclear Engineering and Technology*, 52(3), 647-653. doi:10.1016/j.net.2019.08.017
- Azeez, M. O., Ahmad, S., Al-Dulaijan, S. U., Maslehuddin M., Naqvi A. A. (2019). Radiation shielding performance of heavy-weight concrete mixtures. *Construction and Building Materials*. 224(10) 284-291. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.07.077
- Böhlen, T. T., Cerutti, F., Chin, M. P. W., Fassò, A., Ferrari, A., Ortega, P. G., Mairani, A., Salad, P. R., Smirnov, G., Vlachoudis, V. (2014). The FLUKA code: Developments and challenges for high energy and medical applications. *Nuclear Data Sheets*, 120, 211-214. doi:10.1016/j.nds.2014.07.049
- Chinthakayala, S. K., Gadige, P., Kollipara, S. V., Ramadurai, G. (2022). Gamma radiation shielding studies on highly dense barium bismuth borate glasses. *Applied Glass Science*, 13(2), 211-222. doi:10.1111/ijag.16554
- Eke, C., Agar, O., Segebade, C., Boztosun, I. (2017). Attenuation properties of radiation shielding materials such as granite and marble against γ -ray energies between 80 and 1350 keV. *Radiochimica Acta*, 105 (10), 851-863. doi:10.1515/ract-2016-2690
- Elias, J. A., Montes, E., Torres-Castro, A., Wiechers, C., Gomez-Solis, C., Vega-Carrillo, H. R., Sosa, M. A., & Vallejo, M. A. (2022). Mn, Cu and Cr nanoparticles in Li₂B₄O₇ glass: Radiation shielding and optical properties. *Radiation Physics and Chemistry*, 194, 110037. doi:10.1016/j.radphyschem.2022.110037
- Gerward, L., Guilbert, N., Jensen, K. B., Levring, H. (2004). WinXCom—a program for calculating X-ray attenuation coefficients. *Radiation Physics and Chemistry*, 71(3-4), 653-654. doi:10.1016/j.radphyschem.2004.04.040
- Gilys, L., Griškonis, E., Griškevičius, P., & Adliene, D. (2022). Lead free multilayered polymer composites for radiation shielding. *Polymers*, 14(9), 1696. doi:10.3390/polym14091696

- GoodFellow. (2023). <https://www.goodfellow.com/uk/en-gb/alloy> Erişim tarihi : 15.09.2022
- Hamad, Kh., M., Mhareb, M. H. A., Sayyed, M. I., Alajerami, Y. S. M., Alsharhan, R., Khandaker, M. U. (2022a). Novel efficient alloys for ionizing radiation shielding applications: A theoretical investigation. *Radiation Physics and Chemistry*, 110181. doi:10.1016/j.radphyschem.2022.110181
- Hamad, R. M., Hamad, Kh. M., Dwaikat, N., & Ziq, Kh., A. (2022b). Assessment of FexSe0.5Te0.5 alloy properties for ionizing radiation shielding applications: An experimental study. *Applied Physics A*, 128:574. doi:10.1007/s00339-022-05721-8
- Levet, A., Kavaz, E., & Özdemir, Y. (2020). An experimental study on the investigation of nuclear radiation shielding characteristics in iron-boron alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 819, 152946. doi:10.1016/j.jallcom.2019.152946
- Makarious, A. S., Bashter, I. I., Abdo, A. E. S., Azim, M. S. A., Kansouh, W. A. (1996). On the utilization of heavy concrete for radiation shielding. *Annals of Nuclear Energy*, 23(3), 195-206. doi:10.1016/0306-4549(95)00021-1
- Manjunatha, H. C. (2017). A study of gamma attenuation parameters in polymethylmethacrylate and Kapton. *Radiation Physics and Chemistry*, 137, 254–259. doi:10.1016/j.radphyschem.2016.01.024
- Manohara, S. R., Hanagodimath, S. M., Thind, K. S., Gerward, L. (2008). On the effective atomic number and electron density: A comprehensive set of formulas for all types of materials and energies above 1 keV. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 266(18), 3906–3912. doi:10.1016/j.nimb.2008.06.034
- Mansour, A., Sayyed, M. I., Mahmoud, K. A., Şakar, E., & Kovaleva, E. G. (2020). Modified halloysite minerals for radiation shielding purposes. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 13(1), 94-101. doi.org/10.1080/16878507.2019.1699680
- McCaffrey, J. P., Shen, H., Downton, B. E., & Mainegra-Hing, E. (2007). Radiation attenuation by lead and nonlead materials used in radiation shielding garments. *Medical Physics*, 34(2), 530-537. doi:10.1118/1.2426404
- Mhareb, M. H. A., Slimani, Y., Alajerami, Y. S., Sayyed, M. I., Lacomme, E., Almessiere, M. A. (2020). Structural and radiation shielding properties of BaTiO₃ ceramic with different concentrations of Bismuth and Ytterbium. *Ceramics International*, 46(18), 28877-28886. doi:10.1016/j.ceramint.2020.08.055
- Özkalaycı, F., Kaçal, M. R., Polat, H., Agar, O., Almousa, N., & Akman, F. (2022). Lead-free Sb-based polymer composite for γ -ray shielding purposes. *Radiochimica Acta*, 110, 5. doi:10.1515/ract-2022-0020
- Öztürk, O., Karaburç, Ş. N., Saydan, M., & Keskin, Ü. S. (2022). High rate X-ray radiation shielding ability of cement-based composites incorporating strontium sulfate (SrSO₄) minerals. *Kerntechnik*, 87(1), 115-124. doi:10.1515/kern-2021-0029
- Prabhu, S., Bubbly, G., & Gudennavar, S. B. (2022). X-Ray and γ -Ray Shielding Efficiency of Polymer Composites: Choice of Fillers, Effect of Loading and Filler Size, Photon Energy and Multifunctionality. *Polymer Reviews*, 1-43. doi.org/10.1080/15583724.2022.2067867
- Reda, A. M., & El-Daly, A. A. (2022). Novel metallic Bi-Pb-Cd-Ag alloys for shielding against neutrons and gamma rays. *Physica Scripta*, 97(6), 065304. doi:10.1088/1402-4189/66e9b
- Saad, M., ALMohiy, H., Alqahtani, M. S., Alshihri, A. A., & Shalaby, R. M. (2022). Study of structural, physical, characteristics and radiation shielding parameters of Bi₅₀-Pb₄₀-Sn₁₀ and Bi₄₀-Pb₄₀-Sn₁₀-Cd₁₀ alloys used for radiation therapy. *Radiation Effects and Defects in Solids*, 177(5-6), 545-555. doi:10.1080/10420150.2022.2063125
- Singh, T., Kaur, A., Sharma, J., & Singh, P. S. (2018). Gamma rays' shielding parameters for some Pb-Cu binary alloys. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 21(5), 1078-1085. doi:10.1016/j.jestch.2018.06.012
- Skuld, (2023). X-ray Absorption Edges. http://skuld.bmsc.washington.edu/scatter/AS_periodic.html Erişim tarihi: 15.09.2022
- Turhan, M. F., Akman, F., Taşer, A., Dilsiz, K., Oğul, H., Kaçal, M. R., & Agar, O. (2022). Gamma radiation shielding performance of CuxAg(1-x)-alloys: Experimental, theoretical and simulation results. *Progress in Nuclear Energy*, 143, 104036. doi.org/10.1016/j.pnucene.2021.104036

- Yorgun, N. Y. (2019a). Gamma-ray shielding parameters of Li₂B₄O₇ glasses: Undoped and doped magnetite, siderite and Zinc-Borate minerals cases. *Radiochimica Acta*, 107(8), 755-765. doi:10.1515/ract-2019-0014
- Yorgun, N. Y. (2019b). Gamma-ray shielding properties of lithium borate glass doped with colemanit mineral. *BEU Journal of Science* 8 (3), 762-771. doi:10.17798/bitlisfen.525527



Research Article

An Excel-based Calculator for Measuring Bacterial Concentration

Bahadır TÖRÜN*

Hakkari University, Vocational School of Health Services, Medical Laboratory Techniques Department 30000,
Hakkari, Türkiye

Bahadır TÖRÜN, [ORCID No: 0000-0001-5142-1882](https://orcid.org/0000-0001-5142-1882)

*Corresponding author e-mail: bahadirtorun@hakkari.edu.tr

Article Info

Received: 20.06.2022

Accepted: 28.09.2022

Online April 2023

DOI:[10.53433/yyufbed.1133323](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1133323)

Keywords

Bacterial calculation,
Calibration curve,
McFarland calculator,
McFarland standards

Abstract: It is essential to know the initial bacterial count in microbiological studies. The classical plate count method is one of the most reliable methods. However, it is time-consuming. This study offers a fast method based on turbidity. This study describes how to create a calculator to be used for calculation of the bacteria concentration with spectrophotometric data in Excel 2010. In the study, McFarland standard and spread plate methods were used as standards for the control of spectrophotometric measurements. Bacteria used in the experiment were grown in suitable media and spectrophotometric measurements were performed. Then, using the Excel application, a calculator was created with a bio analytical approach to determine the linear relationship between turbidity and bacterial count. Bacteria counts were calculated by entering the absorbance data into the calculator, and the results were verified using cultural methods. As a result, an Excel-based calculator was created that can be used to calculate the number of bacteria from broth media.

Bakteriyel Konsantrasyonu Ölçmek için Excel Tabanlı Bir Hesap Makinesi

Makale Bilgileri

Geliş: 20.06.2022

Kabul: 28.09.2022

Online Nisan 2023

DOI:[10.53433/yyufbed.1133323](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1133323)

Anahtar Kelimeler

Bakteriyel hesaplama,
Kalibrasyon eğrisi,
McFarland hesap makinası,
McFarland standartları

Öz: Mikrobiyolojik çalışmalarda başlangıç bakteri sayısının bilinmesi esastır. Klasik plaka sayım yöntemi en güvenilir yöntemlerden biridir ancak zaman alıcıdır. Bu çalışma, bulanıklığa dayalı hızlı bir yöntem sunmaktadır. Bu yöntemle, sıvı kültürler için büyüme ortamında kör olarak bakteri içermeyen büyüme ortamı kullanılarak doğrudan bir ölçüm yapılabilir. Bu çalışma Excel 2010'da spektrofotometrik verilerle bakteri sayısının hesaplanmasında kullanılacak hesap makinasının nasıl oluşturulacağını anlatmaktadır. Çalışmada spektrofotometrik ölçümlerin kontrolü için standart olarak McFarland standardı ve yayma plaka yöntemi kullanılmıştır. Denemede kullanılan bakteriler uygun besi ortamında büyütülmüş, spektrofotometrik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra Excel uygulaması kullanılarak bulanıklık ve bakteri sayısı arasındaki linear ilişkiyi belirlemek için biyoanalitik yaklaşımla hesap makinası oluşturulmuştur. Yapılan ölçümlerdeki absorbans verileri hesap makinasına girilerek bakteri sayıları hesaplanmış, bulunan bakteri sayıları kültürel yöntemler kullanılarak doğrulanmıştır. Sonuç olarak, sıvı besi ortamlarından bakteri sayısının hesaplanmasında kullanılacak Excel tabanlı bir hesap makinası oluşturulmuştur.

1. Introduction

Bacterial concentration is an important step in microbiological research. McFarland Turbidity standards are a widely used method proposed by McFarland (McFarland, 1907). Bacterial measurement with McFarland standard is done with comparing prepared Standard with bacterial culture in a spectrophotometer. McFarland standard is prepared by mixing different volumes of 1% BaCl₂ and 1% H₂SO₄ (Table 1) to give turbidity values at 625 nm (Isenberg, 2004). 0.5 McFarland standard should give approximately 0.1 Abs at 625 nm.

Table 1. McFarland preparation table and bacterial concentrations (Isenberg, 2004)

McFarland Standart	1% BaCl ₂ (ml)	1% H ₂ SO ₄ (ml)	Bacterial concentration (cfu ml ⁻¹)
0.5	0.05	9.95	1.5×10 ⁸
1	0.1	9.9	3.0×10 ⁸
2	0.2	9.8	6.0×10 ⁸
3	0.3	9.7	9.0×10 ⁸
4	0.4	9.6	1.2×10 ⁹
5	0.5	9.5	1.5×10 ⁹
6	0.6	9.4	1.8×10 ⁹
7	0.7	9.3	2.1×10 ⁹
8	0.8	9.2	2.4×10 ⁹
9	0.9	9.1	2.7×10 ⁹
10	1.0	9.0	3.0×10 ⁹

The calibration curve in the bio analytical approach is a linear relationship between concentration (independent variable) and response (dependent variable) using a least-squares approach. This relationship is made to anticipate the unknown concentrations of the content in a sophisticated matrix. (Prichard & Barwick, 2003; Moosavi & Ghassabian, 2018). The quality of a bio analytical approach is extremely reliant on the linearity of the calibration curve (Almeida et al., 2002). A linear calibration curve is a clear implication of assay performance in a validated analytical range. Other aspects of the calibration curve, including the regression model, the slope of the line, weighting, and correlation coefficient, need to be fully evaluated (Moosavi & Ghassabian, 2018).

This Excel-based calculator was prepared by creating a linear calibration curve with absorbance values and bacterial concentrations corresponding to each McFarland standard. To do a calibration curve we need to compare the readings of a spectrophotometer to known values called standards (McFarland standard). With this we achieve a series of data to develop a calibration curve. Using two data pairs as reference points and draw a line between them we could select any point on the line that correlate to the value spectrophotometer shows and we could find the corresponding bacterial concentration. The line is filling the data between known points so we can be logically sure with our estimated bacterial concentration without measuring a standard for that reading.

Hayashi et al. (2005) studied detection limit of the calibration curve for competitive ELISA. They deduced slope of log-dose B/B₀ at L_D=[relative standard deviation of blank responses]/0.13 corresponds to the dose at which relative standard deviation of dose estimates is % 30. Sofalvi and Schueler (2021) assessed the bioanalytical method validation data using heteroscedastic seven-point linear calibration curves by customized Excel template. They developed an excel template that can calculate all needed numerical and statistical validation results with minimal data. Pesti et al. (2022) used statistical methods to improve the results of calibration curve in bioassays by determining the zinc bioavailability in broiler chickens. They found the abductive method has advantage on other statistical methods: estimation is consistent with the theory. When error is small (R²>0.95) the advantage is minimum but when the error is large, like in many growing organisms, method increases the accuracy of calculations.

Excel allows us to devise the data pairs in a chart, add a trend line, and present equation on the chart. It is also possible to measure the line's formula using SLOPE and INTERCEPT functions. When we use SLOPE and INTERCEPT in the formula, the value we will be calculated based on measurement.

2. Material and Methods

Photobacterium damselea subsp *piscicida*, and *Vibrio anguillarum* were used as the test bacteria. Bacteria were isolated from sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and sea bream (*Sparus aurata*) samples. After fenotypic identification molecular identification were performed. Bacterial DNA was isolated with Qiagen DNeasy Blood and Tissue kit according to manufacturer's instructions. Real Time PCR reactions were performed using Rotor-Gene Q thermal cycler with Microbial DNA qPCR assay kit designed for *Photobacterium damselea* subsp *piscicida* and *Vibrio anguillarum*. Samples with strong positive ($Ct \leq 25$) results were chosen for further experimentation.

After identification, bacteria were inoculated in Tryptic Soy Broth (Merck) at 25 °C for 24 hours. Serial dilutions were made from 10^0 to 10^{-9} . Each dilution was measured with spectrophotometer at 625 nm. We made inoculations from each dilution on Tryptic Soy Agar (Merck). Agar plates were inoculated at 25 °C for 48 hours. After inoculation colonies were counted to calculate viable bacterial concentration. Same procedure was used for both bacteria.

McFarland standards were prepared with $BaCl_2$ and H_2SO_4 as given in Table 1. McFarland standards were used as control for both calibration curve and bacterial concentration. Each standard's absorbance was measured and a calibration curve was formed. Measurements were performed with the Hach Lange DR5000 spectrophotometer. Each experiment was done in triplicate.

2.1. Drawing calibration curve

The calibration curve was prepared according to Prichard & Barwick (2003). To draw a calibration curve, at least three replicates of each standard are recommended. This model's expectation is that the measurement error is the same and normally distributed for each sample. If application of this assumption is not possible, an extended or weighted least-squares analysis will be recommended. The distribution properties of the residuals (the difference between predicted and measured value) are predicted to be normal and centered on zero (Kolmogorov–Smirnov test; Moosavi & Ghassabian, 2018).

First, we will draw a calibration curve using eleven data pairs of McFarland standard. First, we prepare our standards according to Table 1. Then we measured 0.5 McFarland standard at 625 nm. The absorbance value should be 0.1 ± 0.05 . After successfully measuring first standard we measure the remaining ten and made a chart on Excel (Table 2) with the corresponding colony forming units (cfu).

Table 2. McFarland chart of cfu-absorbance values. X-values are cfu and Y-values are absorbance readings. MF: McFarland standards. Absorbance values are mean values of three independent measurements

MF	X-Value	Y-Value
0.5	150000000	0.125
1	300000000	0.257
2	600000000	0.441
3	900000000	0.507
4	1200000000	0.651
5	1500000000	0.779
6	1800000000	0.934
7	2100000000	1.123
8	2400000000	1.39
9	2700000000	1.515
10	3000000000	1.589

Then we draw an XY Scatter chart with X and Y values. After this, we add a linear trend line. Closer the R-Squared value to 1 means the more accurate results. You can customize the chart's title and add axis titles as appropriate for your study (Figure 1).

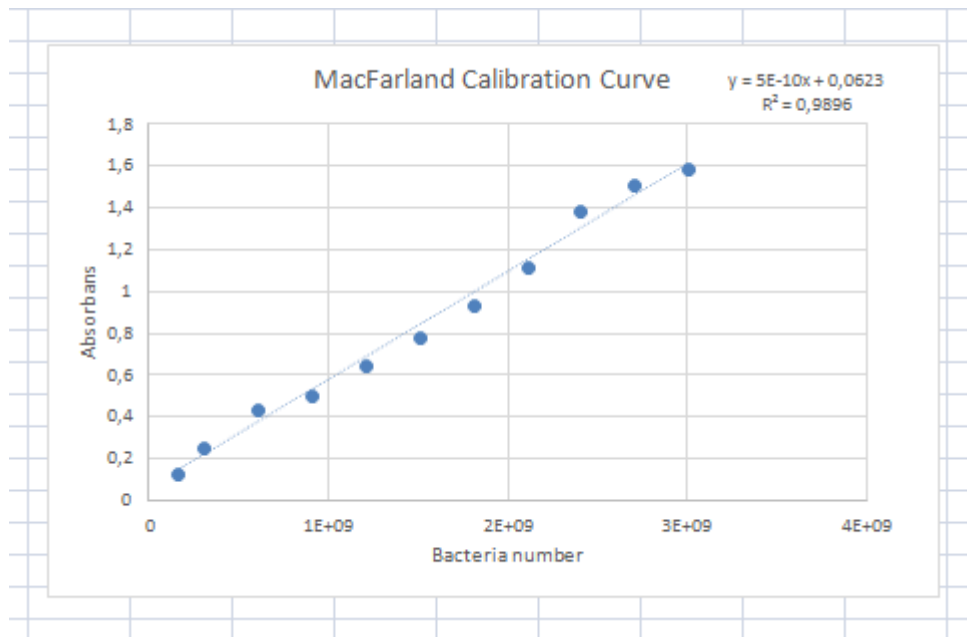


Figure 1. McFarland calibration curve after customizing.

The third step is to compute the R-squared statistics and equation with SLOPE, INTERCEPT, and CORREL functions (Bresolle et al., 1996; Cuadros-Rodríguez et al., 1996; Edwards, 2019). Add "Slope", "Intercept" and "R-squared" titles to three different cells.

To calculate the slope, select the cell below the slope title. Chose Formulas>More Functions>Statistical>SLOPE.

In the function choose Y-values cells. Do the same for X-values. The order of Y and X values are important in this function. The formula will look like the equation below. Cell names can be different in your Excel file depending on your choice of the cells.

$$= SLOPE(D3:D13, C3:C13) \quad (1)$$

The SLOPE value should match the value of the equation on the chart. Next to calculate INTERCEPT (Gu et al., 2014).

In the function choose Y-values cells. Do the same for X-values. The order of Y and X values are also important in this function. The final formula will look like the equation below. Cell names can be different in your Excel file depending on your choice of the cells.

$$= INTERCEPT(D3:D13, C3:C13) \quad (2)$$

The value of the INTERCEPT should match the y-intercept shown in the equation on the chart. Next to calculate CORREL.

In the function arguments choose Y-values cells or select "Array 1" field. Do the same for X-values for "Array 2". The order of Y and X values are not important in this function. Do not forget to square your R value. The equation will look like the equation below. Cell names can be different in your Excel file depending on your choice of the cells.

$$= CORREL(D3:D13, C3:C13)^2 \quad (3)$$

After performing this CORREL value should match the R² value on the chart.

The fourth step is to organize formulas. We will use the slope, intercept and R-squared to predict the concentration of our bacteria in the solution. In next step, we will organize the formulas necessary to enter an absorbance to get the corresponding bacterial concentration or vice versa.

2.2. Checking the calculator

The formula to calculate the absorbance is “Absorbance=(SLOPE*CFU)+INTERCEPT,” so to find the “Absorbance”, we multiply the “CFU” with SLOPE and then add the INTERCEPT value. If you put 0 in the CFU you should get the intercept value so we knew the formula works correctly. The formula will look like this:

$$= B20 * I25 + C20 \tag{5}$$

B20 is the cell of the slope, I25 is the cell of the CFU value we entered and C20 is the cell of the intercept.

To find the “CFU” we need to subtract the INTERCEPT from “Absorbance” and divide the result by the SLOPE. So, we have to formulate "CFU=(Absorbance-INTERCEPT)/SLOPE". The formula will look like this:

$$= (I30 - C20)/B20 \tag{6}$$

I30 is the cell of the absorbance we entered, C20 is the cell of the intercept and B20 is the cell of the slope.

The viable plate count method was used to control the accuracy of the calculator. Ten-fold dilutions of the bacterial broth were prepared and measured with a spectrophotometer and corresponding CFU values were calculated with our calculator. Then inoculations were made from the same dilutions on plate count agar. Calculation results and colonies counted on the plate were compared.

3. Results

After finishing all procedures in Excel, the final look of the calculator should be like Figure 2.

Slope	Intercept	r-squared
5,1803E-10	0,06234514	0,989568

Enter X to find Y	
CFU	0
Absorbance	0,06234514

Enter Y to find X	
Absorbance	0,699
CFU	1228991695

Figure 2. The final look of the calculator.

After preparing the charts and necessary formulae if you enter CFU Excel will calculate the corresponding absorbance or if you enter absorbance Excel will calculate corresponding CFU. After preparing this calculator viable plate count method was used to control the accuracy of the calculator (Table 3).

Table 3. Results of the accuracy test of the calculator compared to the viable plate count method

Absorbance	Calculated CFU	Counted CFU
0.644	1.1×10^9	1.2×10^9
0.512	8.6×10^8	9.0×10^8
0.436	7.2×10^8	7.4×10^8
0.322	5.0×10^8	4.9×10^8
0.230	3.2×10^8	3.0×10^8

4. Discussion and Conclusion

The experimental results seldom fit the mathematical results so there will be differences between the experimental and the calculated values which are called residuals. The sum of squared residuals demands to be reduced to minimal to have the best estimation of the model parameters, and "method of least squares" can be used (Moosavi & Ghassabian, 2018).

Escher et al. (2018) studied the advantages of linear concentration-response curves for in-vitro bioassays with environmental samples. They recommend using all of the concentrations for cell viability. On lower doses the advantage of the system is greater. The main theoretical warning is a normal distribution with standard deviation of the effect data or a slope is a prerequisite for concentration response curves to be linear up to 30 %. Farhat et al. (2018) used flow cytometry and ATP to measure bacterial growth. Their results showed consistent bacterial growth in all tested samples. They suggested a fast and accurate approach to measure bacterial growth in samples. But they didn't control their results with cultural methods. In my opinion checking with cultural methods will produce more solid results since they are being used as standard bacterial counting methods according to ISO regulations.

One of the most common methods to measure bacterial concentration is the viable plate count. One of the disadvantages of the viable plate count method is the assumption that each colony forms from one cell. Some species grow in clusters. This results in the underestimation of the actual concentration of the bacteria. McFarland method measures turbidity instead of counting colonies (Zapata & Ramirez-Arcos, 2015). The viable plate count method is a time-consuming method. Depending on the bacteria it might take several days or even weeks to get results. McFarland method doesn't need extra inoculation steps, you can get results after the initial growth time and with a calculator, you can measure the values between standards. When you are performing a measurement in spectrophotometer use your solvent (growth medium, physiologic saline water etc.) as blank.

The major limitation of this method is the serial dilutions because manually prepared dilutions aren't completely fit for linear calibration curves. However, automated dispensers can be used to solve the problem. Also an expert can manually prepare dilutions suitable for linear calibration curves. Other limitation of this method is; this method is suitable for the bacteria which can be homogenized during the measurement. Because some bacteria can form clusters and do not show homogeneous distribution in the growth media, measuring a heterogeneous solution will give false results. If you are using a fresh culture this method will give accurate numbers but in older cultures I don't suggest using this method since it doesn't discriminate between live and dead cells. If you want to determine the number of live cells one of the plate count methods will be more suitable.

Calculating the bacterial concentration is essential in most of the microbiologic studies. This calculator provides a quick measurement of the bacterial concentration. It must be noted that this calculator gives a close estimation of the actual bacterial concentration depending on the standards prepared. For best results standard preparation and measurement steps must be carefully carried out.

References

- Almeida, A. M., Castel-Branco, M. M., & Falcão, A. C. (2002). Linear regression for calibration lines revisited: Weighting schemes for bio analytical methods. *Journal of Chromatography. B.*, 774(2), 215–222. doi:10.1016/S1570-0232(02)00244-1

- Bressolle, F., Bromet-Petit, M., & Audran, M. (1996). Validation of liquid chromatographic and gas chromatographic methods. Applications to pharmacokinetics. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*, 686(1), 3–10. doi:10.1016/S0378-4347(96)00088-6
- Cuadros-Rodríguez, L., García-Campaña, A. M., & Bosque-Sendra, J. M. (1996). Statistical estimation of linear calibration range. *Analytical Letters*, 29(7), 1231-1239. doi:10.1080/00032719608001471
- Edwards, A. (2019). How to do a linear calibration curve in excel. <https://www.howtogeek.com/399883/how-to-do-a-linear-calibration-curve-in-excel/> Last accessed on 20.06.2020.
- Escher, B. I., Neale, P. A., & Villeneuve, D. L. (2018). The advantages of linear concentration–response curves for in vitro bioassays with environmental samples. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 37(9), 2273-2280. doi:10.1002/etc.4178
- Farhat, N., Hammes, F., Prest, E., & Vrouwenvelder, J. (2018). A uniform bacterial growth potential assay for different water types. *Water Research*, 142, 227-235. doi:10.1016/j.watres.2018.06.010
- Gu, H., Liu, G., Wang, J., Aubry, A. F., & Arnold, M. E. (2014). Selecting the correct weighting factors for linear and quadratic calibration curves with least-squares regression algorithm in bio analytical LC-MS/MS assays and impacts of using incorrect weighting factors on curve stability, data quality, and assay performance. *Analytical Chemistry*, 86(18), 8959–8966. doi:10.1021/ac5018265
- Hayashi, Y., Matsuda, R., Ito, K., Nishimura, W., Imai, K., & Maeda, M. (2005). Detection limit estimated from slope of calibration curve: an application to competitive ELISA. *Analytical Sciences*, 21(2), 167-169. doi:10.2116/analsci.21.167
- Isenberg, H. D. (2004). *McFarland Standards. Clinical Microbiology Procedures Handbook, vol 2*. DC, USA: ASM Press.
- McFarland, J. (1907). The Nephelometer: An instrument for estimating the number of bacteria in suspensions used for calculating the opsonic index and for vaccines. *Journal of the American Medical Association*, 49(14), 1176–1178. doi:10.1001/jama.1907.25320140022001f
- Moosavi, S. M., & Ghassabian, S. (2018). Linearity of Calibration Curves for Analytical Methods: A Review of Criteria for Assessment of Method Reliability. In M. T. Stauffer (Ed.), *Calibration and Validation of Analytical Methods - A Sampling of Current Approaches*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.72932>
- Pesti, G. M., Billard, L., Wu, S. B., Swick, R. A., Nguyen, T. T. H., & Morgan, N. (2022). Abductive statistical methods improve the results of calibration curve bioassays: An example of determining zinc bioavailability in broiler chickens. *Animal Nutrition*, 10, 294-304. doi:10.1016/j.aninu.2022.04.008
- Prichard, L., & Barwick, V. (2003). *Preparation of Calibration Curves: A Guide to Best Practice*. Teddington, UK: VAM. doi:10.13140/RG.2.2.36338.76488
- Sofalvi, S., & Schueler, H. E. (2021). Assessment of bioanalytical method validation data utilizing heteroscedastic seven-point linear calibration curves by EZSTATSG1 customized microsoft excel template. *Journal of Analytical Toxicology*, 45(8), 772-779. doi:10.1093/jat/bkab047
- Zapata, A., & Ramirez-Arcos, S. (2015). A comparative study of McFarland turbidity standards and the densimat photometer to determine bacterial cell density. *Current Microbiology*, 70, 907-909. doi:10.1007/s00284-015-0801-2



Research Article

Effect of Different Drying Processes on Antioxidant and Antidiabetic Properties of Pomegranate Press Wastes

Emine OKUMUŞ*

Van Yuzuncu Yil University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, 65080, Van, Türkiye
Emine OKUMUŞ, [ORCID No: 0000-0001-5266-8633](https://orcid.org/0000-0001-5266-8633)

*Corresponding author: emineokumus@yyu.edu.tr

Article Info

Received: 22.06.2022

Accepted: 03.10.2022

Online April 2023

DOI:[10.53433/yyufbed.1134273](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1134273)

Keywords

Antidiabetic activity,
Bioactive components,
Drying method,
Pomegranate,
Press waste

Abstract: Today, with the understanding of the favourable effects of fruit consumption on health, the consumption of pomegranate has increased gradually, and solution methods were sought to evaluate the peel and seed parts that emerge after the fruit is sorted. In this study, the effects of different drying processes (microwave, drying oven, and freeze-drying) and different extraction solvents (ethanol and methanol) on the antioxidant and antidiabetic activities of pomegranate press wastes were investigated. While the highest total phenolic content (TPC) was in freeze-dried methanolic extracts (5758.70 mg GAE 100 g⁻¹), the highest total flavonoid content (TFC) and total monomeric anthocyanin (MA) contents were determined in microwave-dried ethanolic extracts with values of 1068.75 mg QE 100 g⁻¹ dw and 215.44 mg cyn-3-glu 100 g⁻¹, respectively. All samples had higher α -glucosidase inhibitory activity compared to acarbose. The results showed that pomegranate press waste, which is thought to have no use in the food industry, is a potential resource that can be used in the pharmacology and cosmetics industries as well as its use as a food supplement; thanks to its high antioxidant and antidiabetic properties.

Farklı Kurutma İşlemlerinin Nar Pres Atıklarının Antioksidan ve Antidiyabetik Özellikleri Üzerine Etkisi

Makale Bilgileri

Geliş: 22.06.2022

Kabul: 03.10.2022

Online Nisan 2023

DOI:[10.53433/yyufbed.1134273](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1134273)

Anahtar Kelimeler

Antidiyabetik aktivite,
Biyoaktif bileşenler,
Kurutma yöntemi,
Nar,
Pres atığı

Öz: Günümüzde meyve tüketiminin sağlığa faydalı etkilerinin anlaşılmasıyla birlikte nar tüketimi giderek artmış ve meyvenin ayıklanması sonrasında ortaya çıkan kabuk ve çekirdek kısımlarının değerlendirilmesi amacıyla çözüm yöntemleri aranmaya başlanmıştır. Bu çalışmada, farklı kurutma yöntemlerinin (mikrodalga, etüv ve dondurarak kurutma) ve farklı ekstraksiyon solventlerinin (etanol ve metanol) nar pres atıklarının antioksidan ve antidiyabetik aktivitesi üzerine etkileri incelenmiştir. En yüksek toplam fenolik madde içeriği (TPC) dondurarak kurutulmuş metanolik ekstraktlarda (5758.70 mg GAE/100 g), en yüksek toplam flavonoid madde içeriği (TFC) ve toplam monomerik antosiyanin (MA) içerikleri mikrodalgada kurutulmuş etanolik ekstraktlarda sırasıyla 1068.75 mg QE/100 g dw ve 215.44 mg cyn-3-glu/100 g olarak belirlenmiştir. Tüm örnekler akarboza kıyasla daha yüksek α -glukozidaz inhibitör aktiviteye sahipti. Sonuçlar, gıda endüstrisinde kullanım imkânı bulunmadığı düşünülen nar pres atıklarının yüksek antioksidan ve antidiyabetik özellikleri sayesinde gıda takviyesi olarak kullanımının yanı sıra farmakoloji ve kozmetik endüstrilerinde de kullanılabilecek potansiyel bir kaynak olduğunu göstermiştir.

1. Introduction

Pomegranate (*Punica granatum* L.), one of the earliest known edible fruits, is a type of fruit rich in polyphenols that can be grown in droughty and semi-arid climates (Wetzstein et al., 2011). Pomegranate press waste is a by-product that occurs in large quantities during the production phase, especially in fruit juice factories (Kalaycıoğlu & Erim, 2017). Waste pomegranate seeds obtained after pressing the fruit constitute 10% of the fruit used in production (Abbasi et al., 2008). In some studies, it was determined that apart from the edible parts of the fruit, the bark, roots and leaf extracts of the tree also have therapeutic properties (Naqvi et al., 1991). These beneficial therapeutic effects of pomegranate are due to bioactive components such as ellagitannins, ellagic acid, flavonoids, and anthocyanins in their structure (Jurenka, 2008). Today, the peel and seeds of the pomegranate are generally used as animal feed, and no economic gain can be achieved by processing them into products with high commercial value. However, by-products that emerge during the production phase of the food industry have the potential to be used in important fields such as medicine and pharmacy, thanks to their high antioxidant activity and bioactive components (Amyrgialaki et al., 2014; Okumuş & Bakkalbaşı, 2021).

The polarities of the hydroxyl groups in the structure of phenolic compounds are quite variable due to their ability to bind with sugars, acids, or alkyl groups. Therefore, it is tough to develop a single solvent and process for the ideal extraction of whole phenolic components (Mokrani & Madani, 2016). The drying process removes moisture from the product by evaporation to a specific value. Although drying techniques are very diverse, conventional air and freeze-drying are the most widely applied methods in the food industry (Tsami et al., 1998). Conventional air drying is one of the most common methods of drying food products. In this process, high-temperature value and long-time performance are required. In addition, the microwave drying method is also widely used to minimize the decrease in the quality of foods and to provide fast and effective heat distribution in the product (Díaz et al., 2003). It is known that drying processes applied to foods cause changes in the number of bioactive components in the structure of the products and their antioxidant activity (Leong & Oey, 2012). However, more scientific studies are needed to prove the changes in the bioactive compositions of the products applied in different drying processes.

Diabetes (Diabetes Mellitus) is one of the most critical and common chronic illnesses of our age, which shortens life expectancy, causes disability, and can result in death. In recent years, the beneficial effects of phytochemicals on health have been revealed in scientific studies, and the use of plants as nutraceuticals has become increasingly widespread (Andlauer & Furst, 2003; Arshadi et al., 2015).

This study aims to determine the effects of different drying processes (microwave, dry-oven, and freeze-drying) and solvents (ethanol and methanol) on the bioactive components, antioxidant, and antidiabetic properties of pomegranate press wastes. It is thought that the results will show guiding features in using and evaluating pomegranate waste.

2. Material and Methods

2.1. Materials

Hicaz variety pomegranate press waste used in the study belongs to the 2021 harvest year, and it was obtained from Aroma Gıda Ind. Trade Co. Ltd., Bursa, Turkey. 50% of the press waste was the seeds, and 50% was the endocarp parts of the pomegranate. Pomegranate press wastes dried in the microwave oven (Arçelik, MD 554), dry oven (Şimşek Laboratory), and lyophilizer (Labconco freeze dryer 117) were ground and kept at -24 °C for further analysis.

2.2. Standards and chemicals

Gallic acid (purity $\geq 99\%$), aluminium chloride (purity $\geq 99.99\%$), 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS), α -glucosidase, α -amylase, dinitrosalicylic acid and 4-nitrophenyl α -D-glucopyranoside were obtained from Sigma (St. Louis, MO, USA). Ethanol, methanol, and sodium carbonate (Na_2CO_3) were procured from Merck (Darmstadt, Germany). Acarbose (tablets Glucobay®, Turkey) was purchased from a local pharmacy.

2.3. Methods

2.3.1. Drying procedure

The drying process of pomegranate press waste in a microwave oven (MW) was applied at 600 Watt for 5 minutes. The drying process in the oven (DO) was carried out at 70 °C for 48 hours, and a lyophilizer (FD) for drying was used at -54 °C and 0.045 mbar pressure for 72 hours. It was found that the moisture of the press wastes from all drying processes was below 2%.

2.3.2. Extraction

Approximately 2.5 g of pomegranate press waste powder was suspended in 10 mL of solvent (ethanol or methanol) and stirred for 2 hours at 250 rpm at room temperature. Then, it was centrifuged at 10 000 rpm for 10 minutes (Hettich Universal 320r, Germany). The same extraction procedure was applied a second time to the insoluble residue. At the end of the process, the combined supernatants were brought to a total volume of 25 mL with the appropriate solvent and filtered with filter paper (Whatman No. 1) (Köse, 2018). The filtrate was stored at -24°C and in amber containers until further analysis.

2.3.3. Colour values

The samples' L*, a*, and b* values were determined using the Konica Minolta CR 400 colorimeter (Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japan) (AOAC, 2006).

2.3.4. Total phenolic and total flavonoid content

Total phenolic content (TPC) analysis was performed according to Singleton & Rossi (1965). Results were expressed as gallic acid equivalent (mg GAE 100 g⁻¹). Total flavonoid content (TFC) was determined by the AlCl₃ method (Zhishen et al., 1999) and results were specified as quercetin equivalents (mg QE 100 g⁻¹).

2.3.5. Total monomeric anthocyanin

Total monomeric anthocyanin (MA) was determined at 528 nm and 700 nm according to the method developed by Giusti & Wrolstad (2001). Results were calculated as mg cyn-3-glu 100 g⁻¹.

2.3.6. Antioxidant capacity-DPPH and ABTS

DPPH analysis was performed using the method Pyo et al. (2004) described, and the results were expressed as % inhibition. The ABTS assay was carried out according to Re et al. (1999).

2.3.7. Antidiabetic activity

The α -amylase and α -glucosidase inhibition activity of the samples were analyzed as described previously by Okumuş & Bakkalbaşı (2021). The analysis method was also repeated for acarbose used as a standard. The results were calculated graphically and expressed as IC₅₀ in mg mL⁻¹.

2.3.8. Statistical analysis

Results were given as mean and standard deviation ($\bar{X}\pm SD$). Significant differences between groups were determined one-way analysis of variance and Duncan's multiple range test. $p < 0.05$ was considered statistically significant.

3. Results and Discussion

3.1. Colour values

Colour is an essential parameter in the consumer's appreciation and demand for the products. It is necessary to closely follow the colour changes that occur in the product after the applied process to obtain a good product. The measured L^* , a^* , and b^* values of various dried pomegranate press wastes are given in Table 1. It was determined that the press wastes dried in the lyophilizer had the highest L^* and a^* values. The difference between the L^* , a^* , and b^* values of the samples dried in the microwave and the drying oven was insignificant ($p>0.05$). The least change in the colour of the samples compared to the initial values (mean values for L^* , a^* , and b^* are 59.45, 14.27, and 10.33, respectively, not given in the table) were detected in the lyophilized samples. Mphahlele et al. (2016) determined the L^* and a^* value in freeze-dried pomegranate peels as 61.46 and 23.33, respectively. In the same study, the L^* and a^* values of the pomegranate peels dried in an oven at 60 °C were found to be 42.04 and 25.24, respectively. Differences in pomegranate variety, harvest year, maturity level (Okumuş & Bakkalbaşı, 2021), storage conditions, and drying methods can affect colour results.

Table 1. Colour values of pomegranate press wastes after different drying methods

	Colour values		
	L^*	a^*	b^*
MW	55.94±0.70 ^a	9.40±0.46 ^a	11.56±0.08 ^b
DO	55.76±0.36 ^a	9.28±0.39 ^a	11.96±0.36 ^b
FD	61.15±0.42 ^b	13.68±0.05 ^b	9.55±0.19 ^a

^{a,b} indicate the differences ($p < 0.05$) between all applications.

3.2. Antioxidant activity

Results of TPC, TFC, monomeric anthocyanin, and antioxidant activity values after drying in pomegranate press wastes are given in Table 2. The highest TPC in the samples was measured as 5758.70 mg GAE 100 g⁻¹ in samples dried by freeze dryer and using methanol as solvent. It was concluded that the type of solvent used and the drying method significantly affected the results ($p < 0.05$). On the other hand, the highest TFC in the samples was determined in the press wastes subjected to ethanolic extraction in the microwave drying process ($p < 0.05$). Press wastes dried in a drying oven in methanolic extraction had higher TFC content than samples dried with microwave and lyophilizer ($p > 0.05$). In terms of TFC results, it was determined that while the difference between samples was significant in ethanolic extraction, it was not significant in methanolic extraction.

Table 2. TPC, TFC, MA contents (dw) and antioxidant activity of pomegranate press wastes after different drying methods

		TPC	TFC	MA	DPPH	ABTS
		(mg GAE 100 g ⁻¹)	(mg QE 100 g ⁻¹)	(mg cyn-3-glu 100 g ⁻¹)	(%)	(mmol Trolox g ⁻¹)
Ethanol	MW	4780.43±15.37 ^{dC}	1068.75±8.84 ^{eC}	215.44±2.63 ^{dB}	92.79±0.24 ^{dB}	4.82±0.32 ^{aA}
	DO	3432.61±30.74 ^{aA}	854.38 ±11.49 ^{cA}	5.24±2.27 ^{aA}	90.39±0.00 ^{cA}	8.72±0.27 ^{bC}
	FD	4073.91±0.00 ^{bB}	941.25±10.61 ^{dB}	3.42±2.73 ^{aA}	99.14±0.00 ^{eC}	6.66±0.11 ^{abB}
Methanol	MW	4361.96±23.06 ^{cA}	265.00±1.77 ^{abA}	72.72±3.18 ^{cB}	92.80±0.00 ^{dC}	15.97±1.38 ^{dAB}
	DO	5296.74±7.69 ^{eB}	282.50±12.37 ^{bA}	15.22 ±1.62 ^{bA}	86.62±0.00 ^{bB}	13.27±0.05 ^{eA}
	FD	5758.70±0.00 ^{fC}	258.13±7.95 ^{aA}	17.21±0.93 ^{bA}	78.64±0.36 ^{aA}	18.20±2.27 ^{dB}

^{a,b,c,d,e,f} indicate the differences ($p < 0.05$) between all applications.

^{A, B, C} indicate the differences ($p < 0.05$) between application groups.

The highest monomeric anthocyanin content in the samples was detected in the microwave-dried samples in both solvents. In addition, samples dried in a microwave in ethanolic extraction had the highest MA value among all treatments with 215.44 mg cyn-3-glu 100 g⁻¹ (p<0.05). The difference between the MA contents of the samples dried in a drying oven and lyophilizer in both solvents was not statistically significant (p>0.05).

The highest DPPH value of 99.14% was determined in the ethanolic extracts from press wastes dried in a lyophilizer (p<0.05). However, the lowest % inhibition value was found in the samples dried in a lyophilizer and applied methanolic extraction. It was determined that the applied drying process and the solvent used in the extraction significantly affected the % inhibition results. Contrary to the DPPH antioxidant activity results, the highest ABTS antioxidant activity value was 18.20 mmol Trolox g⁻¹ in lyophilized and methanolic extract applied samples. In addition, methanolic extracts obtained from all drying processes had higher ABTS antioxidant activity values than ethanol (p<0.05).

Thermal treatments applied to foods generally cause losses in polyphenols (Kaur & Kapoor, 2001). Asami et al. (2003) reported that freeze-drying preserves phenolic components better than hot air drying. However, it was reported that free radicals formed during the oxidation reaction might be associated with antioxidant capacity (López et al., 2013). Karaman et al. (2014) found higher TPC in freeze-dried samples due to limited chemical and thermal degradation as it was carried out at low temperatures. Moreover, some studies showed that the high drying temperature in the oven drying process increases the radical scavenging activity (Lee Mei Ling et al., 2013; Rodriguez et al., 2014). Similar to the literature results, in the current study determined the highest TFC and MA values in ethanolic press wastes dried with a microwave oven. In addition, high antioxidant activity values were detected in the samples dried with a lyophilizer. The difference between the results and the literature may be due to differences in the picking time of the samples, drying method, and extraction process (Tian et al., 2020). Also, the different total phenolic content from different solvents may be due to the polarity of the solvents and the varying solubility of phenolic components (Gao et al., 2014).

3.3. Antidiabetic activity of pomegranate wastes

In diabetes treatments, reducing the blood glucose level after meals is generally preferred in combination with other treatment methods. For this purpose, commercial medicine such as acarbose inhibits enzymes and slows the hydrolysis of complex carbohydrates (starch, glycogen, etc.) in the intestinal tract. Nevertheless, patients often suffer from various side effects of such drugs. Because of these complaints and considering that it is a traditional, complementary treatment, they turn to medicinal plant-based natural pharmaceuticals (Temiz, 2021). Phenolic compounds, with their natural α -amylase and α -glucosidase inhibitor properties, cause a decrease in glucose absorption rate by delaying/prolonging the carbohydrate digestion time, and as a result, they reduce the postprandial blood glucose increase. The IC₅₀ values of the antidiabetic activities are given in Table 3.

Table 3. α -amylase and α -glucosidase inhibitory activities of pomegranate press wastes

		IC ₅₀ (α -amylase) (mg mL ⁻¹)	IC ₅₀ (α -glucosidase) (mg mL ⁻¹)
Ethanolic	MW	22.85±1.74 ^{dB}	24.17±1.88 ^{cB}
	DO	16.04±0.21 ^{cA}	16.82±0.21 ^{bA}
	FD	17.65±0.10 ^{cA}	18.43±0.06 ^{bA}
Methanolic	MW	8.87±0.18 ^{bA}	9.57±0.20 ^{aA}
	DO	17.03±0.37 ^{cB}	17.85±0.39 ^{bB}
	FD	28.56±2.90 ^{cC}	29.88±2.85 ^{dC}
Acarbose		2.37±0.12 ^a	35.05±3.98 ^e

^{a,b,c,d,e} indicate the differences (p <0.05) between all applications.

^{A, B, C} indicate the differences (p <0.05) between application groups.

The highest α -amylase enzyme inhibition in the samples was determined with an IC_{50} value of 8.87 mg mL^{-1} in the samples that were dried in the microwave and applied methanolic extract ($p < 0.05$). The sample showing the lowest α -amylase inhibition was found in the lyophilized and methanolic extract applied sample. Ethanolic extracts from oven-dried and lyophilized samples showed similar α -amylase enzyme inhibition ($p > 0.05$). All samples had lower α -amylase enzyme inhibition compared to acarbose. Similar to the results of α -amylase inhibition, the highest α -glucosidase enzyme inhibition was found in microwave dried and methanolic extract applied samples (IC_{50} value of 9.57 mg mL^{-1}). The lowest α -glucosidase inhibition belonged to the lyophilized and methanolic extracted samples. In addition, all samples showed higher α -glucosidase enzyme inhibition compared to acarbose. This is due to the phenolic components of pomegranate press waste and its high antioxidant activity (Tadera et al., 2006; Adisakwattana & Chanathong, 2011; Okumuş & Bakkalbaşı, 2021).

4. Conclusion

The study's results showed that the applied drying processes and the extraction solvent were effective on the antioxidant activity of pomegranate press wastes. It is also revealed that microwave drying can be investigated as an effective method in addition to oven and freeze-drying to preserve the antioxidant activity in drying pomegranate waste. As a result, it was concluded that pomegranate press waste is a by-product with a high potential for use in the pharmacology and food industries, rather than being a waste, thanks to its antidiabetic activity and antioxidant activity. Future studies should continue in the form of carrying out studies to improve the use of pomegranate press wastes in animal nutrition, as well as its use in medicine, pharmacology, and food sectors.

References

- Abbasi, H., Rezaei, K., Emamdjomeh, Z., & Mousavi, S. M. E. (2008). Effect of various extraction conditions on the phenolic contents of pomegranate seed oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 110(5), 435-440. doi:10.1002/ejlt.200700199
- Adisakwattana, S., & Chanathong, B. (2011). Alpha-glucosidase inhibitory activity and lipid-lowering mechanisms of *Moringa oleifera* leaf extract. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 15, 803-808.
- Amyrgialaki, E., Makris, D. P., Mauromoustakos, A., & Kefalas, P. (2014). Optimisation of the extraction of pomegranate (*Punica granatum*) husk phenolics using water/ethanol solvent systems and response surface methodology. *Industrial Crops and Products*, 59, 216-222. doi:10.1016/j.indcrop.2014.05.011
- Andlauer, W., & Furst, P. (2003). Special characteristics of non-nutrient food constituents of plants - phytochemicals. Introductory lecture. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, 73, 55-62. doi:10.1024/0300-9831.73.2.55
- AOAC. (2006). *Official Method of Analysis* (18th Edition). Maryland, USA: Association of Official Analytical Chemists.
- Arshadi, S., Azarbayjani, M. A., Hajaghaalipor, F., Yusof, A., Peeri, M., Bakhtiyari, S., Stannard, R. S., Osman, N. A., & Dehghan, F. (2015). Evaluation of *Trigonella foenum-graecum* extract in combination with swimming exercise compared to glibenclamide consumption on type 2 diabetic rodents. *Food & Nutrition Research*, 59, 29717. doi:10.3402/fnr.v59.29717
- Asami, D. K., Hong, Y. J., Barrett, D. M., & Mitchell, A. E. (2003). Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry, and corn grown using conventional, organic, and sustainable agricultural practices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 1237-1241. doi:10.1021/jf020635c
- Díaz, G. R., Martínez-Monzó, J., Fito, P., & Chiralt, A. (2003). Modelling of dehydration-rehydration of orange slices in combined microwave/air drying. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 4(2), 203-209. doi:10.1016/S1466-8564(03)00016-X
- Gao, H., Cheng, N., Zhou, J., Wang, B., Deng, J., & Cao, W. (2014). Antioxidant activities and phenolic compounds of date plum persimmon (*Diospyros lotus* L.) fruits. *Journal of Food Science and Technology*, 51, 950-956. doi:10.1007/s13197-011-0591-x

- Giusti, M. M., & Wrolstad, R. E. (2001). Characterization and measurement with UV-Visible spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 1-13. doi:10.1002/0471142913.faf0102s00
- Jurenka, J. S. (2008). Therapeutic applications of pomegranate (*Punica granatum* L.): A review. *Alternative Medicine Review*, 13(2), 128-144.
- Kalaycıoğlu, Z., & Erim, F. B. (2017). Total phenolic contents, antioxidant activities, and bioactive ingredients of juices from pomegranate cultivars worldwide. *Food Chemistry*, 221, 496-507. doi:10.1016/j.foodchem.2016.10.084
- Karaman, S., Toker, O. S., Çam, M., Hayta, M., Dogan, M., & Kayacier, A. (2014). Bioactive and physicochemical properties of persimmon as affected by drying methods. *Drying Technology*, 32, 258-267. doi:10.1080/07373937.2013.821480
- Kaur, C., & Kapoor, H. C. (2001). Antioxidants in fruits and vegetables - the millennium's health. *International Journal of Food Science and Technology*, 36, 703-725. doi:10.1111/j.1365-2621.2001.00513.x
- Köse, Y. E. (2018). *Stabilizasyon yöntemlerinin ruşeym ve ruşeym yağının özellikleri üzerine etkisi.* (PhD), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, Türkiye.
- Lee Mei Ling, A., Yasir, S., Matanjun, P., & Bakar Abu, M. F. (2013). Antioxidant activity, total phenolic and flavonoid content of selected commercial Seaweeds of Sabah, Malaysia. *International Journal of Pharmaceutical and Phytopharmacological Research*, 3, 2249-2259.
- Leong, S. Y., & Oey, I. (2012). Effects of processing on anthocyanins, carotenoids and vitamin C in summer fruits and vegetables. *Food Chemistry*, 133, 1577-1587. doi:10.1016/j.foodchem.2012.02.052
- López, J., Vega-Gálvez, A., Torres, M. J., Lemus-Mondaca, R., Quispe-Feutes, I., & Di Scala, K. (2013). Effect of dehydration temperature on physico-chemical properties and antioxidant capacity of goldenberry (*Physalis peruviana* L.). *Chilean Journal of Agricultural Research*, 73, 293-300. doi:10.4067/S0718-58392013000300013
- Mokrani, A., & Madani, K. (2016). Effect of solvent, time and temperature on the extraction of phenolic compounds and antioxidant capacity of peach (*Prunus persica* L.) fruit. *Separation and Purification Technology*, 162, 68-76. doi:10.1016/j.seppur.2016.01.043
- Mphahlele, R. R., Fawole, O. A., Makunga, N. P., & Opara U. L. (2016). Effect of drying on the bioactive compounds, antioxidant, antibacterial and antityrosinase activities of pomegranate peel. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 16, 143. doi:10.1186/s12906-016-1132-y
- Naqvi, S. A., Khan, M. S., & Vohora, S. B. (1991). Antibacterial, antifungal, and anthelmintic investigations on Indian medicinal plants. *Fitoterapia*, 62, 221-228.
- Okumuş, E., & Bakkalbaşı E. (2021). Determination of the bioaccessibility and antidiabetic properties of pomegranate peels. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 3357-3366. doi:10.1007/s11694-021-00921-x
- Pyo, Y. H., Lee, T. C., Logendra, L., & Rosen, R. T. (2004). Antioxidant activity and phenolic compounds of Swiss chard (*Beta vulgaris* Subspecies *cycla*) extracts. *Food Chemistry*, 85, 19-26. doi:10.1016/S0308-8146(03)00294-2
- 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, 1231-1237. doi:10.1016/S0891-5849(98)00315-3
- Rodriguez, O., Santacatalina, J., Simal, S., Garcia-Perez, J., Femenia, A., & Rosselleo, C. (2014). Influence of power ultrasound application on drying kinetics of apple and its antioxidant and microstructural properties. *Journal of Food Engineering*, 129, 21-29. doi:10.1016/j.jfoodeng.2014.01.001
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144-158.
- Tadera, K., Minami, Y., Takamatsu, K., & Matsuoka, T. (2006). Inhibition of α -glucosidase and α -amylase by flavonoids. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 52, 99-103. doi:10.3177/jnsv.52.149

- Temiz, M. A. (2021). Antioxidant and antihyperglycemic activities of *Scorzonera cinerea* radical leaves in streptozocin-induced diabetic rats. *Acta Pharmaceutica*, 71(4), 603-617. doi:10.2478/acph-2021-0045
- Tian, Y., Du, H., Qing, X., & Zhang, L. (2020). Effects of picking time and drying methods on contents of eight flavonoids and antioxidant activity of leaves of *Diospyros lotus* L. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14, 1461-1469. doi:10.1007/s11694-020-00396-2
- Tsami, E., Krokida, M. K., & Drouzas, A. E. (1998). Effect of drying method on the sorption characteristics of model fruit powders. *Journal of Food Engineering*, 38, 381-392. doi:10.1016/S0260-8774(98)00130-7
- Wetzstein, H. Y., Ravid, N., Wilkins, E., & Martinelli, A. P. (2011). A morphological and histological characterization of bisexual and male flower types in pomegranate. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 136(2), 83-92. doi:10.21273/JASHS.136.2.83
- Zhishen, J., Mengcheng, T., & Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64, 555-559. doi:10.1016/S0308-8146(98)00102-2



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Güneş Enerjisi Kullanılarak Bir Villanın Elektrik İhtiyacının Karşlanması

Melike YALILI KILIÇ*, Sümeyye ADALI

Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa, Türkiye
Melike YALILI KILIÇ, ORCID No: 0000-0001-7050-6742, Sümeyye ADALI, ORCID No: 0000-0002-5077-7358

*Sorumlu yazar e-posta: myalili@uludag.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 27.05.2022
Kabul: 04.10.2022
Online Nisan 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1122428

Anahtar Kelimeler

Bursa,
Güneş,
PV teknolojisi,
Villa,
Yenilenebilir enerji

Öz: Nüfus artışı ve sanayinin gelişimine paralel olarak artan enerji ihtiyacının günümüzde sınırlı rezerve ulaşmış olan fosil tabanlı enerji kaynaklarıyla karşılanmasında yaşanan enerji bunalımı, bu kaynaklara alternatif olan temiz ve çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını gündeme getirmektedir. Bu kaynaklar arasında barındırdığı potansiyel ve çevresel özellikleriyle güneş enerjisi kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada Bursa ili Nilüfer ilçesinde yer alan 250 m² kullanım alanına sahip bir villanın elektrik ihtiyacını güneş enerjisi ile karşılamak üzere şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olarak sabit ve hareketli enerji sistemlerinin kurulumu ve maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, şebekeye bağlı sabit sistemin villaya uygulanabilecek en uygun sistem olduğu ve bu sistemin maliyetinin 10.363 \$ değerinde olduğu belirlenmiştir. Sabit sistemlerin hareketli sistemlere kıyasla daha uygun maliyete, şebekeye bağlı sabit bir sistemin şebekeden bağımsız sabit sistemle kıyasla yaklaşık %52 oranında daha düşük maliyete sahip olduğu tespit edilmiştir.

Providing the Electricity Need of a Villa Using Solar Energy

Article Info

Received: 27.05.2022
Accepted: 04.10.2022
Online April 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1122428

Keywords

Bursa,
PV technology,
Renewable energy,
Solar,
Villa

Abstract: The energy crisis at the point of meeting the increasing energy needs with the fossil-based energy sources that have reached limited reserves today, in parallel with the population growth and the development of the industry, brings the use of clean and environmentally friendly renewable energy sources as an alternative to these sources. Among these sources, the use of solar energy is becoming more and more widespread due to its potential and environmental characteristics. In this study, the installation and cost analysis of fixed and mobile energy systems connected to the grid and independent of the grid, in order to meet the electricity need of a villa with a usage area of 250 m² in the Nilüfer district of Bursa province with solar energy. As a result of the study, it has been determined that the fixed system connected to the grid is the most suitable system to be applied to the villa and the cost of the system is \$ 10,363. It has been determined that fixed systems have more cost-effectiveness compared to mobile systems, and a fixed system connected to the grid has approximately 52% lower cost compared to a fixed system independent of the grid.

1. Giriş

Modern yaşamın bir gerekliliği olarak enerjinin kesintisiz şekilde sağlanması, toplumların en temel ihtiyaçları arasında görülmektedir. Enerji kullanımı ülkelerin sosyal ve ekonomik gelişmişliğinin en önemli göstergeleri arasında yer almaktadır (Turan & Dağdaş, 2010). Günümüzde nüfus artışıyla beraber yapılaşma oranındaki yükseliş, enerji tüketiminde artışı da beraberinde getirmektedir. Bu nedenle çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliğin sağlanması amacıyla mevcut ve tasarım sürecindeki yapılarda yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma konusu son yıllarda önemli derecede ilgi görmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında özellikle güneş paneli uygulamalarının yoğun olarak yer aldığı görülmektedir. Güneş panelleri enerji üretiminin yanı sıra yapılarda gölgeleme, ışık geçirgenlik, ısı yalıtımı ve bina kabuğunda su geçirimsizliği sağlama gibi işlevleriyle inşaa maliyetlerini azaltma noktasında önemli bir araç olma özelliği taşımaktadır (Özbalta, 2009).

Güneş enerjisinden elektrik üretimi amacıyla yararlanılan güneş panelleri, panel yüzeyine düşen güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Yüksek güce sahip olan güneş panelleri güneş pili adı verilen panel hücrelerinin seri ve paralel bağlanmasıyla elde edilmektedir (Baş ve ark., 2017). Güneş paneli teknolojilerinde daha ucuz malzeme ile enerji elde etmek amacıyla yapılan araştırmalar son yıllarda önem kazanmış olup, metal/yarı iletken yapılarda panellerin kullanımı en uygun seçenekler arasında yer almaktadır. Bir yarı iletken üzerine sadece ince bir film kaplanması ile daha az enerji harcanarak üretilen bu aygıtların üretimi sırasında yüksek sıcaklık işlemleri uygulanmadığından, aygıt içerisindeki azınlık taşıyıcılarının özelliklerinde herhangi bir bozulma gözlenmemektedir. Bununla birlikte termo-iyonik emisyon karanlık akımının yüksek olması nedeniyle bu panellerin karakteristikleri p-n eklem türündeki güneş panellerine kıyasla daha kötü olmaktadır (Karadeniz ve ark., 2021).

Güneş panelleri elektrik ihtiyacının bulunduğu her alanda elektrik üretimine olanak sağlamaktadır. Güneş paneli modülleri inverterler, akümülatörler, şarj kontrol cihazları ve çeşitli elektronik destek devreleriyle beraber güneş paneli sistemi (fotovoltaik sistem) oluşturmakta olup, bu sistemler yerleşim yerinden uzak, elektrik şebekesi bulunmayan yörelerde, jeneratörün yakıt ihtiyacını karşılamanın zor ve masraflı olduğu durumlarda yoğun olarak kullanılırlar. Bu sistemlerin dizel jeneratörler ya da diğer güç sistemleriyle beraber hibrit kullanımları da yer almaktadır (Güneş & Karagöz, 2017).

Güneş panelleri ile elektrik üretimine hava sıcaklığı ve nem değerleri önemli etkide bulunmaktadır. Dış hava sıcaklığının fazla olması verimi olumsuz yönde etkilemektedir. Panellerden ideal verim, 25 °C'nin altında ve %50 bağıl neme sahip hava koşullarında elde edilmektedir (Köse, 2018; Kırbaş, 2021).

Güneş enerji sistemlerinin kurulumu şebekeden bağımsız ve şebekeye bağılı olarak iki şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Şebekeden bağımsız sistemler genellikle elektrik şebekesinden uzak olan şebeke bağlantısının kısıtlı yahut mümkün olmadığı durumlarda tercih edilmektedir. Enerji depolamak için akülerin yer aldığı bu sistemlerde sistemin yeterli üretim gerçekleştiremediği durumlarda akülerde depolanan enerjiden faydalanılmaktadır. Kırsal bölgelerde yoğun olarak tercih edilmektedir. Şebekeye bağılı sistemlerde ise enerji sistemi, iki yönlü sayaç vasıtasıyla şebeke elektriğine bağlanmaktadır. Elektriğe ihtiyaç duyulan durumlarda (yeterli üretimin sağlanamaması) şebekeden elektrik çekilmekte, elektrik ihtiyacının olmadığı durumlarda ise sistemde üretilen elektrik şehir şebekesine verilmektedir. Her iki sistemin de üretim potansiyeli mevsimsel ve günlük hava değişimlerinden etkilenmektedir. (Sayın & Koç, 2011).

Ülkemizde lisanssız elektrik üretimi kapsamında 1 MW gücün altında kurulu güneş enerji sistemlerinin şebekeye bağılı hale getirilmesi konusunda büyük kolaylıklar mevcuttur. Bununla birlikte şebekeye bağılı sistemlerde sürekli çalışma durumunda şebekenin enerji kalitesinde özellikle gerilim bakımından olumsuz etkiler oluşabilmektedir. Bu durum bazı güvenlik problemlerinin meydana gelmesine yol açmaktadır. Şebekeyle paralel çalışma durumunda şebekeye bağılı sistemde harmonik akımları ve güç faktörü belirli sınır değerinin altında tutulmalı, sistemden şebekeye doğru akım verilmemelidir (Kandemir & Bayrak, 2015). Bu bağlantıya sahip sistemlerde enerji depolama araçları bulunsa bile yerel yükler beslenemediği için kritik yük durumlarında maddi kayıplar meydana gelebilmektedir. Şebekeye bağılı sistemlerden güvenli şekilde yararlanabilmek amacıyla gerilim dalgalanması, kırışma, DC akım enjeksiyonu, toplam akım bozulması ve faz dengesizliği durumlarının engellenmesi gerekmektedir (Arıcı & İskender, 2020).

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanma konusunda oluşan bilinç doğrultusunda Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'nde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik'le birlikte binaların enerji performans sınıfının B veya daha iyi olması ve birincil enerji ihtiyacının en az %10'unun yenilenebilir enerji kullanımıyla karşılanması, toplam yapı inşaat alanı 2000 m² ve üstü binaların "Neredeyse Sıfır Enerjili Bina" olarak inşa edilmesi zorunlu hale getirilmiştir (Resmi Gazete, 2022). Bu durum yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının devlet eliyle ülke genelinde yaygınlaştırılması noktasında önemli bir adım olarak görülmektedir.

Literatürde güneş panelleri ile yapıların elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamaya yönelik birçok çalışma yer almaktadır. Şanlı & Dilsel (2018) Mersin ili Erdemli ilçesinde yer alan 4 kişilik bir konutun elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla güneş enerjisi sistemi tasarımı ve maliyet analizi gerçekleştirmiş olup fotovoltaik sistemle sağlanan enerji birim maliyeti 0,011791 TL/Wh olarak belirlemiş ve sistemin kurulum bedelini 39.874,47 TL olarak hesaplamıştır.

Karaca & Uçar (2018) Burdur ili iklim koşullarında tasarlanan, 4 kişilik bir konutun çatı ve cephesinde 4 farklı şekilde yerleştirilecek güneş enerji sisteminden elektrik üretimini değerlendirmiştir. Ek strüktür yardımıyla çatıdan bağımsız kullanımda Çatı-1; örtü malzemesi olarak çatı sistemi ile bütünleşik olarak kullanımda Çatı-2; ek strüktür yardımıyla cepheden bağımsız kullanımda Cephe-1; cephe kaplaması olarak cephe ile bütünleşik kullanımda Cephe-2 adlandırılmasıyla yapılan yerleşimlerde Çatı-1 uygulamasını yıl boyunca günlük ortalama 8.10 kWh, aylık olarak ortalama 246 kWh enerji üretimiyle incelenen uygulamalar arasında en yüksek enerji sağlayan uygulama olarak belirlemiştir.

Kayıkcı (2020) Aydın ili Didim ilçesinde yer alan bir konutun elektrik ihtiyacını şebekeye bağlı yenilenebilir enerji sistemiyle karşılamak amacıyla ekonomik ve çevresel analiz gerçekleştirmiştir. Aydın ili için en uygun çevresel ve ekonomik sonuçları veren sistemin 19 kW'lık şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem olduğu, sistemin yatırım maliyeti ise 64.900 TL olarak belirlemiştir.

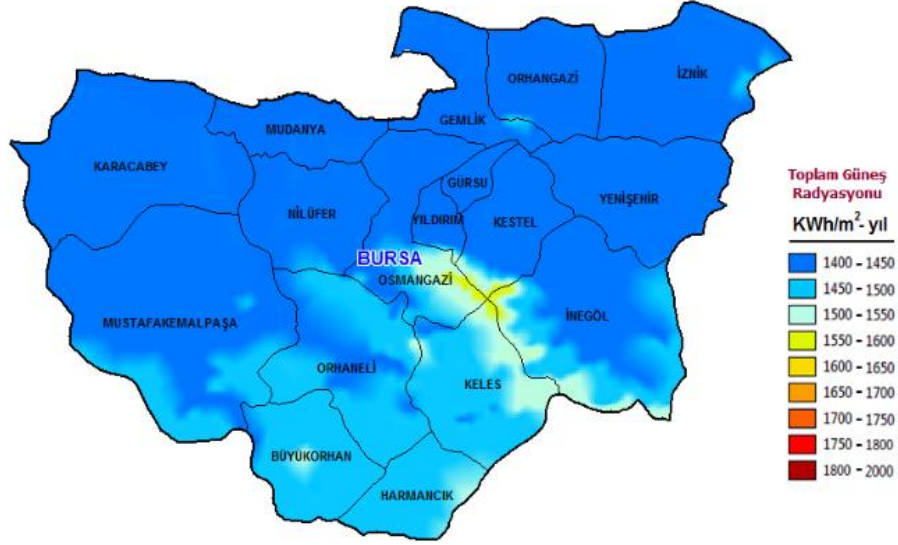
Kocaeli Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği binasının çatısında bulunan güneş enerji sistemi verileri kullanılarak şebekeye bağlı fotovoltaik güç sisteminde üretilebilecek güç ve gerçek üretim verileri karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada İzmit bölgesinde polikristal fotovoltaik sistem kurulumu gerçekleştirildiğinde, sistemin yaklaşık 10.47 yılda kurulum maliyetini karşılayabileceği belirlenmiştir (Al-Shagea ve ark., 2021).

Yalılı Kılıç & Adalı (2022) Bursa ilinde yer alan bir çalışma ofisinin elektrik ihtiyacını güneş enerjisi ile sağlamak amacıyla fotovoltaik sistem kurulumunu ele almıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda sistemin yıllık serbest sermaye giderleri 1.953,14 TL (225 \$), sistemin üreteceği yıllık elektrik miktarı tek panel için 17998 Wh, tüm paneller için 197978 Wh, enerji birim fiyatı 0,0144 TL/Wh (0,00166 \$/Wh), sistemin yıllık toplam gideri 2853,14 TL (328,7 \$) olarak belirlenmiştir. Yenilenebilir enerji sisteminin toplam maliyeti 17730 TL (2042,63 \$) olarak hesaplanmış olup, klasik enerji maliyetinden sağlanacak tasarrufla sistemin kendisini 12.4 yılda amorti edebileceği belirlenmiştir.

Bu çalışmada, Bursa ili Nilüfer ilçesinde 400 m²'lik arsa alanında 250 m² kullanım alanına sahip iki katlı bir villanın elektrik ihtiyacını güneş panelleri ile karşılamak üzere çatı uygulamalı şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız sabit ve hareketli olmak üzere dört farklı enerji sisteminin tasarımı ve maliyet analizi gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Bursa ili 2021 yılında 3.147.818'e ulaşan nüfusuyla Türkiye'nin 4. büyük şehri konumundadır (TÜİK, 2022). Ülkenin kuzeybatısında, 40° boylam ve 28 - 30° enlem daireleri arasında yer alan il, toplamda 11027 km²'lik alana sahiptir. Toplam alanının % 17'si ovalarla kaplı olan ilde, ılıman bir iklim mevcuttur. İlde en sıcak geçen aylar temmuz ve eylül iken, en soğuk geçen aylar ise şubat ve mart'tır (Bursa İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2022). Bursa ilinin güneş enerji potansiyeli incelendiğinde, radyasyon dağılımının 1400-1600 kWh/m²-yıl aralığında olduğu görülmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Bursa ili güneş enerjisi potansiyel atlası (ETKB, 2010).

Çalışma kapsamında villada kullanılacak elektrikli cihazların harcadığı enerji miktarları, (1) ve (2) numaralı denklemlerle hesaplanır.

$$\text{Cihazın harcadığı toplam enerji (Wh)} = 1 \text{ saatte harcadığı enerji (W)} * \text{çalıştığı saat (h)} \quad (1)$$

Sistem verimliliği;

$$\eta_{\text{sistem}} = \eta_{\text{panel}} \times \eta_{\text{akü}} \times \eta_{\text{inverter}} \quad (2)$$

Sistemde üretilen gücün tamamı yüke aktarılamamakta, cihazların verimliliklerine bağlı enerji kayıpları oluşmaktadır. Bu nedenle üretilecek elektrik miktarının hesaplanmasında oluşacak enerji kaybı göz önüne alınmalıdır (Baş ve ark., 2017). Bu sebeple (3) numaralı formül yardımıyla üretilmesi gereken enerji bulunur. Enerji kaybı göz önüne alındığından üretilmesi gereken enerji, yükün enerjisinden büyük olacaktır. Yükün enerjisi (YE),

$$YE = \text{Üretilmesi Gereken Enerji (ÜGE)} \times \eta_{\text{sistem}} \quad (3)$$

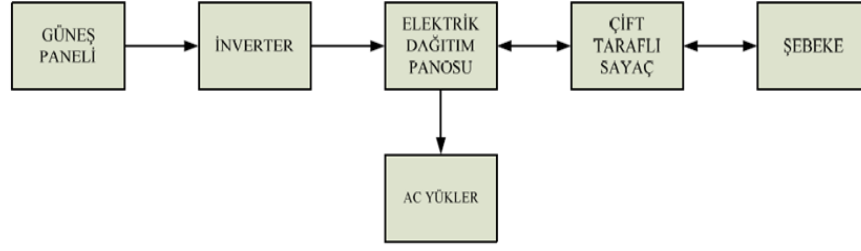
Sistem verimi ve üretilmesi gereken enerji hesaplandıktan sonra panel sayısı hesaplanır. Panel sayısı günlük enerji ihtiyacı, güneş panelinin gücü ve güneşlenme süresine göre belirlenmektedir. Günlük enerji ihtiyacı yerine ÜGE değeri kullanılacaktır (Alkan ve ark., 2014).

$$\text{Panel Sayısı} = \frac{\text{Günlük enerji ihtiyacı}}{(\text{Bir güneş panelinin gücü} \times \text{Günlük güneşlenme süresi})} \quad (4)$$

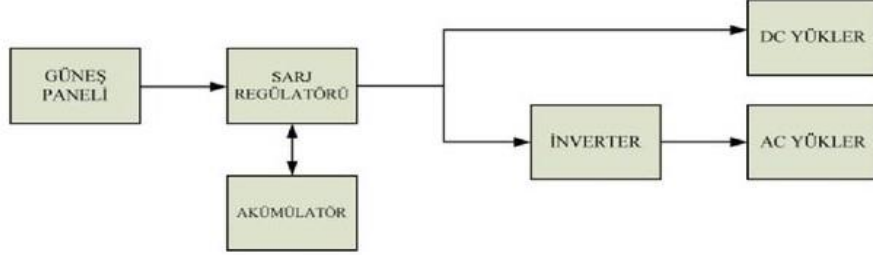
Panel sayısı belirlendikten sonra akü kapasitesi bulunur (Alkan ve ark., 2014; Zenk, 2018).

$$\text{Akü Kapasitesi} = \left(\frac{\text{Günlük enerji ihtiyacı}}{\text{Deşarj olma faktörü}} \right) \times \text{Kapalı geçen gün sayısı} \quad (5)$$

Şekil 2’de şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız sistemlere ait blok diyagram yer almaktadır.



(a)



(b)

Şekil 2.(a) Şebekeye bağlı (b) Şebekeden bağımsız sistemlere ait blok diyagram (Alkan ve ark., 2014).

3. Bulgular ve Tartışma

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün yayınladığı resmi istatistik verilerine göre, Bursa ilinin 1928-2020 yılları arası aylık ortalama sıcaklık ve 2004-2018 yılları arası aylık ortalama güneş radyasyon değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Bursa ili aylık ortalama sıcaklık, radyasyon ve güneşlenme süresi değerleri (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2022a ve 2022b)

Aylar	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama Radyasyon (kWh/m ²)	Ortalama Güneşlenme Süresi (h)
Ocak	5.3	1.939	2.9
Şubat	6.2	2.441	3.5
Mart	8.4	3.449	4.3
Nisan	12.9	4.854	5.9
Mayıs	17.7	5.846	7.8
Haziran	22	6.684	9.8
Temmuz	24.5	6.349	10.7
Ağustos	24.3	6.113	10
Eylül	20.3	4.618	7.9
Ekim	15.6	3.107	5.6
Kasım	11.1	2.194	4.1
Aralık	7.3	1.655	2.9

Sistem tasarımında güneşlenme süresinin en az olduğu aralık ayı verileri baz alınarak enerjinin tüm yıl boyunca eksiksiz olarak elde edilmesi amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında incelenen villada yer alan elektrikli cihazlar içerisinde 1 adet yoğunmalı kombi, 2 adet buzdolabı, 1 adet çamaşır makinesi, 1 adet çamaşır kurutma makinesi, 1 adet bulaşık makinesi, 1 adet çay makinesi, 1 adet kahve makinesi, 2 adet fırın, 1 adet mikrodalga fırın, 1 adet ütü, 3 adet televizyon, 2 adet bilgisayar, 1 adet kablosuz modem, 50 adet iç mekan aydınlatması için ampul, 20 adet dış mekan (bahçe) aydınlatması için ampul, 4 adet klima, 1 adet hava nemlendirme cihazı, 1 adet elektrik süpürgesi, 1 adet mürekkepli yazıcı, 1 adet robot süpürge, 1 adet davlumbaz, 1 adet kettle, 1 adet ev ses sistemi, 1 adet blender bulunmaktadır. Elektrikli aletlerin çalışma süreleri ve bir saatte

harcadıkları enerji dikkate alındığında villanın haftalık 127492 Wh (127.492 kWh), günlük 18213 Wh (18.213 kWh) enerji ihtiyacı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Villadaki elektrikli cihazların harcadığı toplam elektrik enerjisi miktarları (URL-1, 2022)

Elektrikli Aletler	Sayısı	Haftalık Çalışma Süresi (h)	Güç (W)	Harcadığı Toplam Güç (Haftalık) (Wh)
Kombi	1	70	117	8190
Buzdolabı	2	168	36	12096
Çamaşır makinesi	1	7	800	5600
Çamaşır kurutma makinesi	1	6	664	3984
Bulaşık makinesi	1	9	300	2700
Çay Makinesi	1	3	1650	4950
Kahve Makinesi	1	2	500	1000
Hava Temizleme Cihazı	1	7	36	252
Fırın	2	3	2500	15000
Ütü	1	2	2400	4800
Televizyon	2	10	200	4000
Bilgisayar	2	14	250	7000
Kablosuz modem	1	168	25	4200
Ampul (İç mekan)	30	28	20	16800
Ampul (Dış mekan)	10	21	20	4200
Klima	3	10	800	24000
Elektrik Süpürgesi	1	1	750	750
Mürekkepli Yazıcı	1	1	325	325
Robot Süpürge	1	10	30	300
Mikrodalga Fırın	1	1	800	800
Davlumbaz	1	4	20	80
Kettle	1	2	2200	4400
Ev Ses Sistemi	1	7	95	665
Blender	1	2	700	1400
Haftalık Enerji Toplamı				127492
Günlük Enerji Toplamı				18213

Güneş panelinin verimliliği (η_{pv}) %80, akülerin verimliliği ($\eta_{akü}$) %80 ve inverterin verimliliği (η_{inv}) %90 kabul edilmiştir. Bütün bunlar dikkate alındığında sistem için verimliliği;

$$\eta_{sistem} = 0.80 \times 0.80 \times 0.90 = 0.58 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

$$\text{ÜGE} = 18213 \text{ Wh} / 0.58 = 31402 \text{ Wh olarak belirlenmiştir.}$$

$$PS = 31402 \text{ Wh} / (340 \text{ W} \times 2.9\text{h}) = 32 \text{ adet panel gerekmektedir.}$$

$$\text{Akü Kapasitesi} = (31402 \text{ Wh} / 0.65) \times 1.5 \text{ gün} = 72466 \text{ W değerindedir.}$$

Villanın elektrik ihtiyacını karşılamak için tasarlanan enerji sisteminde 32 adet Lexron 340 W monokristal güneş paneline yer verilmiştir. Villada solar akü olarak Lexron 210 Amper Nano Karbon Teknoloji Jel Akü tercih edilmiştir. Kurulacak olan güneş enerjisi sisteminde 30 adet Lexron 210 Amper Nano Karbon Teknoloji Jel akü bulunacaktır.

FV panellerde üretilecek doğru akım değerini villada kullanılacak alternatif akım değerine dönüştürmek amacıyla kullanılacak olan inverter, yükün çekebileceği maksimum gücü kaldırabilmelidir. Yapılan hesaplamalar neticesinde yaklaşık 8 kW değerine sahip 2 adet inverterin kurulacak sistem için yeterli olacağı belirlenmiştir. Bu sebeple inverter olarak, Tommatech Trio Atom 8 kW Trifaze İnverter tercih edilmiştir. Sistemin şebekeden bağımsız ya da şebekeye bağlı olması durumuna göre inverter çeşidi değişebilmektedir. Çizelge 3'te villanın enerji sisteminde kullanılacak elemanların birim maliyeti yer almaktadır.

Çizelge 3. Villanın enerji sisteminde kullanılacak elemanların birim maliyeti (URL-2-8, 2022)

Malzeme	Maliyet (\$)
Panel	191,4
Akü	372,8
İnverter	1.793,6
Solar kablo (m)	1,97
Konnektör	2,5
Tek eksenli hareketli güneş takip sistemi	996,8

Şebekeden bağımsız sistemlerde şebeke bağlantısı yerine akü grubu yer alacağından akü maliyeti hesaba katılmaktadır. Çizelge 4'te şebekeden bağımsız sistemlere ait maliyet bileşenleri yer almaktadır.

Çizelge 4. Şebekeden bağımsız sistemlere ait maliyet bileşenleri (URL-2-8, 2022)

Şebekeden Bağımsız Sistemler	Sayı	Sabit Sistem(\$)	Hareketli Sistem(\$)
Güneş Paneli (340 W)	32	6.124,8	6.124,8
Akü (210 Ah)	30	11.184	11.184
İnverter	2	3.587,2	3.587,2
Solar Kablo	300 m	591	591
Konnektör	24	60	60
Tek eksenli hareketli güneş takip sistemi	5	-	4.984
TOPLAM		21.547	26.531

Sistem hareketli ise hareketli sistem platformu maliyete eklenir. Çizelge 5'te şebekeye bağlı sistemlere ait maliyet bileşenleri yer almaktadır.

Çizelge 5. Şebekeye bağlı sistemlere ait maliyet bileşenleri (URL-2-8, 2022)

Şebekeye Bağlı Sistemler	Sayı	Sabit Sistem(\$)	Hareketli Sistem(\$)
Güneş Paneli (340 W)	32	6.124,8	6.124,8
İnverter	2	3.587,2	3.587,2
Solar Kablo	300 m	591	591
Konnektör	24	60	60
Tek eksenli hareketli güneş takip sistemi	5	-	4.984
TOPLAM		10.363	15.347

Çizelge 6'da enerji sisteminin şebekeye bağlı olup olmamasına, sabit ve hareketli olmasına bağlı değişen maliyetler verilmiştir.

Çizelge 6. Önerilen enerji sistemlerine ait maliyet değerleri (URL-2-8, 2022)

Şebekeden Bağımsız Sistem		Şebekeye Bağlı Sistem	
Sabit Sistem (\$)	Hareketli Sistem (\$)	Sabit Sistem (\$)	Hareketli Sistem (\$)
21.547	26.531	10.363	15.347

Şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olarak tasarlanan sistemlerin tümünün gölgelenmeyi engellemek amacıyla çatı üzerine monte edilecektir. Kurulması planlanan şebekeden bağımsız sabit sistemin maliyeti 21.547 \$, şebekeden bağımsız hareketli sistemin maliyeti 26.531 \$, şebekeye bağlı sabit sistemin maliyeti 10.363 \$, şebekeye bağlı hareketli sistemin maliyeti ise 15.347 \$ olarak hesaplanmıştır. Şebekeye bağlı sabit sistemin maliyet ve uygulanabilirlik açısından en uygun sistem olduğuna karar verilmiştir. Sabit sistemlerin, hareketli sistemlere kıyasla maliyet açısından daha uygun

olduğu, yapılan çalışmada şebekeye bağlı sabit bir sistemin şebekeden bağımsız sabit sistemle kıyasla yaklaşık %52 oranında daha düşük maliyet değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Şekil 3'te şebekeye bağlı olarak tasarlanan sabit çatı üstü güneş enerji sistemi yer almaktadır.



Şekil 3. Şebekeye bağlı olarak tasarlanan sabit çatı üstü güneş enerji sistemi (URL-9, 2022).

Bu çalışmaya benzer olarak Alkan ve ark. (2014), bir evin elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması amacıyla fotovoltaik sistem tasarımları gerçekleştirmiştir. Sistemler şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı olarak sabit veya hareketli olma durumlarına göre analiz edilmiştir. Eşit güçlerdeki sabit sistemin hareketli sistem olarak kurulması durumunda maliyetinin yaklaşık %25 arttığı görülmüştür. Eşit güce sahip şebekeden bağımsız bir sistemin şebekeye bağlı olarak kurulması durumunda maliyetinin %30 oranında azaldığı belirlenmiştir. Şebekeden bağımsız sabit enerji sisteminin maliyetinin 11.339,8 \$, şebekeye bağlı sabit enerji sisteminin maliyetinin 7.563,8 \$ değerinde olacağı belirlenmiştir.

4. Sonuç

Günümüzde enerji güvenliğinin sağlanması konusunda oluşan güvensizlik ortamı, ülkeleri alternatif enerji kaynakları arayışına yönlendirmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları, yerli çevreci ve ekonomik olması dolayısıyla enerji sektöründe fosil yakıtlara alternatif olarak öne çıkmaktadır. Bu kaynaklar arasında yer alan güneş enerjisi sahip olduğu potansiyel ve yaygın uygulama olanakları nedeniyle oldukça önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, Bursa ilinde yer alan bir villanın elektrik ihtiyacını yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılamak amacıyla villa çatısına uygulanması planlanan şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı sabit ve güneş takip sistemine sahip fotovoltaik sistem tasarımları gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sistemler arasında ekonomik ve uygulanabilirlik açısından en uygun sistemin şebekeye bağlı sabit sistem olduğu ve sistemin maliyetinin 10.363 \$ olduğu hesaplanmıştır. Şebekeye bağlı sabit sistemin şebeke bağlantısız sabit sistemden yaklaşık %52 oranında daha düşük maliyete sahip olduğu belirlenmiştir.

Günümüzde enerji konusunda tüm dünyada yaşanan belirsizlik ortamı nedeniyle başta elektrik olmak üzere enerji fiyatlarında yaşanan artışlar, güvenilir ve yerli özellik taşıyan yenilenebilir enerji kaynaklarını cazip hale getirmektedir. Ülkelerin enerji konusunda sıkıntı yaşamamaları için özellikle tükenmez kaynak niteliği taşıyan güneş enerjisinden maksimum ölçüde faydalanmaları büyük önem taşımaktadır.

Kaynakça

- Al-Shagea, E., Sezen, S., & Özdemir, E. (2021, Mayıs). *Lisanssız elektrik üretiminde şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlerin performans analizi*. International Marmara Sciences Congress (Spring 2021), Kocaeli, Türkiye.
- Alkan, S., Öztürk, A., Zavrak, S., Tosun, S., & Avcı, E. (2014, Kasım). *Bir evin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayacak fotovoltaik sistemin kurulumu*. Eleco 2014 Elektrik – Elektronik – Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, Bursa.
- Arıcı, N., & İskender, A. (2020). Fotovoltaik güneş santrallerinde şebeke bağlantı sorunları ve çözümleri. *Politeknik Dergisi*, 23(1), 215-222. doi:10.2339/politeknik.644820
- Baş, Z., Zıba, S., & Yılmaz, A. S. (2017). Fotovoltaik üretim sistemlerinin şebekeye ve maliyetlere etkisinin incelenmesi. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(3), 72-78. doi:10.17780/ksujes.319681
- Bursa İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü. (2022). Bursa coğrafyası. <https://bursa.ktb.gov.tr/TR-70229/cografya.html> Erişim tarihi: 18.02.2022.
- ETKB. (2010). Bursa ili güneş enerjisi potansiyel atlası. <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/16.aspx> Erişim tarihi: 18.02.2022.
- Güneş, N., & Karagöz, İ. (2017, Nisan). *Türkiye’de güneş enerjisi ve Bursa için bir uygulama*. 13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.
- Kandemir, Ç., & Bayrak, M. (2015). Fotovoltaik sistemler şebekeye bağlı olduğunda oluşan sorunlar. https://www.emo.org.tr/ekler/39a721e7e13d0df_ek.pdf Erişim Tarihi:7.09.2022
- Karaca, Ü. B., & Uçar, S. (2018). Konut çatı ve cephelerinde farklı fotovoltaik sistem uygulamalarının değerlendirilmesi. *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(2), 65-76.
- Karadeniz, S., Barış, B., Karadeniz, H., Ocak, S. B., & Selçuk, A. B. (2021). Güneş pilleri uygulamalarında kullanılan organik tabanlı Schottky diyotlarında iyonize radyasyonun aygıt parametrelerine etkisi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 11(1), 222-238. doi:10.31466/kfbd.904677
- Kayıkcı, B. (2020). *Aydın ili Didim ilçesindeki kırsal bölgede yer alan bir konutun elektrik ihtiyacının hibrit güneş-rüzgar enerji sistemi ile karşılanmasının analizi*. (Yüksek Lisans Tezi), Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Kocaeli, Türkiye.
- Kırbaş, İ. (2021). Taşınabilir fotovoltaik (PV) sistem tasarımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 25, 675-679. doi:10.31590/ejosat.928200
- Köse, E. (2018). Fotovoltaik sistemlerin sıcaklığa bağlı enerji verimliliği performansının analiz edilmesi. *Dünya Multidisipliner Araştırmalar Dergisi*, 2018(2), 39-53.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2022a). İllere ait mevsim normalleri. <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=BURSA> Erişim tarihi: 16.02.2022.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2022b). Bursa ili güneş radyasyon verileri. https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx?il=bursa Erişim tarihi: 16.02.2022.
- Özbalta, T. G. (2009). Sürdürülebilir mimarlık bağlamında güneş pili uygulamaları. http://www.emo.org.tr/ekler/5ee06811d09e11c_ek.pdf Erişim tarihi: 18.02.2022.
- Resmi Gazete, (2022, Şubat 19). Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği’nde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik. Sayı: 31755.
- Sayın, S., & Koç, İ. (2011). Güneş enerjisinden aktif olarak yararlanmada kullanılan fotovoltaik (PV) sistemler ve yapılarda kullanım biçimleri. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(3), 89-106.
- Şanlı, B. G., & Dilsel, E. T. (2018). Solar cell usage in a house in Erdemli district of Mersin for meeting electricity demand and cost analysis. *International Scientific and Vocational Studies Journal*, 2(2), 73-79.
- Turan, B., & Dağdaş, S. (2010, Mayıs). *Güneş enerjisi ve artan kullanım imkanları*. III. Ulusal Karadeniz Ormanlık Kongresi, Artvin.
- TÜİK. (2022). Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçları. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2021-45500> Erişim tarihi: 18.02.2022.

- URL-1. (2022). Elektrikli aletlere ait tüketim değerleri. <https://www.arcelik.com.tr/> Erişim tarihi: 9.09.2022.
- URL-2. (2022). İnverter fiyatı. <https://www.trendyol.com/tommatech/trio-atom-8-0kw-uc-faz-inverter-p-328997826> Erişim Tarihi: 10.09.2022
- URL-3. (2022) Monokristal panel fiyatı. <https://solaravm.com/340-watt-gunes-paneli-60-hucreli-lexron-monokristal> Erişim Tarihi: 10.09.2022
- URL-4. 2022. Akü fiyatı. <https://www.ekonomiksolar.com/lexron-210-amper-nano-karbon-teknoloji-jel-aku.html> Erişim Tarihi: 10.09.2022
- URL-5. (2022). Konnektör fiyatları. <https://solaravm.com/staubli-multicontact-mc4-konnektor-seti-kbt4-kst4-orijinal> Erişim Tarihi: 10.09.2022
- URL-6. (2022) Solar kablo fiyatları. <https://solaravm.com/staubli-multi-contact-solar-kablo-6-mm-10-metre> Erişim Tarihi: 10.09.2022
- URL-7. (2022). Güneş takip sistemi fiyatı. <https://tr.aliexpress.com> Erişim Tarihi: 10.09.2022
- URL-8. (2022) Güncel dolar kuru. <https://bigpara.hurriyet.com.tr/doviz/> Erişim Tarihi: 10.09.2022
- URL-9. (2022) 10 Kw on grid çatı projesi. <https://vipnetsolar.com.tr/10-kw-on-grid-cati-projesi-uygulamalari-fiyatları> Erişim Tarihi: 3.10.2022
- Yalılı Kılıç, M., & Adalı, S. (2022). Çalışma ofislerinin enerji ihtiyacının güneş pilleri kullanılarak karşılanması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10, 716 – 728. doi:10.29130/dubited.952679
- Zenk, H. (2018). Yayla evlerinin optimum enerji ihtiyacının fotovoltaik sistemler kullanılarak düşük maliyetle karşılanması. *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(12), 1768-1774. doi:10.24925/turjaf.v6i12.1768-1774.2087



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Türkiye’de Hayvansal Gübre Kaynaklı Biyogazdan Üretilebilecek Elektrik Enerjisinin Bölgesel Analizi

Sinan ÜNVAR*

Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 04100, Ağrı, Türkiye
Sinan ÜNVAR, [ORCID No: 0000-0002-9144-7638](https://orcid.org/0000-0002-9144-7638)

*Sorumlu yazar e-posta: sunvar@agri.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 30.05.2022
Kabul: 11.10.2022
Online Nisan 2023

DOI:[10.53433/yyufbed.1123110](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1123110)

Anahtar Kelimeler

Biyogaz,
Elektrik,
Enerji,
TÜİK,
Türkiye

Öz: Yapılan bu çalışmada Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2021 verilerinden faydalanılarak Türkiye’nin hayvansal gübre kaynaklı (büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı) biyogaz ve elektrik üretim miktarları belirlenmeye çalışılmış ve ülkemizin ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisinin 2021 yılı için ne kadarlık kısmını karşılayabileceği saptanmıştır. Türkiye’nin sahip olduğu toplam hayvan sayısından yola çıkılarak biyogaz ve elektrik enerjisi üretim miktarları hesaplanmıştır. Bu bağlamda, ülkemizin 2021 yılı için hayvansal atık kaynaklı biyogaz üretimi 15.894×10^6 m³/yıl ve elektrik enerjisi üretimi 28.609×10^6 kWh/yıl olarak belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda yıllık biyogaz miktarlarının en fazla olduğu ilk üç bölgenin Ege Bölgesi (3.889×10^6 m³/yıl), İç Anadolu Bölgesi (2.701×10^6 m³/yıl) ve Akdeniz Bölgesi (2.533×10^6 m³/yıl) olduğu belirlenmiştir. Yıllık elektrik üretim miktarlarının en fazla olduğu ilk üç bölgenin ise Ege Bölgesi (7.000×10^6 kWh/yıl), İç Anadolu Bölgesi (4.862×10^6 kWh/yıl) ve Akdeniz Bölgesi (4.559×10^6 kWh/yıl) olduğu tespit edilmiştir. 2021 yılında ülkemizin toplam elektrik tüketiminin 329.634×10^6 kWh olduğu göz önüne alındığında her ilde biyogaz tesisinin bulunması durumunda yıllık enerji ihtiyacının %8,67’sinin biyogaz enerjisi kullanılarak karşılanabileceği tespit edilmiştir.

Regional Analysis of Electricity Energy Produced from Animal Manure Sourced Biogas in Turkey

Article Info

Received: 30.05.2022
Accepted: 11.10.2022
Online April 2023

DOI:[10.53433/yyufbed.1123110](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1123110)

Keywords

Biogas,
Electricity,
Energy
TURKSTAT,
Türkiye

Abstract: In this study, it was tried to determine the biogas and electricity production amounts of Turkey's animal manure (bovine, ovine and poultry) by using the 2021 data of the Turkish Statistical Institute (TSI) and it was determined how much of the electrical energy our country could meet for 2021. Biogas and electrical energy production amounts were calculated based on the total number of animals in Turkey. In this context, our country's biogas production from animal waste for 2021 has been determined as $15,894 \times 10^6$ m³/year and electrical energy production as $28,609 \times 10^6$ kWh/year. As a result of the calculations, it has been determined that the first three regions with the highest annual biogas amounts are the Aegean Region ($3,889 \times 10^6$ m³/year), the Central Anatolia Region ($2,701 \times 10^6$ m³/year) and the Mediterranean Region ($2,533 \times 10^6$ m³/year). It has been determined that the first three regions with the highest annual electricity production amounts are Aegean Region ($7,000 \times 10^6$ kWh/year), Central Anatolia Region ($4,862 \times 10^6$ kWh/year) and Mediterranean Region ($4,559 \times 10^6$ kWh/year). Considering that the total electricity consumption of our country in 2021 is $329,634 \times 10^6$ kWh, it has been determined that 8.67% of the annual energy need can be met by using biogas energy if there are biogas facilities in each province.

1. Giriş

Yenilenebilir enerji kaynakları ekonomik büyümeye, istihdam yaratılmasına ve enerji güvenliğinin artırılmasına katkıda bulunurken, Avrupa Birliği'nin iklim değişikliğiyle mücadelesinin de ayrılmaz bir parçasını oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında biyokütle, güneş, hidroelektrik, rüzgar enerjisi ve jeotermal enerji yer almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları, Avrupa'nın iklim değişikliklerine karşı verdiği mücadelenin bir parçası olmakla birlikte, ekonomik büyümeye katkıda bulunarak, istihdam edilen insan sayısını artırarak enerji güvenliği sağlamaktadır. Bu nedenle, enerji talebinin yenilenebilir kaynaklardan karşılanmasına yönelik sürdürülebilir enerji tedarik sistemlerinin geliştirilmesi esastır (Vindiş ve ark., 2010).

Biyokütle enerjisi içerisinde yer alan biyogaz, başka yerde değerlendirilemeyen organik atıklardan geldiği için yenilenebilir enerji olarak kabul edilir. Biyogaz üretimi bu nedenle döngüsel ekonominin bir parçasıdır. Elektrik, ısı veya her ikisini aynı anda üretmek için yerel olarak üretilmektedir. Biyogazın endüstrilerde enerji kaynağı olarak fosil yakıtların yerine kullanılması, çok daha çevreci, karbonsuz ve sürdürülebilir bir ortamın oluşmasını sağlamaktadır (Wall ve ark., 2018). Endüstriler ve haneler, ısıtma ve sıcak su üretimi için biyogaz enerjisinden yararlanmaktadırlar. Çok temiz yakıt ihtiyacı olan gıda endüstrileri de yandığı zaman koku ve partikül oluşturmayan biyogaz enerjisinden yararlanmaya başlamışlardır. Afrika ve Asya'nın birçok düşük ve orta gelirli ülkesinde, çeşitli yollarla üretilen biyogaz, kırsal alanlarda ısıtma, yemek pişirme veya aydınlatma için kullanılmaktadır (Lohri ve ark., 2017). Biyogazın yanmasından elde edilen ısının kullanılması, yenilenebilir olması (Hengeveld ve ark., 2016) ve çeşitli amaçlara uygun olması nedeniyle çok önemli ekonomik ve çevresel faydalar sağlamaktadır. Tüm bu özellikleri göz önüne alındığında biyogaz çalışmaları gerek dünyada gerek ülkemizde önemli bir konuma gelmiştir.

Ülkemizde özellikle hayvansal kaynaklı biyogaz üretimi ve buna bağlı olarak enerji elde edilmesi çalışmaları hız kazanmıştır. Bu bölümde özellikle en yakın zamanlı çalışmalar hakkında genel bilgiler verilerek konunun önemi anlatılmaya çalışılmıştır. Ay & Kaya (2020) yapmış oldukları çalışmada Kahramanmaraş ilinde hayvan atıklarından elde edilebilecek biyogaz potansiyellerinin tespiti, üretilen elektrik enerjisinin belirlenmesi ve ilçeler kapsamında potansiyel dağılımının saptanmasına yönelik çalışma yapmışlardır. Kahramanmaraş'ta biyogaz üretiminde kullanılabilecek yaklaşık 1.691×10^6 ton/yıl gübre üretilbileceği belirlenmiştir. Bu gübrenin tamamen biyogaz enerjisi üretiminde kullanılması halinde yıllık biyogaz miktarının yaklaşık olarak 70×10^6 m³ olacağı hesaplanmış ve bu biyogazdan da yaklaşık olarak 326×10^6 kWh elektrik enerjisi elde edilebileceği tespit edilmiştir (Ay & Kaya, 2020). Atılğan ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada Antalya ilinin 2019 yılına ait hayvan sayılarını belirleyerek gübre ve biyogaz enerjisi değerlerini hesaplamışlardır. Ayrıca, bu elde edilebilecek enerjiden üretilebilecek doğal gaz ve elektrik enerjisi miktarları da değerlendirilmiştir. Çalışma neticesinde, Antalya ilindeki mevcut atıkların tamamının kullanılması halinde oluşacak gübrenin 3.821×10^6 kg ve tahmini biyogaz enerjisinin ise $45,57 \times 10^6$ MJ olabileceği tespit edilmiştir. Elde edilebilecek biyogazın ise yaklaşık olarak $253,23 \times 10^6$ kWh elektrik enerjisine ve $43,90 \times 10^6$ m³ doğalgaz enerjisine eşdeğer olduğu hesaplanmıştır (Atılğan ve ark., 2021). Atılğan & Yılmaz (2021) yapmış oldukları çalışmada Mardin ilinin biyogaz potansiyelini belirlemeyi amaçlamışlardır. Mardin ili genelinde bulunan hayvanların sayıları ölçüt alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Oluşabilecek $1.163.972,798$ ton gübreden $56.778.608,24$ m³ oranında biyogaz enerjisi kazanılacağı ve biyogazdan da yıllık 266.859×10^6 kWh elektrik enerjisi oluşabileceği belirlenmiştir (Atılğan & Yılmaz, 2021). Caliskan & Tumen Ozdil (2021) 2007-2019 yılları arasında Türkiye'nin çeşitli bölgelerine ait verilerini kullanarak hayvan gübresinden üretilen biyogaz potansiyelini hesaplamışlardır. Ayrıca hayvan gübresi kaynaklarından elde edilen biyogaz kullanılarak sağlanabilecek elektrik potansiyelinin üretimini incelemiştirler. Doğu Anadolu ve İç Anadolu Bölgeleri'nin, hayvanlardan elde edilen gübre miktarı nedeniyle diğer bölgelere göre %19 ile en yüksek biyogaz potansiyeline sahip olduğunu belirlemiştirler. Söz konusu yıllar için biyogazdan 76.448×10^6 m³ potansiyel metan içeriği elde edilebileceğini ve bu metan değerinden $2.339.296 \times 10^6$ kWh ısı değer elde edilebileceğini tespit etmişlerdir. Türkiye'de 2007-2019 yılları arasında hayvan gübresi atıklarından sağlanabilecek elektrik enerjisi potansiyelinin 231.009×10^6 olduğunu, 2007-2019 yılları arasında toplam elektrik tüketiminin ise 2.898×10^6 kWh olduğunu saptamışlardır. Sonuçlar, hayvan gübresinden sağlanabilecek potansiyel elektriğin aynı yıllarda tüketilen elektriğin %7,99'unu karşılayabileceğini göstermiştir (Caliskan & Tumen Ozdil, 2021). Seyitoğlu & Avcıoğlu (2021) yapmış oldukları çalışmada

Çorum ili ve ilçelerine ait hayvansal atıklardan elde edilebilecek biyogaz potansiyelini incelemişlerdir. Üretilebilecek biyogaz miktarına bağlı olarak toplam üretilebilecek elektrik miktarı büyükbaş hayvanlar için yıllık 80.748×10^3 kWh, küçükbaş hayvan için yıllık 3.506×10^3 kWh ve kanatlı hayvanlar için yıllık 16.064×10^3 kWh olarak bulunmuştur. Toplamda Çorum ili için üretilebilecek elektrik miktarı yıllık 100.319×10^3 kWh olarak tespit edilmiştir. Üretilebilecek olan biyogaz miktarından elektrik üretilmesi durumunda 2.608,06 ton CO₂ emisyonu ortaya çıkacağı tespit edilmiştir (Seyitoğlu & Avcıoğlu, 2021). Şenol ve ark. (2021) Türkiye'nin büyükbaş hayvan gübresine dayalı biyometan potansiyelini belirlemek için uygun deneysel analizler yaparak, 2030 yılına kadar olan tahmin de dahil olmak üzere biyometan potansiyelinin yıllara ve illere göre mekansal dağılımının bir değerlendirmesini yapmışlardır. Bu kapsamda, kişi başına düşen toplam kurulu güç potansiyeli ve biyometan potansiyeli için 2002-2019 yılları arasındaki her yıl için büyükbaş hayvan gübresi bazlı biyometan potansiyeli belirlenmiştir. Türkiye'de her bir ilin son yedi yıldaki (2013-2019) büyükbaş hayvan gübresi bazlı biyometan potansiyelleri coğrafi bilgi sistemi yazılımı kullanılarak gösterilmiştir. 2019 itibarıyla, 17.870×10^3 büyükbaş hayvan gübresinin biyometan bazlı kurulu güç potansiyelinin 1.389×10^3 kWh olduğu, bunun da toplam kurulu gücün yaklaşık %1,53'üne tekabül ettiği belirlenmiştir. Ek olarak, 2030 yılına kadar büyükbaş hayvan gübresi bazlı biyometan potansiyelini tahmin etmek için kişi başına gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH), GSYİH tarımsal faaliyetler, insan ve büyükbaş hayvan popülasyonu gibi bir dizi bağımsız değişkene sahip bir yapay sinir ağı (YSA) modeli geliştirilmiştir. 2030 yılında YSA tarafından öngörülen biyometan potansiyelinin 2019 yılındaki biyometan potansiyelinden yaklaşık %50 daha fazla artacağı belirlenmiştir (Şenol ve ark., 2021). Aksay & Tabak (2022) Türkiye'deki hayvan gübresi ve tarımsal atıkların biyogaz potansiyelini değerlendirmek için çalışma yapmışlardır. Çalışmada 12 bölge ve 81 il için hayvan gübresi ve tarımsal atık miktarı, biyogaz potansiyeli, biyogazdan elektrik üretimi gibi sonuçlar haritalanmıştır. Sonuçlara göre, Türkiye'nin toplam toplanabilir gübre, tarımsal atık ve biyogaz potansiyelinin sırasıyla yılda 176×10^6 ton, 17×10^6 ton ve 17×10^9 m³ olduğu belirlenmiştir (Aksay & Tabak, 2022). Tırnık (2022), Iğdır ili ve ilçelerindeki hayvan işletmelerinden kaynaklanan atık miktarlarından biyogaz enerji potansiyellerinin belirlenmesi amacıyla yerel ölçüde sürdürülebilir çözümlerin geliştirilmesi amacıyla çalışma yapmıştır. Hayvan gübresinden yıllık üretilebilecek biyogaz potansiyeli 43.952×10^6 m³, ısı enerjisi miktarı 1.032.879 GJ ve elektrik enerjisi miktarı 114×10^6 kWh olarak hesaplanmıştır. Iğdır ili için yıllık en yüksek elektrik üretim potansiyeline sahip olduğu Merkez ilçesinde yaklaşık 55×10^6 kWh ve en düşük elektrik üretim potansiyeline sahip olduğu Karakoyunlu ilçesinde yaklaşık 15×10^6 kWh elektrik enerjisi üretilbileceği hesaplanmıştır (Tırnık, 2022).

Yukarıda yapılan çalışmalar incelendiğinde biyogaz ve elektrik enerjisi üretimi konusunda ülkemizin tamamının sahip olduğu potansiyelin değerlendirilmesinin eksik olduğu görülmektedir. Çalışmalar bölge, il ve ilçe bazlı yapılmış ancak Türkiye'nin her ilinde biyogaz tesisinin bulunması durumunda oluşabilecek enerji potansiyeli konusu eksik kalmıştır. Yapılan bu çalışma bu eksikliği kapatma amacını taşımaktadır ve ülkemizin biyogaz enerjisi konusunda sahip olduğu toplam potansiyeli gözler önüne sermeyi hedeflemektedir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada biyogaz potansiyeli ve buna bağlı olarak üretilebilecek elektrik enerjisinin miktarının belirlenmesi amacıyla Türkiye'nin 7 bölgesinde mevcut olan büyükbaş (sığır, manda), küçükbaş (koyun, keçi) ve kanatlı (tavuk, hindi, kaz, ördek) hayvan sayıları 2021 yılına ait Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerinden elde edilmiştir ve yapılan hesaplamalar sonucunda değerlendirmelerde bulunulmuştur (TÜİK, 2021).

Bu çalışmada hayvan gübresinden üretilen biyogaz miktarı, hayvanın ağırlığına bağlı olarak tahmin edilen değer ile hesaplanmıştır. Diğer parametreler, hayvan gübresinin toplam katı oranı, üretilen yaklaşık biyogaz miktarı ve toplanabilirlik katsayısıdır. Bu değerlere uygun olarak biyogaz miktarı üretilebilecek elektrik enerjisinin hesaplamasında kullanılmıştır.

2.1. Hayvan sayısı verileri

Türkiye sahip olduğu hayvan sayısı bakımından oldukça avantajlı bir ülkedir. Buna bağlı olarak da hayvanların üretilen gübre miktarları da aynı oranda yüksek olacaktır. TÜİK verilerine göre ülkemiz toplamda 18.036.117 adet büyükbaş (sığır, manda), 57.519.204 adet küçükbaş (koyun, keçi) ve

398.115.160 adet kanatlı (tavuk (et ve yumurta), hindi, kaz ve ördek) hayvana sahiptir (TÜİK, 2021). Türkiye'nin 7 bölgesine ait büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvanların toplam sayıları Çizelge 1'de gösterilmektedir (TÜİK, 2021).

Çizelge 1. Türkiye'deki büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan sayılarının bölgesel dağılımları

Bölgeler	Büyükbaş Hayvan Sayısı	Küçükbaş Hayvan Sayısı	Kanatlı Hayvan Sayısı	Toplam
Akdeniz	1.394.155	7.371.283	37.088.650	45.854.088
Doğu Anadolu	3.607.342	13.754.103	18.030.365	35.391.810
Ege	2.886.770	5.952.814	112.797.991	121.637.575
Güneydoğu Anadolu	1.608.028	10.595.569	11.605.247	23.808.844
İç Anadolu	3.972.947	12.145.693	42.890.032	59.008.672
Karadeniz	2.579.035	2.747.927	65.528.317	70.855.279
Marmara	1.987.840	4.951.615	110.172.528	117.111.983

Çizelge 1 verileri incelendiğinde toplam hayvan sayısında Ege Bölgesi'nin 1. sırada ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin en son sırada yer aldığı görülmektedir.

2.2. Gübre miktarının hesaplanması

Hayvansal atıklardan elde edilen biyogaz potansiyeli; toplam katı madde oranı, beslenme rejimi, vücut ağırlığı, hayvan türü ve atık mevcudiyeti gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir (Caliskan & Tumen Ozdil, 2021).

Bu çalışmada biyogaz üretiminin hesaplanması için gerekli olan hayvan gübresi miktarında bazı varsayımlar yapılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Canlı ağırlıkları büyükbaş hayvanlar için 250 kg, küçükbaş hayvanlar için 40 kg ve kanatlı hayvanlar için 1,5 kg olarak kabul edilmiştir. Büyükbaş hayvanların, küçükbaş hayvanların ve kanatlı hayvanlarının gübre miktarı sırasıyla 0,09; 0,04 ve 0,03 alınarak vücut ağırlıklarıyla orantılı olarak hesaplanmıştır (Caliskan & Tumen Ozdil, 2021).

Hayvanlardan elde edilecek gübre miktarlarının hesaplanmasında vücut ağırlıkları, vücut ağırlıklarına göre üretilebilecek gübre miktarları, hayvan cinsine göre toplam sayı ve 1 yıl içerisindeki gün sayısı (365 gün) çarpılarak hesaplamalar yapılmıştır (Caliskan & Tumen Ozdil, 2021).

$$GM = VA \times \ddot{U}G \times HS \times GS \text{ (ton/yıl)} \quad (1)$$

Burada; GM: Gübre Miktarı (ton/yıl), VA: Vücut Ağırlığı (kg), $\ddot{U}G$: Üretilebilecek Gübre (kg), HS: Hayvan Sayısı (bin) olarak kullanılmıştır.

2.3. Gübrede üretilen biyogaz potansiyelinin hesaplanması

Elde edilen gübre miktarlarından oluşabilecek biyogaz potansiyelinin hesaplanması için gübre miktarı, gübredeki toplam katı miktarı, toplanabilirlik katsayısı ve üretilen tahmini biyogaz miktarı kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Katı miktarı, büyükbaş ve küçükbaş hayvanlar için %25, kanatlı hayvanlar için %29 olarak kabul edilmiştir (Avcioğlu & Turker, 2012; Afzeli ve ark., 2014; Caliskan & Tumen Ozdil, 2021). Tahmini biyogaz miktarı büyükbaş hayvanlar için 0,6; küçükbaş hayvanlar için 0,4 ve kanatlı hayvanlar için 0,8 olarak kabul edilmiştir. Toplanabilirlik katsayısı büyükbaş hayvanlar için %50, küçükbaş hayvanlar için %13 ve kanatlı hayvanlar için %99 olarak kabul edilmiştir (Caliskan & Tumen Ozdil, 2021).

$$TBP = GM \times KM \times TK \times TBM \text{ (m}^3\text{/yıl)} \quad (2)$$

Burada; TBP: Teorik Biyogaz Potansiyeli (m³/yıl), GM: Gübre Miktarı (ton/yıl), KM: Katı Miktarı TK: Toplanabilirlik Katsayısı, TBM: Tahmini Biyogaz Miktarı (m³/kg) olarak kullanılmıştır.

2.4. Biyogaz potansiyelinden üretilebilecek elektrik enerjisinin hesaplanması

Biyogazın enerji içeriği $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$ biyogaz kalorifik değeri dikkate alınarak 6 kWh/m^3 kabul edilmiştir. Biyogaz dönüşümünün genel verimliliği de hesaba katılarak elektrik enerjisi hesabı yapılmıştır. Genel verimlilik %30 olarak kabul edilmiştir (Caliskan & Tumen Ozdil, 2021).

$$EE = TBP \times KD \times \eta \text{ (kWh/yıl)} \quad (3)$$

Burada; EE: Elektrik Enerjisi (kWh/yıl), TBP: Biyogaz Potansiyeli ($\text{m}^3/\text{yıl}$), KD: Kalorifik Değer (kWh/m^3) ve η : Genel verimlilik (%) olarak kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Denklem (1) kullanılarak Türkiye’nin 2021 yılı içerisinde büyükbaş hayvan kaynaklı gübre miktarı 147.846×10^6 ton/yıl, küçükbaş hayvan kaynaklı gübre miktarı 33.591×10^6 ton/yıl ve kanatlı hayvan kaynaklı gübre miktarı ise 6.539×10^6 ton/yıl olarak hesaplanmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Türkiye’nin hayvansal kaynaklı gübre miktarlarının bölgesel dağılımları (ton/yıl)

Bölge	Büyükbaş Hayvan Gübresi	Küçükbaş Hayvan Gübresi	Kanatlı Hayvan Gübresi	Toplam Hayvan Gübresi
Akdeniz	11.449×10^6	4.305×10^6	609×10^6	16.363×10^6
Doğu Anadolu	29.625×10^6	8.032×10^6	296×10^6	37.953×10^6
Ege	23.708×10^6	3.476×10^6	1.853×10^6	29.037×10^6
Güneydoğu Anadolu	12.931×10^6	6.188×10^6	191×10^6	19.310×10^6
İç Anadolu	32.628×10^6	7.093×10^6	704×10^6	40.425×10^6
Karadeniz	21.180×10^6	1.605×10^6	1.076×10^6	23.861×10^6
Marmara	16.325×10^6	2.892×10^6	1.810×10^6	21.027×10^6
Toplam	147.846×10^6	33.591×10^6	6.539×10^6	187.976×10^6

Diğer hayvanlarla karşılaştırıldığında, hayvan sayısı ve hayvan ağırlığından dolayı en fazla gübre miktarı %79 ile büyükbaş hayvanda görülürken, bunu %18 ile küçükbaş hayvan ve son olarak %3 ile kümes hayvanları takip etmektedir. Büyükbaş hayvan gübresi miktarının İç Anadolu Bölgesi’nde en fazla görülmesinin nedeni bölgenin besi hayvancılığı konusunda öncü olması ve hayvan sayısı bakımından diğer bölgelere göre avantajlı olmasıdır.

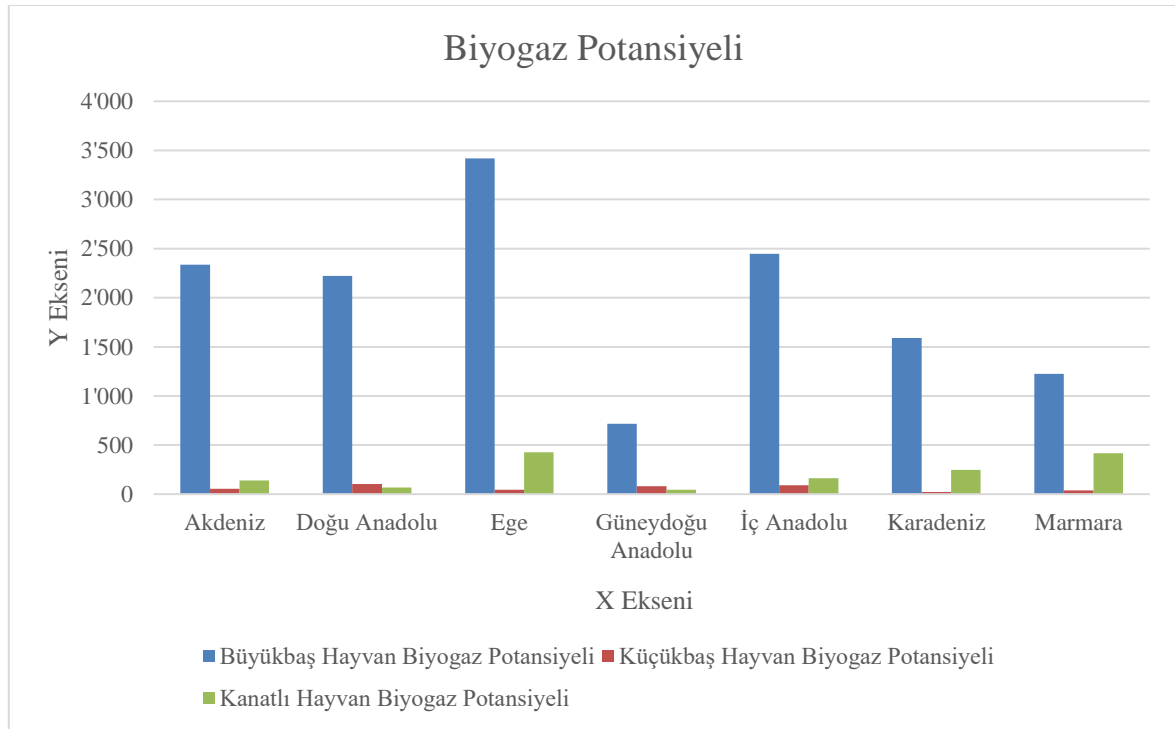
Bununla birlikte küçükbaş hayvan sayılarına bakıldığında en fazla hayvan gübresi 8.032×10^6 ton/yıl ile Doğu Anadolu Bölgesi’nden elde edilmiştir. Bölgenin karasal ve iklimsel özelliklerinden dolayı mera ve çayır alanlar daha fazla yer kaplamaktadır. Bu nedenle Doğu Anadolu Bölgesi için hayvan sayısı ve bu hayvanlardan üretilen gübre miktarı daha fazladır. Ege Bölgesi’nde son yıllarda kanatlı hayvan yetiştiriciliği daha fazla ön plana çıkmıştır ve bu nedenle 2021 yılı için diğer bölgelere göre kanatlı hayvan sayıları daha fazladır. Bu bağlamda, Ege Bölgesi’nden elde edilen kanatlı hayvan gübre miktarı 1.853×10^6 ton/yıl olarak tespit edilmiştir.

Denklem (2) kullanılarak Türkiye’nin 2021 yılı içerisinde biyogaz potansiyeli değerleri büyükbaş hayvanlar için $13.955 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$, küçükbaş hayvanlar için $436 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ ve kanatlı hayvanlar için $1.503 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3).

Çizelge 3. Türkiye'nin hayvansal kaynaklı biyogaz potansiyellerinin bölgesel dağılımları (m³/yıl)

Bölge	Büyükbaş Hayvan Biyogaz Potansiyeli	Küçükbaş Hayvan Biyogaz Potansiyeli	Kanatlı Hayvan Biyogaz Potansiyeli	Toplam Biyogaz Potansiyeli
Akdeniz	2.337×10 ⁶	56×10 ⁶	140×10 ⁶	2.533×10 ⁶
Doğu Anadolu	2.222×10 ⁶	104×10 ⁶	68×10 ⁶	2.394×10 ⁶
Ege	3.418×10 ⁶	45×10 ⁶	426×10 ⁶	3.889×10 ⁶
Güneydoğu Anadolu	718×10 ⁶	80×10 ⁶	44×10 ⁶	842×10 ⁶
İç Anadolu	2.447×10 ⁶	92×10 ⁶	162×10 ⁶	2.701×10 ⁶
Karadeniz	1.589×10 ⁶	21×10 ⁶	247×10 ⁶	1.857×10 ⁶
Marmara	1.224×10 ⁶	38×10 ⁶	416×10 ⁶	1.678×10 ⁶
Toplam	13.955×10 ⁶	436×10 ⁶	1.503×10 ⁶	15.894×10 ⁶

Küçükbaş hayvanlardan elde edilen gübre miktarları kanatlı hayvanlardan elde edilen gübre miktarlarından daha fazla olmasına rağmen biyogaz potansiyeli açısından kanatlı hayvanlardan daha fazla biyogaz elde edilmektedir. Bunun nedeni ise kanatlı hayvanların KM, TK ve TBM değerlerinin diğer hayvan türlerine göre yüksek olmasıdır. Gübre miktarı kadar bu değerlerin de önemli faktörler olduğu saptanmıştır.



Şekil 1. Bölgeler bazında hayvansal gübrelerden elde edilen biyogaz potansiyelleri (m³/yıl).

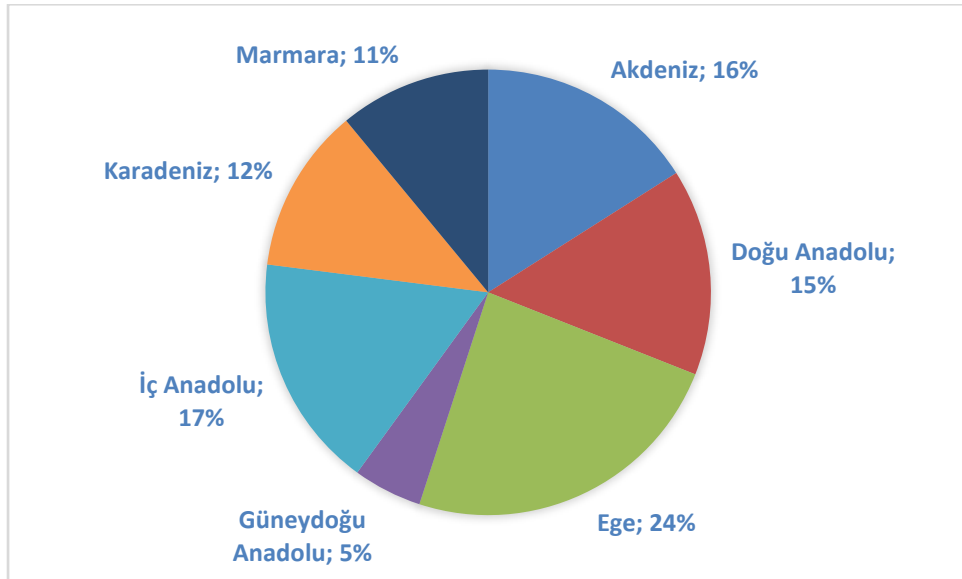
Çizelge 4'te biyogazdan elde edilen elektrik üretim potansiyelinin (kWh/yıl) 2021 yılı için Türkiye'nin bölgesel dağılımı sunulmaktadır. Hayvan gübresinden üretilen elektrik potansiyeli 2021 yılı için toplam 28.609×10⁶ kWh/yıl'dır. Hesaplamalar Denklem 3 kullanılarak yapılmıştır.

Çizelge 4'ün hesaplamaları yapılırken biyogazın kalorifik değeri 6 kWh/m³ ve dönüşüm verimliliği (%) 0,3 olarak alınmıştır.

Çizelge 4. Hayvan gübresinden elde edilen biyogazdan elektrik üretim potansiyeli

Bölge	Toplam Biyogaz Potansiyeli (m ³ /yıl)	Üretilen Elektrik (kWh/yıl)
Akdeniz	2.533×10 ⁶	4.559×10 ⁶
Doğu Anadolu	2.394×10 ⁶	4.309×10 ⁶
Ege	3.889×10 ⁶	7.000×10 ⁶
Güneydoğu Anadolu	842×10 ⁶	1.516×10 ⁶
İç Anadolu	2.701×10 ⁶	4.862×10 ⁶
Karadeniz	1.857×10 ⁶	3.343×10 ⁶
Marmara	1.678×10 ⁶	3.020×10 ⁶
Toplam	15.894×10 ⁶	28.609×10 ⁶

Biyogaz miktarıyla doğru orantılı olması nedeniyle en yüksek elektrik potansiyeli 7.000×10⁶ kWh değeri ile Ege Bölgesi'nde belirlenmiştir. Ege Bölgesi ve İç Anadolu Bölgesi'nin coğrafi ve iklim koşulları ve halkın geçim kaynakları nedeniyle toplam büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayısı ve özellikle kanatlı hayvan sayısı bakımında avantajlı olmaları elektrik üretim potansiyelinin diğer bölgelere göre daha yüksek olmasını sağlamıştır. Öte yandan Şekil 2, 2021 yılı için büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvanlarının gübresinden elde edilen elektrik üretiminin potansiyelinin yüzdelik dağılımını göstermektedir.



Şekil 2. Bölgelere göre üretilen elektrik miktarının (kWh/yıl) yüzdelik dağılımları.

Elektrik üretim potansiyelinin bölgesel bazda yüzdelik olarak değerlendirilmesinde Ege Bölgesinin %24 ile en yüksek değere sahip olduğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin ise %5 ile en az değere sahip olduğu görülmektedir. Bölgelerin sahip olduğu hayvan sayıları, üretilen gübre miktarları ve biyogaz potansiyelleri elektrik üretim miktarlarını da aynı oranda etkilemiştir.

Türkiye elektrik enerjisi tüketimi 2021 yılında bir önceki yıla göre %7,7 artarak 329.634×10⁶ kWh olmuştur. Aşağıdaki çizelgede elektrik tüketiminin sektörlere göre dağılımları verilmektedir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022).

Çizelge 5. Elektrik tüketiminin (kWh) sektörlere göre dağılımları

Sektör	Elektrik Tüketimi (kWh)	Oran (%)
Sanayi	111.573×10^6	33,9
Kayıp-Kaçak	76.600×10^6	23,2
Ticarethane	61.361×10^6	18,6
Konut	61.338×10^6	18,6
Tarımsal Sulama	13.359×10^6	4,1
Aydınlatma	5.403×10^6	1,6
Toplam	329.634×10^6	100

Yapılan bu çalışmada biyogazdan elde edilebilecek elektrik enerjisi potansiyeli 28.609×10^6 olarak tespit edilmiştir. Türkiye'nin 2021 yılında tüketmiş olduğu elektrik enerjisi miktarının 329.634×10^6 olduğu göz önüne alındığında biyogazdan elde edilecek elektriğin toplam tüketimin %8,67'sini karşılayabileceği belirlenmiştir. Bu sonuç biyogaz enerjisinin ne derece önemli olduğunu gözler önüne sermektedir.

4. Sonuç

Enerjide dışa bağımlılığın azaltılmasının en önemli yollarından biri doğru kaynağı bulmak ve bu kaynaktan en etkili şekilde yararlanmaktır. Fosil yakıtlara kıyasla hem temiz hem de sürekli olması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Bu bağlamda biyogaz enerjisi umut vaat eden bir enerji kaynağını oluşturmaktadır. Ülkemiz gerek hayvansal kaynaklar gerekse bitkisel ürünler bakımından oldukça zengin bir potansiyele sahiptir. Biyogaz eldesi için de bu iki önemli kaynak kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmayla ülkemizin 7 bölgesinde mevcut hayvan sayıları (büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı) baz alınarak üretilebilecek gübre, biyogaz ve elektrik miktarları hesaplanmıştır. Ege ve İç Anadolu bölgeleri diğer bölgelere kıyasla biyogaz ve elektrik miktarı bakımından en yüksek değerleri gösteren bölgeler olmuştur. Güneydoğu ve Marmara bölgeleri ise biyogaz ve elektrik miktarı bakımından en düşük üretim miktarlarına sahip olan bölgeler olarak belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında yapılan hesaplamalar sonucunda hayvansal atıklardan elde edilen biyogaz miktarından yaklaşık olarak 28.609×10^6 kWh elektrik enerjisi elde edilebileceği tespit edilmiştir. Ülkemizin her ilinde biyogaz tesisinin bulunması halinde elektrik ihtiyacının %8,67'sinin biyogaz kullanılarak karşılanacağı belirlenmiştir. Biyogazdan elektrik enerjisi elde edilmesinin aşağıdaki gibi sıralanan çok çeşitli yararları da mevcuttur.

A. Elektrik enerjisinin pahalı bir kaynak olması maddi açıdan problemler yaratmaktadır. 2021 yılı içerisinde kullanılan elektrik miktarının yaklaşık olarak 330 milyar kWh olduğu göz önüne alındığında ve 2021 yılı için 1 kWh elektrik enerjisinin 1 TL olduğu düşünüldüğünde toplamda 330 milyarlık bir maddi kaynağa ihtiyacın olduğu açıktır. Yapılan bu çalışmada biyogazdan elde edilen enerjinin yaklaşık %9'luk kısmı karşılayacağı hesaplanmıştır. Bu da ülke ekonomisi için 9 milyarlık bir kazanç demektir.

B. Günümüzün en önemli sorunlarından biri olan çevre kirliliğinin önüne geçilmesi konusunda her geçen gün yeni adımlar atılmaktadır. Hayvansal kaynaklı gübrelerin ortadan kaldırılarak enerji elde edilmesi için kullanılması gerek insan sağlığı açısından gerekse çevresel temizlik açısından (görüntü, kötü koku vb.) ciddi önem arz etmektedir.

C. Ayrıca bu konu istihdam kaynağı olarak da değerlendirilebilir. Kurulacak biyogaz tesislerinde çalıştırılacak elemanlar hem biyogaz konusunda bilgi ve tecrübe elde edebilecek hem de işsizliğin önüne geçilebilecektir.

Hayvan ve bitki sayısı bakımından birçok ülkeye göre oldukça avantajlı bir konumda olan ülkemizde biyogaz enerjisinden en etkili şekilde faydalanılabilmesi için biyogaz tesisi olmayan şehirlerimize bu tesisler kurulmalı, biyogaz konusunda detaylı araştırmalar yapılmalı ve kamuoyu biyogaz enerjisi konusunda bilinçlendirilmelidir.

Kaynakça

- Afzeli, H., Jafari, A., Rafiee, S., & Nosrati, M. (2014). An investigation of biogas production potential from livestock and slaughterhouse wastes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 380–386. doi:10.1016/j.rser.2014.03.016
- Aksay, M. V., & Tabak, A. (2022). Mapping of biogas potential of animal and agricultural wastes in Turkey. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 12, 5345-5362. doi:10.1007/s13399-022-02538-6
- Atılğan, A., Saltuk, B., Ertop, H., & Aksoy, E. (2021). Determination of the potential biogas energy value of animal wastes: Case of Antalya. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Ejosat 2021 Ocak, 263-272. doi:10.31590/ejosat.844631
- Atılğan, S., & Yılmaz, A. (2021). Mardin ilinin hayvansal gübre kaynaklı biyogaz potansiyelinin belirlenmesi. *Mühendis ve Makina*, 62(704), 429-445. doi:10.46399/muhendismakina.874857
- Avcioğlu, A. O., & Türker, U. (2012). Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 1557–1531. doi:10.1016/j.rser.2011.11.006
- Ay, Ö. F., & Kaya, A. (2020). Kahramanmaraş ilinin biyogaz potansiyelinin farklı modeller kullanılarak belirlenmesi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 34(2), 351-364.
- Caliskan, M., & Tumen Ozdil, N. F. (2021). Potential of biogas and electricity production from animal waste in Turkey. *Bioenergy Research*, 14, 860–869. doi:10.1007/s12155-020-10193-w
- Hengeveld, E. J., Bekkering, J., Van Gemert, W. J. T., & Broekhuis, A. A. (2016). Biogas infrastructures from farm to regional scale, prospects of biogas transport grids. *Biomass and Bioenergy*, 86, 43–52. doi:10.1016/j.biombioe.2016.01.005
- Lohri, C. R., Diener, S., Zabaleta, I., Mertenat, A., & Zurbrügg, C. (2017). Treatment technologies for urban solid biowaste to create value products: A review with focus on low- and middle- income settings. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 16, 81–130. doi:10.1007/s11157-017-9422-5
- Seyitoglu, S. S., & Avcioğlu, E. (2021). An investigation for the potential of biogas to be produced from animal waste in Corum. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 9(2), 246-261. doi:10.29109/gujsc.889846
- Şenol, H., Dereli, A. M., & Özbilgin, F. (2021). Investigation of the distribution of bovine manure-based biomethane potential using an artificial neural network in Turkey to 2030. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 149, 111338. doi:10.1016/j.rser.2021.111338
- T. C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022). Elektrik. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik> Erişim Tarihi: 23.05.2022.
- Tırnık, S. (2022). Hayvansal atıkların biyogaz üretim potansiyelinin hesaplanması: Iğdır ili örneği. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(1), 152-163. doi:10.21597/jist.1026987
- TÜİK. (2021). Türkiye’nin iller bazında mevcut hayvan sayıları, Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Hayvansal-Uretim-Istatistikleri-Aralik-2021-45593> Erişim Tarihi: 24.04.2022
- Vindiš, P., Muršec, B., Rozman, Č., & Čuš, F. A. (2010). A multi-criteria assessment of energy crops for biogas production. *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*. 56(1), 63-70.
- Wall, D., Dumont, M., & Murphy, J. D. (2018). Green gas: Facilitating a future green gas grid through the production of renewable gas. https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2018/04/green_gas_web_end.pdf Erişim Tarihi : 06.04.2023



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Hava ve Toprak Kaynaklı Isı Pompası Kullanımı için Teorik Enerji ve Ekserji Analizi: Kastamonu İli Örneği

Mehmet GÜRDAL*

Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği, 37210, Kastamonu, Türkiye
Mehmet GÜRDAL, ORCID No: 0000-0003-2209-3394

*Sorumlu yazar e-posta: mgurdal@kastamonu.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 05.05.2022
Kabul: 17.10.2022
Online Nisan 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1112972

Anahtar Kelimeler

COP,
Ekserji analizi,
Enerji analizi,
Isı pompası,
İkinci yasa verimi

Öz: Bu çalışma Kastamonu ilinde hava ve toprak kaynaklı ısı pompalarının konut ısıtması için kullanılması halinde enerji ve ekserji analizini içermektedir. Kastamonu'nun 2000-2021 tarihleri arasında Aralık-Mart dönem aralığında ölçülmüş en düşük hava ve toprak sıcaklıkları dikkate alınmıştır. Konut ısıtmasında yararlanılacak ısıtma işlemi için soğutucu akışkan olarak R134a, R407c, R410a ve R500 kullanılmıştır. Ele alınan çalışmada ısıtılacak ortam sıcaklığı, her bir ısı pompası için aynı seçilerek ısıtma performans katsayısı (COP) ve ikinci yasa verimi hesaplanmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Sonuç olarak tüm soğutucu akışkanlar için Kastamonu şartlarında, toprak kaynaklı ısı pompasının, hava kaynaklı ısı pompalarına göre daha iyi performans sağladığı gözlemlenmiştir. Öte yandan toprak kaynaklı ısı pompasının hava kaynaklı ısı pompalarına göre daha yüksek ikinci yasa verimine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca R500 soğutucu akışkanının diğer soğutucu akışkanlara göre daha iyi bir performans sağladığı belirlenmiştir.

Theoretical Energy and Exergy Analysis for the Use of Air and Ground Source Heat Pump: The Case of Kastamonu Province

Article Info

Received: 05.05.2022
Accepted: 17.10.2022
Online April 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1112972

Keywords

COP,
Energy analysis,
Exergy analysis,
Heat pump,
Second law efficiency

Abstract: This study includes energy and exergy analysis when air and ground source heat pumps are used for residential heating in Kastamonu province. The lowest air and soil temperatures measured in Kastamonu between December and March between 2000-2021 were taken into account. R134a, R407c, R410a and R500 are used as refrigerants for the heating process that will benefit from residential heating. In the study discussed, the ambient temperature to be heated was chosen the same for each heat pump, the heating performance coefficient (COP) and the second law efficiency were calculated and the results were compared. As a result, it has been observed that air source heat pump provides better performance than ground source heat pumps for all refrigerants in Kastamonu conditions. On the other hand, it was concluded that air source heat pump has higher second law efficiency than ground source heat pumps. In addition, it has been determined that the R500 refrigerant provides better performance than other refrigerants.

1. Giriş

Her geçen gün enerji ihtiyaçlarının artışı beraberinde temiz, verimli ve faydalı enerjiden yararlanabilmek için yeni araştırmaların ortaya çıkmasına olanak sağlamaktadır. Fosil yakıtların ömrünün azalması ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımların artması bu sebeptir. Hava, su, toprak, güneş, jeotermal, dalga, rüzgâr, biyokütle enerjilerinden faydalanarak karbondioksit salınımını düşürerek atmosferin korunmasına yardımcı olmaları, yerli kaynaklar olmaları nedeniyle enerjide dışa bağımlılığın azalmasını sağlamaktadır (Özgür & Manır, 2020). Bu enerji türlerinin daha verimli ve kontrollü kullanılmasını sağlamak için çeşitli sistemlerden yararlanılmaktadır. Özellikle hava, su, toprak ve jeotermal enerjilerin endüstriyel tesisler ve konutlarda kullanılmasını sağlamak adına ısı pompaları geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Ozon tabakasına çok daha az zararlı iş akışkanlarının kullanılması, ısıtma/soğutma proseslerinde tasarruflu ve ekonomik çözüm sağlamaları nedeniyle iklimlendirme sistemleri için ısı pompalarını tercih edilebilir kılmaktadır (Çakır & Çomaklı, 2011). Özellikle Montreal Sözleşmesi gereği ozon tabakasına olumsuz etki gösteren kloroflorokarbon (CFC) ve brom içeren R11, R12, R113 ve R114 gibi soğutucu akışkanların kullanımı önemli oranda sınırlandırılmıştır (Alkan ve ark., 2014). Bu yüzden sera etkisi ve küresel ısınmaya daha az etkisi olan R22 gibi hidrokloroflorokarbon (HCFC) kullanımı nispeten CFC'lere göre daha yakındır. Buna rağmen Çevre Şehircilik Bakanlığı 2015 yılından itibaren HCFC gazların alternatifi olan ve ozon tabakasını inceltmeyen R404A, R134A, R407A, R407C, R-410A, R417A gibi Florlu Sera gazlarının (F-gazlar) kullanımının yaygınlaştırılmasına onay vermiştir. Bu kapsamda hidroflorokarbon (HFC), perflorokarbon (PFC) ve sülfürhegzaflor (SF₆) tercih edilen F-gazlar arasında yer alan soğutucu akışkanlardır (Michineau ve ark., 2014). Bu soğutucu akışkanlar; buharlaşma gizli ısılarının yüksek olması, ısıl geçirgenliklerinin yüksek olması, yüksek basınçlara dayanıklı, yanıcı ve zehirli olmamaları, düşük viskoziteli, kimyasal kompozisyonlarının kolaylıkla değişmemesi gibi üstün özellikleri nedeniyle ısı pompalarında iş akışkanı olarak tercih edilebilmektedirler (Koyun ve ark., 2005). Doğru soğutucu akışkan tercihi ile sistemlerin enerji verimliliğini maksimuma çıkarabilme ve sistemlerin çevreye daha duyarlı olabilmesi sağlanabilmektedir (Yakut, 2014).

Isı pompalarının endüstriyel tesis ve konutlarda düzenli ve daimi olarak çalışabilmesi için kaynak ve kuyu sıcaklıklarının zamanla fazla değişmemesi gerekmektedir. Isı pompası sistemlerinde çoğunlukla ısı enerjisinin çekildiği düşük sıcaklıklı ortam ısı kaynağı, ısının verildiği ortam ısı kuyusu olarak ifade edilmektedir. Bu sistemler genellikle ısı kaynağı türlerine ya da ısı kuyusu çeşitlerine göre sınıflandırılmaktadır. Isı kaynağı olarak toprak kullanımında toprak kaynaklı ısı pompası (TKIP), ısı enerjisinin havadan alınarak suya aktarılması halinde hava-su ısı pompası (HSKIP) olarak adlandırılmaktadır. Toprak ve hava kaynaklı ısı pompası, kışın yeryüzünün alt katmanlarında depolanan ısıyı konutlara, yazın ise konut içindeki ısıyı havaya aktarmaktadır. Yani toprak ve hava kışın ısı kaynağı iken yazın bir ısı kuyusu davranışı göstermektedir (Bilen & Demir, 2021). Isıtma ya da soğutma yapılması planlanan bölgenin coğrafi koşullarına göre ısı pompanın türü, ısıtma/soğutma kapasitesi ve etkinliği belirlenebilmektedir. Enerji kaynağının elde edilme kolaylığı, temiz olması, yararlanabilme, ısıl kapasite ile kaynak ve kuyu sıcaklık değerleri bakımından ısı pompasının türü seçilebilmektedir. Isı pompası etkinlik katsayısının yüksek ve enerji tüketim miktarlarının düşük olması nedeniyle aynı iklimik koşullarda TKIP'ları hava kaynaklı ısı pompalarına (HKIP) göre daha avantajlıdır. Özellikle mevsim normallerin üstünde ya da altında sıcaklık değerlerinde yaşanan değişiklikler hava kaynaklı ısı pompalarının etkinlik katsayısını düşürmektedir. Oysaki mevsim şartları için toprak sıcaklıklarında önemli değişkenlikler gözlemlenmemektedir. Bu avantaj nedeniyle daha çok karasal iklimin hâkim olduğu bölgelerde toprak kaynaklı ısı pompaları tercih edilmektedir (Erdoğan ve ark., 2006). İlk yatırım maliyetinin fazla olması, geniş arazi alanı, kurulum ve montaj zorlukları ile bakım ve onarım güçlükleri toprak kaynaklı ısı pompalarının dezavantajları arasında sayılabilmektedir. Öte yandan havanın elde edilme kolaylıkları, ekonomiklik ve kurulum maliyetlerinin düşük olması hava kaynaklı ısı pompalarını avantajlı kılmaktadır. Akdeniz iklim bölgelerinde toprak kaynaklı ısı pompalarına kıyasla daha fazla tercih edilebilmektedir.

Isı pompaları üzerine geçmişte yapılan çalışmalar incelendiğinde konu ile ilgili ilk çalışmaların Sadi Carnot ve Clausius tarafından ortaya konduğu belirlenmiştir (Ünlü, 2005). Sadi Carnot, buharlı güç çevrimlerinin ters yönde çalıştırılması sağlanarak ısı enerjisinin düşük sıcaklıklı ortamdaki alınıp, daha yüksek sıcaklıktaki bir mahale aktarılabilceğini belirtmiştir. Fakat bu fikir ilk kez Lord Kelvin

tarafından hipoteze dönüştürülmüştür. Çeşitli ısı pompası tasarımları ve patent başvuruları yapılmış olsa da endüstriyel ve konut uygulamaları ancak ikinci dünya savaşından sonraki yıllarda hayata geçirilebilmiştir. İlk yatırım maliyetlerinin yüksek oluşu nedeniyle ısı pompaları başlangıçta sınırlı kullanıcı profiline hitap etmiştir. Öyle ki ilk uygulama konutların ısıtılması için hava kaynaklı ısı pompası ile olup İskoçya’da gerçekleştirilmiştir. Söz konusu sistemlerin zaman içinde teknolojisindeki gelişim, kullanımının farklı alanlarda yaygınlaşması ve üretici firma sayısındaki artışlara bağlı olarak daha geniş kitlelere ulaşabilmiştir (Staffell ve ark., 2012). Ülkemizde bu iklimlendirme sistemlerinin uygulanabilirliği ve bu alandaki araştırmalar 1990’lı yıllardan sonra ağırlık kazanmıştır (Yamankaradeniz ve ark., 2002). Literatürde ısı pompalarını ele alan pek çok çalışma analiz edildiğinde genellikle ısı pompalarının kapasitesi, etkinliği, soğutucu akışkan türlerine göre termoekonomik analiz, sistemin optimum çalışma koşulları araştırmacılar tarafından ağırlıklı olarak çalışılan konulardır. Bunlar arasında; kış şartlarında ısı pompalarının ekserji analizini Toksöz ve ark. (2011) toprak kaynaklı ısı pompası kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Wu & Skye (2018) ise farklı tip soğutucu akış kullanımının toprak kaynaklı ısı pompası etkinliği üzerine etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Soğutucu akışkan olarak propan, karbondioksit, tuzlu su ve amonyak kullanmışlardır. Çöl iklim koşullarında 1 m derinliğe konumlandırılan toprak kaynaklı ısı pompasının enerji analizi ile ikinci yasa etkinliği Naili ve ark. (2015) tarafından gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar sonuç olarak enerji ve ekserji verimlerinin sırasıyla %18-%52 ve %12-%36 arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir. 12 m² yüzey alanına sahip bir oda için toprak kaynaklı ısı pompasının toplam soğutma ihtiyacının %65’ ini karşılayabildiğini belirlemişlerdir. Mao & Chen (2017) 16.6 kW gücünde bir TKIP sistemi kurarak dört farklı derinlikteki toprak sıcaklıklarını kullanarak bir binanın ısıtmasını yapmışlardır. 6 günlük süre içinde ısıtma tesir katsayısının 1.56-2 arasında olduğu hesaplanmıştır. Hepbaşlı & Akdemir (2004) Ege Üniversitesi içinde bir konferans salonunun iklimlendirilmesi için toprak kaynaklı ısı pompası kullanmışlardır. Deneysel çalışmalarında sistemin etkinliği ve ikinci yasa verimini araştırmışlardır. Isıtma ve soğutma yükleri 3.8 kW ve 4.2 kW olarak belirlenmiştir. Araştırmacılar kapalı çevrimle gerçekleştirilen sistemdeki tersinmezlik ve ekserji yok oluşları hesaplamışlardır. Öte yandan hava kaynaklı ısı pompaları üzerine de birçok çalışma literatürde mevcuttur. Bunlardan bazıları; farklı soğutucu akışkanların hava kaynaklı ısı pompasının ısıtma tesir katsayısına etkisini incelemek için Wang ve ark. (2017) matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Elde ettikleri bulguları deneysel çalışmalarla kıyaslamış ve uyumlu olduğunu gözlemlemişlerdir. R22, R134a ve R407c soğutucu akışkanlarını kullanarak hem soğutma hem de nem alma işlemi yapılabilen bir sistem geliştirmişlerdir. Liu ve ark. (2019) ise bir konutun ısıtılması için hava kaynaklı ısı pompası kullanmışlardır. Çalışmalarını teorik analiz üzerine oturtan araştırmacılar termodinamik ve termoekonomik analiz yaparak CO₂ gazının kullanılan sisteme sağladığı uygunluğu araştırmışlardır. HKIP ve TKIP sistemlerinin avantaj ve dezavantajları Çizelge 1’ de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Toprak ve hava kaynaklı ısı pompasının avantaj ve dezavantajları (Erdoğan ve ark., 2006)

Kriter	TKIP (dikey)	TKIP (yatay)	HKIP
Uygulanabilirlik	Mümkün	Geniş arazi ihtiyacı gerekli	Mümkün
Ortalama COP	4-5	4-5	3-4
Verim	Yüksek	Yüksek	Orta
Isı kaynağına bağlantı gideri	Sondaj ve borulama giderleri çok yüksek	Hafriyat ve borulama giderleri yüksek	Hava kanalları gideri düşük
Bakım maliyeti	Düşük	Düşük	Düşük
Doğal soğutma	Mümkün	Mümkün	Mümkün değil
Aktif soğutma	Mümkün	Mümkün	Mümkün

Bu çalışmada R134a, R407c, R410a, R500a soğutucu akışkanları için HKIP ve TKIP sistemlerinin aynı iklim koşulları altında enerji analizi ve ekserji analizi yapılarak bir karşılaştırma yapılması hedeflenmiştir. Bu sayede ısı kaynağı seçiminin coğrafi şartlara ve soğutucu akışkana göre yapılmasının, ısı pompası etkinliği üzerine etkisini gözlemleyerek Kastamonu ili için uygun ısı pompası kaynağını tespit etmek amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışma, 10 kW kapasiteli ısıtma ihtiyacı olan Kastamonu'da, 800 m rakım, 41.371 enlem ve 33.7756 boylam koordinatlarındaki bir konutun Aralık-Ocak-Şubat-Mart ayları için hava ve toprak kaynaklı ısı pompası ile ısıtılması halinde termodinamik I. yasa ve ekserji analizini kapsamaktadır. Çalışmadaki 2000-2021 yılları, Aralık-Mart dönem aralığındaki en düşük ve en yüksek hava ve toprak sıcaklıkları Kastamonu Meteoroloji Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Toprak sıcaklığının stabilitesi için sıcaklık ölçümleri 1 m derinlik için dikkate alınmıştır. Edinilen verilere göre son 22 yılda en düşük toprak sıcaklığı 2 °C ve en düşük hava sıcaklığı -20.2 °C olarak alınmıştır. Çalışma döneminde bahsi geçen sıcaklık değerleri Çizelge 2' de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Dönem içi hava ve toprak sıcaklıkları

Parametre	Rasat S. (2000-2021)	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Yıllık
Günlük Minimum Sıcaklıkların Aylık Ortalaması (°C)	22	-2.5	-3.8	-2.8	-0.2	4.6
Aylık Maksimum Sıcaklık (°C)	22	20.1	19.2	21.1	26.4	42.2
Aylık Minimum Sıcaklık (°C)	22	-18.2	-18.9	-20.2	-15.4	-20.2
100 cm. Derinlik Aylık Ortalama Toprak Sıcaklığı (°C)	22	7.2	4.7	4.3	6.1	12.6
100 cm. Derinlik Aylık Minimum Toprak Sıcaklığı (°C)	22	3.7	2.5	2.0	2.1	2.0
100 cm. Derinlik Aylık Maksimum Toprak Sıcaklığı (°C)	22	10.7	7.0	7.0	9.7	24.5

Isı pompası hattında soğutucu akışkan olarak R134a, R407c, R410a ve R500 kullanılmakta olup 1" çaplı bakır boru tercih edilmiştir. Çalışma kapsamında toprak ve hava kaynaklı ısı pompaları için I. ve II. yasa analizlerinin gerçekleştirilmesinde aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Isıtılması planlanan konutun ısı kaybı hesabı yapılarak gerekli ısıtma kapasitesi 10 kW olarak belirlenmiştir.
- Basınç hattındaki yerel basınç kayıpları ve basınç düşüşleri ihmal edilmiştir.
- Kompresördeki sınır işi esnasında çevreyle iş akışkanları arasındaki ısı transferinin olmadığı kabul edilmiştir.
- Çalışmada kullanılan tüm soğutucu akışkanların kompresöre x=1 kurulum derecesinde ve doymuş buhar fazında giriş yaptığı kabul edilmiştir.
- Ortam sıcaklığının istenen sıcaklıkta tutulabilmesi için yoğuşturucudan ısıtılacak mahale 10 kW ısı güç verilmiştir.
- Çalışma süresince hava ve toprak özelliklerinin zamanla değişim göstermediği kabul edilmiştir.
- Isıtma süresince hatta dolaşan soğutucu akışkanın kütleli debisi değişmemektedir.
- Soğutucu akışkanın sıkıştırılmasında yararlanılan kompresörün mekanik verim %85 olarak kabul edilmiştir.
- Isı kaynağı sıcaklığının işlem süresince aynı kaldığı kabul edilmiştir.
- Çevre ile sistemdeki bağlantı hattı arasında ısı alışverişinin olmadığı kabul edilmiştir.

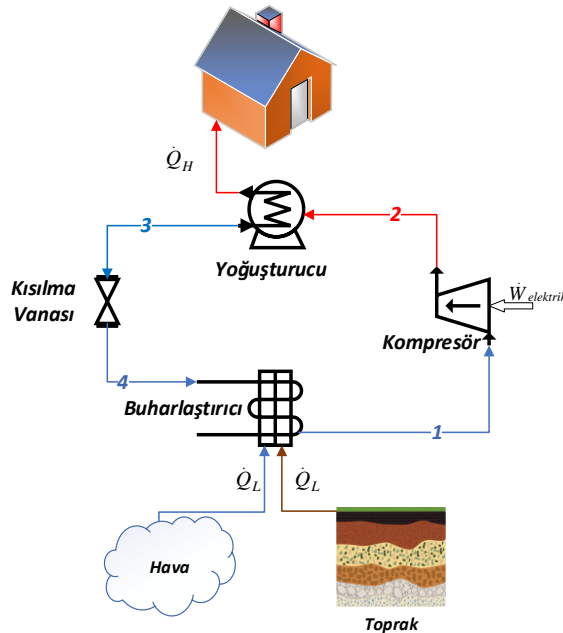
Yukarıda belirtilen kabullerin dikkate alınması ile toprak ve hava kaynaklı ısı pompalarının tasarım değişkenleri oluşturulmuştur. Çizelge 3, mahal, buharlaştırıcı ve yoğuşturucu sıcaklıkları ile farklı ısı kaynağı çeşidine göre ısıtma yüklerini göstermektedir.

Isı pompası sistemini oluşturan elemanlar ile sistemin çalışma prensibi Şekil 1’ de gösterilmiştir. Hava ve toprak kaynaklı ısı kaynağının kullanılmasına göre enerji korunumu prensibi ve II. yasa esasları buharlaştırıcı, kompresör, yoğuşturucu ve kısılma vanası için ayrı ayrı uygulanmıştır. Sistem hattında dolaşan iş akışkanının termodinamik özellikleri Engineering Equation Solver (EES) (Klein & Alvarado, 2002) paket programından temin edilmiştir. Ayrıca enerji ve kütle korunumu denklemleri bu program ile çözümlenerek bilinmeyen sıcaklık, basınç, entalpi ve entropi değerleri elde edilmiştir. Öte yandan farklı soğutucu akışkanların kullanımını durumunda her bir hal durumu ve yapı elemanı için ekserji yok oluşu ile ikinci yasa verimleri hesaplanmıştır. Bu verilerin hesaplanmasında sıcaklık, basınç, entalpi ve entropi değerleri dikkate alınmıştır.

Çizelge 3. Isı pompası tasarımı için temel değişkenler

Temel Değişkenler	Isı Kaynağı Çeşidi	
	Toprak	Hava
Konfor sıcaklığı ($^{\circ}C$)	21	21
Buharlaştırıcı sıcaklığı ($^{\circ}C$)	2	-20
Yoğuşturucu sıcaklığı ($^{\circ}C$)	40	40
Isıtma yükü (kW)	10	10

Ters Carnot Çevrimine göre işleyen ısı pompalarında (Caner ve ark., 2019) soğutucu akışkan Şekil 1’ de gösterildiği üzere kompresöre düşük sıcaklık ve basınçta alınmaktadır. Genellikle elektrikli bir besleme ile desteklenen kompresörlerde akışkan, sıkıştırılarak yüksek basınç ve sıcaklıklı buhar fazına dönüştürülerek yoğuşturucuya aktarılmaktadır. Burada akışkan fazla enerjisini ısıtılacak ortama verdikten sonra yoğuşmaktadır. Soğumuş olarak yoğuşturucudan çıkan sıvı fazındaki akışkan kısılma vanasına giriş yapmaktadır. İnce cidarlı bölge içinde basınç ve sıcaklık değerleri aniden düşerek ıslak buhar fazındaki akışkan buharlaştırıcıya giriş yapmaktadır. Düşük sıcaklıklı olan ısı kaynağından (hava ya da topraktan) ısıyı çekerek akışkan tamamen buhar fazına dönüşmektedir. Ardından akışkan tekrar sıkıştırılmak üzere kompresöre aktarılmakta ve çevrim devam etmektedir.



Şekil 1. Isı pompası açık çevriminin şematik yapısı.

Isı pompaları açık sistem ve sürekli akış prensibiyle çalıştığından her bir yapı elemanı için sırasıyla kütle korunumu, enerji korunumu ve ekserji dengesi uygulanmalıdır (Çengel & Ghajar, 2011).

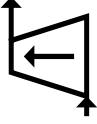


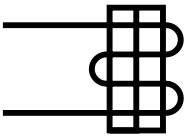
$$\sum \dot{m}_{giren} - \sum \dot{m}_{çikan} = \Delta \dot{m}_{KH} \quad (1)$$

Eşitlik 1' de sisteme giren ve çıkan kütleli debiler (kg/s) arasındaki farkın sistemde depolanan kütleli debiye eşit olduğu ifade edilmektedir. Öte yandan açık sistem boyunca aktarılan kütle, ısı ve iş dengesi Termodinamik I. yasa ile yani Eşitlik 2 yardımıyla (Çengel & Ghajar, 2011),

$$\left(\dot{Q}_{KH_{giren}} + \dot{E}_{KÜTLE_{giren}} + \dot{W}_{KH_{giren}} \right) - \left(\dot{Q}_{KH_{çikan}} + \dot{E}_{KÜTLE_{çikan}} + \dot{W}_{KH_{çikan}} \right) = \Delta \dot{E}_{KH} \quad (2)$$

uygulanabilmektedir. Eşitlik 1 ve Eşitlik 2' de sunulan kütle ve enerji korunumu denklemleri ısı pompası yapı elemanları için sırasıyla kompresör, yoğuşturucu, kısılma vanası ve buharlaştırıcıya uygulanması halinde elde edilen eşitlikler Çizelge 4' te gösterilmiştir.

Çizelge 4. Sistem elemanları için enerji ve kütle korunumu denklemleri

Sistem elemanı	Termodinamik I. Yasa	Kütle Korunumu
 Kompresör	$\dot{W}_{Komp.} = \dot{m}_1 (h_2 - h_1) / \eta_{komp.}$	$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$
 Yoğuşturucu	$\dot{Q}_{yoğ.} = \dot{m}_2 (h_3 - h_2)$	$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 = \dot{m}$
 Kısılma vanası	$\dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_4 h_4$	$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}$
 Buharlaştırıcı	$\dot{Q}_{buh.} = \dot{m}_4 (h_1 - h_4)$	$\dot{m}_4 = \dot{m}_1 = \dot{m}$

Bir ısı pompasının etkinliği ya da ısıtma tesir etkisi COP ile ifade edilmektedir (Özgür ve Manır, 2020). COP denklemini aşağıda sunulduğu gibi Eşitlik 3 ile ifade edilmiştir. Burada $\dot{Q}_{yoğ.}$, yoğuşturucu kapasitesi (kW), $\dot{W}_{komp.}$ soğutucu akışkanın sıkıştırılması için gereken kompresör işini (kW) belirtmektedir. $\dot{m}_{yoğ.}$ ve $\dot{m}_{komp.}$ yoğuşturucu ve kompresörden geçen akışkanın kütleli debilerini (kg/s), h_1 , h_2 ve h_3 sırasıyla kompresör giriş, çıkış ve yoğuşturucu giriş entalpilerini (kJ/kg) belirtmektedir.

$$COP = \frac{\dot{Q}_{yoğ.}}{\dot{W}_{komp.}} = \frac{\dot{m}_{yoğ.} (h_2 - h_3)}{\dot{m}_{komp.} (h_2 - h_1) / \eta_{komp.}} = \frac{(h_2 - h_3) \eta_{komp.}}{(h_2 - h_1)} \quad (3)$$

Isı pompası sisteminde faydalanılmayan ya da yok olan ekserji sistem etkinliğinin düşmesine yol açmaktadır (Gomri ve ark., 2018). Öte yandan kompresörün mekanik verimi dikkate alınarak kompresör çıkışındaki gerçek hal değişimi için entalpi,

$$h_2 \cong \frac{h_{2s} - h_1}{\eta_{komp}} + h_1 \quad (4)$$

ile hesaplanabilmektedir.

Sistemdeki tersinmezlik etkileri nedeniyle ideal tersine Carnot çevrimi gerçekleştirilememektedir. Ekserji yok oluşu Eşitlik 5 ile hesaplanabilmektedir.

$$\dot{X}_{yok\ olan} = T_0 \dot{S}_{üretim} \quad (5)$$

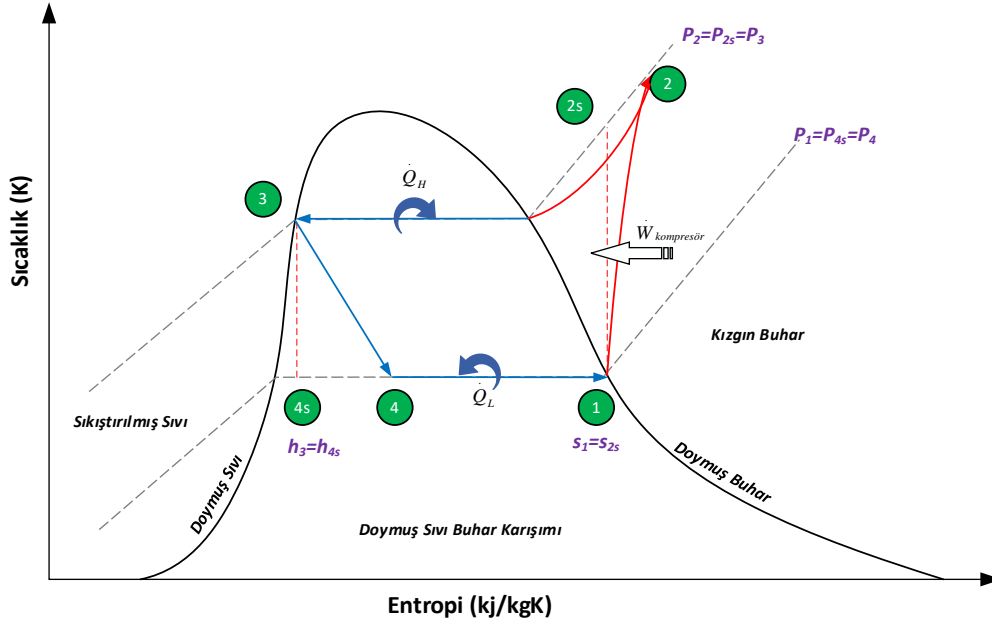
Burada T_0 referans alınan çevre sıcaklığını (0C), $\dot{S}_{üretim}$ üretilen entropi miktarını (kJ/K) temsil etmektedir. Aralık- Mart dönem aralığı için çevre sıcaklığı 2⁰C olarak seçilmiştir. Çalışmada sistemde yer alan yapı elemanlarının ekserji verimleri ile ekserji yok oluşları yarı ayrı dikkate alınmış olup Çizelge 5’ te gösterilmiştir.

Çizelge 5. Isı pompası elemanları için ekserji yok oluşu ve ikincil verim denklemleri

Yapı Elemanı	Ekserji Yok Oluşu	İkincil Verim
Kompresör	$\dot{X}_{yok\ olan_{komp.}} = T_0 \dot{S}_{üretim_{1-2}} = \dot{m}_{komp.} T_0 (s_2 - s_1)$	$\eta_{II,komp.} = 1 - \frac{T_0 (s_2 - s_1)}{(h_2 - h_1)}$
Yoğuşturucu	$\dot{X}_{yok\ olan_{yoğ.}} = T_0 \dot{S}_{üretim_{2-3}} = T_0 \left[\dot{m}_{yoğ.} (s_3 - s_2) + \frac{\dot{Q}_H}{T_H} \right]$	$\eta_{II,yoğ.} = \frac{\dot{Q}_H \left(1 - \frac{T_0}{T_H} \right)}{\dot{m}_{yoğ.} [(h_2 - h_3) - T_0 (s_2 - s_3)]}$
Kısılma Vanası	$\dot{X}_{yok\ olan_{kısıl.}} = T_0 \dot{S}_{üretim_{3-4}} = \dot{m}_{kısıl.} T_0 (s_4 - s_3)$	$\eta_{II,kısıl.} = \frac{\dot{X}_4}{\dot{X}_3}$
Buharlaştırıcı	$\dot{X}_{yok\ olan_{buhar.}} = T_0 \dot{S}_{üretim_{4-1}} = T_0 \left[\dot{m}_{buhar.} (s_1 - s_4) - \frac{\dot{Q}_L}{T_L} \right]$	$\eta_{II,buhar.} = \frac{\dot{Q}_L \left(\frac{T_0}{T_L} - 1 \right)}{\dot{m}_{buhar.} [(h_4 - h_1) - T_0 (s_4 - s_1)]}$

Isı pompasında prosesler soğutma çevrimine göre çalışmaktadır. Soğutma çevrimi ideal ve gerçek soğutma çevrimi olarak iki şekilde ele alınmaktadır. Bu iki çevrim bazı farklılıklar göstermektedir. Yapı elemanlarının her birinde soğutucu akışkanın termodinamik özelliklerinde tersinmezliklerden dolayı değişkenlikler oluşmaktadır. Çevreye olan ısı kaybı ve ünite içinde sürtünme etkileri iki ana tersinmezlik unsurudur (Çengel & Ghajar, 2011). Isı pompası sisteminin çalışma prensibi Şekil 2’ de gösterilen gerçek buhar sıkıştırma soğutma çevrimi ile ifade edilebilmektedir.

Soğutucu akışkan, ısı pompası elemanları ve ısı kaynağına göre aranan termodinamik özellikler ile performans katsayısı, kompresör gücü, buharlaştırıcı ve yoğuşturucu kapasiteleri ile kısılma vanası için enerji denklemi EES paket programında Şekil 3a ve Şekil 3b’de görüldüğü gibi çözdürülerek istenen büyüklükler elde edilmiştir.



Şekil 2. Gerçek buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin T-s eğrisi.

```

EES File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples
T_H=40 [C]
T_C=2 [C]
R$='R500'

T[3]=T_H
x[3]=0
s[3]=Entropy(R$,T=T[3],x=x[3])
P[3]=Pressure(R$,T=T[3],x=x[3])
h[3]=Enthalpy(R$,T=T[3],x=x[3])

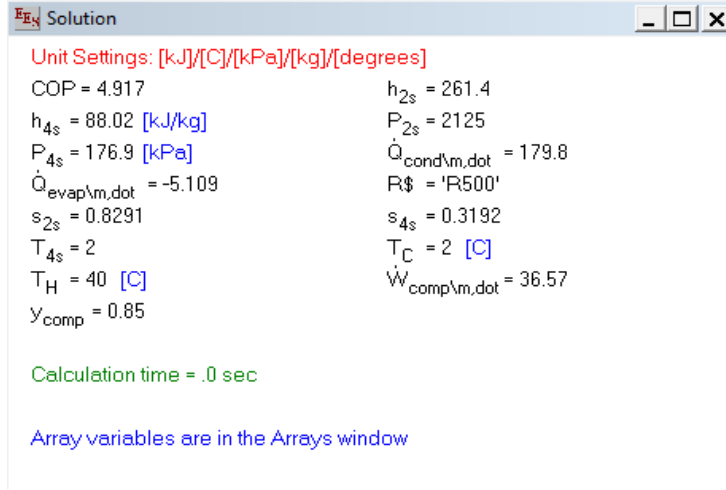
T[1]=T_C
x[1]=1
s[1]=Entropy(R$,T=T[1],x=x[1])
h[1]=Enthalpy(R$,T=T[1],x=x[1])

h_4s=h[3]
P_4s=P[1]
P[1]=P[4]
P[4]=176.948
T[4]=T_4s
T[1]=T[4]
s[3]=s_4s
h[4]=Enthalpy(R$,T=T[4],P=P[4])
s[4]=Entropy(R$,T=T[4],h=h[4])

s[1]=s_2s
P[2]=P_2s
h_2s=Enthalpy(R$,s=s_2s,P=P_2s)
y_comp=0.85
h[2]=(h_2s-h[1])/y_comp+h[1]
h[2]=Enthalpy(R$,P=P[2],T=T[2])
T[2]=Temperature(R$,h=h[2],P=P[2])
s[2]=Entropy(R$,T=T[2],P=P[2])

Q_dot_cond\m_dot=h[2]-h[3]
Q_dot_evap\m_dot=h[1]-h[4]
W_dot_comp\m_dot=(h[2]-h[1])*y_comp
COP=Q_dot_cond\m_dot/W_dot_comp\m_dot
    
```

Şekil 3a. R500 soğutucu akışkan için toprak kaynaklı ısı pompası için EES ile yapılan hesaplama işlemleri.



Şekil 3b. R500 soğutucu akışkan için toprak kaynaklı ısı pompası için elde edilen bazı büyüklükler.

3. Bulgular ve Tartışma

R134a, R407c, R410a ve R500 soğutucu akışkanları için sıcaklık, basınç, entalpi ve entropi değerleri Şekil 1' deki proses adımları izlenerek Çizelge 6' da sunulmuştur. Bu işlemler ısı kaynağı olarak hava ya da toprak kullanımı durumu için ayrı ayrı uygulanmıştır. Bu çalışmada, ölü hal sıcaklık ve basıncı sırasıyla 2°C ve 20 kPa olarak belirlenmiştir.

Çizelge 6. Soğutucu akışkanlar için elde edilen termodinamik özellikler

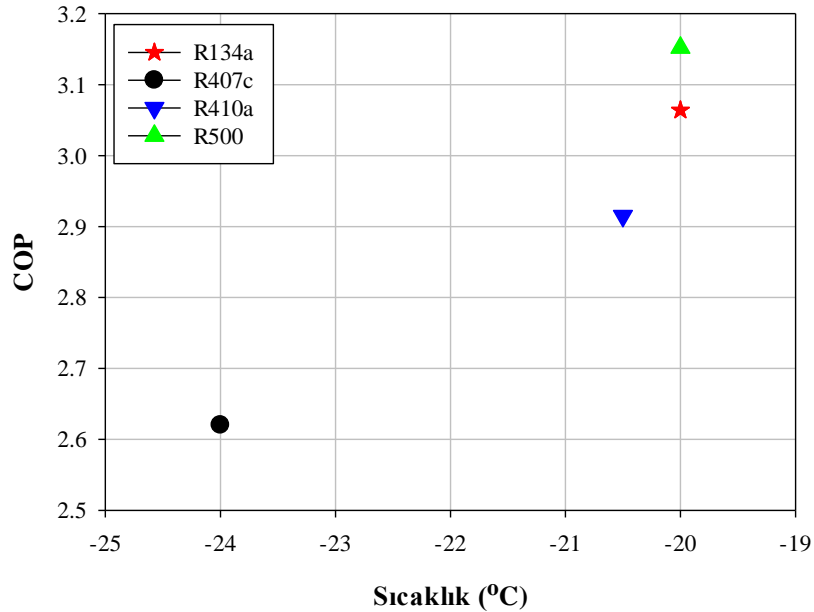
HKIP													
Akışkan Türü	T_1 (°C)	T_2 (°C)	T_{2s} (°C)	T_3 (°C)	T_4 (°C)	P_1 (kPa)	P_2 (kPa)	P_3 (kPa)	P_4 (kPa)	h_1 (kJ/kg)	h_{2s} (kJ/kg)	h_3 (kJ/kg)	h_4 (kJ/kg)
R134a	-20	55.57	48.62	40	-20	132.82	1017	1017	132.82	238.40	280.88	108.26	108.26
R407c	-20	74.29	65.32	40	-24.02	214.44	1737	1737	214.44	254.66	307.44	116.39	116.39
R410a	-20	74.28	67.11	40	-20.04	399.69	2416	2416	399.69	274.55	325.61	125.70	125.70
R500	-20	61.10	53.57	40	-20	176.94	1135	1135	176.94	214.01	253.9	88.02	88.02
TKIP													
Akışkan Türü	T_1 (°C)	T_2 (°C)	T_{2s} (°C)	T_3 (°C)	T_4 (°C)	P_1 (kPa)	P_2 (kPa)	P_3 (kPa)	P_4 (kPa)	h_1 (kJ/kg)	h_{2s} (kJ/kg)	h_3 (kJ/kg)	h_4 (kJ/kg)
R134a	2	41.84	38.32	40	2	176.9	877.7	877.7	176.9	251.61	272.9	108.26	255.3
R407c	2	62.73	57.42	40	-2.54	487.77	525.65	525.65	487.77	267.58	299.17	116.39	184.5
R410a	2	59.43	56.37	40	2	847.91	2416	2416	847.91	281.96	284	125.70	300.4
R500	2	84.03	47.05	40	2	176.9	2125	2125	176.9	224.80	261.40	88.022	229.9
HKIP													
Akışkan Türü	s_1 (kJ/kgK)	s_2 (kJ/kg)	s_{2s} (kJ/kgK)	s_3 (kJ/kgK)	s_4 (kJ/kgK)								
R134a	0.9456	0.9687	0.9456	0.3949	0.4316								
R407c	1.038	1.065	1.038	0.4308	0.4827								
R410a	1.090	1.117	1.090	0.457	0.5024								
R500	0.8483	0.8696	0.8483	0.3192	0.3506								
TKIP													
Akışkan Türü	s_1 (kJ/kgK)	s_2 (kJ/kg)	s_{2s} (kJ/kgK)	s_3 (kJ/kgK)	s_4 (kJ/kgK)								
R134a	0.9303	0.9423	0.9303	0.3949	0.9876								
R407c	1.013	1.252	1.013	0.4308	1.123								
R410a	1.045	1.046	1.045	0.457	0.509								
R500	0.8291	0.8473	0.8291	0.3192	0.9085								

Öte yandan hava ve toprak kaynaklı ısı pompasındaki her bir yapı elemanı için ekserji yok oluşları Çizelge 7’ de gösterilmiştir. Çizelge incelendiğinde HKIP sistemi içinde ani çap daralmasına bağlı olarak entropi artışından kaynaklı diğer elemanlara göre kısılma vanalarında ekserji yok oluşu daha fazla meydana gelmiştir. Özellikle HKIP için R407c ve TKIP için R500 soğutucu akışkan kullanımı ile ekserji yok oluşu diğer soğutucu akışkanlara kıyasla daha büyük olduğu belirlenmiştir. Buharlaştırıcı ve yoğuşturucu giriş ve çıkışlarında basınç değişimlerinin olmaması ekserji yok oluşlarının azalmasında önemli rol üstlenmiştir. TKIP sistemlerinde görüldüğü üzere tersinmezlik etkileri daha az etki ederek ekserji yok oluşlarının daha az oluşmasını sağlamaktadır.

Çizelge 7. HKIP ve TKIP ısı pompası elemanları için ekserji yok oluşları

Isı Kaynağı	Akışkan	Ekserji Yok Oluşu (kW)				
		Kompresör	Yoğuşturucu	Kısılma Vanası	Buharlaştırıcı	Toplam
Hava	R134a	0.367	0.118	0.584	0.050	1.075
	R407c	0.388	0.111	0.747	0.108	1.354
	R410a	0.371	0.111	0.624	0.108	1.216
	R500	0.352	0.151	0.520	0.050	1.074
Toprak	R134a	0.196	0.0764	0.968	0.0165	1.244
	R407c	0.042	0.160	0.197	0.129	0.526
	R410a	0.0157	0.119	0.818	0.119	1.073
	R500	0.027	0.313	0.901	0.017	1.258

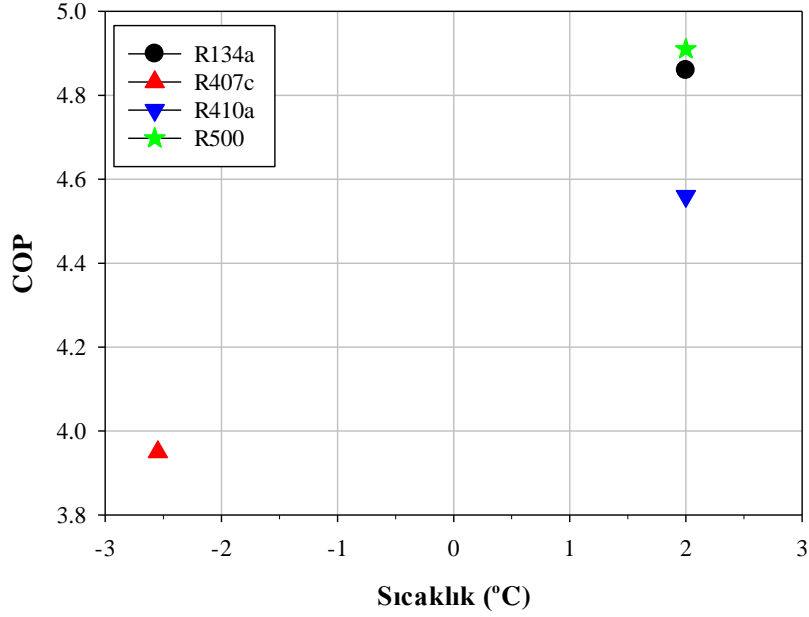
HKIP sistemi içinde farklı soğutucu akışkanlar için COP değerlerinin T_4 sıcaklıklarına göre karşılaştırılması Şekil 4’te gösterilmiştir. Sıcaklık değerlerinin artmasıyla HKIP sisteminin performans katsayısının giderek arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca R500 soğutucu akışkanının kullanımı ile COP değeri 3.152 seviyelerine ulaşmıştır. Dolayısıyla R407c yerine R500 kullanımında TKIP performans katsayısında %20.3 oranında artış sağlanabilmektedir.



Şekil 4. HKIP için farklı soğutucu akışkanların kullanımında COP değerleri.

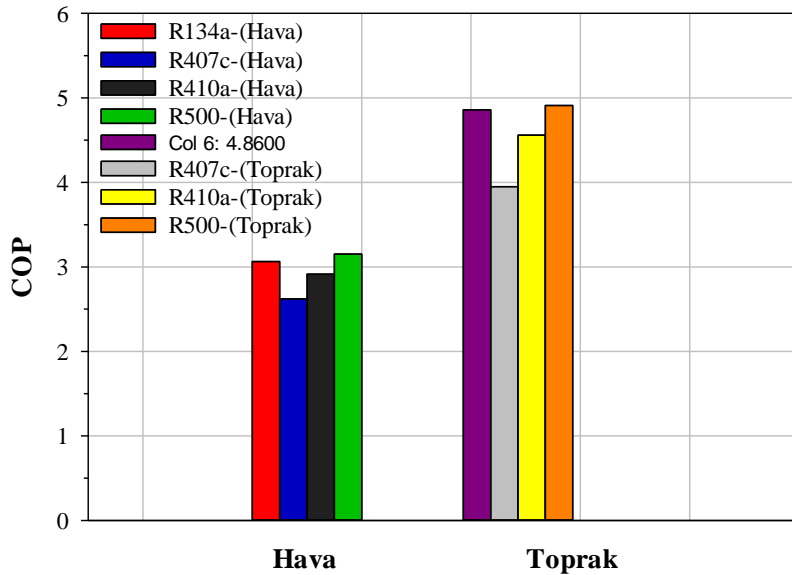
TKIP sistemi için aynı soğutucu akışkanların kullanımında COP değerleri karşılaştırılmış olup Şekil 5’te görüldüğü üzere en iyi performans yine R500 kullanımında elde edilmiştir. Sistemdeki tersinmezliklerin HKIP sistemine göre daha az olmasının da etkisiyle maksimum performans katsayısı

4.91 değerine ulaşmıştır. Bu durum HKIP yerine TKIP kullanımında COP değerinde %55.77 oranında iyileşme sağlandığını ortaya koymaktadır.



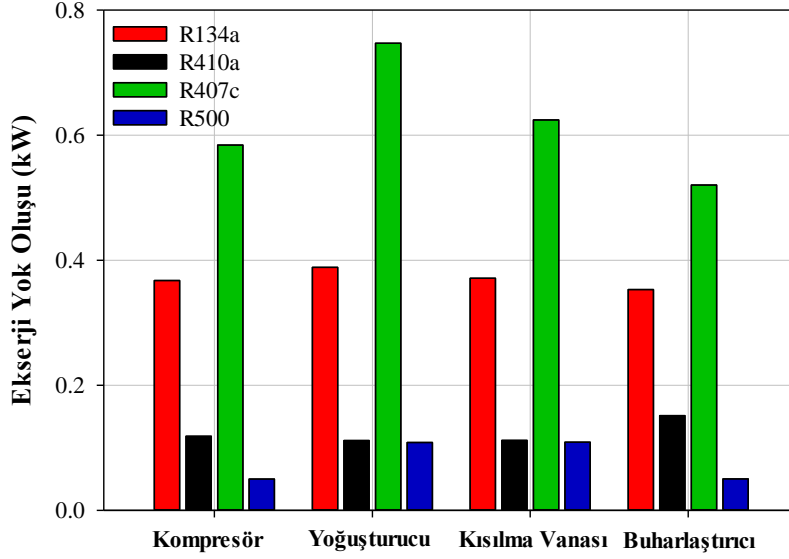
Şekil 5. TKIP için farklı soğutucu akışkanların kullanımında COP değerleri.

HKIP ve TKIP çevrimlerinde soğutucu akışkan türlerine göre COP değerlerinin bir arada karşılaştırılması Şekil 6'da belirtilmiştir. TKIP sistemleri her durumda HKIP'na göre daha yüksek performans göstermektedir. Ayrıca R407c her iki durumda da en düşük ısıtma performansına neden olurken R500 kullanımının en uygun soğutucu akışkan tercihi olduğu gözlemlenmiştir.

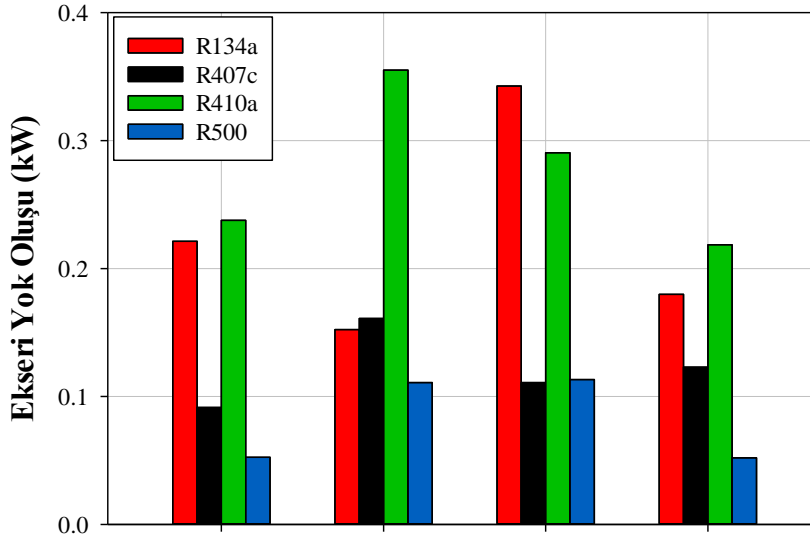


Şekil 6. HKIP ve TKIP için COP değerlerinin karşılaştırılması.

Soğutucu akışkan türüne göre ısı pompalarındaki yapı elemanlarına göre faydalanılmayan ekserji değerleri Şekil 7'de sunulmuştur. R134a kullanımında ekserji yok oluşu büyüklükleri (kW) kompresör, yoğuşturucu, buharlaştırıcı ve kısılma vanasında neredeyse aynı kalırken yapı elemanlarında ekserji yok oluş miktarlarındaki dalgalanma en fazla R407c soğutucu akışkan için elde edilmiştir.

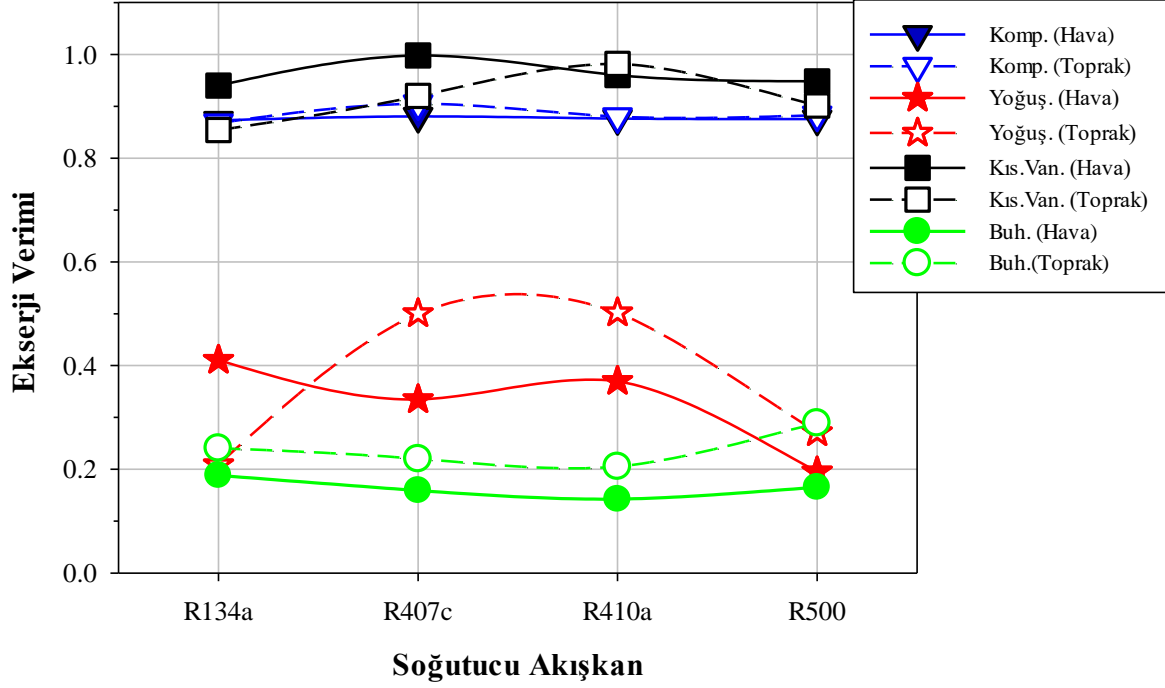


Şekil 7. HKIP için farklı soğutucu akışkanların kullanımında ekserji yok oluşunun karşılaştırılması.



Şekil 8. TKIP için farklı soğutucu akışkanların kullanımında ekserji yok oluşunun karşılaştırılması.

Termodinamiğin ikinci yasasına göre ikincil verim ya da ekserji verimi ısı pompası sistemlerinin etkinliği her bir yapı elemanı için ayrı ayrı Çizelge 5'te yer alan basitleştirilmiş denklemlere göre hesaplanmıştır. Şekil 9'da sistem elemanlarına ait ekserji verimleri verilmiştir. Isıtma dönemi için yapılan ekserji analizi ile elde edilen sonuçlara göre HKIP ve TKIP sistem elemanlarının ekserji verimleri sırasıyla kompresörde ortalama %87.63 ve %88.4, yoğuşturucuda ortalama %32.76 ve %37.06, kısılma vanasında ortalama %96.2 ve %91.45 buharlaştırıcıda ortalama %16.38 ve %23.86 olarak bulunmuştur. Soğutucu akışkanın tüm sistemden geçtiği durum için en yüksek ekserji verimi ise TKIP için R410a kullanımında %64.22 olarak elde edilmiştir.



Şekil 9. HKIP ve TKIP için ekserji verimlerinin (ikincil verimler) karşılaştırılması.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada R134a, R407c, R410a, R500 soğutucu akışkanları için, toprak ve hava kaynaklı ısı pompalarının, aynı iklim koşulları altında enerji analizi ve ekserji analizi yapılarak bir karşılaştırma yapılmıştır. Bu sayede ısı kaynağı seçiminin coğrafi şartlara ve soğutucu akışkana göre yapılmasının, ısı pompası etkinliği üzerine etkisini gözlemleyerek Kastamonu ili için uygun ısı pompası kaynağı tespit edilmek istenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenmiştir.

- HKIP ve TKIP karşılaştırıldığında aynı şartlar altında toprak kaynaklı ısı pompasının enerji ve ekserji verimliliği daha yüksektir.
- Hem HKIP hem de TKIP sistemlerinde en yüksek COP ve ekserji verimi R500 soğutucu akışkan kullanımında elde edilmiştir.
- Tüm durumlar arasında tersinmezlik etkilerinin en fazla ortaya çıktığı HKIP ve TKIP sistemleri için sırasıyla R407c ve R500 soğutucu akışkan kullanımlarında ortaya çıkmıştır.
- Hava ya da toprak sıcaklığının ısı pompası performansını doğrudan etkilediği belirlenmiştir. Bu nedenle ısı pompası uygulamaları öncesinde mutlaka uygun ısı kaynak türü belirlenmelidir.
- Buharlaştırıcı sıcaklığına genişletilen akışkan sıcaklığının azalmasıyla kompresörde sıkıştırma gücü artış göstermektedir.
- Soğutucu akışkanın sıkıştırılması için gereken kompresör gücünün azalması ile ısı pompası performans katsayısı (COP) artış göstermektedir.
- Yoğuşturucu enerji ve ekserji veriminin artışıyla mahale aktarılan ısı kapasitesi artış göstermektedir. Bu sayede ısı pompası etkinliğinde artışlar sağlanabilmektedir.

Teşekkür

Hava ve toprak sıcaklık bilgilerinin temin edilmesinde katkılarından dolayı Kastamonu Meteoroloji Müdürlüğü ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Kaynakça

- Alkan, R., Kabul, A., & Kızıllıkan, Ö. (2014). Toprak kaynaklı bir ısı pompasının farklı soğutucu akışkanlar için termodinamik analizi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 34(1), 27-34.
- Bilen, K., & Demir, O. (2021). Hava, su ve toprak kaynaklı ısı pompalarının farklı soğutucu akışkanlar için enerji ve ekserji analizi. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(2), 688-705. doi:10.31202/ecjse.865741
- Caner, M., Duman, N., Buyruk, E., & Kılınç, F. (2019). Yatay toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin Sivas şartlarında performans analizi. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*, 042, 47-53.
- Çakır U., & Çomaklı, K. (2011, Nisan). Hava kaynaklı bir ısı pompasının farklı çalışma şartları altında termodinamik performans analizi. X. Ulusal Tesilat Mühendisliği Kongresi, İzmir.
- Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). *Heat and Mass Transfer-Fundamentals and Applications* (4th ed.). New York, USA: Mc Graw Hill.
- Erdoğan, S., Yılmaz, M., Şahin, B., & Özyurt, Ö. (2006). Isı pompası sistemlerinin seçimi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 92, 40-49.
- Gomri, R., Karoune, N., & Khellaf, N. (2018). Energy and exergy analyses of different transcritical CO refrigeration cycles. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 5(2), 425-436. doi:10.31202/ecjse.402904
- Hepbasli, A., & Akdemir, O. (2004). Energy and exergy analysis of a ground source (geothermal) heat pump system. *Energy Conversion and Management*, 45(5), 737-753. doi:10.1016/S0196-8904(03)00185-7
- Koyun, T., Koyun, A., & Acar, M. (2005). Soğutma sistemlerinde kullanılan soğutucu akışkanlar ve bu akışkanların ozon tabakası üzerine etkileri. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 88, 46-53.
- Klein, S. A., & Alvarado, F. L. (2002). Engineering equation solver. *F-Chart Software*, Madison, WI, 1.
- Liu, S., Li, Z., Dai, B., Zhong, Z., Li, H., Song, M., & Sun, Z. (2019). Energetic, economic and environmental analysis of air source transcritical CO₂ heat pump system for residential heating in China. *Applied Thermal Engineering*, 148, 1425-1439. doi:10.1016/j.applthermaleng.2018.08.061
- Mao, Q., & Chen, Y. (2017). Experimental investigation of thermal performance of a ground source heat pump system for spring season. *Energy and Buildings*, 152, 336-340. doi:10.1016/j.enbuild.2017.07.067
- Michineau, T., Cavalier, G., & Devin, E. (2014, June). *F-gases in refrigerated transport*. <http://tecnea-italia.it/documents/F-gases-in-Refrigerated-Transport.pdf> Erişim tarihi: 02.04.2023.
- Naili, N., Hazami, M., Kooli, S., & Farhat, A. (2015). Energy and exergy analysis of horizontal ground heat exchanger for hot climatic condition of northern Tunisia. *Geothermics*, 53, 270-280. doi:10.1016/j.geothermics.2014.07.004
- Özgür, A. E., & Manır, M. (2020). R32 Soğutkanlı bir ısı pompasının termodinamik analizi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 12(2), 77-83.
- Staffell, I., Brett, D., Brandon, N., & Hawkes, A. (2012). A review of domestic heat pumps. *Energy & Environmental Science*, 5(11), 9291-9306. doi:10.1039/C2EE22653G
- Toksöz, S., Soyhan, H. S., Topaçoğlu, Y., Taymaz, İ., & Büyükkaya, E. (2011, Kasım). Toprak kaynaklı ısı pompasında ikinci yasa verimi. Ulusal İklimlendirme Kongresi ve Fuarı, Antalya.
- Ünlü, K. (2005). *Hava ve toprak kaynaklı ısı pompalarına etki eden parametrelerin incelenmesi*. (PhD), Bursa Uludağ University, Institute of Science Bursa, Türkiye.
- Wang, Z., Wang, F., Ma, Z., & Song, M. (2017). Numerical study on the operating performances of a novel frost-free air-source heat pump unit using three different types of refrigerant. *Applied Thermal Engineering*, 112, 248-258. doi:10.1016/j.applthermaleng.2016.10.040
- Wu, W., & Skye, H. M. (2018). Progress in ground-source heat pumps using natural refrigerants. *International Journal of Refrigeration*, 92, 70-85. doi:10.1016/j.ijrefrig.2018.05.028
- Yamankaradeniz, R., Horuz, I., & Coskun, S. (2002). *Soğutma Tekniği ve Uygulamaları*. Bursa, Turkey: Vipaş AŞ Yayınları.
- Yakut, A. (2014). Yeni nesil soğutucu akışkan: R32. https://cloud.essiad.org.tr/sogutma_dunyasi/64.pdf Erişim tarihi:02.04.2023



Research Article

Effects of Centrifugation at Different Levels of Freeze-Thawed Blood on DNA Isolation

Mevlüt ARSLAN*

Van Yüzüncü Yil University, Faculty of Veterinary Medicine, Genetics Department 65080, Van, Türkiye
Mevlüt ARSLAN, [ORCID No: 0000-0003-4883-4736](https://orcid.org/0000-0003-4883-4736)

*Corresponding author e-mail: mevlutarслан@yyu.edu.tr

Article Info

Received: 14.06.2022
Accepted: 17.10.2022
Online April 2023

DOI:[10.53433/yyufbed.1130525](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1130525)

Keywords

Blood,
Centrifuge,
DNA isolation,
Freeze-thawed blood

Abstract: DNA isolation from blood is a commonly used application to obtain nDNA and mtDNA. It was previously shown that DNA isolation could be performed from the pellet obtained after centrifugation of freeze-thawed blood (FTB), and this pretreatment had constructive results on DNA isolation. However, which centrifugation levels can be used for this pretreatment, and their effects are unknown. The aim of the study was to determine appropriate centrifugation levels for this pretreatment and show their effects on isolated DNA. For this purpose, DNA isolations were carried out from pellet and supernatant obtained by centrifugation at different levels of FTB. Then, spectrophotometric, gel electrophoresis, and real-time PCR analyses were performed in the isolated DNA samples. As a result, centrifugation of FTB at 5,000×g for 2 min or over let genetic material to pellet completely. This also caused to obtain high amount of DNA. mtDNA/nDNA ratios did not change in the isolated DNA samples from pellets obtained by defined centrifugation levels, but the DNA integrity decreased. To conclude, centrifugation of FTB at 5,000×g for 2 min or over can be used to harvest and wash genetic material found in FTB before DNA isolations.

Donmuş Çözünmüş Kanın Farklı Değerlerde Santrifüjünün DNA İzolasyonu Üzerine Etkileri

Makale Bilgileri

Geliş: 14.06.2022
Kabul: 17.10.2022
Online Nisan 2023

DOI:[10.53433/yyufbed.1130525](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1130525)

Anahtar Kelimeler

DNA izolasyonu,
Donmuş-çözünmüş kan,
Kan,
Santrifüj

Öz: Kandan DNA izolasyonu, nDNA ve mtDNA'yı elde etmek için yaygın kullanılan bir uygulamadır. Donmuş çözünmüş kanın (DÇK) santrifüjü sonrası elde edilen çökeltiden DNA izolasyonunun gerçekleştirilebileceği daha önce gösterilmişti ve bu ön uygulama DNA izolasyonu üzerine olumlu sonuçlara sahipti. Fakat, bu ön uygulama için hangi santrifüj değerlerinin kullanılacağı ve bunların etkileri bilinmemektedir. Bu çalışmanın amacı belirtilen ön uygulama için uygun santrifüj değerlerini belirlemek ve bu santrifüj değerlerinin izole edilen DNA üzerine etkilerini göstermekti. Bu amaçla, DÇK'nin farklı değerlerde santrifüjüyle elde edilen çökelti ve süpernatandan DNA izolasyonları gerçekleştirildi. Sonra, izole edilen DNA örneklerinden spektrofotometrik, jel elektroforezi ve gerçek-zamanlı PCR analizleri gerçekleştirildi. Sonuç olarak, DÇK'nin, 5.000×g'de 2 dakika ya da üzeri değerlerde santrifüjü genetik materyali tamamen çöktürmeyi sağladı. Bu durum ayrıca yüksek miktarda DNA elde edilmesine imkan sağladı. Belirtilen santrifüj seviyelerinde elde edilen çökeltiden izole edilen DNA örneklerinde mtDNA/nDNA oranı değişmedi fakat, DNA bütünlüğü azaldı. Sonuç olarak, DÇK'nin 5.000×g'de 2 dakika ya da üzerinde santrifüjü, DNA izolasyonundan önce DÇK'de bulunan genetik materyali çöktürmek ve yıkamak için kullanılabilir.

1. Introduction

Obtaining nucleic acids from a biological specimen is the starting point for molecular research or diagnosis. Nucleic acid samples with high quantity and quality are essential for successful downstream molecular genetic studies. Therefore, nucleic acids extraction is an essential and primary step for these purposes (Chacon-Cortetes & Griffith, 2014; Hjorthaug et al., 2018). From Friedrich Miescher to today, a range of DNA extraction methods and techniques have been developed (Dahm, 2005; Chacon-Cortetes & Griffith, 2014; Green & Sambrook, 2018; Gautam, 2022). In these applications, mainly cells are lysed, nucleoprotein complexes are denaturalized, nucleases are inactivated, non-desired biological and chemicals are eliminated, and lastly, DNA is precipitated (Tan & Yiap, 2009).

DNA extraction from blood samples is a widely used application for obtaining both mitochondrial DNA (mtDNA) and nuclear DNA (nDNA) (Chacon-Cortetes & Griffith, 2014). Blood samples are generally preferred in genetics, genomics, pharmacogenomics, and epidemiological studies (Visvikis et al., 1998; Gao et al., 2015; Lu et al., 2016; Rzehak et al., 2016). In these studies, both fresh and freeze-thawed blood (FTB) samples are used. Briefly, after sampling of blood, DNA isolation is not performed directly, and the samples are stored in deep freezers until processed (Bulla et al., 2016; Kaya et al., 2022). However, freeze-thawing without cryoprotectant has a detrimental effect on cell integrities (McGann et al., 1988; Steponkus & Lynch, 1989; Tansey, 2006). Therefore, leukocyte preparation processes are not generally performed. However, an earlier study reported that leukocytes were not completely lysed in freeze-thawing of blood (Lippi, 2012). Furthermore, in a recent study, flow cytometry analysis showed that high amount of leukocytes were not lysed, even if subcellular changes occurred, in freeze-thawed (one cycle) blood (Arslan, 2022). Therefore, washing and centrifugation of FTB can be used to harvest and wash intact cells and nuclear pellet in FTB, and these pretreatments have constructive results on DNA isolation to obtain high-quantity and high-quality DNA from FTB (Arslan, 2022). However, it is not certain which centrifugation levels can be used for this application and how it affects isolated DNA characteristics such as mtDNA/nDNA ratio, DNA integrity, DNA quantity and quality.

This study aimed to determine the appropriate centrifugation level to harvest intact and lysed leukocytes for the pretreatment application and also investigate the effects on DNA quality, quantity, integrity, and nDNA/mtDNA ratios in supernatants and pellets. For this purpose, DNA isolations were carried out from both pellet and supernatant obtained by centrifugation at different levels from freeze-thawed blood. Then, spectrophotometric, gel electrophoresis, and real-time PCR analyses were performed in the isolated DNA samples.

2. Materials and Methods

2.1. Blood sampling

In the study, whole blood samples ($n = 5$) were collected from bovines after slaughter. Blood samples were taken into vacutainers with EDTA. The blood samples were stored in a deep freeze (-20°C) until DNA isolation (~ 3 months). Ethical permission was taken from Van Yüzüncü Yıl University Animal Researchers Local Ethics Committee (Approval 07.03.2019, 2019/2).

2.2. DNA isolation

Frozen blood samples in deep freezer were thawed, and then 200 μl of thawed blood samples were added to microcentrifuge tubes. These tubes were centrifuged at $10,000\times g$ for 2 min, $5,000\times g$ for 2 min, $1,000\times g$ for 2 min, $500\times g$ for 2 min, and $100\times g$ for 2 min. After centrifugation at defined levels, 100 μl supernatant was taken carefully and added to new microcentrifuge tubes. Thereby, pellet and supernatant were separated. Since starting blood volume should be 200 μl , 100 μl PBS were added onto both pellets and supernatants. In the control group, direct 200 μl FTB samples were added to microcentrifuge tubes, and DNA extraction was carried out directly. DNA extractions were performed by using a spin-column-based DNA extraction kit (GenExTM Blood, Genall).

2.3. Determination of DNA quality and quantity

DNA concentrations (ng/μl), A260/A280 and A260/A230 ratios were determined spectrophotometrically (Nanodrop 2000c, Thermo Scientific, USA). Isolated DNA samples were stored in a deep freezer (-20 °C) for further analyses.

2.4. Agarose gel electrophoresis of isolated DNA samples

Isolated DNA samples were analyzed by agarose gel electrophoresis. For this purpose, 0.7% agarose gel (w/v) was prepared (Ghatak et al., 2013; Fuentes-Pardo & Ruzzante, 2017). For a better gel result, a thin and narrow gel comb was preferred (Lee & Bahaman, 2012; Arslan et al., 2021). 10 μl isolated DNA samples were loaded into wells and run at 55 volts for 240 min. After running, the gel was soaked into ethidium bromide solution (5 μg/ml) for 30 min. Then, the gels were destained with deionized water for 15 min and visualized under ultraviolet light.

2.5. Real-time PCR analysis of DNA integrity

Quantitative analysis of DNA integrity was evaluated by real-time PCR (long-run) as described in previous studies (Evans et al., 2016; Arslan, 2022). In the long-run real-time PCR, final concentrations of each reaction were 2 μM Syto82 (Life Technologies, USA), 1× buffer B1, 200 μM dNTPs, 2 mM MgCl₂, 1 U DNA Polymerase (Hot FIREPol® Solis Biodyne), ~50 ng of DNA template and 500 nM primers in a 20 μL reaction volume. Information about the used primers was given in Table 1. Each reaction was performed duplicate and the average Ct value was used for calculations. DNA standards, 6.25 ng, 12.5 ng, 25 ng, 50 ng, were prepared for standard template dilutions and used to determine PCR efficiencies.

Table 1. Primers used in the quantitative DNA integrity analysis

Primers	5' – 3' sequence	PCR product (bp)	Reference
Long	F:GGCAATACCAGTTGAATTTG R:TGTGTTAGTACGTTCTTAGT	3067	(Arslan, 2022)
Short	F:TTTATACTCTCAGGATTGAGC R:TTGATATTTTCTTCAGGTACACTAT	70	(Arslan, 2022)

F: Forward, R: Reverse

For long amplicons, PCR conditions were set up as 15 min at 95 °C for initial denaturation and 50 cycles for 15 s at 95 °C for denaturation, 15 s at 60 °C for annealing and 4 min at 72 °C for extension. For small amplicons, PCR conditions were set up as 15 min at 95 °C for initial denaturation and 40 cycles for 5 sec at 95 °C for denaturation, 15 s at 60 °C for annealing, and 1 s at 72 °C for extension. Agarose gel electrophoresis and melting curve analysis were carried out to determine amplicon specificities. DNA integrities were determined by using the previously described equation (Evans et al., 2016).

2.6. Real-time PCR analysis of mtDNA/nDNA ratio

In the isolated DNA samples from the pellet parts, mtDNA/nDNA ratios were determined by real-time PCR. For this purpose, the previously described method was applied (Arslan, 2022). Briefly, each reaction contained 10 μl 2xSyber Green Master Mix (Amplifyme, Blirt), 0.3 μM forward and reverse primers, 1 μl DNA sample, 7.8 μl PCR grade water. Information about the used primers for this analysis was given in Table 2. PCR condition was as follows: 3 min at 95 °C for initial denaturation was followed by up to 40 cycles of 5 s at 95 °C for denaturation, 10 s at 60 °C for annealing, 5 s at 72 °C for extension. Each sample was run duplicate. Melting curve analysis was carried out by gradually increasing temperature (1°C/5s) from 50 °C to 95 °C. The 2^{-ΔΔCT} method was performed to evaluate mtDNA/nDNA levels in the experimental groups and control group (Livak & Schmittgen,

2001). In calculations, $C_{t_{BTF3-ND1}}$ was used to determine nDNA levels in the DNA samples whereas $C_{t_{ND1-BTF3}}$ was used to highlight mtDNA levels.

Table 2. Primers used in the real-time PCR analysis for evaluation of mtDNA/nDNA levels

Primer	Region	5' – 3' sequence	Reference
ND1-F	mtDNA	AGCCATATCAAGCCTAGCCG	(Arslan, 2022)
ND1-R	mtDNA	TTTGAGTTGGAAGCTCAGCC	
BTF3- F	nDNA	CATGTCCTACACAGGCGAAG	(Arslan, 2022)
BTF3-R	nDNA	GAAATTCGGGAGCTTGCGG	

F: Forward, R: Reverse

2.7. Statistical analysis

Student's t-test (two-way, unpaired) was carried out to compare groups and determine significance levels. Mean and standard deviations were given as data points in figures. R software, the 'stats' package, was used for statistical analyses (R Core Team) (R, 2017).

3. Results

DNA samples were obtained from pellets and supernatants as described. All the results obtained were given in Figure 1. According to the results, centrifugation at $100\times g$ for 2 min failed to collect intact cells and lysed fractions. In this level of centrifugation, about 40% of the genetic material found in the FTB was lost in the supernatant. Centrifugation at $500\times g$ for 2 min was also insufficient to collect intact or lysed nuclear pellet, where ~85% of genetic material in FTB was collected and ~15% of genetic material remained in the supernatant part. Centrifugation at $1,000\times g$ for 2 min was able to collect about 99% of genetic material found in the FTB. DNA quantity isolated from the supernatant in this level was 0.53 ± 0.45 ng/ μ l. Also, in this group, isolated DNA yield increased compared to the control group ($P<0.05$). The same situation was also found in $5,000\times g$ and $10,000\times g$ groups (Figure 1). This result suggests that initial elimination of hemoglobin and EDTA increases the column's affinity to bind DNA, resulting in high DNA yield. $5,000\times g$ for 2 min and $10,000\times g$ for 2 min were significant centrifuge levels because no detectable DNA was found in the supernatant part. According to the results, $1,000\times g$ for 2 min and over centrifugation levels were successful to obtain genetic material found in the FTB. $5,000\times g$ for 2 min and $10,000\times g$ for 2 min centrifugation levels led genetic material to be collected successfully. Therefore, these centrifugation levels can be used in the light of the present study.

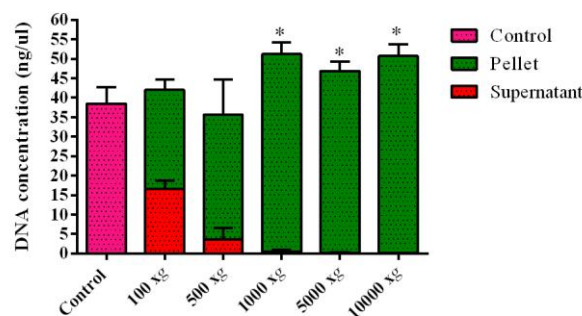


Figure 1. DNA quantity (ng/ μ l) levels obtained control and experimental groups. * indicates significance level ($P<0.05$) between control and pellet groups.

A260/A230 ratios and A260/A280 ratios in the isolated DNA samples from the control pellet and supernatant were shown in Figure 2. A260/A230 ratios in pellets were not significantly different compared to the control (Figure 2a). A260/A230 ratio decreased significantly in the supernatant part of $500\times g$ for 2 min. A260/A280 ratio in the $10,000\times g$ for 2 min group was affected significantly (Figure

2b). However, the value was 1.83 ± 0.01 which was the desired level (Cartozzo et al., 2018). Note that A260/A230 ratios and A260/A280 ratios were excluded in these groups since isolated DNA quantity from supernatants which were obtained by $1,000 \times g$ for 2 min and higher centrifugation levels were almost no detectable.

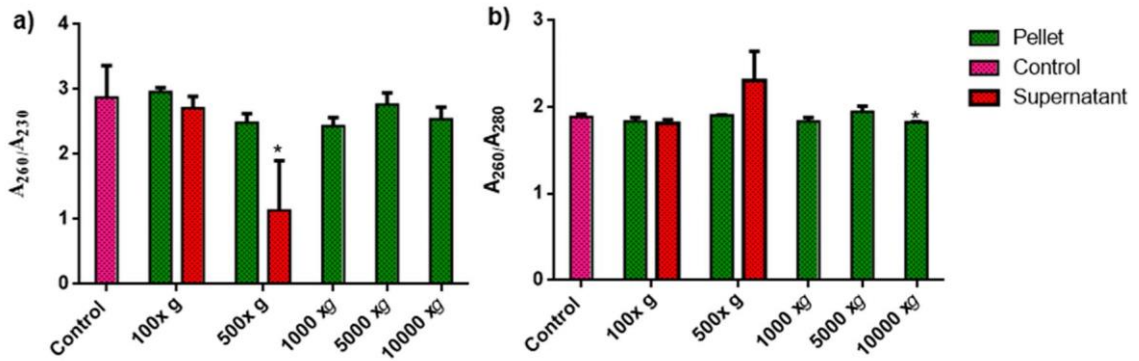


Figure 2. DNA qualities in the control and experimental groups. a) A260/A230 ratios and b) A260/A280 ratios is shown. * indicates significance level ($P < 0.05$) between control and indicated groups.

Isolated DNA samples were also evaluated by agarose gel electrophoresis (Figure 3). According to the results, DNA band intensities decreased in supernatant groups in accordance with spectrophotometric data. $1,000 \times g$ for 2 min experimental group gave very low band intensity, where DNA quantity levels were 0.53 ± 0.45 ng/ μ l, indicating gel sensitivity for checking DNA concentrations. Qualitatively, there was no difference in the DNA integrities in the supernatant parts. Similarly, no detectable integrity was determined in the isolated DNA samples from the pellets.

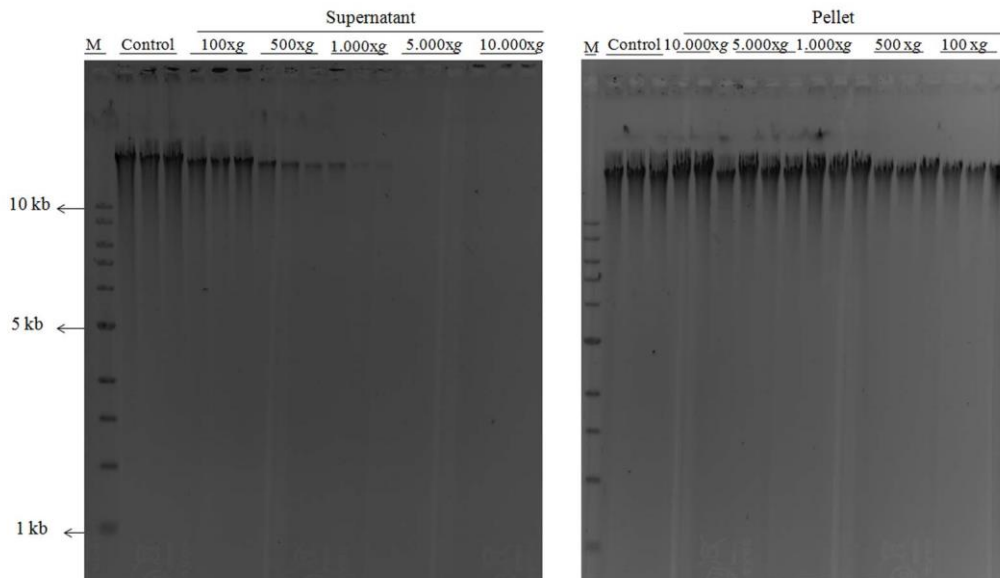


Figure 3. Agarose gel electrophoresis results of the isolated DNA samples from control and experimental groups: supernatants and pellets.

DNA integrity levels were also investigated by real-time PCR using long-run amplification in the isolated DNA from pellet parts (Figure 4). According to the results, in the isolated DNA samples from $100 \times g$ and $500 \times g$ for 2 min centrifugation levels, DNA integrity levels were similar to the control

groups. However, DNA integrity levels of DNA samples which were isolated from the pellets by 1,000×g for 2 min and over were found to be lower.

Real-time PCR analysis highlighted mtDNA/nDNA ratios in the isolated DNA samples (Figure 5). In this analysis only pellet groups were evaluated. According to the results, relative nDNA levels increased in the isolated DNA samples from pellets obtained by 100×g and 500×g for 2 min centrifuge levels, while in the pellets obtained by centrifugation 1,000×g and over, did not change (Figure 5a). Relative mtDNA levels in the DNA isolated from pellet obtained by 100×g and 500×g for 2 min centrifuge levels decreased significantly, indicating mtDNA loss in the supernatant during these centrifugation levels. However, the ratio did not change in the DNA samples isolated from pellets obtained by centrifugation 1,000×g and over (Figure 5b).

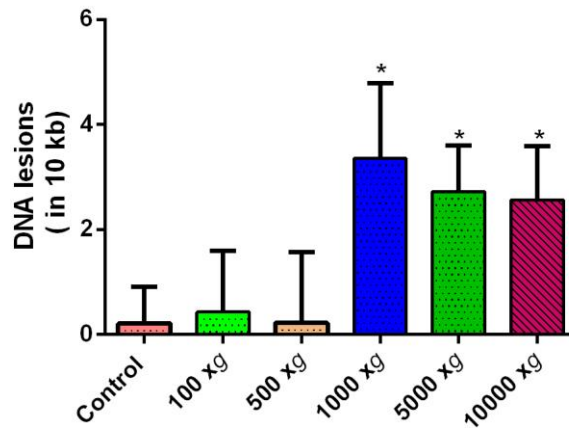


Figure 4. DNA integrity results of the isolated DNA from pellet by defined centrifuge levels.

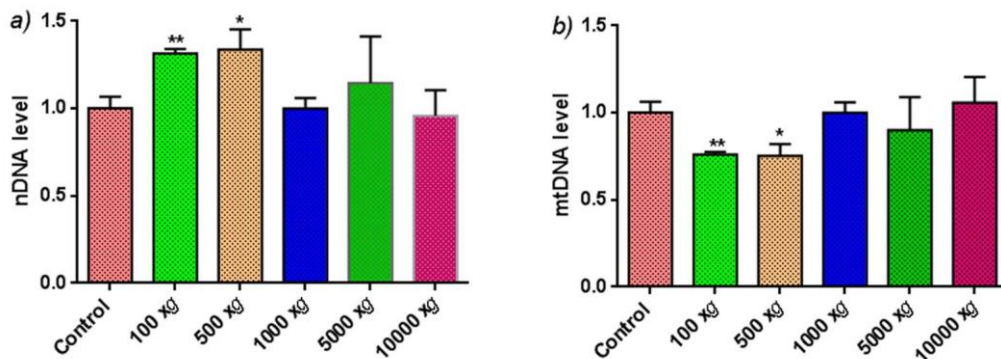


Figure 5. nDNA/mtDNA levels in the isolated DNA samples obtained from control and pellet groups. a) nDNA levels were shown in experimental groups compared to control group. b) mtDNA levels in experimental groups compared to control group. nDNA and mtDNA levels were calculated by using $2^{-\Delta\Delta Ct}$ method based on $Ct_{TERT-ND1}$ and $Ct_{ND1-TERT}$, respectively. * and ** indicate significance levels, $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively.

4. Discussion and Conclusion

Freezing triggers the lysis of cells due to ice crystal formation (McGann et al., 1988; Steponkus & Lynch, 1989; Cottle et al., 2022). Even though nearly all of the erythrocytes are lysed in the direct freeze-thawing application, most of the leukocytes remain intact (Sloviter, 1962; Lippi, 2012; Arslan, 2022). Recently, it was shown that centrifugation and washing of freeze-thawed blood could be performed before DNA isolation (Arslan, 2022). This application had constructive results on DNA isolation probably due to the elimination of hemolysed fraction including hemoglobin, EDTA, etc. In this approach which centrifugation level is appropriate and their effects on isolated DNA characteristics

are unknown. In the current study, different centrifugation levels changing from 100×g to 10,000×g were used to harvest intact or lysed fraction of FTB, and DNA isolations were carried out from both obtained pellet and supernatant, and isolated DNA characteristics were investigated for the first time.

Centrifugation level at 300×g for 5 min can be used to harvest cells in the whole blood (Dagur & McCoy, 2015). This centrifugation level is higher than 500×g for 2 min. As shown in Figure 1, ~15% of genetic material was found in the supernatant part in this centrifugation level. Therefore, it is not an appropriate centrifugation level. Centrifugation at 1,000×g for 2 min and over can be used for harvesting genetic material found in FTB (Figure 1). In the current study, it was shown that centrifugation force at 1,000×g for 2 min pelleted significantly (~99%) genetic material found in intact or lysed cells from FTB (Figure 1). This centrifugation force was used to harvest intact cells (Dagur & McCoy, 2015). The result may support that leukocytes are not completely lysed in FTB (Arslan, 2022). This might be due to the subcellular structure of leukocytes, absorbing ice-induced damage. Even though leukocyte lysis occurs limited level, DNA in cells is packaged by histone proteins (Olins & Olins, 1974). This organization increases the molecular weight of cellular DNA to be pelleted by centrifugation. Centrifugation at 5,000×g for 2 min and over pelleted the genetic material found in the FTB successfully (Figure 1 and Figure 3). According to the results, centrifugation force 5,000×g and over levels, DNA isolation from pellet resulted in high-quantity DNA isolation. This result was also highlighted in a recent study (Arslan, 2022). These results strongly implied that decreasing hemoglobin and EDTA before DNA binding increased membrane saturation and binding of DNA to spin-column, leading to increased DNA yield and purity.

In the current study, DNA quality (A260/A230) in the isolated DNA samples from pellets was not affected significantly (Figure 2). However, the value increased in the previous study (Arslan, 2022). This could be due to the different volume or composition of binding and washing buffers used in commercial DNA extraction kits.

Agarose gel electrophoresis was used for DNA integrity checks in the isolated DNA samples. However, no detectable difference was observed (Figure 3). Therefore, quantitative analysis was carried out by long-run real-time PCR. On the other hand, agarose gel electrophoresis showed a detectable DNA band in isolated DNA samples from supernatant obtained by 1,000×g for 2 min. An earlier study reported that agarose gel electrophoresis could be used for DNA quantification, and the detection limit of agarose gel (stained by ethidium bromide) was 5 ng (Tweedie & Stowell, 2005). This result was in accordance with the present study since loaded DNA quantity was ~5.3 ng in isolated DNA samples from supernatant obtained by 1,000×g for 2 min. However, there was no detectable DNA band in the isolated DNA samples from supernatant obtained by 5,000 and 10,000×g for 2 min centrifugation levels. Therefore, these centrifuge levels can be used successfully for DNA isolation from pellet obtained from FTB. Although DNA isolation carried out from pellets obtained by 1,000×g and over resulted in high DNA quantity, DNA integrity level was affected (Figure 4). A similar result was also found in the previous study (Arslan, 2022). Decreasing hemoglobin and EDTA might increase DNA binding to the membrane of the column. This might increase capturing of fragmented DNA by ice-induced DNA breaks (Heard, 1955; Trusal et al., 1984; Lahiri & Schnabel, 1993). DNA integrity can be important for some studies including comparative genomic hybridization (CGH) and whole-genome amplification approach or targeting long amplification size (Wang et al., 2007; Craig et al., 2012; Lucena-Aguilar et al., 2016). When DNA integrity is important, fresh blood samples can be used for extractions or washing of FTB samples should be applied.

mtDNA and nDNA levels were not affected in the isolated DNA samples from pellets obtained 1,000×g or over levels (Figure 5). However, in the previous study, DNA isolation carried out from pellet obtained from FTB at 10,000×g for 1 min was affected significantly (Arslan, 2022). This difference could be due to the use of different binding and washing buffers in the commercial DNA isolations kits.

To conclude, centrifugation at 1,000×g for 2 min and over is convenient for DNA isolations from the pellets obtained from FTB samples. To completely harvest genetic material in the pellet, centrifugation at 5,000×g for 2 min and over is useful. It should be noted that binding and washing buffers used may affect isolated DNA quality and quantity. Pelleting FTB and elimination of hemolyzed fraction by centrifugation and/or washing would enable researchers to obtain more desired DNA from FTB.

Acknowledgements

This work was supported by the Scientific Research Project Coordination Unit of Van Yüzüncü Yıl University (Project No: THD-2019-8401).

References

- Arslan, M. (2022). Effects of centrifugation and washing of freeze-thawed blood on isolated DNA characteristics. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 46(1), 130-138. doi:10.3906/vet-2106-94
- Arslan, M., Tezcan, E., Camcı, H., & Avcı, M. K. (2021). Effect of DNA concentration on band intensity and resolution in agarose gel electrophoresis. *Van Health Sciences Journal*, 14(3), 326-333. doi:10.52976/vansaglik.969547
- Bulla, A., De Witt, B., Ammerlaan, W., Betsou, F., & Lescuyer, P. (2016). Blood DNA yield but not integrity or methylation is impacted after long-term storage. *Biopreservation and Biobanking*, 14(1), 29-38. doi:10.1089/bio.2015.0045
- Cartozzo, C., Singh, B., Boone, E., & Simmons, T. (2018). Evaluation of DNA Extraction Methods from Waterlogged Bones: A Pilot Study. *Journal of Forensic Sciences*, 63(6), 1830-1835. doi:10.1111/1556-4029.13792
- Chacon-Cortetes, D., & Griffith, L.R. (2014). Methods for extracting genomic DNA from whole blood samples: Current perspectives. *Journal of Biorepository Science for Applied Medicine*, 2014(2), 1-9. doi:10.2147/bsam.S46573
- Cottle, C., Porter, A. P., Lipat, A., Turner-Lyles, C., Nguyen, J., Moll, G., & Chinnadurai, R. (2022). Impact of cryopreservation and freeze-thawing on therapeutic properties of mesenchymal stromal/stem cells and other common cellular therapeutics. *Current Stem Cell Reports*, 8(2), 72-92. doi:10.1007/s40778-022-00212-1
- Craig, J. M., Vena, N., Ramkissoon, S., Idbaih, A., Fouse, S. D., Ozek, M., Sav, A., Hill, D. A., Margraf, L. R., Eberhart, C. G., Kieran, M. W., Norden, A. D., Wen, P. Y., Loda, M., Santagata, S., Ligon, K. L., & Ligon, A. H. (2012). DNA fragmentation simulation method (FSM) and fragment size matching improve aCGH performance of FFPE tissues. *PLoS One*, 7(6), e38881. doi:10.1371/journal.pone.0038881
- Dagur, P. K., & McCoy, J. P. Jr. (2015). Collection, storage, and preparation of human blood cells. *Current Protocols in Cytometry*, 73(5), 1-16. doi:10.1002/0471142956.cy0501s73
- Dahm, R. (2005). Friedrich Miescher and the discovery of DNA. *Developmental Biology*, 278(2), 274-288. doi:10.1016/j.ydbio.2004.11.028
- Evans, S. O., Jameson, M. B., Cursons, R. T. M., Peters, L. M., Bird, S., & Jacobson, G. M. (2016). Development of a qPCR method to measure mitochondrial and genomic DNA damage with application to chemotherapy-induced DNA damage and cryopreserved cells. *Biology*, 5(4), 39. doi:10.3390/biology5040039
- Fuentes-Pardo, A. P., & Ruzzante, D. E. (2017). Whole-genome sequencing approaches for conservation biology: Advantages, limitations and practical recommendations. *Molecular Ecology*, 26(20), 5369-5406. doi:10.1111/mec.14264
- Gao, X., Jia, M., Zhang, Y., Breitling, L. P., & Brenner, H. (2015). DNA methylation changes of whole blood cells in response to active smoking exposure in adults: A systematic review of DNA methylation studies. *Clinical Epigenetics*, 7, 113. doi:10.1186/s13148-015-0148-3
- Gautam, A., (2022). Phenol-Chloroform DNA Isolation Method. In A. Gautam (Ed.), *DNA and RNA Isolation Techniques for Non-Experts* (pp. 33-39). Cham, Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-030-94230-4_3
- Ghatak, S., Muthukumar, R. B., & Nachimuthu, S. K. (2013). A simple method of genomic DNA extraction from human samples for PCR-RFLP analysis. *Journal of Biomolecular Techniques*, 24(4), 224-231. doi:10.7171/jbt.13-2404-001
- Green, M.R. & Sambrook, J. (2018). Isolation and quantification of DNA. *Cold Spring Harbor Protocols*, 2018(6), pdb. top093336. doi:10.1101/pdb.top093336
- Heard, B. E. (1955). The histological appearances of some normal tissues at low temperatures. *British Journal of Surgery*, 42(174), 430-437. doi:10.1002/bjs.18004217416

- Hjorthaug, H. S., Gervin, K., Mowinckel, P., & Munthe-Kaas, M. C. (2018). Exploring the influence from whole blood DNA extraction methods on Infinium 450K DNA methylation. *PloS One*, 13(12), e0208699. doi:10.1371/journal.pone.0208699
- Kaya, Z., Almalı, N., Sahin, E. S., Duran, S., Görgisen, G., & Ates, C. (2022). Association of insulin-like growth factor binding protein-7 promoter methylation with esophageal cancer in peripheral blood. *Molecular Biology Reports*, 49, 3423-3431. doi:10.1007/s11033-022-07173-y
- Lahiri, D. K., & Schnabel, B. (1993). DNA isolation by a rapid method from human blood samples: Effects of MgCl₂, EDTA, storage time, and temperature on DNA yield and quality. *Biochemical Genetics*, 31, 321-328. doi:10.1007/bf02401826
- Lee, S. V., & Bahaman, A. R. (2012). Discriminatory Power of Agarose Gel Electrophoresis in DNA Fragments Analysis. In S. Magdeldin (Ed.), *Gel Electrophoresis Principles and Basics* (pp. 41-56). Croatia: IntechOpen.
- Lippi, G. (2012). Interference studies: Focus on blood cell lysates preparation and testing. *Clinical laboratory*, 58(3-4), 351-355.
- Livak, K. J., & Schmittgen, T. D. (2001). Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the $2^{-\Delta\Delta C_T}$ Method. *Methods*, 25(4), 402-408. doi:10.1006/meth.2001.1262
- Lu, H. Y., Zhao, G. L., & Fu, M. F. (2016). Polymorphisms in the vascular endothelial growth factor (VEGF) gene associated with asthma. *Genetics and Molecular Research*, 15(2), gmr.15027880. doi:10.4238/gmr.15027880
- Lucena-Aguilar, G., Sánchez-López, A. M., Barberán-Aceituno, C., Carrillo-Ávila, J. A., López-Guerrero, J. A., & Aguilar-Quesada, R. (2016). DNA source selection for downstream applications based on DNA quality indicators analysis. *Biopreservation and Biobanking*, 14(4), 264-270. doi:10.1089/bio.2015.0064
- McGann, L. E., Yang, H., & Walterson, M. (1988). Manifestations of cell damage after freezing and thawing. *Cryobiology*, 25(3), 178-185. doi:10.1016/0011-2240(88)90024-7
- Olins, A. L., & Olins, D. E. (1974). Spheroid chromatin units (v bodies). *Science*, 183(4122), 330-332. doi:10.1126/science.183.4122.330
- Rzehak, P., Saffery, R., Reischl, E., Covic, M., Wahl, S., Grote, V., Xhonneux, A., Langhendries, J. P., Ferre, N., Closa-Monasterolo, R., Verduci, E., Riva, E., Socha, P., Gruszfeld, D., & Koletzko, B. (2016). Maternal smoking during pregnancy and DNA-Methylation in children at age 5.5 years: Epigenome-wide-analysis in the European childhood obesity project (CHOP)-study. *PloS One*, 11(5), e0155554. doi:10.1371/journal.pone.0155554
- R. (2017). R Core Team, R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- Sloviter, H. A. (1962). Mechanism of hæmolysis caused by freezing and its prevention. *Nature*, 193, 884-885. doi:10.1038/193884a0
- Steponkus, P. L., & Lynch, D. V. (1989). Freeze/thaw-induced destabilization of the plasma membrane and the effects of cold acclimation. *Journal of Bioenergetics and Biomembranes*, 21(1), 21-41. doi:10.1007/bf00762210
- Tan, S. C., & Yiap, B. C. (2009). DNA, RNA, and protein extraction: The past and the present. *Journal of Biomedicine & Biotechnology*, 2009, 574398. doi:10.1155/2009/574398
- Tansey, W. P. (2006). Freeze-thaw lysis for extraction of proteins from mammalian cells. *CSH Protocols*, 2006(7), pdb.prot4614. doi:10.1101/pdb.prot4614
- Trusal, L. R., Guzman, A. W., & Baker, C. J. (1984). Characterization of freeze-thaw induced ultrastructural damage to endothelial cells in vitro. *In Vitro*, 20(4), 353-364. doi:10.1007/bf02618599
- Tweedie, J. W., & Stowell, K. M. (2005). Quantification of DNA by agarose gel electrophoresis and analysis of the topoisomers of plasmid and M13 DNA following treatment with a restriction endonuclease or DNA topoisomerase I. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 33(1), 28-33. doi:10.1002/bmb.2005.494033010410
- Visvikis, S., Schlenck, A., & Maurice, M. (1998). DNA extraction and stability for epidemiological studies. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 36(8), 551-555. doi:10.1515/CCLM.1998.094

Wang, F., Wang, L., Briggs, C., Sicinska, E., Gaston, S. M., Mamon, H., Kulke, M. H., Zamponi, R., Loda, M., Maher, E., Ogino, S., Fuchs, C. S., Li, J., Hader, C., & Makrigiorgos, G. M. (2007). DNA degradation test predicts success in whole-genome amplification from diverse clinical samples. *The Journal of Molecular Diagnostics: JMD*, 9(4), 441–451. [doi:10.2353/jmoldx.2007.070004](https://doi.org/10.2353/jmoldx.2007.070004)



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Sazan Balığı (*Cyprinus carpio*)'nın Yaş Tayininde Bütün ve Kesit Otolit Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Aykut AYDIN, Nazmi POLAT, Semra SAYGIN*, Melek ÖZPİÇAK, Savaş YILMAZ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 55139, Samsun, Türkiye

Aykut AYDIN, ORCID No: 0000-0001-5222-0353, Nazmi POLAT, ORCID No: 0000-0001-9785-9927,
Semra SAYGIN, ORCID No: 0000-0002-3249-5074, Melek ÖZPİÇAK, ORCID No: 0000-0003-3506-4242,
Savaş YILMAZ, ORCID No: 0000-0003-2859-4886

*Sorumlu yazar e-posta: semra.saygin@omu.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 10.06.2022
Kabul: 19.10.2022
Online Nisan 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1129009

Anahtar Kelimeler

Asteriskus,
Cyprinus carpio,
Kesit otolit,
Otolit,
Yaş tayini

Öz: Bu çalışmada, Altinkaya Baraj Gölü (ABG) ve Bafra Balık Gölleri (BBG)'nde yaşayan *Cyprinus carpio* türünün bütün ve kesit otolitlerinin karşılaştırılarak yaş tayininde güvenilirliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Balık örnekleri (117 birey) 2017-2018 tarihlerinde temin edilmiş, her bir balığın total boyları ölçülmüş (± 0.1 cm) ve ağırlıkları (± 0.01 g) tartılmıştır. Bütün otolitlerin (asteriskus) distal yüzeylerinden yaşları belirlenmiş, transversal kesitler alınmıştır. Yüzde uyum, ortalama yüzde hata ve değişim katsayısı hesaplanmıştır. Popülasyon genelinde total boylar 17.8-69.3 cm, ağırlıklar 67.57-5412 g arasında değişmiştir. Bütün ve kesit otolitlerde okunan yaşlar ABG'de sırasıyla 2-6, 2-7, BBG'de sırasıyla 1-8, 0-7 olarak belirlenmiştir. ABG ve BBG'de yüzde uyumun en yüksek (sırasıyla; %75.43, %71.67), ortalama yüzde hata (%3.89, %3.98) ve değişim katsayısının en düşük (5.11, 5.29) olduğu kesit otolit yöntemidir. Her iki alanda da *C. carpio* türünün yaş tayini için elde ettiğimiz sonuçlar, kesit otolit yönteminin yaş belirlemede bütün otolit yöntemine göre daha güvenilir olduğunu göstermiştir.

Comparison of Whole and Section Otolith Methods for Age Determination of Carp (*Cyprinus carpio*)

Article Info

Received: 10.06.2022
Accepted: 19.10.2022
Online April 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1129009

Keywords

Age determination,
Asteriscus,
Cyprinus carpio,
Otolith,
Section otolith

Abstract: This study aims to determine the reliability of age determination by comparing whole and section otoliths of *Cyprinus carpio* species living in Altinkaya Dam Lake (ADL) and Bafra Fish Lakes (BFL). Fish samples (117 individuals) were obtained between 2017-2018, and the total lengths of each fish were measured (± 0.1 cm) and their weights (± 0.01 g) were weighed. Ages were determined from the distal surfaces of all otoliths (asteriscus) and transversal sections were taken. Percent agreement, average percent error and coefficient of variation were calculated. In the population, total lengths ranged between 17.8-69.3 cm and weights ranged between 67.57-5412 g. The ages read in whole and section otoliths were determined as 2-6, 2-7 in ADL and 1-8, 0-7 in BFL, respectively. The section otolith method has the highest percentage agreement (75.43% and 71.67%, respectively), the lowest mean percent error (%3.89, %3.98) and coefficient of variation (5.11, 5.29) for ADL and BFL. For the age determination of *C. carpio* species in both areas, our results indicate that the age determination based on the section otolith method provides more reliable results than the whole otolith method.

Bu makale, birinci yazarın yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

1. Giriş

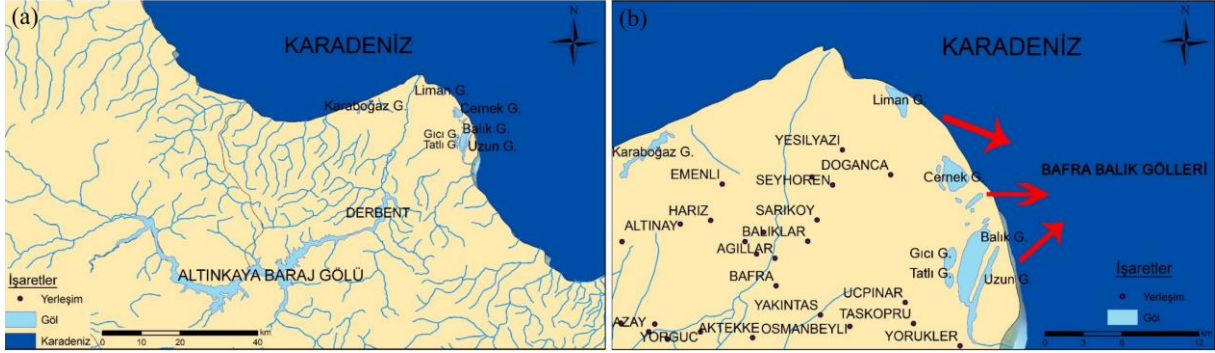
Dünyadaki en yaygın tatlı su balıklarından biri olan sazan balığı (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) 139 ülke ve adada yayılış gösteren ekonomik açıdan önem arz eden bir türdür (Froese & Pauly, 2016). Doğal veya taşındığı bölgelerde türün korunma ve balıkçılık durumu, istilacı olduğu alanlarda akvatik ekosistem üzerindeki zararlı etkileri nedeniyle, türün başarılı bir şekilde yönetimi için yaşa bağlı geçerli modeller gereklidir (Vilizzi, 2018). Balıkçılık yönetiminde yaş belirleme adımı en önemli hususlardandır (Hilborn & Walters, 2013). Hem tarihsel hem de coğrafik açıdan en çok incelenen tatlısu balık türlerinden biri olan sazan balığının yaşının belirlendiği çok sayıda çalışma mevcuttur (Vilizzi & Copp, 2017). Türün yaş tayininde pul, yüzgeç ışını, omur, otolit, operkül, suboperkül gibi bir çok kemiksi yapı değerlendirmeye alınmıştır (Yağcı ve ark., 2008; Yılmaz & Polat, 2008, Bolat & Yağcı, 2018). Asteriskuslar şekil itibariyle daha düzenlidir ve büyüme birikimleri yaş tayinine daha elverişlidirler. Ostariophysan balıklarda (sazan dahil), asteriskusların güvenilir halka sayımları için daha elverişli olduğu kanıtlanmıştır (Vilizzi, 2018). Literatür incelendiğinde sazan balıklarının yaşının belirlenmesinde pulların yaygın olarak kullanıldığı gözlenmiştir. Pulları operkül, otolit, dorsal diken, pektoral ve anal yüzgeç ışını izlemiştir (Vilizzi, 2018). Bu yapılardan biri olan otolitler; yaş tayini, büyüme parametrelerinin hesaplanması, popülasyon dinamikleri ve otolit morfometrisi gibi farklı çalışmalarda kullanılmaktadırlar (Tuset ve ark., 2008). Balıklarda yaş belirleme çalışmalarında ise otolitlere farklı yöntemlerle başvurulmaktadır. Kıрма-yakma, kesit alma, asitlendirme ve boyama gibi farklı tekniklerin otolitlere uygulanması, balık yaş verilerinin daha iyi açıklanabilmesi açısından önem taşımaktadır. Otolitten kesit alma tekniği, kıрма-yakma yöntemine göre daha çok tercih edilen bir uygulamadır. Bu teknik sayesinde yaş halkaları daha iyi gözlenerek, balığın yaşı ile ilgili değerlendirmeler daha sağlıklı bir şekilde yapılabilir (Metin & Kınacıgil, 2001). Sazan balığının yaşının tespitinde kemiksi yapılardan yüzeysel okuma tekniğinin yanı sıra kesit tekniğinin uygulandığı yaş çalışmaları da mevcuttur (Coulter ve ark., 2008; Hutchison ve ark., 2012). Çalışma alanında daha önceden türün yaş tayini ile ilgili araştırma mevcuttur (Yılmaz ve ark., 2012), ancak kesit alma tekniği kullanılmamıştır. Bu çalışmada Samsun ilindeki Altınkaya Baraj Gölü ve Bafra Balık Gölleri'nden elde edilen sazan balıklarının otolitlerine kesit alma tekniği ve yüzeyden okuma tekniği uygulanarak tür için uygun olan yaş belirleme yönteminin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Sazan balığı örnekleri Altınkaya Baraj Gölü (Şekil 1a) ve Bafra Balık Gölleri (Şekil 1b)'nde ticari amaçlı avcılık yapan balıkçılardan satın alınmıştır. Örnekleme gerçekleştirildiği tarihler; Altınkaya Baraj Gölü için Mart 2017-2018, Bafra Balık Gölleri için Eylül 2017-Ocak 2018'dir. Elde edilen balık örneklerinin total boyları ölçülmüş (± 0.1 cm) ve ağırlıkları (± 0.01 g) tartılmıştır. Sağ ve sol otolitler çiftler halinde çıkarılmış, %96'lık etil alkolde temizlenmiş ve sonrasında 103°C'lik etüvde 15 dakika bekletilerek kurutulmuştur (Chugunova, 1963). Her iki habitattaki sazan balıklarının otolitleri incelendiğinde sagittal otolitler, şekil itibariyle ince uzun ve kırılğan yapıya sahip olmaları nedeniyle yaş tayininde bu çalışmada kullanılmamışlardır. Lapilluslarda ise birikimin fazla olması nedeniyle halkalar net gözlenememiş ve çok sayıda vateritik otolit olduğu dikkati çekmiştir. Bu nedenle sagittal otolitler ve lapilluslar değerlendirmeye alınmamış yalnızca asteriskuslarda yaş verileri okunmuştur. Yaş tayinine hazır hale getirilmiş otolitlerin öncelikle distal yüzeylerinden yüzeysel yaş okumaları gerçekleştirilmiştir. Bu işlemlerin ardından bütün otolitlere kesit alma tekniği uygulanarak yaş tayinine hazır hale getirilmiştir.

Otolit kesitlerinin alınacağı blokların hazırlanmasında 100 g polyester (Stiren (100-42-5)), 2 damla katalizör (kobalt) ve 100 g polyester için %3 (3g) sertleştirici (Metil Etil Keton Peroxide) kullanılmıştır (Bedford, 1983). Elde edilen karışım bloklara dökülmüş, 35°C'lik etüvde 2 saat boyunca kurumaya bırakılmıştır. Yeterli sertliğin sağlandığı kalıplara otolitler yerleştirilmiş ve tekrar polyester karışımı ile kapatılmıştır. Kuruduktan sonra bloklar kalıplardan çıkarılmış ve her bir otolitin fokus noktaları Leica marka sterio mikroskop altında belirlenerek işaretlenmiştir. Buehler marka Isomet low-speed kesit alma cihazı kullanılarak otolitlerin merkezinden geçen önceden çizilmiş hat boyunca 0.5 mm genişlikte transversal kesitler alınmıştır. Otolitlerden kesit alma işlemi transversal düzlemde gerçekleştirilmiştir. Kesit alma işlemi takiben örnekler 400 μ , 800 μ ve 1200 μ zımpara kağıtları ile

sırasıyla zımparalanmıştır. Bütün bu işlemlerin ardından elde edilen kesitler entellan kullanılarak lam ve lamel arasında preparat haline getirilmiştir.



Şekil 1. a) Altınkaya Baraj Gölü b) Bafra Balık Gölleri.

Bütün ve kesit otolitlerde yaşlar, Leica DFC295 kameraya sahip Leica S8APO mikroskop yardımıyla bir okuyucu tarafından değişik zaman dilimlerinde 3 tekrarlı olacak şekilde belirlenmiştir. Bütün ve kesit otolit verilerinin karşılaştırılmasında kullanılan formüller yüzde uyum, ortalama yaş, ortalama yüzde hata ve değişim katsayısıdır.

Yüzde uyum, yaş okumaları arasındaki benzerlik oranının yüzde (%) cinsinden belirtilmesidir. Bu çalışmada 3 tekrarlı yaş okuması gerçekleştirilmiştir. Bu okumalar sonucunda 3/3, 2/3 ve 1/3 şeklinde üç okuma grubu oluşturulmuştur.

$$X_{kt} = \frac{\sum_i^n \sum_j^f X_{ijkt}}{nf} \quad (1)$$

Ortalama yaş formülünde, X_{kt} : Ortalama yaş, n: tekrar okuma sayısı, f: yaş tayini yapılan birey sayısı, X_{ijkt} : j balığı için i. okumada belirlenen yaşı ifade etmektedir (Baker & Timmons, 1991).

$$OYH_j = 100\% \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{|X_{ij} - X_j|}{X_j} \quad (2)$$

Ortalama yüzde hata denkleminde; OYH_j : j balığı için elde edilen ortalama yüzde hatanın, X_{ij} : j balığında i. yaş okumasının, X_j : j balığında ortalama yaşın, R: j balığında gerçekleştirilen tekrarlı okuma sayısının göstergesidir (Beamish & Fournier, 1981).

$$DK_j = 100\% \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R \frac{(X_{ij} - X_j)^2}{R-1}}}{X_j} \quad (3)$$

Formülde; DK_j : j balığının değişim katsayısını, X_{ij} : j balığında i. yaş okumasını, X_j : j balığı için ortalama yaşı, R: j balığı için gerçekleştirilen tekrar okuma sayısını ifade etmektedir (Chang, 1982).

Altınkaya Baraj Gölü ve Bafra Balık Gölleri'nden örneklenen *C. carpio* türünün yaş okumaları sonucunda; bütün otolit ve kesit otolitlerden elde edilen verilerin analizi sonucunda yüzde uyumun en yüksek, ortalama yüzde hata ve değişim katsayısının en düşük olduğu yöntem, yaş belirleme için güvenilir otolit yöntemi olarak belirlenmiştir.

3. Bulgular

Altınkaya Baraj Gölü'nden 60 birey, Bafra Balık Gölleri'nden 57 birey elde edilmiştir. Altınkaya Baraj Gölü *C. carpio* populasyonunun total boyları 36.40 cm ile 63.80 cm (ort±ss, 47.98±7.146) arasında, ağırlık değerleri ise 673.99 g ile 3937.94 g (ort±ss, 1778.10±749.30) arasında

değişiklik göstermiştir. Bafra Balık Gölleri'ndeki populasyon örneklerinin total boyları 17.80 cm ile 69.30 cm (ort±ss, 42.70±8.98), ağırlıkları ise 111.83 g ile 5412 g (ort±ss, 1167.35±844) arasında dağılmıştır.

Altınkaya Baraj Gölü (ABG) ve Bafra Balık Gölleri'nden (BBG) örneklenen *C. carpio* populasyonlarında, bütün otolit ve kesit otolit ile yapılan 3 tekrarlı yaş okuması sonucunda ABG'de bütün otolitlerde yaş aralıkları 2-6, kesit otolitlerde 2-7 şeklindedir. BBG'de ise yaşlar bütün otolitlerde 1-8, kesit otolitlerde 0-7 arasında değişmiştir. Otolit yöntemlerinde gözlenen yaş grupları ile her bir gruptaki örnek sayısı ve yüzdeleri Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Altınkaya Baraj Gölü ve Bafra Balık Gölleri'nde yaşayan *C. carpio* populasyonlarının yaş gruplarına göre birey sayıları (N) ve yüzdeleri

Lokalite	Yöntem	Yaş Grupları										Toplam
		0	1	2	3	4	5	6	7	8		
ABG	Bütün	N	-	-	3	17	29	8	3	-	-	60
		%	-	-	5	28.3	48.3	13.3	5	-	-	100
	Kesit	N	-	-	4	12	31	9	3	1	-	60
		%	-	-	6.7	20	51.6	15	5	1.7	-	100
BBG	Bütün	N	-	2	9	22	12	6	3	2	1	57
		%	-	3.5	15.8	38.6	21.1	8.8	5.3	3.5	1.8	100
	Kesit	N	1	1	9	20	15	2	7	2	-	57
		%	1.8	1.8	15.8	35.1	26.2	3.5	12.3	3.5	-	100

Bütün otolit ve kesit otolitlerden gerçekleştirilen üç tekrarlı okumanın sonucunda hesaplanan ortalama yaşlar Çizelge 2'de gösterilmiştir. Gerçekleştirilen okumalar sonucunda ortalama yaşların değişim aralığı; Altınkaya Baraj Gölü'nde 0.12 yıl, Bafra Balık Gölleri'nde ise 0.02 yıl olarak hesaplanmıştır. En yüksek ortalama yaşlar, Altınkaya Baraj Gölü'nde de, Bafra Balık Gölleri'nde de kesit otolitlerde gözlenmiştir.

Çizelge 2. Otolit yöntemlerinde lokalitelere göre elde edilen ortalama yaşlar ve standart hataları

Lokalite	Yöntem	N	Ortalama Yaş	Standart Hata
ABG	Bütün	60	3.85	± 0.116
	Kesit	60	3.97	± 0.128
BBG	Bütün	57	3.58	± 0.192
	Kesit	57	3.60	± 0.194

Yüzde uyum değerleri her iki lokalitede de bütün ve kesit otolitler için ayrı ayrı hesaplanmıştır (Çizelge 3). Yüzde uyum değerleri incelendiğinde; en yüksek yüzde uyum Bafra Balık Gölleri örneğinde %75.45 ile kesit otolitte, Altınkaya Baraj Gölü örneğinde %71.67 ile yine kesit otolitte belirlenmiştir.

Çizelge 3. Bütün otolit ve kesit otolitlerin Altinkaya Baraj Gölü (ABG) ve Bafra Balık Gölleri (BBG) için yüzde uyum değerleri (% N) ve birey sayıları (N)

Lokalite	Metot		Uyum Grupları			Toplam
			3/3	3/2	3/1	
ABG	Bütün	%N	60.00	35.00	5.00	100
		N	36	21	3	60
	Kesit	%N	71.67	25.00	3.33	100
		N	43	15	2	60
BBG	Bütün	%N	57.89	36.84	5.26	100
		N	33	21	3	57
	Kesit	%N	75.43	22.81	1.76	100
		N	43	13	1	57

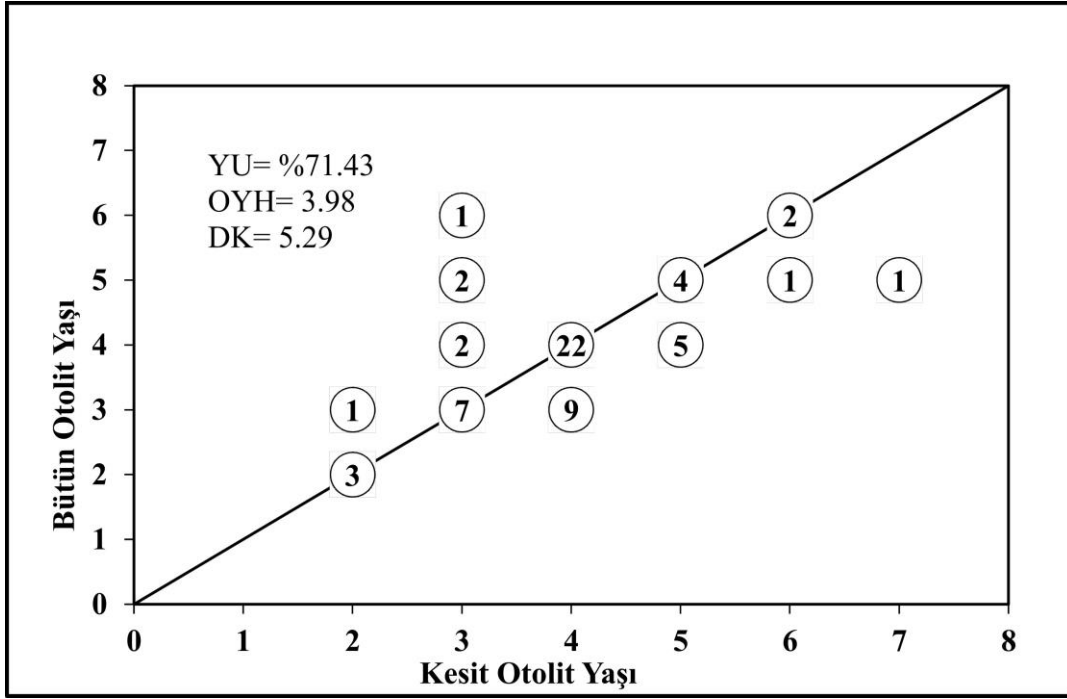
Ortalama yüzde hata (OYH) ve değişim katsayısı değerleri (DK) bütün otolit ve kesit otolit yöntemleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır (Çizelge 4).

Çizelge 4. Kemiksi oluşumlarda OYH ve DK değerleri

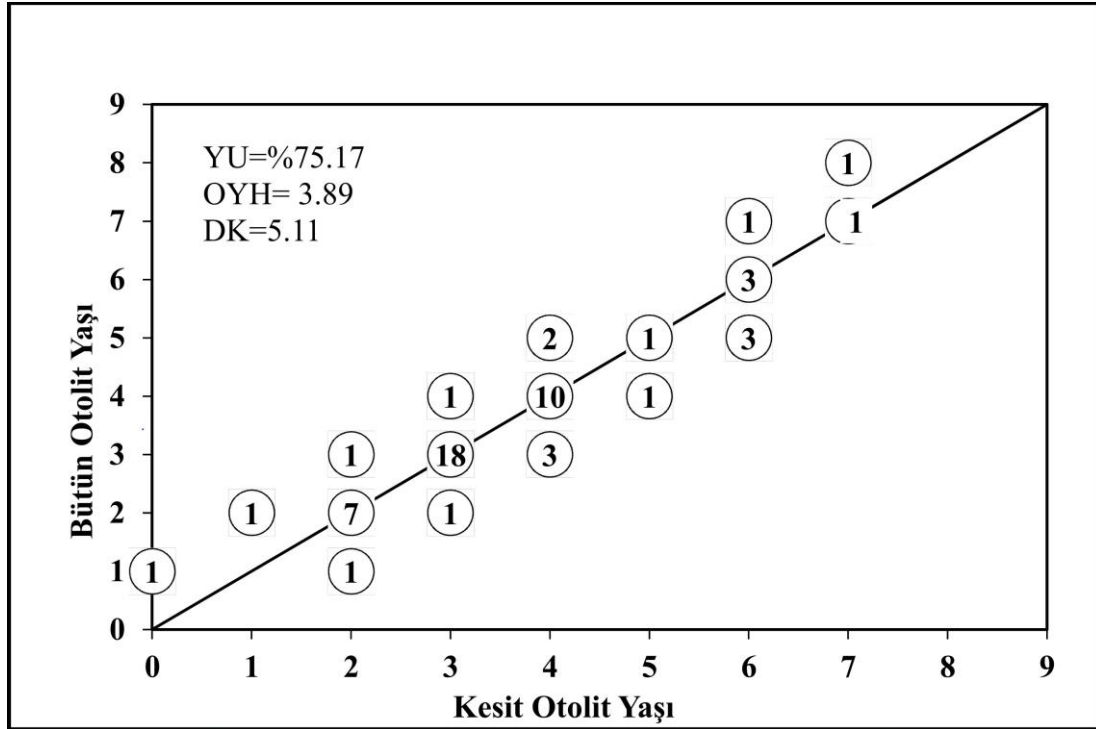
Lokalite	Otolit Yöntemi	N	(OYH±SH)	(DK±SH)
ABG	Bütün	60	5.36±1.06	7.07±1.39
	Kesit	60	3.98±0.82	5.29±1.11
BBG	Bütün	57	5.60±1.02	7.43±1.36
	Kesit	57	3.89±0.93	5.11±1.22

Çizelge 4'ten görüldüğü üzere, en düşük OYH (3.98, 3.89) ve DK değerleri (5.29, 5.11) Altinkaya Baraj Gölü ve Bafra Balık Gölleri'nde kesit otolit yönteminde elde edilmiştir. Bunun sonucunda otolit kesitindeki tekrarlı okumaların bütün otolite göre daha tutarlı olduğunu ifade edebiliriz. Ayrıca her bir otolit yönteminin tekrarlı okumaları arasında farklılıklar ve her bir yöntemde farklı oranlarda hatalar tespit edilmiştir.

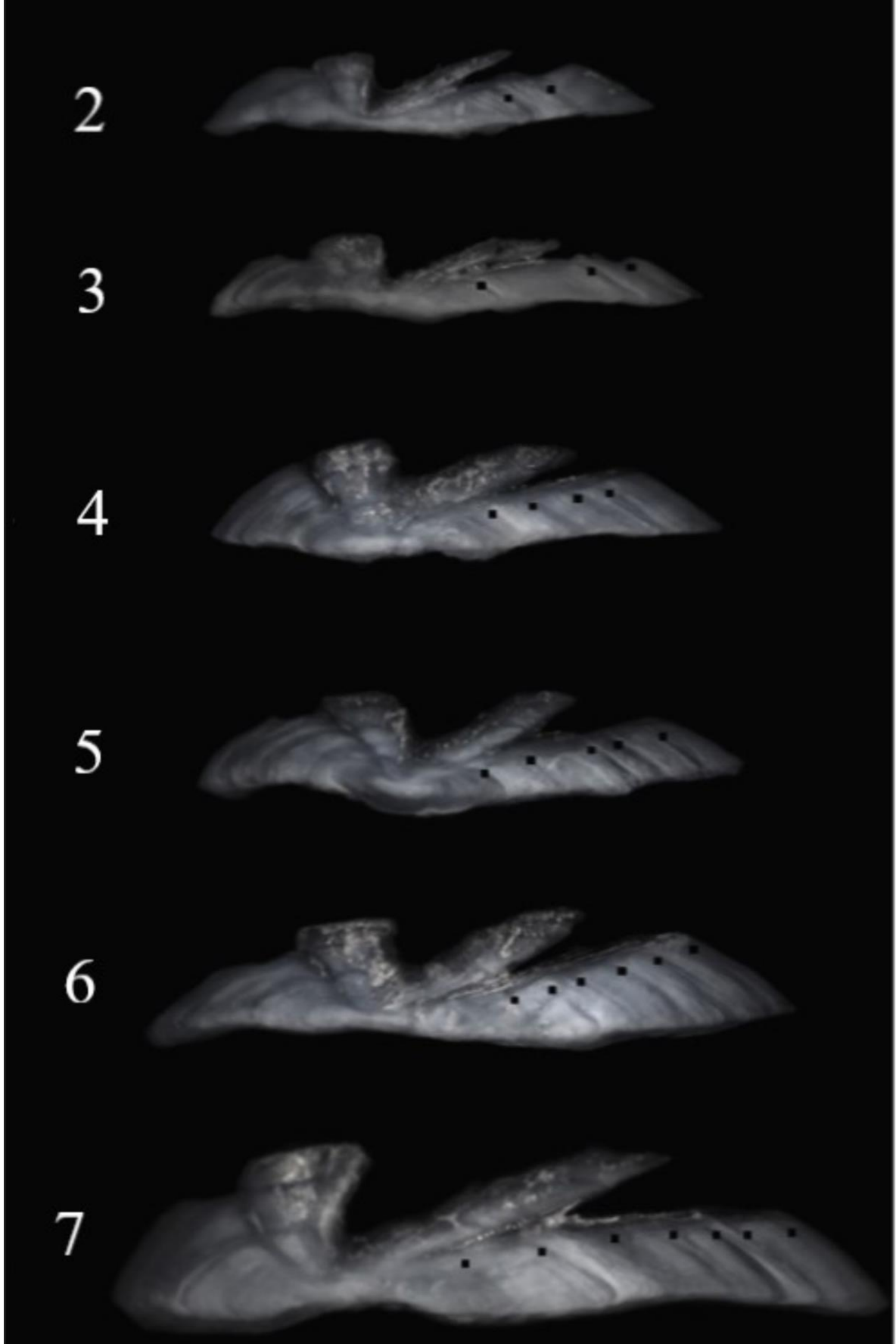
Şekil 2 ve 3'te *C. carpio* türünün Altinkaya Baraj Gölü ve Bafra Balık Gölleri popülasyonları için kesiti alınmış otolitlerin yaşları ile bütün otolitlerden elde edilen yaşlar karşılaştırılmıştır. Şekil 4 ve Şekil 5'te ise otolit kesitlerindeki yaş halkaları gösterilmektedir.



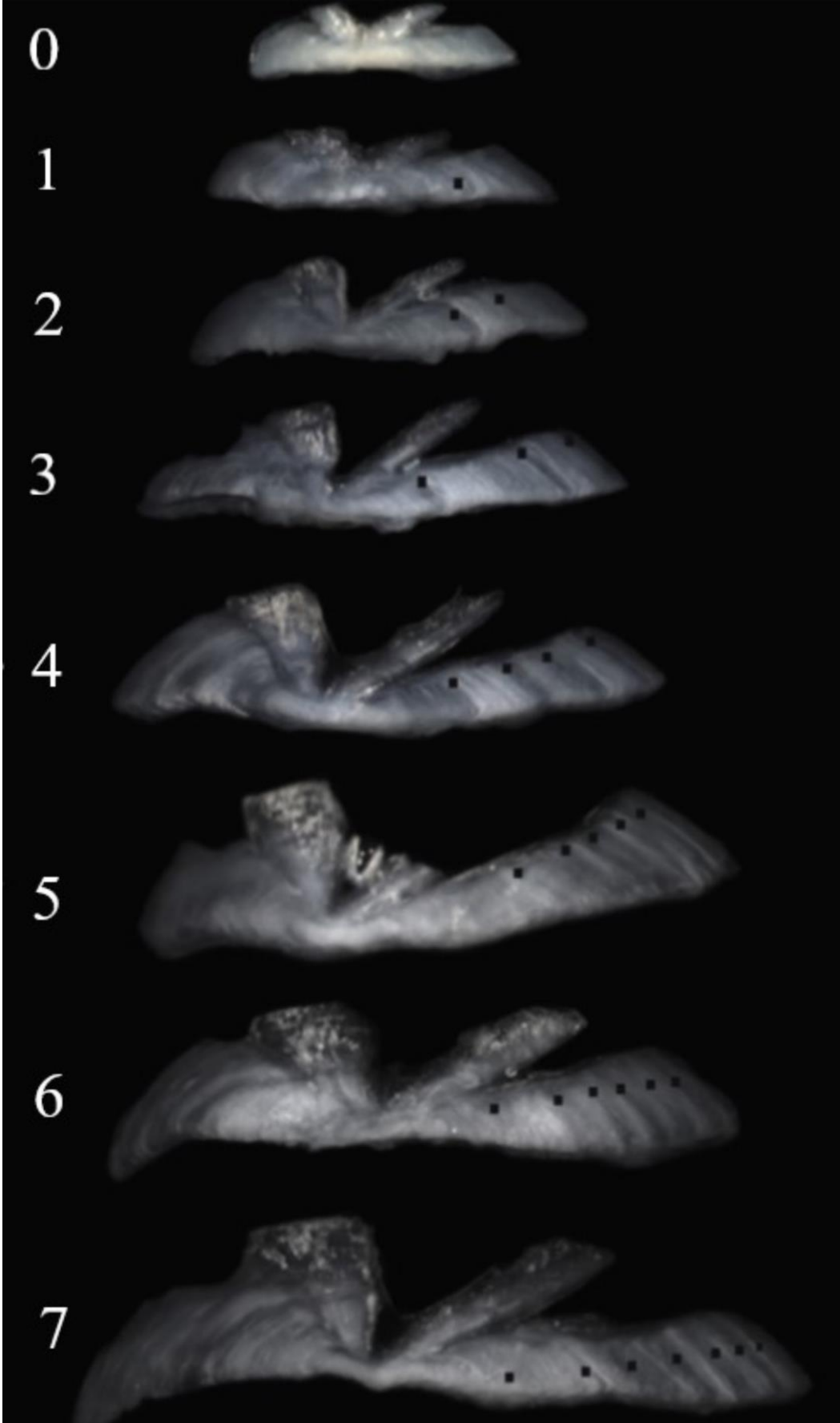
Şekil 2. Altınkaya Baraj Gölü bütün otolit ve kesit otolit yaşlarının karşılaştırılması.



Şekil 3. Bafra Balık Gölleri bütün otolit ve kesit otolit yaşlarının karşılaştırılması.



Şekil 4. Altinkaya Baraj Gölü örneklerinin otolit kesitlerinde yaş halkalarının görünümü (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7: okunan yaş halkaları sayısı).



Şekil 5. Bafra Balık Gölleri örneklerinin otolit kesitlerinde yaş halkalarının görünümü (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7: okunan yaş halkaları sayısı)

4. Tartışma ve Sonuç

Yapılan analizler neticesinde hesaplanan yüzde uyum, ortalama yüzde hata ve değişim katsayısı verileri beraber değerlendirmeye alındığında; Altinkaya Baraj Gölü ve Bafra Balık Gölleri'nde yüzde uyumun en yüksek, ortalama yüzde hata ve değişim katsayısının en düşük olduğu yapının kesit otolitler olduğu belirlenmiştir. Bu bilgiler dahilinde, örneklerin temin edildiği iki lokalitedeki *C. carpio* türünün yaşının belirlenmesinde bütün otolitlerde yüzeysel yaş okumanın yerine kesiti alınmış otolitlerden yaş okumanın daha güvenilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Cyprinus carpio türünde yaş tayini ve büyüme özellikleri konusunda ülkemizde ve dünyada çok sayıda çalışma mevcuttur (Aydın ve ark., 2009; Saylar & Benzer, 2014; Vilizzi, 2018; Maitland ve ark., 2022). Bu çalışma, Altinkaya Baraj Gölü ve Bafra Balık Gölleri'ndeki sazan balığının yaş tayininde bütün otolit ve kesit otolit yöntemlerinin karşılaştırıldığı ilk çalışma niteliği taşımaktadır. Brown ve ark. (2004), Winker ve ark. (2010), Bolat & Yağcı (2018), Arslan & Yazıcı (2020), *C. carpio* bireylerinde yaş tespitinde asteriskusun daha güvenilir olduklarını bildirmişlerdir.

Sazan balığının yaş tayininde en yaygın olarak kullanılan yapı pullardır, bunu sırasıyla operkül, otolit, dorsal diken, omur ve yüzgeç ışını takip etmektedir (Vilizzi, 2018). Aydın ve ark. (2009), aynalı sazan otolitlerinde kırma-yakma yöntemini uygulamıştır. Araştırmacılar bütün otolit yaşları ile kırılıp-yakılan otolit yaşlarını tespit edip, aralarındaki benzerlikler ve farklılıkları karşılaştırmışlardır. Otolitler kırılıp yakıldıktan sonra yaş halkaları %77.25'lik bir oranla çok net gözükürken, aynı görünme netliği bütün otolitler için %20.36 olarak tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışma ile otolitlerin kırılıp-yakılması ile yaş halkalarının daha net ve kolay okunduğunu, yaş tayini hata payının da daha düşük olması nedeniyle kırma-yakma yönteminin aynalı sazan için daha uygun bir yöntem olduğunu bildirmişlerdir. Hutchison ve ark. (2012), sazan yaşını doğrulama çalışmaları yapmışlardır; bu çalışmalarda otolit kesit yöntemini kullanmışlardır. Bütün otolit okumalarıyla kesit otolit okumaları arasında tutarlılık olduğunu ifade etmişlerdir. Yates ve ark. (2016), ise sazan balıklarının yaşının belirlenmesinde otolit ve dorsal yüzgeç ışını kesitlerini karşılaştırmışlar ve dorsal yüzgeç ışını kesitlerinin daha güvenilir olduğunu bildirmişlerdir. Altinkaya Baraj Gölü ve Bafra Balık Gölleri'ndeki sazan balıklarının da yaşının belirlenmesinde kesit tekniği daha güvenilir sonuçlar vermiştir. Bütün otolit ile kesit otolitlerin ortalama yaşlarının birbirine yakın çıkması okuma kriterlerinin benzer olduğuna işaret etmektedir. Bütün otolit ve kesit otolit yönteminin ortalama yaşları arasında ABG için 0.12, BBG için 0.02 yıl farkın olması iki yöntemin de uygunluğuna işaret etmektedir. Yaş belirlemede uygun yöntemin tespitinde dikkate alınan YU, OYH ve DK değerleri incelendiğinde her üç kriter de ABG ve BBG için kesit otolitin daha güvenilir yaş verileri sunduğunu ortaya koymuştur. Kesit otolit okumalarının yüzde uyumu ABG ve BBG popülasyonunda sırasıyla %71.67, %75.43 iken, bu oran bütün otolitlerde sırasıyla %60.00, %57.89 olarak hesaplanmıştır. OYH ve DK sonuçları iki lokalitede, kesit otolitler için düşük, bütün otolitler için daha yüksektir. Yapılan analizler sonucunda iki örneklem için güvenilir yaş tayini yönteminin otolitten kesit alma tekniği olduğu sonucuna varılmıştır. Brown ve ark. (2004), sazan balıklarında yaş doğrulama için oksitetrasiklin (OTC) tekniğini kullanarak örnekleri markalamışlardır. Markalanan balıkların 19 tanesini geri yakalamışlar ve otolitlerinden kesit alarak yaşlarını okumuşlardır. Gerçek yaşlar ile kesiti alınan otolitlerden okunan yaşlar yüksek uyumluluk göstermiş ve sazanlar için kesit otolit yönteminin yaş belirlemede en uygun yöntem olduğunu tespit etmişlerdir. Bajer ve ark. (2009), sazan balığının asteriskuslarından almış oldukları kesit otolitlerde iki okuyucu tarafından elde edilen okumaları karşılaştırdığında %79 uyum elde etmişlerdir. Elde edilen sonuçlar bu çalışma ile uyumludur. Winker ve ark. (2010), sazan balıklarının yaş tayininde asteriskusların kullanılmasını önermiştir. Bolat & Yağcı (2018), sazan balıklarının yaşlarını pul, omur ve otolitlerden belirlemiş ve yaşlar arasında en yüksek yüzde uyumun asteriskuslarda (%10.67) olduğunu bildirmişlerdir. Arslan & Yazıcı (2020), sazan balığının yaş tayininde 6 farklı kalsifiye yapı değerlendirmişlerdir ve en yüksek yüzde uyum (%76.8), en düşük ortalama yüzde hata (2.79) ve değişim katsayısı (3.94) değerlerini asteriskusta belirlemişlerdir. Elde edilen çalışma sonuçları asteriskusların sazan balıklarının yaş tayininde kullanılabileceğini göstermektedir.

Bütün otolit ve kesit otolitlerden 3 tekrarlı okumalar sonucunda farklı yaş grupları elde edilmiştir. Bütün otolitte ABG için 6, BBG için 8 yaş sınıfı gözlenirken, kesit otolitte ABG ve BBG'de 7 yaş sınıfı gözlenmiştir. İki farklı yöntemde değişik yaş gruplarının görüldüğü çalışmalar mevcuttur (Hutchison ve ark., 2012). Ayrıca farklı kemiksi yapılarda değişik yaş sınıflarının görüldüğü birçok

araştırma mevcuttur (Yılmaz ve ark., 2011; Saylar & Benzer, 2014; Yates ve ark., 2016, Yüce ve ark., 2016).

Sonuç olarak sazan balığının yaşının belirlenmesinde kesit otolitlerin bütün otolitlere göre daha güvenilir veriler sunduğunu söylemek mümkündür. Sazan balıklarının otolitlerinden yaş tayini gerçekleştirilen çalışmalar değerlendirildiğinde kesit otolit yaş tayininde tercih edilebileceği farklı araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir. Bu çalışmalarda kesit tekniğinin uygulandığı yapı yaygın olarak asteriskuslardır ve yaş büyüme çalışmalarının çoğunda bu yönteme başvurulmaktadır (Bajer ve ark., 2009; Colvin ve ark., 2012; Amouei ve ark., 2013; Yates ve ark., 2016). Gerçekleştirilen çalışmaların sonuçları ile bu çalışma sonuçları da birbiri ile uyumludur.

Balıkların yaş tayini için, tek bir kemiksi yapının kullanılmasından ziyade, farklı kemiksi yapılara, gerektiği durumlarda da aynı kemiksi yapının farklı hazırlanma şekillerine başvurulmalıdır. Bu şekilde güvenilir kemiksi yapı saptanarak elde edilecek yaşlarla daha doğru sonuçlar belirlenecektir. Gerek balık biyolojisinde gerekse popülasyon dinamiğinde daha güvenilir veriler elde edilmiş olacaktır. Sazan balığının iki farklı lokalitede yaş tayini için güvenilir otolit yaş okuma yöntemlerinin karşılaştırıldığı bu çalışma, bu tür ile yapılacak araştırmalara katkı sağlayacaktır.

Kaynakça

- Amouei, F., Valinassab, T., & Haitov, A. (2013). Age determination and morphological study using otoliths in *Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758 in the Southern Caspian Sea. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 12(4), 759-769. doi:10.22092/ijfs.2018.114316
- Arslan, Z., & Yazıcı, R. (2020). Sazan Balığı (*Cyprinus carpio*, L., 1758)'nın yaş tayininde 6 farklı kalsifiye yapının değerlendirilmesi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 10(2), 466-478. doi:10.31466/kfbd.815021
- Aydın, R., Pala, M., Yüksel, F., & Sen, D. (2009). Aynalı sazan (*Cyprinus carpio* L., 1758) otolitlerinde kırma-yakma yöntemiyle yaş tayini. *Journal of Fisheries Sciences.com*, 3(1), 51-57.
- Bajer, P. G., Sullivan, G., & Sorensen, P. W. (2009). Effects of a rapidly increasing population of common carp on vegetative cover and waterfowl in a recently restored Midwestern shallow lake. *Hydrobiologia*, 632, 235-245. doi:10.1007/s10750-009-9844-3
- Baker, T. T., & Timmons, L. S. (1991). Precision of ages estimated from five bony structures of Arctic char (*Salvelinus alpinus*) from the Wood River System, Alaska. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 48(6), 1007-1014. doi:10.1139/f91-118
- Beamish, R. J., & Fournier, D. A. (1981). A method for comparing the precision of a set of age determinations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38(8), 982-983. doi:10.1139/f81-132
- Bedford, B. C. (1983). A method for preparing sections of large numbers of otoliths embedded in black polyester resin. *ICES Journal of Marine Science*, 41(1), 4-12. doi:10.1093/icesjms/41.1.4
- Bolat, Y., & Yağcı, A. (2018). A comparative study on age determination of carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) in Lake Eğirdir using otolith, vertebrae and scale counts. *Journal of Agricultural Sciences*, 24(2), 199-204. doi:10.15832/ankutbd.446437
- Brown, P., Green, C., Sivakumaran, K. P., Stoessel, D., & Giles, A. (2004). Validating otolith annuli for annual age determination of common carp. *Transactions of the American Fisheries Society*, 133(1), 190-196. doi:10.1577/T02-148
- Chang, W. Y. (1982). A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 39(8), 1208-1210. doi:10.1139/f82-158
- Chugunova, L. P. (1963). *Age and Growth Studies in Fish*. Washington, USA: National Science Foundation.
- Colvin, M. E., Pierce, C. L., & Beck, L. (2012). *Age structure and growth of invasive common carp populations in the Malheur National Wildlife Refuge*. USA.
- Coulter, D. P., Jolley, J. C., Edwards, K. R., & Willis, D. W. (2008). Common carp (*Cyprinus carpio*) population characteristics and recruitment in two Nebraska sandhill lakes. *Transactions of the Nebraska Academy of Sciences*, 31, 35-41.
- Froese, R. & Pauly, D. (2016). FishBase.WorldWideWeb electronic publication. www.fishbase.org. Erişim tarihi: 22.05.2022.

- Hilborn, R., & Walters, C. J. (2013). *Quantitative Fisheries Stock Assessment: Choice, Dynamics and Uncertainty*. New York, USA: Chapman & Hall.
- Hutchison, M., McLennan, M., Chilcott, K., Norris, A., & Stewart, D. (2012). *Validating the Age of Carp from the Northern Murray-Darling Basin*. Canberra, Australia: PestSmart Toolkit publication, Invasive Animals Cooperative Research Centre.
- Maitland, D. M., Baker, J., Chambers, G., Ross, N. W., & Colombo, S. M. (2022). Population growth dynamics and their implications for fish welfare in mixed-size cohorts of *Cyprinus carpio* var koi grown in a commercial-scale aquaponics system. *Aquaculture International*, 30, 187-210. doi:10.1007/s10499-021-00792-5
- Metin, G., & Kınacıgil, H. T. (2001). Otolitten yaş tayininde kesit alma tekniği. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 18(1-2), 271-277.
- Saylar, O., & Benzer, S. (2014). Age and growth characteristics of carp (*Cyprinus carpio* L. 1758) in Mogan Lake Ankara Turkey. *Pakistan Journal of Zoology*, 46(5), 1447-1453.
- Tuset, V. M., Lombarte, A., & Assis, C. A. (2008). Otolith atlas for the western Mediterranean, north and central eastern Atlantic. *Scientia Marina*, 72, 7-198. doi:10.3989/scimar.2008.72s17
- Vilizzi, L., & Copp, G. H. (2017). Global patterns and clines in the growth of common carp *Cyprinus carpio*. *Journal of Fish Biology*, 91(1), 3-40. doi:10.1111/jfb.13346
- Vilizzi, L. (2018). Age determination in common carp *Cyprinus carpio*: History, relative utility of ageing structures, precision and accuracy. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 28, 461-484. doi:10.1007/s11160-018-9514-5
- Winker, H., Weyl, O. L. F., Booth, A. J., & Ellender, B. R. (2010). Validating and corroborating the deposition of two annual growth zones in asteriscus otoliths of common carp *Cyprinus carpio* from South Africa's largest impoundment. *Journal of Fish Biology*, 77(10), 2210-2228. doi:10.1111/j.1095-8649.2010.02797
- Yağcı, M. A., Alp, A., Yeğen, V., Uysal, R., Yağcı, A., & Ceylan, M. (2008). Işıklı Gölü'ndeki (Çivril-Denizli) sazan popülasyonu (*Cyprinus carpio* L., 1758)'nun büyüme özellikleri. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 25(4), 337-341.
- Yates, J. R., Watkins, C. J., & Quist, M. C. (2016). Evaluation of hard structures used to estimate age of common carp. *Northwest Science*, 90(2), 195-205. doi:10.3955/046.090.0210
- Yılmaz, S., & Polat, N. (2008). *Cyprinus carpio* L., 1758 (Sazan)'nın yaş tayini için farklı kemiksi yapıların değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi (e-dergi)*, 3(2), 149-161.
- Yılmaz, S., Suiçmez, M., & Şehirli, T. (2011). Almus Baraj Gölü (Tokat, Türkiye)'ndeki *Chondrostoma regium* (Heckel, 1843)'un dört kemiksi yapısından belirlenen yaşların uyumu. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 24-34.
- Yılmaz, S., Yazıcıoğlu, O., & Polat, N. (2012). Bafra Balık Gölleri (Samsun, Türkiye)'ndeki sazan (*Cyprinus carpio* L., 1758)'ın yaş ve büyüme özellikleri. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 3(2), 1-12.
- Yüce, S., Gündüz, F., Demirel, F., Çelik, B., Alpaslan, K., Çoban, M., Aydın, R., & Şen, D. (2016). Atatürk Baraj Gölü'nde yaşayan aynalı sazan (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758)'ın bazı popülasyon parametreleri. *Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research*, 2(1), 31-42. doi:10.17216/LimnoFish-5000149481



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Astragalus Gummifer (Günizer)'in Toprak Üstü Kısımlarının Liyofilize Su Ekstresi Antioksidan Aktivitesi

Hatice KIZILTAŞ*

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, 65090, Van, Türkiye

Hatice KIZILTAŞ, ORCID No: 0000-0002-0833-3358

*Sorumlu yazar e-posta: haticekiziltas@yyu.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 24.04.2022
Kabul: 20.10.2022
Online Nisan 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1107954

Anahtar Kelimeler

Antioksidan aktivite,
Astragalus gummifer,
İndirgeme gücü,
Radikal giderme,
Total fenol,
Total flavonoid

Öz: Araştırmalar, koroner kalp hastalığı ve kanser gibi yaşa bağlı hastalıklar ile meyve ve sebze tüketimi arasında ters bir korelasyon olduğunu göstermiştir. Bitkilerden elde edilen doğal antioksidanların olası sağlık yararları dikkat çekmekte ve bunlarla ilgili araştırmalar artmaktadır. Fabaceae familyasının en büyük cinsi *Astragalus* L.'dir ve Türkiye florasında 224 endemik türünün varlığı tespit edilmiştir. *Astragalus* türleri Türkiye'nin birçok bölgesinde yetişen ve geleneksel tıpta kullanılan bitkiler olduğu için bu türlerin biyolojik aktivitelerinin değerlendirilmesi bilimsel açıdan önem taşımaktadır. Bu çalışmada *Astragalus gummifer*'in antioksidan özellikleri araştırıldı. Toprak üstü kısımlarından elde edilen liyofilize su ekstresinin antioksidan kapasitesi ferrik iyonlar (Fe^{3+}) indirgeme, KUPRAK, FRAP, DPPH* ve ABTS⁺⁺ giderici antioksidan yöntemleri ile değerlendirildi. *Astragalus gummifer*'in ABTS⁺⁺ giderme aktivitesi ölçüldü ve IC₅₀ değeri 10.04 µg/mL olarak bulundu. Sonuçlar *Astragalus gummifer*'in ABTS⁺⁺ giderme aktivitesinin α-tokoferole (8.058 µg/mL) yakın olduğunu gösterdi. Bu araştırma, *Astragalus gummifer*'in konu olacağı daha ileri fitokimyasal araştırmaları için bir temel oluşturmaktadır.

Antioxidant Activity of Lyophilized Water Extract of Aerial Parts of *Astragalus Gummifer* (Günizer)

Article Info

Received: 24.04.2022
Accepted: 20.10.2022
Online April 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1107954

Keywords

Antioxidant activity,
Astragalus gummifer,
Radical scavenging,
Reducing power,
Total flavonoid,
Total phenol

Abstract: Studies have shown an inverse correlation between age-related illnesses such as coronary heart disease and cancer, and fruit and vegetable consumption. Given the possible health benefits of natural antioxidants from plants, the research on the subjects has increased. 224 endemic species of *Astragalus* L., the largest genus of the Fabaceae family, were identified in the flora of Turkey. Since *Astragalus* species are plants grown in many regions of Turkey and used in traditional medicine, it is scientifically important to evaluate the biological activities of these species. In this study, we investigated the antioxidant properties of *Astragalus gummifer*. The antioxidant capacity of the lyophilized water extract obtained from the aerial parts was evaluated by ferric ions (Fe^{3+}) reduction, KUPRAK, FRAP, DPPH* and ABTS⁺⁺ scavenging antioxidant methods. ABTS⁺⁺ scavenging activity of *Astragalus gummifer* was measured and IC₅₀ value was found to be 10.04 µg/mL. The results showed that ABTS⁺⁺ scavenging activity of *Astragalus gummifer* is close to α-tocopherol (8.058 µg/mL). This research provides a basis for further phytochemical studies on *Astragalus gummifer*.

1. Giriş

Fabaceae, çiçekli bitkiler ailesinin bir üyesidir ve 269 cins ve 5100 tür içerir (Mabberley, 1997). *Astragalus* L., Fabaceae familyasında yer alan en büyük cinstir ve başta Avrupa, Asya ve Kuzey Amerika gibi ılıman bölgelerde yayılış gösterir. *Astragalus* cinsine ait yaklaşık 2000 tür tanımlanmıştır ve Türkiye florasında 380 türün bulunduğu tespit edilmiştir (Gülcemal ve ark., 2011; Horo ve ark., 2012). *Astragalus* L.'nin Türkiye florasında bulunan 224 türünün ise endemik olduğu belirlenmiştir (Horo ve ark., 2012). Son yıllarda doğal ilaçlar ve bitki çayları gibi bitkisel ürünlerin artması, botanik kaynaklara olan ilginin artmasına neden olmuştur. *Astragalus* türlerinin tedavi amaçlı kullanımının 2000 yıl öncesine kadar dayandığı bilinmekte olup, başta antikanser, antiviral ve bağışıklık sistemini destekleyici özellikler gibi çeşitli tıbbi etkilerini inceleyen birçok yayın bulunmaktadır (Butkute ve ark., 2018). *Astragalus* türlerinin popüler olarak kullanılmasına yol açan bu farmakolojik aktivitelere polisakkaritler, saponinler ve fenolikler adı verilen üç grup kimyasal bileşiğin neden olduğu belirlenmiştir (Ríos & Waterman, 1997; Aslanipour ve ark., 2017). *Astragalus gummifer* (*A. gummifer*) batı Asya'ya ait yerel bir ağaçtır (Kora & Arunachalam, 2012). Eski tıp kitaplarında solunum yolu hastalıklarına etkisi olduğu yazılıdır. Ayrıca bazı modern farmakolojik çalışmalar yapılmış ve *A. gummifer*'in antienflamatuar, pulmoner epitel hasarı üzerinde koruyucu etkileri ve immünomodülatör özellikleri olduğu tespit edilmiştir (Bagheri ve ark., 2015). *Astragalus* türleri, tedavi ve beslenme ihtiyaçlarının yanı sıra kitle sakızı elde etmek için dünya çapında sıklıkla kullanılmaktadır (Amiri ve ark., 2020). *A. gummifer* kitle sakızının elde edildiği birkaç *Astragalus* türünden biridir (Karimi ve ark., 2016). Antioksidanlar hayati önem taşıyan parçacıklardır (Huo ve ark., 2011). Serbest radikalleri, zincir reaksiyonlarını durdurmak için süpürebilir veya ilk oluşturdukları yerde inhibe edebilirler (Huang ve ark., 2005). Antioksidanlarca zengin gıdaların, insan vücudunu serbest radikal kaynaklı oksidatif stresin zararlarına karşı koruduğu belirlenmiştir. Böylece antioksidanların birçok hastalığın önlenmesinde oldukça etkili olduğu ortaya çıkmıştır (Gulcin, 2020).

Bu çalışma ile geleneksel tıpta çok eski zamanlardan bu yana tedavi amaçlı olarak kullanılmakta olan *Astragalus gummifer*'in ilaç potansiyelinin belirlenmesi hakkında önemli bilgiler elde edilmesi ve türe ait sekonder bileşiklerin izolasyonuna yönelik çalışmalara temel oluşturulması amaçlanmaktadır. Bu amaçla *Astragalus gummifer*'in toprak üstü kısmı liyofilize su ekstresinin (AGSE) fitokimyasal biyoaktivitesi; Fe³⁺-TPTZ indirgeme kapasitesi (FRAP), ferrik iyonlar (Fe³⁺) indirgeme, bakır iyonları (Cu²⁺) indirgeme kapasitesi (KUPRAK), DPPH ve ABTS radikal giderme yöntemi olmak üzere 5 farklı *in vitro* antioksidan kapasite testi ile ilk defa araştırıldı, yanı sıra toplam fenol ve flavonoid içerikleri belirlendi.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Kimyasal maddeler

Antioksidan testleri için gereken α -tokoferol, neokuprin (2,9-dimetil-1,10-fenantirolin), bütillenmiş hidroksitoluen (BHT), 1,1-difenil-2-pikril-hidrazil (DPPH), askorbik asit, 2,2-azino-bis(3-etilbenzotiazolin-6-sulfonik asit (ABTS), 3-(2-pyridyl)-5,6-bis (4-phenyl-sulfonic acid)-1,2,4-triazin (Ferrozin) ve trikloroasetik asit (TCA) ve α -tokoferol Sigma-Aldrich GmbH'dan sağlandı. Amonyum tiyosiyanat ve diğer tüm kimyasallar Sigma-Aldrich or Merck Millipore'dan sağlandı.

2.2. Bitkisel materyal

Astragalus gummifer (Günizer) Temmuz 2019'da Bitlis ilinde toplandı (Lokasyon: 38°40'63.13"N 42°10'05.64"E; Herbarium kodu: MP17045). Bitkinin tür teşhisi Dr. Süleyman Mesut PINAR (Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü) tarafından yapılmıştır. Bitki örnekleri aynı kurumun herbariumunda saklanmaktadır.

2.2.1. Liyofilize su ekstresi

Bitkiye ait su ekstresini hazırlamak için, *A. gummifer*'in gölgede kurutulmuş toprak üstü kısımlarından 25 g alındı ve bir öğütücüde toz haline getirildi. Manyetik bir karıştırıcıda 15 dakika

boyunca 400 ml distile su ile kaynatıldıktan sonra bir liyofilizatörde (Labconco, Freezone 1L) -50°C'de 5 mm-Hg basınç ayarında liyofilize edildi. Kullanılincaya kadar -20° C'de saklandı (Gulcin ve ark., 2008).

2.3. Radikal giderme metotları

2.3.1. DPPH radikali giderme aktivitesi

DPPH radikal giderme aktivitesini belirlemek için Blois metodu uygulandı (Blois, 1958). Ekstre ve standart antioksidanların konsantrasyonu (10-30 µg/mL) olacak şekilde pipetlendi ve üzerlerine 1 mL DPPH' (0.1 mM) ilave edildi. 30 dakikalık inkübasyondan sonra 517 nm'de absorbans ölçümü yapıldı. Sonunda, tüm numunelerin IC₅₀ değerleri hesaplandı (Blois, 1958; Taslimi ve ark., 2020).

2.3.2. ABTS radikali giderme aktivitesi

ABTS^{•+} giderme aktivitesini belirlemek için daha önceki çalışmalarda kullanılan yöntemler kullanıldı (Bingol & Bursal, 2018; Alhafez ve ark., 2022). İlk olarak, ABTS radikalleri üretmek için 2 mM ABTS çözeltisine 2.45 mM persülfat ilave edildi. ABTS^{•+} radikal çözeltisinin absorbansı, fosfat tamponu (M: 0.1 ve pH: 7.4) ile 734 nm'de 0.750 ± 0.025 nm'ye ayarlandı. Daha sonra 1 mL ABTS^{•+} çözeltisi farklı konsantrasyonlardaki ekstre ve standart antioksidanlara (10-30 µg/mL) ilave edildi ve 30 dakika inkübasyondan sonra absorbanslar 734 nm'de kaydedildi (Kose & Gulcin, 2021).

2.4. İndirgeme testleri

2.4.1. Fe³⁺-Fe²⁺ indirgeme testi

Demir indirgeme aktivitesi tayini daha önceki bir metodun hafif modifiye edilmesiyle gerçekleştirildi (Oyaizu, 1986). Öncelikle konsantrasyonu 1 mg/mL olacak şekilde numuneler için stok çözeltiler hazırlandı. Bu stok çözeltilerden farklı konsantrasyonda numuneler cam tüplere mikro pipet yardımıyla aktarıldı. Hacim distile su ile 1 mL'ye tamamlandı. Ardından tüm tüplere 0.2 M'lık 2.5 mL (pH: 6.6) fosfat tamponu ve %1'lik 2.5 mL K₃Fe(CN)₆ ilave edilerek karışım 50 °C'de 20 dk inkübe edildi. Daha sonra tepkime ortamına 2.5 mL %10'luk TCA eklendi. Çözeltinin üstünde oluşan fazdan 2.5 mL alındı ve buna 2.5 mL distile su ve 0.5 mL FeCl₃ (%0.1) eklendikten sonra oluşan Perl Prusya mavisi kompleks 700 nm'de saf sudan oluşan köre karşı okundu (Köksal & Gülçin, 2008; Gülçin, 2012; Kose & Gulcin, 2021).

2.4.2. KUPRAK testi

Kuprik iyonları (Cu²⁺) indirgeme aktivitesini belirlemek için daha önce uygulanmış bir metod hafif değişikliklerle kullanıldı (Apak ve ark., 2006). Kısaca, 0.25 mL farklı konsantrasyonlarla (10-30 µg/mL) hazırlanan ekstre ve standart antioksidan çözeltileri numune tüplerine pipetlendi. Üzerlerine 0.25 mL 10 mM bakır (II) klorür çözeltisi, 0.25 mL 7.5 mM etanolik neokuprin çözeltisi ve 1.0 M 0.25 mL (pH:6.5) amonyum asetat tampon çözeltisi eklendi, son hacim distile su ile 2 mL'ye tamamlandı ve ardından vorteksledi. Oda sıcaklığında 30 dakikalık inkübasyonun ardından absorbans, köre karşı 450 nm'de ölçüldü.

2.4.3. FRAP testi

Deney tüplerine farklı konsantrasyonlarda hazırlanmış (10-30 µg/mL) bitki ekstresi ve standart antioksidan bileşik çözeltileri eklendi son hacimleri 0.3 M CH₃COONa tamponu ile 0.5 mL'ye tamamlandı. Ardından tüplere 2250 µL FeCl₃ (20 mM) ve 2250 µL FRAP çözeltisi eklenerek hacim 5 mL'ye tamamlandı. Vorteksledi ve 37 °C'de 30 dakika boyunca inkübe edildikten sonra 593 nm'de ölçüm yapıldı (Bursal ve ark., 2019; Kose & Gulcin, 2021).

2.5. Total fenolik ve flavonoit miktarı

AGSE'de bulunan toplam fenolik miktarını hesaplama için; 1000 µg liyofilize AGSE 23 mL distile su ile çözüldü. 0.5 mL hacminde Folin-Ciocalteu reaktifi volumetrik balona eklendi, 3 dakikanın sonunda 1.5 ml %2 Na₂CO₃ çözeltisi ilave edildi. Karışım daha sonra aralıklı çalkalama ile 2 saat beklemeye bırakıldı. Örneklerin absorbansı 760 nm'de okundu. İşlemler üç tekaralı olarak gerçekleştirildi. Kontrol için numune yerine distile su kullanıldı (Köksal & Gülçin, 2008). Standart olarak gallik asit kullanıldı ve miktar standart olarak kullanılan gallik asit grafiğinin denkleminde mikrogram gallik asit eşdeğeri (GAE) olarak belirlendi (Kızıлтаş ve ark., 2021). AGSE'de bulunan toplam flavonoit miktarını hesaplama için; 1000 µg ekstrakt, 0.1 mL (1 M) CH₃COOK ve 0.1 mL (%10) Al (NO₃)₃ solüsyonlarını içeren 4.3 mL %80'lik etanol çözeltisi ile seyreltildi. 37 °C'de 40 dakikalık inkübasyondan sonra absorbanslar 415 nm'de kaydedildi. Standart olarak kuersetin kullanıldı ve miktar standart olarak kullanılan kuersetin grafiğinin denkleminde mikrogram kuersetin eşdeğeri (QE) olarak hesaplandı (Eruygur ve ark., 2019; Park ve ark., 2019).

2.6. İstatistiksel analiz

Tüm deney sonuçlarından üç tekrar ile değerler elde edildi. Verilere ait ortalama ve (±) standart sapma değerleri kaydedildi ve SPSS (versiyon 25.0 SPSS Inc.) ile analiz edildi. Verilere ait varsayımlar sınanarak One way ANOVA (Tek Yönlü Varyans Analizi) uygulandı. One way ANOVA sonucuna göre her bir deney düzeyinde anlamlı bir fark elde edildi. Ortalamalar arasındaki anlamlı farklılığın kaynağı Tukey ve Duncan'ın Post-Hoc testleri kullanılarak belirlendi; p<0.05 anlamlık düzeyi referans olarak alındı.

3. Bulgular ve Tartışma

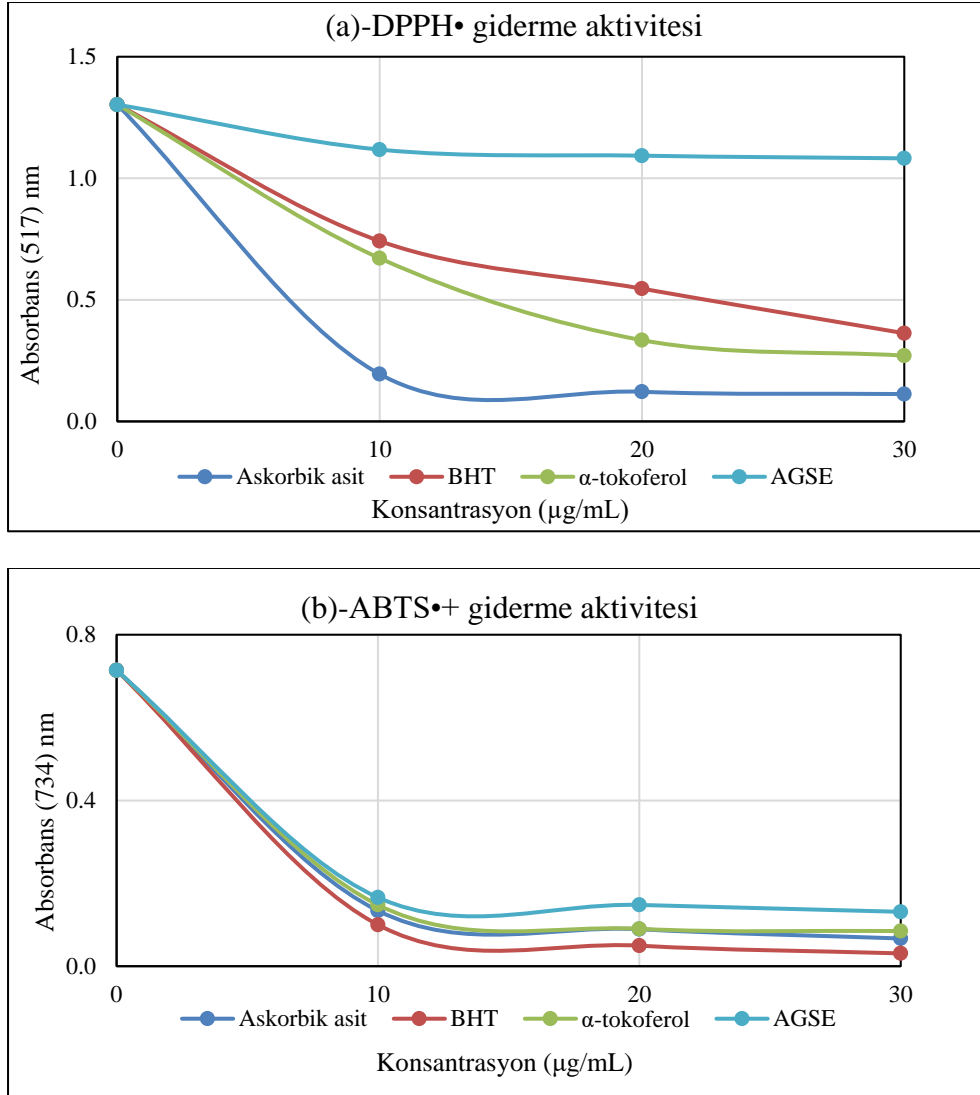
Bitkilerin antioksidan kapasitesi belirlenirken en uygun yöntemin seçilmesi önemlidir. Bu çalışmada, ekstrenin antioksidan kapasitesini belirlemek için iki farklı serbest radikal süpürme yöntemi (DPPH ve ABTS) kullanılmıştır. DPPH yönteminin temeli, ekstredeki DPPH[•] giderici antioksidan yüzdesine dayanmaktadır. ABTS yöntemi ise ABTS^{•+} radikallerini gidermek için gerekli ekstredeki antioksidan yüzdesine dayanmaktadır (Murathan & Özdiç, 2018). Çalışma kapsamında AGSE ve standart antioksidan bileşiklerin DPPH[•] giderme aktiviteleri araştırıldı.

Çizelge 1. Standartlar ve AGSE için belirlenen IC₅₀ değerleri

Bileşikler	DPPH [•] giderme		ABTS ^{•+} giderme	
	IC ₅₀ *	r ²	IC ₅₀ *	r ²
Askorbik asit	17.325 ± 0.004	0.9509	7.533 ± 0.037	0.9519
BHT	38.500 ± 0.023	0.9858	5.824 ± 0.011	0.9539
α-tokoferol	30.130 ± 0.043	0.9578	8.058 ± 0.008	0.9606
AGSE	86.63 ± 0.016	0.9670	10.04 ± 0.002	0.9419

AGSE ve standart antioksidanların IC₅₀ değerleri aşağıdaki sırayla gösterilmiştir; Askorbik asit (17.325 ± 0.004, r²: 0.9509) <α-tokoferol (30.130 ± 0.043, r²: 0.9578) <BHT (38.500 ± 0.023, r²: 0.9858) <AGSE (86.63 ± 0.016, r²: 0.9670) (Çizelge 1 ve Şekil 1a). Düşük IC₅₀ değerleri, etkili bir DPPH[•] giderme aktivitesine işaret eder (Kızıлтаş ve ark., 2021). En etkili DPPH[•] giderme aktivitesine sahip bileşik askorbik asit olarak bulundu. AGSE'nin standart antioksidan bileşiklere kıyasla daha düşük bir serbest radikal giderme kabiliyetine sahip olduğu bulundu. *Astragalus diptherites* ve *Astragalus gymnalopecias* metanol ekstralarının DPPH[•] giderme aktivitesi bir çalışmada belirlenmiş ve IC₅₀ değerleri sırasıyla 19.73 ± 0.8 µg/mL ve 22.66 ± 0.3 µg/mL olarak bulunmuştur (Keskin ve ark., 2018). Başka bir çalışmada, *Astragalus brachycalyx* toprak üstü kısımlarının etanol ekstresinin DPPH[•] giderme tesisi IC₅₀ sonucu 115.5 ± 0.030 µg/mL olarak bulunmuştur (Kızıлтаş ve ark., 2021). 2018 yılında yapılan bir çalışmada *Astragalus Glycyphyllos* çiçeklerinin %70 etanol ekstresinin DPPH radikal giderme IC₅₀

sonucu 35.64 $\mu\text{mol/g}$ olduğu bulunmuştur (Butkute ve ark., 2018). Sonuçlar değerlendirildiğinde, tüm çalışmalarda IC_{50} değerlerinin yüksek olduğu görüldü, mevcut çalışmaya göre AGSE'nin çok güçlü bir DPPH' giderme aktivitesi olmadığı belirlendi. ABTS^{++} giderme aktivite deneylerinde radikalın kararlı bir formu üretilir ve bu kararlı form bir antioksidan ile reaksiyona girerek mavi-yeşil renkli ABTS^{++} oluşturur, renk giderme ABTS^{++} inhibisyon oranını belirtir (MacDonald-Wicks ve ark., 2006). AGSE ve standartlar için ABTS^{++} giderme testinin IC_{50} değerleri aşağıdaki sırayla belirlendi; BHT (5.824 ± 0.011 , $r^2: 0.9539$) < Askorbik asit (7.533 ± 0.037 , $r^2: 0.9519$) < α -tokoferol (8.058 ± 0.008 , $r^2: 0.9606$) < AGSE (10.04 ± 0.002 , $r^2: 0.9419$) (Çizelge 1 ve Şekil 1b). AGSE'nin etkili bir ABTS^{++} giderme aktivesine sahip olduğu belirlendi. *Astragalus brachycalyx* ile yapılan bir çalışmada etanol ekstresinin ABTS^{++} giderme aktivitesi IC_{50} sonucu $16.12 \pm 0.07 \mu\text{g/mL}$ olarak bulunmuştur (Kızıldaş ve ark., 2021). Başka bir çalışmada *Astragalus leporinus*, *Astragalus Differentissimus* ve *Astragalus schizopterus* bitkilerine ait su ekstralarının ABTS^{++} giderme çalışmaları gerçekleştirilmiş ve IC_{50} sonuçları sırasıyla; $48.82 \pm 0.35 \mu\text{g/mL}$, $64.01 \pm 0.17 \mu\text{g/mL}$ ve $32.91 \pm 0.80 \mu\text{g/mL}$ olarak belirlenmiştir (Haşimi ve ark., 2017). Bu çalışmada, ABTS^{++} giderme aktivitesi için elde edilen IC_{50} miktarlarının yukarıda belirtilen çalışmalarda kıyaslandığında çok daha etkili olduğu belirlendi. Konsantrasyona ($10\text{-}30 \mu\text{g/mL}$) dayalı bir şekilde ölçülen DPPH' ve ABTS^{++} giderme aktivite ortalamaları arasında istatistiksel bakımdan anlamlı bir fark bulundu ($p < 0.001$) (Çizelge 1). Literatür taramasında *A. gummifer*'e ait ekstraların DPPH' ya da ABTS^{++} giderme aktivitesinin ölçüldüğü bir yayın bulunamadı, bu yüzden mevcut çalışma ilk olarak bir referans oluşturmaktadır.



Şekil 1. AGSE'nin DPPH' (a) ve ABTS^{++} (b) giderme aktivitesi.

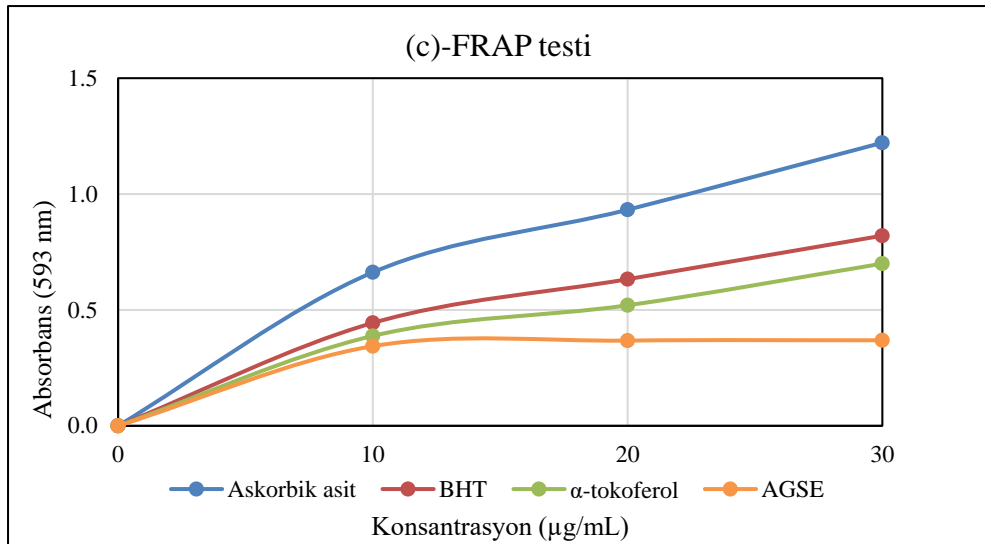
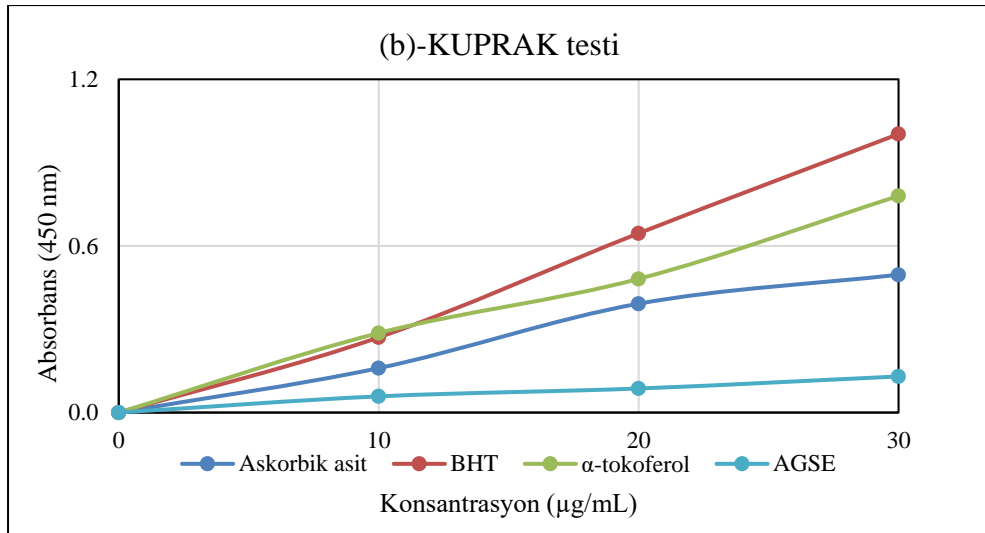
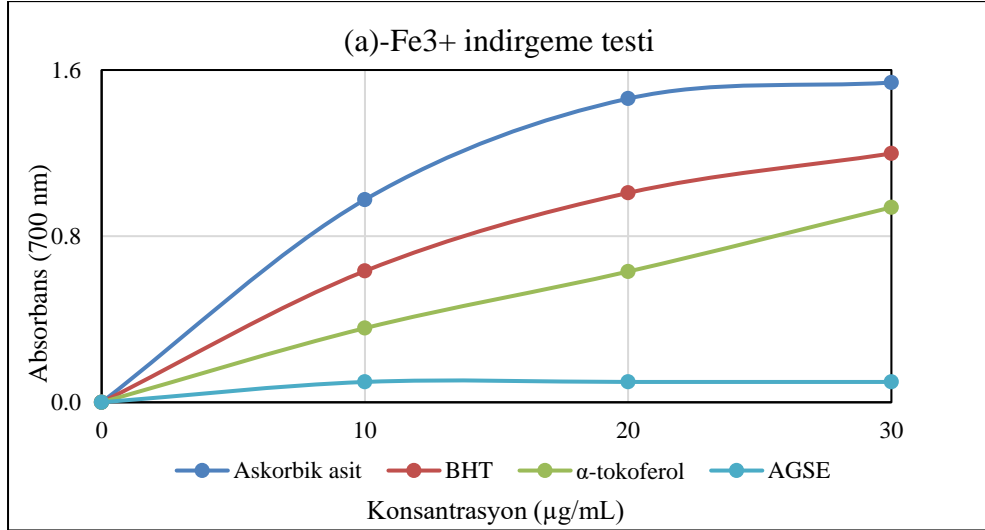
A. gummifer'in liyofilize su ekstresinin antioksidan profili demir iyonları (Fe^{3+}) indirgeme, KUPRAK ve FRAP deneyleri kullanılarak değerlendirildi (Çizelge 2 ve Şekil 2). İndirgeme kapasitesi, bir molekülün antioksidan aktiviteye sahip olup olmadığını belirlemede önemli bir faktördür (Meir ve ark., 1995).

Çizelge 2. AGSE ve standart antioksidanların indirgeme yetenekleri (30 $\mu\text{g/mL}$)

Antioksidanlar	Fe^{3+}/Fe^{2+} indirgeme *		KUPRAK *		FRAP*	
	λ_{700}	r^2	λ_{450}	r^2	λ_{593}	r^2
Askorbik asit(a)	$1.540 \pm 0.014^{b,c,d}$	0.9998	0.496 ± 0.029^d	0.9861	$1.221 \pm 0,054^{b,c,d}$	0.9891
α - tokoferol(b)	0.939 ± 0.083^d	0.9984	$0.780 \pm 0.064^{a,d}$	0.9938	0.700 ± 0.023^d	0.9816
BHT(c)	$1.198 \pm 0.038^{b,d}$	0.9997	$1.003 \pm 0.151^{a,b,d}$	0.9987	$0.820 \pm 0.028^{b,d}$	0.9908
AGSE(d)	0.153 ± 0.008	0.9333	0.130 ± 0.018	0.9886	0.369 ± 0.002	0.9548

* Aynı sütunda yer alan farklı harfler, ortalamalar arasındaki istatistiksel olarak anlamlı farkı gösterir. ($p < 0.001$ anlamlı olarak kabul edildi).

Kullanılan ilk yöntem, yaygın yöntemlerden biri olan $Fe[(CN)_6]^{3+}$ çözeltilisinde Fe^{3+} 'ün Fe^{2+} 'ye indirgenmesine dayanır. Reaksiyon sistemine göre potasyum ferrisiyanürdeki Fe^{3+} bir antioksidan madde ilavesi ile Fe^{2+} 'ye indirgenir ve 700 nm'de gözlemlenebilen Prusya mavisi rengin absorbansı ölçülür (Kızıltaş ve ark., 2021). AGSE ve standart antioksidanların (10-30 $\mu\text{g/mL}$) Fe^{3+} indirgeme gücü aşağıdaki gibidir: Askorbik asit (1.540 ± 0.014 , r^2 : 0.9998) > BHT (1.198 ± 0.038 , r^2 : 0.9997) > α - tokoferol (0.939 ± 0.083 , r^2 : 0.9984) > AGSE (0.153 ± 0.008 , r^2 : 0.9333) (Çizelge 2 ve Şekil 2a). Sonuçlara göre, AGSE'nin ferrik iyonları (Fe^{3+}) indirgeme konusunda güçlü bir yeteneğe sahip olduğu belirlendi ($p < 0.001$) (Çizelge 2). Ancak bu değer standart antioksidanlara göre daha düşük olduğu bulundu. KUPRAK testi neocuproin ve bakır iyonları arasında oluşan ve 450 nm'de absorbansı gözlenen kararlı kompleksin ölçümüne dayanır (Kızıltaş ve ark., 2021). AGSE ve pozitif kontrollerin 30 $\mu\text{g/mL}$ konsantrasyonda KUPRAK testi sonuçları Çizelge 2 ve Şekil 2b'de gösterildi. AGSE ve pozitif kontrollerin konsantrasyonuna (10-30 $\mu\text{g/mL}$) bağlı KUPRAK sonuçları aşağıdaki gibidir; BHT (1.003 ± 0.151 , r^2 : 0.9987) > α - tokoferol (0.780 ± 0.064 , r^2 : 0.9938) > Askorbik asit (0.496 ± 0.029 , r^2 : 0.9861) > AGSE (0.130 ± 0.018 , r^2 : 0.9886) ($p < 0.001$) (Çizelge 2). AGSE'nin KUPRAK testine göre güçlü bir indirgeme yeteneğine sahip olduğu belirlendi ($p < 0.001$). FRAP yönteminde bir numunenin antioksidan özelliği oksidan ferrik demiri, demir formuna indirgeme gücünün ölçülmesi ile belirlenir (Murathan & Özdiç, 2018). AGSE ve standart antioksidanların FRAP sonuçları aşağıdaki sırayla azaldı; Askorbik asit (1.221 ± 0.054 , r^2 : 0.9891) > BHT (0.820 ± 0.028 , r^2 : 0.9908) > α - tokoferol (0.700 ± 0.023 , r^2 : 0.9816) > AGSE (0.369 ± 0.002 , r^2 : 0.9548) (Çizelge 2 ve Şekil 2c). Yönteme göre, yüksek absorbans değerleri, Fe^{3+} -TPTZ kompleksinin güçlü indirgeme kabiliyetini temsil eder. FRAP testi Sonuçlara göre AGSE'nin etkili bir indirgeme yeteneği olduğu belirlendi ($p < 0.001$) (Çizelge 2). Sonuç olarak, *Astragalus gummifer*'in toprak üstü kısmının liyofilize su ekstresinin tüm antioksidan aktivite testlerinde standart bileşiklere yakın bir değer gösterdiği ayrıca ABTS⁺⁺ giderme testinde ise standart bileşiklere kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği belirlendi. Literatür taramasında *A. gummifer*'e ait ekstraktların indirgeme aktivitesinin ölçüldüğü herhangi bir yayın bulunamadı, bu yüzden mevcut çalışma ilk olarak bir referans oluşturmaktadır.



Şekil 2. AGSE ve standart antioksidanların Fe³⁺-Fe²⁺ indirgeme (a), KUPRAK (b) ve FRAP (c) indirgeme yetenekleri (30 µg/mL).

Bitkilerin antioksidan özellikleri içerdikleri fenolik ve flavonoid bileşikler gibi sekonder metabolitlerden kaynaklanmaktadır (Keskin ve ark., 2018). Fenolik bileşikler başlıca bitki sekonder metabolitler arasında yer alır. Fenolik ve flavonoid bileşikler antikanser, antibakteriyel, antiinflamatuvar, antialerjik ve serbest radikal süpürücü gibi birçok biyolojik aktiviteye sahiptir. Bol miktarda fenolik bileşik içeren bir diyetin kanser ve kardiyovasküler hastalıklara karşı koruyucu etkileri olduğu bildirilmektedir. Flavonoidler, bitkilerde bulunan önemli sekonder bileşik gruplarından birini oluşturur. Flavonoidlerin halka yapılarına bağlı çok sayıda fenolik hidroksil grubu, onlara antioksidan aktivite kazandırmaktadır (Jun ve ark., 2012). Güçlü serbest radikal giderici özelliklerinden dolayı flavonoidler metal şelatlama ve indirgeme gibi antioksidan aktiviteler gösterirler (Bursal ve ark., 2021).

Çizelge 3. AGSE'nin toplam fenolik ve flavonoid içeriği

	Total fenolik ($\mu\text{g/mL}$ ekstre)	Total flavonoid ($\mu\text{g/mL}$ ekstre)
AGSE	7.27 ± 0.01	0.45 ± 0.04

AGSE'deki toplam fenolik ve flavonoid bileşik içeriği sırasıyla 7.27 ± 0.01 μg GAE ve 0.45 ± 0.04 μg QE olarak bulundu (Çizelge 3). AGSE'deki toplam fenolik ve flavonoid bileşik miktarı ile antioksidan aktiviteler arasında pozitif bir ilişki olduğu gösterildi. Bir çalışmada, *Astragalus brachycalyx* Fischer'in su ekstresinde toplam fenolik ve flavonoid bileşik içeriği sırasıyla 23.18 μg GAE ve 4.67 μg QE olarak bulunmuştur (Kızıltaş ve ark., 2021). 2011 yılında yapılan bir çalışmada *Astragalus squarrosus*'un metanol ekstresindeki toplam fenolik ve flavonoid bileşik miktarları sırasıyla 23.3 mg/g ve 26.0 mg/g olarak bulunmuştur (Asgarpanah ve ark., 2011). Bir başka çalışmada ise *Astragalus glycyphyllos* yaprak ve çiçek ekstrelerindeki toplam fenolik bileşik miktarı 25.99 ve 23.71 mg GAE/g, toplam flavonoid miktarı ise 21.00 ve 16.71 mg RE/g olarak belirlenmiştir (Butkute ve ark., 2018). *Astragalus diptherites* ve *Astragalus gymnaolepeias* türleri bir çalışmada incelenmiş ve toplam fenolik bileşik içerikleri sırasıyla; 76.1 ± 0.9 ve 54.66 ± 2.3 (μg GAE/mg ekstre), toplam flavonoid bileşik içerikleri ise sırasıyla 39.31 ± 0.2 ve 36.81 ± 0.3 (μg QE/mg ekstre) olarak bulundu (Keskin ve ark., 2018). Yukarıda bahsedilen çalışmaların sonuçları ile mevcut çalışmadan elde edilen sonuçlar arasındaki farklılıkların bitkinin yetiştirildiği bölgenin ekolojik ve toprak yapısındaki çeşitlilik, analiz yöntemleri, çözücüler ve ekstraksiyon koşullarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4. Sonuç

Bu çalışmada *Astragalus gummifer*'in fitokimyasal biyoaktivitesi ve özellikleri, fenolik ve flavonoid içerikleri ayrıca DPPH' ve ABTS⁺ giderme ile KUPRAK, FRAP ve demir indirgeme testleri kullanılarak antioksidan kapasitesi ile ilgili veriler ilk kez sunulmaktadır. *Astragalus gummifer*'in iyi düzeyde fenolik ve flavonoid içeriği olduğu ve belirli bir düzeyde antioksidan aktivite sergilediği belirlendi. Antioksidanların birçok hastalığın önlenmesinde oldukça etkili oldukları bilinmektedir. Bu çalışma ile *Astragalus gummifer*'in bir antioksidan kaynağı olarak kullanılabilirliği hakkında ilk kez bilgi sunuldu. Çalışma sonuçlarına ait grup ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu da belirlendi. *Astragalus* türlerinden elde edilen sekonder bileşikler özellikle tıbbi amaçlarla kullanılmaktadır. *Astragalus gummifer* ile yapılan bu çalışmadan türe ait sekonder bileşiklerin izolasyonuna yönelik çalışmalara temel niteliğinde sonuçlar elde edildi. Böylece başta kanser ve viral hastalıklar olmak üzere çeşitli hastalıkların tedavisinde geleneksel olarak uzun yıllardan beri kullanılan *Astragalus gummifer*'in ilaç potansiyelinin belirlenmesi açısından önemli bilgiler sunuldu.

Kaynakça

- Alhafez, A., Savci, A., Alan, Y., Söylemez, R., & Kilic, A. (2022). Preparation of Cu(II), Ni(II), Ti(IV), VO(IV), and Zn(II) metal complexes derived from novel vic-dioxime and investigation of their antioxidant and antibacterial activities. *Chemistry and Biodiversity*, 19(3), e202100768. doi:10.1002/cbdv.202100768
- Amiri, M. S., Joharchi, M. R., Nadaf, M., & Nasseh, Y. (2020). Ethnobotanical knowledge of *Astragalus* spp.: The world's largest genus of vascular plants. *Avicenna Journal of Phytomedicine*, 10(2),

- 128–142.
- Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M., Esin Karademir, S., & Erçağ, E. (2006). The cupric ion reducing antioxidant capacity and polyphenolic content of some herbal teas. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 57(5–6), 292–304. doi:10.1080/09637480600798132
- Asgarpanah, J., Motamed, S. M., Farzaneh, A., Ghanizadeh, B., & Tomraee, S. (2011). Antioxidant activity and total phenolic and flavonoid content of *Astragalus squarrosus* Bunge. *African Journal of Biotechnology*, 10(82), 19176–19180.
- Aslanipour, B., Gülcemal, D., Nalbantsoy, A., Yusufoglu, H., & Bedir, E. (2017). Secondary metabolites from *Astragalus karjaginii* BORISS and the evaluation of their effects on cytokine release and hemolysis. *Fitoterapia*, 122(June), 26-33. doi:10.1016/j.fitote.2017.08.008
- Bagheri, S. M., Keyhani, L., Heydari, M., Dashti-R, M. H. (2015). Antinociceptive activity of *Astragalus gummifer* gum (gum tragacanth) through the adrenergic system : A in vivo study in mice. *Journal of Ayurveda & Integrative Medicine*, 6(1), 19-23.
- Bingol, M. N., & Bursal, E. (2018). LC-MS/MS analysis of phenolic compounds and *in vitro* antioxidant potential of *stachys lavandulifolia* Vahl. var. *brachydon* Boiss. *International Letters of Natural Sciences*, 72, 28–36. doi:10.56431/p-5vckk2
- Blois, M. S. (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 181, 1199-1200. doi:10.1038/1811199a0
- Bursal, E., Aras, A., Kılıç, Ö., Taslimi, P., Gören, A. C., & Gülçin, İ. (2019). Phytochemical content, antioxidant activity, and enzyme inhibition effect of *Salvia eriophora* Boiss. & Kotschy against acetylcholinesterase, α -amylase, butyrylcholinesterase, and α -glycosidase enzymes. *Journal of Food Biochemistry*, 43(3), 1-13. doi:10.1111/jfbc.12776
- Bursal, E., Aras, A., Doğru, M., & Kılıç, Ö. (2021). Phenolic content, antioxidant potentials of *Saponaria prostrata* endemic plant. *International Journal of Life Sciences and Biotechnol. International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 5(1), 1-8. doi:10.38001/ijlsb.989172
- Butkute, B., Dagilyte, A., Benetis, R., Padarauskas, A., Cesevičiene, J., Olšauskaite, V., & Lemežiene, N. (2018). Mineral and phytochemical profiles and Antioxidant activity of herbal material from two temperate *astragalus* species. *BioMed Research International*, 2018, 6318630. doi:10.1155/2018/6318630
- Eruygur, N., Koçyiğit, U. M., Taslimi, P., Ataş, M., Tekin, M., & Gülçin, I. (2019). Screening the in vitro antioxidant, antimicrobial, anticholinesterase, antidiabetic activities of endemic *Achillea cucullata* (Asteraceae) ethanol extract. *South African Journal of Botany*, 120, 141–145. doi:10.1016/j.sajb.2018.04.001
- Gulcin, I., Tel, A. Z., & Kirecci, E. (2008). Antioxidant, antimicrobial, antifungal, and antiradical activities of *Cyclotrichium Niveum* (BOISS.) Manden and Scheng. *International Journal of Food Properties*, 11(2), 450–471. doi:10.1080/10942910701567364
- Gulcin, I. (2020). Antioxidants and antioxidant methods: An updated overview. *Archives of Toxicology*, 94, 651-715. doi:10.1007/s00204-020-02689-3
- Gülcemal, D., Alankuş-Çalışkan, Ö., Perrone, A., Özgökçe, F., Piacente, S., & Bedir, E. (2011). Cycloartane glycosides from *Astragalus aureus*. *Phytochemistry*, 72(8), 761-768. doi:10.1016/j.phytochem.2011.02.006
- Gülçin, İ. (2012). Antioxidant activity of food constituents: An overview. *Archives of Toxicology*, 86(3), 345-391. doi:10.1007/s00204-011-0774-2
- Haşimi, N., Ertaş, A., Yılmaz, M. A., Boğa, M., Temel, H., Demirci, S., Özden, T. Y., Yener, İ., & Kolak, U. (2017). LC-MS/MS and GC-MS analyses of three endemic *Astragalus* species from Anatolia towards their total phenolic-flavonoid contents and biological activities. *Biological Diversity and Conservation*, 10(1), 18-30.
- Horo, I., Bedir, E., Masullo, M., Piacente, S., Özgökçe, F., & Alankuş-Çalışkan, Ö. (2012). Saponins from *Astragalus hareftae* (NAB.) SIRJ. *Phytochemistry*, 84, 147–153. doi:10.1016/j.phytochem.2012.07.015
- Huang, D., Boxin, OU., & Prior, R. L. (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53(6), 1841-1856. doi:10.1021/jf030723c
- Huo, L., Lu, R., Li, P., Liao, Y., Chen, R., Deng, C., Lu, C., Wei, X., & Li, Y. (2011). Antioxidant activity, total phenolic, and total flavonoid of extracts from the stems of *jasminum nervosum* Lour. *Grasas y Aceites*, 62(2), 149-154. doi:10.3989/gya.066810

- Jun, Y. M., Kim, E. H., Lim, J. J., Kim, S. H., & Kim, S. H. (2012). Variation of phenolic compounds contents in cultivated astragalus membranaceus. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*, 20(6), 4447–453. doi: 10.7783/KJMCS.2012.20.6.447
- Karimi, S., Salehi, H., & Ashiri, F. (2016). Tragacanth , a novel and cheap gelling agent in carnation and miniature rose tissue culture media. *Journal of Ornamental Plants*, 6(4), 253–260.
- Keskin, C., Özen, H. Ç., Toker, Z., Kızıl, G., Kızıl, M. (2018). Astragalus diphtherites FENZL var. diphtherites ve Astragalus gymnaopecias Rech. Fıl' in gövde ve kök kısımlarından farklı çözücüler ile elde edilen özütlerin in vitro antioksidan ve antimikrobiyal özelliklerinin belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 21(2), 157-166. doi:10.18016/ksudobil.322478
- Kızıldaş, H., Bingöl, Z., Gören, A. C., Pinar, S. M., Alwasel, S. H., & Gülçin, İ. (2021). LC-HRMS profiling of phytochemicals, antidiabetic, anticholinergic and antioxidant activities of evaporated ethanol extract of *Astragalus brachycalyx* Fischer. *Journal of Chemical Metrology*, 15(2), 135–151. doi:10.25135/jcm.62.2107.2155
- Kora, A. J., & Arunachalam, J. (2012). Green fabrication of silver nanoparticles by Gum Tragacanth (*Astragalus gummifer*): A dual functional reductant and stabilizer. *Journal of Nanomaterials*, 2012, 869765. doi:10.1155/2012/869765
- Kose, L. P., & Gulcin, İ. (2021). Evaluation of the antioxidant and antiradical properties of some phyto and mammalian lignans. *Molecules*, 26(23), 7099. doi:10.3390/molecules26237099
- Köksal, E., & Gülçin, İ. (2008). Antioxidant activity of cauliflower (*Brassica oleracea* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32(1), 65–78.
- Mabberley, D. J. (1997). *The Plant-book: A Portable Dictionary of the Vascular Plants*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- MacDonald-Wicks, L. K., Wood, L. G., & Garg, M. L. (2006). Methodology for the determination of biological antioxidant capacity in vitro: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(13), 2046–2056. doi:10.1002/jsfa.2603
- Meir, S., Kanner, J., Akiri, B., & Philosoph-Hadas, S. (1995). Determination and Involvement of Aqueous Reducing Compounds in Oxidative Defense Systems of Various Senescing Leaves. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(7), 1813-1819. doi:10.1021/jf00055a012
- Murathan, Z. T., & Özdiç, M. (2018). Ardahan ve Elazığ illerinde yetişen *Anchusa azurea* Miller var. *Azurea* bitkisinin biyoaktif bileşenleri ve antioksidan kapasitesi üzerine bir araştırma. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi*, 21(4), 529-534. doi:10.18016/ksudobil.362296
- Oyaizu, M. (1986). Studies on products of browning reaction. Antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *The Japanese Journal of Nutrition and Dietetics*, 44(6), 307-315. doi:10.5264/eiyogakuzashi.44.307
- Park, C. H., Yeo, H. J., Baskar, T. B., Park, Y. E., Park, J. S., Lee, S. Y., & Park, S. U. (2019). In vitro antioxidant and antimicrobial properties of flower, leaf, and stem extracts of Korean Mint. *Antioxidants*, 8(3), 75. doi:10.3390/antiox8030075
- Ríos, J. L., & Waterman, P. G. (1997). A review of the pharmacology and toxicology of *Astragalus*. *Phytotherapy Research*, 11(6), 411-418. doi:10.1002/(SICI)1099-1573(199709)11:6<3C411::AID-PTR132%3E3.0.CO;2-6
- Taslimi, P., Köksal, E., Gören, A. C., Bursal, E., Aras, A., Kılıç, Ö., Alwasel, S., & Gülçin, İ. (2020). Anti-Alzheimer, antidiabetic and antioxidant potential of *Satureja cuneifolia* and analysis of its phenolic contents by LC-MS/MS. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(3), 4528-4537. doi:10.1016/j.arabjc.2019.10.002



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Yeşil Cevizlerden Ultrason Destekli Ekstraksiyon Yöntemiyle Fenolik Bileşiklerin Eldesi

Serdar UĞURLU*, Emre BAKKALBAŞI

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 65080, Van, Türkiye

Serdar UĞURLU, ORCID No: 0000-0002-5785-9647,

Emre BAKKALBAŞI, ORCID No: 0000-0001-9913-1091

*Sorumlu yazar e-posta: serdar_ugurlu@hotmail.com

Makale Bilgileri

Geliş: 28.07.2022
Kabul: 07.11.2022
Online Nisan 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1150133

Anahtar Kelimeler

Fenolik bileşikler,
Juglon,
Ultrason destekli
ekstraksiyon,
Yeşil ceviz

Öz: Bu çalışmada, yeşil cevizden fenolik bileşiklerin ekstraksiyonuna iki farklı yöntemin etkisi araştırılmıştır. Fenolik bileşikler yeşil cevizden konvansiyonel yöntemle (120, 240, 360 480, 720, 960 ve 1200 dakika) ve ultrason destekli ekstraksiyon (%25, 50, 75 ve 100 genlik; 10, 20, 30, 40, 50 ve 60 dakika) ile ekstrakte edilmiştir. HPLC analizi ile yeşil ceviz ekstraktlarında bazı fenolik asitler (gallik asit, neoklorojenik asit), flavonol (rutin) ve juglon tespit edilmiştir. Konvansiyonel yöntemde toplam fenolik içerik 240 dakika sonra 158.55 mg GAE/kg olarak belirlendi. Ultrason destekli ekstraksiyonda ise toplam fenolik içerik, 60 dakika sonunda %100 genlikte 156.80 mg GAE/kg olarak ölçülmüştür. Konvansiyonel ekstraksiyonda ise toplam fenolik içerik, 1200 dakika sonunda 1478.15 mg GAE/kg olarak ölçülmüştür. Ekstraksiyon süresi artırıldığında konvansiyonel ekstraksiyon etkili olmuştur. En iyi ekstraksiyon verimi, %100 ultrason genliğinde elde edilse de 50. dakikadan sonra fenolik bileşiklerdeki kayıplar nedeniyle ekstraksiyon süresi uzatılamamakta ve uzun sürmesine karşılık bozunma olmadığı için konvansiyonel ekstraksiyonda daha yüksek fenolik bileşik değerlerine ulaşılmaktadır.

Extraction of Phenolic Compounds from Green Walnut by Ultrasound Assisted Extraction

Article Info

Recieved: 28.07.2022
Accepted: 07.11.2022
Online April 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1150133

Keywords

Green walnut,
Juglone,
Phenolic compounds,
Ultrasound assisted extraction

Abstract: In this study, the effects of two different methods on the extraction of phenolic compounds from green walnuts were investigated. Phenolic compounds were extracted from green walnut by conventional (120, 240, 360 480, 720, 960 and 1200 minutes) and ultrasound-assisted extraction (25, 50, 75 and 100% amplitude; 10, 20, 30, 40, 50 and 60 min.). HPLC analysis indicated that green walnut extracts have some phenolic acids (gallic acid, neochlorogenic acid), flavonol (rutin) and juglone. In the conventional method, total phenolic content was determined as 158.55 mg GAE/kg after 240 minutes. In the ultrasound-assisted extraction, the total phenolic content was measured as 156.80 mg GAE/kg at 100% amplitude for 60 minutes, whereas 1478.15 mg GAE/kg for 1200 minutes for conventional extraction. Although the best extraction efficiency is obtained with the use of 100% ultrasound amplitude, the extraction time cannot be extended after 50 minutes due to losses in phenolic compounds. There was no degradation in the phenolic compound during conventional extraction despite its long extraction time, and the values of phenolic compound were higher in conventional extraction.

1. Giriş

Ceviz (*Juglans regia* L.) sevilerek tüketilen, besin içeriği ve ekonomik değer açısından önemli bir üründür (Oliveira ve ark., 2008). Sadece kuru meyvesi değil, aynı zamanda olgunlaşmamış yeşil meyveleri, meyve üstündeki sert kabukları, yeşil kabukları, ağacının kabukları ve yaprakları hem kozmetik hem de ilaç endüstrisinde kullanılmaktadır (Stampar ve ark., 2006). Ceviz fenolik asitler, naftokinonlar ve flavonoidler dahil fenolik bileşikler açısından zengin bir meyvedir (Cosmulescu ve ark., 2014). Cevizin kimyasal bileşenlerinden biri olan fenolik bileşikler, insan sağlığının korunmasında ve hastalıkların önlenmesinde önemli rol oynar (Solar ve ark., 2019). Bu bileşikler yeşil ceviz kabuğunda (Cosmulescu ve ark., 2010), yeşil ceviz meyvesinde (Jakopic ve ark., 2007), olgun ceviz tohumunda (Colaric ve ark., 2005) ve yapraklarda (Vieira ve ark., 2019) önemli miktarda bulunmaktadır.

Bitkilerden fenolik bileşiklerin ekstraksiyonu, analiz ve kullanımı için ilk adımı oluşturur (Rosa ve ark., 2017). Doğal ve biyolojik olarak aktif bileşenlerin izole edilmesi için çeşitli ekstraksiyon yöntemleri önerilmiştir. Soxhlet ekstraksiyonu, geri akış ısı ekstraksiyonu ve maserasyon, geleneksel ekstraksiyon yöntemleri olarak geçmişten günümüze kadar kullanılmaktadır. Ancak bu konvansiyonel yöntemlerin uzun zamana ihtiyaç duyması, verimsizliği ve ekonomik olmaması gibi dezavantajları vardır (Um ve ark., 2018). Ekstraksiyon ve gıda muhafazası için ultrasonik dalgaların kullanımı, güvenli, verimli, ekonomik ve çevre dostu olarak uygulanabilen yeni, etkili bir işleme teknolojisidir (Rodrigues & Fernandes, 2009). Ultrason yarattığı kavitasyon etkisi ile hücre duvarının deforme olmasına ve bu sayede çözücünün biyolojik numunelerin matrisine daha fazla nüfuz etmesine izin vererek organik bileşiklerin ekstraksiyon etkinliğini artırmaktadır (Rostagno ve ark., 2003). Bu anlamda katı-sıvı ekstraksiyonunda ultrason kullanımının başlıca faydası, ekstraksiyon verimliliğinin artmasıdır. Ayrıca ultrason ile düşük sıcaklıklarda çalışılabilir ve böylece ısıya hassas bileşiklerin çıkarılmasına da olanak sağlar. Bununla birlikte, mikrodalga destekli ekstraksiyon gibi diğer yeni ekstraksiyon teknikleri ile karşılaştırıldığında ultrason sistemleri daha ucuzdur ve çalışması daha kolaydır (Wang & Weller, 2006).

Bu çalışmada, yeşil cevizden fenolik madde ekstraksiyonunda yenilikçi bir teknoloji olan ultrason destekli ekstraksiyon tekniğinin kullanım olanaklarının araştırılması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmada fenolik madde ekstraksiyonu için 2017 yılının 30 Haziran'ında Bitlis ili Ahlat ilçesinden yerel bir üreticiden temin edilen yeşil ceviz örneği (*Juglans regia* L.) kullanılmıştır.

Örnekler ultrason destekli ekstraksiyon ve konvansiyonel ekstraksiyon yöntemleri ile ekstrakte edilmiştir. Bu iki yöntem, elde edilen ekstraktların fenolik madde içeriği açısından karşılaştırılmıştır. Çalışmada ön denemeler sonucunda meyve: su oranı 2:3 (W:V) olarak belirlenmiş, örnek ve su 1 L'lik cam kavanozlara konularak her iki ekstraksiyon işlemi için kullanılmıştır.

Yeşil cevizlerden fenolik madde ekstraktı için ultrason destekli ekstraksiyon Bandelin (UW 3200, 200 W, 20 kHz, Germany) marka ultrasonik homojenizatör ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 4 farklı ultrason genliği (%25-50-75-100) kullanılmıştır. Ekstraksiyon için kavanoz içeriği 60 dk boyunca ultrason destekli ekstraksiyona tabi tutuldu ve ekstraksiyon süresince (oda sıcaklığında) kavanozdan 10, 20, 30, 40, 50 ve 60 dakikalarda 5 ml ekstrakt alınıp fenolik madde analizlerinde kullanıldı.

Konvansiyonel yöntemle ekstraksiyon ise kavanoz içeriğinin oda sıcaklığında ve karanlıkta 20 saat boyunca sabit olarak bekletilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Süre boyunca 120, 240, 360, 480, 720, 960 ve 1200 dakikalarda ekstrakttan 5 ml alınmıştır.

2.1. Yeşil ceviz metanolik ekstraktları

Her iki ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen ekstraktlar dondurularak kurutulmuş ve elde edilen kuru ekstraktlar analiz edilinceye kadar -24°C'de azot akışı altında kapatılmış amber renkli şişelerde muhafaza edilmiştir. Kuru ekstraktlar 10 mL metanol de çözüldükten sonra kimyasal analizlerde kullanılmıştır.

2.2. Toplam fenolik madde analizi

Yeşil ceviz ekstraktlarının toplam fenolik madde miktarı için Singleton & Rossi (1965) tarafından bildirilen yöntem kullanılmıştır. 0.4 mL yeşil ceviz metanolik ekstrakt üzerine, sırasıyla 2 mL 1/10 oranında su ile seyreltilen Folin-Ciocalteu ajanı ve 1.6 mL %7.5 sodyum karbonat çözeltisi eklenerek karıştırılmıştır. Reaksiyon karışımı bir saat boyunca oda sıcaklığında bekletilip ardından spektrofotometrede 765 nm'de okuma yapılmıştır. Ekstraktların toplam fenolik madde miktarı, gallik asit eşdeğeri (mg GAE/kg) olarak verilmiştir.

2.3. Juglon ve fenolik madde içeriği

Ekstrakt örneklerinin juglon ve fenolik madde içeriği Colaric ve ark. (2005)'e ait yöntem modifiye edilerek yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) cihazı ile belirlenmiştir. HPLC cihazı; Shimadzu marka LC-20 AD pompa, SPD-M20A model DAD dedektör ve CTO-10AS VP model kolon fırınından oluşmaktadır. Waters Symetry C18 (250x4 mm ID, 5 µm) kolonu (Waters, ABD) ile juglon, gallik asit, neoklorojenik asit ve rutin fenolik bileşenlerinin tespiti yapılmıştır. Mobil faz olarak %2 asetik asitli su (A) ve % 0.5 asetik asitli su: asetonitril (1:1 v/v) (B) kullanılmıştır. Gradyan programı: 0. dk % 10 B, 50. dk % 55 B, 60. dk % 100 B olarak belirlenmiştir. Kolon sıcaklığı 25°C ve akış hızı 1.0 mL/ dk'dir. Juglon, gallik asit, neoklorojenik asit ve rutin için sırasıyla 254, 280, 320 ve 360 nm'de okuma yapılmıştır.

2.4. İstatistik analizler

Veriler arasındaki farklılıklar SPSS istatistik programı (sürüm 20.0) kullanılarak tek yönlü varyans analizi (One-Way ANOVA) ile değerlendirilmiştir. Ortalamalar arasındaki farklar Duncan çoklu karşılaştırma testi ile belirlenmiştir.

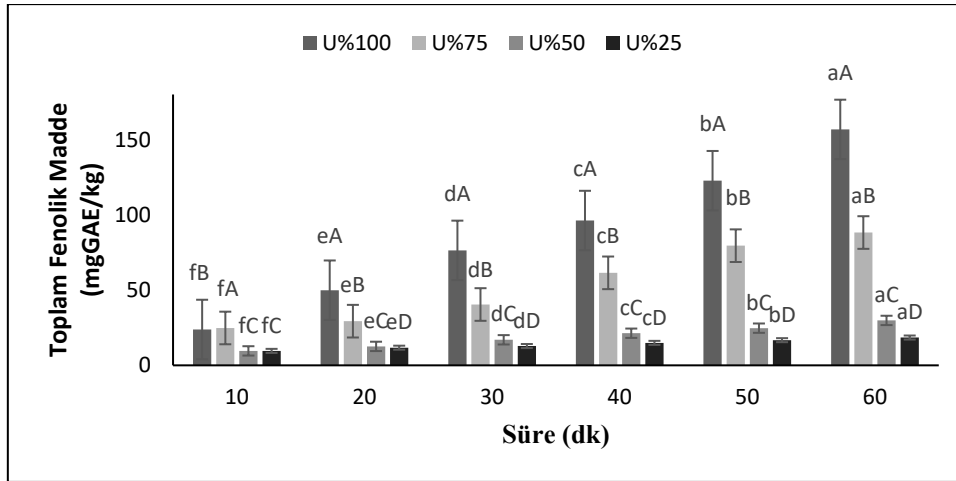
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Yeşil ceviz ekstraktlarının toplam fenolik madde miktarı

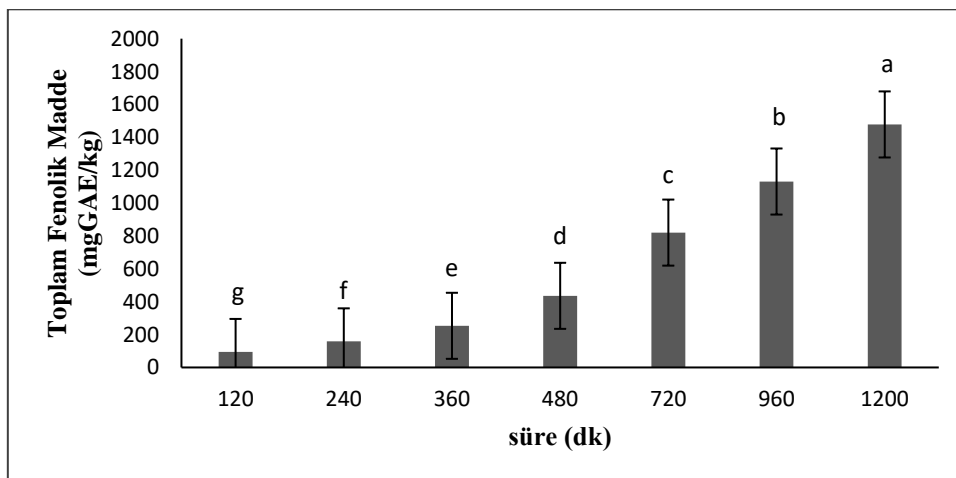
Farklı ultrason genliklerinde (%25, 50, 75, 100) 60 dk süresince gerçekleştirilen ultrason destekli ekstraksiyonlara ait toplam fenolik madde miktarları Şekil 1'de gösterilmiştir. En yüksek toplam fenolik madde miktarı %100 ultrason genliğinde 60. dakikada (156.80 mg GAE/kg), en düşük ise %25 ve %50 ultrason genliğinde 10. dk'da alınan ekstraktta tespit edilmiştir. Her dört ultrason genliğinde de artan ekstraksiyon süresi ile toplam fenolik madde miktarının arttığı görülmüştür. Diğer taraftan, aynı süredeki ekstraktların toplam fenolik madde miktarının yükselen ultrason genlikleri ile arttığı belirlenmiştir. Analizlere göre, %25 ultrason genliği uygulanmış örnek ekstraktlarından, 60. dakika sonunda elde edilen toplam fenolik madde miktarı, %50 ultrason genliği uygulanmış örnek ekstraktlarının 30-40. dakika aralığına; %50 ultrason genliği uygulanmış örnek ekstraktlarının 60. dakikada elde edilen toplam fenolik madde miktarı, %75 ultrason genliğinin yaklaşık olarak 20. dakikalarında elde edilen miktarlarına denk gelmiştir. Ultrason genliği %75 olan örnek ekstraktlarının 60. dakikasında elde edilen toplam fenolik madde miktarı ise ultrason genliği %100 olan örnek ekstraktlarının 30-40. dakika aralığına denk gelmiştir. Toplam fenolik madde içeriği açısından aynı ultrason genliklerindeki ekstraksiyon süreleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Ayrıca aynı süredeki ekstraktların ultrason genlikleri arasındaki farkta istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Yaş üzüm tanelerinden ultrason destekli ekstraksiyon ile fenolik madde ekstrakte edildiği çalışma da %100 genlik kullanılarak bulunan geri kazanımın %20 genliğin kullanılmasından daha yüksek bulunduğu ve kullanılan genlik arttıkça fenolik madde ekstraksiyonunun arttığını bildirmişlerdir (Carrera ve ark., 2012). Benzer şekilde artan ekstraksiyon süresi ile kabak ve şeftali örneklerinden ultrason destekli ekstraksiyonla ekstrakte edilen toplam fenolik madde miktarının da arttığı bildirilmiştir (Altemimi ve ark., 2016).

Konvansiyonel yöntemle elde edilmiş yeşil ceviz ekstraktlarının toplam fenolik madde miktarındaki değişim ise Şekil 2'de gösterilmiştir. Konvansiyonel yöntemle elde edilen yeşil ceviz ekstraktlarının toplam fenolik madde miktarı ekstraksiyon süresi arttıkça artmıştır. En yüksek toplam

fenolik madde miktarı 1200 dakika sonundaki ekstraktta (1478.15 mg GAE/kg) tespit edilmiştir. Toplam fenolik madde içeriği açısından ekstraksiyon süreleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). 120 ve 240 dakika sonunda elde edilen toplam fenolik madde miktarı (sırasıyla 94.13 ve 158.55 mg GAE/kg) %100 ultrason genliği uygulanarak yaklaşık olarak 40. ve 60. dakika sonundaki ekstraktın toplam fenolik madde miktarına (sırasıyla 96.25 ve 156.80 mg GAE/kg) denk gelmiştir. Çalışmamızda ultrason destekli ekstraksiyon ile daha kısa sürede daha yüksek verim elde edilebildiği ve ekstraksiyon süresini önemli miktarda azaltabileceği ortaya çıkmaktadır. Ancak uzun ekstraksiyon sürelerinden dolayı klasik ekstraksiyon daha yüksek toplam fenolik içeriğe sahip olmuştur. Benzer çalışma şeftali posasından toplam fenolik madde ekstraksiyonunda geleneksel yöntemle 4 saat sonunda en yüksek 1834.88 mg GAE/kg yaş ağırlık, ultrason destekli ekstraksiyon yöntemiyle ise %100 genlikte 10 dk en yüksek 1817.21 mg GAE/kg yaş ağırlık olarak elde edildiği bildirilmiştir (Baltacıoğlu ve ark., 2019). *Limonium sinuatum* çiçeklerinden antioksidanların ekstraksiyonu için ultrason destekli ekstraksiyon, geleneksel maserasyon ve soxhlet ekstraksiyon yöntemleri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak ultrason destekli ekstraksiyonun, daha yüksek antioksidan verimi sağladığı ve ekstraksiyon süresini önemli ölçüde azaltabileceği bildirilmiştir (Xu ve ark., 2017). Kırmızı üzümde toplam fenolik madde, toplam kondense tanen ve toplam antosiyanin ekstraksiyonu üzerine yapılan bir çalışmada da ultrason destekli ekstraksiyonda (6 dk) klasik ekstraksiyona (60 dk) kıyasla daha kısa sürede daha yüksek verim elde edildiği bildirilmiştir (Carrera ve ark., 2012).



Şekil 1. Ultrason destekli ekstraksiyon ile farklı süre ve genliklerde elde edilen ekstraktların toplam fenolik miktarlarındaki değişimi (Küçük harfler aynı ultrason genliğindeki örnekler arasındaki farkı, büyük harfler aynı süredeki farklı ultrason genlikleri arasındaki farkı göstermektedir).



Şekil 2. Konvansiyonel yöntemle ekstraksiyon ile farklı sürelerde elde edilen ekstraktların toplam fenolik miktarlarındaki değişimi (Küçük harfler örnekler arasındaki farkı göstermektedir).

3.2. Juglon ve fenolik madde miktarı

Cevizde (*Juglans regia*), naftokinonlar ve flavonoidler başlıca fenolik bileşikler olarak kabul edilir (Nour ve ark., 2016). Ultrason destekli ekstraksiyon yöntemi ile en yüksek toplam fenolik madde miktarı %100 ultrason genliği uygulanarak elde edildiğinden dolayı bu örnek ekstraktının juglon ve fenolik madde miktarı incelenmiştir. Yeşil cevize %100 ultrason genliği uygulanarak ekstrakte edilen fenolik bileşikler (juglon, gallik asit, neoklorojenik asit ve rutin) Çizelge 1’de gösterilmiştir. %100 ultrason genliği uygulanmış ekstraktlardaki juglon, gallik asit, neoklorojenik asit ve rutin miktarları sırasıyla 0.02-12.63, 1.35-12.74, 4.90-18.28 ve 0.49-2.17 mg/kg arasında değişmiştir. Juglon, gallik asit ve neoklorojenik asit içeriği için ekstraksiyon süreleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Süre arttıkça ekstrakte edilen bileşiklerin miktarının 50. dakikaya kadar arttığı tespit edilmiştir. Fakat 60. dakikada tespit edilen tüm bileşikler, özellikle juglon ve neoklorojenik asit miktarı azalmıştır. Bu durumun yüksek ultrason genliği ve özellikle sürenin yeşil cevizin yapısında bulunan bu bileşiklerin yapısının bozulmasına neden olabileceği düşünülmektedir. Ceviz yapraklarından ultrason destekli hidroalkol ekstraksiyon ile ekstrakte edilen fenolik bileşiklerin, ekstraksiyon süresinin 50. dakika sonunda maksimum flavonoid konsantrasyonuna ulaştığı ve ardından ekstraksiyon süresinin uzamasıyla flavonoidlerin ayrışmasının neden olduğu çok hafif bir düşüş olduğu bildirilmiştir (Nour ve ark., 2016). *Folium eucommiae*’den ultrason destekli hidroalkol ekstraksiyonunda 70 dakikadan fazla ekstraksiyon süresinin flavonoid miktarında azalma ile sonuçlandığı Huang ve ark. (2009) tarafından da bildirilmiştir.

Konvansiyonel yöntemle yeşil cevizden ekstrakte edilen fenolik bileşikler ise Çizelge 2’de gösterilmiştir. Ekstraktlardaki juglon, gallik asit, neoklorojenik asit ve rutin miktarları sırasıyla 1.05-13.14, 4.07-103.08, 5.92-73.89 ve 3.86-13.59 mg/kg arasında değişmiştir. Juglon, gallik asit, neoklorojenik asit ve rutin içeriği açısından ekstraksiyon süreleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Konvansiyonel yöntemle elde edilen ekstraktlarda sürenin artmasıyla suya geçen fenolik bileşiklerin de miktarı artmıştır. %100 ultrason genliği uygulanarak 50. dakikada elde edilen ekstrakttaki juglon miktarı, klasik ekstraksiyon yöntemi ile yaklaşık 1200 dk da elde edilen juglon miktarına denk gelmektedir. Gallik asit, neoklorojenik asit ve rutin miktarları ise konvansiyonel yöntemin ilk örnekleme olan 120. dk’dan itibaren ultrason destekli ekstraksiyondan elde edilen miktarlardan yüksek bulunmuştur. Bu durumun ultrason destekli ekstraksiyonda bu bileşiklerin ultrason etkisiyle bozulmasından ve/veya klasik ekstraksiyonun uzun ekstraksiyon süresinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer durum melisa bitkisinden fenolik bileşiklerin ekstrakte edildiği çalışmada kateşin, şiringik asit, p-kumarik asit, rosmaririk asit miktarlarının ultrasonik ekstraksiyona kıyasla maserasyon uygulanmış örneklerde daha yüksek bulunduğu bildirilmiştir (İnce ve ark., 2013). Başka bir çalışmada siyah akasya (*Robinia pseudoacaciae*) çiçeklerinden fenolik bileşiklerin ekstraksiyonu için ultrason destekli ekstraksiyon, soxhlet ve konvansiyonel ekstraksiyon yöntemleri kullanılmıştır. Araştırmada fenolik bileşiklerin ekstraksiyonunda ultrason destekli ekstraksiyonun daha kısa ekstraksiyon süresi ile daha yüksek toplam fenolik içerik ve daha iyi antioksidan aktivite verdiği bildirilmiştir (Gajic ve ark., 2019).

Çizelge 1. %100 ultrason genliğine ait yeşil ceviz ekstraktlarının fenolik bileşik içerikleri (mg/kg)

Süre (dk)	Juglon	Gallik Asit	Neoklorojenik Asit	Rutin
10	0.02 ± 0.0 ^e	1.35 ± 0.05 ^b	4.90 ± 1.70 ^c	0.49 ± 0.04 ^b
20	0.97 ± 0.11 ^d	2.80 ± 0.08 ^b	7.41 ± 2.25 ^c	1.53 ± 0.05 ^{ab}
30	2.07 ± 0.41 ^c	4.27 ± 0.53 ^b	8.95 ± 2.52 ^{bc}	1.72 ± 0.26 ^{ab}
40	7.11 ± 0.14 ^b	5.11 ± 1.06 ^b	9.56 ± 2.25 ^{bc}	2.13 ± 0.86 ^a
50	12.63 ± 0.09 ^a	12.74 ± 4.32 ^a	18.28 ± 4.04 ^a	2.17 ± 0.69 ^a
60	6.66 ± 0.39 ^b	12.34 ± 1.86 ^a	13.20 ± 1.72 ^b	2.08 ± 0.82 ^a

Sonuçlar ortalama ± standart sapma şeklinde verilmiştir. Küçük harfler aynı sütundaki örnekler arasındaki farkı göstermektedir ($p<0.05$).

Çizelge 2. Konvansiyonel yöntemle ait yeşil ceviz ekstraktlarının fenolik bileşik içerikleri (mg/kg)

Süre (dk)	Juglon	Gallik Asit	Neoklorojenik Asit	Rutin
120	1.05 ± 0.29 ^c	4.07 ± 1.38 ^f	5.92 ± 1.08 ^e	3.86 ± 0.08 ^c
240	1.46 ± 0.60 ^c	6.66 ± 2.44 ^f	7.25 ± 1.16 ^e	4.64 ± 0.81 ^c
360	2.31 ± 0.91 ^c	16.16 ± 2.73 ^e	11.88 ± 1.77 ^{de}	5.20 ± 0.46 ^c
480	3.10 ± 1.01 ^c	28.84 ± 1.19 ^d	20.56 ± 1.73 ^d	6.23 ± 0.82 ^c
720	3.93 ± 1.26 ^c	47.55 ± 5.71 ^c	35.09 ± 4.24 ^c	8.84 ± 1.22 ^b
960	8.25 ± 0.51 ^b	77.56 ± 1.77 ^b	54.21 ± 5.14 ^b	12.64 ± 2.04 ^a
1200	13.14 ± 2.72 ^a	103.08 ± 3.84 ^a	73.89 ± 7.94 ^a	13.59 ± 0.80 ^a

Sonuçlar ortalama ± standart sapma şeklinde verilmiştir. Küçük harfler aynı sütundaki örnekler arasındaki farkı göstermektedir (p<0.05).

4. Sonuç

Fenolik bileşikler insan sağlığı üzerine olumlu etkileri nedeniyle son yıllarda ilgi odağı olmuş ve kozmetik, eczacılık ve gıda endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada, yeşil cevizden fenolik bileşiklerin ekstraksiyonu için ultrason destekli ekstraksiyon ile konvansiyonel ekstraksiyon tekniklerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Hem ultrason destekli hem de konvansiyonel ekstraksiyonda artan ekstraksiyon süresi ile toplam fenolik madde de bir artış olduğunu göstermektedir. Ayrıca ultrason destekli ekstraksiyonda ultrason genliğindeki artışın fenolik madde içeriğinin artmasına katkıda bulunduğu ve en iyi toplam fenolik madde ekstraksiyonunun, %100 ultrason genliği kullanımıyla elde edildiği görülmüştür. Buna karşın 50. dakikadan sonra bireysel fenolik bileşiklerde kayıplar yaşandığı tespit edilmiştir. Konvansiyonel ekstraksiyon uzun sürmesine karşılık analiz edilen bileşiklerde belirgin bir bozunma olmadığı için juglon hariç daha yüksek toplam ve bireysel fenolik bileşik değerlerine ulaşılmaktadır. Sonuç olarak konvansiyonel yöntemle alternatif olarak ultrason yönteminin kullanılması daha verimli bir şekilde fenolik madde elde edilmesinde kullanılabileceği düşünülmektedir.

Kaynakça

- Altemimi, A., Watson D. G., Choudhary, R., Dasari, M. R., & Lightfoot, D. A. (2016). Ultrasound assisted extraction of phenolic compounds from peaches and pumpkins. *PLoS ONE*, 11(2), e0148758. doi:10.1371/journal.pone.0148758
- Baltacıoğlu, H., Şahin, E. M., & Karadağ, E. D. (2019). Şeftali posasından ultrason ve mikrodalga destekli ekstraksiyon yöntemleriyle fenolik bileşiklerin eldesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2), 875-881. doi:10.28948/ngumuh.570250
- Carrera, C., Ruiz-Rodríguez, A., Palma, M., & Barroso, C. G. (2012). Ultrasound assisted extraction of phenolic compounds from grapes. *Analytica Chimica Acta*, 732, 100-104. doi:10.1016/j.aca.2011.11.032
- Colaric, M., Veberic, R., Solar, A., Hudina, M., & Stampar, F. (2005). Phenolic acids, syringaldehyde, and juglone in fruits of different cultivars of *Juglans regia* L. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(16), 6390-6396. doi:10.1021/jf050721n
- Cosmulescu, S., Trandafir, I., Achim, G., Botu, M., Baci, A., & Gruia, M. (2010). Phenolics of green husk in mature walnut fruits. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 38(1), 53-56. doi:10.15835/nbha3814624
- Cosmulescu, S., Trandafir, I., & Nour, V. (2014). Seasonal variation of the main individual phenolics and juglone in walnut (*Juglans regia*) leaves. *Pharmaceutical Biology*, 52, 575-580. doi:10.3109/13880209.2013.853813
- Gajic, I. S., Savic, I., Boskov, I., Žerajić, S., Markovic, I., & Gajic, D. (2019). Optimization of ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from black locust (*Robinia Pseudoacaciae*) flowers and comparison with conventional methods. *Antioxidants*, 8(8), 248. doi:10.3390/antiox8080248

- Huang, W., Xue, A., Niu, H., Jia, Z., & Wang, J. (2009). Optimised ultrasonic-assisted extraction of flavonoids from *Folium eucommiae* and evaluation of antioxidant activity in multitest systems in vitro. *Food Chemistry*, 114(3), 1147-1154. doi:10.1016/j.foodchem.2008.10.079
- İnce, A. E., Şahin, S., & Şümnü, S. G. (2013). Extraction of phenolic compounds from melissa using microwave and ultrasound. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37(1), 69-75. doi:10.3906/tar-1201-1
- Jakopic, J., Colaric, M., Veberic, R., Hudina, M., Solar, A., & Stampar, F. (2007). How much do cultivar and preparation time influence on phenolics content in walnut liqueur? *Food Chemistry*, 104(1), 100-105. doi:10.1016/j.foodchem.2006.11.008
- Nour, V., Trandafir, I., & Cosmulescu, S. (2016). Optimization of ultrasound-assisted hydroalcoholic extraction of phenolic compounds from walnut leaves using response surface methodology. *Pharmaceutical Biology*, 54(10), 2176-2187. doi:10.3109/13880209.2016.1150303
- Oliveira, I., Sousa, A., Ferreira, I. C. F. R., Bento, A., Estevinho, L., & Pereira, J. A. (2008). Total phenols, antioxidant potential and antimicrobial activity of walnut (*Juglans regia* L.) green husks. *Food and Chemical Toxicology*, 46(7), 2326-2331. doi:10.1016/j.fct.2008.03.017
- Rodrigues, S., & Fernandes F. A. N. (2009). Ultrasound-assisted extraction. *Stewart Postharvest Review*, 5(5), 1-11. doi:10.2212/spr.2009.5.1
- Rosa, R., Tassi, L., Orteca, G., Saladini, M., Villa, C., Veronesi, P., Leonelli, C., & Ferrari, E. (2017). Process intensification by experimental design application to microwave-assisted extraction of phenolic compounds from *Juglans regia* L.. *Food Analytical Methods*, 10, 575-586. doi:10.1007/s12161-016-0624-1
- Rostagno, M. A., Palma, M., & Barroso, C. G. (2003). Ultrasound-assisted extraction of soy isoflavones. *Journal of Chromatography A*, 1012(2), 119-128. doi:10.1016/S0021-9673(03)01184-1
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144-58.
- Solar, A., Jakopic, J., Miklavc, J., Stampar, F., Veberic, R., & Trdan, S. (2019). Walnut husk fly substantially affects sensory attributes and phenolic contents of the kernels in common walnut. *Scientia Horticulturae*, 247, 17-26. doi:10.1016/j.scienta.2018.11.078
- Stampar, F., Solar, A., Hudina, M., Veberic, R., & Colaric, M. (2006). Traditional walnut liqueur – cocktail of phenolics. *Food Chemistry*, 95(4), 627-631. doi:10.1016/j.foodchem.2005.01.035
- Um, M., Han, T. H., & Lee, J. W. (2018). Ultrasound-assisted extraction and antioxidant activity of phenolic and flavonoid compounds and ascorbic acid from rugosa rose (*Rosa rugosa* Thunb.) fruit. *Food Science and Biotechnology*, 27(2), 375-382. doi:10.1007/s10068-017-0247-3
- Vieira, V., Pereira, C., Pires, T. C. S. P., Calhelha, R. C., Alves, M. J., Ferreira, O., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2019). Phenolic profile, antioxidant and antibacterial properties of *Juglans regia* L. (walnut) leaves from the Northeast of Portugal. *Industrial Crops & Products*, 134, 347-355. doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.020
- Wang, L., & Weller, C. L. (2006). Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends in Food Science & Technology*, 17(6), 300-312. doi:10.1016/j.tifs.2005.12.004
- Xu, D. P., Zheng, J., Zhou, Y., Li, Y., Li, S., & Li, H. B. (2017). Ultrasound-assisted extraction of natural antioxidants from the flower of *Limonium sinuatum*: Optimization and comparison with conventional methods. *Food Chemistry*, 217, 552-559. doi:10.1016/j.foodchem.2016.09.013



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

***Agelena orientalis* (Araneae: Agelenidae: Ageleninae) Huni Ağ Örümceğinin Ağ Yapısı ve Örü Aygıtının Morfolojisi #**

Nazife YİĞİT KAYHAN¹, İlkay ÇORAK ÖCAL^{*2}, Ümmügülsüm Hanife AKTAŞ³

¹ Kırıkkale Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 71450, Kırıkkale, Türkiye

² Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 18100, Çankırı, Türkiye

³ Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, 71450, Kırıkkale, Türkiye

Nazife YİĞİT KAYHAN, [ORCID No: 0000-0002-8731-3362](https://orcid.org/0000-0002-8731-3362), İlkay ÇORAK ÖCAL, [ORCID No: 0000-0003-1479-2697](https://orcid.org/0000-0003-1479-2697), Ümmügülsüm Hanife AKTAŞ, [ORCID No: 0000-0002-3317-0589](https://orcid.org/0000-0002-3317-0589)

*Sorumlu yazar e-posta: corakilkay@yahoo.com

Makale Bilgileri

Geliş: 16.06.2022

Kabul: 09.11.2022

Online Nisan 2023

DOI: [10.53433/yyufbed.1130015](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1130015)

Anahtar Kelimeler

Agelena orientalis,

Ağ,

Huni ağ örücü,

Örü aygıtı,

Örü memeleri,

Spigot

Öz: Örümceklerin ağ yapma özelliği çok eski yıllardan beri insanoğlunu etkilemiştir. Ancak bütün örümcekler ağ örmezler. Örümcekler ağ örme yeteneklerini örü aygıtlarına sahip olmalarına borçludur. Örü aygıtı ipek salgısını üreten ağ bezleri ve bu bezlere bağlı örü memelerinden oluşmaktadır. Örü memeleri, ipeğin çıkartılması ve iplik haline getirilerek işlenmesi için kullanılmaktadır. Örümceklerin ağları çok dikkat çekse de örü aygıtları hakkında çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada, oldukça dikkat çekici ağ yapısına sahip olan *Agelena orientalis* (C.L. Koch, 1837) huni ağ örümceğinin ağ yapısı ve ağ örme aygıtının morfolojisi taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile çalışılmıştır. Çalışmamızda, *A. orientalis*'in ağ yapısı, örü memeleri ve spigotların yapısı gösterilmiş ve elde edilen veriler tartışılmıştır.

***Agelena orientalis* Funnel Web Spider's Web Structure and Morphology of the Web Spinning Apparatus (Araneae: Agelenidae: Ageleninae)**

Article Info

Received: 16.06.2022

Accepted: 09.11.2022

Online April 2023

DOI: [10.53433/yyufbed.1130015](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1130015)

Keywords

Agelena orientalis

Funnel web spiders,

Spigot,

Spinneret,

The spinning apparatus,

Web

Abstract: The web-spinning activity feature of spiders has affected human beings since ancient times. But not all spiders spin webs. Spiders owe their web-spinning abilities to their possession of spinning apparatus. The spinning apparatus consists of silk glands producing silk secretion and spinnerets attached to these glands. The spinnerets and spigots are used for extracting the silk and processing it by turning it into silk fibers. Although spider webs attract a lot of attention, there are not many studies on spinning apparatus. In this study, the web structure of the funnel web spider *Agelena orientalis* (C.L. Koch, 1837), which has a very remarkable network structure, and the structural organization of the web spinning apparatus were studied using scanning electron microscopy (SEM). In our study, the web structure, arrangement of spinnerets and spigots of *A. orientalis* were shown and the obtained data were discussed in the light of the literature.

Bu makale, üçüncü yazarın yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

1. Giriş

Örümcekler, kara yaşamına çok iyi uyum sağlamış canlılardır. Örümceklere tropikal ormanlarda, deniz kıyılarında, kanyonlarda, vadilerde, göllerde, çöllerde, alpin bölgelerde, dağların zirvelerinde ve hatta şehirlerde rastlamak mümkündür. Bazı örümcek türleri ağlar üzerinde yaşarken bazı türler ise tamamen ağdan bağımsız olarak yaşarlar. Örümcek ağları familyalara göre farklılık gösterir (Foelix, 2011). Fakat bütün örümcekler ağ örmezler. Örümcek ağları, avlanmada, yuva yapımında, kokon yapımında, sperm keselerinin yapımında ve bir yerden diğer yere taşınma gibi işlemlerde kullanılır (Sutherland ve ark., 2010). Opisthosomada yer alan örü aygıtı ipek salgısını üreten ağ bezleri ve bu bezlere bağlı örü memelerinden oluşmaktadır. Örü memeleri ipeğin çıkartılması, iplik haline getirilerek işlenmesi için kullanılmaktadır (Sutherland ve ark., 2010).

Ağın hammaddesi ipek, ağ bezlerinden salgılanır. Örümceklerde birbirinden farklı ağ bezleri bulunur. Bütün iplikler protein yapısındadır ve fibrin şeklindedir. Ağ bezlerinin içerisinde sıvı halde bulunan ipek hava ile temas edince katılaştır. Katılaştıran ipek oldukça elastik ve sağlam bir maddeye dönüşür. Ağ'ın aminoasit dağılımı ağın değişik kısımlarında farklıdır. Kokon, ağ veya yuva içinde kullanılan ipeğin farklı aminoasitler içerdiği tespit edilmiştir (Foelix, 2011; Hilbrant & Damen, 2015).

Her bir ağ bezi kendine özgü ipek salgılar ve bu ipekler farklı görevler için kullanılır. Örneğin; Agregat bez salgısı yapışkan madde yapımında, Tübüliform bez sıvıları ise kokon oluşumunda kullanılmaktadır (Pechmann ve ark., 2010).

Bazı örümceklerde dördüncü yürüme bacaklarının metatarsus dorsalinde cribellum adını alan bir veya iki sıra diken dizisi bulunur. Cribellum bulunduran örümceklerde, opisthosoma'da ağ memelerinin hemen ön tarafında cribellum adını alan kalbur görünümünde özel bir organ daha vardır. Cribellum, ağ memelerine oranla daha ince ve daha kaliteli ipek iplikleri üretir. Kalbur görünümünde olan bu organ, bazı türlerde orta yerinden boyuna bir plaka ile 2'ye bölünmüştür. Cribellum'u olmayan örümceklerde ağ memelerinin hemen ön tarafında kolulus adı verilen, kıllarla donatılmış küçük bir tuberkül yer alır. Bazı türlerde kolulus olmayabilir veya bu yapıyı görmek zor olabilir. Ağ memeleri kıllarla donatılmıştır. Bu memelerin ilginç yönü, tek bir açıklığa değil, her bir memenin uç kısmında cribellum benzeri kalbursu yapının varlığıdır. Bazı türlerde her bir ağ memesinin uç kısmında 100 kadar spigot bulunduğu tespit edilmiştir. Spigotlar çok farklı şekil ve sayılarda olabilirler. Cribellumlar ile demet veya levha şeklinde iplikler oluşturulurken, ağ memeleri ile çoğunlukla halat şeklinde birbirine dolanmış, dinamik yüksek iplikler oluşturulur. Ağ memelerinin hemen gerisinde yani opisthosomanın son ucunda ise anal tuberkül (anüs) yer almıştır (Pechmann ve ark., 2010).

Agelenidae C.L. Koch, 1837 familyası, 90 cinsle 1366 tür ile temsil edilen oldukça büyük bir familyadır (World Spider Catalog, 2022). Dünya üzerinde nispeten geniş bir yayılışa sahip olan Agelenidlerin taksonomisi batı ve doğu Paleartik coğrafyalarda iyi çalışılmıştır (Wang & Zhang, 2018). Ancak iyi bir ağ örücü olan bu örümceklerin ağ yapısı ve örü aygıtlarına ait fazla çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada, *A. orientalis*'in ağ yapısı, örü memeleri ve spigotların yapısı gösterilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Araştırmada kullanılan örümcekler 2017 yılının Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında, Kırıkkale'nin Yahşihan ilçesindeki Kırıkkale Üniversitesi kampüsünden toplanmıştır. Canlı olarak laboratuvara getirilen örümceklerin tür teşhisleri yapılmıştır (Şekil 1). Daha sonra hazırlanan plastik kaplardaki bireysel yaşam ortamlarına konulmuş ve ağ örmeleri beklenmiştir. Özellikle çok ince olan ağları daha belirgin hale getirmek için bir sprey yardımıyla ağlar üzerine su püskürtülmüştür. Bu şekilde nem ağ ipeklerinin az da olsa genişlemesine sebep olmuştur.

Taramalı elektron mikroskop (SEM) için ağ örnekleri toplanmıştır. Toplanan ağ örnekleri alüminyum staplar üzerine karbon bantlar ile yapıştırıldı. Polaron SC-500 model kaplama cihazında altın ile kaplanan (1.8 kV ve 6 mA' de 2-3 dk) örnekler Jeol JSM-5600 SEM cihazında mikrofotograflandı.

Örümceklerin örü aygıtının bulunduğu abdomenin son kısmı Leica S8 Apo Marka stereo ışık mikroskobuna bağlı Leica DC 160 fotoğraf makinası kullanılmıştır. Stereo mikroskop altında kesilen abdomenin son kısmı, daha sonra dehidrasyon aşaması için artan konsantrasyonlarda etanol ile muamele edilmiştir. Daha sonra havada kurutulan abdomen parçaları SEM de inceleme yapmak için alüminyum

şaplar üzerine yerleştirildi. Polaron SC-500 model kaplama cihazında altın ile kaplanan (1.8 kV ve 6 mA' de 2-3 dk) örnekler Jeol JSM-5600 SEM cihazında mikrofotograflanmıştı.



Şekil 1. *A. orientalis*. A. Dorsal görünüm, B. Ventral görünüm.

3. Bulgular

A. orientalis'e ait bireylerin ağaçların ya da çalılıkların toprağa yakın kısımlarında veya özellikle çam ağaçlarının dalları arasında geniş, 3-4 delikten oluşan ağlar ördükleri görülmüştür. Örümceğin bu deliklerden birisinin içinde bulunduğu gözlemlenmiştir (Şekil 2).

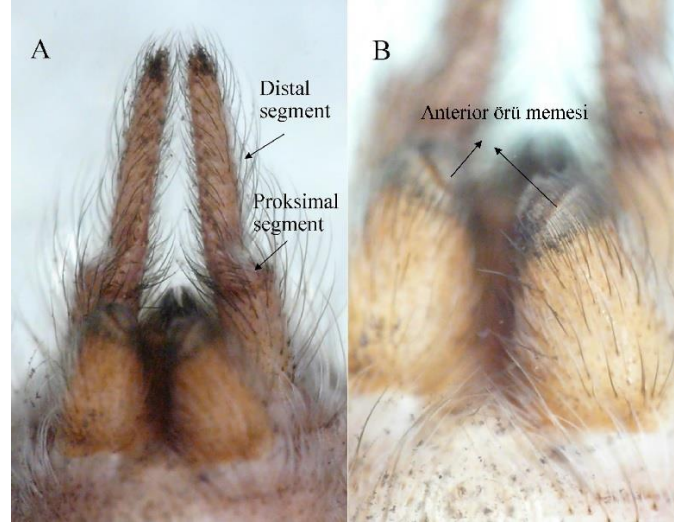


Şekil 2. Doğadaki *A. orientalis*'in ağ üzerindeki görüntüsü.

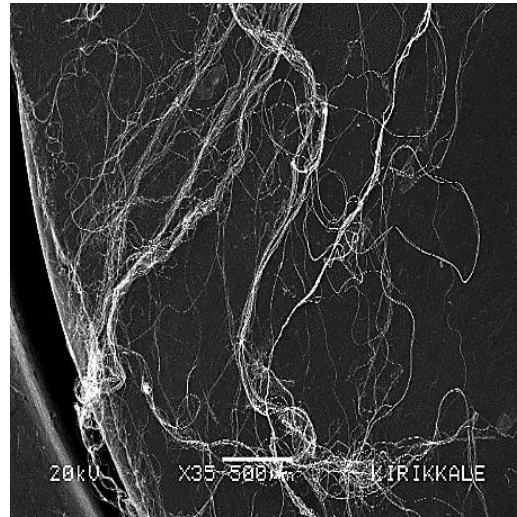
Örü memeleri, tür özelliklerine uygun olarak abdomenin ventral arka ucunda yer almaktadır. Örü aparatı bir çift anterior (ön), bir çift medyan (orta) ve bir çift posterior (arka) olmak üzere 3 çift örü memesinden oluşmaktadır. Posterior örü memelerinin anterior ve medyan örü memelerine göre çok daha uzun olması dikkat çekmiştir. Posterior örü memelerinin iki segmentten oluştuğu görülmüştür. Distal segmentin proksimal segmentten daha ince ve uzun olduğu görülmüştür (Şekil 3).

Çıplak gözle bakıldığında *A. orientalis* ağının tek düze bir yapısına sahip olduğu görülmüştür. Ancak SEM'de incelendiğinde ağın yoğun ve karmaşık bir yapıda olduğu görülmüştür. Daha yüksek büyütmede ise en az üç farklı kalınlıkta ipek fibrillerinin olduğu görülmüştür. Aynı büyütmede ağın başka bir bölümü incelendiğinde ise ağ fibrillerinin daha kıvrımlı yapıda olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4).

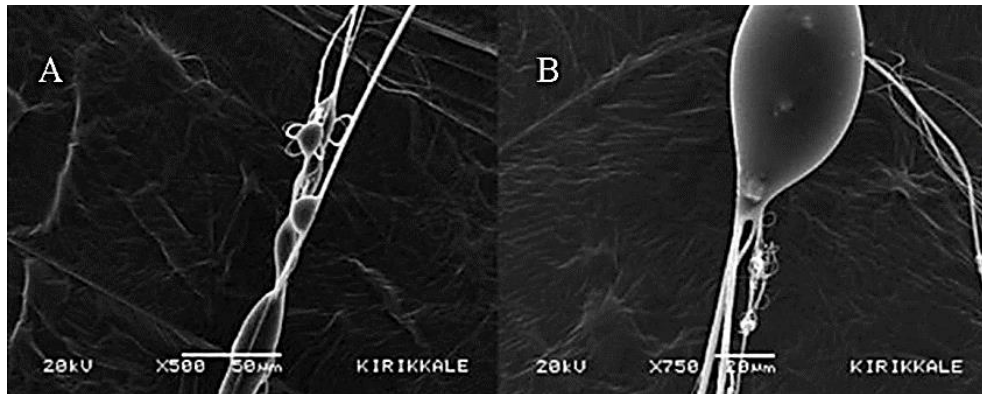
A. orientalis'in ağının farklı kısımları incelendiğinde, iplikli yapılar üzerinde düzensiz aralıklarla konumlanmış şişkin yapılar gözlemlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 3. Örü memelerinin ventralden görünüşü, A. Posterior örü memeleri iki segmentten oluşur. B. Anterior örü memesi.

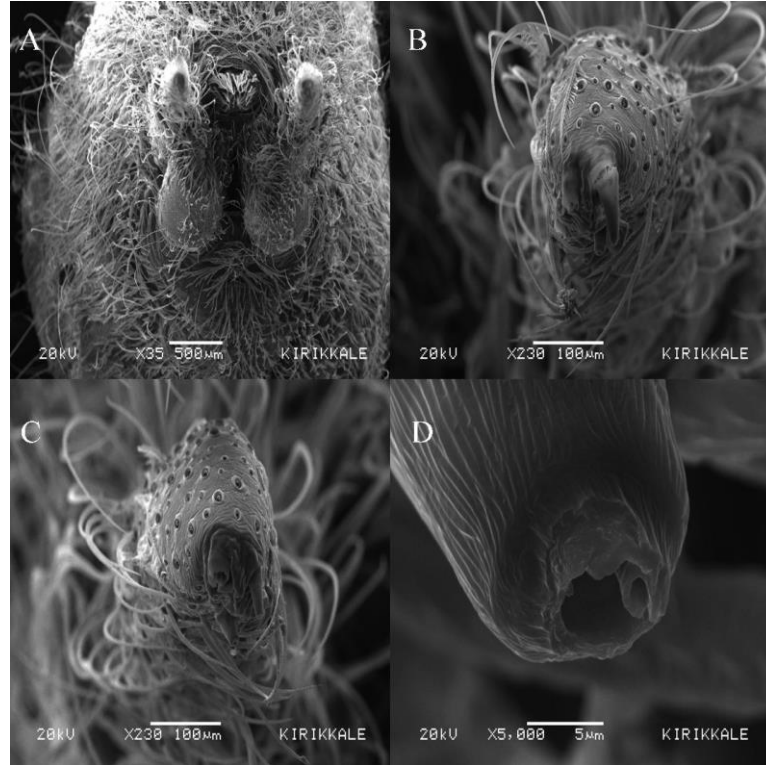


Şekil 4. *A. orientalis*'in ağının ipek fibrillerine ait SEM görüntüleri.



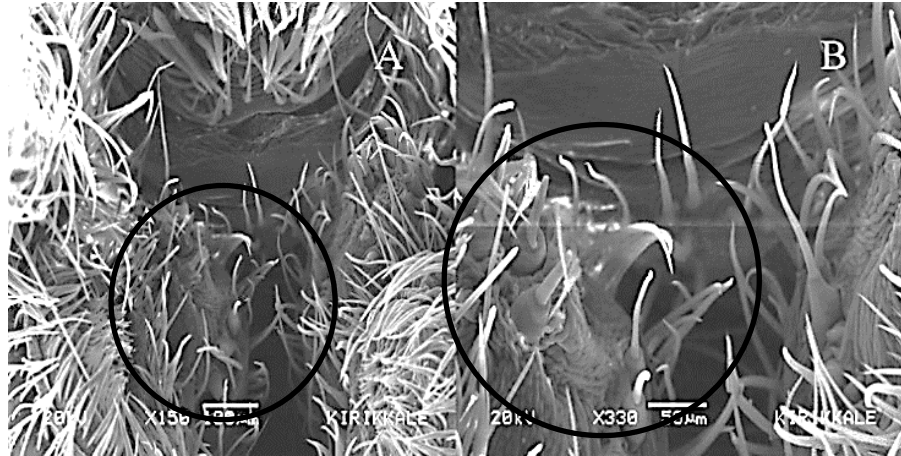
Şekil 5. A. Fibrillerin SEM görüntüsü, B. Fibriller üzerinde bulunan yapışkan damlalar.

Posterior örü memeleri anterior ve medyan örü memelerine kıyasla daha uzun olup uç kısımda yer alan örü alanı görülmüştür. Örü alanında üç adet spigot (örü memeciği) ve spigotun uç kısmında ise bir açıklık dikkat çekmektedir (Şekil 6).



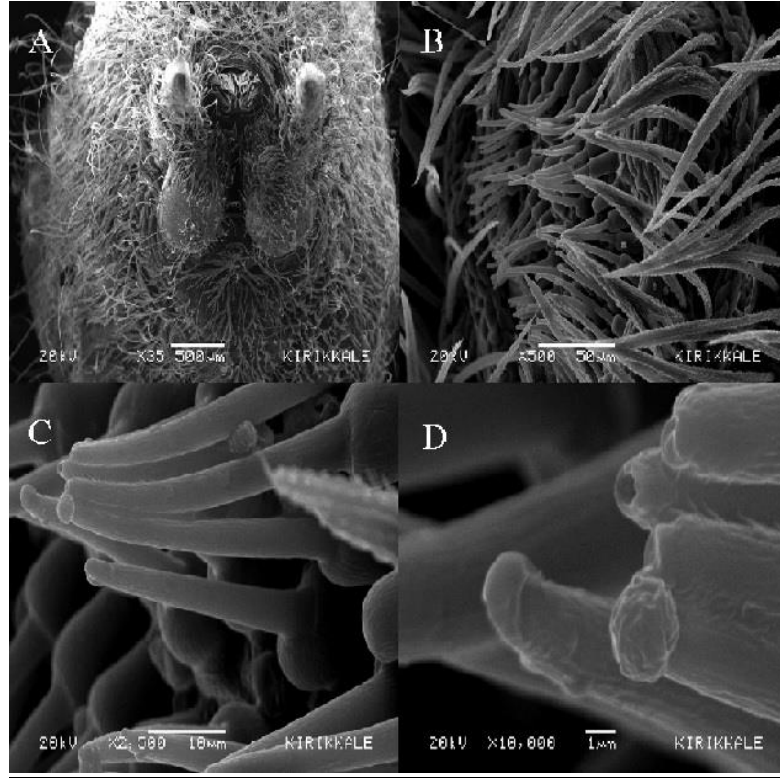
Şekil 6. A. *orientalis* örü memelerinin SEM görüntüleri, A. Genel görünüm, B. Posterior örü memesi, C. Üçlü spigot yapısı, D. Tekli spigot yapısı ve uç kısmında konumlanmış açıklık.

A. orientalis'in median örü memeleri posterior ve anterior örü memeleri arasında kaldığı için SEM'de çok net bir şekilde gözlenememiştir. Median örü memelerinin örü alanının posterior örü alanına göre daha geniş olduğu ve daha fazla sayıda spigot içerdiği gözlemlenmiştir (Şekil 7).

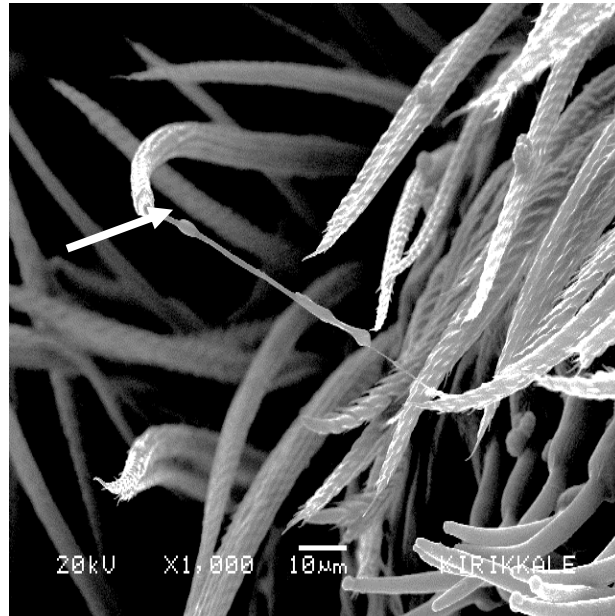


Şekil 7. A. *A. orientalis*'in median örü memelerinin görüntüsü, B. Yüksek büyütmede median örü memelerinin görüntüsü.

Anterior örü alanı, geniş bir yüzeye sahip olup diğer örü memelerine kıyasla daha fazla sayıda spigot içermektedir. Spigotların bazal kısmı kalın, uç kısma doğru incelen bir şekle sahiptir. Uç kısımlarındaki açıklık bazı spigotlarda kolaylıkla görüldüğü halde diğerlerinde kapalı olduğu gözlemlenmiştir. Kapalı olanların üzerinde ve yakınında ipek salgısı görülmüştür (Şekil 8-9).



Şekil 8. *A. orientalis*'in anterior örü memelerinin görüntüsü. B. Anterior örü memesinin örü alanını donatan spigotlar, C, D. Daha yüksek büyütmelerde spigotlar ve açıklığı.

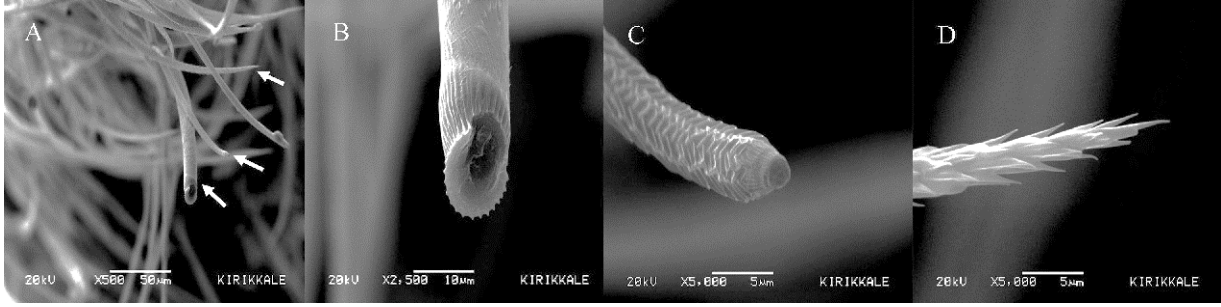


Şekil 9. İpek salgısının spigottan çıkışı (ok).

A. orientalis'in örü memeleri SEM'de incelendiğinde, örü memelerinin her birinin abdomen gibi yoğun bir şekilde setalarla kaplı olduğu gözlemlenmiştir. İpek salgı bezlerinde oluşturulan ipek salgısı örü memelerinden dışarı verilir. Her bir örü memelerinin distal kısımları incelendiğinde örü alanı olarak belirtilen bu kısımların özel tiplerde örü tüpleri (spigot/spool) ile donatıldığı görüldü.

Örü memelerinin uç kısmındaki örü alanındaki spigotlara ilave olarak üç farklı tipte seta yapısı gözlemlenmiştir. Bunlardan birincisi; içlerinde en kalın olanı ve uç kısmında krater şeklinde bir açıklık

olan kıllar, ikincisi birincisinden daha ince, üzerinde düzenli kütikular desen olan ve uç kısmı daha sivri ve kapalı olan tiptir. Üçüncüsü ise başak benzeri bir yapıya sahip olup üzerinde küçük epikutikular çıkıntılar bulunduran çeşittir (Şekil 10).



Şekil 10. Spigotları yakınındaki üç farklı seta yapısı. A. Spigot ektrafındaki üç farklı morfolojideki seta yapısı, B. Birinci tip seta, C. ikinci seta, D. Üçüncü tip seta.

4. Tartışma ve Sonuç

Örümcekler ve çevreleri arasındaki iletişim ağları aracılığı ile olduğundan dolayı (Peters, 1987), örü aygıtının morfolojik yapısı evrimsel süreçte canlıyı doğada başarılı kılma adına iyileşmiştir. Örümcek ağları doğada zor elde edildiği için ekonomik değildir. Bazı örümcek ağları (Araneidae), biyomedikal ve mekanik özelliklerinden dolayı teknolojide kullanılmaktadır. Örümcek ağları, birkaç santimetre ya da birkaç metre uzunlukta olabilir.

A. orientalis türü örümceklerin ağlarını barınak, avları için tuzak ve kokon olarak kullandıkları gözlenmiştir. Bu bulgular literatür verileri ile uyumludur (Jocque & Dippenaar-Schoeman, 2006).

İpek üretme aygıtları; örü bezleri, örü memeleri ve üzerinde bulunan farklı sayı ve morfolojide spigotlar içermektedir. İpek bezlerde üretilir ve örü memeleri ve spigotlar sayesinde iplik şeklinde şekillendirilir. Dolayısı ile farklı örü memeleri değişik tip ve kalınlıktaki ipeklerin çıkartıldığı spigotlardan oluşmaktadır (Peters, 1987; Shear, 1994; Mariano-Martins ve ark., 2020).

A. orientalis'in örü memelerinin morfolojik özellikleri daha önce bildirilen diğer örümceklerinkine benzer modelde görülmüştür. *A. orientalis* türünde iki farklı tip spigot gözlemlenmiştir. Bunlar büyük spigotlar ve çok sayıda küçük spigotlardır.

SEM ile yapılan çalışmada, spigotların morfolojik olarak dört farklı çeşidinin varlığı gözlemlenmiştir. Ergin örneklerin örü memelerinin ve spigotların dağılımlarının benzer mikroyapıya sahip olduğu da başka bir çalışmada rapor edilmiştir (Karschova & Hajer, 2016).

A. orientalis'in ağının farklı kısımları incelendiğinde, ağ yapısında sadece ipek fibrillerin olmadığı görülmüş ve yer yer fibriller üzerinde yapışkan madde olduğunu düşündüğümüz damlalar gözlemlenmiştir. Bu damlaların ağın şekillendirilmesinde ve avların yakalanmasında aktif rol oynadığı düşünülmektedir. Bu bilginin Opell & Hendricks (2009 ve 2010) 'in çalışmaları ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Bazı örümceklerin avlanırken ağlarını kullanmadıkları gözlemlenmiştir. Gezerek avlanan örümcekler, günün her saati avlanabildikleri için yakalama iplikleri oluşturmazlar. Dolayısı ile bu bezler evrimleşmemiştir. Elde edilen verilere göre örümceklerin avlanma davranışları ağın şekli ve kalitesi hakkında önemli ipuçları vermektedir.

Bu çalışmada, birçok özelliği tam olarak keşfedilmemiş olan örümcek ağlarının ve bu ağları örme için kullandıkları yapıların sırrı aralanmaya çalışılmıştır. Ayrıca ağ örme aygıtının morfolojik yapısı kısmen aydınlatılmaya çalışılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programı'ndan Ümmügülüm Hanife AKTAŞ tarafından, Prof. Dr. Nazife YİĞİT KAYHAN danışmanlığında tamamlanan Yüksek Lisans Tezinin bir bölümünden üretilmiştir.

Kaynakça

- Foelix, R. (2011). *Biology of Spiders*. New York, USA: Oxford University Press.
- Hilbrant, M., & Damen, W. G. M. (2015). The embryonic origin of the ampullate silk glands of the spider *Cupiennius salei*. *Arthropod Structure & Development*, 44(3), 280-288. doi:10.1016/j.asd.2015.04.001
- Jocque, R., & Dippenaar-Schoeman, A. S. (2006). *Spider Families of the World*, (2nd Ed). Tervuren, Belgium: Royal Museum for Central Africa.
- Karschova, S., & Hajer, J. (2016). Spinnerets and silk-producing system of *Segestria senoculata* (Araneae, Araneomorphae, Segestriidae). *Journal of Entomological and Acarological Research*, 48(3), 388-394. doi:10.4081/jear.2016.5934
- Mariano-Martins, P., Lo-Man-Hung, N., & Torres, T. T. (2020). Evolution of spiders and silk spinning: Mini review of the morphology, evolution, and development of spiders' spinnerets. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8, 109. doi:10.3389/fevo.2020.00109
- Opell, B. D., & Hendricks, M. L. (2009). The adhesive delivery system of viscous capture threads spun by orb-weaving spiders. *Journal of Experimental Biology*, 212(18), 3026-3034. doi:10.1242/jeb.030064
- Opell, B. D., & Hendricks, M. L. (2010). The role of granules within viscous capture threads of orb-weaving spiders. *Journal of Experimental Biology*, 213(2), 339-346. doi:10.1242/jeb.036947
- Pechmann, M., Khadjeh, S., Sprenger, F., & Prpic, N. M. (2010). Patterning mechanisms and morphological diversity of spider appendages and their importance for spider evolution. *Arthropod Structure & Development*, 39(6), 453-467. doi:10.1016/j.asd.2010.07.007
- Peters, H. M. (1987). Fine Structure and Function of Capture Threads. In W. Nentwig (Ed.), *Ecophysiology of Spiders* (pp. 187-202). Berlin, Germany: Springer, Berlin, Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-71552-5_13
- Shear, W. A. (1994). Untangling the evolution of the web. *American Scientist*, 82(3), 256-266.
- Sutherland, T. D., Young, J. H., Weisman, S., Hayashi, C. Y., & Merritt, D. J. (2010). Insect silk: One name, many materials. *Annual Review of Entomology*, 55, 171-188. doi:10.1146/annurev-ento-112408-085401
- Wang, Y. C., & Zhang, Z. S. (2018). *Draconarius manus* sp. nov., the third species of *D. pseudocoreanus*-group from China (Araneae: Agelenidae). *Zootaxa*, 4418(4), 397-400. doi:10.11646/zootaxa.4418.4.7
- World Spider Catalog. (2022). World spider catalog. Version 23.0. Natural History Museum Bern. <http://wsc.nmbe.ch> Erişim tarihi: 06.04.2022.



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

WHAM H α Verileri Kullanılarak NGC 7822 (Sh2-171) HII Bölgesinin İncelenmesi

Muhittin ŞAHAN*

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 80000, Osmaniye, Türkiye
Muhittin ŞAHAN, ORCID No: 0000-0001-6716-8463

*Sorumlu yazar e-posta: muhittinsahan@osmaniye.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 13.06.2022
Kabul: 14.11.2022
Online Nisan 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1129415

Anahtar Kelimeler

Fabry-Perot tayfölçeri,
HII bölgeleri,
NGC 7822 (Sh2-171)
Sıcak iyonize ortam,
Yıldızlararası ortam

Öz: Bu çalışmada, Wisconsin H-Alpha Mapper (WHAM) verileri kullanılarak NGC 7822 HII bölgesinin (Sh2-171, W1) $4^{\circ} \times 4^{\circ}$ lik çevresinden ($l=116^{\circ}.10 < l < 120^{\circ}.03$, $3^{\circ}.39 < b < 6^{\circ}.79$) 1° görüş alanlı on dokuz tane H α çizgi tayfının genel özellikleri araştırıldı. Elde edilen tayflar, HII bölgesindeki gazın I $_{H\alpha}$ şiddetleri, V_{LSR} hızları ve FWHM çizgi genişlikleri hakkında detaylı bilgiler vermektedir. H α yayılım çizgilerinin I $_{H\alpha}$, V_{LSR} ve FWHM değerleri sırasıyla $7.63 \pm 0.16 R$ ile $130.78 \pm 3.8 R$ (ortalama $37.24 \pm 0.99 R$, $EM=17.08 \pm 0.35 - 292.90 \pm 8.51 cm^{-6} pc$), $-13.78 \pm 0.31 km/s$ ile $-6.73 \pm 0.39 km/s$ (ortalama $-10.53 \pm 0.21 km/s$) ve $29.67 \pm 1.16 km/s$ ile $37.27 \pm 0.21 km/s$ (ortalama $32.83 \pm 0.66 km/s$) arasında değişmektedir. V_{LSR} ve FWHM değerlerini literatür verileriyle karşılaştırdık ve değerlerin iyi bir uyum içinde olduğunu belirledik. Ayrıca, APER ve SKY kodlarını kullanarak WHAM-SS haritasından elde edilen parlaklık değerlerini VTSS ve SHASSA haritalarının parlaklık değerleri ile karşılaştırdık. WHAM-SS haritasından (ortalama: $35.02 \pm 0.14 R$) elde edilen parlaklık değerlerinin VTSS (ortalama: $34.21 \pm 0.12 R$) ve SHASSA (ortalama: $36.25 \pm 0.01 R$) haritalarından elde edilen değerlere yaklaşık olarak benzer olduğu bulunmuştur.

Investigation of NGC 7822 (Sh2-171) HII Region Using WHAM H α Data

Article Info

Received: 13.06.2022
Accepted: 14.11.2022
Online April 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1129415

Keywords

Fabry-Perot spectrometer,
H II regions,
Interstellar medium,
NGC 7822 (Sh2-171)
Warm ionized medium

Abstract: In this study, we probe the general properties of nineteen H α emission line spectra with a 1° field of view from a $4^{\circ} \times 4^{\circ}$ region ($l=116^{\circ}.1 < l < 120^{\circ}.03$, $3^{\circ}.39 < b < 6^{\circ}.79$) around NGC 7822 (Sh2-171, W1) HII region using the Wisconsin H-Alpha Mapper (WHAM) data. The spectra provide detailed information about the I $_{H\alpha}$ intensities, V_{LSR} velocities and FWHM line widths of the gas surrounding the HII region. The values of I $_{H\alpha}$, V_{LSR} and FWHM of the H α emission lines in range from $7.63 \pm 0.16 R$ to $130.78 \pm 3.8 R$ (mean $37.24 \pm 0.99 R$, $EM=17.08 \pm 0.35 - 292.90 \pm 8.51 cm^{-6} pc$), from $-13.78 \pm 0.31 km/s$ to $-6.73 \pm 0.39 km/s$ (mean $-10.53 \pm 0.21 km/s$) and from $29.67 \pm 1.16 km/s$ to $37.27 \pm 0.21 km/s$ (mean $32.83 \pm 0.66 km/s$), respectively. We compared the values of V_{LSR} and FWHM with the literature data and found that the values are in good agreement. We also compared the intensity obtained from the WHAM-SS map with that of the VTSS and SHASSA maps using APER and SKY codes. The intensities extracted from the WHAM-SS map (mean: $35.02 \pm 0.14 R$) were approximately found to be similar to those from the VTSS (mean: $34.21 \pm 0.12 R$) and SHASSA (mean: $36.25 \pm 0.01 R$) maps.

1. Giriş

Samanyolu Galaksisi, merkezinden itibaren yaklaşık 8.5 *kpc*'lik ($1pc=3.086 \times 10^{13} km$) bir disk içinde Güneş ile birlikte yaklaşık yüz milyar yıldız içermektedir. Galaksimizin yıldızlararası ortamı gaz (~%99) ve tozlardan (~%1) oluşmaktadır. Yıldızlararası ortam çoğunlukla hidrojen (H) (sayısal olarak %91), helyum (He) (~%9) ve eser miktarlarda (%0.1) ağır elementlerden (C, Si, Fe gibi) oluşmakta ve bu ortam yıldızların doğumundan ölümüne kadar Galaktik evrim döngüsünde hayati bir rol oynamaktadır (Ferriere, 2001; Haffner ve ark., 2009). Galaktik disk ya da Galaktik orta düzlem boyunca yerleşen yıldızlararası hidrojen, soğuk, karanlık moleküler gaz (H₂), yayılı durumdaki sıcak nötr, atomik gaz (H₀) ve iyonize gaz (H⁺) olmak üzere 3 bileşene ayrılmaktadır. Samanyolu Galaksimizin yıldızlararası ortamındaki en büyük bileşen olarak kabul edilen iyonize gaz (H⁺), sıcak ($10^4 K$) ve çok sıcak ($10^6 K$) olmak üzere iki ana bileşene ayrılmıştır (Ferrière, 2001).

O ve B tipi genç ve sıcak yıldızlar tarafından yıldızlararası ortama enjekte edilen yüksek enerjili fotonların büyük bir kısmı bu yıldızların çevresindeki hidrojen gazını iyonlaştırır ve klasik HII bölgeleri (Strömgren küreleri) olarak adlandırılan iyonize olmuş hidrojen bölgelerini oluştururlar (Strömgren, 1939; Reynolds, 1997). Yapılan gözlemler, iyonize gazın büyük çoğunluğunun (>%90) sıcak ve O ve B tipi yıldızlardan oldukça uzakta sıcak ($T \sim 10^4 K$), düşük elektron yoğunluklu ($n_e \sim 0.01 - 0.1 cm^{-3}$) ve tamamı iyonlaşmış bölgelerde bulunduğunu göstermiştir. Klasik HII bölgelerinin dışındaki önemli iyonize gazların varlığı ilk olarak Hoyle & Ellis (1963) tarafından önerilmiştir. WIM (Warm Ionized Medium) ya da DIG (Diffuse Ionized Gas) olarak adlandırılan bu iyonize hidrojen bölgeleri Galaktik orta düzlemde ölçülen ~1 *kpc* yükseklik ölçeğine sahiptir (Reynolds, 1984, 1989, 1992 ve 1997; Haffner ve ark., 2009). Gazın kaynağının ne olduğu henüz tam olarak bilinmiyor. Gazın fiziksel durumu üzerine yapılan araştırmalar, olası ışıma mekanizmasının anlaşılmasında önemli ipuçları vermektedir. Sıcak iyonize olmuş ortamı ısıtan olası kaynaklar; sıcak yıldızlar, kozmik ışınlar, yıldızlararası türbülanslar, küçük parçacıklardan ortaya çıkan fotoelektrik ışımlarını içermektedir. Son yıllarda yapılan optik yayının çizgi gözlemleri sonucu, WIM ortam sıcaklığının 8000K ile 12000K arasında değiştiği, iyonizasyon kesrinin (H⁺/H) %90'dan daha fazla olduğu, Güneş civarında ve Kahraman (Perseus) Kolunda ~1 *kpc*'lik skala yüksekliğine sahip olduğu ve $0.01 cm^{-3}$ ile $0.1 cm^{-3}$ arasında tipik yerel elektron yoğunluğuna sahip olduğu görülmüştür (Reynolds ve ark., 1973 ve 1974; Reynolds, 1989; Haffner ve ark., 2009, 2010).

Yıldızlararası ortamın pek çok bileşenin anlaşılmasında önemli aşamalar kaydedilmesine rağmen, bileşenlerin birbirleriyle etkileşimleri ve davranışlarının nasıl olduğu hala tam olarak bilinmemektedir.

Bu çalışmada, sırasıyla, WHAM tayföçeri ve WHAM projesi hakkında kısaca bilgi verildikten sonra, WHAM-SS (WHAM Sky Survey) haritasından seçilen yaklaşık 3°'lik açısal genişliğindeki NGC 7822 (Sh2-171, W1, G118.1+5.0) HII bölgesinin H α tayfları incelenmiş ve bölgenin hızı, yarı genişliği, parlaklığı, Galaktik düzleme uzaklığı, açısal çapı, yarıçapı, Lyman süreklilik akısı, ortalama elektron yoğunluğu gibi bazı fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Sharpless (1959) kataloğunda Sh2-171 olarak adlandırılan HII bölgesi, kuzey yarım kürede bulunan Kral takımyıldızında (Cepheus) yer alan bir yayılım bulutsusudur. Yaklaşık 3°'lik (Sharpless, 1959; Blitz ve ark., 1982) bir açısal genişliğe sahip bulutsu içerisinde Berkeley 59 (Be 59/Cep OB4) genç yıldız kümesi bulundurmakta ve civardaki gaz bu yıldız kümesi ile iyonize edilmektedir (Yang & Fukui, 1992). Küme içerisinde Güneş'in 1 *kpc*'lik çevresinde keşfedilen en sıcak ($4.5 \times 10^4 K$) ve O5.5V spektral tayfa sahip olan BD+66 1673 (V* V747 Cep) yıldızının ($l=118^\circ.2$, $b=5^\circ.1$; Gaia DR2 528594342521399168, V* V747 Cep) görünür parlaklığı ve sönümlenme faktörü sırasıyla $V=10^m.07 \pm 0.04$ ve $E(B-V)=1^m.30 \pm 0.03$ 'dir (Majaess ve ark., 2008). Berkeley 59'in üyelerinin tayfsal gözlem ve BV fotometrik analizlerinden kümenin yaklaşık 2Myr yaşında, $d=883 \pm 43 pc$ uzaklıkta ve kızarma değerinin (reddening) $E(B-V)=1.38 \pm 0.02$ olduğu tespit edilmiştir (MacConnell, 1968; Majaess ve ark., 2008). Bu mesafe aynı zamanda yaklaşık olarak HII bölgesinin uzaklığı olarak kabul edilmektedir. Gahm ve ark. (2022), 20m'lik OSO (Orbiting Solar Observatory) Teleskobu ile 110.201 GHz'de alınan ¹³CO (J=1-0) tayfları kullanarak Be59 genç yıldız kümesini çevreleyen Sh2-171 HII bölgesindeki (galaktik koordinatlar $l^II=118^\circ.2$; $b^II=5^\circ.0$) 27 yıldızın kinematikini araştırmışlar ve kümenin radyal hızlarını tahmin etmeye çalışmışlardır. Bu verilerden, kümeye göre kabuktaki farklı bulut parçalarının genişleme hızlarını belirlemişlerdir. Kümenin merkezinin ortalama LSR (Local Standart of Rest: yerel durağan standart) hızını $-9.5 km/s$ (heliocentric hızı $-18.75 km/s$) olarak elde etmişlerdir.

2. Materyal ve Yöntem

Samanyolu Gökadasındaki sıcak iyonize olmuş hidrojen bölgelerinin sıcaklığı, elektron yoğunluğu, hızı, parlaklığı gibi bazı fiziksel özelliklerini detaylı olarak araştırmak ve galaktik H α ($\lambda=6563 \text{ \AA}$) haritasını hazırlamak amacıyla Wisconsin Üniversitesi'ndeki araştırmacılar tarafından WHAM (Wisconsin Hydrogen Alpha Mapper) olarak adlandırılan bir Fabry-Perot tayfölçeri geliştirilmiştir. 15 cm çaplı, çift etalonlu WHAM tayfölçeri 200 km/s (4.4 \AA) tayf aralığında 12 km/s (0.26 \AA) tayfsal ayırma gücüne ($R\sim 25.000$) sahiptir. Tayfölçer, iki düz ayna ve bir tane 0.6 m çaplı ve 8.6 m odak uzaklıklı mercekten oluşan siderostat ile birlikte kullanılmaktadır. 200 km/s' lik tayf aralığında görünür bölgede 4800 \AA ile 7300 \AA arasındaki bütün dalga boylarını tarayarak ölçümler yapılabilir.

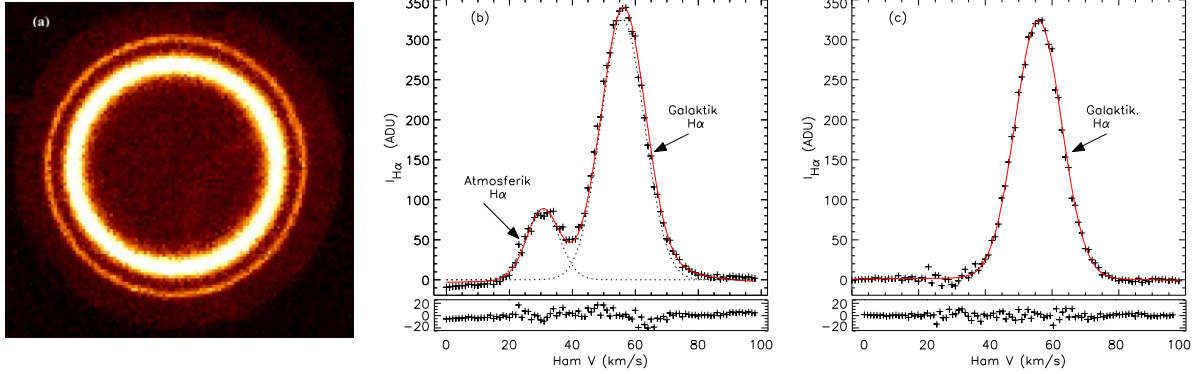
WHAM projesi, iki önemli görevi için tasarlanmıştır. Birinci görevini gerçekleştirmek amacıyla, tayfölçer 1997 yılında Kitt Peak Ulusal Gözlemevi'ne (Arizona, ABD) yerleştirilmiş ve gökadamızın kuzey yarım küresinin ($\delta > -30^\circ$) 1° açısal çözünürlükte, 30 s'lik poz süresi ile 37000'den fazla H α tayfını alarak tayf analizlerini tamamlamış ve Gökadamızın kuzey yarım küresinin H α haritasını (WHAM-NSS: Wisconsin Hydrogen Alpha Mapper North Sky Survey) hazırlamıştır. Galaksimizde gözlenen değişik iyonize olmuş hidrojen bölgelerinin sıcaklık ve hızlarının belirlenmesi amacıyla, H α 'dan başka 60 s'lik poz süreleriyle [SII] $\lambda 6716$, [NII] $\lambda 6584$, [NII] $\lambda 5755$, [HeI] $\lambda 5876$, [OI] $\lambda 6300$, [OIII] $\lambda 5007$ gibi oldukça zayıf optik yayınım çizgilerini ölçmek için dizayn edilmiştir (Tuftte, 1997; Haffner ve ark., 2003 ve 2009). WHAM tayfölçeri Kitt Peak'te görevini başarıyla tamamladıktan sonra, ikinci önemli görevini tamamlamak üzere 2009 yılında CTIO (Cerro Tololo Inter-American Observatory, Cerro Tololo, Şili) gözlemine taşınmış ve kuzey yarım küreden görülemeyen Galaksinin kalan kısmını da ($\delta < -30^\circ$) ölçerek tüm gökyüzü ölçümlerini tamamlamıştır (Haffner ve ark., 2010). Böylece, proje tamamlandığında 12 km/s hız çözünürlüğü ile $\pm 100 \text{ km/s}$ tayf aralığında tüm gökyüzünü kapsayan yaklaşık 49640 adet tayfı içeren bir kinematik WHAM Sky Survey (WHAM-SS) haritası hazırlanmış (Şekil 2a) ve böylece Galaksimizde bilinmeyen pek çok yapı hakkında bilgi edinilmesini sağlamıştır (Haffner ve ark., 2010).

H α tayflarının parlaklık kalibrasyonu için North American Nebulası'ndan (NAN: $l=85^\circ.59$, $b=-0^\circ.71$; $\alpha=20^{\text{sa}}57^{\text{dk}}59^{\text{sn}}$, $\delta=+44^\circ34'50''$) alınan pozlar kullanılmıştır. NAN nebulasının bu koordinatlarından alınan yüzey parlaklığının şiddeti ($I_{H\alpha}$) H α 'da $800\pm 50 \text{ R}$ 'dir. Bu değer WHAM için 30 s'lik poz sürelerinde alınan H α tayfında $1\text{R}\sim 684 \text{ ADU}$ (Arbitrary Data Unit) birimine karşılık gelmektedir. Bu nedenle veriler analiz edilirken ADU biriminde elde edilen H α tayflarını Rayleigh (R) birimine çevirmek için her bir tayf 30×22.8 değerine bölünmektedir (Haffner ve ark., 2003). Alınan tayfların hız kalibrasyonları için de parlak ve dar yayınım çizgisine sahip olan HII bölgelerinden elde edilen ve bu HII bölgelerinin her birinden gelen yayınım çizgileri, LSR hızla göre aynı hızda olduğu varsayımına dayanmaktadır.

WHAM ile elde edilen 30 s poz süresinde alınan örnek H α verisi Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1a'da, ham CCD görüntü verilmiştir. WHAM tayfölçeri ile elde edilen tüm tayflar Galaktik ve atmosferik (geocoronal) tayfların birleşiminden oluşmaktadır. CCD görüntüsündeki ayrık durumda olan daha dıştaki dar ve daha içteki geniş halkalar sırasıyla atmosferik ve Galaktik H α tayflarını temsil etmektedir. Geocoronal Balmer α çizgisi güneşten gelen Lyman β ($Ly\beta$) ışınımlarıyla dünyanın üst atmosferinde nötr hidrojenin uyarılması sonucu ortaya çıkmaktadır (Haffner ve ark., 2003; Mierkiewicz ve ark., 2006; Nossal ve ark., 2006; Şahan & Haffner, 2016). WHAM tayfölçeri ile gözlem yapılırken, Galaktik ve atmosferik çizgiler arasındaki karışıklıktan dolayı oluşacak hataları en aza indirmek için dünyanın yörüngesel hızının ölçüm yönlerinde LSR'a göre atmosferde yaklaşık -28 km/s ile -41 km/s hızlarına kayık olduğu zamanlarda ölçümlerini yapılmaktadır (Reynolds ve ark., 1990).

Şekil 1a'da verilen ham CCD görüntüsüne halka toplama tekniği (Coakley ve ark., 1996) uygulanarak iki boyutlu tayfa dönüştürülmüştür (Şekil 1b). Şekil 1b'de görüldüğü gibi sol taraftaki daha sönük atmosferik tayf ve sağ taraftaki daha parlak Galaktik tayfın ayrık olduğu açıkça görülmektedir. Tayftaki yatay eksen hız skalasında (km/s) keyfi değerde iken düşey eksen ADU biriminde H α şiddetini ($I_{H\alpha}$) ifade etmektedir. Atmosferik çizginin konumu geocentric (yer merkezli) referans çerçevesine göre sabittir. Atmosferik çizgilerin yarı genişlikleri Galaktik çizgilerin %10'unu geçmemektedir (Haffner ve ark., 1999). Bu tayfa Gauss eğrisi uyumlandırılarak atmosferik ve Galaktik çizgilerin yerleri, şiddetleri ve yarı genişlikleri belirlenir ve sistematik bir yöntem izlenerek her tayftan atmosferik ışınımlar tek tek

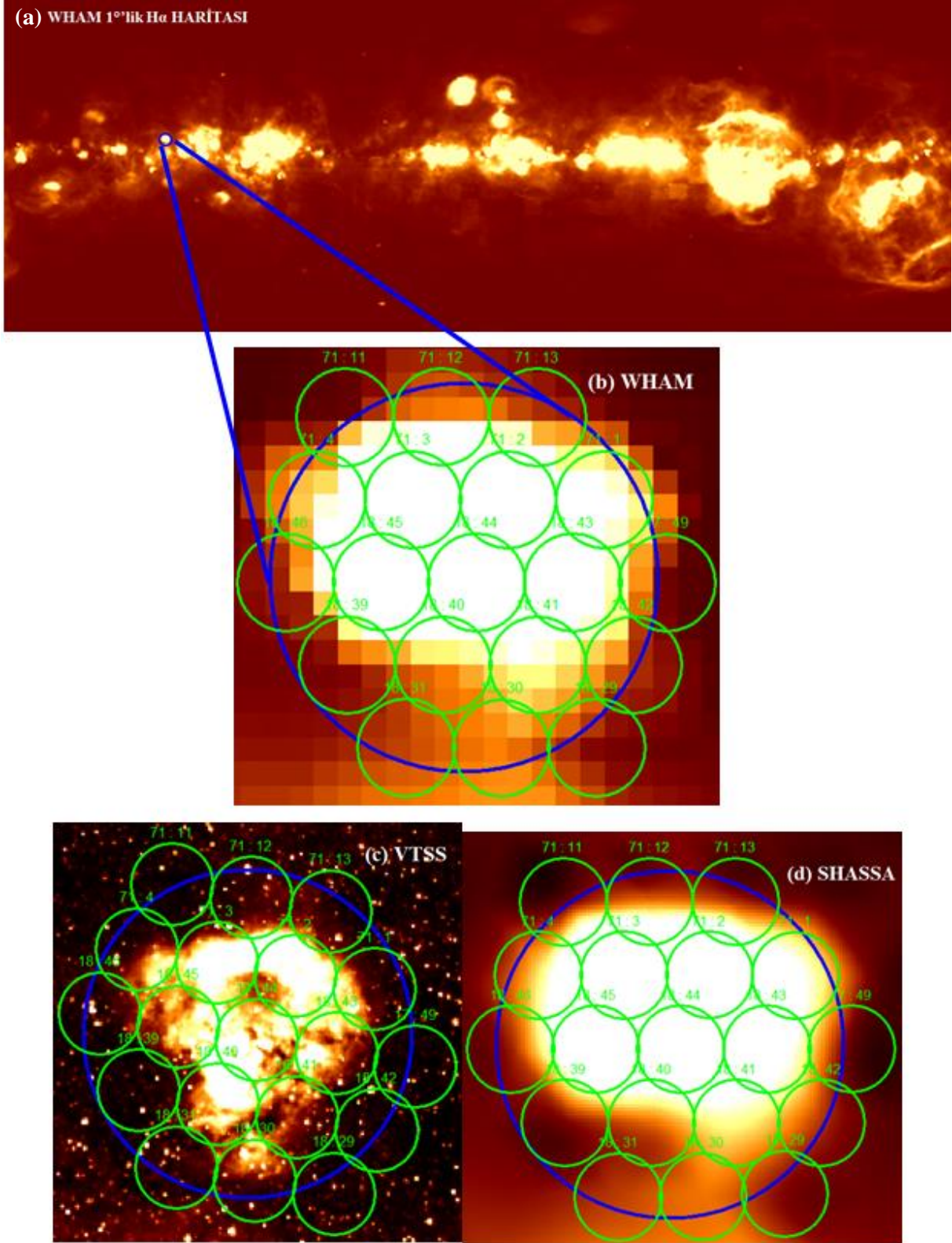
çıkartılır (Haffner ve ark., 2003). Atmosferik çizginin yeri ve şiddeti sırasıyla yaklaşık 30.51 km/s ve 87.64 ADU iken Galaktik çizginin yeri ve şiddeti ise 55.95 km/s ve 326.22 ADU değerindedir. Atmosferik ve Galaktik çizgiler arasındaki fark 25.44 km/s kadardır. Yıldızlararası ortamdan gelen Galaktik H α tayflarını elde etmek için Galaktik tayfları etkileyen atmosferik H α tayflarının toplam tayftan çıkartılması gerekmektedir. Şekil 1b’de görülen atmosferik tayf toplam tayftan çıkartıldıktan sonra elde edilen Galaktik H α ışınım tayfı Şekil 1c’de verilmiştir. Böylece, analizleri yapılan tüm tayflar sadece Galaktik tayflardan oluşmaktadır. Bu tayflar incelenen Galaktik kaynak hakkında detaylı bilgiler içermektedir (Haffner ve ark., 2003).



Şekil 1. a) Örnek WHAM verisi: (a) 1° ’lik ham CCD görüntüsü. (b) Halka toplama tekniği kullanılarak elde edilen Galaktik ve atmosferik tayflar, (c) atmosferik çizginin tayftan atılması sonucu ortaya çıkan Galaktik H α ışınım çizgisi.

NGC 7822 (Sh2-171) HII bölgesini çalışmak için WHAM-SS haritasından (wham-ss-DR1-v161116-170912-int-grid.fits) seçilen $l=116.12^\circ$ ile $l=120.12^\circ$, $b=+3.02^\circ$ ile $b=7.02^\circ$ ’lik (merkezi $l=118.12$, $b=05^\circ.02$) Galaktik koordinatlara sahip yaklaşık $4^\circ \times 4^\circ$ ’lik bir bölgedeki toplam 19 adet 1° ’lik H α verilerinin analizleri yapılmıştır (Şekil 2a) (Haffner ve ark., 2003, 2009). Yukarıda belirtildiği gibi, WHAM-SS haritası her biri 30 s ’lik poz sürelerinde alınan 1° ’lik görüş alanlı yaklaşık 49640 H α tayfının birleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Haritayı oluşturan tayfların parlaklık değerleri Rayleigh birimindedir (H α ’da ve yaklaşık $T=8000 \text{ K}$ ’de $1 \text{ R}=10^6/4\pi \text{ foton/cm}^2 \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}=2.4 \times 10^{-7} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$; $\sim 2.25 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$). Şekil 2a’da verilen WHAM-SS haritası üzerinde NGC 7822 HII bölgesi mavi halka ile gösterilmiştir. Haritadan seçilen HII bölgesinin yaklaşık 4° ’lik büyültülmüş alanı Şekil 2b’de verilmiştir. Şekil 2b’de harita üzerinde yaklaşık 4° ’lik alanı kapsayan mavi halka içerisinde işaretlenmiş 19 adet farklı koordinatlı yeşil halkalar 1° ’lik açısal çapa sahip H α tayflarını göstermektedir. WHAM verileri her birinin genişliği yaklaşık $7^\circ \times 7^\circ$ olan bloklardan oluşmaktadır. Her blok, “Pointing” olarak adlandırılan yaklaşık 49 adet 1° ’lik açısal çaplı tayflar içermektedir. Şekil 2b’de görüldüğü gibi yeşil halkalar üzerinde “Blok” ve “Pointing” numaraları belirtilmiştir. Seçilen Sh2-171 HII bölgesi toplam 3 bloktaki (Blok No: 17, 18 ve 71) tayflardan oluşmaktadır. Buna göre, Blok 17’de 1 adet, Blok 18’de 11 adet ve Blok 71’de ise 7 olmak üzere toplam 19 tane H α verisinden oluşmaktadır.

NGC 7822 (Sh2-171) HII bölgesinden elde edilen 1° ’lik WHAM verilerinin H α parlaklık değerlerini karşılaştırmak için Rayleigh (R) birimindeki VTSS (The Virginia Tech Spectral-Line Survey) (Dennison ve ark., 1998) (Şekil 2c) ve SHASSA (The Southern H-Alpha Sky Survey Atlas)’den (Gaustad ve ark., 2001) (Şekil 2d) elde edilen haritalar (FITS formatında) kullanılmıştır. NGC 7822 HII bölgesini çevreleyen yaklaşık 4° ’lik bir alanı temsil eden VTSS (Şekil 2c) ve SHASSA (Şekil 2d) H α görüntüleri WHAM haritasında işaretlenen bölgelere benzer şekilde 19 tane yeşil halkalar ile temsil edilmişlerdir. SHASSA haritası, Galaksimizin güney yarımküresindeki ($\delta = +15^\circ$ ila -90°) sıcak iyonize yıldızlararası gazdan gelen H α yayınının her biri $0.8'$ açısal çözünürlüğe sahip olan toplam 542 tane $13^\circ \times 13^\circ$ (1014×998 pixel) alanlı bölgesinden oluşan geniş alanlı bir haritadır.



Şekil 2. a) Gökadamızın yaklaşık 49640 tayftan oluşan 1°'lik görüş alanlı H α haritası (WHAM-SS). NGC 7822 (Sh2-171) HII bölgesinin b) WHAM c) VTSS ve d) SHASSA haritaları. Haritalar üzerindeki yeşil halkalar 1°'lik açısal çap olarak işaretlenmiş 19 farklı koordinatın H α tayflarını ve mavi halkalar ise yaklaşık 4°'lik alanı göstermektedir.

Gözlemler, Şili'deki Cerro Tololo Inter-Amerikan Gözlemevi'nde (CTIO) çalışan robotik bir kamerayla alınmıştır (Gaustad ve ark., 2001). Virginia Politeknik Enstitüsü'nde yürütülen VTSS

(Virginia Tech Spectral-Line Survey) projesi, SHASSA projesine benzer kuzey yarımküre ($\delta > -15^\circ$) için hazırlanmış olan ve her biri $10''$ 'lik geniş görüş alanına sahip görüntülerden oluşmaktadır (Dennison ve ark., 1998). Güney yarım kürenin SHASSA haritası ile kuzey yarımkürenin VTSS haritasının birleştirilerek yaklaşık $3''$ 'lik çözünürlüklü, tüm gökyüzünü kapsayan bir H α mozaigini oluşturan bir harita hazırlanmıştır. Kuzey ve güney yarım küreleri kapsayan 1° 'lik alanlı WHAM H α haritası SHASSA ve VTSS haritalarına göre daha yüksek hassasiyete ve daha düşük açılal çözünürlüğe sahiptir.

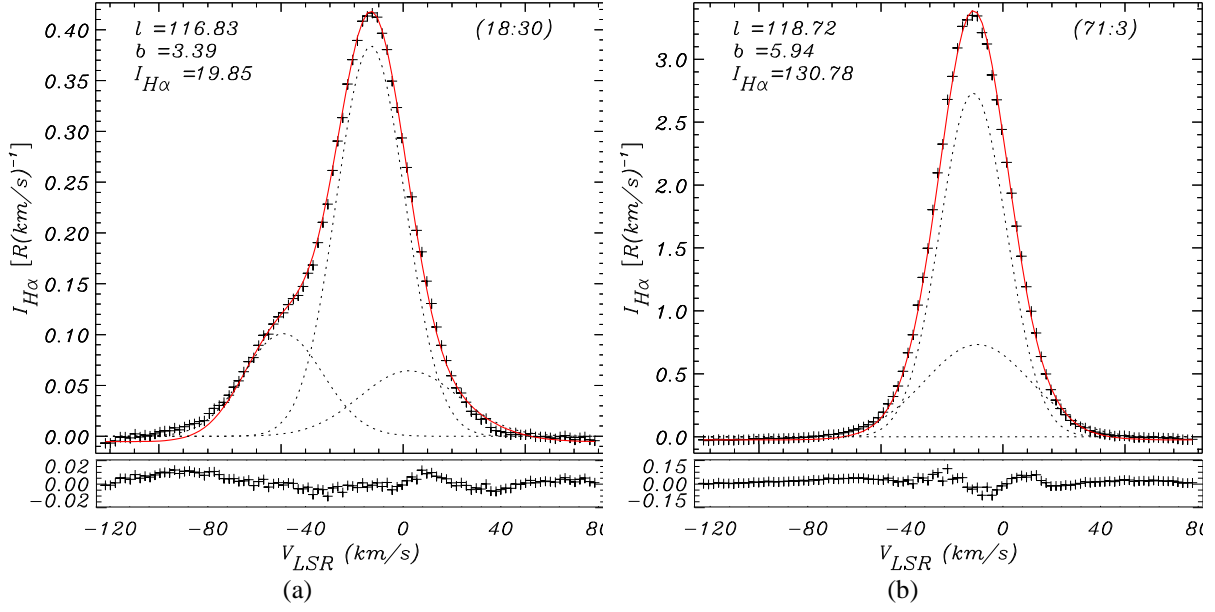
3. Bulgular

Bu çalışmada, 1° 'lik görüş alanına sahip WHAM tayf ölçeri ile hazırlanan WHAM-SS haritasından seçilen ve merkezi koordinatları $l=118^\circ.12$, $b=05^\circ.02$ ($ra_{2000}=00^{\text{sa}}01^{\text{dk}}08^{\text{sn}}.60$, $\delta_{2000}=+67^\circ25'16''.67$) olan NGC 7822 HII bölgesinin civarındaki $4^\circ \times 4^\circ$ 'lik bir bölgenin H α tayfları incelenmiş ve HII bölgesi hakkında hızı, yarı genişliği, parlaklığı, Galaktik düzleme uzaklığı, açılal çapı, yarıçapı, Lyman süreklilik akısı, ortalama elektron yoğunluğu gibi bazı fiziksel çalışmalar yapılmıştır. Şekil 2b'de NGC 7822 HII bölgesinden işaretlenen 19 tane farklı koordinatta bölgenin tayflarını elde etmek için WHAM projesinin web sayfasından WHAM Kinematic Survey FITS dosyaları “whamssfits.fits” ve “wham-ss-DR1-v161116-170912.fits” alınmıştır (WHAM-SS, 2022). FITS dosyalarında bulunan Galaktik koordinatları (GALLON, GALLAT), VLSR hızları, tayf değerleri (DATA) gibi gerekli tüm veriler IDL'de okutulmuş ve gerekli tayf çalışmaları yapılmıştır (Haffner ve ark., 2003). İki boyutlu tayflardan elde edilen sonuçlar Çizelge 1, Şekil 2 ve Şekil 3'te verilmiştir. Çizelge 1'de, birinci ve ikinci sütunda sırasıyla incelenen bölgelerin Galaktik koordinatları (l, b) ve bu verilerin bulunduğu “Blok” ve “Pointing” numaraları verilmiştir. Son dört sütunda her bir tayf için sırasıyla tayfların km/s biriminde tayfların merkezlerini (V_{LSR}), FWHM (Full Width Half Maximum) değerleri km/s biriminde tayfların yarı genişliklerini, $I_{H\alpha}$ değerleri Rayleigh (R) biriminde tayfların parlaklık değerlerini ve EM değerleri ise $I_{H\alpha}$ değerlerine bağlı olarak değişen $cm^{-6}pc$ birimindeki yayınım ölçüsü değerlerini göstermektedir.

Şekil 2 ve Çizelge 1'de verilen NGC 7822 (Sh2-171) HII bölgesinin iki farklı doğrultusundan alınan sönük ($l=117^\circ.72$, $b=5^\circ.94$) ve parlak ($l=116^\circ.83$, $b=3^\circ.39$) tayfları sırasıyla Şekil 3a ve Şekil 3b'de verilmiştir. Tayflar V_{LSR} hızlarına (km/s) göre şiddet [$R/(km/s)$] olarak çizilmiştir. Tayfların sol üst köşelerinde tayfların koordinatları ve $I_{H\alpha}$ değerler ve sağ köşelerinde ise Blok” ve “Pointing” numaraları verilmiştir. Şekil 3a'da sönük tayf (Blok&Pointing No=18:30), toplam üç tane tayfın birleşiminden oluşmuştur. Çizgilerin LSR'a göre hızları $-49.05 \pm 1.38 km/s$, $-13.24 \pm 0.19 km/s$ ve $2.46 \pm 0.27 km/s$ ve yarı genişlikleri (FWHM) $38.26 \pm 0.98 km/s$, $33.18 \pm 0.48 km/s$ ve $47.56 \pm 1.78 km/s$ ve genlikleri ise $0.10 \pm 0.04 [R/(km/s)]$, $0.38 \pm 0.08 [R/(km/s)]$ ve $0.06 \pm 0.04 [R/(km/s)]$ olarak elde edilmiştir. Çizelge 1'de verilen V_{LSR} ve FWHM değerleri sadece merkezdeki en parlak çizgiye ait olan değerlerdir. Bu tayfların toplamı $I_{H\alpha}$ değerler ve buna bağlı olarak EM değerleri ise Çizelge 1'de de verildiği gibi sırasıyla $19.85 \pm 0.29 R$ ve $44.46 \pm 0.64 cm^{-6}pc$ olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde, Şekil 3b'da parlak tayf (Blok&Pointing No=71:3), bir tane çok parlak ve bir tane de zayıf olmak üzere iki tane toplam tayfın birleşiminden oluşmuştur. Çizgilerin LSR'a göre hızları $-12.19 \pm 0.14 km/s$ ve $-10.40 \pm 0.86 km/s$ ve yarı genişlikleri (FWHM) $32.10 \pm 0.48 km/s$ ve $50.94 \pm 0.28 km/s$ ve genlikleri ise $2.70 \pm 0.29 [R/(km/s)]$ ve $0.73 \pm 0.23 [R/(km/s)]$ olarak elde edilmiştir. Çizelge 1'de görüldüğü gibi bu tayfların toplam $I_{H\alpha}$ ve EM değerleri sırasıyla $130.78 \pm 3.8 R$ ve $292.90 \pm 8.51 cm^{-6}pc$ olarak hesaplanmıştır.

Şekil 2b'de verilen NGC 7822 (Sh2-171) HII bölgesinden elde edilen diğer 17 tane tayf Şekil 4'de verilmiştir. Şekil 3'de belirtildiği gibi her tayf için sol üst köşelerinde tayfların Galaktik koordinatları (l, b) ve $I_{H\alpha}$ değerler ve sağ köşelerinde ise Blok” ve “Pointing” numaraları verilmiştir. Bu tayfların LSR hızları (V_{LSR}), yarı genişlikleri (FWHM), parlaklıkları ($I_{H\alpha}$), emisyon ölçüm değerleri (EM) Çizelge 1'de verilmiştir.

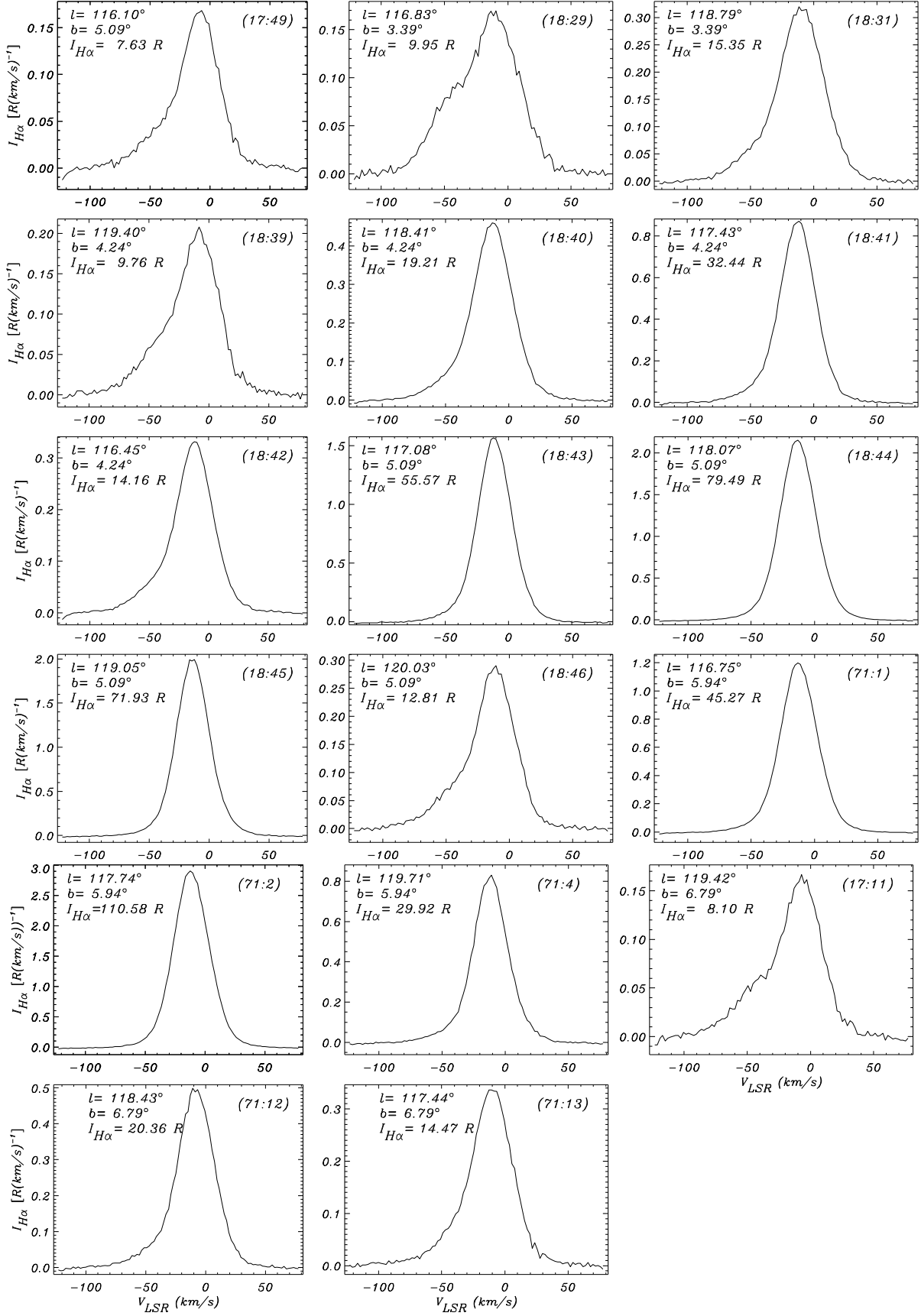
Şekil 2'de verilen WHAM, VTSS ve SHASSA haritalarından görüldüğü gibi) HII bölgesinin merkezi daha parlak dolayısıyla daha sıcak ve merkezden dışa doğru gidildikçe parlaklığın şiddetinin azaldığı açıkça görülmektedir. Buna göre HII bölgesinin merkezindeki en parlak çizgi profillerine sahip olan bölgelerin “71:2” ve “71:3” Blok/Pointing numaralı tayflar olduğu açıkça görülmektedir. Bunun nedeni, HII bölgesinin merkezindeki en parlak ve en sıcak BD+66°1673' (V* V747 Cep yıldızından kaynaklanmaktadır (Majaess ve ark., 2008).



Şekil 3. NGC 7822 (Sh2-171) HII bölgesinin iki farklı koordinatındaki H α tayfları. Her bir tayf için artık değerler altta gösterilmiştir. Galaktik koordinatlar ve toplam parlaklık değerleri sol üst köşede ve Blok” ve “Pointing” numaraları ise sağ üst köşede verilmiştir.

Çizelge 1. WHAM ile NGC 7822 (Sh2-171, W1) HII bölgesinden alınan H α tayfları

Koordinat (l, b) ($^{\circ}$)	Blok: Pointing No	V_{LSR} (km/s)	FWHM (km/s)	$I_{H\alpha}$ (R)	EM ($cm^{-6}pc$)
116.10 , 5.09	17: 49	-8.72 \pm 0.18	31.11 \pm 0.64	7.63 \pm 0.16	17.08 \pm 0.35
116.83 , 3.39	18:29	-10.34 \pm 0.05	34.05 \pm 0.16	9.95 \pm 0.05	22.29 \pm 0.11
117.81 , 3.39	18:30	-13.24 \pm 0.19	33.18 \pm 0.48	19.85 \pm 0.29	44.46 \pm 0.64
118.79 , 3.39	18:31	-9.62 \pm 0.05	37.27 \pm 0.21	15.35 \pm 0.09	34.37 \pm 0.2
119.40 , 4.24	18:39	-8.72 \pm 0.05	34.05 \pm 0.21	9.76 \pm 0.06	21.86 \pm 0.14
118.41 , 4.24	18:40	-12.34 \pm 0.66	29.67 \pm 1.6	19.21 \pm 1.03	43.02 \pm 2.32
117.43 , 4.24	18:41	-12.34 \pm 0.17	32.2 \pm 0.44	32.44 \pm 0.44	72.64 \pm 0.99
116.45 , 4.24	18:42	-8.72 \pm 0.06	34.05 \pm 0.23	14.16 \pm 0.09	31.7 \pm 0.21
117.08 , 5.09	18:43	-11.07 \pm 0.19	30.02 \pm 0.52	55.57 \pm 0.96	124.46 \pm 2.16
118.07 , 5.09	18:44	-8.9 \pm 0.37	34.05 \pm 1.41	79.49 \pm 3.28	178.03 \pm 7.35
119.05 , 5.09	18:45	-13.78 \pm 0.31	31.48 \pm 0.71	71.93 \pm 1.63	161.11 \pm 3.65
120.03 , 5.09	18:46	-11.25 \pm 0.07	32.2 \pm 0.19	12.81 \pm 0.08	28.69 \pm 0.17
116.75 , 5.94	71:1	-12.16 \pm 0.12	30.75 \pm 0.31	45.27 \pm 0.45	101.38 \pm 1.01
117.74 , 5.94	71:2	-12.16 \pm 0.31	34.05 \pm 0.86	110.57 \pm 2.8	247.63 \pm 6.27
118.72 , 5.94	71:3	-10.4 \pm 0.3	32.1 \pm 0.93	130.78 \pm 3.8	292.9 \pm 8.51
119.71 , 5.94	71:4	-11.61 \pm 0.18	31.47 \pm 0.49	29.92 \pm 0.46	67 \pm 1.04
119.42 , 6.79	71:11	-6.73 \pm 0.39	34.05 \pm 1.97	8.1 \pm 0.47	18.13 \pm 1.05
118.43 , 6.79	71:12	-8.3 \pm 0.06	34.05 \pm 0.27	20.36 \pm 0.16	45.6 \pm 0.36
117.44 , 6.79	71:13	-9.62 \pm 0.07	34.05 \pm 0.25	14.47 \pm 0.1	32.4 \pm 0.24
Ortalama:		-10.53 \pm 0.21	32.83 \pm 0.66	37.24 \pm 0.99	83.41 \pm 2.21



Şekil 4. NGC 7822 (Sh2-171) HII bölgesinin merkezinden alınan 17 adet H α çizgi profillerinin LSR hızlarına göre şiddet grafikleri.

Şekil 4 ve Çizelge 1 incelendiğinde $l=117^{\circ}.74$, $b=5^{\circ}.94$ koordinatına sahip olan “71:2” numaralı çizgi profilinin parlaklığı $110.57 \pm 2.8 R$ (FWHM= $34.05 \pm 0.86 km/s$) ve $l=118^{\circ}.72$, $b=5^{\circ}.94$ koordinatına sahip olan “71:3” numaralı çizgi profilinin parlaklığı ise $130.78 \pm 3.8 R$ (FWHM= $32.1 \pm 0.93 km/s$) olarak belirlenmiştir. Ayrıca, merkezi bölgeye yakın olan $l=118^{\circ}.07$, $b=5^{\circ}.09$ (“18:44” numaralı) ve olan $l=119^{\circ}.05$, $b=5^{\circ}.09$ (“18:45” numaralı) koordinatlarına sahip olan bölgelerin parlaklıklarının da sırasıyla $79.49 \pm 3.28 R$ (FWHM= $34.05 \pm 1.41 km/s$) ve $71.93 \pm 1.63 R$ (FWHM= $31.48 \pm 0.71 km/s$) olduğu görülmektedir. HII bölgesinin dışına doğru gidildikçe çizgi profillerinin parlaklıklarının düştüğü görülmektedir. Buna göre en sönük çizgi profiline sahip olan üç bölge sırasıyla $l=116^{\circ}.10$, $b=5^{\circ}.09$ (“17:49” numaralı) Şekil 2b’de ($7.63 R$, FWHM= $31.11 \pm 0.16 km/s$), $l=119^{\circ}.40$, $b=4^{\circ}.24$ (“18:39” numaralı) ($9.76 R$, FWHM= $34.05 \pm 0.06 km/s$), $l=119^{\circ}.42$, $b=6^{\circ}.79$ (“71:11” numaralı) ($8.10 R$, FWHM= $34.05 \pm 0.47 km/s$).

Şekil 4 ve Çizelge 1’den NGC 7822 (Sh2-171) HII bölgesinin V_{LSR} ve FWHM değerleri sırasıyla $-13.78 \pm 0.31 km/s$ ile $-6.73 \pm 0.39 km/s$ (ortalama $-10.53 \pm 0.21 km/s$) $29.67 \pm 1.16 km/s$ ile $37.27 \pm 0.21 km/s$ (ortalama $32.83 \pm 0.66 km/s$) olduğu ve parlaklık ve yayılım ölçüsü değerleri de sırasıyla $7.63 \pm 0.16 R$ ile $130.78 \pm 3.8 R$ (ortalama $37.24 \pm 0.99 R$), ve $EM=17.08 \pm 0.35 - 292.90 \pm 8.51 cm^{-6} pc$ (ortalama $83.41 \pm 2.21 cm^{-6} pc$) olduğu bulunmuştur.

Fich ve ark. (1990), Sh2-171’in V_{LSR} hızını ve FWHM değerini sırasıyla $-12.02 km/s$ ve $29.08 km/s$ olarak bulmuşlardır. Georgelin & Georgelin (1970), V_{LSR} hızını $-10.1 km/s$ olarak vermiştir. Benzer şekilde, Lockman (1989) HII bölgesinin V_{LSR} hızını ve FWHM değerini de sırasıyla $-9.1 \pm 1.1 km/s$ ve $19.8 \pm 2.7 km/s$ olarak vermiştir. Dieter (1967), Galaktik HII bölgelerinden yaptığı ölçümde 1651 MHz’de hidrojenin rekombinasyon (yeniden birleşme) çizgi ölçüm gözlemlerinden elde ettiği sonuçlardan, Sh2-171 HII bölgesi için V_{LSR} hızını $-8.7 \pm 1.0 km/s$ güneşe olan uzaklığını $d=0.76 \pm 0.8 kpc$ olarak belirlemiştir. Downes & Wilson (1974), HII bölgesinin V_{LSR} hızını ve FWHM değerini sırasıyla $-19 \pm 3 km/s$ ve $29 \pm 3 km/s$ olarak bulurken, Pedlar (1980) ise tipik H166 α rekombinasyon çizgisinde bu değerleri sırasıyla $-9.2 km/s$ ve $21.9 km/s$ olarak bulmuştur. Gahm ve ark. (2022), V_{LSR} hızlarını $-21.5 km/s$ ile $-12.9 km/s$ (merkezinin ortalama LSR hızını $-9.5 km/s$) arasında değiştiğini bulmuşlardır. Gahm ve ark. (2022) tarafından verilen bu değerlerin Çizelge 1’de verilen hız değerleriyle yaklaşık olarak uyum içinde olduğu görülmektedir.

Yukarıda belirtildiği gibi, Şekil 2b’de verilen Rayleigh birimindeki WHAM-SS H α haritasının parlaklık değerleri yine Rayleigh birimindeki VTSS (Şekil 2c) ve SHASSA (Şekil 2d) haritalarından elde edilen parlaklık değerleriyle karşılaştırılmıştır. Üç haritanın parlaklık değerlerini hesaplamak için IDL’de yazılan APER ve SKY programları kullanılmış ve her üç harita için de açıklık fotometrisi uygulanmıştır (Sahan & Yeğingil, 2017). Haritalar üzerindeki WHAM’in 1°’lik görüş alanına karşılık gelen piksellerin toplamının ortalaması alınmış ve APER kodu kullanılarak 1°’lik alandaki H α yüzey parlaklık değeri hesaplanmış ve her bir bölge için Rayleigh biriminde elde edilen sonuçlar Çizelge 2’de verilmiştir. Yapılan karşılaştırma sonucunda yaklaşık 4° genişliğindeki bölgenin ortalama parlaklık şiddetleri WHAM haritasında $35.02 \pm 0.14 R$ (toplam $665.40 \pm 26.46 R$), SHASSA haritasında $36.25 \pm 0.01 R$ (toplam $688.73 \pm 18.13 R$) ve VTSS haritasında $34.21 \pm 0.2 R$ (toplam $649.98 \pm 19.44 R$) olarak hesaplanmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda WHAM ile elde edilen sonuçların bu haritalardaki parlaklık değerlerinin yaklaşık olarak benzer olduğunu görülmüştür.

Ayrıca, bu çalışmada NGC 7822 HII bölgesinin Lyman süreklilik akısı ve ortalama elektron yoğunluğu gibi bazı fiziksel parametreleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar, Majaess ve ark. (2008)’dan elde edilen E(B-V) sönmüleme (kızarma) parametresine göre yapılmıştır. Ayrıca, Majaess ve ark. (2008) çalışmasından NGC 7822 HII bölgesinin merkezindeki Berkeley 59 (Be 59/Cep OB4) kümesindeki en parlak ve en sıcak BD+66°1673’ (V* V747 Cep; $l=12^{\circ}.53$, $b=5^{\circ}.31$) yıldızının tayfsal tipi (O5V) ve uzaklığı da ($d=883.0 pc$) elde edilmiştir. Bu mesafeyi kullanarak Galaktik orta düzlemde ölçülen ölçek yüksekliği

$$|z| (pc) = d \sin(b) \quad (1)$$

eşitliği kullanılarak $81.72 \pm 10.0 pc$ olarak hesaplanmıştır (Haffner ve ark., 1999). Yıldızın çevresindeki HII bölgesinin R_{HII} yarıçapı ise

$$R_{HII} (pc) = d \sin(\theta_{HII}) \quad (2)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır. Yıldızı çevreleyen HII bölgesinin genişliği yaklaşık $\theta_{HII} \approx 3^\circ$ olarak alınmış ve açısal çapı yaklaşık $46.21 \pm 3.2 pc$ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 2. WHAM, VTSS ve SHASSA H α haritaları kullanılarak NGC 7822 (Sh2-171) HII bölgesinin parlaklık değerlerinin kıyaslanması

Koordinat (l, b) ($^\circ$)	I _{WHAM} Haritası (R)	I _{SHASSA} Haritası (R)	I _{VTSS} Haritası (R)
116.10 , 5.09	8.16 \pm 1.65	9.51 \pm 0.27	9.15 \pm 0.75
116.83 , 3.39	10.94 \pm 0.98	10.7 \pm 0.10	10.50 \pm 1.30
117.81 , 3.39	19.99 \pm 0.03	18.48 \pm 0.01	21.59 \pm 1.20
118.79 , 3.39	15.76 \pm 0.54	13.98 \pm 0.09	5.54 \pm 0.80
119.40 , 4.24	27.45 \pm 0.72	14.02 \pm 0.07	25.20 \pm 1.24
118.41 , 4.24	39.34 \pm 1.41	25.49 \pm 0.23	111.53 \pm 1.95
117.43 , 4.24	35.67 \pm 0.14	32.42 \pm 0.29	20.58 \pm 0.45
116.45 , 4.24	11.93 \pm 1.04	13.82 \pm 0.23	13.2 \pm 0.38
117.08 , 5.09	44.05 \pm 0.31	52.98 \pm 0.60	38.43 \pm 0.65
118.07 , 5.09	82.69 \pm 1.65	80.71 \pm 0.59	90.66 \pm 0.21
119.05 , 5.09	83.47 \pm 3.96	71.11 \pm 0.01	50.06 \pm 0.57
120.03 , 5.09	27.64 \pm 1.29	16.35 \pm 0.20	7.05 \pm 0.68
116.75 , 5.94	24.19 \pm 0.75	39.79 \pm 0.27	18.50 \pm 0.76
117.74 , 5.94	64.4 \pm 4.12	94.2 \pm 0.03	84.18 \pm 0.45
118.72 , 5.94	86.71 \pm 6.84	109.76 \pm 0.70	98.30 \pm 0.38
119.71 , 5.94	41.29 \pm 0.03	32.8 \pm 0.64	16.14 \pm 0.47
119.42 , 6.79	12.82 \pm 2.77	11.77 \pm 0.42	12.62 \pm 0.72
118.43 , 6.79	17.72 \pm 2.78	24.04 \pm 0.50	11.10 \pm 0.22
117.44 , 6.79	11.18 \pm 1.84	16.8 \pm 0.22	5.65 \pm 0.18
Ortalama:	35.02 \pm 0.14	36.25 \pm 0.01	34.21 \pm 0.12

H α yayını, iyonlaşmış bölgelerdeki hidrojenin rekombinasyonu sonucunda ortaya çıkmaktadır. Pulsar emisyon ölçümleri (EM), gökada orta düzlemi yakınındaki elektron yoğunluğunun doğrudan ölçülmesini sağlamaktadır. WHAM H α projesi, yayınım ölçümüyle (EM) doğrudan orantılı olan H α ışınım şiddetini ölçmektedir. E(B-V) olmadığı durumlarda, optik soğurulmanın/sönümlemenin en az olduğu yüksek enlemlerde gazın emisyon ölçüsü

$$EM (cm^{-6}pc) = \int n_e^2 dl = 2.75T_4^{0.9}I_{H\alpha} \quad (3)$$

eşitliğinden hesaplanmaktadır (Haffner ve ark., 1998 ve 2003; Şahan & Haffner, 2016). Burada, n_e , elektron yoğunluğu, T_4 , 10^4 K birimindeki yayılı gazın sıcaklığıdır. Sıcak iyonize gazın (Warm Ionized Medium: WIM) sıcaklığı yaklaşık olarak 8000K ($T_4=0.8$ K) kadardır (Reynolds, 1985; Haffner ve ark., 1998). I_α , Rayleigh (R) biriminde H α ışınımının şiddetidir ($1R=10^6/4\pi$ foton $cm^{-2}sr^{-1}s^{-1}=2.25 cm^{-6}pc$). Yüksek enlemlerde, ($|b| > 5^\circ$), $I_\alpha \cdot \sin|b| \approx 1R$ olduğundan, gökada diskinde dik bir çizgi boyunca ortalama yayınım ölçüsü yaklaşık olarak $4.5 cm^{-6}pc$ 'tir. Yüksek enlemlerde $|b|$ artarken; H α şiddeti $< I_\alpha \cdot \sin|b| >$ eşitliğine göre azalmaktadır.

Sıcak iyonize gazın (WIM) sıcaklığının yaklaşık 8000 K olduğunu varsayıldığında ve toz sönümlemesi için bir düzeltme faktörü de eklendiğinde Eşitlik 3 için

$$EM (cm^{-6}pc) = 2.25I_{H\alpha}e^{2.2E(B-V)} \quad (4)$$

standart eşitliğe ulaşılır (Reynolds & Odgen, 1982). Daha basit bir yaklaşım için, E(B-V) sönümlemesinin, NGC 7822 HII bölgesinde bulunan BD+66°1673 (V*V747 Cep) yıldızına doğru

ölçülen HII bölgesi boyunca aynı olduğu varsayılmıştır. HII bölgesi için gerekli olan E(B-V) sönmleme değeri NGC 7822 merkezi gölgesindeki Be59 yıldız kümesinde bulunan BD+66°1673 yıldızının ($l=118^{\circ}.19$, $b=5^{\circ}.93$) sönmleme değeri $E(B-V)=1.38$ kullanılmıştır (Majaess ve ark., 2008). $I_{H\alpha}$ için NGC 7822 HII bölgesinin merkezindeki Be 59 yıldız bölgesinin H α ışınımının parlaklık değeri olan $I_{H\alpha}=130.78$ R değeri (Çizelge 1) kullanılmıştır (Haffner ve ark., 1999). H α ışınım şiddeti ortamdaki gazın yoğunluğu ile de orantılıdır. Eşitlik 3'den $I_{H\alpha} \propto EM = \int n_e^2 dl$ ilişkisi vardır. Eşitlik 4'teki exponansiyel terim H α şiddeti için düzeltme faktörünü açıklar. Buna göre $EM= \sim 294.21 \pm 2.2 \text{ cm}^{-6} pc$ olarak hesaplanmıştır (Haffner ve ark. 1998; Sahan & Haffner, 2016).

Sıcak iyonize gazın (WIM: Warm Ionized Medium) mekanizmasının tam olarak bilinmemesi nedeniyle öncelikle sıcak yıldızlardan gelen iyonlaştırıcı foton parlaklığı (Lyman continuum flux: L_c) tarafından iyonlaştırıldığı düşünülmüştür. Galaksimizde bilinen iyonizasyon kaynaklarından sadece O tipi yıldızların, WIM'i oluşturmak için yeterli gücü ürettiği bilinmektedir (Reynolds, 1992). Bu nedenle, NGC 7822 HII bölgesinin merkezindeki Be59 kümesindeki en parlak ve en sıcak olan BD+66°1673 yıldızı tarafından üretilen $I_{H\alpha}$ şiddet değerleri kullanılarak Lyman süreklilik fotonlarının akısı (L_c),

$$L_c (\text{foton } s^{-1}) = \frac{4\pi d^2}{\varepsilon} \int I_{H\alpha} e^{\tau\alpha} d\Omega \quad (5)$$

eşitliği kullanılarak tahmin edilmiştir (Haffner, 2001; Sahan & Haffner, 2016). Burada $e^{\tau\alpha}$ terimi $e^{2.2E(B-V)}$ ile tanımlanan sönmleme düzeltme faktörüdür. $d(pc)$, NGC 7822 HII bölgesine olan mesafe, $I_{H\alpha}$ (R), $d\Omega$ katı açısında yayılan H α ışınım şiddeti, ε , Lyman fotonları ile üretilen H α fotonlarının kesridir ve $T=8000$ K sıcaklığındaki gaz için $\varepsilon = 0.47$ 'dir (Martin, 1988; Reynolds, 1988; Haffner, 1999 ve 2001). Böylece, Eşitlik 5 tekrar düzenlendiğinde

$$L_c = 2.03 \times 10^{43} d^2 \left(\frac{\Omega_{HII}}{N\Omega_p} \right) \sum_N I_{H\alpha} e^{\tau\alpha} \Omega_p \quad (6)$$

eşitliği elde edilir. Burada Ω_p , 1°'lik WHAM ile alınan huzmenin bir tek nokta ile görülen katı açısı $2.39 \times 10^{-4} \text{ sr}$ 'dir (Haffner, 1999). $\frac{\Omega_{HII}}{N\Omega_p}$, HII bölgesi içine düşen WHAM survey gridlerinin üst üste toplamını ve buradaki boşlukları hesaplamak için kullanılan düzeltme faktörüdür. N ise NGC 7822 HII bölgesini çevreleyen $3^{\circ} \times 3^{\circ}$ 'lik bölgede kullanılan toplam tayf sayısıdır ($N=11$). Bu bölge için $\Omega_{HII} (\text{sr} \cdot s) = (3^{\circ} \times 60' \times 60')^2 \times 2.35 \times 10^{-11} = 8.6 \times 10^{-3}$ olarak elde edilir. Böylece, $\frac{\Omega_{HII}}{N\Omega_p} = \frac{8.6 \times 10^{-3}}{(11)(2.39 \times 10^{-4})} = 1.04$ olarak bulunmuştur. Tablo 3'de verilen E(B-V) ve d değerleri de kullanılarak Lyman süreklilik akısı $L_c = 2.03 \times 10^{43} (883)^2 (1.04) \sum_N I_{H\alpha} (20.82) (2.39 \times 10^{-4})$ ve $L_c = 8.21 \times 10^{46} \sum_N I_{H\alpha}$ olarak bulunmuştur. Şekil 2b'de verilen 3°'lik HII bölgesindeki her biri 1°'lik H α ışınım şiddetlerine karşılık gelen ve Çizelge 1'de verilen $3^{\circ} \times 3^{\circ}$ 'lik bölgede kullanılan toplam $N=11$ tane $I_{H\alpha}$ ışınım şiddetlerinin toplamı ise $\sum_N I_{H\alpha} = 615.38$ (R) olarak hesaplanmıştır.

Sonuç olarak, Lyman süreklilik akısı

$$L_c = 5.053 \pm 1.8 \times 10^{48} (\text{foton } s^{-1}) \quad (7)$$

olarak bulunmuştur. Elde edilen bu sonuç O5V tipi yıldızlar için teorik olarak hesaplanan değerlerle oldukça uyumlu olduğunu görülmüştür (Vacca ve ark., 1996).

Lyman süreklilik akısını kullanarak yayılı olan gazın elektron sıcaklığı hesaplanmıştır. HII bölgesindeki hidrojenin tamamen iyonize olduğunu ve elektron yoğunluğunun da (n_e) sabit olduğunu kabul ederek küresel HII bölgesinde rekombinasyon balans eşitliği aşağıdaki gibidir.

$$L_c = \alpha_B n_e^2 \frac{4\pi}{3} R_{HII}^3 \quad (8)$$

ile veriler. Burada, $\alpha_B = 3.10 \times 10^{-13} (cm^3 s^{-1})$ yeniden birleşme oranıdır (Osterbrock, 1989) ve R_{HII}^3 parsek (pc) birimindedir ($1 pc=3.086 \times 10^{18} cm$). Eşitlik 8'den elektron yoğunluğunu hesaplamak için n_e elde edilirse,

$$n_e = \left(\frac{1}{\alpha_B \frac{4\pi}{3}} \right) \sqrt{\frac{L_{c48}}{R_{HII}^3}} \quad (9)$$

eşitlikte L_{c48} , 10^{48} foton s^{-1} birimindedir (Haffner, 1999). NGC 7822 (Sh2-171) HII bölgesi için yukarıda hesaplanan $R_{HII}=46.21 \pm 3.2 pc$ ve $L_{c48}=50.53 \pm 1.8 \times 10^{48}$ (foton s^{-1}) değerlerini Eşitlik 8'de yerlerine yazarak elektron yoğunluğu $3.66 \pm 0.30 cm^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. NGC 7822 (Sh2-171) ve çevresindeki HII bölgesinin bazı fiziksel özellikleri

Parametre	Sembol	Değer	Referans
Yıldız		BD+66°1673	
Tayf türü		O5V	
Galaktik koordinatlar	(l, b)	($l=118^\circ.12$ $b=05^\circ.02$)	
Yaşı	(Myr)	2 ¹	¹ Sharpless (1959), ¹ Majaess ve ark. (2008), ¹ Panwar ve ark. (2008), ¹ Gahm ve ark. (2022)
Sönümle	$E(B-V)$	1.38±0.02 ²	² Majaess ve ark. (2008)
Güneşe uzaklığı	$d(pc)$	883±43 ⁴ 845 ⁵ 830±120 ⁶ 1017±86 ⁷ 840 ⁸	⁴ Majaess ve ark. (2008) ⁵ MacConnell (1968) ⁶ Rosvick & Majaess, (2013) ⁷ Gaia (2022) ⁸ Blitz ve ark. (1982)
Galaktik düzleme uzaklığı	$z (pc)$	81.72±10.0	
HII bölgesinin açılmal çapı	$\theta_{HII} (^\circ)$	3 ⁹	⁹ Blitz ve ark. (1982) ⁹ Sharpless (1959)
HII bölgesinin yarıçapı	$R_{HII} (pc)$	46.21±3.2 *	
H α ışınım şiddeti	$I_{H\alpha} (R)$	130.78±2.5 *	
Yayınım ölçümü	$EM (cm^{-6}pc)$	294.21±2.2 *	
Lyman süreklilik akısı	$L_c (foton s^{-1})$	50.53±1.8×10 ⁴⁸ *	
Ortalama elektron yoğunluğu	$n_e (cm^{-3})$	3.66±0.30*	

*: Bu çalışmada elde edilen sonuçlar

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, $4^\circ \times 4^\circ$ genişliğindeki sıcak iyonize olmuş NGC 7822 (Sh2-171) HII bölgesinin yapısı ve bazı fiziksel özelliklerinin araştırılması için Haffner ve ark. (2003) tarafından Samanyolu Gökadasının 1° açılmal çözünürlüklü, $15 cm$ çapa sahip çift etalonlu ve $12 km/s$ tayfsal ayırma gücüne sahip WHAM (Wisconsin Hydrogen Alpha Mapper) Fabry-Perot tayfölçeri kullanılarak hazırlanan WHAM-SS haritası ve FITS formatındaki “wham-ss-DR1-v161116-170912.fits” (önceki “whamssfts.fits”) WHAM Kinematic Survey verileri kullanılmıştır.

NGC 7822 (Sh2-171) HII bölgesinin merkezi (l, b)=($118^\circ.12, 05^\circ.02$) koordinatlarını çevreleyen yaklaşık 4° genişliğindeki bölgenin toplam 19 adet 1° 'lik H α tayfları analiz edilmiştir. Toplam seçilen alan $l=116.1$ ile $l=120^\circ.03$ ve $b=3^\circ.39$ ile $b=6^\circ.79$ Galaktik koordinatları aralığındadır. Elde edilen tayfların hızları ($V_{LSR}, km/s$), yarı genişlikleri (FWHM, km/s), ışınım parlaklıkları ($I_{H\alpha}, R$) ve yayınım ölçüleri ($EM, cm^{-6}pc$) tek tek belirlenmiştir (Çizelge 1). Yapılan analizler sonucunda Şekil 4 ve Çizelge 1'de verildiği gibi HII bölgesinin V_{LSR} hızları $-13.78 \pm 0.31 km/s$ ile $-6.73 \pm 0.39 km/s$ (ortalama $-10.53 \pm 0.21 km/s$) aralığında değiştiği görülmüştür. FWHM değerleri ise $29.67 \pm 1.16 km/s$ ile $37.27 \pm 0.21 km/s$ (ortalama $32.83 \pm 0.66 km/s$) olduğu görülmüştür. Benzer şekilde HII bölgesinden alınan çizgi

profillerinin parlaklık ve yayılım ölçüsü değerleri de sırasıyla $7.63 \pm 0.16 R$ ile $130.78 \pm 3.8 R$ (ortalama $37.24 \pm 0.99 R$), ve $EM = 17.08 \pm 0.35 - 292.90 \pm 8.51 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$ (ortalama $83.41 \pm 2.21 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$) olduğu bulunmuştur.

NGC 7822 HII bölgesinden elde edilen hız ve yarı genişlik sonuçları literatürden elden edilen Dieter (1967), Lockman (1989) ve Fich ve ark. (1990) gibi bazı çalışmalarla kıyaslanmıştır. WHAM-SS haritasının H α parlaklık değerlerini de karşılaştırmak için IDL'de APER yazılımı kullanılmış ve WHAM-SS haritası ile birlikte VTSS (Dennison ve ark., 1998) ve SHASSA (Gaustad ve ark., 2001) H α haritaların parlaklık değerleri hesaplanmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda WHAM-SS, VTSS ve SHASSA haritalarının parlaklık değerlerinin ortalamaları sırasıyla $35.02 \pm 0.14 R$, $36.25 \pm 0.01 R$ ve $34.21 \pm 0.12 R$ olarak hesaplanmış ve sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür.

Ayrıca, çalışılan bölgenin Lyman süreklilik akısı ve ortalama elektron yoğunluğu gibi bazı parametrelerini belirlemek amacıyla NGC 7822 HII bölgesinin en parlak olan $3^\circ \times 3^\circ$ genişliğindeki bölgesi seçilmiş ve bu alandaki tayflar kullanılarak bölgesini yapısı hakkında bilgi edinilmiştir. HII bölgesinin merkezinde yer alan Berkeley 59 yıldız kümesinin O5V tayfsal tipe sahip BD+66°1673' yıldızı ($d = 883.0 \text{ pc}$, $E(B-V) = 1.38$) kullanılmıştır (Majaess ve ark., 2008). Buna göre yıldız çevreleyen HII bölgesinin açısal çapı yaklaşık $46.21 \pm 3.2 \text{ pc}$ ve Galaktik orta düzlemde olan uzaklığı ise yaklaşık $81.72 \pm 10.0 \text{ pc}$ olarak hesaplanmıştır. I $_{H\alpha}$ parlaklık dağılımı kullanılarak bölgenin Lyman süreklilik akısı (L_c) ve ortalama elektron yoğunluğu (n_e) ise sırasıyla yaklaşık $50.53 \pm 1.8 \times 10^{48} \text{ foton s}^{-1}$ ve $3.66 \pm 0.30 \text{ cm}^{-3}$ olarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak, Samanyolu gökadasının yıldızlararası ortamlarındaki sıcak iyonize olmuş hidrojen bölgelerinde bulunan gazın mekanizmasının, yapısının ve sıcaklığı, elektron yoğunluğu, hızı, parlaklığı gibi bazı fiziksel özelliklerinin daha detaylı incelenmesi için daha fazla çalışılması gerekmektedir. Bu nedenle, NGC 7822 HII bölgesinin çalışması, Samanyolu Galaksimizin yıldızlararası ortamındaki en büyük bileşen olarak kabul edilen iyonize olmuş hidrojen gazının (H^+) kaynağının ne olduğu, olası ışım mekanizmasının anlaşılması, sıcaklığı, elektron yoğunluğu, iyonizasyon kesri (H^+/H) gibi bazı fiziksel durumlarının anlaşılmasına ve araştırılmasına ve literatüre önemli katkı sağlayacağını düşünmekteyiz.

Teşekkür

Bu çalışmada, Wisconsin Üniversitesi Astronomi Bölümü (Madison, ABD) tarafından geliştirilen ve NSF (National Science Foundation) tarafından finanse edilen WHAM (Wisconsin H-Alpha Mapper) tayfölçeri kullanılarak hazırlanmış WHAM-SS (WHAM Sky Survey) (WHAM-SS, 2022) haritasından elde edilen veriler kullanılmıştır. Ayrıca, elde edilen WHAM H α parlaklık verilerini karşılaştırmak amacıyla VTSS (Virginia Tech Spectral-Line Survey) ve SHASSA (Southern H-Alpha Sky Survey Atlas) H α haritaları kullanılmıştır.

Kaynakça

- Blitz, L., Fich, M., & Stark, A. A. (1982). Catalog of Co radial velocities toward galactic H II regions. *Astrophysical Journal Supplement Series*, 49, 183-206. doi:10.1086/190795
- Coakley, M. M., Roesler, F. L., Reynolds, R. J., & Nossal, S. (1996). Fabry-Perot CCD annular summing spectroscopy: Study and implementation for astronomy applications. *Applied Optics*, 35, 33. doi:10.1364/AO.35.006479
- Dennison, B., Simonetti, J. H., & Topasna, G. A. (1998). An imaging survey of northern galactic H α emission with arcminute resolution. *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 15(1), 147-148. doi:10.1071/AS98147
- Dieter, N. H. (1967). Observations of the hydrogen recombination line 158 α in galactic H II regions. *Astrophysical Journal*, 150, 435. doi:10.1086/149347
- Downes, D., & Wilson, T. L. (1974). Radio recombination lines in the direction of supernova remnants. *Astronomy and Astrophysics*, 34, 133.
- Ferriere, K. M. (2001). The interstellar environment of our galaxy. *Reviews of Modern Physics*, 73, 1031-1066. doi:10.1103/RevModPhys.73.1031
- Fich, M., Treffers, R. R., & Dahl, G. P. (1990). Fabry-Perot H-alpha observations of galactic H II regions. *Astronomical Journal*, 99(2), 622-637. doi:10.1086/115356

- Gahm, G. F., Wilhelm, M. J. C., Persson, C. M., Djupvik A. A., & Zwart S. F. P. (2022). Expanding shells around young clusters – S 171/Be 59*. *Astronomy and Astrophysics*, 663, (A111)1-26. doi:10.1051/0004-6361/202142927
- Gaia (2022). The Gaia ESA archive. <https://gea.esac.esa.int/archive/> Erişim tarihi: 17.05.2022.
- Gaustad, J. E., McCullough, P. R., Rosing, W., & Van Buren, D. (2001). A robotic wide-angle H α survey of the southern sky. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific, PASP*, 113, 1326-1348. doi:10.1086/323969
- Georgelin, Y. P., & Georgelin, Y. M., (1970). Radial velocities and distances of galactic H II regions, *Astronomy and Astrophysics*, 6, 349-363.
- Haffner, L. M., Reynolds, R. J., & Tufte, S. L. (1998). Faint large scale H α filaments in the Milky Way. *The Astrophysical Journal*, 501, L83-L87. doi:10.1086/311449
- Haffner, L. M. (1999). *The warm ionized medium: Distribution kinematics and physical conditions*. (PhD), University of Wisconsin, Physics Department, USA.
- Haffner, L. M., Reynolds, R. J., & Tufte, S. L. (1999). WHAM observations of H α , [S II], and [N II] toward the orion and perseus arms: Probing the physical conditions of the warm ionized medium. *The Astrophysical Journal*, 523(1), 223-233. doi:10.1086/307734
- Haffner, L. M. (2001). *The Wisconsin H-alpha mapper northern sky survey*. ASP Conference Series 231, Fourth Tetons Conference: Galactic Structure, Stars and the Interstellar Medium, San Francisco, CA, USA. doi:10.48550/arXiv.astro-ph/0112232
- Haffner, L. M., Reynolds, R. J., Tufte, S. L., Madsen, G. J., Jaehnig, K. P., Percival, J. W. (2003). The Wisconsin H α mapper northern sky survey. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 149(2), 405-422. doi:10.1086/378850
- Haffner, L. M., Dettmar R. J., Beckman, J. E., Wood K., Slavin, J. D., Giammanco, C., Madsen, G. J., Zurita, A., & Reynolds, R. J. (2009). The warm ionized medium in spiral galaxies. *Reviews of Modern Physics*, 81(3), 969-997. doi:10.1103/RevModPhys.81.969
- Haffner, L. M., Reynolds, R. J., Madsen, G. J., Hill, A. S., Barger, K. A., Jaehnig, K. P., Mierkiewicz, E. J., Percival, J. W., & Chopra, N. (2010). *Early results from the Wisconsin H-alpha mapper southern sky survey*. "The Dynamic ISM: A celebration of the Canadian Galactic Plane Survey," ASP Conference Series. doi:10.48550/arXiv.1008.0612
- Hoyle, F., & Ellis, G. R. A. (1963). On the Existence of an Ionized Layer about the Galactic Plane. *Australian Journal of Physics*, 16, 1.
- Lockman, F. J. (1989). A survey of radio H II regions in the northern sky. *Astrophysical Journal Supplement Series*, 71, 469-479. doi:10.1086/191383
- MacConnell, D J. (1968). Study of the Cepheus IV association. *Astrophysical Journal Supplement*, 16(147), 275-98. doi:10.1086/190175
- Majaess, D. J., Turner, D. G., Lane, D. J., & Moncrieff, K. E. (2008). The exciting star of the Berkeley 59/Cepheus OB4 complex and other chance variable star discoveries. *The Journal of the American Association of Variable Star Observers*, 36(1), 90-109. doi:10.48550/arXiv.0801.3749
- Martin, P. G. (1988). Hydrogenic radiative recombination at low temperature and density. *Astrophysical Journal Supplement Series*, 66, 125-138. doi:10.1086/191249
- Mierkiewicz, E. J., Roesler, F. L., Nossal, S. M., & Reynolds, R. J. (2006). Geocoronal hydrogen studies using Fabry–Perot interferometers, part 1: Instrumentation, observations, and analysis. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 68(13), 1520-1552. doi:10.1016/j.jastp.2005.08.024
- Nossal, S., Mierkiewicz, E. J., Roesler, F. L., Reynolds, R. J., & Haffner, L. M. (2006). Geocoronal hydrogen studies using Fabry-Perot interferometers, part 2: Long-term observations. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 68(13), 1553-1575. doi:10.1016/j.jastp.2005.08.025
- Osterbrock, D. E. (1989). *Astrophysics of Gaseous Nebulae and Active Galactic Nuclei*. Mill Valley, CA, USA: University Science Books.
- Panwar, N., Pandey, A. K., Samal, M. R., Battinelli, P., Ogura, K., Ojha, D. K., Chen, W. P., & Singh, H. P. (2008). Young cluster Berkeley 59: properties, evolution, and star formation. *The Astronomical Journal*, 155(1), 44. doi:10.3847/1538-3881/aa9f1b

- Pedlar, A. (1980). Observations of H166-alpha lines from extended low-brightness H II regions. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 192(2), 179-195. doi:10.1093/mnras/192.2.179
- Reynolds, R. J., Roesler, F. L., & Scherb, F. (1973). Low-Intensity Balmer emissions from the interstellar medium and geocorona. *Astrophysical Journal*, 179, 651-657. doi:10.1086/151904
- Reynolds, R. J., Roesler, F. L., & Scherb, F. (1974). The intensity distribution of diffuse galactic H α emission. *The Astrophysical Journal*, 192, L53-L56. doi:10.1086/181589
- Reynolds, R. J., & Ogden, P. M. (1982). HII regions surrounding high galactic latitude O stars. *The Astronomical Journal*, 87(2), 306-312. doi:10.1086/113104
- Reynolds, R. J. (1984). Optical emission line studies and the warm ionized component of the local interstellar medium. *International Astronomical Union Colloquium*, 81, 95-108. doi:10.1017/S0252921100098067
- Reynolds, R. J. (1985). [SII] λ 6716 in the galactic emission-line background. *The Astrophysical Journal*, 294, 256-262. doi:10.1086/163294
- Reynolds, R. J. (1988). [SII]/H α intensity ratios in faint extended HII regions and the origin of the interstellar emission-line background. *The Astrophysical Journal*, 333, 341-352. doi:10.1086/166750
- Reynolds, R. J. (1989). The column density and scale height of free electrons in the galactic disk. *Astrophysical Journal*, 339, L29. doi:10.1086/185412
- Reynolds, R. J., Roesler, F. L., Scherb, F., & Harlander, J. (1990). *Fabry-Perot/CCD multi channel spectrometer for the study of warm ionized interstellar gas and extragalactic clouds*. Proceedings SPIE 1235, Instrumentation in Astronomy VII, Tucson, AZ, USA. doi:10.1117/12.19124
- Reynolds, R. J. (1992). The optical emission-line background and accompanying emissions at ultraviolet, infrared, and millimeter wavelengths. *The Astrophysical Journal*, 392, L35-L38.
- Reynolds, R. J. (1992). The warm ionized medium. *AIP Conference Proceedings*, 278(1), 156-165. doi:10.1063/1.44005
- Reynolds, R. J. (1997). Ionizing the galaxy. *Science*, 277(5331), 1446-1447. doi:10.1126/science.277.5331.1446
- Rosvick, J. M., & Majaess, D. (2013). Star formation near Berkeley 59: Embedded protostars. *The Astronomical Journal*, 146(6), 142. doi:10.1088/0004-6256/146/6/142
- Strömgren, B. M. (1939). The physical state of interstellar hydrogen. *The Astrophysical Journal*, 89, 526-547. doi:10.1086/144074
- Sahan, M., & Haffner, L. M. (2016). The ionization structure of sharpless 2-264: Multiwavelength observations of the λ ori HII region. *The Astronomical Journal*, 151(6), 147. doi:10.3847/0004-6256/151/6/147
- Sahan, M., & Yegingil I. (2017). The eighty six H α spectra from the orion nebula (M42, Sh2-281) with DEFPOS. *Journal of Astrophysics And Astronomy*, 38 (67), 1-13. doi:10.1007/s12036-017-9486-1
- Sharpless, S. (1959). A catalogue of H II regions. *Astrophysical Journal Supplement*, 4, 257-279. doi:10.1086/190049
- Tufte, S. L. (1997). *The WHAM spectrometer: Design, performance characteristics and first results*. (PhD), University of Wisconsin, Physics Department, USA.
- WHAM-SS. (2022). The WHAM Sky Survey. <http://ftp.astro.wisc.edu/wham-site/wham-sky-survey/wham-ss/> Erişim tarihi: 17.05.2022.
- Vacca, W. D., Garmany, C. D., & Shull, J. M. (1996). The Lyman-continuum fluxes and stellar parameters of O and early B-type stars. *The Astrophysical Journal*, 460, 914-931. doi:doi:10.1086/177020
- Yang, J., & Fukui, Y. (1992). A CO study of Sharpless 171 - Evidence for interaction between the H II region and its neighboring molecular cloud. *The Astrophysical Journal*, 386(2), 618-626. doi:10.1086/171043



Research Article

Investigation of Callipyge Gene Polymorphism in Akkaraman Sheep Breed

Melike KAVUZKOZ, Koray KIRIKÇI*

Kırşehir Ahi Evran University, Agriculture Faculty, Animal Science Department 40100, Kırşehir, Türkiye
Melike KAVUZKOZ, ORCID No: 0000-0003-2925-7929, Koray KIRIKÇI, ORCID No: 0000-0001-8087-141X

*Corresponding author e-mail: koray.kirikci@ahievran.edu.tr

Article Info

Received: 24.07.2022
Accepted: 17.11.2022
Online April 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1145441

Keywords

Akkaraman sheep,
Callipyge,
FaqI,
PCR-RFLP

Abstract: *Callipyge (CLPG)* is a candidate gene with a significant effect on meat quality and growth in sheep. The aim of this study was to investigate the polymorphism of the *CLPG* gene in the Akkaraman breed. In the study, DNAs obtained from the blood samples of 50 Akkaraman sheep was used as study material. The *CLPG/FaqI* polymorphism was examined in all individuals using the method PCR-RFLP. Only A allele and AA genotype were detected after PCR-RFLP procedure. This is the first study in which *CLPG* gene polymorphism was investigated in Akkaraman breed, and the findings showed that the Akkaraman breed has a monomorphic structure in terms of *CLPG/FaqI* polymorphism.

Akkaraman Koyun Irkında Callipyge Gen Polimorfizminin Araştırılması

Makale Bilgileri

Geliş: 24.07.2022
Kabul: 17.11.2022
Online Nisan 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1145441

Anahtar Kelimeler

Akkaraman koyunu,
Callipyge,
FaqI,
PCR-RFLP

Öz: *Callipyge (CLPG)* koyunlarda et kalitesi ve büyüme üzerinde önemli etkisi olan bir aday genidir. Çalışmada Akkaraman koyun ırkında *CLPG* gen polimorfizminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırmada Akkaraman ırkı 50 baş koyuna ait kan örneklerinden elde edilen DNA'lar çalışma materyali olarak kullanılmıştır. Tüm bireylerde *CLPG/FaqI* polimorfizmi PCR-RFLP yöntemi ile araştırılmıştır. PCR-RFLP işlemi sonrasında sadece A alleli ve AA genotipi tespit edilmiştir. Bu çalışma *CLPG* gen polimorfizminin Akkaraman ırkında araştırıldığı ilk çalışma olup elde edilen bulgular Akkaraman ırkının *CLPG/FaqI* polimorfizmi bakımından monomorfik bir yapıya sahip olduğunu göstermiştir.

1. Introduction

The most of economically valuable features in animal breeding are quantitative characters which are shaped by polygenic inheritance and environmental factors. The genetic improvement by traditional breeding methods is restricted for quantitative traits. Scientists can identify genes that impact economically relevant characteristics and include them in genomic selection studies, thanks to advancements in molecular technology (Cesarani et al., 2019; Gorlov et al., 2020; Mohammed et al., 2022). In this regard, molecular studies play a critical role in animal breeding.

The performance of growth and development within a certain period is a critical aspect determining profit in sheep farming. To decide on genetic breeding strategies, it is important to know the genetic potential of domestic sheep breeds in terms of traits that are important to industry, such as meat quality and yield.

The *callipyge* gene (*CLPG*), first described in 1983 in the Dorset breed of sheep, is one of the well-studied genes affecting sheep muscle development and is located on sheep chromosome 18 (Cockett et al., 1996). The *CLPG* mutation occurs with a single base change (G-A) that does not disrupt the protein coding sequence (Jackson et al., 1997). The *CLPG* causes muscle hypertrophy that is restricted to the pelvic and lumbar muscles with little or no effect on the anterior skeletal muscles (Cockett et al., 1996). As described in several studies, this gene also provides a higher leg score and carcass percentage, larger longissimus loins, superior leanness composition, higher leg values, higher percentage of dressing percentages, and optimal feed conversion, as well as higher body weight and Baron-Crevat indices (Jackson et al., 1997; Jawasreh et al., 2019; Esen et al., 2022b).

Most of the molecular studies on meat yield in Turkish sheep breeds have been performed on the cast, leptin, and a few other genes, while the *CLPG* gene was studied less (Balcioglu et al., 2014; Bayram et al., 2019; Kırıkçı et al., 2021; Kırıkçı, 2022). In addition, there is currently no study that describes the genetic structure of the Akkaraman sheep breed for the *CLPG* gene. Nonetheless, there is a growing interest in the *CLPG* gene in several native and cross breeds in Turkey (Esen et al., 2022a and 2022b). Researchers reported that the Kırıkçı breed, an indigenous Turkish sheep breed, has the *CLPG* mutation. Considering the previous studies, the aim of this study was to determine the genetic structure of the *CLPG* gene in the Akkaraman breed with the highest number within the sheep population in Turkey

2. Material and Methods

DNA samples were extracted from blood samples of 50 sheep of the Akkaraman breed collected from seven flocks as part of two subprojects (TAGEM/66 AKK2011-01 and AKK2012-02) in the Yozgat province (Ethical permission number: 2021/3, Ahi Evran University, Kırşehir, Turkey). DNA isolation was performed using a commercial DNA isolation kit (Genomic DNA isolation kit, Thermo Scientific.). PCR process was applied with primer pairs (forward; 5' TGAAAACGTGAACCCAGA AGC3', reverse; 5'GTCCTAAATAGGTCCTCTCG3') for the amplification of *CLPG* gene. PCR was performed under reaction conditions prepared in 25 µL final volume, including 13 µL Master Mix red (2X) (1.5 mM of MgCl₂ in final concentration), 1 µL forward and reverse primer, 1.5 µL pure DNA and 9.5 µL H₂O. The PCR conditions were performed as follows: and first 95°C for 5 min, followed by 35 cycles of denaturation at 95°C for 35 s, annealing at 56°C for 30 s, extension at 72°C for 1 min and a final extension at 72°C for 5 min.

PCR products of 426 bp length were digested with the *FaqI* restriction enzyme for the RFLP process. Digestion was performed in a final volume of 30 µL consisting of 1.2 µL of the fast digest *FaqI* enzyme (Thermo Scientific, ER1811) 10 µL of the PCR product, 2 µL of 10X buffer Tango, 0.6 µL of 50X SAM and 18 µL pure water. To determine the animals' genotypes, reaction mixture for RFLP was incubated at 37 °C for 16 h and then at 80 °C for 20 min. After RFLP analysis, the samples were run in 3% high resolution agarose gel electrophoresis and then visualized with green safe dye.

3. Results

In the present study, a part of 426 bp of the *CLPG* gene was amplified by PCR and the PCR products were then subjected to digestion of the restriction enzyme *FaqI* to identify possible genotypes in the Akkaraman breed. After PCR-RFLP, the products were electrophoresed in a 3% agarose gel (Figure 1). Two fragments of 395 bp and 31 bp were expected for the mutant allele G, while three fragments of 278 bp, 117 bp and 31 bp were expected for allele A. The results showed that all individuals had a wild type genotype or carried no mutation (A → G transition), as shown in Figure 1.

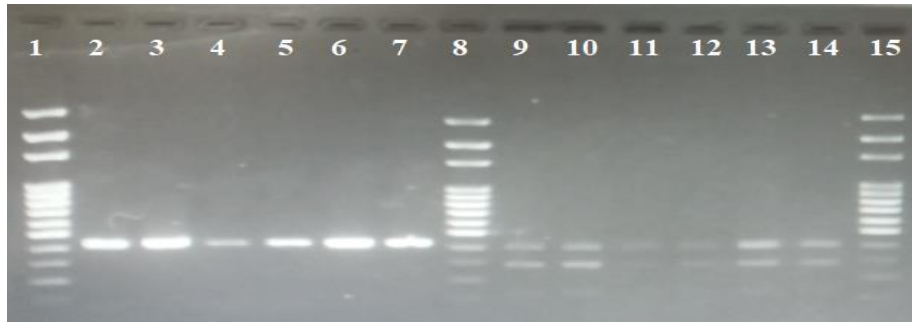


Figure 1. The results of 426 bp *CLPG* gene amplification with the PCR-RFLP. Line: 1,8,15; 100 bp DNA ladder, Line 2-7; PCR results and Line 9-14; AA genotypes.

All ewes were in the AA genotype. Therefore, the frequency of the AA genotype in the study population was 1.00, which did not lead to an assessment of genetic equilibrium. Also, allele frequencies were not compared with each other due to detecting only one allele, A.

4. Discussion and Conclusion

The *CLPG* gene plays an important role in sheep breeding because it ensures a higher carcass weight with the desired fat content of the carcass. Several studies have shown that the carcasses of lambs carrying a *CLPG* mutation are more desirable and profitable than those without the mutation (Jawasreh et al., 2016; Penick et al., 2017). Despite *CLPG* gene's important influence on meat quality, there have been few studies on the *CLPG* gene in Turkey. On the other hand, no studies of the genotypic structure of *CLPG* have been published for the Akkaraman breed.

The present study provided first report about the genetic structure of *CLPG* in Akkaraman sheep. The findings demonstrated that there was no mutant G allele for the *CLPG* in the studied Akkaraman sheep. Therefore, the highest allele and genotype frequencies were found to be A and AA, respectively. In the study, the allele frequencies were not compared with each other, as only one allele was detected. Besides, since the frequency of the AA genotype was 1.00, the Hardy-Weinberg equilibrium was not checked on the basis of the X^2 test. These results were similar to a study by Gabor, who reported that only the homozygous genotype AA for the *CLPG* gene occurred in sheep of the Tsigai, improved Valachian, East Friesian, Lacaune breeds and the Lacaune and Tsigai crosses. The same result was also found in North-Eastern Bulgarian Merino sheep (Bozhilova-Sakova et al., 2020), Lori sheep from Iran (Nanekarani et al., 2014), the Avicalin, Bharat Merino, Nellore, Chokla, and Mapura breeds from India (Meena et al., 2018). However, the results obtained from the current study were in contrast to those for the Dorset, Rambouillet and Hampshire sheep breeds (Jackson et al., 1997). One possible explanation for the presence of mutation in these breeds is that the *CLPG* mutation originated in the Dorset breed and spread to other breeds (Cockett et al., 1994). Esen et al. (2022a), who studied the structure of the *CLPG* gene in five sheep breeds, reported the genotype frequencies MN-12.50 and NN-93.75 for the Kırırcık breed. Some studies have shown that the advantages of the *CLPG* mutation include larger longissimus loin eye areas, better lean composition, higher leg values and dressing percentages, and optimal feed conversion (Koohmaraie et al., 1995; Jackson et al., 1997). Jawasreh et al. (2019) discovered that the *CLPG* mutation, which contains 25% Rambouillet genes, can improve growth and meat quality.

CLPG lambs have higher feed efficiency and lower daily feed intake, resulting in lower production costs (Jackson et al., 1997). The use of the *CLPG* mutation in native sheep breeds in studies of introgression can lower the price of lambs for consumers and make the sheep industry more profitable (Esen et al., 2022a and 2022b). There were almost no studies on the *CLPG* gene in Turkish native sheep breeds except for a few breeds and the findings of the current study were the first for the Akkaraman breed, which is the most common sheep breed in Turkey. In general, the lack of research on the *CLPG* gene may be due to the absence of the *CLPG* phenotype in domestic Turkish sheep breeds. However, the preliminary results of this study have clarified the genetic structure of the Akkaraman breed at the molecular level.

The Akkaraman sheep, which is a fat-tailed and combined breed, represents an important part of the Turkish sheep population (Ünal, 2002). Therefore, the detection of a mutation that can be utilized

to genetically improve meat quality in the Akkaraman sheep breed may have a higher impact than in other indigenous breeds with small numbers. It is difficult to say whether or not genetic selection studies are performed for the Akkaraman breed because most selection studies are conducted by breeders based on morphological observations and previous experiences (Ceyhan et al., 2019). Considering that conventional breeding methods are difficult and time-consuming, possible or other genes affect meat yield and quality of domestic sheep breeds, especially the Akkaraman breed, should be investigated in comprehensive studies.

In breeding studies, the introgression of the *CLPG* mutation to non-mutant breeds has been suggested as a method for enhancing meat yield and quality (Gootwine et al., 2003; Jawasreh et al., 2019). According to the data obtained by Jawasreh et al. (2019), who crossbred Awassi with Rambouillet having the mutation, the *CLPG* gene significantly improved growth and carcass quality. In addition to crossbreeding, it is crucial for the implementation of marker-assisted selection within a breed that the related gene exhibits variation. Esen et al. (2022a) pointed out that *CLPG* gene could be adopted to selection programs thanks to the polymorphic structure in the most breeds they studied. However, the knowledges obtained from this study could be not used for the selection studies aiming to increase productivity in the studied Akkaraman ewes due to non-polymorphic structure of the studied gene. When the samples were collected from the Akkaraman breed, no lambs with the *CLPG* phenotype were observed. Even if the Akkaraman breed did not carry the mutation, there was no evidence at the molecular level about the structure of the *CLPG* gene in the Akkaraman breed. The present study was the first to investigate the *CLPG* gene in the Akkaraman breed. Studies with high sample sizes may yield more definitive information regarding the genetic structure of the *CLPG* gene in the Akkaraman breed.

References

- Balcıoğlu, M., Karslı, T., Şahin, E., Ulutaş, Z., & Aksoy, Y. (2014). Türkiye'de yetiştirilen bazı yerli koyun ırklarında kalpastatin (CAST) geni polimorfizminin PCR-RFLP yöntemiyle belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 20(4), 427-433. doi:10.15832/tbd.87050
- Bayram, D., Akyüz, B., Arslan, K., Özdemir, F., Aksel, E. G., & Çınar, M. U. (2019). DGAT1, CAST and IGF-I gene polymorphisms in Akkaraman lambs and their effects on live weights up to weaning age. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 25(1), 9-15. doi:10.9775/kvfd.2018.20055
- Bozhilova-Sakova, M., Dimitrova, I., Tzonev, T. I., & Petrov, N. (2020). Genotype frequencies in calpastatin (CAST) and callipyge (CLPG) genes in Northeast Bulgarian Merino sheep breed using PCR-RFLP method. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 26(2), 475-479.
- Cesarani, A., Gaspa, G., Correddu, F., Cellesi, M., Dimauro, C., & Macciotta, N. P. P. (2019). Genomic selection of milk fatty acid composition in Sarda dairy sheep: Effect of different phenotypes and relationship matrices on heritability and breeding value accuracy. *Journal of Dairy Science*, 102(4), 3189-3203. doi:10.3168/jds.2018-15333
- Ceyhan, A., Şekeroğlu, A., & Duman, M. (2019). Some reproductive traits and lambs growth performance of Akkaraman sheep raised in Niğde province. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7(10), 1509-1514. doi:10.24925/turjaf.v7i10.1509-1514.2249
- Cockett, N. E., Jackson, S. P., Shay, T. L., Nielsen, D., Moore, S. S., Steele, M. R., Barendse, W., Green, R. D., & Georges, M. (1994). Chromosomal localization of the callipyge gene in sheep (Ovis aries) using bovine DNA markers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91(8), 3019-3023. doi.org/10.1073/pnas.91.8.301
- Cockett, N. E., Jackson, S. P., Shay, T. L., Farnir, F., Berghmans, S., Snowden, G. D., Nielsen, D. M., & Georges, M. (1996). Polar overdominance at the ovine callipyge locus. *Science*, 273(5272), 236-238. doi:10.1126/science.273.5272.236
- Esen, V. K., Esen, S., Karadağ, O., Önenç, A., & Elmacı, C. (2022a). Genotypic characterization of meat-type lambs expressing the callipyge gene in Turkey: I. Carcass characteristics and retail yield. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 46(1), 157-164. doi:10.3906/vet-2112-7
- Esen, V. K., Esen, S., Karadağ, O., & Elmacı, C. (2022b). Genotypic characterization of meat-type lambs expressing the callipyge gene in Turkey: II. Effect on body indexes. *Small Ruminant Research*, 208, 106633. doi:10.1016/j.smallrumres.2022.106633

- Gootwine, E., Rosov, A., Bor, A., Yossafi, S., & Zenue, A. (2003). Introgression of the callipyge mutation into the Assaf fat tail breed. *Options Méditerranéennes*, 55, 125-131.
- Gorlov, I. F., Shirokova, N. V., Kolosov, Y. A., Kolosov, A. Y., Getmantseva, L. V., Slozhenkina, M. I., ... & Ponomariov, V. V. (2020). Polymorphism of CLPG gene in three sheep breeds grown in the steppe zone of the Russian Federation. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 7(1), 51. doi:10.5455/javar.2020.g392
- Jackson, S. P., Green, R. D., & Miller, M. F. (1997). Phenotypic characterization of Rambouillet sheep expressing the callipyge gene: I. Inheritance of the condition and production characteristics. *Journal of Animal Science*, 75(1), 14-18. doi:10.2527/1997.75114x
- Jawasreh, K. I., Al-Amareen, A. H., & Abdullah, A. Y. (2016). P7000 Growth performance and meat characteristics of Awassi sheep that holds the callipyge gene. *Journal of Animal Science*, 94(4), 175-176. doi:10.2527/jas2016.94supplement4175b
- Jawasreh, K. I., Alamareen, A. H., Obeidat, M. D., & Aad, P. Y. (2019). Growth performance and meat characteristics of the first awassi-rambouillet callipyge backcross. *Animals*, 9(8), 517. doi:10.3390/ani9080517
- Kırıkçı, K., Çam, M. A., & Mercan, L. (2021). Investigation of the CAST Gene Polymorphism in Karayaka Sheep. *Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences*, 11(1), 89-93.
- Kırıkçı, K. (2022). Polymorphism of the calpastatin (CAST) and growth differentiation factor 9 (GDF9) genes in Akkaraman Sheep Breed. *Journal of Animal Production*, 63(1), 21-26. doi:10.29185/hayuretim.1008768
- Koohmaraie, M., Shackelford, S. D., Wheeler, T. L., Lonergan, S. M., & Doumit, M. E. (1995). A muscle hypertrophy condition in lamb (Callipyge): Characterization of effects on muscle growth and meat quality traits. *Journal of Animal Science*, 73(12), 3596-3607. doi:10.2527/1995.73123596x
- Meena, A. S., Kumari, R., Jyotsana, B., Kumar, R., Prince, L. L. L., Kumar, V., & Kumar, S. (2018). Absence of overdominance phenotype of Callipyge gene in Indian sheep. *Indian Journal of Animal Sciences*, 88(4), 504-505.
- Mohammed, M. M., Al-Thuwaini, T. M., & Al-Shuhaib, M. B. S. (2022). A novel p.K116Q SNP in the OLR1 gene and its relation to fecundity in Awassi ewes. *Theriogenology*, 184, 185-190. doi:10.1016/j.theriogenology.2022.03.014
- Nanekarani, S., Goodarzi, M., & Mahdavi, M. (2014). Analysis of polymorphism of Callipyge Gene in Lori Sheep by PCR-RFLP method. *APCBEE Procedia*, 8, 65-69. doi:10.1016/j.apcbee.2014.03.002
- Penick, M., Kim, H. W., Setyabrata, D., Waddell, J. N., Bidwell, C. A., & Kim, Y. H. B. (2017). Callipyge genotypic effects on meat quality attributes and oxidation stability of ovine *M. longissimus*. *Small Ruminant Research*, 146, 5-12. doi:10.1016/j.smallrumres.2016.11.011
- Ünal, N. (2002). Survival rate, growth characteristics and some body measurements of Akkaraman and Sakız (Chios) x Akkaraman F1 lambs. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 26(1), 109-116.



Research Article

A Study on the Non-selfadjoint Schrödinger Operator with Negative Density Function

Nimet COSKUN*

Karamanoglu Mehmetbey University, Kamil Ozdag Science Faculty, Mathematics Department, 70100,
Karaman, Türkiye

Nimet COSKUN, [ORCID No:0000-0001-9753-0101](https://orcid.org/0000-0001-9753-0101)

*Corresponding author e-mail: cannimet@kmu.edu.tr

Article Info

Received: 01.07.2022
Accepted: 18.11.2022
Online April 2023

DOI:[10.53433/yyufbed.1139044](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1139044)

Keywords

Negative density function,
Spectral analysis,
Spectral singularities

Abstract: This study focuses on the spectral features of the non-selfadjoint singular operator with an out-of-the-ordinary type weight function. Take into consideration the one-dimensional time-dependent Schrödinger type differential equation

$$-y'' + q(x)y = \mu^2 \rho(x)y, x \in [0, \infty),$$

holding the initial condition

$$y(0) = 0,$$

and the density function defined with a completely negative value as

$$\rho(x) = -1.$$

There is an enormous number of the papers considering the positive values of $\rho(x)$ for both continuous and discontinuous cases. The structure of the density function affects the analytical properties and representations of the solutions of the equation. Unlike the classical literature, we use the hyperbolic type representations of the equation's fundamental solutions to obtain the operator's spectrum. Additionally, the requirements for finiteness of eigenvalues and spectral singularities are addressed. Hence, Naimark's and Pavlov's conditions are adopted for the negative density function case.

Negatif Yoğunluk Fonksiyonuna Sahip Kendine Eşlenik Olmayan Schrödinger Operatörü Üzerine Bir Çalışma

Makale Bilgileri

Geliş: 01.07.2022
Kabul: 18.11.2022
Online Nisan 2023

DOI:[10.53433/yyufbed.1139044](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1139044)

Anahtar Kelimeler

Negatif yoğunluk fonksiyonu,
Spektral analiz,
Spektral tekillikler

Öz: Bu çalışmada kendine eşlenik olmayan, singüler ve standard dışı bir ağırlık fonksiyonuyla birlikte tanımlanmış operatörün spektral özellikleri ele alınacaktır. Bir boyutlu, zamana bağımlı Schrödinger tipli diferansiyel denklem

$$-y'' + q(x)y = \mu^2 \rho(x)y, x \in [0, \infty),$$

$$y(0) = 0,$$

başlangıç koşulu ve tamamen negatif olarak tanımlı

$$\rho(x) = -1,$$

yoğunluk fonksiyonuyla birlikte göz önüne alınsın. Pozitif değerli sürekli ve süreksiz yoğunluk fonksiyonuna sahip operatörler için literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Yoğunluk fonksiyonunun yapısı operatörün analitik özelliklerini ve çözümlerin gösterimini etkilemektedir. Klasik literatürden farklı olarak, bu çalışmada hiperbolik tipli temel çözümler operatörün spektrumunu belirlemek için kullanılmıştır. Buna ek olarak, özdeğerlerin ve spektral tekilliklerin sonluluğu için gerekli koşullar elde edilmiştir. Böylece, Naimark ve Pavlov koşulları, negatif yoğunluk fonksiyonuna sahip operatör durumunda çözülmüştür.

1. Introduction

The analysis of differential and discrete equations spectral features have emerged as a topic of curiosity in quantum physics and has become the source of extensive publications. It is clear that studies of spectral and scattering theory help to obtain very important information about nuclear particles and sub-particle physics. For these reasons, mathematical theories modelling the behaviors of the particles in quantum physics remain a popular research area (Naimark, 1954 and 1968; Pavlov, 1962; Chadan & Sabatier, 1977; Marchenko, 1986; Amrein, 2005; Levitan, 1987; Mutlu & Kir, 2020).

Take into account the one-dimensional Schrödinger equation

$$-y'' + q(x)y = \lambda^2 \rho(x)y, x \in [0, \infty), \quad (1)$$

where ρ denotes the density function and λ stands for the eigenparameter. There is excessive number of research papers on the inverse and direct problems for $\rho(x) = 1$ (Bairamov et al., 1999; Adıvar & Akbulut, 2010; Mamedov, 2010; Olgun & Coskun, 2010; Koprubasi & Yokus, 2014; Yokus & Coskun, 2019). The inverse problem of the operator with the equation (1) and discontinuous weight (density) function $\rho(x) = \begin{cases} \alpha^2, & 0 \leq x < a \\ 1, & x \geq a \end{cases}$ where $0 < \alpha \neq 1$ has been handled by Mamedov (2010). The function's discontinuity heavily influences the structure of the Jost solution. Similarly, the representation of the main equation has been affected by the discontinuous weight, too. As a consequence, discontinuous positive valued weight function case took a prominent attention from various authors (Darwish, 1993; Gasymov & El-Reheem, 1993; Guseinov & Pashaev, 2002; Adıvar & Akbulut, 2010; Mamedov & Cetinkaya, 2015; Nabiev & Mamedov, 2015; Bairamov et. al., 2018).

It is vital to point out at this stage that Naimark was the first who attacked the singular non-selfadjoint problem for $\rho(x) = 1$ (Naimark, 1960 and 1968). Let us remark that since the operator generated by the help of the equation (1) is defined on the unbounded interval, it is said to be a singular operator. Also, complex valued potential function results to a non-selfadjoint (also called non-hermitian) operator. Naimark demonstrated that the operator's spectrum comprises eigenvalues, spectral singularities, and continuous spectrum. Under certain constraints, it is also confirmed by him that all these eigenvalues and spectral singularities must be of finite number and multiplicity. Non-hermitian Sturm-Liouville differential equations with the positive valued discontinuous density function have been researched in various paper employing Naimark's and Pavlov's methodologies (Pavlov, 1962; Naimark, 1968; Levitan, 1987).

Unlike the known literature, inverse scattering and inverse spectral theory of the Sturm-Liouville type operators with sign-changing density function has been studied by Gasymov and El-Reheem (1993). The interested reader may also consult the papers (El-Raheem and Nasser, 2014; El-Raheem & Salama, 2015) and the references therein for the detailed information about the sign-valued density function case and its application in physics. The most crucial reason distinguishing this problem from the positive-valued weight function case is the new analytical difficulties that arising from the weight function's negative value. As a result of the appearance of the hyperbolic type solutions of the Sturm-Liouville problems, the analytical features of the solutions change entirely. Hence, we need to re-examine the spectral properties of the operators for the potentials including negative values.

Let us also remind that in discrete analogue of the Sturm-Liouville and Dirac operators, the representation of the Jost solution is determined by the eigenparameter transformation. While the trigonometric transformation $\lambda = 2\cos z$ results in analytical solutions in the upper half-plane (Bairamov et al., 2001; Yokus & Coskun, 2016), hyperbolic type transformation $\lambda = 2\cosh z$ gives the Jost solutions which are analytic in the left-half plane (Bairamov et al., 2010; Koprubasi, 2021; Koprubasi & Aygar Küçükevcilioğlu, 2022). Also, in the paper (Bairamov et al., 2010), the eigenparameter of the non-selfadjoint boundary value problem was taken as $\lambda = (iz) - (iz)^{-1}$, $|z| \leq 1$. As a result of this transformation, the Jost solution obtained the polynomial type representation which is analytic in the unit disc.

In addition to that, (Lyantse, 1968), the Jost solution of the difference equation analogue of the Sturm-Liouville operator has been investigated for the eigenparameters $\lambda = \frac{1}{2}(z^{-1} + z)$, $|z| \leq 1$. A

non-standard representation for the Jost solution has been obtained under this eigenparameter transformation, too.

This manuscript was influenced by the prior researches mentioned above. The spectral features of the non-hermitian singular Sturm-Liouville type equation for $\rho(x) = -1$ will be concentrated on. Compared to the discrete cases (Lyantse, 1968; Bairamov et al., 2001; Bairamov et al., 2010; Yokus & Coskun, 2016; Koprubasi, 2021; Koprubasi & Aygar Küçükevcilioğlu, 2022), it is clear that the problem of under what circumstances one obtains analytical solutions of Sturm-Liouville type differential operators in different regions has not been studied enough. Hence, this paper may fill the gap in the literature. Let us also remark that, while the transformation chosen for the eigenparameter determines the analytical characteristics of the Jost solutions in discrete problems; the structure of the weight function affects the Jost solution in differential case. Hence, based on this idea, this paper may also lay the groundwork for new research topics in inverse and direct problems. This paper also has crucial importance since this is one of the first studies considering the negative value of the density function for the singular non-selfadjoint operators.

2. Solutions to the Problem

We provide preliminary data for the negative density function case in this section, which could also be derived using similar theorems and methodologies (Marchenko, 1986; Gasymov & El-Reheem, 1993; El-Raheem & Nasser, 2014).

Let us introduce the differential operator T in the Hilbert space $L^2_\rho(\mathbb{R}_+)$ with help of the differential equation

$$-y'' + q(x)y = \mu^2 \rho(x)y, x \in \mathbb{R}_+, \tag{2}$$

and the initial condition

$$y(0) = 0, \tag{3}$$

where

$$\rho(x) = -1, \tag{4}$$

and μ is an eigenparameter. We also assume that the potential function q is complex-valued. Clearly, together with the expressions (2)-(4) and our assumptions, the operator T is a singular and non-selfadjoint operator.

Except otherwise indicated, we presume that $q(x)$ holds

$$\int_0^\infty x|q(x)|dx < \infty. \tag{5}$$

Consider the solutions of (2) as $S(x, \mu)$ and $C(x, \mu)$ which hold the initial conditions

$$\begin{aligned} S(0, \mu) &= 0, S'(0, \mu) = 1, \\ C(0, \mu) &= 1, C'(0, \mu) = 0. \end{aligned} \tag{6}$$

Take into account the case $q(x) \equiv 0$. Then, (2) takes the form

$$y'' = \mu^2 y, x \in \mathbb{R}_+. \tag{7}$$

Thus, $S(x, \mu)$ and $C(x, \mu)$ can be represented by the hyperbolic type representations

$$\begin{aligned} S(x, \mu) &= \frac{\sinh \mu x}{\mu}, \\ C(x, \mu) &= \cosh \mu x. \end{aligned} \tag{8}$$

Using the results of (Marchenko, 1986) and the constant coefficients method, one can easily verify that the fundamental solutions $S(x, \mu)$ and $C(x, \mu)$ have the Volterra type integral representations as

$$S(x, \mu) = \frac{\sinh \mu x}{\mu} + \int_0^x P(x, t) \frac{\sinh \mu(x-t)}{\mu} dt, \tag{9}$$

and

$$C(x, \mu) = \cosh \mu x + \int_0^x Q(x, t) \cosh \mu t dt. \tag{10}$$

Moreover, the functions S and C are entire with respect to the variable μ . They are also analytic on the left half-plane $Re \mu \leq 0$. Existence and uniqueness results of the solutions $S(x, \mu)$ and $C(x, \mu)$ can also be proven analogous to (Marchenko, 1986). Also, Wronskian of the solutions S and C might be formulated as $W[S(x, \mu), C(x, \mu)] = -1, \mu \in \mathbb{C}$.

Let us now indicate by $e(x, \mu)$ the solution of (2) that fullfils the asymptotic criteria $\lim_{x \rightarrow \infty} e(x, \mu) e^{-\mu x} = 1, Re \mu < 0$.

Under condition (5), (2) has the solution of the form

$$e(x, \mu) = e^{\mu x} + \int_x^\infty K(x, t) e^{\mu t} dt. \tag{11}$$

(11) is referred as the Jost solution of T . The kernel $K(x, \cdot) \in L_1(0, \infty)$ and $K(x, t)$ can be uniquely determined by the potential function q . Moreover, it can be differentiated continuously with respect to its arguments.

Define $\alpha(x) = \int_x^\infty |q(s)| ds$. Hence, the inequality

$$|K(x, t)| \leq C \alpha \left(\frac{x+t}{2} \right), \tag{12}$$

yields for $C > 0$ constant. Therefore, the Jost solution $e(x, \mu)$ is analytic with regard to the variable μ in the region $\mathbb{C}_{left} = \{\mu \in \mathbb{C} : Re \mu < 0\}$ and continuous on $\overline{\mathbb{C}_{left}} = \{\mu \in \mathbb{C} : Re \mu \leq 0\}$. For further information about these results, one may consult the books of Marchenko (1986) and Amrein et al. (2005).

The resolvent operator of T is denoted as

$$R_\mu(T)f = \int_0^\infty G(x, t; \mu) \varphi(t) dt, \varphi \in L^2(\mathbb{R}_+), \tag{13}$$

where

$$G(x, t; \mu) = \begin{cases} \frac{e(x, \mu)S(t, \mu)}{e(0, \mu)}, & 0 < t \leq x, \\ \frac{e(t, \mu)S(x, \mu)}{e(0, \mu)}, & x < t < \infty, \end{cases} \quad (14)$$

is the Green's function of T . Thus, the resolvent set $R_\mu(T)$ can be stated in the form

$$R_\mu(T) = \{\lambda: \lambda = \mu^2, \operatorname{Re}\mu < 0, e(0, \mu) \neq 0\}. \quad (15)$$

3. Spectrum of T

Let us define

$$e(\mu) := e(0, \mu), \quad (16)$$

where

$$e(0, \mu) = 1 + \int_x^\infty K(0, t)e^{\mu t} dt. \quad (17)$$

Define the notation $\sigma_d(T)$ to designate the set of eigenvalues of T . Similarly, use the symbol $\sigma_{ss}(T)$ to show the spectral singularities of the operator T . If we make use of the classical definitions of the spectrum and expressions of the resolvent and Green's function in (14) and (15), we readily obtain

$$\sigma_d(T) = \{z: z = \mu^2, \mu \in \mathbb{C}_{left}, e(\mu) = 0\} \quad (18)$$

$$\sigma_{ss}(T) = \{z: z = \mu^2, z = \xi + i\tau, \xi = 0, \tau \in \mathbb{R}, e(\mu) = 0\}. \quad (19)$$

Similarly to Naimark (1960 and 1968)'s theorems and using the fundamental concepts of the spectrum from functional analysis, we determine the continuous spectrum of the operator T as the following

$$\sigma_c(T) = \{z: z = \xi + i\tau, \xi = 0, \tau \geq 0\}. \quad (20)$$

Definition 1 (Naimark, 1968; Levitan, 1987). The multiplicity of a root of $e(\mu)$ in the region $\overline{\mathbb{C}_{left}}$ is referred to as the multiplicity of the corresponding eigenvalue and spectral singularity of the operator T .

Up to now, using the classical definitions of the spectrum, we obtained the spectrum of the operator T . Hereafter, we will focus on the quantitative properties of the spectrum. For that purpose, it is clear that the zeros of $e(\mu)$ on $\overline{\mathbb{C}_{left}}$ have to be taken into consideration.

Let us define the sets

$$Q_1 := \{\mu: \mu \in \mathbb{C}_{left}, e(\mu) = 0\}, \quad (21)$$

$$Q_2 := \{\mu: \mu = \xi + i\tau, \xi = 0, \tau \in \mathbb{R}, e(\mu) = 0\}. \quad (22)$$

Define all accumulation points of Q_1 by Q_3 . Further, use the notation Q_4 to designate a set of all roots of $e(\mu)$ having infinite multiplicity in $\overline{\mathbb{C}_{left}}$. Obviously, using these set definitions, (18) and (19) can be restated as the following

$$\sigma_d(T) = \{z: z = \mu^2, \mu \in Q_1\}, \quad (23)$$

$$\sigma_{ss}(T) = \{z: z = \mu^2, \mu \in Q_2\} \setminus \{0\}. \tag{24}$$

Lemma 1 If (5) holds, then

- (a) Q_1 is bounded set. Q_1 can have at most countably many elements. Furthermore, these elements can only accumulate to the bounded subset of the imaginary axis.
- (b) Q_2 is a compact set. Moreover, its Lebesgue measure is zero.

Proof. Using the inequality (12) and the expression of $e(\mu)$, it can be easily seen that $e(\mu)$ is an analytic function with regard to the variable μ in \mathbb{C}_{left} . Also, it is continuous on the imaginary axis. Further, it yields the asymptotic

$$e(\mu) = 1 + o(1), \mu \in \overline{\mathbb{C}_{left}}, |\mu| \rightarrow \infty. \tag{25}$$

The boundedness of the sets Q_1 and Q_2 follows from (25). Hence, the proof of part (a) follows from analyticity of $e(\mu)$ in \mathbb{C}_{left} and continuity on the imaginary axis. For part (b), we shall consider the boundary uniqueness theorems of analytic functions (Dolzhenko, 1979). Using these theorems, we get that Q_2 is a closed set and $\mu(Q_2) = 0$, where μ stands for the linear Lebesgue measure in the imaginary axis.

The following theorem can be stated easily using (23), (24) and Lemma 1:

Theorem 2 Suppose the condition (5) yields. In this case,

- (i) The set of eigenvalues of T is bounded. Further, it can have at most countably many elements. Also, these elements can only accumulate to a bounded subinterval of the imaginary axis.
- (ii) $\sigma_{ss}(T)$ is bounded set. $\mu(\sigma_{ss}(T)) = 0$.

Note that we obtained some quantitative properties of the spectrum of T under the condition (5). From now on, we will consider more strict conditions on the potential.

Theorem 3 Assume that

$$\int_0^\infty e^{\varepsilon x} |q(x)| dx < \infty, \tag{26}$$

for some $\varepsilon > 0$. If the condition (26) is fulfilled, then the operator T has finitely many eigenvalues and spectral singularities. Moreover, each of these eigenvalues and spectral singularities is of finite multiplicity.

Proof. Using (12) and (26), we can write

$$|K(x, t)| \leq C \exp\left(-\varepsilon \frac{x+t}{2}\right), \tag{27}$$

for arbitrary positive constant C . Considering the expression of $e(\mu)$ and (27), it is clear that $e(\mu)$ continues analytically from the complex left-half plane to the right half-plane $Re\mu < \frac{\varepsilon}{4}$. Consequently, the accumulation points of the roots of $e(\mu)$ in \mathbb{C}_{left} cannot lie in the imaginary axis. From Lemma 1, we can see that the bounded sets Q_1 and Q_2 have a finite number of elements. Also, taking into account the analyticity of $e(\mu)$ for $Re\mu < \frac{\varepsilon}{4}$, we deduce that the zeros of $e(\mu)$ in \mathbb{C}_{left} are of finite number, and they are of finite multiplicity. As a result, the operator T has a finite number of eigenvalues and spectral singularities with finite multiplicities.

The condition (26) is recognized as Naimark's condition in the discipline, which enables us to utilise the Jost function's analytic continuation characteristics for the proof. However, there is a more

strict condition for the potential called Pavlov's condition, which pushes us to use new methods to prove the finiteness of the sets $\sigma_d(T)$ and $\sigma_{ss}(T)$.

Let

$$\int_0^\infty e^{\varepsilon\sqrt{x}}|q(x)|dx < \infty, \varepsilon > 0. \tag{28}$$

Clearly, $e(\mu)$ is analytic in the complex left-half plane \mathbb{C}_{left} and continuous on the imaginary axis. Nevertheless, analytic continuation property does not hold from the left-half plane to the right-half plane. We will also benefit from the following relations between the sets Q_1, Q_2, Q_3 and Q_4 for the proof of the following theorem, which can be inferred directly from the boundary uniqueness theorems of the analytic functions (Dolzhenko, 1979):

$$Q_1 \cap Q_4 = \emptyset, Q_3 \subset Q_2, Q_4 \subset Q_2, Q_3 \subset Q_4, \tag{29}$$

and

$$\mu(Q_3) = \mu(Q_4) = 0. \tag{30}$$

Theorem 4 If the condition for the potential (28) holds to be accurate, then $Q_4 = \emptyset$.

Proof. Using Lemma 1, we obtain that

$$\left| \int_{-\infty}^{-M} \frac{\ln|e(\mu)|}{1 + \mu^2} d\mu \right| < \infty, \left| \int_M^\infty \frac{\ln|e(\mu)|}{1 + \mu^2} d\mu \right| < \infty, \tag{31}$$

for sufficiently large values of $M > 0$. Moreover, $e(\mu)$ is analytic in \mathbb{C}_{left} , all its derivatives are continuous up to the imaginary axis and

$$|e^{(r)}(\mu)| \leq C_r, \mu \in \overline{\mathbb{C}_{left}}, r = 1, 2, \dots, |\mu| < 2M, \tag{32}$$

where

$$C_r := c \int_0^\infty t^r |K(0, t)| dt. \tag{33}$$

If we make use of (31), (32) and Pavlov's theorem, we get

$$\int_0^\omega \ln t(s) d\mu(Q_{4,s}) > -\infty, \tag{34}$$

where $t(s) = \inf_r \frac{C_r s^r}{r!}$, C_r is defined by (33), $\mu(Q_{4,s})$ is the linear Lebesgue measure of the s -neighborhood of Q_4 , and $\omega > 0$ is a constant (Bairamov et al., 1999; Adıvar & Akbulut, 2010). We can also write the following estimations

$$C_r = c \int_0^\infty t^r |K(0, t)| dt \leq c \int_0^\infty t^r \exp\left(-\frac{\varepsilon}{4}t\right) dt \leq B b^r r^r r!, \tag{35}$$

for B and b are constants depending on c and ε . If we substitute the estimation (35) in the definition of $t(s)$, we get

$$t(s) = \inf_r \frac{C_r s^r}{r!} \leq B \inf_r \{b^r s^r r^r\} \leq B \exp\{-s^{-1} e^{-1} b^{-1}\}, \quad (36)$$

by (34). It follows from (35) and (36) that

$$\int_0^\omega s^{-\frac{\delta}{1-\delta}} d\mu(Q_{4,s}) < \infty. \quad (37)$$

Clearly, $\frac{\delta}{1-\delta} \geq 1$. Therefore, if we consider the convergent integral in (37), this might be true if and only if, for arbitrary s , $\mu(Q_{4,s}) = 0$ or $Q_4 = \emptyset$. □

Theorem 5 In case the condition (28) is true, then the operator T does have a finitely many eigenvalues and spectral singularities with a finite multiplicity.

Proof. To verify the theorem, we shall demonstrate that $e(\mu)$ has a finite number of zeros with finite multiplicities in $\overline{\mathbb{C}}_{left}$. Using the relation (29) between the sets and the former theorem, it may well be observed that $Q_3 = \emptyset$. That is, the accumulation points of the bounded sets Q_1 and Q_2 can not exist. Therefore, $e(\mu)$ has only a finite number of roots in $\overline{\mathbb{C}}_{left}$. Because $Q_4 = \emptyset$, we can see that these roots are of finite multiplicity.

4. Discussion and Conclusion

In this study, we investigated the spectrum and spectral properties of the non-selfadjoint Sturm-Liouville type operator with the negative density function. We used hyperbolic type representations of the fundamental solutions of the operator to obtain the spectrum. We obtained the Jost function which is analytic on the left-half complex plane. We also adopted Naimark's and Pavlov's conditions for the potential function to be met for the finiteness of the eigenvalues and spectral singularities.

The exciting feature of this study is that we present the relation between the discrete operator case and differential operator case from a different perspective. In particular, this study is analogous to the hyperbolic eigenparameter-dependent case in discrete operators.

References

- Adivar, M., & Akbulut, A. (2010). Non-self-adjoint boundary-value problem with discontinuous density function. *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, 33(11), 1306-1316. doi:10.1002/mma.1247
- Amrein, W. O., Hinz, A. M., & Pearson, D. B. (2005). *Sturm-Liouville Theory: Past and Present*. Basel; Boston, USA: Birkhäuser. doi:10.1007/3-7643-7359-8
- Bairamov, E., Cakar, Ö. & Krall, A. M. (1999). An eigenfunction expansion for a quadratic pencil of a Schrödinger operator with spectral singularities. *Journal of Differential Equations*, 151(2) 268-289. doi:10.1006/jdeq.1998.3518
- Bairamov, E., Cakar, Ö. & Krall, A. M. (2001). Non-selfadjoint difference operators and Jacobi matrices with spectral singularities. *Mathematische Nachrichten*, 229(1), 5-14. doi:10.1002/1522-2616(200109)229:1%3C5::AID-MANA5%3E3.0.CO;2-C
- Bairamov, E., Aygar, Y., & Olgun, M. (2010). Jost solution and the spectrum of the discrete Dirac systems. *Boundary Value Problems*, 2010, 1-11. doi:10.1155/2010/306571
- Bairamov, E., Erdal, I., & Yardimci, S. (2018). Spectral properties of an impulsive Sturm-Liouville operator. *Journal of Inequalities and Applications*, 2018(1), 1-16. doi:10.1186/s13660-018-1781-0

- Chadan, K., & Sabatier, P. C. (1977). *Inverse Problems in Quantum Scattering Theory*. New York, USA: Springer-Verlag, New York Inc. doi:10.1007/978-3-662-12125-2
- Darwish, A. A. (1993). On a non-self adjoint singular boundary value problem. *Kyungpook Mathematical Journal*, 33(1), 1-11.
- Dolzhenko, E. P. (1979). Boundary value uniqueness theorems for analytic functions. *Mathematical notes of the Academy of Sciences of the USSR*, 25, 437-442. doi:10.1007/BF01230985
- El-Raheem, Z. F., & Nasser, A. H. (2014). On the spectral investigation of the scattering problem for some version of one-dimensional Schrödinger equation with turning point. *Boundary Value Problems*, 2014(1), 1-12. doi:10.1186/1687-2770-2014-97
- El-Raheem, Z. F., & Salama, F. A. (2015). The inverse scattering problem of some Schrödinger type equation with turning point. *Boundary Value Problems*, 2015(1), 1-15. doi:10.1186/s13661-015-0316-6
- Gasymov, M. G., & El-Reheem, Z. F. A. (1993). On the theory of inverse Sturm-Liouville problems with discontinuous sign-alternating weight. *Doklady Akademii Nauk Azerbaidzana*, 48(50), 13-16.
- Guseinov, I. M. O., & Pashaev, R. T. O. (2002). On an inverse problem for a second-order differential equation. *Russian Mathematical Surveys*, 57(3), 597. doi:10.1070/RM2002v057n03ABEH000517
- Koprubasi, T., & Yokus, N. (2014). Quadratic eigenparameter dependent discrete Sturm–Liouville equations with spectral singularities. *Applied Mathematics and Computation*, 244, 57-62. doi:10.1016/j.amc.2014.06.072
- Koprubasi, T. (2021). A study of impulsive discrete Dirac system with hyperbolic eigenparameter. *Turkish Journal of Mathematics*, 45(1), 540-548. doi:10.3906/mat-2010-29
- Koprubasi, T., & Aygar Küçükcilioğlu, Y. (2022). Discrete impulsive Sturm-Liouville equation with hyperbolic eigenparameter. *Turkish Journal of Mathematics*, 46(2), 377-396. doi:10.3906/mat-2104-97
- Levitan, B. M. (1987). *Inverse Sturm-Liouville Problems*. Berlin, Germany; Boston, USA: Walter de Gruyter GmbH & Co KG. doi:10.1515/9783110941937
- Lyantse, V. E. (1968). The spectrum and resolvent of a non-selfadjoint difference operator. *Ukrainian Mathematical Journal*, 20, 422-434. doi:10.1007/BF01085212
- Mamedov, K. (2010). On an inverse scattering problem for a discontinuous Sturm-Liouville equation with a spectral parameter in the boundary condition. *Boundary Value Problems*, 2010, 1-17. doi:10.1155/2010/171967
- Mamedov, K. R., & Cetinkaya, F. A. (2015). Boundary value problem for a Sturm-Liouville operator with piecewise continuous coefficient. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 44(4), 867-874.
- Marchenko, V. A. (1986). *Sturm-Liouville Operators and Applications*. Basel, Switzerland: Birkhauser Verlag.
- Mutlu, G., & Kir Arpat, E. (2020). Spectral properties of non-selfadjoint Sturm-Liouville operator equation on the real axis. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 49(5), 1-9. doi:10.15672/hujms.577991
- Nabiev, A. A., & Mamedov, Kh. R. (2015). On the Jost solutions for a class of Schrödinger equations with piecewise constant coefficients. *Journal of Mathematical Physics, Analysis, Geometry*, 11(3), 279-296. doi:10.15407/mag11.03.279
- Naimark, M. A. (1954). Investigation of the spectrum and the expansion in eigenfunctions of a nonselfadjoint operator of the second order on a semi-axis (in Russian). *Trudy Moskovskogo Matematicheskogo Obshchestva*, 3, 181-270.
- Naimark, M. A. (1968). *Linear Differential Operators I, II*. New York, USA: Ungar.
- Olgun, M., & Coskun, C. (2010). Non-selfadjoint matrix Sturm–Liouville operators with spectral singularities. *Applied Mathematics and Computation*, 216(8), 2271-2275. doi:10.1016/j.amc.2010.03.062
- Pavlov, B. S. (1962). On the spectral theory of non-selfadjoint differential operators. *Doklady Akademii Nauk*, 146(6), 1267-1270.

- Yokus, N., & Coskun, N. (2016). Jost solution and the spectrum of the discrete Sturm-Liouville equations with hyperbolic eigenparameter. *Neural, Parallel, and Scientific Computations*, 24, 419-430.
- Yokus, N., & Coskun, N. (2019). A note on the matrix Sturm-Liouville operators with principal functions. *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, 42(16), 5362-5370. [doi:10.1002/mma.5383](https://doi.org/10.1002/mma.5383)



Research Article

The Screening of Black Point in Commercial Bread Wheat Cultivars Grown in Turkey, and The Effect of Black Point on Thousand Grain Weight

Uğur SESİZ^{*1,2}

¹ Cukurova University, Agriculture Faculty, Field Crop Department, 01330, Adana, Türkiye

² Sırnak University, Agriculture Faculty, Field Crop Department, 73300, Şırnak, Türkiye

Uğur SESİZ, ORCID No: 0000-0003-1234-4276

*Corresponding author e-mail: usesiz47@gmail.com

Article Info

Received: 02.09.2022

Accepted: 22.11.2022

Online April 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1170102

Keywords

Black point,
Bread wheat,
Thousand grain weight,
Triticum aestivum

Abstract: The black point is a discoloration that shows up on the embryos of wheat and barley, and it is becoming an important problem in many wheat-growing areas. In this study, 200 commercially important bread wheat varieties that were cultivated between 1931 and 2017 in Turkey were screened in terms of black point, and the effect of black point was observed on thousand grain weight in all cultivars. The trials were conducted in accordance with the augmented block trial design in three environments during the 2016-17 growing season. A high variation was observed among the cultivars for black point and thousand grain weight. Twelve varieties (6% of populations) showed no discoloration (0.00%) in any environment, whereas 44 varieties (22% of population) showed discoloration rate more than 10.00%. The first three most susceptible cultivars showed black point percentages of 38.76, 32.08, and 27.5, respectively. In the remaining cultivars, eighty-eight showed discolorations up to 5.00%, whereas the rest demonstrated discoloration from 5.00% to 24.00%. Interestingly, a positive correlation was observed between black point damage and thousand grain weight ($r=0.32$). The reasonable interpretation is that the larger seed surfaces may have increased the effect of black point causes, such as pathogens and oxidative reactions. This screening enabled us to determine black point susceptible and tolerant cultivars in well-known bread wheat cultivars growing in Turkey. Hence, the results will be useful for wheat production and wheat breeding approaches in Turkey and around the world.

Türkiye'de Yetiştirilen Ticari Ekmeklik Buğday Çeşitlerinde Embriyo Kararması Taraması ve Embriyo Kararmasının Bin Dane Ağırlığına Etkisi

Makale Bilgileri

Geliş: 02.09.2022

Kabul: 22.11.2022

Online Nisan 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1170102

Anahtar Kelimeler

Bin dane ağırlığı,
Ekmeklik buğday,
Embriyo kararması,
Triticum aestivum

Öz: Embriyo kararması, buğday ve arpa embriyosunda ortaya çıkan bir renk değişikliğidir ve buğday yetiştirilen birçok bölgede önemli bir sorun haline gelmektedir. Bu çalışmada, Türkiye'de 1931 ve 2017 yılları arasında tarımı yapılan 200 adet ticari ekmeklik buğday çeşidi embriyo kararmasına karşı taranmış ve tüm çeşitlerde embriyo kararmasının bin dane ağırlığına etkisi gözlemlenmiştir. Denemeler, 2016-17 yetiştirme sezonunda üç çevrede augmented deneme desenine uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Embriyo kararması ve bin dane ağırlığı bakımından çeşitler arasında yüksek bir varyasyon gözlenmiştir. On-iki adet çeşit (popülasyonun %6'sı) hiçbir ortamda (%0.00) renk değişikliği göstermemişken, 44 adet çeşit (popülasyonun %22'si) %10.00'dan fazla renk değişikliği göstermiştir. En duyarlı ilk üç çeşit sırasıyla 38.76, 32.08

ve 27.5 embriyo kararına yüzdeleri göstermiştir. Kalan çeşitlerin seksen-sekizinde %5.00'e kadar renk değişimi görülürken, diğer çeşitlerde %5.00'den %24.00'e kadar renk değişimi görülmüştür. İlginç bir şekilde, embriyo kararına hasarı ile bin dane ağırlığı arasında pozitif bir ilişki tespit edilmiştir ($r=0.32$). En makul yorum, daha iri tohumların daha geniş tohum yüzeylerine sahip olmalarından dolayı patojenler ve oksidatif reaksiyonlar gibi embriyo kararına etmenlerinin etkisini artırmış olabileceğidir. Bu tarama, Türkiye'de iyi bilinen ekmeçlik buğday çeşitlerinde embriyo kararına duyarlı ve dayanıklı çeşitleri belirlememize olanak sağlamıştır. Bu nedenle, sonuçlar Türkiye'de ve dünya çapında buğday üretimi ve buğday ıslah çalışmaları için faydalı olacaktır.

1. Introduction

Wheat is one of the most important food crops in the world, especially bread wheat (*Triticum aestivum*) provides approximately 20% of the world's food. Maintaining food security is a crucial factor to ensuring enough food for people in the face of a growing human population and the adverse effects of climate change (Abberton et al., 2016; Batley & Edwards, 2016).

The black point is a dark discoloration that shows up on the embryo of cereal seeds such as bread wheat, durum wheat and barley, and it may reach around the adaxial side of the seeds as well (Fernandez & Conner, 2011). It appears in many wheat-growing areas where a high amount of wheat is produced (Sissons et al., 2010; Fernandez & Conner, 2011; Busman et al., 2012). Black point decreases the end-use quality of the grain (Dexter & Matsuo, 1982), the germination percentage, and produce weak seedlings (Li et al., 2014). In addition, it affects many other agronomic and quality parameters of wheat (Dexter & Matsuo, 1982). It can also influence the plant vigour and growth (Hudec, 2007; Fernandez et al., 2014). Besides that, it may lead to the production of harmful metabolites like *Alternaria* mycotoxin and *Alternariol* monomethyl ether (Logrieco et al., 2003; Desjardins et al., 2007), which are the potential causes of esophageal cancer (Liu et al., 1992). The severity of black point rises crucially when the available seed moisture exceeds 20% and the air relative humidity ratio is more than 90%. Also, late irrigation, excessive nitrogen fertilization, and plant lodging could increase the effect of black point damage (Conner et al., 1992). Black-pointed seeds cause blighted seedlings and rotten roots. All these reasons eventually affect the seed quality and hence the food products because the infected seeds have the undesired smells and colours. The wheat markets demand disease-free grains, and the marketing experts defined some upper limits in the wheat trade (Rees et al., 1984; Lehmensiek et al., 2004).

Some fungus species, such as *F. proliferatum*, *B. sorokiniana*, and frequently *A. alternata*, are the main reasons of black point in wheat (Kumar et al., 2002; Perelló et al., 2008; Davis & Jackson, 2009; Busman et al., 2012). The other potential reasons of the black point are the enzymatic reactions by phenolic complexes (Fernandez et al., 2014). The colour changes on plant tissue is mostly followed by enzymatic reaction that occurred by some kind of biotic and abiotic stresses factors and mechanical injuring that possibly cause oxidation events by polyphenol oxidase (Fuerst et al., 2014), peroxidases (Fernandez et al., 2014), and lipoxygenase (Porta & Rocha-Sosa, 2002). Also, some of the pigments like quinines (Fernandez & Conner, 2011) and melanins (Fuerst et al., 2014) can affect the seed colour.

Wheat cultivars demonstrate a high variation in black point susceptibility (Waldron, 1934; King et al., 1981; Ellis et al., 1996). The wide range of black point incidence (0.3% to 66.7%) was reported in wheat (Ellis et al., 1996; Li et al., 2014; El-Gremi et al., 2017). The varying black point incidence was explained by the responses of the genotypes to various environmental and fungal factors, and the genetic basis of black points (Walker, 2012). Many approaches are used to decrease this problem, such as cultivating resistant cultivars and other basic standard applications during the growing stages (El-Gremi et al., 2017). Cultivating resistant cultivars is a more important and profitable way compared to other standard protecting procedures, such as chemical applications or biocontrol agents. Therefore, discovering resistant cultivars is the most important way to struggle with this problem.

This study aimed to 1) screen for naturally occurring black point damage in 200 commercially important bread wheat cultivars growing in Turkey from 1931 to 2017, and 2) determine the effect of black point on thousand grain weight (TWG) in bread wheat.

2. Material and Methods

2.1. Materials

Seed material consists of 200 bread wheat cultivars that were cultivated and somehow included in wheat breeding approaches between the years 1931 and 2017 in Turkey. The materials were retrieved from the collections of Research Institutes, Private Sector, and Çukurova University Field Crops Department. The variety names and registered years were demonstrated in Table S1 and were ordered depend on their registration years. Four well-known cultivars in the trial regions, Ceyhan-99, Adana-99, Pandas, and Osmaniye, were used as control and nominated as Ceheck-1, Check-2, Ceheck-3, and Check-4 in blocks, respectively.

2.2. Phenotyping

The trials were established in the 2016-2017 growing season in three different locations, Cukurova University (Adana), Dogankent (Adana) and Çumra (Konya) in Turkey. Hereafter, the environments will be referred as E1, E2, and E3, respectively. E1 has 29-m altitude (37°00'45" N and 35°21'020" E), E2 has 100-m altitude (36°51'09" N and 35°20'41" E), and E3 has 119-m altitude (37°03'06" N and 35°21'45" E).

The trials were conducted in an augmented trial design that consisted of 10 blocks, each comprising 20 test entries (cultivars) and 4 controls. The needed seed materials were determined depending on thousand grain weight and germination percentage. The seeds were planted in two 2-m rows, with a 10-cm seed spacing in a row and a 20-cm spacing between rows. The sowing times were determined according to the optimum climatic conditions of the trial regions. Precipitation, humidity, and temperature values of growing areas were demonstrated in monthly basis in Figure 1 and Table1.

Standard agricultural practices (such as irrigation, fertilization, and disease and pest control) were employed through the plant development periods. The weeds in the plots were removed manually, whereas those among the blocks were removed by a hand-operated mini-hoeing machine. Fully matured plants were harvested by using a mini combine harvester (Hege-125C). This is corresponding to the Zadoks Scale GS93 (Zadoks et al., 1974)

Table 1. Precipitation, humidity, and temperature values of environments were shown in monthly basis, as well as total and average

Precipitation mm=kg÷m ²										
Env.	November	December	January	February	March	April	May	June	July	Total
E1	22.50	6.00	186.50	108.50	2.50	90.00	77.50	67.00	10.50	571.00
E2	0.20	11.90	216.30	52.00	0.80	65.40	65.90	45.90	17.30	475.70
E3	0.00	19.40	101.20	27.80	0.80	93.00	60.40	58.60	14.00	375.20
Temperature °C										
Env.	November	December	January	February	March	April	May	June	July	Average
E1	21.40	13.30	3.30	7.50	9.30	14.00	17.20	20.60	24.80	14.60
E2	17.70	10.30	5.30	5.10	5.60	10.30	13.00	17.00	21.30	11.70
E3	14.00	6.00	-1.90	-4.40	-0.60	7.20	11.40	15.80	20.30	7.50
Humidity %										
Env.	November	December	January	February	March	April	May	June	July	Average
E1	61.50	54.70	85.40	72.10	56.20	71.70	69.10	74.70	75.90	69.00
E2	56.40	52.20	64.80	62.10	50.70	62.80	60.70	68.80	69.10	60.80
E3	49.10	54.80	84.30	86.30	74.80	64.80	51.90	56.70	53.80	64.00

Adana Meteorological Service, 2017

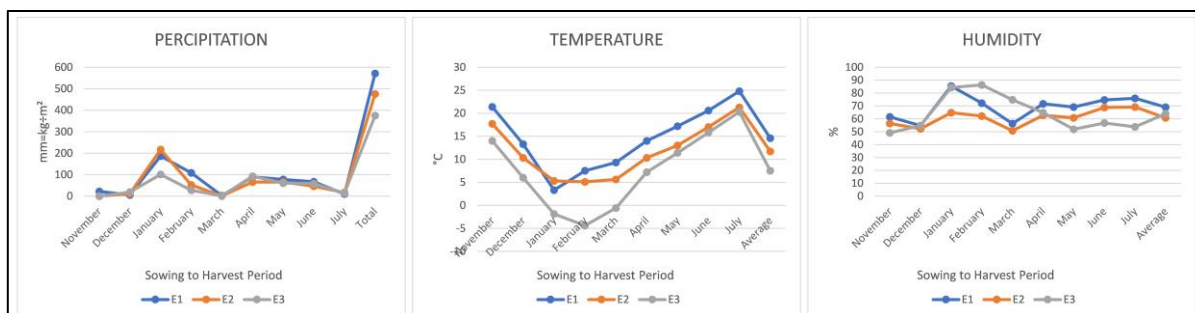


Figure 1. The graphical demonstration of climate factors in three environments.

2.2.1. Black point evaluation

The harvested samples were brought to the laboratory, sifted, and broken seeds were removed from the samples. Three replicated 100 seeds were selected from each plot to determine the black point damage rates. The seeds with black point (if black or brown discoloration is $> 1 \text{ mm}^2$) were counted for each replicate and averaged (Figure 2a and 2b). The black point percentage was calculated with the number of discoloured seeds divided by the total seeds in one replication and multiplied by 100 to convert the percentage. The mean of three replications was used for variance analysis according to the augmented block trial design.

2.2.2. TGW measurements

The thousand grain weights were also accounted with the same seed samples. Three replicates, with 250 grains were weighted by analytic balance, and the results were multiplied by four to convert to 1000 grain weight. The replications were averaged, and mean values were used for variance analysis in accordance with the augmented block trial design.

2.2.3. Statistical analyses

The analysis of variance was implemented by "augmentedRCBD" R package (Aravind et al., 2020) in RStudio 2022.02.0. The distribution plots were also created by this package. The Pearson's correlation coefficient between black point and TGW was calculated by JASP software Version 0.11.1 (Team, 2019). The Student's multiple comparison test was used to compare the means of every entry across three environments with a < 0.05 significance level for black point and TGW performed with JMP Genomics v.9.0 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Broad sense heritability was calculated manually from the descriptive statistics output table for both traits in each environment using the formula $H^2 = V_G/V_P$, where V_G is genotypic variance and V_P is phenotypic variance.

3. Results

3.1. Black point evaluation

Black point symptoms were evaluated in 200 bread wheat cultivars that were cultivated between 1931 and 2017 years in Turkey. A near normal distribution was observed for black point in a combined three environments, however, distribution was skewed to the right side (Figure 3a). Significant skewness (1.83) and kurtosis (7.85) was observed for this combined data (Table 2). This is a highly skewness and moderated kurtosis for black point distribution in the population. ANOVA results indicated that the black point symptoms in different environments varied considerably among the cultivars (Table 3). The means of black point percentage of all genotypes were 14.85%, 4.71%, and 0.39% in E1, E2, and E3, respectively. These results were expected when considering the weather conditions that prevailed throughout the growing season (Table 1 and Figure 1). The prevailing precipitation, temperature, and humidity, especially in the grain filling periods, created a suitable environment to produce black point factors, which may be due to fungal pathogens or oxidation reactions. The broad sense heritability for

black point susceptibility over three environments and combined data was 0.91 (E1), 0.81 (E2), 0.99 (E3), and 0.91. Although black point susceptibility demonstrated high heritability values, environmental percentages and their parallelism to weather conditions clearly show that black point damage was considerably affected by environment (Table 1, Table 2, Figure 1). The coefficient of variation showed pretty high values across environments (E1: 26.07%, E2: 95.20%, E3: 47.09%, and Mean: 29.20%). These results were expected and corresponded to widely varied black point damage ratios in the population.

The Student's multiple comparison test grouped the varieties into a few wide ranges depending on discoloration rates (Table S2). The focus here is the most susceptible and black point-free cultivars specifically. Twelve varieties, which are corresponding to 6% of the populations (Altindane, Libellula, Lancer, Chinespring, Sakarya-75, 4-22 (landraces), Alpu-2001, Veery's, Irnerio, Altay 2000, Seri 2013, and Uzunyayla) showed no discoloration (0.00%) in any environment, whereas 44 varieties, which are corresponding to 22% of the population demonstrated discoloration rate more than 10.00% (Table S2). The first three most susceptible cultivars were Yoruk, S-24, and Cemre, with black point percentages of 38.76, 32.08, and 27.5, respectively, whereas the last five most resistant cultivars, Kirkpinar-79, Aldane, Esuyt-103, Sciocco, and Yildirim, had a range between 0.08% and 0.25% among discoloured genotypes (Table S2). In the remaining cultivars, eighty-eight showed discolorations till 5.00%, whereas the rest demonstrated discoloration rate from 5.00% to 24.00%.

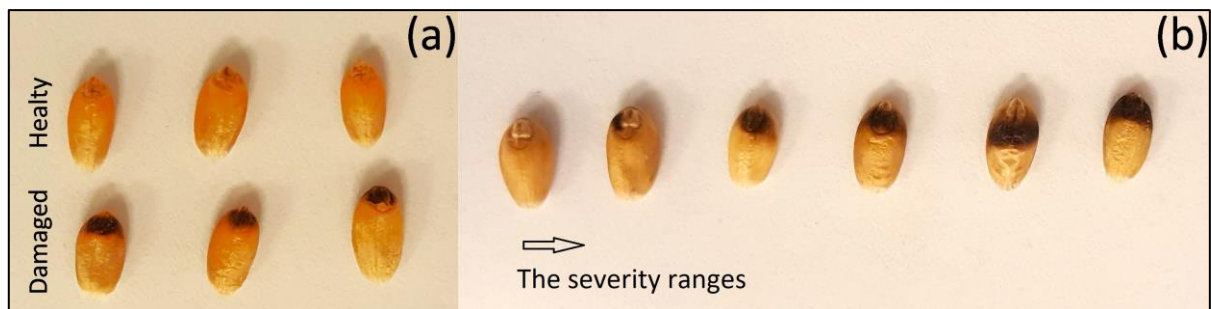


Figure 2. The healthy and damaged seed symptoms (a). The ranges of symptom severity within a cultivar, from brown to fully black-coloured embryo (b).

3.1. TGW

TGW values were calculated for all cultivars in each individual environment and in combined environments. The mean of three environments showed a normal distribution for TGW traits (Figure 3b). Skewness and kurtosis values were not significant with -0.31 and 2.75, respectively (Table 1). Variance analysis showed significant differences among cultivars (Table 3). Averaged TGW values for three environments were 46.44 g, 40.50 g, and 44.28 g. The broad sense heritability for TGW in three environments and combined environments was 0.89, 0.90, 0.57, and 0.91, respectively. The coefficient of variation values were 4.06% (E1), 5.20% (E2), and 8.50% (E3) for environments separately, and 3.66% for the combined environments. As such as black point results, the Student's multiple comparison test grouped the cultivars into a couple of large ranges. Here, the highest TGW was obtained in Cumhuriyet-75 cultivar with 57.26 g, whereas the lowest in Alora cultivar with 28.81 g (Table S3).

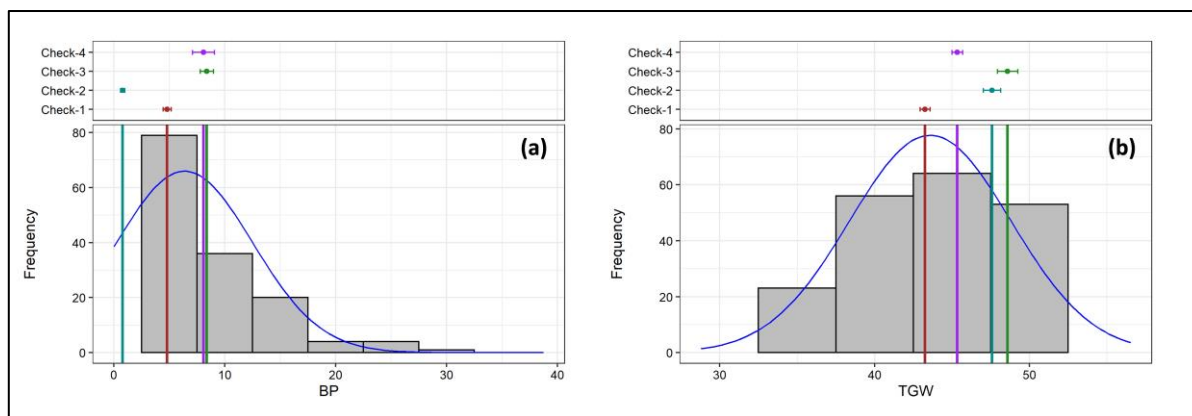


Figure 3. Distribution plots of black point (a) and thousand grain weight (b) in a combined three environments. The control cultivars were demonstrated as vertical-coloured lines on the bars. BP: Black Point, TGW: Thousand Grain Weight.

Table 2. Basic statistic parameters for black point effect and TGW in bread wheat cultivars in three environments and combined environments

Env.	Trait	Mean	Std.Er	Std.Dev.	Min	Max	Skewness	Kurtosis	CV
E1	TGW	46.44	0.41	5.90	30.32	61.03	-0.17ns	2.75ns	4.06
	BP	14.85	0.87	12.45	0.00	59.84	1.06**	3.83*	26.07
E2	TGW	40.05	0.47	6.75	21.78	53.31	-0.54**	2.82ns	5.20
	BP	4.71	0.57	8.09	0.00	48.46	2.78**	11.32**	95.92
E3	TGW	44.28	0.41	5.90	29.77	60.65	-0.02ns	2.85ns	8.50
	BP	0.39	0.20	2.82	0.00	38.03	12.08**	159.14**	47.09
Combined	TGW	43.59	0.37	5.21	28.79	56.53	-0.31ns	2.75ns	3.66
	BP	6.36	0.43	6.14	0.00	38.76	1.83**	7.85**	29.20

ns P > 0.05; * P <= 0.05; ** P <= 0.01, BP: Black point, TGW: Thousand Grain Weight

Table 3. Augmented block design variance analyses for black point effect and TGW in bread wheat cultivars in three environments and combined environments

Source of Variation	Df	E1		E2		E3		Combined	
		BP	TGW	BP	TGW	BP	TGW	BP	TGW
Treatment (Ignoring Block)	200	165.25**	35.28**	74.55**	48.80**	8.04**	34.90**	41.31**	28.87**
Treatment: Check	3	691.43**	40.60**	74.49**	71.42**	0.02ns	86.60**	125.47**	56.54**
Block (Eliminating Treat.)	9	25.67ns	9.21*	47.46**	4.33ns	0.03ns	18.17ns	6.79 ns	2.97ns
Residuals	30	13.82	3.60	14.00	4.47	0.02	14.34	3.23	2.59

ns P > 0.05; * P <= 0.05; ** P <= 0.01, BP: Black point, TGW: Thousand Grain Weight

4. Discussion and Conclusion

The black point damage shows up with different causatives in seed and other parts of wheat. Depending on the effect factors involved, such as fungal pathogens or oxidation reactions, it could result in a low rate of germination, low seedling establishment, weak seedlings, seedling blight, leaf spot, head blight, root decay, and a drop in wheat yield and quality (Kumar et al., 2002; Toklu et al., 2008; Li et al., 2014). Conversely, in this study, black point did not affect the TGW negatively. Interestingly, a positive correlation was identified between the black point and TGW among genotypes at level of $p < 0.01$ ($r = 0.325$). Thus, the discoloured seeds were heavier than the black point-free or light discoloured ones. It is thought that larger seed surface areas may be more exposed to the damage factors than smaller seed surfaces (Fernandez et al., 1994; Fernandez et al., 2014). The positive correlation between black point and TGW reported in several previous studies as well (Ellis et al., 1996; Toklu et al., 2008; Li et al., 2019). Besides that, it was reported that the grain filling period is longer in larger genotypes which can contain more moisture content that leads to more sub-epidermal mycelium (if the cause is pathogens)

compared to small seeds (Waldron, 1934; Evans et al., 1975; Li et al., 2019). In this study, the grain filling durations were not calculated.

In this study, the rate of black point varied among the cultivars and locations, demonstrating that black point was affected by both genetic and environmental factors. Li et al. (2019) reported the enormous effect of environment on black point incidence, as well. However, the high broad-sense heritability values (Table 2) showed that genetic factors played a more crucial role in black-point than the environment. For example, Li et al. (2014) identified 58.6% broad sense heritability for black point in a population involved 403 wheat genotypes. In present study, the higher skewness in the distribution of black points across genotypes indicated that black points could be controlled by a few genes, whereas TGW showed a normal distribution that could be influenced by many genes. High variation of black point was reported for wheat in many studies (Beniwal et al., 2005; Gul, 2005; Toklu et al., 2008; Draz et al., 2016).

High precipitation, humidity, and temperature during the seed formation stages contributed to high black point damage, whereas the low values in this period decreased the black point damage level. This is an expected result that has been reported previously (Kumar et al., 2002; Clarke et al., 2004; Mak et al., 2006; Moschini et al., 2006; Toklu et al., 2008; Jain et al., 2012). For instance, Moschini et al. (2006) reported that the extreme precipitation throughout the milk formation to dough formation phase brings about high levels of black point damage in seeds. In the current study, the climatic data showed that there is a rise in rainfall between April and the end of June, which corresponds to the filling period for those environments where the trials were conducted (Table 1 and Figure 1). The average black point rates of all cultivars in separate environments were 14.85% (E1), 4.71% (E2), and 0.39% (E3), which support this suggestion. Li et al. (2019) also reported similar results for their study.

The high level of black point especially decreases the seed quality, and this directly affects the end-use products. Seed appearance (such as colour and brightness) is one of the important quality parameters that determine the wheat market price. The deterioration in this parameter led to a decrease in wheat prices in the market. Solanki et al. (2006), reported a price reduction in wheat from 3.71% to 12.49% depending on seed black point damage levels. Additionally, the seeds that have black point damage may carry toxic matters that are worsening the wheat quality (Fernandez & Conner, 2011; Amatulli et al., 2013).

Various degrees of black point and black point-free seeds were identified among the cultivars and across environments. This will enable the use of the black point-free (resistant or tolerant) genotypes in direct wheat production or wheat breeding research. As a result, the cultivars having low TGW were more tolerant to black point. It is shown that these results will offer a preliminary selection of black point-free genotypes from mass populations for wheat breeders to use in breeding studies. However, the black point is considerably affected by environmental conditions, so the correlation analyses between black point and other agronomical traits, especially over different environments, will uncover the resistant and susceptible genotypes effectively. In the conclusion, more experiments, such as artificial inoculation or oxidation reaction tests, are required to detect the exact resistant cultivars from such collections. Here, molecular marker techniques also will provide a solid confirmation if used in experiments.

References

- Abberton, M., Batley, J., Bentley, A., Bryant, J., Cai, H., Cockram, J., ... & Yano, M. (2016). Global agricultural intensification during climate change: a role for genomics. *Plant biotechnology journal*, 14(4), 1095-1098. doi:10.1111/pbi.12467
- Amatulli, M. T., Fanelli, F., Moretti, A., Mule, G., & Logrieco, A. F. (2013). *Alternaria* species and mycotoxins associated to black point of cereals. *Mycotoxins*, 63(1), 39-46.
- Aravind, J., Mukesh Sankar, S., Wankhede, D., & Kaur, V. (2020). Augmented RCBD: Analysis of augmented randomised complete block designs. *R package version 0.1, 2*.
- Batley, J., & Edwards, D. (2016). The application of genomics and bioinformatics to accelerate crop improvement in a changing climate. *Current Opinion in Plant Biology*, 30, 78-81. doi:10.1016/j.pbi.2016.02.002
- Beniwal, M., Karwasra, S., & Rajender, S. (2005). Distribution of kernel bunt and black point of wheat in Haryana. *Haryana Agricultural University Journal of Research*, 35(2), 127-130.

- Busman, M., Desjardins, A., & Proctor, R. (2012). Analysis of fumonisin contamination and the presence of *Fusarium* in wheat with kernel black point disease in the United States. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 29(7), 1092-1100. doi:10.1080/19440049.2012.671787
- Clarke, M. P., Gooding, M. J., & Jones, S. A. (2004). The effects of irrigation, nitrogen fertilizer and grain size on Hagberg falling number, specific weight and blackpoint of winter wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(3), 227-236. doi:10.1002/jsfa.1657
- Conner, R. L., Carefoot, J. M., Bole, J. B., & Kozub, G. C. (1992). The effect of nitrogen fertilizer and irrigation on black point incidence in soft white spring wheat. *Plant and Soil*, 140(1), 41-47.
- Davis, R., & Jackson, L. (2009). UC IPM pest management guidelines: small grains. *Oakland (CA), USA: University of California ANR/Communication Services Diseases*.
- Desjardins, A. E., Busman, M., Proctor, R. H., & Stessman, R. (2007). Wheat kernel black point and fumonisin contamination by *Fusarium proliferatum*. *Food Additives and Contaminants*, 24(10), 1131-1137. doi:10.1080/02652030701513834
- Dexter, J., & Matsuo, R. (1982). Effect of smudge and blackpoint, mildewed kernels, and ergot on durum wheat quality [*Helminthosporium sativum*, *Alternaria alternata*, *Fusarium*]. *Cereal Chemistry*, 59(1), 63-69.
- Draz, I. S., El-Gremi, S. M., & Youssef, W. A. (2016). Response of Egyptian wheat cultivars to kernel black point disease alongside grain yield. *Pakistan Journal of Phytopathology*, 28(1), 15-17.
- El-Gremi, S. M., Draz, I. S., & Youssef, W. A.-E. (2017). Biological control of pathogens associated with kernel black point disease of wheat. *Crop Protection*, 91, 13-19. doi:10.1016/j.cropro.2016.08.034
- Ellis, S. A., Gooding, M. J., & Thompson, A. J. (1996). Factors influencing the relative susceptibility of wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) to blackpoint. *Crop Protection*, 15(1), 69-76. doi:10.1016/0261-2194(95)00115-8
- Evans, L. T., Wardlaw, I. F., & Fischer, R. A. (1975). Wheat. In L.T. Evans (Ed.) *Crop Physiology* (pp. 101-149). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Fernandez, M. R., Clarke, J. M., DePauw, R. M., Irvine, R. B., & Knox, R. E. (1994). Black point and red smudge in irrigated durum wheat in southern Saskatchewan in 1990-1992. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 16(3), 221-227. doi:10.1080/07060669409500757
- Fernandez, M., & Conner, R. (2011). Black point and smudge in wheat. *Prairie Soils and Crops*, 4, 158-164.
- Fernandez, M. R., Wang, H., & Singh, A. K. (2014). Impact of seed discolouration on emergence and early plant growth of durum wheat at different soil gravimetric water contents. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 36(4), 509-516. doi:10.1080/07060661.2014.957242
- Fuerst, E. P., Okubara, P. A., Anderson, J. V., & Morris, C. F. (2014). Polyphenol oxidase as a biochemical seed defense mechanism. *Frontiers in plant science*, 5, 689. doi:10.3389/fpls.2014.00689
- Gul, Z. (2005). Studies on incidence of black point in different wheat cultivars grown in Pakistan. *Sarhad Journal of Agriculture (Pakistan)*, 21(49), 723-728.
- Hudec, K. (2007). Pathogenicity of fungi associated with wheat and barley seedling emergence and fungicide efficacy of seed treatment. *Biologia*, 62(3), 287-291. doi:10.2478/s11756-007-0050-3
- Jain, S., Jindal, M., & Mohan, C. (2012). Status of black point disease of wheat in Punjab. *Plant Disease Research*, 27(1), 28-33.
- King, J. E., Evers, A. D., & Stewart, B. A. (1981). Black-point of grain in spring wheats of the 1978 harvest. *Plant Pathology*, 30(1), 51-53. doi:10.1111/j.1365-3059.1981.tb01224.x
- Kumar, J., Schäfer, P., Hüchelhoven, R., Langen, G., Baltruschat, H., Stein, E., Nagarajan, S., & Kogel, K. H. (2002). *Bipolaris sorokiniana*, a cereal pathogen of global concern: cytological and molecular approaches towards better control. *Molecular Plant Pathology*, 3(4), 185-195. doi:10.1046/j.1364-3703.2002.00120.x
- Lehmensiek, A., Campbell, A. W., Sutherland, M. W., Williamson, P. M., Michalowitz, M., & Daggard, G. E. (2004). QTLs for black-point resistance in wheat and the identification of potential markers for use in breeding programmes. *Plant Breeding*, 123(5), 410-416. doi:10.1111/j.1439-0523.2004.01013.x

- Li, Q.-Y., Qin, Z., Jiang, Y.-M., Shen, C.-C., Duan, Z.-B., & Niu, J.-S. (2014). Screening wheat genotypes for resistance to black point and the effects of diseased kernels on seed germination. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 121(2), 79-88. doi:10.1007/BF03356495
- Li, Q. Y., Xu, Q. Q., Jiang, Y. M., Niu, J.-S., Xu, K. G., & He, R. S. (2019). The correlation between wheat black point and agronomic traits in the North China Plain. *Crop Protection*, 119, 17-23. doi:10.1016/j.cropro.2019.01.004
- Liu, G., Qian, Y., Zhang, P., Dong, W., Qi, Y., & Guo, H. (1992). Etiological role of *Alternaria alternata* in human esophageal cancer. *Chinese Medical Journal*, 105(5), 394-400.
- Logrieco, A., Bottalico, A., Mulé, G., Moretti, A., & Perrone, G. (2003). Epidemiology of Toxigenic Fungi and Their Associated Mycotoxins for Some Mediterranean Crops. In X. Xu, J. A. Bailey, B. M. Cooke (Eds.), *Epidemiology of Mycotoxin Producing Fungi* (pp. 645-667). Springer Dordrecht. doi:10.1007/978-94-017-1452-5_1
- Mak, Y., Willows, R. D., Roberts, T. H., Wrigley, C. W., Sharp, P. J., & Copeland, L. (2006). Black point is associated with reduced levels of stress, disease-and defence-related proteins in wheat grain. *Molecular Plant Pathology*, 7(3), 177-189. doi:10.1111/j.1364-3703.2006.00330.x
- Moschini, R. C., Sisterna, M. N., & Carmona, M. A. (2006). Modelling of wheat black point incidence based on meteorological variables in the southern Argentinean Pampas region. *Australian Journal of Agricultural Research*, 57(11), 1151-1156.
- Perelló, A. E., Moreno, M., & Sisterna, M. N. (2008). *Alternaria* infectoria species-group associated with black point of wheat in Argentina. *Plant Pathology*, 57(2), 379. doi:10.1111/j.1365-3059.2007.01713.x
- Porta, H., & Rocha-Sosa, M. (2002). Plant lipoxygenases. Physiological and molecular features. *Plant Physiology*, 130(1), 15-21. doi:10.1104/pp.010787
- Rees, R. E., Martin, D. J., & Law, D. P. (1984). Black point in bread wheat: Effects on quality and germination, and fungal associations. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 24(127), 601-605.
- Sissons, M., Sissons, S., & Egan, N. (2010). The blackpoint status of selected tetraploid species and Australian durum wheats and breeding lines. *Crop Science*, 50(4), 1279-1286. doi:10.2135/cropsci2009.08.0439
- Solanki, V., Augustine, N., & Patel, A. (2006). Impact of black point on wheat trade and its management. *Indian Phytopathology*, 59(1), 44-47.
- JASP Team (2023). JASP (Version 0.17.1) [Computer software].
- Toklu, F., Akgül, D. S., Biçici, M., & Karaköy, T. (2008). The relationship between black point and fungi species and effects of black point on seed germination properties in bread wheat. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32(4), 267-272.
- Waldron, L. (1934). Increase of kernel weight in common wheat due to black point disease. *Journal of Agricultural Research*, 48(11), 1017.
- Walker, K. R. (2012). *Regulation of candidate genes in black point formation in Barley*. (Ph.D.), University of Adelaide, School of Agriculture, Food and Wine, Australia.
- Zadoks, J. C., Chang, T. T., & Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14(6), 415-421.



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Mann Kendall, Spearman Rho ve Yenilikçi Şen Yöntemlerinin Meteorolojik Veriler Kullanılarak Değerlendirilmesi: Batman Bölgesi Örneği

Ergun AKBAŞ¹, Recep ÇELİK¹, Musa EŞİT^{*2}

¹Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Bölümü, 21280, Diyarbakır, Türkiye

²Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Bölümü, 12345, Adıyaman, Türkiye

Ergun AKBAŞ, [ORCID No: 0000-0001-6393-2380](https://orcid.org/0000-0001-6393-2380), Recep ÇELİK, [ORCID No: 0000-0002-0739-6146](https://orcid.org/0000-0002-0739-6146),

Musa EŞİT, [ORCID No: 0000-0003-4509-7283](https://orcid.org/0000-0003-4509-7283)

*Sorumlu yazar e-posta: mesit@adiyaman.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 23.08.2022

Kabul: 24.11.2022

Online Nisan 2023

DOI:[10.53433/yyufbed.1165696](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1165696)

Anahtar Kelimeler

Batman,
Değişim noktası,
İklim değişikliği,
Meteorolojik veriler,
Trend

Öz: Bu çalışmada Meteoroloji Genel Müdürlüğünden elde edilen Batman ili merkezinde bulunan 17282 no'lu istasyona ait 1963-2021 yılları arasındaki yıllık toplam yağış, yıllık toplam evapotranspirasyon (PET), yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık ortalama nisbi nem verileri kullanılarak trend analizi yapılmıştır. Verilerin trend analizleri Spearman Rho, Mann Kendall ve Yenilikçi Şen yöntemlerine göre yapılmıştır. Sen'in Eğim testi ile de trendin eğimi bulunmuştur. Yıllık toplam yağış verisinde hem Spearman Rho hem de Mann Kendall yöntemlerinde trend belirlenmezken Yenilikçi Şen yönteminde azalan yönde trend belirlenmiştir. Üç yöntem için ortak olarak yıllık ortalama sıcaklıkta ve yıllık toplam buharlaşmada artan, yıllık ortalama nisbi nem verisinde ise azalan yönde trend tespit edilmiştir. Yıllık toplam yağış, yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık ortalama nisbi nem verilerinde Mann Kendall mertbe korelasyon testine göre trendin başladığı yıl tespit edilmez iken, yıllık toplam evapotranspirasyon verisinde 1969 yılı trendin başladığı yıl olarak belirlenmiştir.

Assessment of Mann Kendall, Spearman Rho and Innovative Şen Methods Using Meteorological Data: A Case Study of Batman Region

Article Info

Received: 23.08.2022

Accepted: 24.11.2022

Online April 2023

DOI:[10.53433/yyufbed.1165696](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1165696)

Keywords

Batman,
Changepoint,
Climate change,
Meteorological data,
Trend

Abstract: In this study, trend analysis was performed by using the annual total precipitation, annual total evapotranspiration (PET), annual mean temperature and annual mean relative humidity data between 1963-2021 of station 17282 in the center of Batman province, obtained from the General Directorate of Meteorology. The Spearman Rho, Mann Kendall, and Innovative Sen methods were used to calculate trend analyses of data. Sen's Slope test was used to assess the trend's slope. While the presence of a trend was not detected in the annual total precipitation data using the Spearman Rho and Mann Kendall tests, a decreasing trend was found using the Innovative Sen test. For the three methods, an increasing trend in annual average temperature and annual total evapotranspiration (PET), and a decreasing trend in annual mean relative humidity data was detected. According to the Sequential Mann Kendall test, the year in which the trend started was not determined in the annual total precipitation, annual mean temperature and annual mean relative humidity data, whereas the year 1969 was determined as the year the trend started in the annual total evapotranspiration data.

1. Giriş

Son zamanlarda, sel ve kuraklık gibi hidrometeorolojik olayların oluşumu, süresi, yoğunluğu ve kapsamı küresel endişe konusu haline gelmiştir. Bu aşırı olayların toplum, ekolojik sistem, su kaynakları ve ekonomi üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır (Toride ve ark., 2018). Yapılan araştırmalara göre Sera gazı emisyonları küresel ısınma ve iklim değişikliği olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durum ise hidro-meteorolojik kayıtlarda trend bileşenlerinde önemli bir artışa neden olmaktadır. İklim değişikliği ile ilgili olarak atmosferde bulunan sera gazlarındaki artış nedeniyle 21.yy da dünya çapındaki hava sıcaklığı ortalamasının 0,6 °C arttığı görülmektedir (Ahmadi ve ark., 2018). Sera gazlarında görülen bu artışın temel nedeni olarak insan faaliyetleri gösterilmektedir.

Küresel ısınma ve buna neden olan alt bileşenler nedeniyle dünyada iklim değişikliği yaşanmaktadır. İklim değişikliği, nedeni farklı değişkenlere dayanan iklimin ortalama durumunda uzunca bir süre boyunca meydana gelen değişiklikler olarak tanımlanmaktadır. (Türkeş, 2008; Aksoy ve ark., 2018; Esit ve ark., 2021). İklim değişikliğinin potansiyel etkilerini ortaya çıkarmak ve bu durumun su kaynakları sistemlerine etkilerinin araştırılması, planlanması ve yönetilmesi bakımından, zaman içerisinde hem meteorolojik hem de hidrolojik verilerin değişiminin bilinmesi oldukça önemlidir. Bu hidrometeorolojik verideki değişim ise trend analizi gibi istatistik yöntemler kullanılarak belirlenmektedir. Trend (eğilim), rastgele bir zaman serisinin değerinde zamanla bir artış ya da azalış olması anlamına gelmektedir (Cebe, 2007; Yuce & Esit, 2021; Topçu, 2021 ve 2022). Bir rastgele değişkenin trend varlığını belirlemek, o değişkenin günümüzden geçmişe kadar nasıl bir davranış gösterdiği hakkında bilgi sahibi olunmasını sağlamaktadır. Bu bilgiden yola çıkılarak da değişkenin gelecekteki davranışları ile ilgili olarak öngörüler yapılabilmektedir (Doğan ve ark., 2016; Dabanlı ve ark., 2016; Çetin ve ark., 2018; Zamani ve ark., 2018; Eriş ve ark., 2019). Yapılan trend varlığı araştırmaları neticesinde küresel ısınma ve bunun sonucu olarak karşımıza çıkan iklim değişikliğinin en önemli parametrelerinden biri olan yağış, sıcaklık, nisbi nem ve evapotranspirasyon verilerinin geçmişteki davranışını saptamak amacıyla gerçekleştirilen trend analizi verileri doğrultusunda ileriki dönemlerde nasıl bir değişim olacağı ile ilgili varsayımlar yapılabilmektedir. Bunun neticesinde sıcaklıkta ileri dönemlerde meydana gelebilecek artış öngörülüp bu durumun olumsuz etkilerinden en az etkilenmesi için çeşitli planlamalar yapılabilmektedir. Trend analizleri yöntemlerinden en sık başvurulan yöntemler, Spearman Rho ve Mann – Kendall testi yöntemleridir. Şen (2012), son yıllarda yeni bir trend analiz yöntemi olan Yenilikçi Şen Yöntemini geliştirmiştir (Şen, 2012, 2013 ve 2018; Ali & Abubaker, 2019). Yenilikçi Şen Yöntemini, Spearman Rho ve Mann-Kendall yöntemlerinden ayıran özellikler arasında; zaman serilerine bağlı ve kısa olan veri kümelerini analiz edebilmesi ve bulunan trendi; yüksek, orta ve düşük olacak şekilde grafiksel olarak ifade edilebilmesidir.

Türkeş (1996), Karadeniz ve Akdeniz’de bulunan 91 adet meteorolojik istasyonun aylık toplam yağış verilerini 1930-1993 dönemlerini dikkate alarak Mann- Kendall yönteminde 0.1 anlamlılık seviyesinde azalan yönde trend varlığı tespit etmiştir. Bu çalışmada, önemli derecedeki azalma eğilimlerinin birçoğunun son 20-25 yıllık zaman diliminde meydana geldiğini belirtmiştir. Kadioğlu (1997), Mann-Kendall trend testini Türkiye’deki 18 istasyonun sıcaklık verilerine uygulamış, yıllık ortalama sıcaklıkta 1939-1989 zaman diliminde artan yönde, 1955-1989 yılları arasında ise azalan yönde trend varlığı belirlemiştir. Ren ve ark. (2012), Çin’in Hailar bölgesinde meteorolojik değişkenlerin trend analizi ve potansiyel buharlaşmaya etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda, Sonuçlar, yıllık ve mevsimlik potansiyel buharlaşma ve hava sıcaklığının artan eğilimler gösterdiğini, rüzgâr hızı, güneşlenme süresi ve bağıl nemin ise azalan eğilimler gösterdiğini incelenmiştir. Bacanlı & Çukurluoğlu (2018), Antalya ili meteoroloji istasyonuna ait 1965-2017 yılları arasında kaydedilen aylık ortalama yağış, sıcaklık, nem ve buharlaşma verilerini Mann-Kendall, Şen, Lineer Regresyon, Sen’in T testlerini kullanarak trend analizleri yapılmıştır. Mann-Kendall ve Sen testi sonuçlarına göre yıllık nem verilerinde azalma, sıcaklık verilerinde artma ve yağış verilerinde azalma trendi belirlenmiştir. Ancak buharlaşmada trendin varlığına saptanmamıştır. Şimşek ve ark. (2013), Hatay ilinde bulunan 1970-2010 yılları arasında kaydedilen ortalama sıcaklık, toplam yağış, ortalama nem, ortalama rüzgâr hızı verilerinin mevsimsel ve yıllık trend analizi Spearman Rho ve Mann-Kendall yöntemleri ile belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, yıllık ortalama sıcaklık verilerinde artan, yıllık ortalama rüzgâr hızında ise azalan trend tespit edilmiştir. Yenilikçi Şen yöntemi ile Sakarya ilinin meteorolojik verilerinin trend analizi Ceyhunlu & Aydın (2020) tarafından yapılmıştır. İklim değişikliği üzerindeki

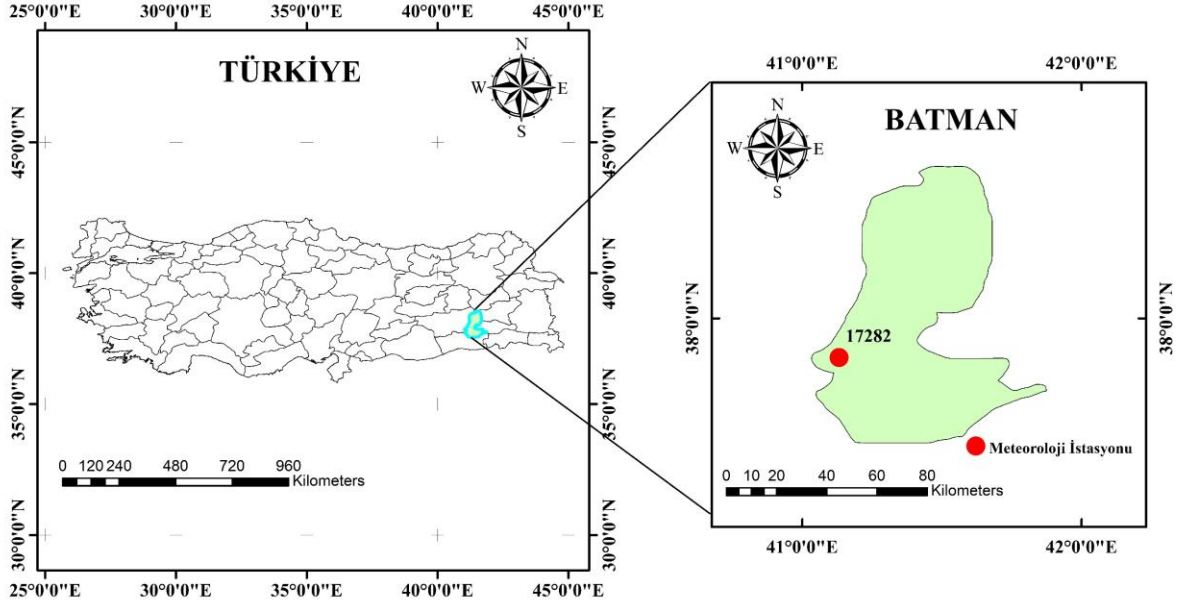
etkisi Hidrometeorolojik verilerde şiddetli yağışlarda, yüksek basınç değerlerinde nisbi nem değerlerinde, sıcaklıklarda ve rüzgâr hızlarında yükselen bir trend olacağı öngörülmektedir.

Ay & Özyıldırım (2017) yaptıkları çalışmada Yozgat ilindeki Meteorolojik istasyona ait yağış ve sıcaklık değişkenlerindeki trend varlığını belirlemek için Yenilikçi Şen ve Mann-Kendall Testi yöntemleri uygulanmıştır. Sıcaklık ve yağış değişkenlerinde Mann-Kendall yönteminde anlamlı bir trend varlığı bulunmadığını; Yenilikçi Şen yönteminde ise 1970-1992 yılları arasında yağış değişkeninde artan trend, 1993-2016 zaman diliminde ise sıcaklık değişkeninde artan eğilim olduğunu belirlemişlerdir. Tokgöz & Partal (2020), Mann-Kendall ve Yenilikçi Şen yöntemi kullanarak Karadeniz Bölgesi'ndeki 16 adet meteoroloji istasyonunun yağış ve sıcaklık verilerine eğilim analizi yapmışlardır. Yenilikçi Şen yönteminde sıcaklık verilerinde tüm istasyonlarda, Mann-Kendall Testinde ise yedi istasyonda artan eğilim saptadıklarını, yağış verilerinde ise yine Yenilikçi Şen yönteminde tüm istasyonlarda, Mann-Kendall yöntemine göre ise 7 istasyonda artan yönde eğilim varlığı belirlemişlerdir. Demir ve ark. (2017) Bingöl ilinde 1975-2016 yılları arasında 42 yıllık döneme ait yağış ve sıcaklık verilerinin minimum, maksimum ve ortalama değerlerine Spearman ve Mann-Kendall testleri uygulayarak eğilim analizi yapmışlardır. İki test sonucuna göre, sıcaklık verisinde artan yönde, yağış verisinde ise azalan yönde trend varlığını belirlemiş bu değişimlerin ise istatistiksel olarak anlamlı olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Öztürk & Cebeci (2021) de yaptıkları çalışmada Büyük Menderes Havzası içerisinde yer alan Aydın, Uşak ve Denizli illerinin sıcaklık, yağış ve akış parametrelerine Mann-Kendall yöntemiyle eğilim analizini belirlemeye çalışmışlardır. Aydın ilinde sıcaklıklarda trend bulunmadığını, Uşak ilinde yaz aylarında artan trend bulunduğunu, Denizli ilinde ise yedi ayda artan trend geri kalan aylarda ise trend bulunmadığını ifade etmişlerdir. Yağış verisinde ise Denizli ve Aydın'da anlamlı bir eğilim varlığı bulunmazken, Nisan ayında sadece Uşak'ta artış eğilimi belirlenirken, geri kalan aylarda ise eğilim olmadığını saptamışlardır. Akım parametresinde ise iki istasyonda da azalan yönde trend varlığı bulunmuştur. Coşkun (2020), Van Gölü kapalı havzasında bulunan meteoroloji istasyonlarındaki yağış verilerine Spearman Rho, Mann-Kendall ve Şen yöntemlerini kullanarak eğilim analizi uygulanmıştır. Gevaş ve Ahlat istasyonlarında yıllık toplam yağış verilerinde azalan trend olduğunu, Erciş ve Ahlat istasyonlarında mevsimsel olarak azalan yönde trend varlığı bulunduğunu belirtmiştir. Ayrıca Muradiye istasyonunda kış mevsimi dışındaki dönemlerde ve Tatvan istasyonunda trend varlığı bulunmadığını belirtmiştir.

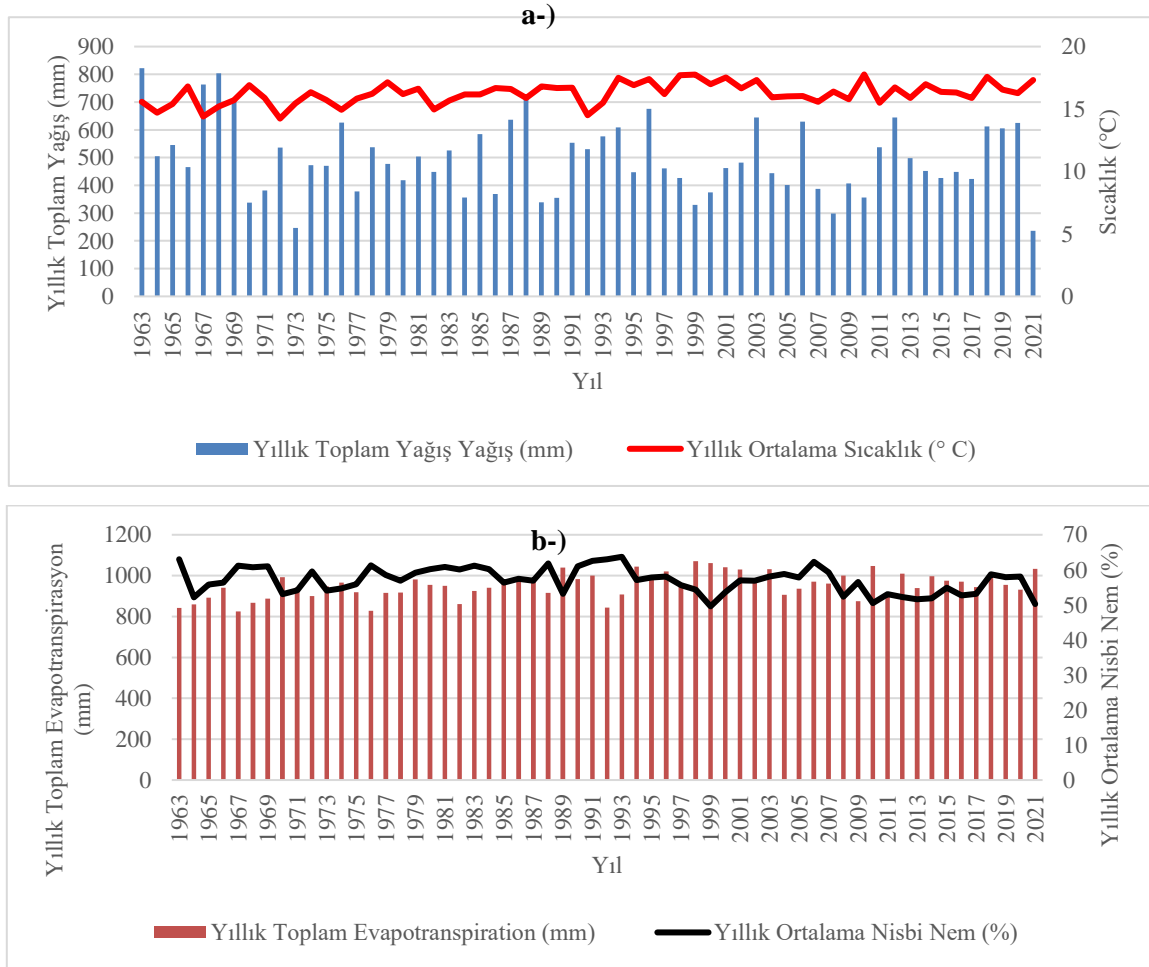
Yapılan bu çalışmada, küresel ısınma sonucu belirgin bir hal alan iklim değişikliğinin ülkemizin doğusunda bulunan Batman ilindeki etkileri İlin meteorolojik verilerine trend analizi uygulayarak araştırılmıştır. Trend analizi, Batman ilinin meteorolojik verilerine Mann Kendall, Spearman Rho ve Yenilikçi Şen yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Mann Kendall mertbe korelasyon testi ile trendin başladığı yıl belirlenmiştir. Çalışmada yıllık toplam yağış ve evapotranspirasyon ile yıllık ortalama sıcaklık ve nisbi nem meteorolojik değişkenleri veri olarak kullanılmıştır.

2. Çalışma Alanı ve Veri

Türkiye'de Batman ili merkezinde bulunan Batman İstasyonu, Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından kurulmuş olup istasyon numarası 17282 dir. Şekil 1'de konumu verilen istasyon "41.1562-37.8636" koordinatlarında bulunmaktadır. Veriler sırasıyla yıllık toplam yağış, yıllık ortalama nisbi nem, yıllık ortalama sıcaklık, yıllık toplam buharlaşmadır. Bu meteorolojik veriler 59 yıllık kayıtlar olup 1963-2021 yılları arasında eksiksiz olarak bulunmaktadır. Şekil 2'de meteorolojik verilerin zaman içerisindeki dağılımını göstermektedir. En yüksek toplam yağışın 1963 yılında, en düşük toplam yağışın ise 2021 yılında olduğu tespit edilmiştir. Yıllık ortalama sıcaklık verisinde, en yüksek ve en düşük yıllar sırasıyla 2010 ve 1972'de hesaplanmıştır. Yıllık toplam evapotranspirasyon verisinde, 1998 ve 1967 sırasıyla en yüksek ve en düşük değerler belirlenmiştir. Yıllık ortalama nem verisinde ise, 1993 ve 1999 yıllarında en yüksek ve en düşük değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 1. Batman şehrinin harita üzerinde gösterimi.



Şekil 2. Meteorolojik verilerin zaman serisi, a-) yıllık toplam yağış-yıllık ortalama sıcaklık, b-) yıllık toplam evapotranspirasyon-yıllık ortalama nisbi nem.

3. Materyal ve Yöntem

3.1. Mann-Kendall testi

Bir zaman serisindeki trendi test etme yöntemlerinden olan ve parametrik olmayan bu yöntem Mann (1945) ve Kendall (1975) tarafından geliştirilmiştir. Mann-Kendall test istatistiği;

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (1)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

şeklinde hesaplanır. Burada n veri sayısıdır, x_j ve x_k (j>k) zamanlarındaki veri noktasıdır ve sgn(x_j - x_k) işaret işlevidir. Normal dağılım ve sıfır ortalamaya sahip S'in varyansı,

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (3)$$

formülü ile hesaplanır. Örneklem büyüklüğünün n ≥ 10 olduğu durumlarda, S'nin varyansı

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_i^r t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (4)$$

eşitliği ile hesaplanır. Varyansı bu formülle belirlenen Mann-Kendall testinin anlamlı olup olmadığı standart normal değişken z'nin aşağıdaki eşitlikle hesaplanıp kritik z değeriyle karşılaştırılmasıyla belirlenmektedir.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Yapılan çalışma hangi α anlamlılık düzeyinde inceleniyorsa, |z| ≤ z_α şartı sağlanıyorsa hipotez kabul edilir, sağlanmıyorsa reddedilir. Yukarıda bulunan eşitlikteki S pozitif ise artan, negatif ise azalan eğilim olduğu kabulü yapılır. Bu yöntem diğer yöntemlere kıyasla, herhangi bir dağılıma uyma zorunluluğu olmadığından, araştırmacılar arasında kullanışlı olarak görülmektedir (Yu ve ark., 1993).

3.2. Spearman Rho testi

Parametrik olmayan trend testlerinden biride Spearman'ın Rho testidir. Bu test ile iki veri kümesi arasında korelasyon olup olmadığı belirlenir. Spearman Rho test istatistiği,

$$r_s = 1 - 6 \frac{[\sum_{i=1}^n (R(X_i) - i)^2]}{(n^3 - n)} \quad (6)$$

şeklinde hesaplanır. Burada R_(xi) sıra istatistiği olmakla beraber verilerin ya büyükten küçüğe ya da küçükten büyüğe doğru sıralanması ile belirlenmektedir. Formüldeki i verilerin gözlem sırasını, n ise toplam gözlem sayısını ifade etmekte olup r_s 'nin test istatistiği Z ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Z = r_s \sqrt{n - 1} \quad (7)$$

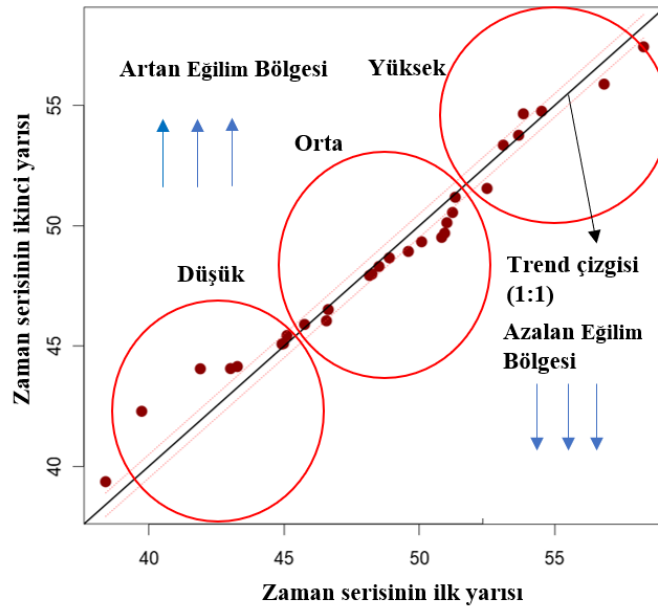
Buradan elde edilen Z değeri α anlamlılık seviyesinde standart normal dağılım tablosundan tespit edilen z_α değerinden büyükse ($Z > Z_{tablo}$) ise H_0 hipotezi reddedilir ve belirli bir eğilimin varlığı kabul edilir (Gümüş, 2006).

3.3. Yenilikçi Şen yöntemi

Şen (2012) tarafından geliştirilen ITA (Yenilikçi Şen Yöntemi) analiz sonuçlarını doğrusal grafik formunda da sunan bir metottur. Yöntemde diğer parametrik olmayan trend analiz yöntemlerinden, verilerin normal dağılıma uymaması, veri uzunluğunun kısa olması, verilerin içsel bağımlılığının bulunması halinde dahi sonuç vermesi bakımından ayrılmaktadır. (Şen, 2012). Bu yöntemin analiz aşamaları şu şekildedir.

- Veri kümesi iki parçaya (eşit olacak şekilde) ayrılır.
- Yarıya ayrılan iki eşit parça ayrı ayrı olmak üzere küçükten büyüğe doğru sıralanır. Sonra ilk parça (X_i) X-ekseni üzerinde, ikinci parça (X_j) Y-ekseni üzerinde yer almak üzere kartezyen koordinat sistemi üzerinde yerleştirilir.
- Grafik üzerinde 45° doğrusu çizilir.
- Eğer veri 45° doğrusunun üzerinde ise trend yok, 45° doğrusunun altında yer alıyor ise azalan, 45° doğrusunun üstünde yer alıyorsa artan eğilim sonucuna varılır

Şen (2012) tarafından önerilen bu yöntemi parametrik olmayan diğer yöntemlerden ayıran bir üstünlüğü de hidrometeorolojik verilerin zaman serilerinin “düşük”, “orta” ve “yüksek” olmak üzere üç kategoriye ayrılabilmesidir (Şekil 3). Böylelikle verinin trendinin hangi yönde olduğunun yanında bunun şiddeti hakkında da bilgi vermektedir. Örneğin yağış verisi ele alındığında yüksek kategoride artan bir trend varlığı taşkın riskine işaret ederken, sıcaklıkta kuraklık durumuna işaret eder.



Şekil 3. Yenilikçi Şen Yönteminin grafiksel olarak gösterimi.

3.4. Sen'in eğim testi

Sen (1968), belirli bir veri setinin trend eğimini tahmin etmek için parametrik olmayan bir yöntem sunmuştur. Bu yöntemde, her veri çifti için trend eğimi (T_i) aşağıdaki formülle hesaplanır. $i = 1, 2, \dots, n$ için

$$T = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad (8)$$

$$\beta = \begin{cases} \frac{T_{N+1}}{2} & n \text{ (tek)} \\ \frac{1}{2} \left(T_{\frac{x}{2}} + T_{\frac{N+2}{2}} \right) & n \text{ (çift)} \end{cases} \quad (9)$$

3.5. Değişim noktası

3.5.1. Mann-Kendall mertebeye korelasyon testi (SQ-MK)

Önemli bir trendin yaklaşık başlangıç yılını belirlemek için sıralı Mann-Kendall mertebeye korelasyon testi (SQ-MK) kullanılmıştır. Bu test aynı zamanda zaman içinde eğilimde meydana gelen dalgalanmayı da gösterir. Bu uygulama, aşamalı bir u(t) ve geriye dönük bir u'(t) olmak üzere iki seri meydana gelir. SQ-MK testinin uygulanması sırayla aşağıdaki dört adımdan oluşmaktadır (Tabari ve ark., 2012).

1. Her karşılaştırmada, $x_i > x_j$ durumlarının sayısı sayılır ve n_i ile gösterilir; burada $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ ve $x_j (j = 1, \dots, i-1)$ serideki ardışık değerlerdir.
2. SQ-MK testinin test istatistiği olan t_i aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$t_j = \sum_{1}^i n_j \quad (10)$$

3. Test istatistiğinin ortalaması ve varyansı

$$E_{(t)} = \frac{n(n-1)}{4} \quad (11)$$

$$Var(t_j) = \frac{[j(j-1)(2j-5)]}{72} \quad (12)$$

u(t) istatistiklerinin sıralı değerleri daha sonra şu şekilde hesaplanır:

$$u(t) = \frac{t_j - E_{(t)}}{\sqrt{Var(t_j)}} \quad (13)$$

Benzer şekilde, MK testinin sıralı geriye doğru (u'(t)) analizi, zaman serisi verilerinin sonundan başlayarak hesaplanır.

4. Bulgular

Çalışma yeri olarak belirlenen Batman iline ait 17282 no'lu meteoroloji istasyonundaki yıllık toplam yağış ve evapotranspirasyon ile yıllık ortalama nisbi nem ve sıcaklık verileri üzerine trend analizi uygulanmıştır. Çalışma kapsamında incelenen istasyon verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) temin edilmiştir. Trend varlığı incelenen istasyondaki 1963-2021 yılları arasındaki 59 yılı kapsamaktadır. Hem meteorolojik hem de hidrolojik verilerde trend varlığını belirlemek için oldukça sık başvurulan ve non-parametrik olan Spearman Rho ve Mann-Kendall testleri bu çalışmada kullanılmıştır. Eğilim analizi 0.01, 0.05 ve 0.1 anlamlılık seviyesinde, diğer bir ifadeyle %90, %95 ve %99 güven aralığında değerlendirilmiştir. Ayrıca Şen'in yenilikçi yönteminde Trend varlığını araştırmak için kullanılmıştır. Trendin başladığı yılı saptamak için ise Mann-Kendall mertebeye korelasyon testi uygulanmıştır.

Batman iline ait yıllık ortalama sıcaklık ve nisbi nem ile yıllık toplam evapotranspirasyon ve yağış değerlerinin istatistiksel sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. İstatistiksel verilere bakıldığında, evapotranspirasyon verisinin en düşük değeri 824.20 mm olarak hesaplanırken, en yüksek değeri ise

1070.50 mm olarak saptanmıştır. Evapotranspirasyon verileri arasındaki standart sapma ise 60.78 mm olarak belirlenmiştir. Yıllık ortalama yağış verileri incelendiğinde, en düşük ve en yüksek yağış değerleri sırasıyla 236.70 mm ve 822.70 mm olarak hesaplanmıştır. Standart sapma ve ortalama değerler ise sırasıyla 132.23 mm ve 497.51 mm olarak belirlenmiştir. Çarpıklık katsayısı buharlaşma, sıcaklık ve nisbi nem değerlerinde sıfırın altında görülürken, yağış verilerinde sıfırın üstünde tespit edilmiştir. Spearman Rho, Mann-Kendall test sonuçları Tablo 2’te, Yenilikçi Şen yönteminin ait sonuçlar ise Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 1. 17282 no’lu meteorolojik istasyona ait verilerin istatistiksel olarak incelenmesi

Değişkenler	Buharlaşma(mm)	Sıcaklık (C)	Yağış (mm)	Nisbi Nem (%)
Min	824.20	14.23	236.70	49.58
Max	1070.50	17.77	822.70	63.71
Standart Sapma	60.78	0.86	132.23	3.64
Çarpıklık Katsayısı	-0,18	-0.25	0.43	-0.14
Ortalama	953.07	16.25	497.51	57.04
Değişim	0.06	0.05	0.27	0.06

Tablo 2. Mann-Kendall ve Spearman Rho test sonuçları

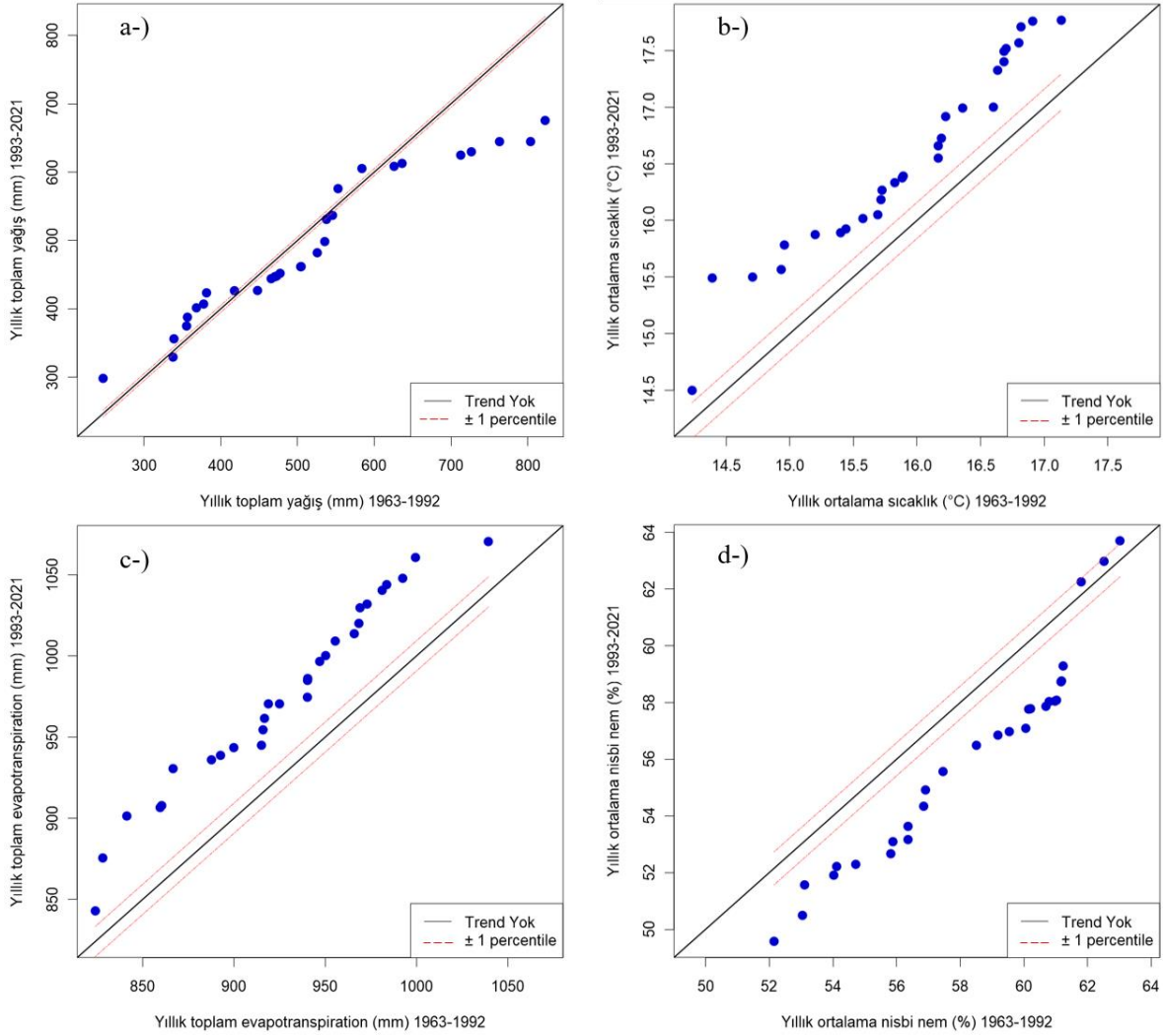
Meteorolojik Değişkenler	Mann-Kendall	Spearman Rho	$\alpha = \%10$	$\alpha = \%5$	$\alpha = \%1$
Yıllık Toplam Yağış	-1.22	-1.26	Yok	Yok	Yok
Yıllık Toplam Evapotranspirasyon	3.64	3.57	Artan	Artan	Artan
Yıllık Ortalama Sıcaklık	3.25	3.19	Artan	Artan	Artan
Yıllık Ortalama Nisbi Nem	-2.28	-2.48	Azalan	Azalan	Azalan

Batman istasyonuna ait meteorolojik değişkenlerin trendleri incelendiğinde Mann-Kendall ve Spearman Rho yöntemlerine göre %90, %95 ve %99 güven aralıklarına göre yıllık toplam yağış verisi için trend bulunamamıştır. Yıllık toplam yağış verisinde trend aşağı yönde olmasına rağmen anlamlılık seviyelerinde trendin varlığı söz konusu değildir. Yine aynı güven aralıklarına göre yıllık toplam evapotranspirasyon ve yıllık ortalama sıcaklık değerleri için anlamlı sonuçlar bulunmuş ve artan yönde trend varlığı tespit edilmiştir. Yıllık ortalama nisbi nem değeri için ise azalan yönde bir trend varlığı görülmüştür. Mann Kendall ve Spearman Rho test sonuçları meteorolojik verilerde birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Örneğin, yıllık ortalama sıcaklık verisinde, Mann Kendall test sonucuna göre 3.25 artan bir eğilim tespit edilirken, aynı meteorolojik veride Spearman Rho test sonucuna göre 3.19 olarak saptanmıştır. Bu iki test sonucuna göre, yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık toplam evapotranspirasyon verilerinde uzun dönem veri analizine göre keskin bir şekilde artan bir şekilde trendin varlığından söz edilirken, yıllık ortalama nisbi nem değerinde ise keskin bir şekilde azalan trend tespit edilmiştir.

Tablo 3. Yenilikçi Şen Yöntemi 99% güven aralığına göre test sonuçları

Meteorolojik Değişkenler	Standart Sapma	Korelasyon	Eğim(s)	Üst Sınır	Alt Sınır	Trend
Yıllık Toplam Yağış (mm)	0.1500	0.970	-0.800	0.2900	-0.290	Azalan
Yıllık Ortalama Sıcaklık (°C)	0.0009	0.970	0.0200	0.0017	-0.002	Artan
Yıllık Toplam Evapotranspirasyon (mm)	0.0476	0.984	1.6300	0.0900	-0.090	Artan
Yıllık Ortalama Nisbi Nem (%)	0.0042	0.965	-0.070	0.0080	-0.008	Azalan

Yenilikçi Şen yöntemiyle yapılan trend çalışmasında ise parametrik olmayan yöntemlerle aynı olarak yıllık toplam evapotranspirasyon ve yıllık ortalama sıcaklıkta artan trend yıllık ortalama nisbi nem ve yıllık toplam yağış için ise azalan trend olduğu görülmüştür. Meteorolojik veriler arasındaki korelasyon 0.9'un üzerinde tespit edilmiş olup, yüksek standart sapma değerleri gözlemlenmemiştir. Spearman Rho ve Mann Kendall test sonuçlarına göre yıllık toplam yağış verilerinde herhangi bir trend tespit edilmez iken, Yenilikçi Şen yöntemi ile %99 güven aralığına göre azalan bir trend elde edilmiştir. Yenilikçi Şen yöntemine ait grafiksel sonuçlar ise Şekil 4' te gösterilmiştir. Tablo 4'da ise meteorolojik verilerin trendin eğimi gösterilmiştir. Tabloya göre, meteorolojik verilerin azalan ve artan yönde bulunan trendin eğimi hesaplanmıştır. Örneğin, yıllık toplam evapotranspirasyon verilerinde Mann-Kendall testine göre elde edilen artan trend 3.64 olarak hesaplanırken, bu trendin eğimi Sen'in eğim testine göre 1.71 olarak saptanmıştır. Yıllık toplam yağış verisinde ise bu değer -1.31 olarak hesaplanmıştır. Negatif değer trendin aşağı doğru olduğu anlamına gelmektedir.

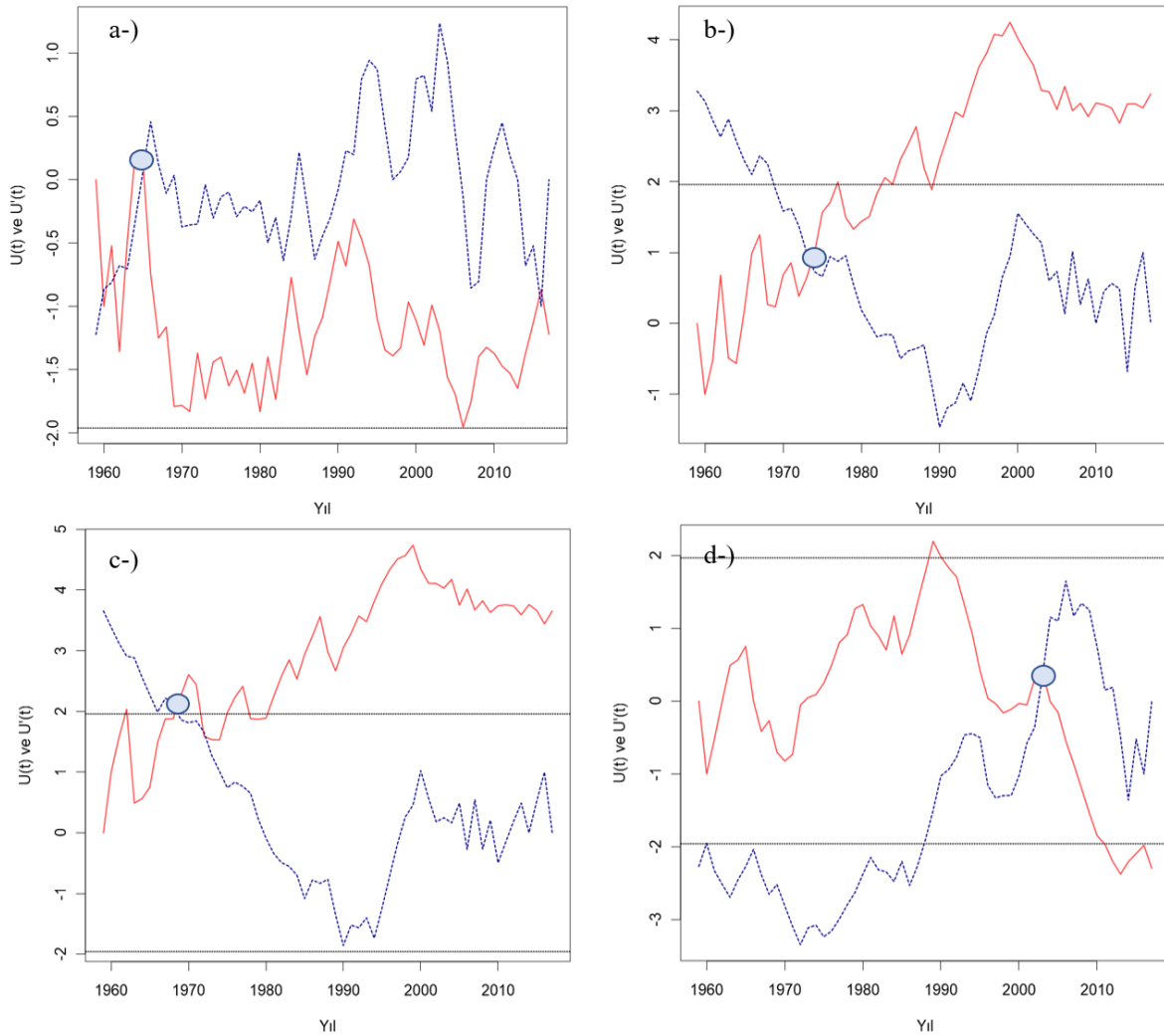


Şekil 4. Yenilikçi Şen Yöntemi ile elde edilen farklı değişkenlere ait trend analiz grafikleri a) yıllık toplam yağış b) yıllık ortalama sıcaklık c) yıllık toplam evapotranspirasyon d) yıllık ortalama nisbi nem.

Tablo 4. Sen'in Eğim test sonuçları

Meteorolojik Değişkenler	Sen'in Eğim Testi
Yıllık Toplam Yağış	-1.31
Yıllık Toplam Evapotranspirasyon	1.71
Yıllık Ortalama Sıcaklık	0.02
Yıllık Ortalama Nisbi Nem	-0.07

SQ-MK yöntemi neticesinde elde edilen grafikler ise Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekil 5 a-), b-) ve d-) kesişimler meydana gelmiş fakat %95 güven aralığına göre bir anlamlılık elde edilmemiştir. Eğer verilerin kesiştiği nokta ± 1.96 (%95 güven aralığı) üzerinde belirlenirse değişimin başladığı yıl olarak kabul edilir. Bu sebeple, yıllık toplam yağış, yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık ortalama nisbi nem verilerinin kesiştiği noktalar yukarıda belirtilen güven aralığını aşmadığından dolayı, bu parametreler için değişimden bahsedilemez. Ancak, yıllık toplam evaporasyon verisinin 1.96 güven aralığının üzerinde kesiştiğinden dolayı kesişimin 1969 yılında başladığı görülmektedir.



Şekil 5. Mann-Kendall mertebeli korelasyon test sonuçları a) yıllık toplam yağış b) yıllık ortalama sıcaklık c) yıllık toplam evapotranspirasyon d) yıllık ortalama nisbi nem.

5. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada Batman ilindeki 17282 no'lu meteorolojik istasyona ait yıllık toplam yağış ve evapotranspirasyon ile yıllık ortalama sıcaklık ve nispi nem verilerinin trend analizleri Mann Kendall,

Spearman Rho ve Yenilikçi Şen Yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır. Ayrıca Mann Kendall sıra korelasyon testi uygulayarak da trendin başladığı yıl belirlenmeye çalışılmıştır.

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden alınan 17282 no'lu Batman Meteorolojik İstasyonu değişkenleri incelendiğinde, yıllık toplam yağış için Spearman Rho ve Mann-Kendall yöntemlerine göre trend görülmezken Yenilikçi Şen yöntemine göre azalan trende rastlanılmıştır. Yıllık ortalama sıcaklık için her üç yöntem için de artan yönde trend görülmüştür. Yıllık toplam evapotranspirasyon için yine her üç yöntemde de artan trend görülürken yıllık ortalama nisbi nem değerinin üç yöntemde azalan yönde trend varlığı belirlenmiştir. Eldeki verilerin trend analizi neticesinde sıcaklık ve evapotranspirasyon da artan, yağış ve nispi nem verilerinde bulunan azalan trendler ileride yağışların azalacağı buna karşın sıcaklıkların artacağı tahminleri yapılabilir. Bu durumdan yola çıkarak da hâlihazırda su kaynaklarının bu durumdan olumsuz etkileneceği tahmini yapılabilir. Bu olumsuz durumun önüne geçilebilmesi amacıyla aşağıdaki önlemler alınabilir.

- Küresel iklim modelleri oluşturulması ve iklim değişikliği ile ilgili projeksiyon çalışmaları yapılması,
- Yüzeysel su kaynaklarındaki buharlaşmaların belli oranda önüne geçilmesi amacıyla gerekli tedbirlerin alınması,
- Tarımda salma sulama uygulamasından vazgeçilip, yağmurlama ve damla sulama gibi sistemler yaygınlaştırılmalıdır,
- Kaçak sulama kuyuları iptal edilmelidir,
- İklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin sadece yağış gibi iklim değişkenlerinde olmayacağını farkına varılması, sosyal, kültürel, enerji, tarım ve sağlık gibi alanlarında da etkilerinin olacağını ifade edilip bu durum ile ilgili kamuoyu bilinçlendirilmelidir (Dabanlı, 2017).
- Su israfı engellenmeli ve atık suların değerlendirilmesi teşvik edilmelidir.
- Her havzanın iklim değişikliği etkilerinin belirlenip havza yönetim planlarına kuraklık analizi ile birlikte dâhil edilmelidir.

Kaynakça

- Ahmadi, F., Nazeri Tahroudi, M., Mirabbasi, R., Khalili, K., & Jhajharia, D. (2018). Spatiotemporal trend and abrupt change analysis of temperature in Iran. *Meteorological Applications*, 25(2), 314-321. doi:10.1002/met.1694
- Aksoy, H., Onoz, B., Cetin, M., Yuçe, M. İ., Eriş, E., Selek, B., Aksu, H., Burgan, H. İ., Esit, M., Orta, S., & Cavus, Y. (2018, September). *SPI-based drought severity-duration-frequency analysis*. 3th International Congress on Advances in Civil Engineering, Izmir, Türkiye.
- Ali, R. O., & Abubaker, S. R. (2019). Trend analysis using Mann-Kendall, Sen's slope estimator test and innovative trend analysis method in Yangtze river basin, China: Review. *International Journal of Engineering & Technology*, 8(2), 110-119.
- Ay, M., & Özyıldırım, Y. (2017). Yozgat'ın aylık toplam yağış ve aylık ortalama hava sıcaklıklarının trend analizi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(2), 65-76. doi:10.21605/cukurovaummfd.358364
- Bacanlı, Ü. G., & Çukurluoğlu, S. (2018). Antalya ilinin bazı meteorolojik verilerinin trend analizi. *SETSCI Conference Indexing System*, 2(2018), 371-375.
- Cebe, E. N. (2007). *Türkiye akarsularında mevsimsel trend analizi*. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul, Türkiye.
- Ceyhunlu, A. İ., & Aydın, F. (2020). Yenilikçi Şen trend yöntemi ile Sakarya'nın meteorolojik verilerinin eğilim analizi. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 5(2), 1-7.
- Coşkun, S., (2020). Van Gölü Kapalı Havzasında Yağışların Trend Analizi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(2), 521-532. doi:10.21923/jesd.685420
- Çetin, M., Aksoy, H., Önöz, B., Eriş, E., Yuçe, M. İ., Selek, B., Aksu, H., Burgan, H. İ., Eşit, M., Çavuş, Y., & Orta, S. (2018, September). Deriving accumulated precipitation deficits from drought severity-duration-frequency curves: A case study in Adana province, Turkey. 1st international and 14th National Congress on agricultural structures and irrigation, Antalya.

- Dabanlı, İ., Şen, Z., Yeleğen, M. Ö., Şişman, E., Selek, B., & Güçlü, Y. S. (2016). Trend assessment by the innovative-Şen method. *Water Resources Management*, 30(14), 5193-5203. doi:10.1007/s11269-016-1478-4
- Dabanlı, İ. (2017). Türkiye'de iklim değişikliğinin yağış-sıcaklığa etkisi ve kuraklık analizi: Akarçay örneği. (Doktora Tezi), *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı İstanbul, Türkiye.
- Demir, A. D., Demir, Y., Şahin, Ü., & Meral, R. (2017). Bingöl ilinde sıcaklık ve yağışların trend analizi ve tarıma etkisi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 4(3), 284-291.
- Doğan, E., Çeribaşı, G., & Akkaya, U. (2016). Investigation for effecting of dam to river flow regime by trend analysis method, case study of Sakarya River. *Karalmas Science and Engineering Journal*, 6(1), 50-55.
- Eris, E., Aksoy, H., Onoz, B., Cetin, M., Yuce, M. I., Selek, B., Aksu, H., Burgan, H. I., Esit, M., Yildirim, I., & Karakus, E. U. (2019). Frequency analysis of low flows in intermittent and non-intermittent rivers from hydrological basins in Turkey. *Water Supply*, 19(1), 30-39. doi:10.2166/ws.2018.051
- Esit, M., Kumar, S., Pandey, A., Lawrence, D. M., Rangwala, I., & Yeager, S. (2021). Seasonal to multi-year soil moisture drought forecasting. *Npj Climate and Atmospheric Science*, 4(1), 1-8. doi:10.1038/s41612-021-00172-z
- Gümüş, V. (2006). *Fırat Havzası akımlarının trend analizi ile değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Şanlıurfa, Türkiye.
- Kadıoğlu, M. (1997). Trends in surface air temperature data over Turkey. *International Journal of Climatology*, 17(5), 511-520. doi:10.1002/(SICI)1097-0088(199704)17:5<511::AID-JOC130>3.0.CO;2-0
- Kendall MG, (1975). *Rank Correlation Methods*. New York, USA: Oxford University Press.
- Mann, H. B. (1945). Non-parametric tests against trend. *Econometrica*, 13(3), 163-171. doi:10.2307/1907187
- Öztürk, Ö., Cebeci, İ. (2021). Büyük Menderes havzasında bazı hidroklimatolojik değişkenlerin eğilim analizi. *Toprak Su Dergisi*, 10(1), 43-50. doi:10.21657/topraksu.775654
- Ren, J. L., Li, Q. F., Yu, M. X., & Li, H. Y. (2012). Variation trends of meteorological variables and their impacts on potential evaporation in Hailar region. *Water Science and Engineering*, 5(2), 137-144. doi:10.3882/j.issn.1674-2370.2012.02.002
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379-1389. doi:10.1080/01621459.1968.10480934
- Şen, Z. (2012). Innovative trend analysis methodology. *Journal of Hydrological Engineering*, 17(9), 1042-1046. doi:10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000556
- Şen, Z. (2013). Trend identification simulation and application. *Journal of Hydrological Engineering*, 19(3), 635-642. doi:10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000811
- Şen, Z. (2018). Crossing trend analysis methodology and application for Turkish rainfall records. *Theoretical and Applied Climatology*, 131(1-2), 285-293. doi:10.1007/s00704-016-1980-x
- Şimşek, O., Gümüş, V., Soydan, N. G., Yenigün, K., Kavşut, M. E., & Topçu, E. (2013). Hatay ilinde bazı meteorolojik verilerin gidiş analizi. *SDU International Journal of Technological Sciences*, 5(2), 132-144.
- Tabari, H., Hosseinzadeh Talaei, P., Ezani, A., & Shifteh Some'e, B. (2012). Shift changes and monotonic trends in autocorrelated temperature series over Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 109(1), 95-108. doi:10.1007/s00704-011-0568-8
- Tokgöz, S., Partal, T. (2020). Karadeniz bölgesinde yıllık yağış ve sıcaklık verilerinin Yenilikçi Şen ve Mann-Kendall yöntemleri ile trend analizi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(2), 1107-1118. doi:10.21597/jist.633368
- Topçu, E. (2021). Testing of drought exceedance probability index (DEPI) for Turkey using PERSIANN data for 2000-2021 period. *Italian Journal of Agrometeorology*, 2, 15-28. doi:10.36253/ijam-1308
- Topçu, E. (2022). Appraisal of seasonal drought characteristics in Turkey during 1925-2016 with the standardized precipitation index and copula approach. *Natural Hazards*, 112, 1-27. doi:10.1007/s11069-021-05201-x

- Toride, K., Cawthorne, D. L., Ishida, K., Kavvas, M. L., & Anderson, M. L. (2018). Long-term trend analysis on total and extreme precipitation over Shasta Dam watershed. *Science of the Total Environment*, 626, 244-254. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.01.004
- Türkeş, M. (1996). Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 16(9), 1057-1076. doi:10.1002/(SICI)1097-0088(199609)16:9%3C1057::AID-JOC75%3E3.0.CO;2-D
- Türkeş, M. (2008). Küresel iklim değişikliği nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 1(1), 26-37.
- Yu, Y. S., Zou, S., & Whittemore, D. (1993). Non-parametric trend analysis of water quality data of rivers in Kansas. *Journal of Hydrology*, 150(1), 61-80. https://doi.org/10.1016/0022-1694(93)90156-4
- Yuce, M. I., & Esit, M. (2021). Drought monitoring in Ceyhan basin, Turkey. *Journal of Applied Water Engineering and Research*, 9(4), 293-314. doi:10.1080/23249676.2021.1932616
- Zamani, R., Mirabbasi, R., Nazeri, M., Meshram, S. G., & Ahmadi, F. (2018). Spatio-temporal analysis of daily, seasonal and annual precipitation concentration in Jharkhand state, India. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 32(4), 1085-1097. doi:10.1007/s00477-017-1447-3



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Stokastik Talepli Araç Rotalama Probleminin Şans Kısıtlı Matematiksel Modeline Tavlama Benzetimi Algoritması ile Optimal Çözüm Yaklaşımları

Adem ŞEHİTOĞLU^{*1}, Şakir İŞLEYEN²

¹ Muş Alparslan Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, İlköğretim Matematik Bölümü, Muş, Türkiye

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü, Van, Türkiye

Adem ŞEHİTOĞLU, ORCID No: 0000-0002-7598-5348, Şakir İŞLEYEN, ORCID No: 0000-0002-8186-1990

*Sorumlu yazar e-posta: a.sehitoglu@alparslan.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 17.09.2022
Kabul: 17.12.2022
Online Nisan 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1174742

Anahtar Kelimeler

Optimizasyon,
Stokastik talepli araç
rotalama,
Şans kısıtı,
Tavlama benzetimi

Öz: Tedarik zinciri ve lojistik yönetimi ham maddenin üretim aşamasından son müşteriye ulaşmasına kadar küresel ekonomide önemli bir yere sahip olmuştur. Bitmiş ürünlerin merkezi bir depodan son müşteriye kadar dağıtım ağını sağlayan araç rotalama problemleri önemli bir rol oynamaktadır. Araç rotalama problemleri en etkili kararları alabilmek için her geçen gün daha karmaşık ve stokastik olarak modellenmektedir. Stokastik araç rotalama problemleri müşteri taleplerinin, zamanın, yolların ve hizmet gibi parametrelerinin belirsizliğinden olasılıksal olarak modellenmektedir. Stokastik talepli araç rotalama problemi, müşteri taleplerinin önceden bilinmediği hizmet aracının müşteriye ulaştıktan sonra tam olarak bilindiği problemlerdendir. Bu çalışmada, Van'da bir ekmek fabrikasının marketlere ekmek dağıtımını sırasında izlediği rotalar, talepler ve koordinatlar ile stokastik talepli şans kısıtlı bir model oluşturulmuştur. Fabrikanın kendi rota bilgileri, bir meta sezgisel olan Tavlama Benzetimi algoritmasından elde edilen optime yakın problem çözümü ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre algoritmadan elde edilen rotalar fırının izlediği rotalardan daha iyi sonuçlar vermiştir.

Optimal Solution Approaches to the Chance Constrained Mathematical Model of the Stochastic Demand Vehicle Routing Problem with Simulated Annealing Algorithm

Article Info

Received: 17.09.2022
Accepted: 17.12.2022
Online April 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1174742

Keywords

Chance constrained,
Optimization,
Simulated annealing,
Vehicle routing with
stochastic demand

Abstract: Supply chain and logistics management have an important place in the global economy, from the production stage of the raw material to the delivery to the end customer. Vehicle routing problems play an important role, providing the distribution network of finished products from a central warehouse to the end customer. Vehicle routing problems are modelled as more complex and stochastic every day to take the most effective decisions. Stochastic vehicle routing problems are probabilistically modelled from the uncertainty of customer demands, time, routes, and service parameters. The stochastic demand vehicle routing problem is one of the problems in which the customer demands are not known beforehand, and the service vehicle is known after it reaches the customer. In this study, a chance-constrained model with stochastic demand was created with the routes, demands and coordinates followed by a bread factory in Van during the distribution of bread to the markets. The factory's route information is compared with the near-optimal problem solution obtained from a meta-heuristic, Annealing Simulation algorithm. According to the results, the routes obtained from the algorithm gave better results than the routes followed by the bakery.

Bu makale, birinci yazarın doktora tezinden üretilmiştir.

1. Giriş

Mal ve hizmetlerin fiziksel teslimatında Araç Rotalama Problemi (ARP), lojistik ve tedarik zincirinin en önemli son aşamasıdır. ARP, bir dizi kısıtlama göz önüne alındığında, bir araç filosunun bir dizi müşteriye hizmet vermede optimum bir rota tasarlamak için kullanılan kombinatoriyal optimizasyon problemlerindedir. ARP'nin birçok çeşidi bulunmaktadır. Bunlar taşınan malların niteliğine, ihtiyaç duyulan hizmetin kalitesine, müşterilerin ve araçların özelliklerine göre formüle edilmektedir (Kumar & Panneerselvam, 2012).

ARP'de genellikle amaç fonksiyonları, araç kapasitesi ve hizmet süresini göz önünde bulundurarak toplam rota mesafesini minimum yapabilmek, taşıma maliyetlerini minimumda tutabilmek, taleplerin parça parça olarak dağıtılması sonucu oluşan yardımcı eylem (rücu) maliyetlerini ve talebi karşılayacak araç sayısını minimize etmek, olarak tanımlanmaktadır (Toth & Vigo, 2002; Yılmaz Yalçın, 2021).

ARP'de parametrelerin önceden bilindiği problemler deterministik olarak bilinmektedir. Parametrelerin önceden bilinmediği olasılıksal bilgilerin yer aldığı problemler stokastik araç rotalama problemleri (SARP) olarak adlandırılmaktadırlar. SARP için matematiksel model, rotalama probleminin birkaç veya bütün parametrelerinin rassal olduğu problemlerdir. Genellikle bu problemler, müşteri talepleri, seyahat süreleri, müşteriler ve hizmet sürelerinin stokastik olduğu durumlarda modellenmektedir. Bu gibi durumlar gerçek hayatta, parametrelerin kesin olarak belirlenmesinin zor olduğu problemlerde görülür. Stokastik ARP'nin çözümündeki temel düşünce, problemin olasılıklı yapısını eşdeğeri olan deterministik modele dönüştürebilmektir. SARP literatürde şans kısıtlı stokastik programlama ve yardımcı eylemli stokastik programlama olmak üzere iki şekilde modellenmektedir (Gendreau ve ark., 1996).

Kombinatoriyal araç rotalama problemi en basit haliyle NP-Zor (Nondeterministic polinom) problemlerindedir (Garey & Johnson, 1979). ARP, NP-Zor olduğundan makul bir zaman çerçevesinde kabul edilebilir çözümler elde etmek için sezgisel, matematiksel programlama tabanlı sezgisel, meta-sezgisel ve çok yözlü birleştirici tabanlı optimizasyon algoritmaları gibi farklı çözüm teknikleri kullanılmaktadır.

ARP'de bir ilk kabul edilebilecek çalışma 1959'da Dantzig ve Ramser'in bir benzin dağıtım kamyon filosu ile çok sayıda servis istasyonu arasında optimum rota oluşturması ile başlamıştır (Dantzig & Ramser, 1959). 1964'te Clarke ve Wright, bir kamyon filosunun merkezi bir depodan farklı yerlerde bulunan çok sayıda teslimat noktasına en uygun şekilde olası rotadan seçim yapılmasını gerektiren çalışmayı yapmışlardır (Clarke & Wright, 1964). Bertsimas (1992), kapasiteli ARP'de müşteri taleplerinin stokastik olduğu model için sezgisel bir yöntem önermiş ve olasılıklı analiz teknikleri ile sonuçların, yeniden optimizasyon stratejisine güçlü ve faydalı bir alternatif olduğunu göstermiştir. (Teodorovic & Pavkovic, 1992), STARP için yardımcı eylemli stokastik programlama modeli geliştirmişlerdir. Problemde müşteri taleplerinin düzgün dağılımdan geldiğini varsaymışlar ve problem çözümü için tavlama benzetimi algoritmasını kullanmışlardır. (Gendreau ve ark., 1995), STARP için, araç kapasitesine ulaşıldığında veya aşıldığında, araç depoya döner ve kaldığı yerden planlanan rota boyunca hizmete devam eder durumundaki, yardımcı eylemli stokastik bir tamsayı programı olarak formüle etmişlerdir. Problemi ilk kez bir Tamsayı L-şekilli yöntem vasıtasıyla optimal olarak çözmüşlerdir. (Gendreau ve ark., 1996), STARP modelinin bilimsel literatürünü özetle sunmuşlardır. Temel problemler geniş bir sınıflandırma şeması içinde açıklanmış ve literatüre katkıları özetlenmiştir. Tamsayı L-şekilli yöntemine dayalı kesin algoritmaların geliştirilmesi ve sezgisellerin oluşturulmasının problemin çözümü için umut verici olduğunu belirtmişlerdir. Laporte ve ark. (2002), STARP için Tamsayı L-şekilli bir algoritma önermişlerdir. Beklenen çözüm maliyetini, talebin araç kapasitesini aşmaması kısıtlaması altında en aza indirmişlerdir. 25 ila 100 arasında müşteri ve 2 ila 4 araç içeren örneklerde, taleplerin Poisson veya Normal dağılımdan geldiği durumu çözmüşlerdir. Hu ve ark. (2003), STARP'ı ele almışlardır ve dinamik araç rotalama problemi için gerçek zamanlı bilgilerle genişletmişlerdir. Problemi şans kısıtlı olarak modellemişler ve dal-sınır teknikleri ile CPLEX'te çözmüşlerdir. Ismail & Irhamah (2008), müşteri taleplerinin stokastik bir dağılımdan geldiği, STARP'ın bir versiyonunu ele almışlardır. Önleyici stoklama politikası yardımcı eylemini içeren yaklaşım ile modellenen bu problem için genetik algoritma ve tabu arama algoritmaları ile hibrit algoritma önermişlerdir. Novoa & Storer (2009), stokastik talepli tek araçlı ARP için araç her müşteriye ulaştığında ve talep ortaya çıktığında güncellenen, mevcut duruma göre rotalama kararlarının alındığı

dinamik bir çözüm yaklaşımı kullanmışlardır. Çözümleri değerlendirmek için bir simülasyon kullanmışlardır. Taleplerin kesikli dağılımı takip ettiğini varsaymışlar ve testlerde kesikli düzgün dağılım kullanmışlardır. Mendoza ve ark. (2010), stokastik talepli çok bölmeli ARP için, araçtaki herhangi bir bölümün kapasitesine ulaşıldığında depoya dönmeyi gerektiren, yardımcı eylemli stokastik programlama ile bir model önermişlerdir. Müşteri taleplerinin Normal dağıldığı kabul edilmiş ve problemi memetik bir algoritma yardımı ile çözmüşlerdir. Marinakis ve ark. (2013), tedarik zinciri yönetimi problemlerinden biri olan STARP'ı çözmek için yardımcı eylemli (önleyici stoklama) modeli ile modellemişlerdir. Çözüm için parçacık sürü optimizasyonuna dayalı hibrit algoritmik yaklaşımı kullanmışlardır. Jabali ve ark. (2014), stokastik talepli kapasiteli araç rotalama problemini, rota maliyeti ve beklenen rücu maliyetinin toplamını minimum yapmak için tanımlamışlardır. Problemi iki aşamalı bir stokastik programlama modeli olarak formüle etmişler, Tamsayı L-şekilli algoritma ile çözmüşlerdir. Goodson (2015), müşteri taleplerinin belirsiz olduğu ve ürünlerin ayrı bölümlerde taşınması gereken, stokastik taleplerle çok bölmeli araç rotalama problemi için öncül politikaların beklenen maliyetini tahmin etmek ve tam olarak hesaplamak için yöntemler geliştirmiştir. Problem için en iyi bilinen çözüm değerlerini önemli ölçüde geliştiren döngüsel sıra tabanlı tavlama benzetimi algoritmasına dahil etmiştir. Wang ve ark. (2017), stokastik taleplerle iki kademeli kapasiteye sahip araç rotalama problemini ele almışlardır. Problemi tanımlamak için yardımcı eylemli (rücu) stokastik bir program kullanmışlardır. Bu program, seyahat maliyetinin toplamını ve olası rota arızalarından kaynaklanan rücu eylemlerinin beklenen maliyetini minimuma indirmeyi amaçlamaktadır. Problem çözümü için genetik algoritma tabanlı bir yaklaşım önermişlerdir. Gruler ve ark. (2017), STARP'ın çözümü için Monte-Carlo simülasyon tekniği ve Clarke-Wright tasarruf algoritmasını esas alan bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Uslu ve ark. (2017), stokastik talepli çok depolu ARP için şans kısıtlı bir model geliştirmişlerdir. Model, ayrılabilir programlama yöntemleri ile doğrusallaştırılmış ve modeli test problemleri üzerinde incelemişlerdir. Louveaux ve ark. (2018), müşteri taleplerinin stokastik olduğu ARP'yi önleyici (depoya gitmek, boşaltmak ve planlanan rotayı sürdürmekten oluşur) yardımcı eylemli olarak modellemişlerdir. Çalışmalarında, rotaların toplam beklenen maliyetini en aza indirmek ve rotaları tasarlamak için kesin bir yöntem önermişler ve L-şekilli yöntemeye dayalı bir dal ve kes algoritması ile çözmüşlerdir. Gutierrez ve ark. (2018), STARP'ı yardımcı eylemli stokastik programlama olarak modellemişlerdir. Çalışmadaki örneği çözmek için bir memetic algoritma ve rastgele arama prosedürünü birleştiren hibrit bir meta-sezgisel önermişlerdir. Salavati-Khoshghalb ve ark. (2019) STARP için yeni bir rücu politikası önermişlerdir. Problemin amacı, seyahat maliyetini ve beklenen rücu maliyetini en aza indiren rotaları planlamaktır. Hibrit rücu politikası kapsamında stokastik taleplerle araç rotalama problemini çözmek için Tamsayılı L-şekilli algoritmayı kullanmışlardır. Florio ve ark. (2020), stokastik talepli ve rassal süre kısıtlamaları ile ARP'yi, taleplerin poisson ve negatif binom olasılık dağılımlarından geldiği durumlar için incelemişlerdir. Problemi küme bölümlene problemi olarak formüle etmişler ve bir dal-fiyat algoritması ile çözmüşlerdir. Metropolis ve ark. (1953), Tavlama Benzetimi (TB) algoritmasını ilk olarak kullanmışlardır. Kirkpatrick ve ark. (1983), TB algoritmasını optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanmışlardır. Cerny (1985), kombinatoriyal problemlerde kullanmıştır. Osman (1993), TB algoritmasını ARP'de ilk kez kapasiteli ARP'yi (KARP) çözmek için tabu arama ile hibrit şekilde kullanmıştır. Breedam (1995), klasik bir ARP çözmek için TB'ye dayalı gelişmiş bir sezgisel yöntem geliştirmiştir. Chiang & Russell, (1996), çalışmalarında iki farklı komşuluk yapısının incelendiği ve tavlama işleminin tabu listesi aracılığıyla kısa süreli bellek işlevi ile geliştirildiği zaman pencereli ARP'yi çözmek için TB'yi kullanmışlardır. Tavakkoli-Moghaddam ve ark. (2006), çalışmalarındaki modeli, en yakın komşuluğa dayalı olarak hibrit TB ile çözmüşlerdir. Önerilen model, tüm müşterilere en az araç sayısı ve maksimum kapasite ile hizmet verilecek rotaların oluşturulmasını sağlamıştır. Xiao ve ark. (2012), kapasiteli ARP'yi çözmek için hibrit değişim kuralı ile tavlama benzetimi algoritması geliştirmişlerdir. Wei ve ark. (2018), ARP'yi çözmek için tekrarlanan soğutma ve sıcaklık artışına sahip yeni bir TB geliştirmişlerdir. TB algoritmasının mevcut tüm algoritmalarından daha iyi performans sergilediğini ve çoğu örnek için en iyi bilinen çözümlerle eşleştirdiğini veya iyileştirdiğini iddia etmişlerdir. Rabbouch ve ark. (2020), çalışmalarında TB algoritmasını kapasiteli ve diğer ARP'leri çözmek için TB'nin yeni bir dinamik versiyonunu tanımlamışlardır. Bu algoritma ile yapılan arama sürecinin optimuma daha hızlı ulaşıldığını belirtmişlerdir. İlhan (2020), çalışmasında kapasiteli ARP için TB algoritması kullanmıştır. Algoritmanın değişim, ekleme ve ters çevirme operatörü olmak üzere üç farklı rota geliştirme operatörünü kullanmıştır. Ağayeva & Alpaslan Takan (2020), taleplerinin rassal olduğu durumlar için,

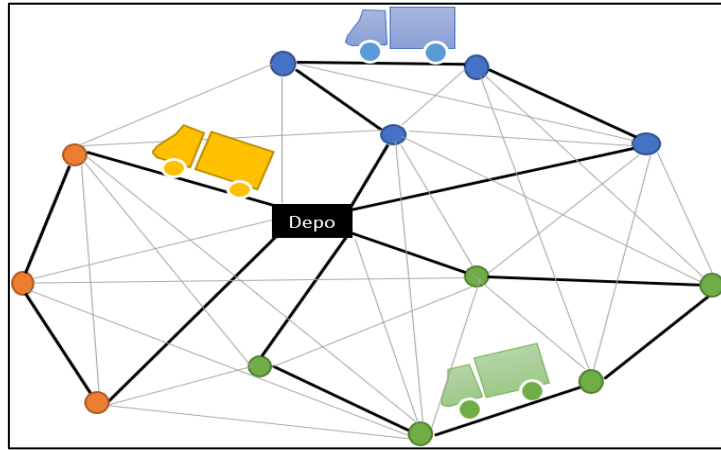
ARP'yi analiz etmişlerdir. Talepleri stokastik olarak değerlendirmişlerdir. Stokastik talep durumlarını incelemek için düzgün, üstel ve poisson dağılımlarını kullanılarak, dağılımların problemin çözümleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.

Yılmaz Yalçiner, (2021), çalışmasında işletmeler için, değişken konum sayısı ve değişken araç sayısı ile oluşan problemler için farklı modeller oluşturarak bu modellere yönelik belirli kısıtlar doğrultusunda minimum mesafeyi elde etmeyi amaçlayan bir optimizasyon modeli sunmuş ve çözüm için TB algoritmasını kullanmıştır.

Bu çalışmada Van ilinde bir fırın (ekmek fabrikası) ve bu fırının 30 müşterisine ait (bakkal-şube) verilerin koordinatları, talepleri ve dağıtım için kullandığı gerçek rota bilgileri kullanılacaktır. Fırının dağıtım için kullandığı araç sayısı koordinatlar ve rota mesafe bilgileri, TB algoritması için bir başlangıç çözümü olarak kullanılacaktır. Bu veri grubunun rotalanması için oluşturulan Matematiksel Model (MM), stokastik talepli şans kısıtlı araç rotalama problemi olarak modellenmiştir. MM'de stokastik talepler, %90, %95 ve %99 oranında taleplerin karşılandığı 3 farklı durum olarak ele alınmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

ARP, bir şebeke (ağ) içerisinde arklardan (yay-yol), köşe (düğüm) noktalarından ve bir depodan oluşan sistemdir. Bu sistem içerisinde ARP'nin amaç fonksiyonlarından olan minimum mesafede rota bulma problemi, depodan başlayıp tekrar depoda sonlanan rotalama için sistemin gösterimi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Araç rotalama probleminin genel şebeke sistemi.

Araç rotalama problemlerinde aşağıdaki unsurlara dikkat edilmelidir.

- Şebekede bulunan tüm müşterilerin talepleri eksiksiz karşılanmalıdır.
- Şebekede bulunan her müşteri noktası sadece bir araç tarafından, talepleri karşılanmak üzere ziyaret edilmelidir.
- Araç rotası depodan başlamalı ve yine depoda son bulmalıdır.
- Rotadaki müşterilerin toplam talepleri aracın toplam kapasitesinden fazla olmamalıdır.
- Her bir araç sadece bir rota üzerinde hizmet vermelidir.
- Rotalamanın esas amacı tüm araçların toplam mesafesinin minimum yapılmasıdır (Tan, 2001).

Bu çalışmada şans kısıtlı stokastik matematiksel modelleme tekniği ele alınacaktır. Şans kısıtlı model eş değeri olan deterministik bir modele dönüştürülerek optimale yakın çözüme ulaşılır. Şans kısıtlı adı kısıtın $1 - \alpha$ minimum olasılığı ile gerçekleşmesinden gelmektedir (Taha, 2017).

2.1. Stokastik talepli şans kısıtlı ARP için matematiksel model

STARP problemi, yönlendirilmemiş $G = (V, E)$ grafi üzerinde tanımlı, $V = \{v_0, \dots, v_n\}$ köşe (müşteriler) kümesi, $E = \{(v_i, v_j): v_i, v_j \in V, i < j\}$ kenar (yaylar) kümesinden oluşmaktadır. Depo v_0 ile temsil edilir ve müşteriler $\{v_1, \dots, v_n\}$ ile temsil edilir. Her $(v_i, v_j) \in E$ kenarın seyahat maliyeti (uzaklık) c_{ij} dir. Depoda her biri C kapasiteli k araç bulunmaktadır. Müşteri taleplerinin aynı şekilde ve bağımsız olarak dağıtıldığı varsayılmaktadır. Her müşterinin μ_i ortalama ve σ_i^2 varyans ile stokastik, bilinen bir olasılık dağılımından (normal dağılım) gelen d_i talebi vardır. İlk etapta planlanan araç rotaları depoda başlayıp depoda bitmelidir. Her bir müşteri tek bir araç ile bir kez ziyaret edilmelidir (Hernandez ve ark., 2019).

STARP için şans kısıtlı modelin kapalı şekli aşağıdaki gibidir (Baykoç & İşleyen, 2007).

$$\text{Min}Z = \sum_k \sum_{i,j} c_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

$$P \left[\sum_{i,j} d_i x_{ijk} \leq C \right] \geq 1 - \alpha, \quad k = 1, \dots, K \quad (2)$$

$$x = \{x_{ijk}\} \in S_k \quad (3)$$

Kapalı modelde Denklem (1) amaç fonksiyonu, toplam kat edilen mesafenin minimize edilmesini sağlamaktadır. Denklem (2) şans kısıtıdır. Burada,

c_{ij} : i düğümünden j düğümüne kadar olan uzaklık,

x_{ijk} : Eğer k aracı i 'den j 'ye gidiyorsa 1, diğer durumda 0'dır.

K : Mevcut araç sayısı,

S_k : K -gezgin satıcı probleminin tüm mümkün çözüm kümeleri,

d_i : i müşterisinin talebini temsil eden rassal değişken, $d_i \sim N(\mu_i, \sigma_i^2)$,

α : Rota kırılması için izin verilen maksimum kırılma olasılığıdır.

C : Araç kapasitesi,

2.2. Stokastik talepli ARP için şans kısıtlı tam sayılı programlama modeli

Şans kısıtlı tamsayı programlamanın amacı, bir rotadaki müşterilerin toplam taleplerinin araç kapasitesi olan C 'yi geçmemesini, belirlenen sınır veya olasılık seviyesi (α) altında kalacak şekilde ($Pr \leq \alpha$) minimum rota uzunluğunu sağlamaktır. Modeldeki stokastik durumu ifade eden taleplerin normal dağılımı sağladığı kabul edilmiştir (Baykoç & İşleyen, 2007).

Talep d_i , $d_i \sim N(\mu_i, \sigma_i)$ iken $X = \sum_{i=1}^{n_k} d_i$, bir rotadaki müşterilerin talepleri toplamı olarak alınır

$$X \sim N \left(\sum \mu_i, \sqrt{\sum \sigma_i^2} \right)$$

$$z = \frac{X - \sum \mu_i}{\sqrt{\sum \sigma_i^2}} \quad (4)$$

dönüşümü ile $z \sim N(0,1)$ olur.

Rotadaki toplam taleplerin araç kapasitesini aşma olasılığı en fazla α olacağından, $P(X > C) \leq \alpha$ yazılabilir.

Gerekli düzenlemeler yapılırsa $1 - P(X \leq C) \leq \alpha$ veya $P(X \leq C) \geq 1 - \alpha$ olur.

Buradan z dönüşümü yapılırsa

$$P\left(z \leq \frac{C - \sum \mu_i}{\sqrt{\sum \sigma^2_i}}\right) \geq 1 - \alpha \quad (5)$$

$$P(z \leq z_{1-\alpha}) = 1 - \alpha \quad (6)$$

$$z_{1-\alpha} \leq \frac{C - \sum \mu_i}{\sqrt{\sum \sigma^2_i}} \quad (7)$$

$$\sum \mu_i + z_{1-\alpha} \sqrt{\sum \sigma^2_i} \leq C \quad (8)$$

Yukarıdaki eşitliğe x_{ijk} , 0-1 değişkeni eklendiğinde sonuç olarak aşağıdaki yeni kapasite kısıtı elde edilir.

$$\sum \mu_i x_{ijk} + z_{1-\alpha} \sqrt{\sum \sigma^2_i x_{ijk}} \leq C, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^N \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^N \mu_j x_{ijk} + z_{1-\alpha} \sum_{j=1}^N \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^N \sqrt{\sigma^2_j x_{ijk}} \leq C, \quad \forall_k \text{ için} \quad (10)$$

Denklem (10) doğrusal olmayan bir kısıttır bunun için Denklem (11)'den yararlanarak yeni doğrusal olan Denklem (12) kısıtını elde edebiliriz (Ağpak & Gökçen, 2007; Baykoç & İşleyen, 2007).

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n a_i^2} \leq \sum_{i=1}^n a_i, \quad a_i \in \mathbb{R}^+ \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^N \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^N \mu_j x_{ijk} + z_{1-\alpha} \sum_{j=1}^N \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^N \sigma_j x_{ijk} \leq C \quad (12)$$

böylece model için doğrusal olmayan kısıt doğrusallaştırılmış olur.

2.3. Stokastik talepli şans kısıtlı ARP için önerilen doğrusal yaklaşım modeli

$$\text{Min}Z = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K c_{ij} x_{ijk} \quad (13)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K x_{ijk} \leq K, \quad i = 0 \text{ depodan çıkışların kontrolü için,} \quad (14)$$

$$\sum_{i \neq j} x_{ijk} - \sum_{j \neq i} x_{jik} = 0, \quad \forall_{j,k} \text{ için} \quad (15)$$

$$\sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K x_{ijk} = 1, \quad i \neq j \text{ ve } i \neq 0, \quad \forall i \text{ için} \quad (16)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{k=1}^K x_{ijk} = 1, \quad j \neq i \text{ ve } j \neq 0 \quad (17)$$

$$\sum_{j=1}^N \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^N \mu_j x_{ijk} + z_{1-\alpha} \sum_{j=1}^N \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^N \sigma_j x_{ijk} \leq C \quad (18)$$

$$U_{ik} - U_{jk} + N * x_{ijk} \leq N - 1, \quad i \neq 0, \quad j \neq 0 \quad (19)$$

$$x_{ijk} = 0 \text{ ya da } 1 \quad (20)$$

U_{ik} : 0'dan büyük keyfi bir sayı $i \neq 0$

Modelde Denklem (13) amaç fonksiyonu toplam mesafeyi minimize etmektedir. Denklem (14) kısıt depodan çıkan araç sayısının en fazla K olması gerektiğini göstermekte. Denklem (15) bir düğümden çıkan ve giren arkların sayılarının eşit olmasını sağlar. Denklem (16) ve Denklem (17) kısıtları bir düğümün yalnızca bir araç tarafından ziyaret edilmesini sağlamaktadırlar. Denklem (18) kısıtı doğrusal yaklaşım ile kapasite kısıtını temsil etmektedir. Denklem (19) kısıt alt tur eleme kısıtlama kümesidir (Wu ve ark., 2002). Denklem (20) karar değişkenleridir.

2.4. Müşteri koordinatları, talepler ve uzaklık matrisleri

Çizelge 1'de fırın ve 30 müşterinin coğrafi koordinatları, müşterilerin 5 günlük gerçek ekmek talepleri ve bu taleplerin ortalama ve varyansları verilmiştir.

Çizelge 2'de fırın ile 30 müşteri arasındaki km cinsinden uzaklık matrisi verilmiştir. Çizelge 3'te 30 müşterinin birbirleri ile olan uzaklıkları km olarak gösterilmektedir. Bu uzaklıklar Google Maps üzerinden karayollarının güncel bilgileri kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 1. Fırın ve 30 Müşterinin konumu, taleplerin ortalama ve varyansı

Müşteri	Enlem	Boylam	Fırının 5 günlük, 30 şubeye ekmek dağıtım miktarı					μ Ortalama	σ^2 Varyans
0	38.501519	43.365744	0	0	0	0	0	0	0
1	38.501839	43.347999	100	130	130	130	120	122	170
2	38.508733	43.343258	50	40	70	35	50	49	180
3	38.511176	43.342136	40	30	25	30	30	31	30
4	38.510165	43.338314	180	210	180	210	185	193	245
5	38.515111	43.331111	50	30	40	20	40	36	130
6	38.515376	43.330300	60	50	70	55	45	56	92.5
7	38.515884	43.327705	50	70	90	100	100	82	470
8	38.518368	43.326611	50	40	30	15	10	29	280
9	38.521300	43.317500	180	205	180	220	230	203	520
10	38.519110	43.314000	60	50	45	45	30	46	117.5
11	38.517785	43.323800	30	35	35	40	40	36	17.5
12	38.514785	43.348711	80	70	70	90	80	78	70
13	38.522201	43.355189	30	40	30	30	30	32	20
14	38.516415	43.358828	30	20	30	15	20	23	45
15	38.512969	43.362555	30	30	35	30	25	30	12.5

Çizelge 1. Fırın ve 30 Müşterinin konumu, taleplerin ortalama ve varyansı (devamı)

Müşteri	Enlem	Boylam	Fırının 5 günlük, 30 şubeye					μ Ortalama	σ^2 Varyans
			ekmek dağıtım miktarı						
16	38.512122	43.356901	35	40	30	30	30	33	20
17	38.510693	43.359911	30	35	30	30	50	35	75
18	38.512306	43.360057	60	70	60	30	35	51	305
19	38.510608	43.363375	40	45	40	70	70	53	245
20	38.511718	43.365779	60	65	70	45	35	55	212.5
21	38.509259	43.370011	145	120	160	150	140	143	220
22	38.510851	43.370779	150	180	150	150	140	154	230
23	38.516485	43.380311	100	130	110	70	100	102	470
24	38.515885	43.377011	40	35	40	25	25	33	57.5
25	38.516893	43.372711	50	45	65	30	90	56	517.5
26	38.513785	43.374600	40	50	50	20	55	43	195
27	38.508343	43.368289	35	40	25	20	50	34	142.5
28	38.501385	43.365300	45	35	45	35	45	41	30
29	38.502168	43.351511	60	50	50	35	50	49	80
30	38.501885	43.349521	55	50	55	45	50	51	17.5

Çizelge 2. Fırın ile 30 müşteri arası uzaklık matrisi

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1.6	2.5	2.8	3.3	4.2	4.3	4.5	4.5	5.5	5.7	5.0	3.5	4.7	4.3	3.2
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2.7	2.9	2.5	3.2	3.6	2.2	2.7	3.0	2.6	3.8	2.3	1.3	0.9	1.3	1.6

Çizelge 4'te % 90 olasılıklı talepler $\alpha = 0.1$, $z_{1-\alpha} = 1.285$ değerleri ile %95 olasılıklı talepler $\alpha = 0.05$, $z_{1-\alpha} = 1.645$ değerleri ile %99 olasılıklı talepler $\alpha = 0.01$, $z_{1-\alpha} = 2.33$ değerleri ile hesaplanmıştır.

Bu çalışmada, müşteri taleplerinin μ_i ortalama ve σ_i^2 varyans ile normal dağılımdan geldiği kabul edilmiştir. Bu kabul esas alınarak her bir veri grubu için 5 günlük taleplerin ortalama ve varyanslarından elde edilen stokastik talep miktarları, modelde belirtilen, standart normal tablo (Z) yardımı ile $\mu_j + z_{1-\alpha} \sigma_j$ ifadesinden hesaplanmış Çizelge 4'te verilmiştir. Burada $z_{1-\alpha}$ değeri, standart normal tablonun sağ tarafında bir üst sınır değeridir.

Çizelge 3. 30 müşteri arası uzaklık matrisi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0	1.1	1.4	1.9	2.8	2.9	3.2	3.6	4.1	4.3	3.6	1.8	3.4	2.5	1.8	2.9	1.5	2.7	1.8	2.3	2.5	2.9	4.3	3.9	3.1	3.6	2.3	1.5	2.1	0.2
2	1.1	0	0.3	0.8	1.7	1.8	2.0	2.0	3.0	3.2	2.5	1.6	3.2	2.7	2.9	3.3	2.4	3.1	2.8	3.3	3.5	3.9	5.1	4.7	4.1	4.6	3.2	2.5	4.0	1.1
3	1.4	0.3	0	0.6	1.5	1.5	1.8	1.8	2.7	2.9	2.2	1.4	3.0	2.4	2.6	3.1	2.5	2.8	2.6	3.0	3.2	3.6	4.9	4.5	3.9	4.2	3.2	2.7	3.3	1.3
4	1.9	0.8	0.6	0	1.2	1.3	1.5	2.1	3.0	3.2	2.5	1.7	3.3	2.7	2.9	3.4	2.8	3.1	2.9	3.3	3.5	3.9	5.2	4.8	4.1	4.5	3.5	3.3	4.8	1.9
5	2.8	1.7	1.5	1.2	0	0.1	0.3	1.0	1.9	2.1	0.7	1.8	3.4	2.8	3.0	3.5	2.9	3.2	3.0	3.4	3.6	4.0	5.3	4.9	4.3	4.6	3.6	4.1	5.7	2.8
6	2.9	1.8	1.5	1.3	0.1	0	0.3	1.0	2.0	2.2	0.7	1.9	3.5	2.9	3.1	3.6	3.0	3.3	3.1	3.5	3.7	4.1	5.4	5.0	4.3	4.7	3.7	4.2	5.8	2.8
7	3.2	2.0	1.8	1.5	0.3	0.3	0	1.3	1.2	1.4	0.4	2.2	3.8	3.2	3.4	3.9	3.3	3.6	3.4	3.8	4.0	4.1	5.7	5.3	4.6	5.0	4.0	4.5	6.1	3.1
8	3.6	2.0	1.8	2.1	1.0	1.0	1.3	0	1.0	1.1	0.5	2.7	4.7	3.7	3.9	4.4	3.8	4.1	3.9	4.3	4.5	4.6	6.2	5.8	5.2	5.5	4.5	5.0	6.6	3.6
9	4.1	3.0	2.7	3.0	1.9	2.0	1.2	1.0	0	0.7	0.8	3.0	4.6	4.0	4.2	4.7	4.1	4.5	4.2	4.7	4.6	5.0	6.5	6.1	5.5	5.9	4.9	5.4	6.9	4.0
10	4.3	3.2	2.9	3.2	2.1	2.2	1.4	1.1	0.7	0	0.1	3.2	5.0	4.3	4.4	4.9	4.3	4.7	4.4	4.9	5.1	5.2	6.7	6.3	5.7	6.1	5.1	5.6	7.1	4.2
11	3.6	2.5	2.2	2.5	0.7	0.7	0.4	0.5	0.8	0.1	0	2.5	4.2	3.6	3.8	4.2	3.6	4.0	3.7	4.2	4.4	4.5	6.0	5.6	5.0	5.4	4.4	4.9	6.4	3.5
12	1.8	1.6	1.4	1.7	1.8	1.9	2.2	2.7	3.0	3.2	2.5	0	1.6	1.2	1.4	2.2	1.3	2.0	1.4	1.9	2.0	2.1	3.7	3.3	2.7	3.1	2.1	3.1	4.6	1.7
13	3.4	3.2	3.0	3.3	3.4	3.5	3.8	4.7	4.6	5.0	4.2	1.6	0	1.3	2.1	2.7	2.4	2.4	2.5	2.3	3.2	2.5	3.2	2.6	2.0	2.5	3.2	4.9	5.4	3.5
14	2.5	2.7	2.4	2.7	2.8	2.9	3.2	3.7	4.0	4.3	3.6	1.2	1.3	0	0.7	1.3	1.0	1.0	1.1	1.2	1.8	1.5	2.9	2.3	1.7	2.2	1.8	3.9	4.0	2.5
15	1.8	2.9	2.6	2.9	3.0	3.1	3.4	3.9	4.2	4.4	3.8	1.4	2.1	0.7	0	0.6	0.4	0.4	0.5	0.8	1.1	1.1	2.5	2.3	1.3	2.1	1.1	3.2	3.3	1.8
16	2.9	3.3	3.1	3.4	3.5	3.6	3.9	4.4	4.7	4.9	4.2	2.2	2.7	1.3	0.6	0	1.0	1.0	1.1	1.5	1.8	1.8	3.4	3.0	2.0	2.8	1.8	3.7	5.3	2.3
17	1.5	2.4	2.5	2.8	2.9	3.0	3.3	3.8	4.1	4.3	3.6	1.3	2.4	1.0	0.4	1.0	0	1.3	0.4	0.8	1.0	1.1	2.6	2.2	1.6	2.0	1.0	2.9	2.5	1.5
18	2.7	3.1	2.8	3.1	3.2	3.3	3.6	4.1	4.5	4.7	4.0	2.0	2.4	1.0	0.4	1.0	1.3	0	1.5	1.9	2.1	2.2	3.8	3.4	2.4	3.1	2.1	4.1	5.6	2.7
19	1.8	2.8	2.6	2.9	3.0	3.1	3.4	3.9	4.2	4.4	3.7	1.4	2.5	1.1	0.5	1.1	0.4	1.5	0	0.5	0.7	0.8	2.3	1.9	2.0	1.7	0.7	2.1	2.8	1.9
20	2.3	3.3	3.0	3.3	3.4	3.5	3.8	4.3	4.7	4.9	4.2	1.9	2.3	1.2	0.8	1.5	0.8	1.9	0.5	0	0.8	0.6	2.5	2.1	1.4	1.8	0.9	2.3	3.0	2.3
21	2.5	3.5	3.2	3.5	3.6	3.7	4.0	4.5	4.6	5.1	4.4	2.0	3.2	1.8	1.1	1.8	1.0	2.1	0.7	0.8	0	0.5	1.7	1.3	1.4	1.1	0.5	1.5	2.2	2.1
22	2.9	3.9	3.6	3.9	4.0	4.1	4.1	4.6	5.0	5.2	4.5	2.1	2.5	1.5	1.1	1.8	1.1	2.2	0.8	0.6	0.5	0	1.4	1.0	1.2	0.8	0.9	1.7	2.4	2.5
23	4.3	5.1	4.9	5.2	5.3	5.4	5.7	6.2	6.5	6.7	6.0	3.7	3.2	2.9	2.5	3.4	2.6	3.8	2.3	2.5	1.7	1.4	0	0.5	1.0	1.0	2.2	2.9	4.0	4.3
24	3.9	4.7	4.5	4.8	4.9	5.0	5.3	5.8	6.1	6.3	5.6	3.3	2.6	2.3	2.3	3.0	2.2	3.4	1.9	2.1	1.3	1.0	0.5	0	0.6	0.5	1.7	2.4	3.5	3.9
25	3.1	4.1	3.9	4.1	4.3	4.3	4.6	5.2	5.5	5.7	5.0	2.7	2.0	1.7	1.3	2.0	1.6	2.4	2.0	1.4	1.4	1.2	1.0	0.6	0	0.8	2.0	4.5	3.9	3.1
26	3.6	4.6	4.2	4.5	4.6	4.7	5.0	5.5	5.9	6.1	5.4	3.1	2.5	2.2	2.1	2.8	2.0	3.1	1.7	1.8	1.1	0.8	1.0	0.5	0.8	0	2.6	4.7	3.8	3.3
27	2.3	3.2	3.2	3.5	3.6	3.7	4.0	4.5	4.9	5.1	4.4	2.1	3.2	1.8	1.1	1.8	1.0	2.1	0.7	0.9	0.5	0.9	2.2	1.7	2.0	2.6	0	1.2	2.0	2.3
28	1.5	2.5	2.7	3.3	4.1	4.2	4.5	5.0	5.4	5.6	4.9	3.1	4.9	3.9	3.2	3.7	2.9	4.1	2.1	2.3	1.5	1.7	2.9	2.4	4.5	4.7	1.2	0	1.6	1.9
29	2.1	4.0	3.3	4.8	5.7	5.8	6.1	6.6	6.9	7.1	6.4	4.6	5.4	4.0	3.3	5.3	2.5	5.6	2.8	3.0	2.2	2.4	4.0	3.5	3.9	3.8	2.0	1.6	0	0.4
30	0.2	1.1	1.3	1.9	2.8	2.8	3.1	3.6	4.0	4.2	3.5	1.7	3.5	2.5	1.8	2.3	1.5	2.7	1.9	2.3	2.1	2.5	4.3	3.9	3.1	3.3	2.3	1.9	0.4	0

Çizelge 4. %90, %95, %99 olasılıklı müşteri talepleri

Müşteriler (Market)	%90	%95	%99
1	139	143	152
2	66	71	81
3	38	40	44
4	213	219	229
5	51	55	63
6	68	72	78
7	110	118	133
8	51	57	68
9	232	241	256
10	60	64	71
11	41	43	46
12	89	92	97
13	38	39	42
14	32	34	39
15	35	36	38
16	39	40	43
17	46	49	55
18	73	80	92
19	73	79	89
20	74	79	89
21	162	167	178
22	173	179	189
23	130	138	153
24	43	45	51
25	85	93	109
26	61	66	76
27	49	54	62
28	48	50	54
29	60	64	70
30	56	58	61
Toplam	2 435	2 565	2 808

2.5. Tavlama benzetimi algoritması

İlk kez 1953'te Metropolis tarafından geliştirilmiş olan Tavlama benzetimi (TB) algoritması, bir denge durumuna (donma durumu) yakınsayınca kadar, soğutma işlemi uygulanan bir sistemdeki enerji değişikliklerini simüle eden stokastik arama algoritmasıdır (Metropolis, 1953). TB katıların ısıtıldıktan sonra kristalleşmeye kadar geçen sürede yavaşça soğutulmasından ilham alınarak geliştirilen genellikle kombinatoryal optimizasyon problemleri için kullanılan olasılık tabanlı bir optimizasyon algoritmasıdır (Kirkpatrick ve ark., 1983).

TB algoritmasında çözüm alanının taranması ile her turda bir öncekinden daha iyi bir çözümün seçilmesi için kullanılmaktadır. Bu benzetime göre sıcaklık değeri, bulunan en iyi çözümden daha kötü çözümlerin kabul edilme olasılığını belirlemek için kullanılır. Uygulama problemlerinde TB algoritması mevcut çözümde, çözüm maliyetinde artışa yol açan değişikliğin bir olasılıkla kabul edildiği rastgele bir yerel arama yöntemi olarak tanımlanmaktadır.

Algoritma yeterince yüksek bir sıcaklık değeri ile başlatılır ve her bir adımda sıcaklık düşürülmeden önce belli sayıda çözüm elde edilir. Yeni çözümler belirlenen kriterlere göre ya kabul edilir veya reddiler. Azalan her sıcaklık, elde edilen çözümün bırakılıp yeni bir çözüme geçme olasılığının azalmasına etki eder. Sıcaklık en düşük değere ulaştığında veya TB algoritması istenen tekrar sayısı kadar çalıştığında algoritma sonlandırılır (Kalkancı, 2014).

Kombinatoriyal optimizasyon bağlamında, bir çözüm, fiziksel sistemin belirli durumuna ve çözüm maliyet değeri ise sistemin enerjisine karşılık gelir. Her yinelemede, mevcut çözüm, belirli bir dönüşüm sınıfından (çözümlerin komşularını tanımlayan) rastgele bir hareket seçilerek değiştirilir. Yeni çözüm bir iyileştirme sağlarsa, otomatik olarak kabul edilir ve yeni mevcut çözüm olarak kabul edilir. Aksi takdirde yeni çözüm,

$$P = e^{\left(-\frac{\Delta}{kT}\right)} \quad (21)$$

Denklem (21)'deki Metropolis olasılık kriterine göre kabul edilir. Burada; Δ , Amaç (Enerji) fonksiyonundaki değişim, T , Sıcaklık parametresi, k , Boltzmann sabitini göstermektedir.

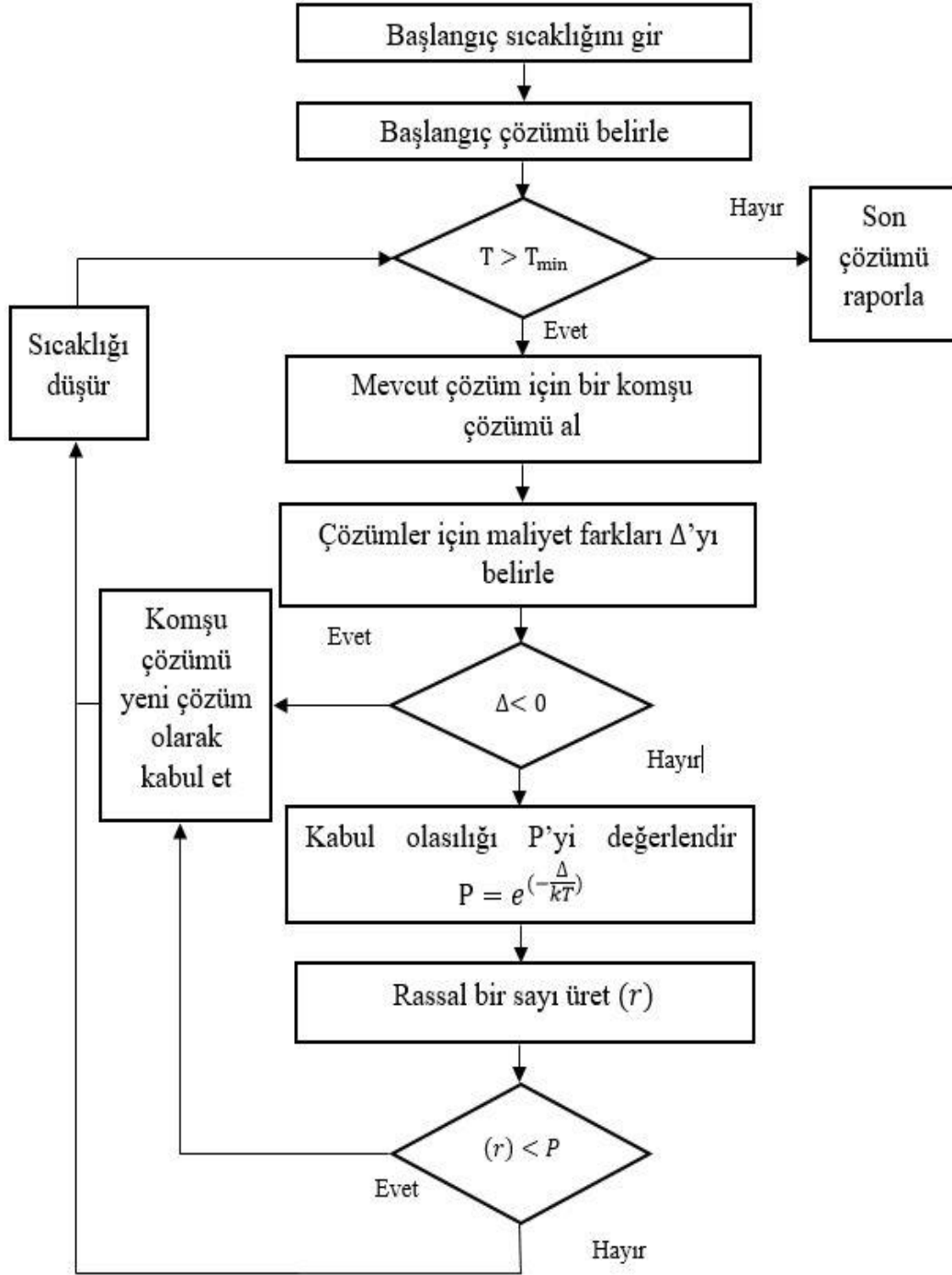
Belirtilen kritere dayanarak, sıcaklık yüksek ve maliyet artışı düşük olan bir hareketin kabul edilmesi daha olası bir durum gibi görünmektedir. Sıcaklık parametresi, önceden tanımlanmış bazı soğutma programına göre kademeli olarak düşürülerek, her sıcaklık seviyesinde belirli sayıda iterasyon gerçekleştirilir. Sıcaklığın yeterince düşük değerlerinde yalnızca iyileştirme hareketleri kabul edilir ve süreç yerel bir optimumda durur. Çoğu meta-sezgiselin aksine, bu yöntem global optimuma asimptotik olarak yakınsar (sonsuz sayıda yineleme varsayılırsa) (Gendreau & Potvin, 2005).

TB algoritmasının amacı; tüm olası çözüm noktalarının (S) alt kümesinde tanımlanmış bir $f(x)$ fonksiyonunu optimum yapacak bir x çözümü bulmaktır. TB algoritması rastgele seçilen bir başlangıç çözümü ile aramaya başlar. Sonra uygun bir yöntem ile bu çözüme komşu bir çözüm seçer ve $f(x)$ 'de meydana gelen değişimi hesaplar. Eğer değişim istenen doğrultuda ise komşu çözümü mevcut çözüm olarak alır. Eğer istenilen yönde bir değişim gerçekleşmemişse, TB algoritması çözümü Metropolis olasılık kriterine göre kabul eder. Amaç fonksiyonunda aksi yönde bir değişim yaratan çözümün belli olasılık değeri ile kabulü, TB algoritmasının yerel optimum noktalardan kurtulmasını sağlamaktadır. Denklem (21) olasılık değerine göre T sıcaklık değeri yüksek olduğunda amaç fonksiyonunda meydana gelen artışların birçoğu kabul edilecektir. T sıcaklık değeri azaldıkça kabul edilme miktarı da azalacaktır. Bu sebeple TB algoritmasında yerel noktalara takılmamak için başlangıç sıcaklık değeri yeterli derecede yüksek seçilerek kademeli olarak azaltılmalıdır (Güden ve ark., 2005).

Herhangi bir optimizasyon probleminin çözümünde TB algoritmasını kullanabilmek için bazı parametrelerinin önceden belirlenmesi gerekir. Bu parametreler: Başlangıç sıcaklığı (T_0), kötü çözümlerin kabul olasılığını kontrol için kullanılır. Her sıcaklıktaki gerekli yineleme sayısı (Maxitpermtemp); her sıcaklıkta üretilen mümkün çözümlerin sayısıdır. Soğutma fonksiyonu ($T=0.89T$); bir önceki yinelemedeki sıcaklığı esas alarak mevcut yinelemedeki sıcaklığı belirler. (Güner & Altıparmak, 2003).

İterasyon sayısı (Maxit); iterasyon sayısı tamamlandığında algoritma durdurulacaktır. η ; Araç çalışma (mesafe) dengesini sağlayan katsayı. β ; Kapasite hatasını azaltan katsayı. Önerdiğimiz TB algoritmasında tur içinde veya turlar arasında rassal olarak değişim (swap) yapısı her bir iterasyon için uygulanmıştır.

TB için yukarıda anlatılan iteratif işlem algoritması Şekil 2.'de gösterilmektedir (Gülsün ve ark., 2008).



Şekil 2. Tavlama benzetimi algoritması akış diyagramı.

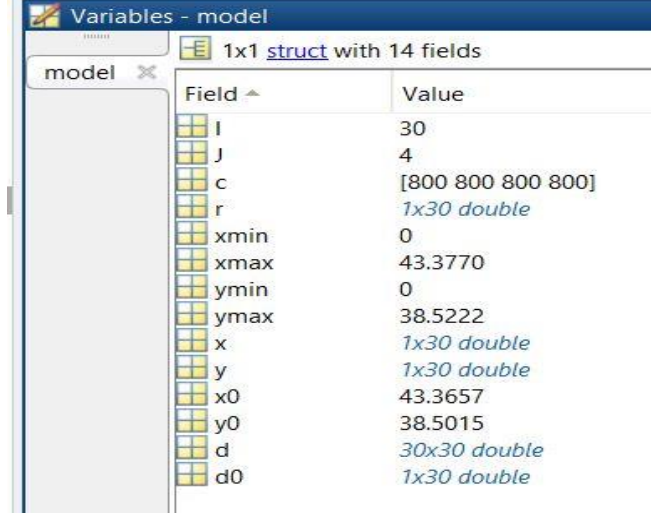
3. Bulgular

3.1. TB Algoritmasının çalıştırılması ve fırın verileri ile karşılaştırılması

Matlab'da TB Algoritması ile fırının ve müşterilerinin coğrafi koordinatları, araç sayısı, araç kapasiteleri, müşteriler arası uzaklık, müşteriler ile fırın arasındaki uzaklık matrisleri ve stokastik taleplerden model oluşturulmuştur. Bu modelin TB'de çalıştırılması ile elde edilen rotalama sonuçlarının fırın rotalamaları ile karşılaştırılmaları verilmiştir.

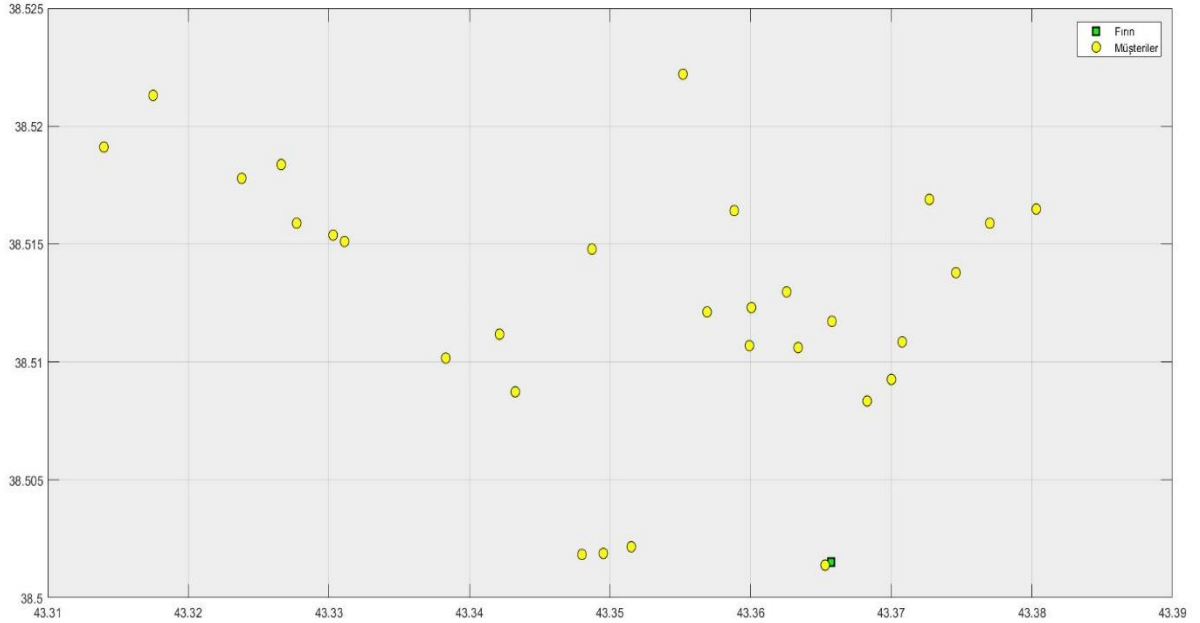
Şekil 3'te I müşteri sayısını, j araç sayısını, c araç kapasitelerini, r 30 müşteri için stokastik talepler, x ve y müşteri koordinatlarını, x0 ve y0 fırın koordinatını, d müşteriler arası uzaklık matrisi d0 fırın ile müşteriler arası uzaklık matrisi olarak gösterilmektedirler.

Şekil 4'te Fırın ve 30 şubenin coğrafi olarak yerleşimi algoritmanın çalıştırılması ile oluşturulmuştur.



Field	Value
I	30
J	4
c	[800 800 800 800]
r	1x30 double
xmin	0
xmax	43.3770
ymin	0
ymax	38.5222
x	1x30 double
y	1x30 double
x0	43.3657
y0	38.5015
d	30x30 double
d0	1x30 double

Şekil 3. Matlab'da oluşturulan model değişkenleri.



Şekil 4. Fırın ve 30 müşterinin coğrafi olarak yerleşimi.

Algoritmanın stokastik talepli rotalama sonuçlarını fırın rotaları ile karşılaştırmak için % 90, % 95 ve %99 üç farklı olasılıkta incelenmiştir. Taleplerin karşılandığı rotalama sonuçları çizelgelerde karşılaştırılmıştır. Matlab'da TB'den elde edilen optimal sonuçların rota çizimleri şekillerde verilmiştir.

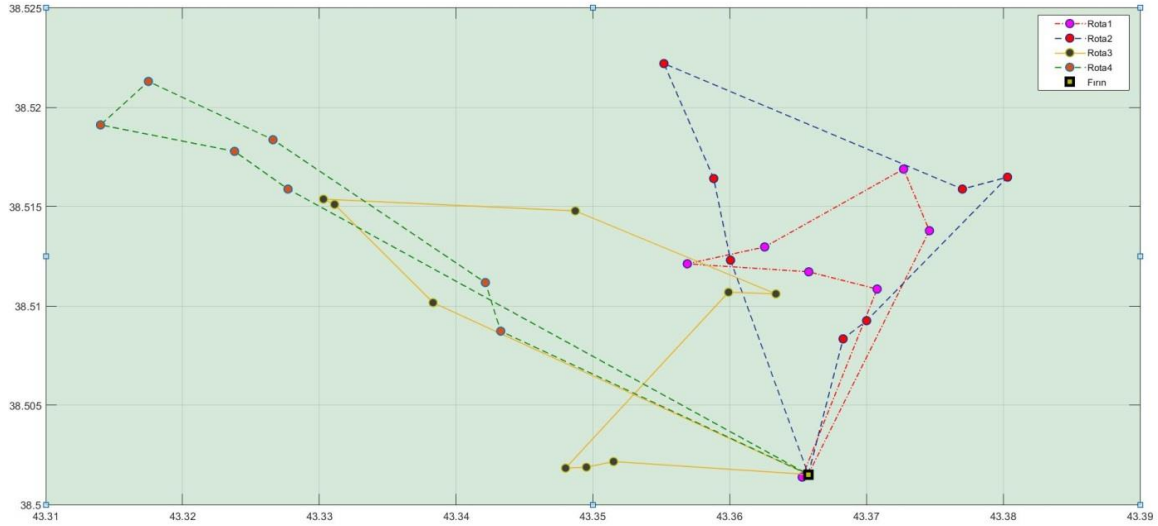
Çizelge 5 %90 olasılık ile 2435 talep ekmeğinin karşılandığı rotalama sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlara göre fırına ait 4 aracın izlediği toplam 48.6 km rota mesafesi ile TB den elde edilen toplam 44.1 km rota mesafesi arasında 4.5 km bulunmaktadır. Bu olasılıklı taleplerin karşılanması ve optimal rotalama mesafesinin bulunması için algoritmada $T_0:600$, Maxitpermtmp:80, $T=0.89T$, Maxit;800, $Eta(\eta);0.4$, $Beta(\beta); 5$ olarak alınmıştır.

Çizelge 5. %90 olasılık ile taleplerin karşılandığı rotalama sonuçları

Yöntem	Rotalar	Rota mesafesi	Rota talebi	Toplam mesafe
Fırın	R1 : 0-1-2-3-4-5-6-7-0	9.7	685	48.6
	R2 : 0-8-9-10-11-12-13-14-15-0	15.6	578	
	R3 : 0-16-17-18-19-20-21-22-0	11	640	
	R4 : 0-23-24-25-26-27-28-29-30-0	12.3	532	
TB Algoritması	R1 : 0-26-25-15-16-20-22-28-0	9.7	515	44.1
	R2 : 0-27-21-23-24-13-14-18-0	11.4	527	
	R3 : 0-29-30-1-17-19-12-6-5-4-0	11.7	795	
	R4 : 0-2-3-8-9-10-11-7-0	11.3	598	

Şekil 5. %90 taleplerin karşılandığı TB den elde edilen en iyi sonucun rota çizimini göstermektedir.

Çizelge 6. %95 olasılık ile 2565 talep ekmeğın karşılandığı rotalama sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlara göre fırının izlediği toplam 48.6 km rota mesafesi ile TB den elde edilen toplam 46.1 km rota mesafesi arasında 2.5 km bulunmaktadır. Bu olasılıklı taleplerin karşılanması ve optimal rotalama mesafesinin bulunması için algoritmada $T_0:800$, $Maxitpermtmp:80$, $T=0.89T$, $Maxit;1000$, $Eta(\eta);0.1$, $Beta(\beta); 10$ olarak alınmıştır



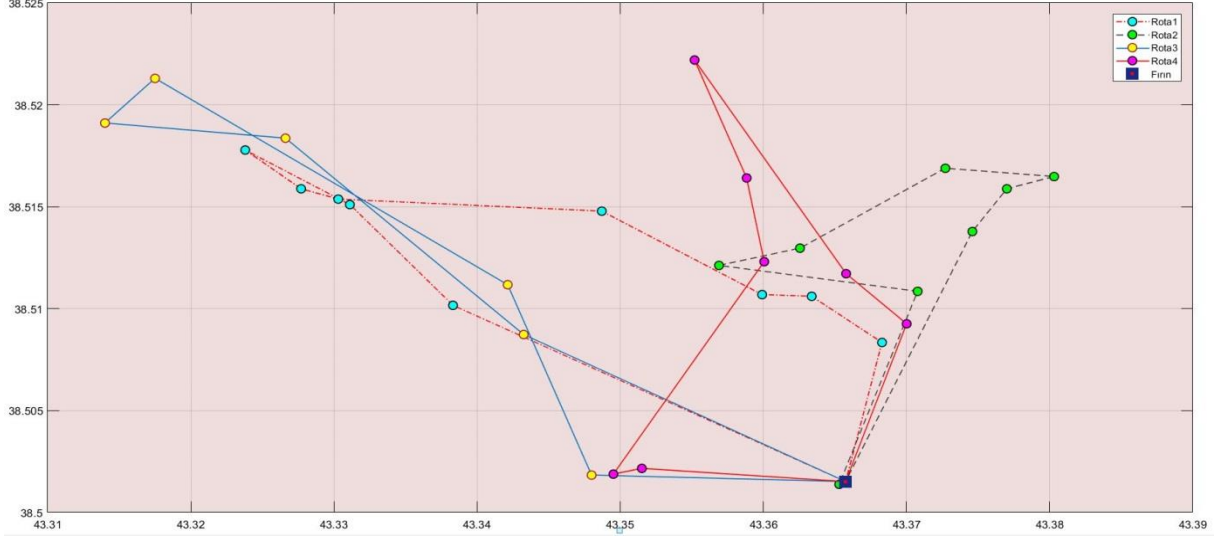
Şekil 5. 30 müşteri 4 araç ile %90 taleplerin karşılandığı TB rota çizimi.

Çizelge 6. %95 olasılık ile taleplerin karşılandığı rotalama sonuçları

Yöntem	Rotalar	Rota mesafesi	Rota talebi	Toplam mesafe
Fırın	R1 : 0-1-2-3-4-5-6-7-0	9.7	718	48.6
	R2 : 0-8-9-10-11-12-13-14-15-0	15.6	606	
	R3 : 0-16-17-18-19-20-21-22-0	11	673	
	R4 : 0-23-24-25-26-27-28-29-30-0	12.3	568	
TB Algoritması	R1 : 0-4-5-11-7-6-12-17-19-27-0	781	11.5	46.1
	R2 : 0-28-22-16-15-25-23-24-26-0	647	10.6	
	R3 : 0-1-3-9-10-8-2-0	616	12	
	R4 : 0-21-20-13-14-18-30-29-0	521	12	

Şekil 6. %95 taleplerin karşılandığı TB den elde edilen en iyi sonucun rota çizimini göstermektedir.

Çizelge 7’de %99 olasılık ile 2808 talep ekmeğin karşılandığı rotalama sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlara göre fırının izlediği toplam 48.6 km rota mesafesi ile TB den elde edilen toplam 43.1 km rota mesafesi arasında 5.5 km bulunmaktadır. Bu olasılıklı taleplerin karşılanması ve optimal rotalama mesafesinin bulunması için algoritmada $T_0:800$, Maxitpermtemp:90, $T=0.80T$, Maxit;1200, $Eta(\eta);0.1$, Beta(β); 5 olarak alınmıştır



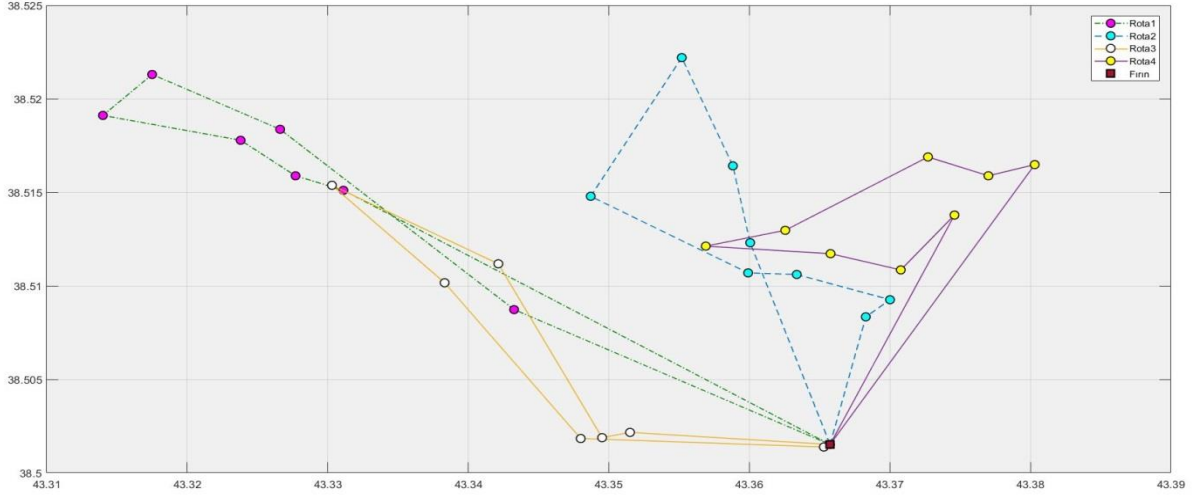
Şekil 6. 30 müşteri 4 araç ile %95 taleplerin karşılandığı TB rota çizimi.

Çizelge 7. %99 olasılık ile taleplerin karşılandığı rotalama sonuçları

Yöntem	Rotalar	Rota mesafesi	Rota talebi	Toplam mesafe
Fırın	R1 : 0-1-2-3-4-5-6-7-0	9.7	780	48.6
	R2 : 0-8-9-10-11-12-13-14-15-0	15.6	657	
	R3 : 0-16-17-18-19-20-21-22-0	11	735	
	R4 : 0-23-24-25-26-27-28-29-30-0	12.3	636	
TB Algoritması	R1 : 0-2-8-9-10-11-7-5-0	11.2	718	43.1
	R2 : 0-27-21-19-17-12-13-14-18-0	10.6	654	
	R3 : 0-29-30-3-6-4-1-28-0	10.1	688	
	R4 : 0-23-24-25-15-16-20-22-26-0	11.2	748	

Şekil 7 %99 taleplerin karşılandığı Matlab’da TB den elde edilen en iyi sonucun rota çizimini göstermektedir.

Tüm sonuçlar incelendiğinde her olasılıkta TB ile elde edilen toplam rotalama mesafeleri fırının izlediği toplam rota mesafelerinden daha kısa mesafede rotayı tamamladığını göstermiştir. %90 olasılık ile taleplerin karşılandığı rotada 4.5 km daha kısa mesafe ve % 9.25 oranında kazanç sağlanmıştır. %95 ile toplamda 2.5 km daha kısa mesafe ve %5.14 oranında kazanç elde edilmiştir. %99 olasılıklı taleplerin karşılanmasındaki rotalamada 5.5 km kısa mesafe %11.31 oranında kazanç olduğu gösterilmiştir. Algoritmadan elde edilen stokastik sonuçların farklı olmasının nedeni her olasılıktaki talep farklılığından kaynaklanmaktadır. TB her olasılık için en az 50 kez çalıştırılmış ve karşılaştırma için en iyi sonuçlar alınmıştır.



Şekil 7. 30 müşteri 4 araç ile %99 taleplerin karşılandığı TB rota çizimi.

Çizelge 8. toplam mesafelerin karşılaştırılması

Stokastik talep yüzdesi	Fırının toplam mesafesi	TB ile elde edilen toplam mesafe	Fırın ile Algoritma arası fark	Mesafe kazanç oranı	Algoritma (TB) hesaplama süresi (s)
%90	48.6	44.1	4.5	%9.25	30.81
%95	48.6	46.1	2.5	%5.14	36.21
%99	48.6	43.1	5.5	%11.31	33.09

4. Tartışma ve Sonuç

Stokastik talepli araç rotalama problemi müşteri taleplerinin bilinen bir olasılık dağılımından geldiği problemlerdendir. Matematiksel modeli oluşturulan stokastik talepli ARP için taleplerin normal dağılımdan geldiği kabul edilmiştir. Bu çalışmada stokastik talepler %90, %95 ve %99 olasılıkla taleplerin karşılandığı üç farklı rotalama sonuçlarına göre reel verileri bilinen fırının rotalama sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Matlab’da Tavlama benzetimi meta sezgisel algoritması ile elde edilen toplam rota mesafeleri her olasılıkta fırının kendi rota mesafelerinden toplamda daha kısa mesafeler vermiştir. TB algoritması reel veriler ile oluşturulan bir modelin optimumuna yakın problem çözümleri, rotaları bilinen bir reel veri kümesinden her olasılıkta daha iyi sonuçlara ulaşabileceği gösterilmiştir. Rota maliyetlerinden kazanç elde edildiği sonucu ortaya konulmaktadır.

Bu çalışmada, yapılan uygulamadan elde edilen sonuçlar araştırmacı ve uygulayıcılara gerçek hayat problemlerinin çözümünde değerlendirebilecekleri özgün bir yaklaşım sunmaktadır. Oluşturulan stokastik gerçek hayat problemi ve çözüm için kullanılan yöntem literatüre katkı sağlamaktadır. Daha sonraki çalışmalarda farklı yöntemler (Genetik Algoritma, Tabu Arama, Karınca Kolonisi) kullanılarak farklı çalışmalar geliştirilebilir. Elde edilen sonuçlar bu çalışmanın sonuçları ile kıyaslanabilir. Ayrıca firmalara özgü farklı problemlere göre ARP modeli tasarlanarak çeşitli sonuçlar elde edilebilir.

Teşekkür

Bu çalışmada verilerin toplanması aşamasında her türlü bilgiyi paylaşan Van Sarmaşık ekmek fabrikası yöneticisi Adnan Dağaynası’na teşekkür ederim.

Kaynakça

- Ağayeva, Ç., & Alpaslan Takan, M. (2020). Stokastik talepli kapasite kısıtlı araç rotalama problemine yönelik karşılaştırmalı bir yaklaşım. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 971-979. doi:10.35193/bseufbd.722677
- Ağpak, K., & Gökçen, H. (2007). A chance-constraint approach to stochastic line balancing problem. *European Journal of Operational Research*, 180(3), 1098-1115. doi:10.1016/j.ejor.2006.04.042
- Baykoç, Ö. F., & İşleyen, S. K. (2007). Stokastik talepli araç rotalama problemi için şans kısıtı yaklaşımı. *Teknoloji*, 10(1), 31-39.
- Bertsimas, D. J. (1992). A vehicle routing problem with stochastic demand. *Operations Research*, 40(3), 574-585. doi:10.1287/opre.40.3.574
- Breedam, A. V. (1995). Improvement heuristics for the vehicle routing problem based on simulated annealing. *European Journal of Operational Research*, 86(3), 480-490. doi:10.1016/0377-2217(94)00064-J
- Cerny, V. (1985). Thermodynamical approach to the traveling salesman problem: An efficient simulation algorithm. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 45(1), 41-51. doi:10.1007/bf00940812
- Chiang, W. C., & Russell, R. A. (1996). Simulated annealing metaheuristics for the vehicle routing problem with time windows. *Annals of Operations Research*, 63(1), 3-27. doi:10.1007/BF02601637
- Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*, 12(4), 568-581. doi:10.1287/opre.12.4.568
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management Science*, 6(1), 80-91. doi:10.1287/mnsc.6.1.80
- Florio, A. M., Hartl, R. F., Minner, S., & Salazar-González, J. J. (2020). A branch-and-price algorithm for the vehicle routing problem with stochastic demands and probabilistic duration constraints. *Transportation Science*, 55(1), 122-138. doi:10.1287/trsc.2020.1002
- Garey M. R., & Johnson D. S. (1979). *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness*. New York, NY, USA: WH Freeman & Co.
- Gendreau, M., Laporte, G., & Séguin, R. (1995). An exact algorithm for the vehicle routing problem with stochastic demands and customers. *Transportation Science*, 29(2), 143-155. doi:10.1287/trsc.29.2.143
- Gendreau, M., Laporte, G., & Séguin, R. (1996). Stochastic vehicle routing. *European Journal of Operational Research*, 88(1), 3-12. doi:10.1016/0377-2217(95)00050-X
- Gendreau, M., & Potvin, J. Y. (2005). Metaheuristics in combinatorial optimization. *Annals of Operations Research*, 140(1), 189-213. doi:10.1007/s10479-005-3971-7
- Goodson, J. C. (2015). A priori policy evaluation and cyclic-order-based simulated annealing for the multi-compartment vehicle routing problem with stochastic demands. *European Journal of Operational Research*, 241(2), 361-369. doi:10.1016/j.ejor.2014.09.031
- Gruler, A., Juan, A. A., Klüter, A., & Rabe, M. (2017). A simulation-optimization approach for the two-echelon location routing problem arising in the creation of urban consolidation centres. *Simulation in Produktion and Logistik 2017*, 129-138.
- Gutierrez, A., Dieulle, L., Labadie, N., & Velasco, N. (2018). A hybrid metaheuristic algorithm for the vehicle routing problem with stochastic demands. *Computers & Operations Research*, 99, 135-147. doi:10.1016/j.cor.2018.06.012
- Güden, H., Vakvak, B., Özkan, B. E., Altıparmak, F., & Dengiz, B. (2005). Genel amaçlı arama algoritmaları ile benzetim eniyilemesi: En iyi kanban sayısının bulunması. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 16(1), 2-15.
- Gülsün, B., Tuzkaya, G., & Bildik, E. (2008). Reverse logistics network design: A simulated annealing approach. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 26(1), 68-80.
- Güner, E., & Altıparmak, F. (2003). İki ölçütlü tek makinalı çizelgeleme problemi için sezgisel bir yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18(3), 27-42.
- Hernandez, F., Gendreau, M., Jabali, O., & Rei, W. (2019). A local branching metaheuristic for the multi-vehicle routing problem with stochastic demands. *Journal of Heuristics*, 25(2), 215-245. doi:10.1007/s10732-018-9392-y

- Hu, T. Y., Liao, T. Y., & Lu, Y. C. (2003). Study of solution approach for dynamic vehicle routing problems with real-time information. *Transportation Research Record*, 1857(1), 102-108. doi:10.3141/1857-12
- İlhan, İ. (2020). A population based simulated annealing algorithm for capacitated vehicle routing problem. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 28(3), 1217-1235. doi:10.3906/elk-1902-122
- Ismail, Z., & Irhamah, I. (2008). Solving the vehicle routing problem with stochastic demands via hybrid genetic algorithm- tabu search. *Journal of Mathematics and Statistics*, 4(3), 161-167.
- Jabali, O., Rei, W., Gendreau, M., & Laporte, G. (2014). Partial-route inequalities for the multi-vehicle routing problem with stochastic demands. *Discrete Applied Mathematics*, 177, 121-136. doi:10.1016/j.dam.2014.05.040
- Kalkancı, Ç. (2014). *Organization of emergency response teams in combating winter conditions in natural disaster management*. (PhD), Istanbul University, Institute of Science and Technology Istanbul, Turkey.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., & Vecchi, M. P. (1983). Optimization by simulated annealing. *Science*, 220(4598), 671-680. doi:10.1126/science.220.4598.671
- Kumar, S. N., & Panneerselvam, R. (2012). A survey on the vehicle routing problem and its variants. *Intelligent Information Management*, 4(3), 66-74. doi:10.4236/iim.2012.43010
- Laporte, G., Louveaux, F. V., & Van Hamme, L. (2002). An integer L-shaped algorithm for the capacitated vehicle routing problem with stochastic demands. *Operations Research*, 50(3), 415-423. doi:10.1287/opre.50.3.415.7751
- Louveaux, F. V., & Salazar-González, J. J. (2018). Exact approach for the vehicle routing problem with stochastic demands and preventive returns. *Transportation Science*, 52(6), 1463-1478. doi:10.1287/trsc.2017.0780
- Marinakis, Y., Iordanidou, G. R., & Marinaki, M. (2013). Particle swarm optimization for the vehicle routing problem with stochastic demands. *Applied Soft Computing*, 13(4), 1693-1704. doi:10.1016/j.asoc.2013.01.007
- Mendoza, J. E., Castanier, B., Guéret, C., Medaglia, A. L., & Velasco, N. (2010). A memetic algorithm for the multi-compartment vehicle routing problem with stochastic demands. *Computers & Operations Research*, 37(11), 1886-1898. doi:10.1016/j.cor.2009.06.015
- Metropolis, N., Rosenbluth, A. W., Rosenbluth, M. N., Teller, A. H., & Teller, E. (1953). Equation of state calculations by fast computing machines. *The Journal of Chemical Physics*, 21(6), 1087-1092. doi:10.1063/1.1699114
- Novoa, C., & Storer, R. (2009). An approximate dynamic programming approach for the vehicle routing problem with stochastic demands. *European Journal of Operational Research*, 196(2), 509-515. doi:10.1016/j.ejor.2008.03.023
- Osman, I. H. (1993). Metastrategy simulated annealing and tabu search algorithms for the vehicle routing problem. *Annals of Operations Research*, 41, 421-451. doi:10.1007/BF02023004
- Rabbouch, B., Saadaoui, F., & Mraihi, R. (2020). Empirical-type simulated annealing for solving the capacitated vehicle routing problem. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, 32(3), 437-452. doi:10.1080/0952813X.2019.1652356
- Salavati-Khoshghalb, M., Gendreau, M., Jabali, O., & Rei, W. (2019). A hybrid recourse policy for the vehicle routing problem with stochastic demands. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 8(3), 269-298. doi:10.1007/s13676-018-0126-y
- Taha, H.A. (2017). *Yöneylem Araştırması*. Literatür Yayıncılık, 43, İstanbul. 910.
- Tan, K. C. (2001). A framework of supply chain management literature. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 7(1), 39-48. doi:10.1016/S0969-7012(00)00020-4
- Tavakkoli-Moghaddam, R., Safaei, N., & Gholipour, Y. (2006). A hybrid simulated annealing for capacitated vehicle routing problems with the independent route length. *Applied Mathematics and Computation*, 176(2), 445-454. doi:10.1016/j.amc.2005.09.040
- Teodorovic, D., & Pavkovic, G. (1992). A simulated annealing technique approach to the vehicle routing problem in the case of stochastic demand. *Transportation Planning and Technology*, 16(4), 261-273. doi:10.1080/03081069208717490
- Toth, P., & Vigo, D. (2002). *The Vehicle Routing Problem*. Philadelphia, USA: Society for Industrial and Applied Mathematics.

- Uslu, A., Çetinkaya, C., & İşleyen, S. K. (2017). Vehicle routing problem in post-disaster humanitarian relief logistics: A case study in Ankara. *Sigma Journal of Engineering & Natural Sciences*, 35(3), 481-499.
- Wang, K., Lan, S., & Zhao, Y. (2017). A genetic-algorithm-based approach to the two-echelon capacitated vehicle routing problem with stochastic demands in logistics service. *Journal of the Operational Research Society*, 68(11), 1409-1421. doi:10.1057/s41274-016-0170-7
- Wei, L., Zhang, Z., Zhang, D., & Leung, S. C. H. (2018). A simulated annealing algorithm for the capacitated vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints. *European Journal of Operational Research*, 265(3), 843-859. doi:10.1016/j.ejor.2017.08.035
- Wu, T. H., Low, C., & Bai, J. W. (2002). Heuristic solutions to multi-depot location routing problems. *Computers & Operations Research*, 29(10), 1393-1415. doi:10.1016/S0305-0548(01)00038-7
- Yılmaz Yalçın, A. (2021). Tavlama benzetimi temelli yaklaşım ile kapasite kısıtlı araç rotalama optimizasyonu: Karadeniz bölgesi örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 22, 239-248. doi:10.31590/ejosat.851540
- Xiao, Y., Zhao, Q., Kaku, I., & Xu, Y. (2012). Development of a fuel consumption optimization model for the capacitated vehicle routing problem, *Computers & Operations Research*, 39(7), 1419-1431. doi:10.1016/j.cor.2011.08.013



Research Article

Catalytic Use of Pd(II) Complex Bearing 2-(thiophen-2-yl)-1H-Benzimidazole Ligand for The Reduction / Degradation of Multiple Mixtures Containing 4-NP, RhB and MB Organic Pollutants

Melek TERCAN*

Çanakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Science, Department of Chemistry, 17100, Çanakkale, Türkiye
Melek TERCAN, ORCID No:0000-0001-7330-6076

* Corresponding author e-mail: melektercan@comu.edu.tr

Article Info

Received: 25.08.2022
Accepted: 19.12.2022
Online April 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1167004

Keywords

Catalysis,
Methylene blue,
Pd complexes,
Rhodamine B,
4-Nitro phenol

Abstract: In this study, the catalytic use of $[Pd(LI)_2]Cl_2$ complex is aimed for the reduction / degradation reactions of organic pollutants in water sources which pose a threat to the environment. For this purpose, 2-(thiophen-2-yl)-1H-benzimidazole ligand (*LI*) and its Pd(II) complex (*CI*) were synthesized and characterized by FT-IR, 1H -NMR, ^{13}C -NMR, ESI-MS spectroscopic techniques. The catalytic efficiency of the *CI* complex on the reduction of 4-nitro phenol compound (4-NP) and the degradation of rhodamine B (RhB), methylene blue (MB) dyes was investigated in the presence of $NaBH_4$ in aqueous medium. The catalytic performance was examined with single solutions of these substrates (4-NP and RhB, MB dyes) and at the end of 5 minutes, over 92% conversion was observed for all three substrates. In the catalytic trials with 4-NP + RhB + MB triple substrate mixture, 84, 94 and 93% conversion values were obtained, respectively, after 5 minutes. *CI* complex catalyst is very effective in the simultaneous reduction / degradation of these toxic organic compounds from aqueous environments without any competition or selectivity.

2-(tiyofen-2-il)-1H-Benzimidazol Ligandı Taşıyan Pd Kompleksinin 4-NP, RhB ve MB Organik Kirleticileri İçeren Çoklu Karışımların İndirgenmesi / Bozunmasında Katalitik Kullanımı

Makale Bilgileri

Geliş: 25.08.2022
Kabul: 19.12.2022
Online Nisan 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1167004

Anahtar Kelimeler

Metilen mavisi,
Organik kirleticiler,
Pd kompleksleri,
Rodamin B,
4-Nitro fenol

Öz: Bu çalışmada, çevre için tehdit oluşturan organik kirleticilerin indirgeme / bozunma reaksiyonları ile su kaynaklarından uzaklaştırılması için $[Pd(LI)_2]Cl_2$ kompleksinin katalitik kullanımı amaçlanmıştır. Bu amaçla 2-(thiophen-2-yl)-1H-benzimidazole ligandı (*LI*) ve onun Pd(II) kompleksi (*CI*) sentezlenmiş ve FT-IR, 1H -NMR, ^{13}C -NMR, ESI-MS spectroscopic teknikleri ile karakterize edilmiştir. *CI* kompleksinin rhodamine B (RhB) ve methylene blue (MB) boyaalarının bozunmasındaki ve 4-nitro phenol (4-NP) bileşiğinin indirgenmesindeki katalitik etkinliği $NaBH_4$ varlığında, sulu ortamda incelenmiştir. Bu substratların (4-NP ve RhB, MB boyaaları) tekli çözeltileri ile katalitik performans incelenmiş ve 5 dakikanın sonunda her üç substrat için de 92% üzerinde dönüşüm gözlenmiştir. 4-NP + RhB + MB üçlü substrat karışımı ile yapılan katalitik denemelerde 5 dakikanın sonunda sırasıyla 84, 94 ve 93% dönüşüm değerleri elde edilmiştir. Çevre için oldukça toksik bu organik bileşikler çoklu olarak içeren sulu ortamlardan bu bileşiklerin aynı anda ayrılmasında *CI* kompleks katalizörü oldukça etkindir.

1. Introduction

The wastes of dyes used in industries such as plastic, textile, leather, printing and paper cause bioaccumulation and pose a hazard to human health by being transported to people through the food chain (Joseph et al., 2019). Even very low concentrations of these toxic compounds, phenolics and dyes cause pollution in water resources and become a serious threat to the environment (Rafatullah et al., 2010; Thabet & Ismaiel, 2014; Alouani et al., 2018; Singh et al., 2019). Techniques such as biochemical and electrochemical methods, ion exchange, adsorption are used to remove these pollutants in water, but they have disadvantages such as low efficiency and cost (Robinson et al., 2001; Singh & Arora, 2011; Mokhtar, 2017). For this reason, metal nanoparticles (NPs), supported metal nanoparticles and metal complexes are used as catalysts in reduction / degradation reactions of toxic organic compounds (Kidambi et al., 2004; Wang et al., 2018). In fact, transition metal salts are quite good catalysts for many reactions on their own, but their separation / purification from the reaction environment and reusability problems occur in case of direct use. The metal salt may react with the substrates or dissolve in the reaction solvent causing metal leaching into the reaction medium. For this reason, nanoparticles of the metal salt whose catalytic properties will be utilized are prepared on an inorganic solid support or a porous material. Thus, it is possible to prepare a catalyst with homogeneous metal distribution and large surface area, and to increase the efficiency of the catalyst, by preventing the aggregation and clustering of metal particles. In the catalytic use of metal complexes, the metal is reduced after the first catalytic cycle, but the metal particles are stabilized by electrostatic interactions with the used ligand. That is, they do not agglomerate because they are still surrounded by ligands. Moreover, thanks to the electronic and steric properties of the ligand, the catalyst material can be prepared according to the substrate, thus increasing the catalytic efficiency as a result of the ligand-metal synergistic interaction. In this respect, benzimidazole derivative ligands are indispensable for coordination chemistry because they contain both electron withdrawing and donor groups in their heterocyclic structures and are frequently used in complexation reactions. Pd complexes, Pd nanoparticles and solid supported Pd nanoparticles are widely used in the catalytic reduction / degradation of the dyes in the literature (Nadagouda et al., 2012; Abdelaal & Mohamed, 2013; Hassani et al., 2015; Nguyen et al., 2018; Asadabadi et al., 2019; Wang et al., 2021). Pd metal complexes with improved electronic and chemical properties with appropriate ligand selection are used in catalysis.

4-NP is a carcinogenic and mutagenic compound frequently used in the pharmaceutical, synthetic dye industry (Wang et al., 2013; Naraginti et al., 2015; Mejia & Bogireddy, 2022; Shu et al., 2022). RB is a biological fluorescence molecule used in bacterial staining studies (Rahman et al., 2013; Jabeen et al., 2021; Olagunju et al., 2021; Al-Buriah et al., 2022; Zhou et al., 2022). On the other hand, MB is a toxic, heterocyclic cationic dye molecule that is widely used as a textile dye (Sahiner et al., 2015; Kumar et al., 2021; Saputra et al., 2022). Organic dyes are molecules that are resistant to biodegradation and have high stability to heat and light. Many N-containing organic dyes, especially RhB and MB, undergo natural degradation, by yielding potentially carcinogenic aromatic amines. Therefore, the degradation of these toxic molecules by chemical catalysis are important. In the presented study, benzimidazole ligand derivative 2-(thiophen-2-yl)-1H-benzimidazole ligand (*LI*), which is very important for coordination chemistry due to its N-donor nitrogen atom and ease of operation, was synthesized and its Pd(II) complex (*CI*) was prepared (Tadokoro & Nakasuji, 2000). The prepared *LI* ligand and *CI* complex were characterized by FT-IR, ¹H-NMR, ¹³C-NMR, ESI-MS spectroscopic techniques. Then the catalytic efficiency of *CI* complex in the reduction reaction of 4-nitro phenol (4-NP) and the degradation reactions of rhodamine B (RhB) and methylene blue (MB) dyes in the presence of NaBH₄ as a reducing agent was investigated. In general, removal of pollutants from water source studies should be done in samples containing multiple pollutants, but examination of the catalytic reduction / degradation reaction is important to estimate the overall behavior. For this purpose, catalytic studies were carried out with substrate solutions containing single and triple mixtures of 4-NP compound and RhB, MB dyes used as model compounds, and high conversion values above 90% were obtained for both single and triple substrate solutions.

2. Material and Methods

2.1. Materials

o-phenylenediamine (99%, Sigma Aldrich), 2-thiophenecarboxaldehyde (98%, Sigma Aldrich) and sodium bisulfite (95%, Acros Organics) that used in the ligand (*LI*) synthesis were provided commercially. PdCl₂ (59% Pd, Merck) and HCl (37%, Merck) were used in the preparation of Pd(II) complex (*CI*). All solvents used in ligand and complex synthesis were commercially available and used without purification. 4-nitrophenol (99%, Merck), rhodamine B (99%, Sigma Aldrich) and methylene blue (98%, Sigma Aldrich) were used as toxic dye source for catalytic studies. Sodium borohydride (NaBH₄, 98%, Merck) was used as reducing agent in catalytic reduction / degradation studies. Perkin Elmer Spectrum One FT-IR/ATR and Jeol JNM-ECX400II NMR spectrometer were used in the characterization of the *LI* and *CI* compounds. LC-MS chromatograms of *LI* and *CI* were recorded by Shimadzu LC/MS 8040 spectrophotometer in a range 100-2000 m/z and electron impact (EI) ionization technique. XRD pattern of *CI* complex was obtained by PANalytical Empyrean X-ray diffractometer. The catalytic studies were monitored by Perkin Elmer Lambda 35 UV-Vis Spectrometer.

2.2. Synthesis of 2-(Thiophen-2-yl)-1H-benzimidazole ligand, *LI*

A mixture of 2-thiophenecarboxaldehyde (0.96 mL, 10.00 mmol) and NaHSO₃ (11.45 g, 11.0 equivaleant) were refluxed in water (30 mL) overnight. A solution of *o*-phenylenediamine (1.08 g, 10.00 mmol) in water (10 mL) was added dropwise to the mixture and refluxed until the solution became transparent yellow. After the completion of the reaction, the mixture was cooled to the room temperature and the residue was filtered off. The obtained yellowish solid was washed with water twice and dried (Kim et al., 2020). (1.36 g, 68% yield) m.p: 333-335 °C.

2.2.1. Data for *LI*

FT-IR (ATR/cm⁻¹): 3009, 2525, 1622, 1569, 1476, 1450, 1417, 1338, 1314, 1275, 1234, 1147, 1093, 1073, 1003, 944, 851, 763, 740, 701.

¹H NMR (400 MHz, DMSO-*d*₆) δ ppm 12.92 (s, 1H), 7.80 (d, *J* = 3.63 Hz, 1H), 7.69 (d, *J* = 5.01 Hz, 1H), 7.58-7.47 (m, 2H), 7.22-7.11 (m, 3H).

¹³C NMR (100 MHz, DMSO-*d*₆) δ ppm 147.54, 144.27, 135.23, 134.23, 129.30, 128.82, 127.21, 123.03, 122.36, 119.07, 111.66.

Positive ESI-MS (m/z): 201 [M]⁺, (calculated: 200.26).

2.3. Synthesis of [Pd(*LI*)₂]Cl₂ complex, *CI*

2-(Thiophen-2-yl)-1H-benzimidazole ligand (200 mg, 1.0 mmol) was dissolved in a small amount of ethanol and added dropwise to the [PdCl₄]²⁻ solution that obtained by completely dissolving the PdCl₂ salt (89 mg, 0.5 mmol) in 50 mL of 20 mM HCl solution. The complex was precipitated as an orange solid in the reaction media after heating in the 60 °C water bath. Thus obtaining [Pd(*LI*)₂]Cl₂ complex was filtered off, washed with ethanol and dried under vacuo (Ramadan et al., 2004). (0.208 g, 72% yield) m.p: > 360 °C.

2.3.1. Data for *CI*

FT-IR (ATR/cm⁻¹): 3159, 3077, 1622, 1601, 1563, 1480, 1456, 1436, 1379, 1319, 1234, 1223, 1150, 1100, 1047, 1006, 971, 852, 800, 746, 714.

¹H NMR (400 MHz, DMSO-*d*₆) δ ppm 13.83 (t, *J* = 11.3 Hz, 2H), 8.72 (dd, *J* = 8.13 Hz, 1H), 8.38 (dd, *J* = 5.51 Hz, 1H), 8.21-8.14 (m, 2H), 8.02 (dd, *J* = 5.34, 1H), 7.79 (dd, *J* = 3.95, 1H), 7.57-7.52 (m, 2H), 7.46-7.32 (m, 5H), 7.24-7.17 (m, 1H).

¹³C NMR (100 MHz, DMSO-*d*₆) δ ppm 147.12, 140.39, 133.20, 133.02, 132.35, 132.06, 131.63, 131.51, 131.21, 129.77, 129.36, 128.94, 128.80, 128.49, 125.16, 124.97, 124.33, 123.84, 122.99, 119.64, 118.92, 118.34, 112.71, 112.51.

Positive ESI-MS (m/z): 578 [M]⁺, 596 [M+H₂O]⁺, (calculated: 577.85).

2.4. Catalytic studies

The catalytic efficiencies of the prepared Pd(II) complex, *CI*, in the reduction / degradation reactions of 4-NP, RB and MB substrates were investigated in the presence of NaBH₄ in aqueous media. For this purpose, the optimum reaction conditions were determined first by scanning the amount of NaBH₄, the substrate concentration and the amount of catalyst. 4-NP substrate, which is frequently used in catalytic studies as model compound, was used for optimization studies. Catalytic trials were made with 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 and 0.5 mmol of NaBH₄ to be used as a hydrogen source in catalyst-free environment, and it was observed that the use of NaBH₄ above 0.2 mmol did not provide a significant difference in reduction of 4-NP substrate. For this reason, the appropriate amount of NaBH₄ for catalytic studies was determined as 0.2 mmol (Selvi et al., 2020). Then, the reduction reactions of 10 mL of 0.01, 0.1 and 1.0 mM aqueous solutions of 4-NP in catalyst-free media in the presence of 0.2 mmol NaBH₄ was followed by UV-Vis spectroscopy and the percent conversion values were calculated according to Equation 1 (A₀: Initial absorption).

$$\text{Conversion (\%)} = [(A_0 - A) / A_0] \times 100 \quad (1)$$

Table 1. Catalytic conversion values for the reduction / degradation of 10 mL of 0.01, 0.1, 0.5 and 1.0 mM aqueous solutions of 4-NP substrate in catalyst-free media in the presence of 0.2 mmol NaBH₄

4-NP concentration (mM)	Conversion (%)
0.01	44
0.1	21
0.5	20
1.0	6

The percent conversion values obtained after 5 minutes for 0.01, 0.1 and 1.0 mM 4-NP substrate solutions in the presence of 0.2 mmol NaBH₄ are 44, 21 and 6%, respectively (Table 1). For the reduction of 0.01 M 4-NP solution with only NaBH₄ in a catalyst-free media, 44% conversion is a high value while 6% conversion value observed for 1.0 mM 4-NP is not suitable for comparison on the efficiency of the catalyst. 20% conversion was obtained for the reduction of 0.5 mM 4-NP which was scanned as the mean value of 0.1 and 1.0 mM substrate concentration and 21% conversion for 0.1 mM 4-NP solution. Thus, 0.5 mM concentration for 4-NP was chosen as the optimum substrate concentration and the same substrate concentration was used for all catalytic experiments. Then, in order to examine the effect of catalyst amount, the reduction of 0.5 mM 4-NP solution in the presence of 0.2 mmol NaBH₄ with changing amounts of *CI* complex catalyst were investigated. For the reduction of 4-NP substrates with 2.5, 5 and 7.5 mg of *CI* complex catalyst, the percent conversion values after 5 minutes were observed as 92, 95 and 99%, respectively. Considering that almost all 95% of the catalytic reduction of 4-NP is completed in the presence of 5 mg of *CI* complex catalyst and the use of catalysts containing a small amount of metal is more environmentally friendly, the optimum amount of catalyst to be used in catalytic studies has been determined as 5 mg (Table 2). Finally, catalytic experiments were carried out in triplicate for single and triple mixtures of 4-NP, RhB and MB substrates under optimum reaction conditions.

Table 2. Catalytic conversion values for the reduction / degradation of 10 mL of 0.5 mM aqueous solutions of 4-NP substrate in the presence of 0.2 mmol M NaBH₄ with changing *CI* catalyst amounts

Time (min)	Conversion (%)		
	2.5 mg catalyst	5 mg catalyst	7.5 mg catalyst
1	45	52	64
2	62	78	88
3	74	91	98
4	85	93	99
5	92	94	99

3. Results

3.1. Structural characterization

The use of the synthesized *CI* complex as a catalyst in the reduction / degradation reactions of 4-nitrophenol, methylene blue and rhodamine B toxic organic compounds in the presence of NaBH₄ in aqueous medium was investigated. The schematic representation of the synthesis of the 2-(thiophen-2-yl)-1H-benzimidazole ligand (*LI*) and its Pd²⁺ complex, [Pd(*LI*)₂]Cl₂ is given in Figure 1. The chemical structures of the synthesized *LI* ligand and the *CI* complex were clarified by FT-IR, ¹H-NMR, ¹³C-NMR and LC-MSMS spectroscopic methods.

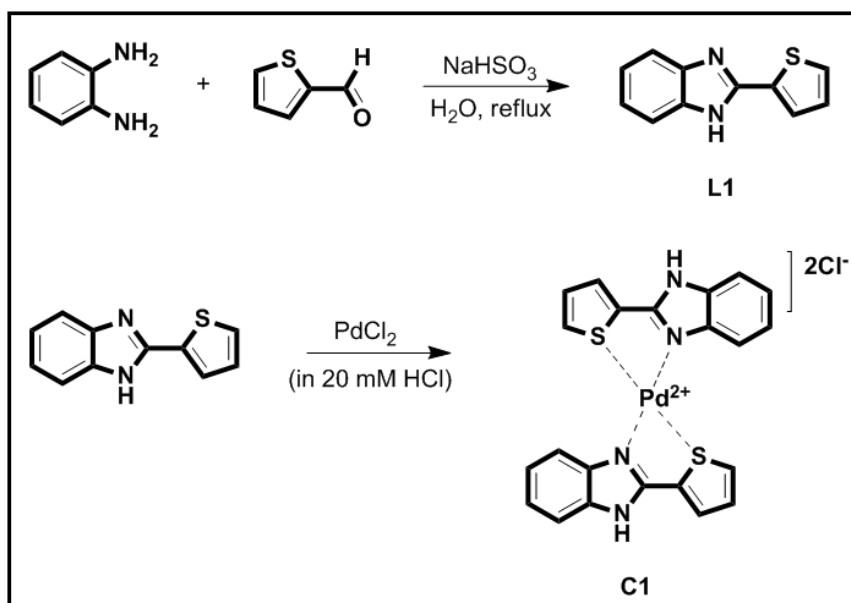


Figure 1. Schematic representation for the synthesis of 2-(thiophen-2-yl)-1H-benzimidazole ligand (*LI*) and its Pd²⁺ complex (*CI*).

When the FT-IR spectrum of the *LI* ligand was examined, it was observed that the N-H stretching peak could not be observed due to the intramolecular H-bond, as in the other benzimidazole compounds (Figure 2). The broad peak observed at 2525 cm⁻¹ is the aromatic S-H stretching peak observed as a result of intramolecular H-bonding of benzimidazole N-H and thiophene ring sulphur. The stretching peak of C=N double bond was observed at 1622 cm⁻¹. As seen in the ¹H-NMR spectrum of *LI*, an aromatic N-H proton was observed at 12.92 ppm. While thiophene ring aromatic protons were observed at 7.80 and 7.69 ppm, other aromatic protons were observed in the range of 7.58-7.11 ppm (Figure 3). The [M]⁺ peak observed at 201 ppm (calculated: 200.26) in the mass spectrum of *LI* also proves the structure. When the FT-IR spectrum of the dimeric Pd complex (*CI*) of *LI* ligand was examined, it was observed that the intramolecular H-bond was disappeared with the complexation and the N-H stretching peak was observed at 3159 cm⁻¹. This proves the coordination of *LI* ligand to Pd

metal occurs via benzimidazole ring nitrogen atom and thiophene ring sulfur atom. For this reason, the S-H stretching peak that observed at 2525 cm^{-1} in the FT-IR spectrum of the *LI* ligand was disappeared in the FT-IR spectrum of the *CI* complex as a result of complexation. It was seen that the N-H protons of the *CI* complex were shifted to 13.83 ppm in the $^1\text{H-NMR}$ spectrum. Due to the dimeric structure of the complex, the aromatic doublet and triplet peaks of the two 2-(thiophen-2-yl)-1H-benzimidazole ligands were observed to be identical. In the mass chromatogram for the *CI* complex, the $[\text{M}]^+$ peak was observed at 578 (calculated: 577.85) and the $[\text{M}+\text{H}_2\text{O}]^+$ peak obtained by attaching the structure one water molecule was observed at 596 (calculated: 595.85).

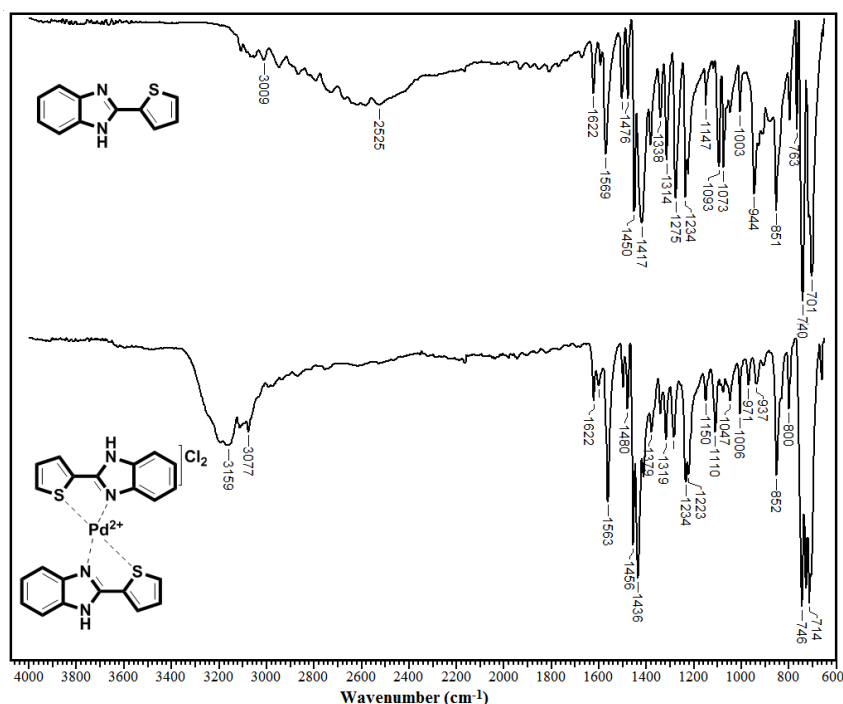


Figure 2. The overlapped FT-IR spectra of *LI* ligand and *CI* complex.

XRD measurements were monitored to investigate the structural ordering of the *CI* complex that used as catalyst in reduction / degradation reactions of the 4-NP, RhB and MB substrates. It is known that the crystal structures are well observed for systems in the ligand phase while semi-crystalline structures occur for the metal complexes of these ligands (Cuerva et al., 2017; Nasrollahzadeh et al., 2019; Gao et al., 2022). In the XRD diffractogram of *CI* complex, 3 different peaks at 39.04° , 43.25° and 55.30° Θ angles were observed which indicate the presence of Pd metal in the structure (Figure 4).

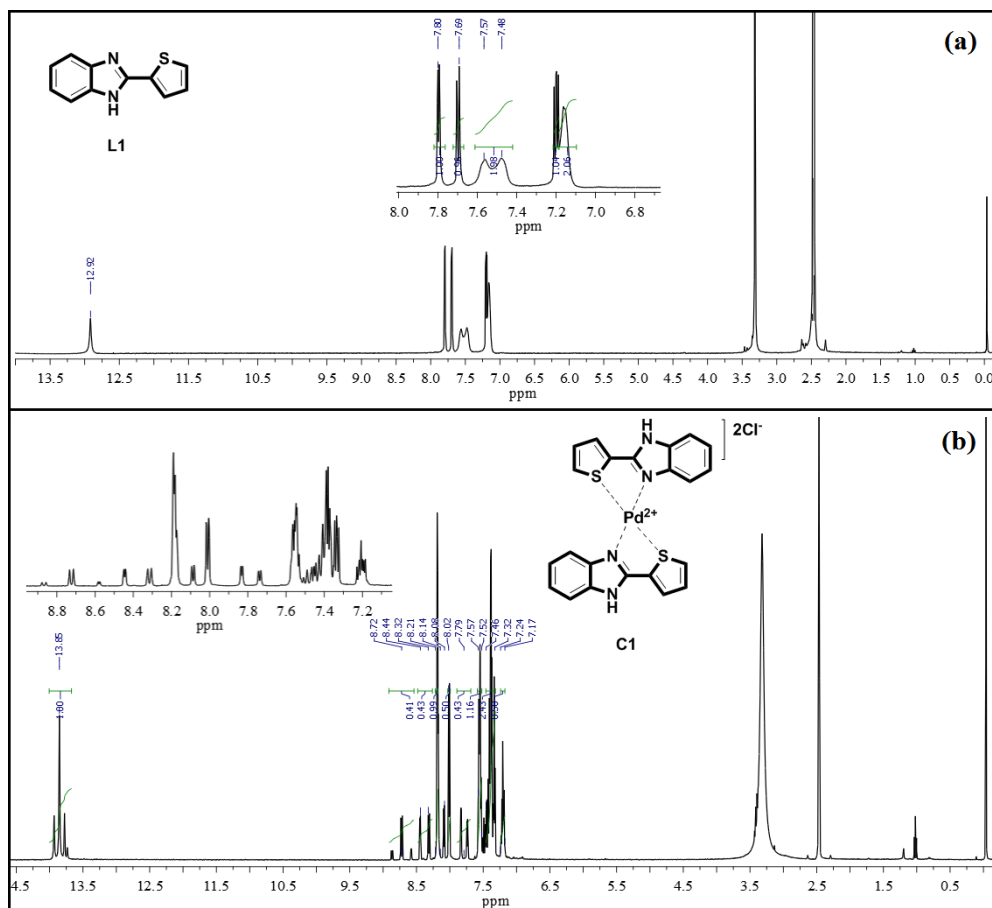


Figure 3. ¹H-NMR spectra of *L1* ligand (a) and *C1* complex (b).

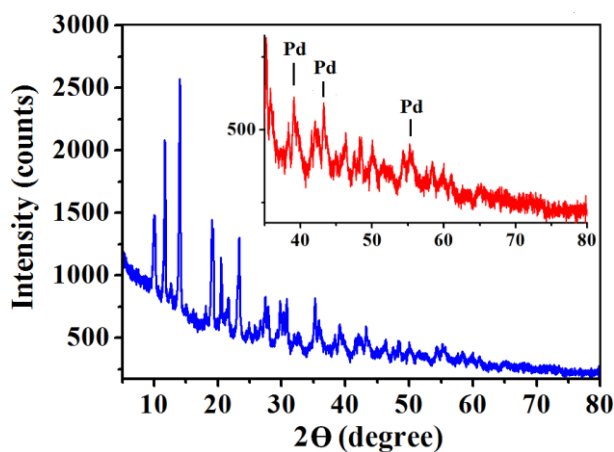


Figure 4. The XRD pattern of [Pd(*L1*)₂](Cl)₂ complex, *C1*.

3.2. Catalytic performance of [Pd(*L1*)₂](Cl)₂ complex, *C1*

In the present study, the catalytic efficiency of the *C1* complex in the catalytic reduction / degradation reactions of 4-NP, RhB and MB toxic organic compounds was investigated. For this purpose, the reaction conditions were standardized first with the catalytic trials by different NaBH₄ amounts, substrate concentrations and catalyst amounts. In the catalytic experiments to determine the optimum reaction conditions with 4-NP substrate, the conversion value was observed as 20% in the presence of 0.2 mmol NaBH₄ for 0.5 mM (10 mL) 4-NP substrate in catalyst-free media. This low conversion value indicates that completion of the reduction / degradation of toxic dyes requires the use

of active catalysts. Again, as a result of the trials carried out in the presence of 0.5 mM 4-NP substrate, 0.2 mmol NaBH₄ and different amounts of *CI* complex catalyst, it was observed that the catalytic conversion was completed with 5 mg *CI* catalyst to a large extent (95%). Since the low metal content of the catalyst to be used is an environmentally friendly approach, the optimum catalyst amount was chosen as 5 mg *CI* complex catalyst. Thus, the catalytic experiments were carried out in 0.5 mM, 10 mL of substrates that containing 5 mg catalyst material and 0.2 mmol NaBH₄ as the optimum reaction conditions.

During the catalytic reduction / degradation reactions, 0.2 mL was taken from the reaction mixture, diluted to 4 mL with water and filtered into a UV cuvette. Then the changes in absorbance values were monitored by UV-Vis spectrophotometer at 400 nm for 4-NP compound, 553 nm for RhB and 665 nm for MB dyes. The catalytic performance of the prepared Pd(II) complex, *CI*, was measured in triplicate for single and triple substrate mixtures. The catalytic conversion values of the reaction solutions containing a single substrate were observed as $92 \pm 6.6\%$ for 4-NP, 92 ± 2.4 and $93 \pm 1.7\%$ for RhB and MB under optimum conditions (Figure 5 (a)). These conversion values observed over 90% for each substrate show that the catalyst is quite effective. 5 mg of *CI* catalyst used in catalytic trials contains 8.7×10^{-3} mmol of Pd (0.9 mg Pd) metal. In other words, it is sufficient for the catalyst to contain 0.9 mg of Pd metal to complete the reduction / degradation reaction of the 0.5 mM substrate mixture. Direct use of metal salt in catalytic reactions is not preferred because it will cause the metal to react with the substrate or it will dissolve in the reaction solution and cause metal leaching. However, in order to understand whether the ligand-metal interaction provides catalytic superiority, the reduction / degradation reactions of 0.5 mM 4-NP, RB and MB substrates were studied in the presence of PdCl₂ catalyst (1.5 mg PdCl₂) which containing Pd metal equivalent to the amount of Pd metal in the 5 mg *CI* complex. In the presence of 1.5 mg PdCl₂, 90, 88 and 81% conversion were observed for the 4-NP aromatic compound, RB and MB dyes, respectively. As expected, higher percent conversion values were obtained with the [Pd(LI)₂]Cl₂ catalyst containing equivalent amount of Pd as a result of the synergistic interaction of the ligand and the Pd metal. In Figure 5 (b) the catalytic conversion values of the reaction mixture containing all three substrates were shown as 84 ± 4.3 , 94 ± 1.7 and $93 \pm 0.8\%$ for 4-NP, RhB and MB, respectively, under optimum reaction conditions. In fact, for mixtures containing multiple toxic compounds, reduction / degradation reaction catalytic conversion values per component are expected to decrease comparing the single ones. However, it was observed that the conversion value, which was 92% in the catalytic experiments with solution containing a single RhB substrate, was preserved with 94% in the triple substrate mixture (4-NP + RhB + MB). Again, the conversion of 93% for MB single substrate was conserved to be 93% for the triple substrate mixture, only the conversion value of 4-NP decreased from 92% to 84% in the triple substrate mixture. The prepared catalyst with low Pd metal content catalyzed the reduction / degradation reaction not only for a single substrate but also for all three substrates. It can be said that the catalytic efficiency is superior for RhB and MB dyes in single and triple substrate mixtures.

The variation of the $\ln(C/C_0)$ values of the catalytic reduction / degradation reactions of 4-NP, RhB and MB substrates in the presence of *CI* complex over time is given in Figure 6. As indicated by the changes in substrate concentrations, the reduction / degradation reactions were almost completed after 5 minutes in both single substrate solutions and triple substrate mixtures.

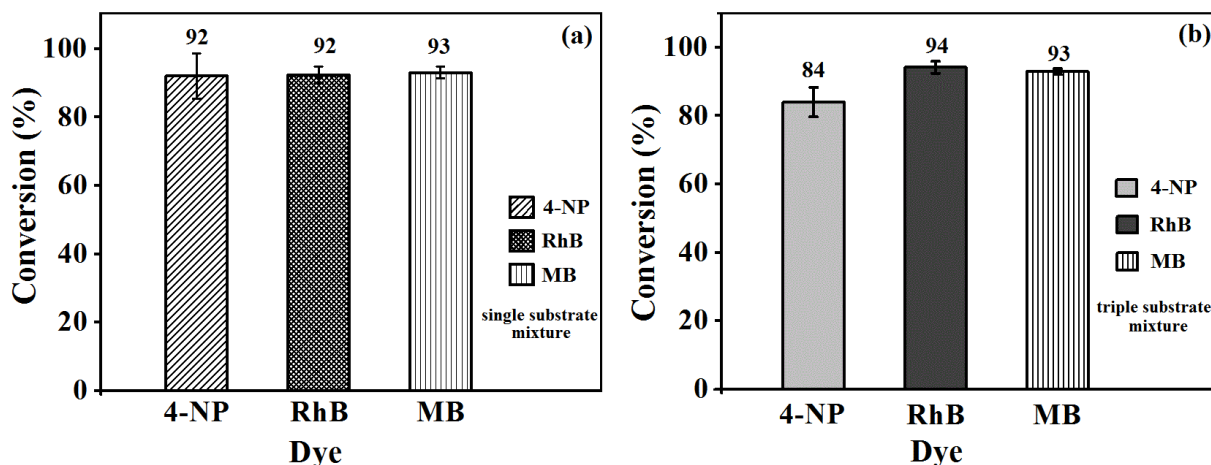


Figure 5. Comparison of the conversion percentage of single substrate mixtures (a) and triple substrate mixtures (b) catalyzed by *C1* complex catalyst in the presence of 0.02 mmol NaBH₄ at 5 min reaction time.

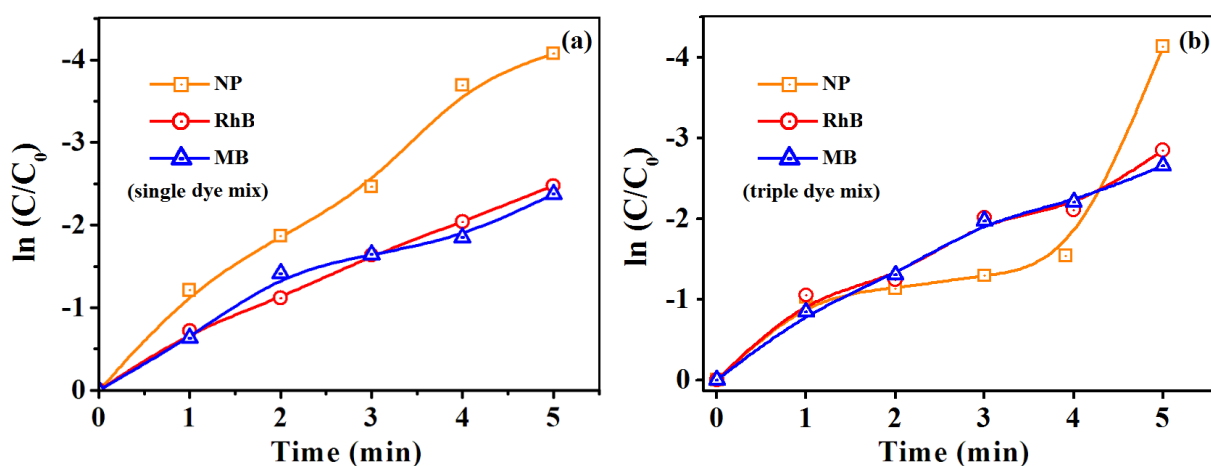


Figure 6. The reduction in conversion percentage of each substrate in single (a) and triple substrate mixtures (b) catalyzed by *C1* complex catalyst in the presence of 0.02 mmol NaBH₄ at the end of 5 min.

Figure 7. shows the UV-Vis spectra of the reduction / degradation reactions of 4-NP, RhB and MB substrates singly (a, b, c) and the 4-NP + RhB + MB triple mixture (d) in the presence of *C1* complex catalyst. It is clearly seen from the UV-Vis spectrum that the absorbance values observed at 665 nm for MB, 553 nm for RhB and 400 nm for 4-NP decrease over time as a result of reduction / degradation.

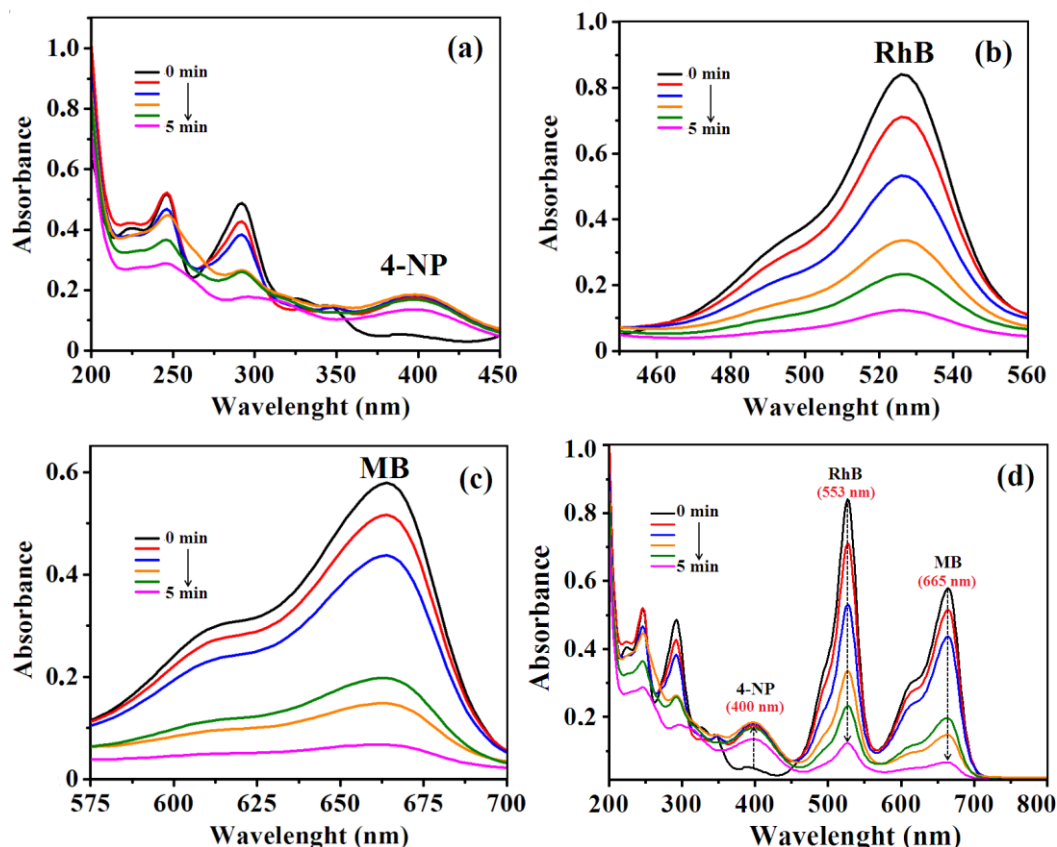


Figure 7. The change in the UV-Vis absorption spectrum of the 4-NP (a), RhB (b), MB (c) substrates and 4-NP + RhB + MB triple substrate mixture with time for the catalytic reduction / degradation reaction catalyzed by *CI* complex catalyst.

The turn-over frequency (TOF) values of *CI* complex-catalyzed reduction / degradation reactions of 4-NP, RhB and MB compounds were calculated using Equation 2 and the results are given in Table 3. TOF values of around 640 h⁻¹ were obtained for single and triple substrate mixtures. Accordingly, the high conversion and TOF values obtained by *CI* complex catalyst for single and triple substrate mixtures showed that the prepared *CI* complex catalyst can be used in the removal of polluting organic dyes from water. In addition, the catalyzed reduction / degradation reactions of 4-NP, RhB and MB substrates with other Pd-based catalysts are compared in Table 4. *CI* complex catalyst also showed superiority in reducing all three substrates simultaneously with high efficiency.

$$TOF = \text{moles of consumed reactant} / (\text{mole of catalyst} \times \text{time (h)}) \quad (2)$$

Table 3. Conversion percentages and TOF values for catalytic reduction / degradation reactions of 4-NP, RhB and MB substrates catalyzed by *CI* catalyst

Substrate mixtures	Molecules	Conversion ¹ (%)	TOF ¹ (h ⁻¹)
4-NP	4-NP	92.1 ± 6.6	641.2 ± 19.8
RhB	RhB	92.4 ± 2.4	643.4 ± 7.2
MB	MB	93.1 ± 1.7	648.2 ± 5.1
4-NP + RhB + MB	4-NP	84.0 ± 4.3	584.9 ± 12.9
4-NP + RhB + MB	RhB	94.2 ± 1.7	655.8 ± 5.1
4-NP + RhB + MB	MB	93.0 ± 0.8	647.5 ± 2.4

¹Catalytic reduction / degradation reactions were monitored by UV-Vis spectrophotometer for 10 mL substrate solutions containing 5.0 mmol dye (4-NP, RhB, MB) in the presence of 0.2 mmol NaBH₄ and 8.7 μmol Pd complex catalyst. All catalytic trials were performed in triplicate in aqueous media, at room temperature.

Table 4. Comparison for the reduction / degradation reactions of 4-NP, RhB and MB substrates with other Pd-based catalysts

Catalyst	Substrate	Catalyst amount	Time (min)	Conversion (%)	TOF (h ⁻¹)	Ref.
Fe ₃ O ₄ @Triazole-CS@NNN-Pd	4-NP	80 mg	5	98	1176	Rafiee&Rezaee, 2022
BBCP@PhenTet@Pd	4-NP	0.75 mmol	50	95	4.5	Arianezhad et al., 2022
ZnO/Au/Pd	MB	5 mg	180	97	-	Lee et al., 2019
Pd-rGO	RhB	0.025 mg	0.5	92	-	Bhat et al., 2020
Pd@BTC-CONH	RhB	50 mg	6	99	-	Selim et al., 2020
[Pd(LI) ₂]Cl ₂	4-NP	5 mg	5	92	641.2	This work
[Pd(LI) ₂]Cl ₂	RhB	5 mg	5	92	643.4	This work
[Pd(LI) ₂]Cl ₂	MB	5 mg	5	93	648.2	This work

4. Discussion and Conclusion

In the presented study, benzimidazole derivative 2-(thiophen-2-yl)-1H-benzimidazole ligand (LI) and its Pd(II) complex (CI) was prepared. The catalytic efficiency of CI complex in the catalytic reduction / degradation reactions of 4-NP, RhB and MB toxic organic compounds was investigated. Catalytic reduction / degradation reactions were carried out with substrate solutions containing 5 mmol of 4-NP, RhB and MB dyes in the presence of 5 mg CI complex catalyst and 0.2 mmol NaBH₄ as reducing agent. Catalytic trials were studied in triplicate for single and triple mixtures of 4-NP, RhB and MB substrates, in aqueous medium and room temperature, and the reaction was monitored by UV-Vis spectrophotometer. Percent conversion values of over 90% were obtained for each of the 4-NP, RhB and MB substrates. It was observed that these high percent conversion values were maintained without any competition or selectivity for the triple substrate mixture containing 4-NP, RhB and MB. TOF values of around 640 h⁻¹ were obtained for single and triple mixtures of 4-NP, RhB and MB substrates. As a result, it can be said that the CI complex can be used as a catalyst in the elimination of organic toxic compounds or their multiple mixtures from water sources, and it is an environmentally friendly alternative with its low Pd metal content (0.9 mg).

References

- Abdelaal, M. Y., & Mohamed, R. M. (2013). Novel Pd/TiO₂ nanocomposite prepared by modified sol-gel method for photocatalytic degradation of methylene blue dye under visible light irradiation. *Journal of Alloys and Compounds*, 576, 201-207. doi:10.1016/j.jallcom.2013.04.112
- Al-Buriahi, A. K., Al-Gheethi, A. A., Kumar, P. S., Mohamed, R. M. S. R., Yusof, H., Alshalif, A. F., & Khalifa, N. A. (2022). Elimination of rhodamine B from textile wastewater using nanoparticle photocatalysts: A review for sustainable approaches. *Chemosphere*, 287(2), 132162-132175. doi:10.1016/j.chemosphere.2021.132162
- Alouani, M. E., Aleyhen, S., Achouri, M. E., & Taibi, M. (2018). Removal of cationic dye – methylene blue- from aqueous solution by adsorption on fly ash-based geopolymer. *Journal of Materials and Environmental Science*, 9(1), 32-46. doi:10.26872/jmes.2018.9.1.5

- Arianezhad, M., Pourmorteza, N., Yousefi, A., & Esperri, M. (2022). Catalytic reduction of nitroarenes and Suzuki-Miyaura reactions using Pd complex stabilized on the functionalized polymeric support. *Chemical Physics Letters*, 793, 139431-13945. doi:10.1016/j.cplett.2022.139431
- Asadabadi, A. Z., Hoseini, S. J., Bahramia, M., & Nabavizadeh, S. M. (2019). Catalytic applications of β -cyclodextrin / palladium nanoparticle thin film obtained from oil/water interface in the reduction of toxic nitrophenol compounds and the degradation of azo dyes. *New Journal of Chemistry*, 43, 6513-6522. doi:10.1039/C8NJ06449K
- Bhat, S. A., Rashid, N., Rather, M. A., Bhat, S. A., Ingole, P. P., & Bhat, M. A. (2020). Highly efficient catalytic reductive degradation of Rhodamine-B over Palladium-reduced graphene oxide nanocomposite. *Chemical Physics Letters*, 754, 137724-137731. doi:10.1016/j.cplett.2020.137724
- Cuerva, C., Campo, J. A., Cano, M., & Schmidt, R. (2017). Nanostructured discotic Pd(II) metallomesogens as one-dimensional proton conductors. *Dalton Transactions*, 46, 96-105. doi:10.1039/C6DT03521C
- Gao, S., Hu, S., Luo, G., Sun, S., & Zhang, X. (2022). 2,2'-bipyridine palladium(II) complexes derived N-doped carbon encapsulated palladium nanoparticles for formic acid oxidation. *Electrochimica Acta*, 413, 140179-140187. doi:10.1016/j.electacta.2022.140179
- Hassani, R., Jabli, M., Kacem, Y., Marrot, J., Prim, D., & Hassine, B. B. (2015). New palladium-oxazoline complexes: Synthesis and evaluation of the optical properties and the catalytic power during the oxidation of textile dyes. *Beilstein Journal of Organic Chemistry*, 11, 1175-1186. doi:10.3762%2Fbjoc.11.132
- Jabeen, S., Khan, M. S., Khattak, R., Zekker, I., Burlakovs, J., Rubin, S. S., Ghangrekar, M. M., Kallistova, A., Pimenov, N., Zahoor, M., & Khan, G. S. (2021). Palladium-supported Zirconia-based catalytic degradation of rhodamine-B dye from wastewater. *Water*, 13(11), 1522-1534. doi:10.3390/w13111522
- Joseph, A., Vellayan, K., González, B., Vicente, M. A., & Gil, A. (2019). Effective degradation of methylene blue in aqueous solution using Pd supported Cu-doped Ti-pillared montmorillonite catalyst. *Applied Clay Science*, 168, 7-10. doi:10.1016/j.clay.2018.10.009
- Kidambi, S., Dai, J., Li, J., & Bruening, M. L. (2004). Selective hydrogenation by Pd nanoparticles embedded in polyelectrolyte multilayers. *Journal of American Chemical Society*, 126(9), 2658-2659. doi:10.1021/ja038804c
- Kim, J., Lee, S., Kim, S., Jung, M., Lee, H., & Han, M. S. (2020). Development of a fluorescent chemosensor for chloride ion detection in sweat using Ag⁺ benzimidazole complexes. *Dyes and Pigments*, 177, 108291-108296. doi:10.1016/j.dyepig.2020.108291
- Kumar, A. P., Bilehal, D., Tadesse, A., Kumar, D. (2021). Photocatalytic degradation of organic dyes: Pd-g-Al₂O₃ and PdO-g-Al₂O₃ as potential photocatalysts. *Royal Society of Chemistry Advances*, 11, 6396-6406. doi:10.1039/D0RA10290C
- Lee, S. J., Jung, H. J., Koutavarapu, R., Lee, S. H., Arumugam, M., Kim, J. H., & Choi, M. Y. (2019). ZnO supported Au/Pd bimetallic nanocomposites for plasmon improved photocatalytic activity for methylene blue degradation under visible light irradiation. *Applied Surface Science*, 496, 143665-143674. doi:10.1016/j.apsusc.2019.143665
- Mejia, Y. R., & Bogireddy, N. K. R. (2022). Reduction of 4-nitrophenol using green-fabricated metal nanoparticles. *Royal Society of Chemistry Advances*, 12, 18661-18675. doi:10.1039/D2RA02663E
- Mokhtar, M. (2017). Application of synthetic layered sodium silicate magadiite nanosheets for environmental remediation of methylene blue dye in water. *Materials*, 10(7), 760-773. doi:10.3390/ma10070760
- Nadagouda, M. N., Desai, I., Cruz, C., & Yang, D. J. (2012). Novel Pd based catalyst for the removal of organic and emerging contaminants. *Royal Society of Chemistry Advances*, 2, 7540-7548. doi:10.1039/C2RA20562A
- Naraginti, S., Stephen, F. B., Radhakrishnan, A., & Sivakumar, A. (2015). Zirconium and silver co-doped TiO₂ nanoparticles as visible light catalyst for reduction of 4-nitrophenol, degradation of methyl orange and methylene blue. *Spectrochimica Acta A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 135, 814-819. doi:10.1016/j.saa.2014.07.070

- Nasrollahzadeh, M., Issaabadi, Z., & Safari, R. (2019). Synthesis, characterization and application of $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ nanoparticles supported palladium(II) complex as a magnetically catalyst for the reduction of 2,4-dinitrophenylhydrazine, 4-nitrophenol and chromium(VI): A combined theoretical (DFT) and experimental study. *Separation and Purification Technology*, 209, 136-144. doi:10.1016/j.seppur.2018.07.022
- Nguyen, C. H., Fu, C. C., & Juang, R. S. (2018). Degradation of methylene blue and methyl orange by palladium doped TiO_2 photocatalysis for water reuse: Efficiency and degradation pathways. *Journal of Cleaner Production*, 202, 413-427. doi:10.1016/j.jclepro.2018.08.110
- Olagunju, M. O., Zahran, E. M., Reed, J. M., Zeynaloo E., Shukla, D., Cohn, J. L., Surnar, B., Dhar, S., Bachas, L. G., & Knecht M. R. (2021). Halide effects in $\text{BiVO}_4/\text{BiOX}$ heterostructures decorated with Pd nanoparticles for photocatalytic degradation of rhodamine B as a model organic pollutant. *American Chemical Society Applied Nano Materials*, 4(3), 3262-3272. doi:10.1021/acsnm.1c00481
- Rafatullah, M., Sulaiman, O., Hashim, R., & Ahmad, A. (2010). Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 177(1-3), 70-80. doi:10.1016/j.jhazmat.2009.12.047
- Rafiee, F., & Rezaee, M. (2022). Catalytic reduction of nitroarenes and degradation of dyes at room temperature by an efficient NNN pincer palladium catalyst based on the magnetic amino-triazole-modified chitosan. *Reactive and Functional Polymers*, 172, 105208-105220. doi:10.1016/j.reactfunctpolym.2022.105208
- Rahman, Q. I., Ahmad, M., Misra, S. K., & Lohani, M. (2013). Effective photocatalytic degradation of rhodamine B dye by ZnO nanoparticles. *Materials Letters*, 91, 170-174. doi:10.1016/j.matlet.2012.09.044
- Ramadan, R. M., El-Medani, S. M., Ali, O. A. M., & Mohamed H. A. (2004). Spectroscopic and thermal studies of some palladium complexes with certain heterocyclic nitrogen ligands. *Journal of Coordination Chemistry*, 57(5), 373-379. doi:10.1080/00958970410001680363
- Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., & Nigam, P. (2001). Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Bioresource Technology*, 77(3), 247-255. doi:10.1016/S0960-8524(00)00080-8
- Sahiner, N., Sagbas, S., & Aktas, N. (2015). Very fast catalytic reduction of 4-nitrophenol, methylene blue and eosin Y in natural waters using green chemistry: p(Tannic acid)-Cu ionic liquid composites. *The Royal Society of Chemistry*, 5, 18183-18195. doi:10.1039/C5RA00126A
- Saputra, E., Prawiranegara, B. A., Sugesti, H., Fadli, A., Heltina, D., Utama, P. S., Azis, Y., Manawan, M., Wang, S., & Oh, W. D. (2022). High performance magnetic carbonaceous materials as a photo Fenton-like catalyst for organic pollutant removal. *Journal of Water Process Engineering*, 47, 102849-102859. doi:10.1016/j.jwpe.2022.102849
- Selim, A., Kaur, S., Dar, A. H., Sartaliya, S., & Jayamurugan, G. (2020). Synergistic effects of carbon dots and palladium nanoparticles enhance the sonocatalytic performance for rhodamine B degradation in the absence of light. *American Chemical Society Omega*, 5, 22603-22613. doi:10.1021/acsomega.0c03312
- Selvi, G., Tercan, M., Ozdemir, N., & Dayan, O. (2020). The preparation of new palladium(II) complexes with Schiff base type ligands and its impregnated Al_2O_3 materials: As the catalysts for degradation/reduction of organic dyes. *Applied Organometallic Chemistry*, 34(12), 6009-6019. doi:10.1002/aoc.6009
- Shu, F., Wu, J., Jiang, G., Qiao, Y., Wang, Y., Wu, D., Zhong, Y., Zhang, T., Song, J., Jin, Y., Jiang, B., & Xiao, H. (2022). A hierarchically porous and hygroscopic carbon-based catalyst from natural wood for efficient catalytic reduction of industrial high-concentration 4-nitrophenol. *Separation and Purification Technology*, 300, 121823 - 121923. doi:10.1016/j.seppur.2022.121823
- Singh, K., & Arora, S. (2011). Removal of synthetic textile dyes from wastewaters: A critical review on present treatment technologies. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 4(9), 807-878. doi:10.1080/10643380903218376
- Singh, J., Kumari, P., & Basu, S. (2019). Degradation of toxic industrial dyes using $\text{SnO}_2/\text{g-C}_3\text{N}_4$ nanocomposites: Role of mass ratio on photocatalytic activity. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 371, 136-143. doi:10.1016/j.jphotochem.2018.11.014

- Tadokoro, M., & Nakasuji, K. (2000). Hydrogen bonded 2,2'-biimidazolate transition metal complexes as a tool of crystal engineering. *Coordination Chemistry Reviews*, 198(1), 205-218. doi:10.1016/S0010-8545(99)00223-4
- Thabet, M. S., & Ismaiel, A. M. (2014). Sol-Gel γ -Al₂O₃ nanoparticles assessment of the removal of eosin Yellow using: adsorption, kinetic and thermodynamic parameters. *Journal of Encapsulation and Adsorption Science*, 6(3), 71-90. doi:10.4236/jeas.2016.63007
- Wang, Y., Zhang, Y., Zhao, G., Wu, M., Li, M., Li, D., Zhang, Y., & Zhang, Y. (2013). Electrosorptive photocatalytic degradation of highly concentrated *p*-nitroaniline with TiO₂ nanorod-clusters / carbon aerogel electrode under visible light. *Separation and Purification Technology*, 104, 229-237. doi:10.1016/j.seppur.2012.11.009
- Wang, Z., Zhang, H., Li, L., Miao, S., Wu, S., Hao, X., Zhang, W., & Jia, M. (2018). Polyacrylonitrile beads supported Pd-based nanoparticles as superior catalysts for dehydrogenation of formic acid and reduction of organic dyes. *Catalysis Communications*, 114, 51-55. doi:10.1016/j.catcom.2018.06.004
- Wang, W., Dai, G., Yang, H., Liu, X., Chen, X., Meng, Z., & He, Q. (2021). Highly efficient catalytic reduction of 4-nitrophenol and organic dyes by ultrafine palladium nanoparticles anchored on CeO₂ nanorods. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 8242-8252. doi:10.1007/s11356-021-16276-1
- Zhou, P., Dai, Z., Lu, T., Ru, X., Ofori, M. A., Yang, W., Hou, J., & Jin, H. (2022). Degradation of rhodamine B in wastewater by Iron-loaded attapulgite particle heterogeneous fenton catalyst. *Catalysts*, 12(6), 669-688. doi:10.3390/catal12060669



Research Article

A First Countable T_1 Topology as related to Statistical Metric Spaces

Hülya DURU¹, Serkan İLTER^{*2}, Aygül BİLGİN³

¹ Istanbul University, Faculty of Science, Department of Mathematics, 34134 Istanbul, Türkiye

² Istanbul University, Faculty of Science, Department of Mathematics, 34134, Istanbul, Türkiye

³ Haliç University, Faculty of Arts and Science, Department of Mathematics, 34000, Istanbul, Türkiye

Hülya DURU, ORCID No: 0000-0003-0689-460X, Serkan İLTER, ORCID No: 0000-0002-7847-5124,

Aygül BİLGİN, ORCID No: 0000-0001-9074-9207

*Corresponding author e-mail: ilters@istanbul.edu.tr

Article Info

Received: 30.08.2022

Accepted: 19.12.2022

Online April 2023

DOI: [10.53433/yyufbed.1168520](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1168520)

Keywords

Quasi-metric,

Quasi-uniformity,

Statistical metric space

Abstract: In this paper, we study the conditions under which one can obtain a first countable and T_1 topology without the left-continuity and symmetry, which have an important role in the statistical metric space theory.

İstatistiksel Metrik Uzaylarla ilgili Birinci Sayılabilir T_1 Topolojisi

Makale Bilgileri

Geliş: 30.08.2022

Kabul: 19.12.2022

Online Nisan 2023

DOI: [10.53433/yyufbed.1168520](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1168520)

Anahtar Kelimeler

İstatistiksel metrik uzay,

Kuazi-düzensizlik,

Kuazi-metrik

Öz: Bu çalışmada, istatistiksel metrik uzay teorisinde önemli bir rolü olan soldan süreklilik ve simetri koşulları olmadan, hangi koşullar altında, birinci sayılabilir ve T_1 olan bir topoloji elde edilebildiği incelenmiştir.

1. Introduction

The theory of statistical metric space initially was started in 1942 by Menger who introduced statistical metric space while studying about some physical measurements (Menger, 1942). Schweizer and Sklar introduced Menger statistical metric space by using the condition of triangle inequality defined by Menger via t-norm (Schweizer & Sklar, 1960), (Schweizer et al., 1960). In these studies, they defined a different statistical metric space by using triangle functions, instead of t-norm, to obtain the triangle

inequality. Moreover, they proved that it is possible to determine a uniformity in this space under certain conditions. Thus, a topology was defined on a statistical metric space induced by the triangle functions.

Let X be a nonempty set. First of all, we state some basic notions of statistical metric spaces. Recall that a function F , defined on extended real numbers, is called a distribution function, if it is monotone increasing and $F(-\infty) = 0, F(+\infty) = 1$.

A distribution function is called a distance function if $F(0) = 0$. For example, the unit step function μ_θ , defined by,

$$\mu_\theta(t) = \begin{cases} 0, & \text{if } t \leq \theta \\ 1, & \text{if } t > \theta \end{cases} \quad (1)$$

where θ is any real number, is a left-continuous distance function. The collection of all distance and all left-continuous distance functions is denoted by Δ^+ and Δ_L^+ respectively.

Definition 1.1 A function $\varepsilon : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ is called a t-norm if the following are satisfied

- (i) $\varepsilon(\varepsilon(c, d), e) = \varepsilon(c, \varepsilon(d, e))$
- (ii) $\varepsilon(c, d) = \varepsilon(d, c)$
- (iii) $\varepsilon(c, d) \leq \varepsilon(e, f)$ whenever $c \leq e$ and $d \leq f$
- (iv) $\varepsilon(c, 1) = c$

for all $c, d, e, f \in [0,1]$.

Example 1.1 The following are t-norms: $\varepsilon_{\min}(c, d) = \min\{c, d\}$, $\varepsilon_{\max}(c, d) = \max\{c + d - 1, 0\}$ and $\varepsilon^*(c, d) = c \cdot d$, for $c, d \in [0,1]$.

Definition 1.2 Let $F : X \times X \rightarrow \Delta_L^+$ be a function and t a t-norm. By F_{cd} , we will denote the value F at the point (c, d) . Consider the following conditions, for $c, d, e \in X$ and $r, s > 0$,

- (S1) $F_{cd} = \mu_0$ if and only if $c = d$
- (S2) $F_{cd} = F_{dc}$
- (S3) $F_{ce}(r + s) = 1$ whenever $F_{cd}(r) = 1$ and $F_{de}(s) = 1$
- (S4) $F_{cd}(r + s) \geq t(F_{ce}(r), F_{ed}(s))$.

The couple (X, F) provided that the conditions (S1), (S2) and (S3) is called Statistical metric space. Satisfying (S1), (S2) and (S4), the triple (X, F, t) is called Statistical Menger space.

It is proved by Schweizer et al. (1960) that a statistical metric space is metrizable if

$$\sup_{a < 1} t(a, a) = 1. \quad (2)$$

Definition 1.3 A positive real valued function ξ , defined on $X \times X$ is called quasi-metric if $\xi(c, c) = 0$ and $\xi(c, e) \leq \xi(c, d) + \xi(d, e)$, for $c, d, e \in X$. We say that X is quasi-metrizable if the collection $\{B_\varepsilon(c) : \varepsilon > 0\}$ is a local basis at each point $c \in X$, here $B_\varepsilon(c) = \{d \in X : \xi(c, d) < \varepsilon\}$ where ξ is a quasi-metric.

Let us show that the collection of all subsets of X by 2^X and the diagonal set by Δ . Let $A, B \in 2^{X \times X}$. By A^{-1} and $A \circ B$, it is shown that the set of all points (c, d) provided that $(d, c) \in A$ and that the set of all points (c, e) such that there exists $d \in X$ satisfying $(c, d) \in B$ and $(d, e) \in A$, respectively. Recall that a sub-family \mathcal{U} of $2^X \setminus \{\emptyset\}$ is called a filter on X if the intersection of two elements of it belongs to \mathcal{U} and if $A \subseteq X, U \in \mathcal{U}$ with $U \subseteq A$, then $A \in \mathcal{U}$.

Definition 1.4 A filter S on $X \times X$ is said to be a quasi-uniformity if the following are satisfied

- (i) $\Delta \subseteq C$ for all $C \in S$

(ii) For each $C \in S$, there exists $D \in S$ such that $D \circ D \subseteq C$.

If there exists a quasi-uniformity on X , then X is called a quasi-uniform space.

Each quasi-uniformity generates a topology and this topology is more interesting than the topology generated by a uniformity which is always regular and T_1 . But the topology generated by a quasi-uniformity is T_1 if and only if the intersection of all members is the diagonal set and it is not regular. The existence of a quasi-uniformity for a given topology was first proved in (Krishnan, 1955) then in (Császár, 1960). The direct topological proof was given in (Pervin, 1962).

Recall that a sub-collection \mathfrak{B} of a given quasi-uniformity S is said to be a basis for S , if each element of S contains at least one element of \mathfrak{B} .

Theorem 1.1 There exists a quasi-uniformity having a sub-collection \mathfrak{B} of $2^{X \times X}$ as a basis if and only if the following are satisfied

- (i) Each element of \mathfrak{B} contains the diagonal
- (ii) For each $C \in \mathfrak{B}$ there exists $D \in \mathfrak{B}$ such that $D \circ D \subseteq C$
- (iii) For any $D_1, D_2 \in \mathfrak{B}$, there exists $D_3 \in \mathfrak{B}$ such that $D_3 \subseteq D_1 \cap D_2$.

Our main goal is to obtain a first countable T_1 topology generated by a quasi-uniformity induced by a triple (X, F, t) under weaker conditions on F , which is not left continuous, than the conditions (S_i) for $i = 1, 2, 3, 4$ given in Definition 1.2.

For the terminology of quasi-uniform spaces, not explained or proved in this paper, we refer to (Kelley, 1975; Fletcher & William, 1982) and for probabilistic metric spaces theory we refer to (Schweizer & Sklar, 1983).

2. Material and Methods

The notions we used in the following results defined in (Schweizer et al., 1960) and (Shi-sheng, 1988). Moreover, a detailed review of quasi-uniformity and statistical metric space can be found in (Bilgin, 2021).

3. Results

For a nonempty set X , consider the function $F : X \times X \rightarrow \Delta^+$ (not necessarily left-continuous) and a t-norm t with $t \geq \varepsilon_{\max}$. Define the set for $\lambda > 0$, $U_\lambda = \{(x, y) \in X \times X : F_{xy}(\lambda) > 1 - \lambda\}$ and the function $\omega : X \times X \rightarrow [0, \infty[$, for $d, e \in X$, by

$$\omega(d, e) = \sup\{\alpha \in \mathbb{R} : (d, e) \notin U_\alpha\}. \tag{3}$$

We first remark the following trivial proposition.

Proposition 3.1 Let F , U_λ and ω be as above, where $\lambda > 0$ any real number. Then, for any all $d, e \in X$ and α, β positive real numbers, the following are satisfied

- (i) $(d, e) \in U_\lambda \implies \omega(d, e) \leq \lambda$
- (ii) $\omega(d, e) < \lambda \implies (d, e) \in U_\lambda$
- (iii) $U_\alpha \subseteq U_\beta$ for $\alpha \leq \beta$.

We will refer to the following conditions: for any $c, d, e \in X$,

- (Q1) If $c = d$ then $F_{cd} = \mu_0$
- (Q2) $F_{ce}(r + s) \geq t(F_{cd}(r), F_{de}(s))$ for $r, s > 0$
- (Q3) If $F_{cd} = \mu_0$. then $c = d$.

Proposition 3.2 Let α, β be positive real numbers. If (Q2) is satisfied, then $U_\alpha \circ U_\beta \subseteq U_{\alpha+\beta}$

Proof Let $(c, d) \in U_\alpha \circ U_\beta$. Then there exists $e \in X$ satisfying $(c, e) \in U_\beta$ and $(e, d) \in U_\alpha$. As $t \geq \varepsilon_{\max}$, the condition (Q2) implies that $F_{cd}(\beta + \alpha) \geq F_{ce}(\beta) + F_{ed}(\alpha) - 1 > 1 - (\alpha + \beta)$. By definition, $(c, d) \in U_{\alpha+\beta}$.

Proposition 3.3 The function ω , defined as above, satisfies the triangle inequality if (Q2) holds.

Proof Let $c, d, e \in X$ and $\lambda > 0$. By Proposition 3.1(ii), we get

$$(c, e) \in U_{\omega(c,e)+\frac{\lambda}{4}} \text{ and } (e, d) \in U_{\omega(e,d)+\frac{\lambda}{4}} \tag{4}$$

Hence $(c, d) \in U_{\omega(e,d)+\frac{\lambda}{4}} \circ U_{\omega(c,e)+\frac{\lambda}{4}}$.

By Proposition 3.2, we get $(c, d) \in U_{\omega(c,e)+\omega(e,d)+\frac{\lambda}{2}}$ and by Proposition 3.1(i) we conclude that

$$\omega(c, d) \leq \omega(c, e) + \omega(e, d) + \frac{\lambda}{2} \text{ for all } \lambda > 0. \tag{5}$$

Thus $\omega(c, d) \leq \omega(c, e) + \omega(e, d)$.

Proposition 3.4 Suppose that the condition (Q1) holds. Then $\omega(c, c) = 0$, where ω defined as above.

Proof Let $\lambda > 0$ and $c \in X$. As $F_{cc}(\frac{\lambda}{2}) = \mu_0(\frac{\lambda}{2}) = 1 > 1 - \frac{\lambda}{2}$ under the hypothesis, we have $(c, c) \in U_{\lambda/2}$. It follows from Proposition 3.1(i) that $\omega(c, c) < \lambda$. Thus $\omega(c, c) = 0$.

Now it follows from Proposition 3.3 and 3.4 that the following corollary.

Corollary 3.1 The function ω , defined as above, is a quasi-metric on X if the conditions (Q1) and (Q2) are satisfied.

Theorem 3.1 X is quasi-uniformizable under the conditions (Q1) and (Q2).

Proof We will prove that there exists a quasi-uniformity on X having the collection $\mathfrak{U} = \{U_\gamma : \gamma > 0\}$ as a basis. Let us prove that \mathfrak{U} satisfies the conditions of Theorem 1.1. Indeed, let $\gamma > 0$. By Proposition 3.4, $\Delta \subseteq U_\gamma$, by Proposition 3.2 $U_{\gamma/2} \circ U_{\gamma/2} \subseteq U_\gamma$, and by Proposition 3.1(iii) $U_{\min\{\alpha,\beta\}} \subseteq U_\alpha \cap U_\beta$ for each $\alpha, \beta > 0$. Thus for each $c \in X$, the collection $\mathfrak{U}(c) = \{U_\gamma(c) : \gamma > 0\}$ is a local basis at c , where $U_\gamma(c) = \{d \in X : (c, d) \in U_\gamma\}$. We also remark that the collection $\mathfrak{B}(c) = \{B_\varepsilon(c) : \varepsilon > 0\}$ is a local basis at c , where $B_\varepsilon(c)$ is the set defined in Definition 1.3 by using the quasi-metric $\omega(c, d) = \sup \{\alpha \in \mathbb{R} : (c, d) \notin U_\alpha\}$. Indeed, Proposition 3.1(i) and (ii) imply that $U_{\varepsilon/2}(c) \subseteq B_\varepsilon(c)$ and $B_\varepsilon(c) \subseteq U_\varepsilon(c)$, respectively.

Corollary 3.2 Let (X, F, t) be the triple satisfying the conditions (Q1), (Q2) and (Q3). Then there exists a first countable T_1 topology on X .

Proof It follows from Theorem 3.1 that there exists a quasi-uniformity on X . Thus there exists a topology τ on X induced by this quasi-uniformity. This topology is first countable since the family $(B_{1/n}(c))_{n \in \mathbb{N}}$ is a countable local basis at each $c \in X$ as we proved in Theorem 3.1. To prove τ is T_1 , it is enough to show that the inclusion $\cap\{U_\lambda : \lambda > 0\} \subseteq \tau$ holds as the converse inclusion holds by Proposition 3.4. Let $(c, d) \in U_\lambda$ for all $\lambda > 0$. Then

$$F_{cd}(\lambda) \geq F_{cd}\left(\frac{1}{m}\right) \geq F_{cd}\left(\frac{1}{n}\right) \text{ for all } n \geq m \tag{6}$$

where $\frac{1}{m} < \lambda$. Hence $F_{cd} = \mu_0$. Taking into account the condition (Q3), we conclude that $(c, d) \in \Delta$.

4. Discussion and Conclusion

Our discussion answers the question as to under what conditions related to statistical metric spaces a set can be topologized as a first countable and T_1 . In this regard, we determined three conditions and showed that the left-continuity and symmetry, in the sense of statistical metric space, are not necessary conditions.

References

- Bilgin, A. (2021). *Olasılıksal metrik uzaylar ile kuazi-düzgün uzaylar arasındaki bazı ilişkiler*. (MS), Istanbul University, Institute of Science Istanbul, Turkey.
- Császár, Á. (1960). *Fondements de la Topologie Générale*. Budapest, Hungary: Akadémiai Kiadó.
- Fletcher, P. & William F. L. (1982). *Lecture notes in pure and applied mathematics quasi-uniform Spaces*. New York, USA: CRC Press. doi:10.1201/9780203741443
- Kelley, J. L. (1975). *General Topology*. New York, USA: Springer-Verlag.
- Krishnan, V. S. (1955). A note on semi-uniform spaces. *Journal of Madras University Section B*, 25, 123-124.
- Menger, K. (1942). Statistical metrics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 28(12), 535-537. doi:10.1073/pnas.28.12.535
- Pervin W.J., (1962). Quasi-uniformization of topological Spaces. *Mathematische Annalen*, 147, 316-317.
- Schweizer, B. & Sklar, A. (1960). Statistical metric spaces. *Pacific Journal of Mathematics*, 10(4), 313-334.
- Schweizer, B., Sklar, A., & Thorp, E. (1960). The metrization of statistical metric spaces. *Pacific Journal of Mathematics*, 10(4), 673 - 675.
- Schweizer, B., & Sklar, A. (1983). *Probabilistic Metric Spaces*. New York, USA: Elsevier Science Publishing Co., Inc.
- Shi-sheng, Z. (1988). Basic theory and applications of probabilistic metric spaces (I). *Applied Mathematics and Mechanics*, 9, 123–133. doi:10.1007/BF02456008



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Yapraktan Amino Asit Uygulamalarının Bazı Şeker Pancarı (*Beta vulgaris* var. *saccharifera* L.) Çeşitlerinin Verim ve Kalitesine Etkileri

Arif ŞANLI*, Fatma Zehra OK, Sabri ERBAŞ

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, 32000, Isparta, Türkiye
Arif ŞANLI, ORCID No: 0000-0002-5443-2082, Fatma Zehra OK, ORCID No: 0000-0002-0199-572X,
Sabri ERBAŞ, ORCID No: 0000-0003-0691-6127

*Sorumlu yazar e-posta: arifsanli@isparta.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 13.10.2022
Kabul: 22.12.2022
Online Nisan 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1188512

Anahtar Kelimeler

Amino asit,
Beta vulgaris var.
saccharifera L.,
Kök gövde verimi,
Polar şeker,
Şeker pancarı

Öz: Bu çalışma, farklı zamanlardan yapılan amino asit uygulamalarının şeker pancarı çeşitlerinde kök gövde verimi ile bazı kalite özelliklerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla 2018-2019 yıllarında yürütülmüştür. Çalışmada Danicia, Terranova, Indira, Ortega, Smart Djerba ve Ernestina çeşitleri materyal olarak kullanılmıştır. Araştırmada bitkisel kökenli amino asit (%26 amino asit) şeker pancarı yapraklarına 200 ml/da dozunda 3 farklı dönemde (çıkışlarda 30, 45 ve 60 gün sonra) uygulanmıştır. Şeker pancarı çeşitlerinin amino asit uygulamalarına tepkileri uygulama dönemlerine göre önemli farklılık göstermiştir. Çeşitlerin kök gövde verimleri uygulama dönemlerine bağlı olarak 6680-9745 kg/da, polar şeker oranları %14.5-18.6, briks değerleri %16.2-23.0, α -amino azot içerikleri 2.33-4.80 mg/100g, ham şeker verimleri ise 970-1808 kg/da arasında değişim göstermiştir. Amino asit uygulamaları ile çeşitlerin kök gövde ve ham şeker verimlerinde sırası ile yaklaşık %7.1-10.6 ve %6.5-12.4 arasında artış meydana gelmiştir. Çalışmada bitkisel kökenli amino asitlerin şeker pancarı tarımında özellikle herbisit ve sıcaklık streslerine karşı toleransın artırılmasına kullanılabileceği ve amino asit uygulamaları ile birim alan kök gövde ve şeker üretiminin artırılabilceği, bununla birlikte uygulama dönemlerinin gerek çeşit özelliği gerekse bölgenin ekolojik koşulları dikkate alınarak seçilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Effects of Foliar Amino Acid Applications on Yield and Quality of Sugar Beet (*Beta vulgaris* var. *saccharifera* L.) Cultivars

Article Info

Received: 13.10.2022
Accepted: 22.12.2022
Online April 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1188512

Keywords

Amino acid,
Beta vulgaris var.
saccharifera L.,
Polar sugar,
Root yield,
Sugar beet

This study was carried out in 2018-2019 to determine the effects of foliar amino acid applications made at different times on root yield and some quality characteristics of sugar beet cultivars. In the study, Danicia, Terranova, Indira, Orthega, Smart Djerba and Ernestina varieties were used as materials. In the study, plant origin amino acid (26% amino acid) was applied to sugar beet leaves in 3 different periods (30, 45 and 60 days after emergence). The reactions of sugar beet cultivars to amino acid applications differed significantly according to the application periods. Depending on the application period, the root yields of the cultivars varied between 6680-9745 kg/da, polar sugar ratios between 14.5-18.6%, brix values between 16.2-23.0%, α -amino nitrogen contents between 2.33-4.80 mg/100g, and raw sugar yields between 970-1808 kg/da. With the amino acid applications, an increase of approximately 7.1-10.6% and 6.5-12.4% occurred in the root and raw sugar yields of the cultivars, respectively. In the study, it was concluded that plant-based amino acids can be used in sugar beet agriculture, especially to increase tolerance to herbicides and heat stresses, and

the production of root and sugar per unit area can be increased with amino acid applications, however, application periods should be chosen considering both the cultivar characteristics and the ecological conditions of the region.

1. Giriş

Şeker pancarı, birçok sanayi koluna ham madde sağlayan ve önemli stratejik ürünlerin başında gelmektedir. Türkiye’de 2021 yılında yaklaşık 305 bin hektar alanda, 17.8 milyon ton şeker pancarı ve 2.5 milyon ton şeker üretimi yapılmıştır (Anonim, 2021). Şeker pancarında çeşit, ekolojik faktörler ve agronomik uygulamalar kök verimi ve şeker üretimini önemli derecede etkileyen faktörler olarak sıralanabilir (Ok ve ark., 2022). Bunun yanı sıra, yetiştirme devresindeki hastalık ve zararlı durumu, düşük ve yüksek sıcaklık, kuraklık ve tuz stresi gibi biyotik ve abiyotik stres faktörleri de kök verimi ve kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir (Ober & Rajabi, 2011).

Abiyotik stresler, bitkisel üretimde gerçekleşen ürün kayıplarının temel nedeni olup, çoğu tarla bitkisinde ortalama verimin %50’den fazla azalmasına neden olmaktadır (Bray ve ark., 2000). Abiyotik stres koşulları altında reaktif oksijen türlerinin sentezinden sorumlu antioksidanların oluşumu bitkilerin strese toleransın artırılmasında gösterdikleri önemli tepkiler arasındadır. Bitkilerde özellikle oksidatif stresin olumsuz etkisinin azaltılmasında antioksidan aktivitenin artırılması son derece önemlidir. Bitki biyostimülanları; solunum, fotosentez, nükleik asit sentezi ve iyon alımı gibi çeşitli metabolik süreçleri etkileyen ve küçük miktarlarda uygulandığında bitki büyümesini ve gelişimini iyileştiren organik ya da inorganik maddelerdir (Castro & Vieira, 2001). Biyostimülan uygulamaları, bitkilerin bitki büyüme ve gelişmesini teşvik ederek abiyotik stres faktörlerine toleransların artırılmasında etkili yöntemlerden birisi olarak görülmektedir. Hümik-fülvik asitler, deniz yosunu, bitki ekstraktları, hidrolize proteinler, kitin- kitozan benzeri polimerler, amino asitler ve mikroorganizmalar günümüzde biyostimülan aktiviteye sahip maddeler olarak sınıflandırılmaktadır (Du Jardin, 2015). Bitkisel kökenli amino asitlerin içeriğinde 20 yapısal amino asit bulunmakta olup, glutamat, histidin, prolin ve glisin betain gibi protein yapısında olmayan amino asitlerin bitkilere uygulanmaları ile abiyotik strese toleransı arttırdıkları belirtilmektedir (Sharma & Dietz, 2006; Forde & Lea, 2007; Vranova ve ark., 2011). Spesifik amino asit bileşiklerine sahip biyostimülanlar, azot asimilasyonuna katkıda bulunan düzenleyici enzimler ve bunların yapısal genlerini kullanarak azotun yakalanmasını ve asimilasyonunu modüle ederek köklerden azot alımının sinyal yollarını etkilemektedir (Colla ve ark., 2014). Amino asit bileşiklerine dayalı bazı biyostimülanlar ayrıca bitkiyi ağır metallerin olumsuz etkilerinden koruyan, aynı zamanda mikro besinlerin taşınımına ve alımına katkıda bulunan şelat etkisine sahiptirler (Du Jardin, 2015).

Besin maddeleri ile üretimin kullanılabilirliğini, biyotik- abiyotik strese toleransı artırmak için biyostimülanlar ve çeşitli biyoaktif maddeler içeren ekstraktlar tarımda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, bitki gelişimini teşvik edici özellikleri daha önceki çalışmalar ile ortaya konmuş bitkisel amino asitlerin farklı şeker pancarı çeşitlerinde kök gövde verimi ve kalitesine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Çalışma, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme alanlarında 2018-2019 yıllarında yürütülmüştür. Çalışmada Danicia, Terranova, İndira, Ortega, Smart Djerba ve Ernestina çeşitleri ile bitkisel kökenli amino asit (%26 amino asit) materyal olarak kullanılmıştır.

2.2. Araştırma yerinin iklim ve toprak özellikleri

Denemelerin yürütüldüğü toprak; tekstür bakımından tınlı, pH 8.1, toplam tuz içeriği %0.022 ve kation değişim kapasitesi %32, kireççe zengin (%25.1), organik madde miktarı bakımından fakir (%1.35) (Walcley-Black metoduna göre), alınabilir fosfor (28.2 mg/kg P₂O₅) bakımından fakir, değişebilir potasyum bakımından zengin (239 mg/kg KO₂) ve toplam azot miktarı (%0.52) düşük bir topraktır. Araştırmanın yürütüldüğü Mayıs-Eylül aylarına ait toplam yağış miktarı 2018 ve 2019 yıllarında (sırası ile 125 mm ve 152 mm) uzun yıllar ortalamasından (111.5 mm) yüksek olarak

gerçekleşmiştir. Aynı dönemde ortalama sıcaklık değeri 2018 ve 2019 yıllarında sırası ile 20.9 ve 21.2 °C uzun yıllar sıcaklık ortalamasına (20.7 °C) yakın gerçekleşmiştir.

2.3. Yöntem

Denemeler, her iki yılda da Tesadüf Bloklarında Bölünmüş Parseller Deneme Desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Araştırmada şeker pancarı çeşitleri ana parsellere, amino asit uygulamaları alt parsellere yerleştirilmiştir. Ekimler, her iki yılda da Nisan ayının son haftasında 50 cm sıra arası ve 10 cm sıra üzeri olacak şekilde el ile yapılmıştır. Çalışmada parseller 6 m uzunluğunda ve 5 sıradan oluşturulmuştur. Ekimle birlikte 40 kg/da Süper Pancar (N:13-P:18-K:15-S:10) ve 18 kg/da amonyum sülfat (%21 N) gübrelere, ilk çapalama döneminde ise 20 kg/da üre (%46 N) gübresi uygulanarak toplamda 18-7-6 kg/da N-P-K olacak şekilde gübreleme yapılmıştır. Toprak neminin %50'nin altına düştüğünde yağmurlama sulama yöntemi ile sulama yapılmıştır. Çıktıların tamamlanmasından sonra bitkiler sıra üzeri 20 cm olacak şekilde seyreltilmiştir. Yabancı ot mücadelesi için bitkilerin 4-6 yapraklı olduğu dönemde Betanal maxxPro (47 g/L Desmedipham + 75 g/L Ethofumesate + 27 g/L Lenacil + 60 g/L Phenmedipham, Bayer CropScience AG) herbisiti uygulanmış, vejetasyon dönemi içerisinde ise 2 kez el ile yabancı ot mücadelesi yapılmıştır. Bitkisel kökenli amino asit (%50 organik madde, %18 organik karbon, %4.5 organik azot, %2 K₂O, %26 serbest aminoasit, pH 4-6) 200 ml/da dozunda şeker pancarı yapraklarına çıktılardan sonra 30, 45 ve 60 gün sonra olmak üzere 3 farklı dönemde sırt pülverizatörü ile (40 L/da) uygulanmış, herhangi bir uygulama yapılmayan parseller kontrol olarak değerlendirilmiştir.

Hasat işlemi için her parselin kenarlarından 1'er sıra, parsel baş ve sonlarından 1'er metre kenar tesiri olarak ayrılacak, geriye kalan alan (12 m² (6 m x 2 m)) ise hasat parseli olarak değerlendirilmiştir. Hasat her iki yılda da Ekim ayının son haftasında gerçekleştirilmiştir. Hasat edilen şeker pancarlarında polar şeker ve α -amino azot analizleri ICUMSA analiz metodlarına göre yapılmış, polar şeker oranı soğuk digestiyon metoduna göre polarimetrik yöntemle (Kavas & Leblebici, 2004), α - amino azot içeriği ise bluenumber metoduna göre (ICUMSA, 2007) spektrofotometrik yöntemle belirlenmiştir. Kök gövde brix değerleri, pancar usaresinin 20 °C sıcaklıkta dijital refraktometrede okunmasıyla % kuru madde olarak belirlenmiştir (Kavas & Leblebici, 2004).

2.4. Verilerin istatistiksel analizi

Denemelerden elde edilen veriler SAS (2009) paket programında tesadüf bloklarında bölünmüş parseller deneme planına göre GLM prosedürü kullanılarak standart varyans analiz tekniğinde (ANOVA) analiz edilmiş, ortalamalar arasındaki farklılıklar LSD çoklu karşılaştırma testine göre belirlenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmadan elde edilen veriler ile yapılan varyans analizinde yıl etkilerinin önemli bulunmadığı görülmüştür. Bu nedenle, incelenen parametrelere ilişkin veriler iki yıllık ortalama veriler kullanılarak açıklanmıştır.

3.1. Kök gövde verimi (kg/da)

Şeker pancarında kök gövde verimi üzerine çeşitlerin ve uygulama dönemlerinin etkileri ile çeşit x uygulama dönemi etkisi istatistiksel anlamda önemli ($p < 0.01$) bulunmuştur. Araştırmada, en yüksek ortalama kök gövde verimi Smart Djerba çeşidinden (9745 kg/da) elde edilirken, en düşük ortalama kök gövde verimi İndira çeşidinde (6680 kg/da) belirlenmiştir (Çizelge 1). Amino asit uygulama dönemleri dikkate alındığında, en yüksek ortalama kök gövde verimleri 60. gün yapılan uygulamalardan (8563 kg/da), en düşük verimler ise kontrol gruplarından (7965 kg/da) elde edilmiştir (Çizelge 1). Çeşitlerin amino asit uygulama dönemlerine tepkileri farklı olmuş, en yüksek kök gövde verimleri Smart Djerba, Ortega, Danicia ve Ernestina çeşitlerinde çıktılardan 60 gün sonra yapılan uygulamalarda, Terranova çeşidinde 45 ve 60, İndira çeşidinde ise 30 gün sonra yapılan uygulamalardan elde edilmiştir. Danicia ve Ortega çeşitlerinde 45 gün sonra, Ernestina çeşidinde 30,

Terranowa ve Smart Djerba çeşitlerinde ise 30 ve 45 gün sonra yapılan uygulamalar kök gövde verimi üzerine herhangi bir etki göstermemiştir (Çizelge 1). Çıkışlardan 60 gün sonra yapılan amino asit uygulamaları ile birlikte kontrole göre en fazla verim artışı sırası ile %9.8 ile Danicia ve %9.3 ile Ernestina çeşitlerinde meydana gelmiştir. İndira çeşidinde ise 30 gün sonra yapılan uygulamalar kök gövde verimini kontrole göre yaklaşık %9.1 arttırmıştır. Çalışmada amino asit uygulamaları ile şeker pancarı çeşitlerinde kök verimlerinin yaklaşık %7-10 arasında artış gösterdiği ve çeşitlerin amino asit uygulamalarına farklı tepkiler verdiği anlaşılmıştır. Amino asit uygulamaları ile kök gövde veriminde gerçekleşen artışların amino asitlerin farklı biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı bitki savunma mekanizmasını güçlendirmelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Amino asitlerin stresten önce, stres sırasında ve sonrasında uygulanmaları ile stresten kaynaklanan problemleri önleme etkilerinin olduğu ve stresin olumsuz etkilerini azalttığı bazı araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (El-Samad ve ark., 2011; Denli & Arabacı, 2014; Shan ve ark., 2018). Çeşitlerin amino asit uygulama dönemlerine farklı tepki göstermeleri muhtemelen genetik yapılarından kaynaklanmaktadır. Çalışmada herbisit uygulaması yapıldıktan 2 gün sonra ilk amino asit uygulamaları yapılmıştır. Herbisitlerin uygulama dönemi, dozu ve iklim durumuna bağlı olarak şeker pancarı bitkilerinde farklı düzeylerde stres oluşturdukları ve yaklaşık %15 verim kaybına neden olabildikleri bildirilmiştir (Wilson ve ark., 2002; Roeb ve ark., 2015). Çalışmada, Danicia, İndira ve Ortega çeşitlerinde 30 gün sonra yapılan amino asit uygulamaları ile kök gövde verimlerinde önemli artışlar meydana gelirken, 45 gün sonra yapılan uygulamaların herhangi bir etki göstermemesi, bu çeşitlerin muhtemelen herbisit stresine maruz kalmaları ve amino asit uygulamalarının stresin olumsuz etkisini ortadan kaldırması ile açıklanabilir. Hemen hemen tüm çeşitlerde de en yüksek verimler 60 gün sonra yapılan amino asit uygulamalarından elde edilmiştir. Bu durumun amino asitlerin biyostimülatif etkilerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Amino asitler, uygulandıkları bitkilerde topraktan azot alımını arttırmakta (Colla ve ark., 2014), bitkiyi ağır metallerin olumsuz etkilerinden korumakta ve mikro besinlerin taşınımına ve alımına katkıda bulunan şelat etkisi göstermektedir (Du Jardin, 2015). Bunun yanı sıra, amino asit uygulamalarının bitkilerin sıcaklık ve kuraklık gibi abiyotik stres faktörlerine karşı toleransını arttırmak suretiyle kök gövde verimi ile kalite parametrelerini olumlu yönde etkilediği düşünülmektedir. Nitekim, 60 gün sonraki uygulamalar hava sıcaklıklarının arttığı Temmuz ayının son haftasında yapılmış olup bu dönem, hem bitkilerin yaprak ve kök gelişimlerinin hızlı olduğu hem de sıcaklık ve beraberinde kuraklık stresinin başladığı dönemdir. Amino asitler de dahil olmak üzere biyostimülant uygulamaları ile şeker pancarında kök gövde ve şeker veriminin arttığı bazı araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Noshad ve ark., 2015; El-Gamal ve ark., 2016)

3.2. Polar şeker oranı (%)

Çeşitlerin polar şeker içerikleri arasındaki farklılıklar istatistiksel anlamda önemli bulunmuş, en yüksek polar şeker içeriği Smart Djerba çeşidinde (%18.6), en düşük ise İndira çeşidinde (%14.5) belirlenmiştir (Çizelge 1). Amino asit uygulama dönemleri polar şeker içeriği üzerine önemli derecede etki göstermiş, en yüksek polar şeker oranı 60. gün yapılan uygulamalardan (%17.2) elde edilirken, diğer dönemlerde yapılan amino asit uygulamalarının polar şeker oranına etkileri kontrol ile benzer olmuştur (Çizelge 1). Çeşitlerin amino asit uygulama dönemlerine tepkileri arasında da önemli farklılıklar tespit edilmiş, Danicia ve Ernestina çeşitlerinde 60 gün sonra, Smart Djerba çeşidinde ise 45 ve 60 gün sonra yapılan amino asit uygulamaları uygulama yapılmayan bitkilere göre polar şeker oranını önemli derecede arttırmış, diğer tüm çeşitlerde amino asit uygulamalarının polar şeker içeriğine etkileri önemsiz olmuştur (Çizelge 1). Çeşit, toprak, iklim koşulları ve kültürel uygulamalar ile vejetasyon devresinde oluşan hastalık-zararlı durumu ile sıcaklık ve kuraklık stresi şeker pancarı kalitesini ve sükröz birikimini etkileyen önemli faktörlerdir (Leilah ve ark., 2005). Kök gövdede depolanan sükröz, gerek idame respirasyonu gerekse farklı sebeplerden dolayı meydana gelen (hastalık ve zararlı durumu ya da yaralanma gibi) hasarların onarılmasında gerekli enerjinin karşılanması için glikoz ve fruktoza dönüşmektedir (Sonnewald, 2001). Araştırmada kullanılan çeşitlerin polar şeker içerikleri arasındaki farklılıkların çeşitlerin genetik özellikleri ve çalışmanın yürütüldüğü ekolojiye adaptasyonlarının farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çalışmada sadece çıkışlardan 60 gün sonra yapılan amino asit uygulamalarında polar şeker içeriklerinin daha yüksek olması, bu uygulamaların özellikle sıcaklıktan kaynaklanan stresin olumsuz etkilerini azaltmasından kaynaklanmış olabilir. Şanlı ve ark. (2015), biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı bitkilerde savunma mekanizması oluşturduğu bilinen

glycine betaine bakımından zengin olan şeker pancarı melasının şeker pancarında kök ve şeker verimini arttırdığını bildirmişlerdir. Rasovsky ve ark. (2022), amino asitler de dahil olmak üzere bazı biyostimülant uygulamalarının şeker pancarında şeker oranı ve verimini arttırdığını rapor etmişlerdir. Biyostimülantların stresin olumsuz etkilerini azaltarak ürün miktarı ve kalitesini arttırdığı bazı araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Bulgari ve ark., 2019; Drobek ve ark., 2019; Artyszak & Gozdowski, 2021). Diğer taraftan, amino asit uygulama dönemlerinin bazı çeşitlerde (Danicia ve Ernestina) polar şeker oranına etki göstermesine rağmen bazılarında etkisiz olması, bu çeşitlerin strese toleranslarının farklı olması ile açıklanabilir.

3.3. Ham şeker verimi (kg/da)

Şeker pancarında ham şeker verimi üzerine çeşitlerin ve uygulama dönemlerinin etkileri istatistiki açıdan önemli ($P<0.01$) bulunmuştur. Çalışmada en yüksek ortalama ham şeker verimi Smart Djerba çeşidinden (1808 kg/da), en düşük ise İndira çeşidinden (974 kg/da) elde edilmiştir (Çizelge 1). Amino asit uygulamaları kontrole göre (1333 kg/da) ham şeker verimini önemli derecede arttırmış, en yüksek ham şeker verimi ortalamaları 60 gün sonra yapılan uygulamalardan (1483 kg/da) elde edilmiştir (Çizelge 1). Çeşitlerin amino asit uygulama dönemlerine tepkileri istatistiki anlamda benzer olmakla birlikte, Smart Djerba, Ernestina, Ortega ve Danicia çeşitlerinde en yüksek ham şeker verimleri çıkışlardan 60 gün sonra yapılan uygulamalarda, Terranova çeşidinde ise 45 ve 60 gün sonra yapılan uygulamalarda elde edilmiştir. İndira çeşidinde amino asit uygulamalarının ham şeker verimine etkileri önemsiz olmuştur (Çizelge 1). Çeşitlerin ham şeker verimlerinde amino asit uygulamalarına bağlı olarak ortaya çıkan farklılıklar her iki faktörün de kök gövde verimi ve polar şeker içeriğine etkilerinden kaynaklanmıştır. Uygulamalara bağlı olarak kök gövde verimi ve polar şeker içeriği yüksek olan çeşitlerin aynı zamanda ham şeker verimleri de yüksek olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen bulgular, şeker pancarında biyostimülant uygulamaları ile ham şeker veriminin arttırdığını bildiren araştırmacıların bulguları ile uyum göstermektedir (Noshad ve ark., 2015; El-Gamal ve ark., 2016; Abd El-Lateef ve ark., 2020).

3.4. Brix (%)

Kök gövde brix değerinde meydana gelen değişimler şeker pancarı çeşitlerine ve yapılan amino asit uygulamalarına bağlı olarak önemli farklılıklar göstermiştir. Çalışmada, Smart Djerba çeşidi en yüksek (%23.0) ortalama brix değerine sahip olurken, bunu aynı istatistiki grupta bulunan Ernestina (%20.9), Danicia (%20.6) ve Ortega (%20.0) çeşitleri takip etmiştir. En düşük brix değerleri %16.2 ile İndira çeşidinde belirlenmiştir (Çizelge 1). Çıkışlardan 60 gün sonra yapılan amino asit uygulamalarında ortalama brix değerleri kontrol ve diğer uygulama dönemlerine göre daha yüksek olarak bulunmuştur (Çizelge 1). Çeşitlerin amino asit uygulama dönemlerine tepkileri istatistiki anlamda farklı olmuş, kontrol ile karşılaştırıldığında Danicia ve Ernestina çeşitlerinde 60 gün, Smart Djerba çeşidinde ise 45 ve 60 gün sonra yapılan amino asit uygulamalarında ortalama brix değerleri daha yüksek olmuştur (Çizelge 1). Diğer çeşitlerde amino asit uygulamaları brix değeri üzerine herhangi bir etki göstermemiştir. Amino asit uygulamalarına bağlı olarak pancar kök gövdelerinin briks değerlerindeki değişimler polar şeker oranındaki değişimlere paralellik göstermiştir. Briks, suda çözünen kuru madde miktarını ifade etmekte olup, kök gövdede kuru madde miktarı arttıkça hem polar şeker hem de briks değerleri artmaktadır. Nitekim çalışmada da polar şeker oranında olduğu gibi en yüksek briks değerleri Smart Djerba çeşidinde ve 60 gün sonra yapılan uygulamalardan elde edilmiştir.

Çizelge 1. Farklı dönemlerde yapılan amino asit uygulamalarının şeker pancarı çeşitlerinde verim ve bazı kalite özelliklerine etkileri

Çeşitler	Uygulama Dönemi (gün)	Kök Gövde Verimi (kg/da)	Polar Şeker Oranı (%)	Ham Şeker Verimi (kg/da)	Brix (%)	α -Amino Azot (mg/100 g)
Danicia	30	8008	17.1	1372	20.6	3.51
	45	7762	16.7	1297	19.8	3.45
	60	8362	17.9	1493	21.8	2.80
	KONT.	7611	17.0	1291	20.2	3.76
Terranowa	30	7897	16.2	1281	18.8	3.20
	45	8170	16.5	1354	19.5	3.48
	60	8443	16.7	1408	19.7	2.84
	KONT.	7884	16.3	1286	19.1	3.38
İndira	30	6973	14.6	1016	16.1	4.60
	45	6531	14.2	928	15.8	4.78
	60	6707	14.8	992	16.8	5.32
	KONT.	6510	14.4	942	16.0	4.50
Ortega	30	8793	16.7	1465	20.0	3.64
	45	8516	16.8	1432	19.8	3.34
	60	9114	17.2	1567	20.6	2.59
	KONT.	8446	16.7	1407	19.8	3.74
Smart Djerba	30	9483	18.3	1737	22.4	3.78
	45	9720	18.8	1822	23.5	3.90
	60	10231	18.9	1931	23.7	3.40
	KONT.	9546	18.3	1742	22.2	4.10
Ernestina	30	7865	17.4	1364	20.8	2.26
	45	8172	17.2	1401	20.7	2.25
	60	8520	17.7	1509	21.9	2.66
	KONT.	7793	17.1	1332	20.3	2.17
CV (%)		3.17	2.47	4.07	4.43	9.0
LSD _{int} :		265	0.55	77.6	1.05	0.75
F değeri		2.95*	2.31*	1.50	2.05*	4.05**
Çeşitler						
Danicia		7936 c	17.2 b	1364 cd	20.6 b	3.38 c
Terranowa		8098 c	16.4 c	1330 d	19.3 c	3.22 c
İndira		6680 d	14.5 d	970 e	16.2 d	4.80 a
Ortega		8718 b	16.8 c	1468 b	20.0 bc	3.33 c
Smart Djerba		9745 a	18.6 a	1808 a	23.0 a	3.80 b
Ernestina		8087 c	17.3 b	1402 c	20.9 b	2.33 d
F değeri		179.4**	123.9**	271.2**	76.3**	79.6**
Uygulama Dönemi (gün)						
30		8170 b	16.7 b	1373 b	19.8 b	3.50 a
45		8145 b	16.7 b	1372 b	19.9 b	3.53 a
60		8563 a	17.2 a	1483 a	20.8 a	3.27 b
KONT.		7965 c	16.6 b	1333 c	19.6 b	3.60 a
F değeri		16.9**	6.65**	23.5**	6.27**	3.9*

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

3.5. α -Amino azot (mg/100 g)

Çeşitlerin α -amino azot içerikleri arasında belirlenen farklılıklar istatistiksel anlamda önemli (P<0.01) bulunmuş, İndira çeşidi en yüksek (4.80 mg/100 g) ortalama α -amino azot miktarına sahipken, en düşük α -amino azot içeriği Ernestina çeşidinden (2.33 mg/100 g) elde edilmiştir (Çizelge 1).

Çıkışlardan 60 gün sonra yapılan amino asit uygulamalarında ortalama α -amino azot içerikleri diğer uygulamalardan daha düşük olarak tespit edilmiştir. Çeşitlerin farklı dönemlerde yapılan amino asit uygulamalarına tepkileri istatistiki açıdan önemli olmuş, 60 gün sonra yapılan amino asit uygulamaları Danicia (2.80 mg/100 g) ve Ortega (2.59 mg/100 g) çeşitlerine α - amino azot miktarını kontrole göre önemli derecede azaltırken, İndira çeşidinde (5.32 mg/100 g) arttırmış, diğer çeşitlerde amino asit uygulamalarının α -amino azot içeriğine etkileri kontrol ile benzer olmuştur (Çizelge 1). Şeker pancarı köklerinde depolanan şeker dışı maddelerden olan α -amino azot, şekerin kristalizasyonunu engelleyerek şeker randımanını düşürmektedir. α -amino azot, bitkilerin azot stresine girdiği dönemlerde azot ihtiyacının karşılanması için kök gövdede baş kısımda biriktirilmektedir. α -amino azot birikimini etkileyen diğer bir husus ise stres koşulları olup, özellikle sıcaklık ve kuraklık başta olmak üzere çevresel stres koşullarında α -amino azot içeriğinin arttığı ve stres ile α -amino azot arasında doğrusal ve yakın bir ilişki bulunduğu Sadeghian ve ark. (2004) tarafından da bildirilmiştir. Çalışmada bazı çeşitlerde (Danicia ve Orega) çıkışlardan 60 gün sonra yapıla amino asit uygulamaları ile α - amino azot içeriğinin önemli derecede azaldığı görülürken, diğer çeşitlerde önemli bir değişim ortaya çıkmamıştır. Bu durum, amino asit uygulamalarının bahsedilen çeşitlerde sıcaklık ile cercospora ya da külleme gibi hastalık etmenlerinin oluşturmuş olabileceği biyotik ve abiyotik stres şartlarına toleranslarını arttırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Nitekim, biyostimülant uygulamalarının strese toleransı arttırdığı yapılan çalışmalar ile ortaya konmuştur (Bulgari ve ark., 2015; Bulgari ve ark., 2019; Drobek ve ark., 2019). Diğer taraftan, İndira çeşidinde 60 gün sonra yapılan uygulamalar α -amino azot içeriğinin artmasına neden olmuştur. İndira çeşidi fusaryum enfeksiyonuna oldukça hassas bir çeşit olup, çalışmanın yürütüldüğü yıllarda hastalık enfeksiyonu gözlenmiştir. Çeşidin kök gövde verimi ile polar şeker içeriğinin diğer çeşitlerden oldukça düşük olarak belirlenmesi, bu durumu açıklar niteliktedir. Amino asit uygulamaları topraktan azot alımını ve dolayısı ile bitki bünyesindeki azot miktarını arttırmaktadır. İndira çeşidinde alınan azotun hastalık stresinin azaltılmasında kullanılmadığı ve strese bağlı olarak kök gövdelerde depolandığı düşünülmektedir.

4. Sonuç

Çalışmada, şeker pancarı çeşitleri üzerine farklı dönemlerde yapılan amino asit uygulamaları incelenen tüm parametreler üzerine de istatistiki anlamda önemli derecede etki göstermiştir. Amino asit uygulamaları ile kök gövde verimi, polar şeker oranı ve ham şeker verimi kontrole göre önemli derecede artmış, α - amino azot içeriği ise azalmıştır. Amino asit uygulamalarının herbisit zararına hassas olduğu düşünülen İndira çeşidinde çıkışlardan 30 gün sonra, diğer çeşitlerde ise özellikle sıcaklık stresine toleransın arttırılması için 60 gün sonra yapılmasının daha iyi sonuç verdiği anlaşılmıştır. Amino asitlerin şeker pancarı tarımında özellikle herbisit ve sıcaklık streslerine karşı toleransın arttırılmasına kullanılabileceği ve uygulama dönemlerinin gerek çeşit özelliği gerekse bölgenin ekolojik koşulları dikkate alınarak seçilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Kaynakça

- Anonim. (2021). Türkiye şeker fabrikaları ekin ve üretim verileri. https://www.turkseker.gov.tr/data/dokumanlar/2021_Sektor_Raporu.pdf Erişim Tarihi: 12.09.2022.
- Abd El-Lateef, E. M., Abd El-Salam, M. S. Mekki, B. B. Yousef, R. M., & Hussein, H. -A. A. (2020). Response of sugar beet varieties to foliar treatments with bio stimulant growth substances under sandy soil conditions. *Global Journal of Environmental Research* 14(2), 29-36.
- Artyszak, A., & Gozdowski, D. (2021). Influence of various forms of foliar application on root yield and technological quality of sugar beet. *Agriculture*. 11(8), 693. [doi:10.3390/agriculture11080693](https://doi.org/10.3390/agriculture11080693)
- Bray, M., Driscoll, J., & Huggins, J. W. (2000). Treatment of lethal Ebola virus infection in mice with a single dose of an S-adenosylhomocysteine hydrolase inhibitor. *Antiviral Research*, 45(2), 135-147. [doi:10.1016/S0166-3542\(00\)00066-8](https://doi.org/10.1016/S0166-3542(00)00066-8)
- Bulgari, R., Cocetta, G., Trivellini, A., Vernieri, P., & Ferrante, A. (2015). Biostimulants and crop responses: A review. *Biological Agriculture & Horticulture*, 31(1), 1-17. [doi:10.1080/01448765.2014.964649](https://doi.org/10.1080/01448765.2014.964649)

- Bulgari, R., Franzoni, G., & Ferrante, A. (2019). Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. *Agronomy*, 9(6), 306. doi:10.3390/agronomy9060306
- Castro, P. R. C., & Vieira, E. L. (2001). *Aplicações de Reguladores Vegetais na Agricultura Tropical*. Guaíba, Brasil: Livraria e Editora Agropecuária.
- Colla, G., Roupshael, Y., Canaguier, R., Svecova, E., & Cardarelli, M. (2014). Biostimulant action of a plant-derived protein hydrolysate produced through enzymatic hydrolysis. *Frontiers in Plant Science*, 5, 1-6. doi:10.3389/fpls.2014.00448
- Denli, Z., & Arabacı, G. (2014). Kiwano (*Cucumis metuliferus*) bitkisindeki peroksidaz enzimleri üzerine amino asit etkisinin incelenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18(2), 105-109. doi:10.16984/saufbed.61967
- Drobek, M., Frac, M., & Cybulska, J. (2019). Plant biostimulants: importance of the quality and yield of horticultural crops and the improvement of plant tolerance to abiotic stress- A review. *Agronomy*, 9(6), 335. doi:10.3390/agronomy9060335
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae* 196, 3-14. doi:10.1016/j.scienta.2015.09.021
- El-Gamal, I. S., Abd El-Aal, M. M. M., El-Desouky, S. A., Khedr, Z. M., & Abo Shady, K. A. (2016). Effect of some growth substances on growth, chemical compositions and root yield productivity of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) plant. *Middle East Journal of Agriculture*, 5(2), 171-185. doi:10.13140/RG.2.2.25978.85444
- El-Samad, H. A., Shaddad, M. A. K., & Barakat, N. (2011). Improvement of plants salt tolerance by exogenous application of amino acids. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(24), 5692-5699.
- Forde, B. G., & Lea, P. J. (2007). Glutamate in plants: Metabolism, regulation, and signalling. *Journal of Experimental Botany*, 58(9), 2339-2358. doi:10.1093/jxb/erm121
- ICUMSA. (2007). *ICUMSA Methods Book (Methods GS6-5). Determination of α -Amino Nitrogen in Sugar Beet by the Copper Method (Blue Number)*. Berlin, Germany: Bartens.
- Kavas, M. F., & Leblebici, M. J. (2004). *Kalite ve İşletme Kontrol Laboratuvarları El Kitabı*. Ankara, Türkiye: Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. Genel Müdürlüğü Yayın No: 224.
- Noshad, H., Mohammadian, R., Khayamim, S., & Hamdi, F. (2015). Effect of amino acid containing organic fertilizers on nitrogen use efficiency and qualitative and quantitative properties of sugar beet. *Journal of Sugar Beet*, 30(2), 95-102. doi:10.22092/JSB.2015.11551
- Ober, E. S., & Rajabi, A. (2011). Abiotic Stress in Sugar Beet. *Sugar Technology*, 12, 294-298. doi:10.1007/s12355-010-0035-3
- Ok, F. Z., Şanlı, A., Cirit, Y. & Tosun, B. (2022). Uçucu yağ uygulamalarının depolama devresinde şeker pancarı (*Beta vulgaris* L.) kalitesine etkileri. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 10(11), 2087-2095. doi:10.24925/turjaf.v10i11.2087-2095.4939
- Rasovsky, M., Pačuta, V., Dučsay, L., & Lenická, D. (2022). Quantity and quality changes in sugar beet (*Beta vulgaris* Provar. Altissima Doel) induced by different sources of biostimulants. *Plants*, 11(17), 2222. doi:10.3390/plants11172222
- Roeb, J., Peteinatos, G. G., & Gerhards, R. (2015). Using sensors to assess herbicide stress in sugar beet. In J. V. Stafford (Ed.), *Precision agriculture '15* (pp. 561-570). Netherlands: Wageningen Academic Publishers. doi:10.3920/978-90-8686-814-8_70
- Sadeghian, S. Y., Mohammadian, R., Taleghani, D. F., & Noghabi, M. A. (2004). Relation between sugarbeet traits and water use efficiency in water stressed genotypes. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 7(7), 1236-2141. doi:10.3923/pjbs.2004.1236.1241
- Shan, H., Zhang, H., Cui, A., Wang, Y. and Zhang, J. (2018). Effect of exogenous growth regulator on seed germination of maize under salt stress. *Journal of Agricultural Science and Technology (Beijing)*, 20(8), 82-90.
- Sharma, S. S., & Dietz, K. J. (2006). The significance of amino acids and amino acid-derived molecules in plant responses and adaptation to heavy metal stress. *Journal of Experimental Botany*, 57(4), 711-726. doi:10.1093/jxb/erj073
- Sonnenwald, U. (2001). Control of potato tuber sprouting. *Trends in Plant Science*, 6(8), 333-335. doi:10.1016/S1360-1385(01)02020-9
- Şanlı, A., Karadoğan, T., Tosun, B. (2015). The effects of sugar beet molasses applications on root yield and sugar content of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Field Crops Central Research Institute*, 24(2), 103-108. doi:10.21566/tbmaed.00450

- Vranova, V., Rejsek, K., Skene, K. R., & Formanek, P. (2011). Non-protein amino acids: Plant, soil and ecosystem interactions. *Plant and Soil*, 342, 31-48. doi:10.1007/s11104-010-0673-y
- Wilson, R. G., Yonts, C. D., & Smith, J. A. (2002). Influence of glyphosate and glufosinate on weed control and sugarbeet (*Beta vulgaris*) yield in herbicide-tolerant sugarbeet. *Weed Technology*, 16(1), 66-73. doi:10.1614/0890-037X(2002)016[0066:IOGAGO]2.0.CO;2



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

DP1200 Çeliği Lazer Kaynak İşleminde Proses Parametrelerinin Mekanik ve Geometrik Özelliklere Etkisinin Bulanık Mantık Yöntemi ile Tahmini ve Optimizasyonu

Meryem ALTAY*, Hakan AYDIN

Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa, Türkiye
Meryem ALTAY, ORCID No: 0000-0001-6930-6292, Hakan AYDIN, ORCID No: 0000-0001-7364-6281

*Sorumlu yazar e-posta: meryemaltay@uludag.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 27.10.2022
Kabul: 26.12.2022
Online Nisan 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1195234

Anahtar Kelimeler

Bulanık mantık,
DP1200 çeliği,
Kaynak parametreleri,
Lazer kaynak,
Mekanik özellikler

Öz: Bu çalışmada DP 1200 çelik malzemelerin bindirme konfigürasyonunda fiber lazer kaynak yöntemi ile birleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı bağlantıların kaynak geometrisi ve mekanik özellikleri lazer gücü, ilerleme hızı ve lazer açısı proses parametrelerine göre değişkenlik göstermektedir. Parametrelerin etkilerini gözlemleyebilmek için Yanıt Yüzey Metodolojisine göre deney tasarımı oluşturularak deneyler gerçekleştirilmiştir. Çekme testi sonrasında kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir; kaynak geometrisinde ise tam birleşme mesafesi ölçülmüştür. Deneysel çıktılar, kesme kuvveti ve birleşme mesafesini tahmin etmede Mamdani yöntemine göre geliştirilen Bulanık Mantık modelinde kullanılmıştır, 27 adet kural tanımlanmıştır. Tahmin sonuçları ve deneysel veriler kıyaslandığında birbiri ile benzerdir. Yüzey grafikleri yardımıyla optimum proses parametreleri lazer gücü 2800 W, ilerleme hızı 40 mm/s, lazer açısı 70° olarak belirlenmiştir.

Prediction and Optimization of the Effect of Process Parameters on Mechanical and Geometric Properties in Laser Welding Process of DP1200 Steel by Fuzzy Logic Method

Article Info

Received: 27.10.2022
Accepted: 26.12.2022
Online April 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1195234

Keywords

DP1200 steel sheet,
Fuzzy logic,
Laser welding,
Mechanical properties,
Welding parameters

Abstract: In this study, DP 1200 steel materials were joined in overlap configuration by the fiber laser welding method. Welding geometry and mechanical properties of welded joints vary according to laser power, scanning speed, and laser incidence angle process parameters. In order to observe the effects of the parameters, experiments were carried out by creating an experimental design according to the Response Surface Methodology. Tensile shear load values were obtained after the tensile test; the bonding distance was measured in the weld geometry. Experimental outputs were used in the Fuzzy Logic model developed according to the Mamdani method in estimating maximum shear load and bonding distance, 27 rules were defined. Estimation results and experimental data are similar to each other when compared. The optimum process parameters were determined as 2800 W laser power, 40 mm/s scanning speed, and laser angle 70° with the help of surface graphics.

1. Giriş

Yeni nesil olarak geliştirilen yüksek mukavemete sahip çift fazlı Dual Phase (DP) çelik malzemeler iyi mekanik özellikleri ve korozyon direnci, yüksek mukavemet/ağırlık oranı, yüksek sertlik özelliklerine sahip olmasıyla son yıllarda otomotiv sektöründe güvenlik açısından kritik parçalarda kullanılmaktadır (Altay, 2021). Yüksek mukavemet ve süneklik özelliklerine birlikte sahip olması dolayısıyla kolay şekillendirilebilen çift fazlı çeliklerin bu özellikleri sert martenzit fazı ve yumuşak ferrit fazını birlikte ihtiva etmesinden kaynaklanmaktadır. Otomotiv ana sanayiinde son yıllarda DP480, DP600, DP980 gibi daha düşük dayanım ve düşük mukavemet değerlerine sahip malzemeler yerine DP1200 gibi mukavemet özellikleri iyileştirilmiş çelik saclar tercih edilmektedir. Bu çeliklerin otomotiv parçalarında kullanılmaları birleştirme yöntemlerinin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Yüksek ergime sıcaklıkları nedeniyle bu malzemelerin birleştirilmesinde uygun bir kaynak yöntemi kullanılması gerekmektedir. Lazer kaynak yönteminde yüksek enerji yoğunluğuna sahip odaklanmış lazer ışınının kullanılması sayesinde dar bir alanda Isı Tesiri Altındaki Bölge oluşturulur ve malzeme mikro yapısı deforme olmaz. Lazer kaynak yönteminin bu avantajı ile DP1200 çeliklerinde yüksek sertlik yaratan martenzitin bozunması önlenerek mukavemet özelliklerinin korunması sağlamaktadır; DP1200 çelik sacların birleştirmeleri için uygun bir yöntemdir. Ancak DP1200 çeliklerin yüksek martenzit oranı sonucu elde edilen yüksek sertlik dolayısıyla kaynaklı bağlantılarda kırılabilirlik ve çatlak gibi problemler oluşabilmektedir. İstenilen kaynak kalitesinin elde edilebilmesi için lazer kaynak yöntemin detaylı incelenerek, parametrelerin mukavemet özelliklerine ve kaynak geometrisine etkilerinin anlaşılması gerekmektedir.

Janasekaran ve ark. (2017a) Ti6Al4V ve Inconel 600 malzemelerinin T konfigürasyonu fiber lazer kaynak ile birleştirilmesinde lazer gücü, kaynak hızı ve örtüşme faktörü parametrelerinin kaynak penetrasyonuna etkisini incelemişlerdir. Kaynaklı bağlantıların mukavemetleri çekme testi ile belirlenerek kopma mukavemetini tahmin etmek için MATLAB programı yardımıyla Mamdani tekniğine dayalı Bulanık Mantık yöntemini kullanmışlardır. Deneysel sonuçlar ve tahmin edilen sonuçlar arasındaki hesaplanan bağıl hata %6.95'tir. Ayrıca örtüşme faktörü parametresinin lazer kaynak işleminde en etkin faktör olduğu tespit edilmiştir (Janasekaran ve ark., 2017a). Lazer dolgu kaynağı sürecinin anlaşılması parametrelerin çok olması ve matematiksel modelin olmaması dolayısıyla zordur. Zeinali & Khajepour (2010) Bulanık Mantık temelli bir model geliştirerek lazer kaplama işleminde ilerleme hızının kaplama yüksekliğine etkisini ortaya koymuşlardır. Deneysel verilerle kıyaslandığında da Bulanık Mantık yönteminin doğru sonuçlar vereceği ortaya konulmuştur (Zeinali & Khajepour, 2010). Nair ve ark. (2020) Stellite 6 alaşımının EN8 çeliğinin yüzeyine lazer dolgu kaynağı işleminin korozyon üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Lazer tarama hızı, lazer odak yüksekliği, lazer gücü ve toz besleme parametrelerinin korozyon üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Lazer kaplanmış numuneler asidik ortamda korozyon testine tabi tutulmuş ve numunelerin elektron görüntüleri alınmıştır. Elektron mikroskobu görüntüleri Bulanık Mantık modeli için korozyon indeksi çıkarmada kullanılmıştır, ayrıca Taguchi yöntemi ile sonuçlar optimize edilmiştir (Nair ve ark., 2020). Barzani ve ark. (2015) yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek için Al-Si-Cu-Fe döküm alaşımının işleme performansını tahmin etmek amacıyla Bulanık Mantık yöntemi ile bir yapay zeka geliştirmişlerdir. Optimum parametre koşullarını elde etmek için Pareto-ANOVA optimizasyon yöntemlerini kullanmışlardır. Yüzey pürüzlülük değerlerine göre kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliği işleme parametreleri optimize edilmiştir. Optimum koşulların kesme hızı için 250 m/dk, ilerleme hızı için 0.05 mm/dev, kesme derinliği için 0.15 mm olduğu tespit edilmiştir (Barzani ve ark., 2015).

Otomotiv sanayinde yaygın şekilde kullanılmakta olan düşük dayanımlı DP çeliklerinin kaynaklı birleştirmeleri üzerine pek çok detaylı araştırma bulunmaktadır. Ancak, yeni nesil çelik grubunda yer alan DP1200 saclarının bindirme lazer kaynağı ile ilgili detaylı ve sistematik çalışmalar oldukça sınırlıdır, kaynak davranışlarının belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Gözlemlenen eksiklik bu çalışmanın yapılmasına dayanak oluşturmuştur. Çalışma kapsamında DP1200 sac malzemelere bindirme lazer kaynağı uygulanmıştır. Lazer gücü, ilerleme hızı ve lazer açısı parametreleri kullanılarak deney tasarımı oluşturulmuş ve deneyler gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı numunelerin çekme deneyinde elde edilen kesme kuvveti ve kaynak geometrisinde ölçülen tam birleşme mesafesi için Bulanık Mantık yöntemi ile sonuçlar tahmin edilmiştir ve deneysel sonuçlar ile kıyaslanmıştır. Proses parametrelerinin kaynak bölgesi mukavemeti ve kaynak geometrisi üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde ortaya konularak optimum proses parametreleri belirlenmiştir. Bulanık Mantık yöntemi ile elde edilen kesme kuvveti ve

kaynak geometrisi tahmin bilgilerinin benimsenebileceği saptanmıştır. Elde edilen sonuçlar ile DP1200 saclarının otomotiv sektörüne entegrasyonu ve kullanımının yaygınlaşması için lazer kaynağı ile ilgili temel hususlar aydınlığa kavuşturulmuştur, elde edilen sonuçlar otomotiv sektörüne yönelik uygulamalarda yol gösterici niteliğe sahiptir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu bölümde kullanılan malzeme, lazer kaynak yöntemi, deney tasarımı, Bulanık Mantık yöntemi, metalografik incelemeler, çekme testleri hakkında bilgiler verilmiştir.

2.1. Materyal

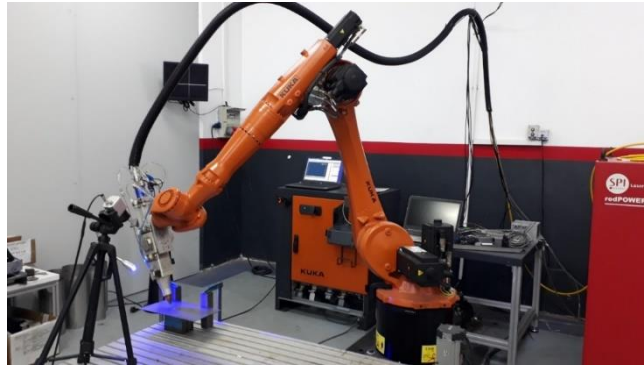
Çalışmada kullanılan DP1200 çelik malzemenin kimyasal kompozisyonu Çizelge 1'de gösterilmiştir, akma mukavemeti 900-1100 MPa, çekme mukavemeti 1180-1350 MPa, uzama oranı %6'dır.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan Dual Phase (DP) 1200 çelik malzeme kimyasal kompozisyonu (% ağırlık)

Malzeme	C	Si	Mn	Al	P	S	Cr+Mo	Nb+Ti
DP1200	0.23	1	2.9	0.15-1	0.05	0.01	1	0.15

2.2. Lazer kaynak yöntemi

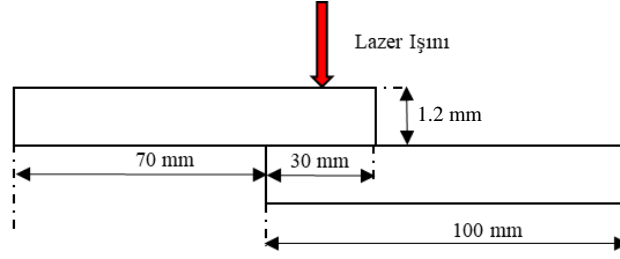
Uygulamada 1070 nm dalga boyu, 100 µm lazer ışın çapına sahip, maksimum gücü 6 kW olan lazer kullanılmıştır, proses fiberi 0.2 mm'dir. Lazer ışını, kaynak yapılacak yüzeye 190 mm mesafeden odaklanmıştır, spot çapı 0.4 mm'dir. Lazer kafası içerisinde 100 mm kolimatör lensi 100 mm, 200 mm odak lensi bulunmaktadır. 0.2 mm fiber optik kablolar sayesinde lazer ışınına hareket yeteneği kazandırılmaktadır. 6 eksenli hareket edebilen KUKA marka robot ve entegre lazer sistemi ile yüksek enerji yoğunluğuna sahip lazer ışını birleştirilmek istenen yüzeye aktarılmaktadır (Şekil 1). Koruyucu gaz 12 lt/dk akış hızında Argon gazı kaynak işlemi sırasında lazer ışını eşliğinde koruyucu gaz olarak yüzeye gönderilmektedir.



Şekil 1. Fiber lazer kaynak işlemlerinde kullanılan robot.

2.3. Deney tasarımı ve lazer kaynak uygulaması

Fiber lazer kaynak işleminde kullanılan plaka boyutları 300 mm x 100 mm x 1.2 mm'dir, bindirme formunda üst üste konumlandırılmış ve tam ortaya lazer ışını gelecek şekilde birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışmada kullanılan bindirme kaynağı şematik gösterimi.

Lazer gücü, ilerleme hızı ve lazer açısı proses parametreleri seçilerek çıktılar üzerindeki etkileri incelenmiştir, odak mesafesi, koruyucu gaz parametreleri sabit tutulmuştur. Yanıt Yüzey Metodolojisine göre, seçilen üç parametre için beş seviye belirlenmiştir (Çizelge 2). Belirlenmiş olan parametre seviyeleri otomotiv sektöründe reelde kullanılmakta olan değerlerdir. Merkezi Kompozit Deneysel Tasarımına göre 15 adet deney için parametre grupları oluşturulmuştur (Çizelge 3).

Çizelge 2. Lazer kaynak proses parametreleri ve incelenen seviye değerleri

Parametre	Seviye				
	1	2	3	4	5
Lazer Gücü (W)	2200	2350	2500	2650	2800
İlerleme Hızı (mm/s)	40	47.5	55	62.5	70
Lazer açısı (°)	70	75	80	85	90

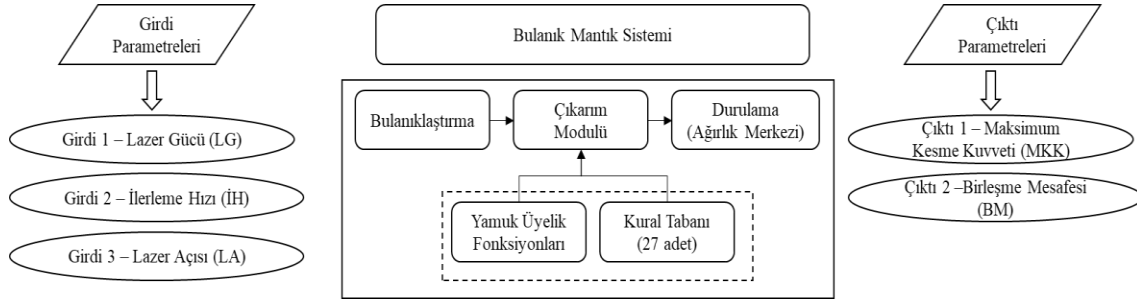
Çizelge 3. Yanıt Yüzey Metodolojisi yöntemine göre deney tasarımı (Bandyopadhyay et al., 2016)

Deneysel No	Lazer Gücü (W)	İlerleme Hızı (mm/s)	Lazer Açısı (°)
1	2350	47.5	75
2	2650	47.5	75
3	2350	62.5	75
4	2650	62.5	75
5	2350	47.5	85
6	2650	47.5	85
7	2350	62.5	85
8	2650	62.5	85
9	2200	55	80
10	2800	55	80
11	2500	40	80
12	2500	70	80
13	2500	55	70
14	2500	55	90
15	2500	55	80

2.4. Bulanık mantık yöntemi

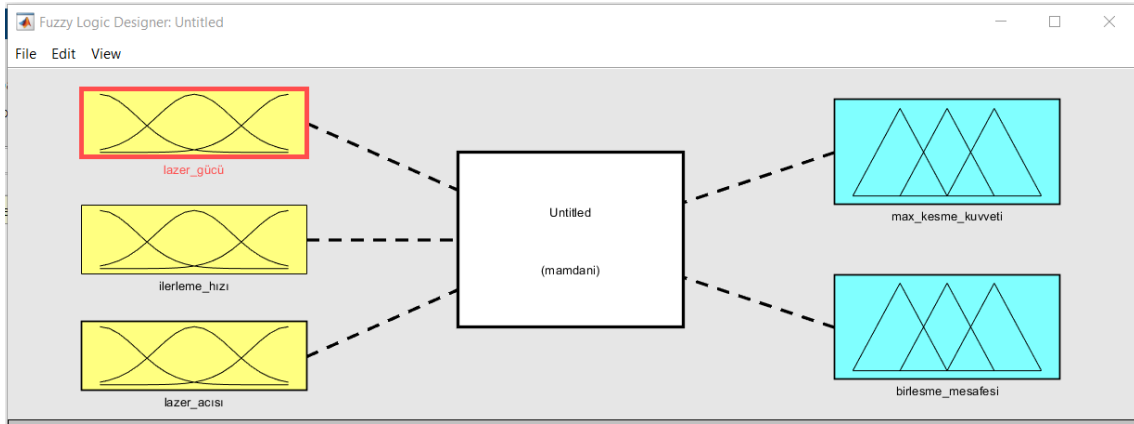
Bulanık Mantık yöntemi, bulanık bir değişkenin hangi bulanık kümeye ait olduğunun tespit edilmesine dayanan matematiksel bir süreçtir (Janasekaran ve ark., 2017b; Shanavas & Dhas, 2018; Rout ve ark., 2022). Bulanık mantığın spesifik özelliği, kümelerin sınırlarının keskin olmayışından kaynaklanır. Süreç, bulanıklaştırma, kural işleme ve karar mekanizması, durulaştırma aşamalarından oluşur (Medhi et al., 2020; Palani et al., 2020; Devendran & Ashoka Varthanan, 2021). Bulanık kümeyi ifade etmede üyelik fonksiyonları kullanılmaktadır. Üyelik fonksiyonları üçgen, yamuk, Gauss şeklinde olabilir. Kontrol algoritmaları kural tabanlı sistem yardımıyla oluşturulmaktadır. Durulaştırma yöntemleri ise ağırlık merkezi yöntemi, ağırlıklı ortalama yöntemi, maksimum durulaştırıcı şeklinde olabilir (Kim, 2017; Heidarzadeh ve ark., 2020; Velázquez ve ark., 2021). Lazer kaynak prosesi için

bulanık mantık sistem modeli Şekil 3’de gösterilmiştir. Lazer gücü, ilerleme hızı ve lazer açısı parametreleri girdi parametreleri; kesme kuvveti ve birleşme mesafesi çıktı parametreleri olarak belirlenmiştir. Bulanık mantık sisteminde yer alan bulanıklaştırma, çıkarım (üyelik fonksiyonları ve kural tabanı), durulama aşamaları şematik olarak gösterilmiştir.

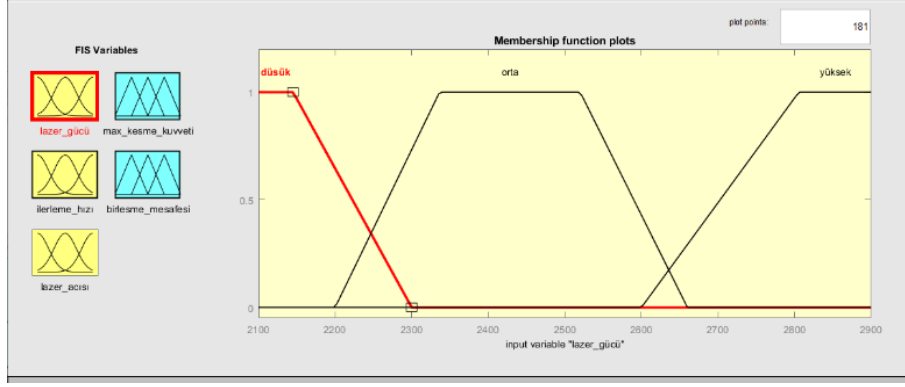


Şekil 3. Lazer kaynak prosesi için bulanık mantık modeli.

Bulanık mantık uygulaması MATLAB Fuzzy Toolbox yardımıyla yapılmıştır, arayüzü Şekil 4’te gösterilmektedir. Giriş ve çıkış parametrelerini tanımlamak için yamuk üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Lazer gücü, ilerleme hızı ve lazer açısı parametreleri için düşük, orta ve yüksek olacak şekilde üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur (Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7). Ayrıca üyelik fonksiyonları matematiksel olarak ifade edilmiştir: lazer gücü üyelik fonksiyonları Eş. 1-3, ilerleme hızı üyelik fonksiyonları Eş. 4-6, lazer açısı üyelik fonksiyonları Eş. 7-9, maksimum kesme kuvveti üyelik fonksiyonları Eş. 10-12, birleşme mesafesi üyelik fonksiyonları Eş. 13-15 ile gösterilmiştir. Mamdani Yöntemi kullanılarak çıktı parametrelerinin tahmini yapılmaktadır. Çıktı parametreleri olarak maksimum kesme kuvveti ve tam birleşme mesafesi değerleri incelenmiştir, oluşturulan bulanık çıkışlar Şekil 8 ve Şekil 9’da gösterilmektedir. Kural tabanının oluşturulmasında “Eğer” ve “O Halde” döngülerinden yararlanılmıştır. Girdi parametreleri için belirlenen düşük, orta, yüksek seviye üyelik fonksiyonları için 27 adet kural tanımlanmıştır, kural tabanı ekran görüntüsü Şekil 10’da yer almaktadır. Durulaştırma Yöntemi olarak ağırlık merkezi yöntemi (Centroid) kullanılmıştır.



Şekil 4. Bulanık Mantık Uygulaması MATLAB arayüzü.

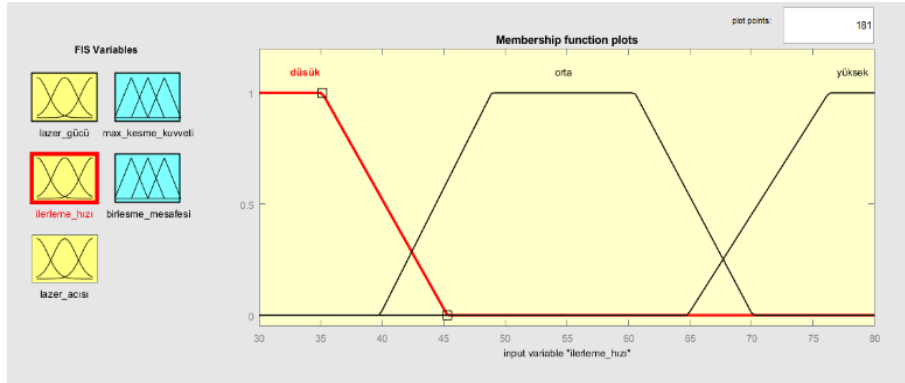


Şekil 5. Lazer gücü parametresi için Bulanık Mantık üyelik fonksiyonları.

$$\mu_{düşük}(x) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } x < 2150 \\ \frac{2300 - x}{150}, & \text{eğer } 2150 \leq x \leq 2300 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{orta}(x) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } x < 2200 \\ \frac{x - 2200}{150}, & \text{eğer } 2200 \leq x \leq 2350 \\ 1, & \text{eğer } 2350 \leq x \leq 2550 \\ \frac{2650 - x}{100}, & \text{eğer } 2550 < x \leq 2650 \\ 0, & \text{eğer } x > 2650 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{yüksek}(x) = \begin{cases} \frac{x - 2600}{200}, & \text{eğer } 2600 \leq x < 2800 \\ 1, & \text{eğer } x \geq 2800 \end{cases} \quad (3)$$

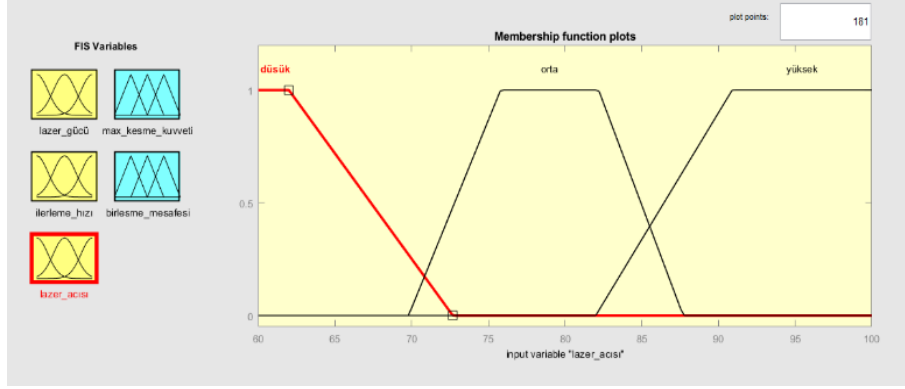


Şekil 6. İlerleme hızı parametresi için Bulanık Mantık üyelik fonksiyonları.

$$\mu_{düşük}(x) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } x < 37 \\ \frac{45 - x}{8}, & \text{eğer } 37 \leq x \leq 45 \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_{orta}(x) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } x < 40 \\ \frac{x - 40}{8}, & \text{eğer } 40 \leq x \leq 48 \\ 1, & \text{eğer } 48 \leq x \leq 62 \\ \frac{70 - x}{8}, & \text{eğer } 62 < x \leq 70 \\ 0, & \text{eğer } x > 70 \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{yüksek}(x) = \begin{cases} \frac{x - 70}{5}, & \text{eğer } 70 \leq x < 75 \\ 1, & \text{eğer } x \geq 75 \end{cases} \quad (6)$$

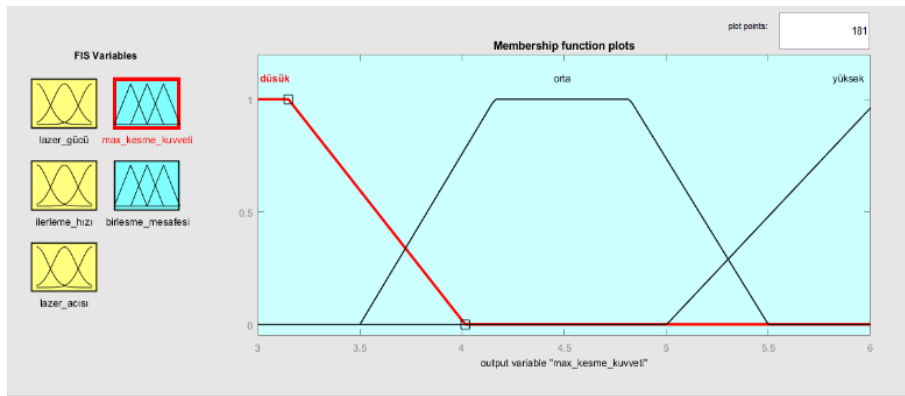


Şekil 7. Lazer açısı parametresi için Bulanık Mantık üyelik fonksiyonları.

$$\mu_{düşük}(x) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } x < 62 \\ \frac{73 - x}{11}, & \text{eğer } 62 \leq x \leq 73 \end{cases} \quad (7)$$

$$\mu_{orta}(x) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } x < 70 \\ \frac{x - 70}{5}, & \text{eğer } 70 \leq x \leq 75 \\ 1, & \text{eğer } 75 \leq x \leq 83 \\ \frac{83 - x}{4}, & \text{eğer } 83 < x \leq 87 \\ 0, & \text{eğer } x > 87 \end{cases} \quad (8)$$

$$\mu_{yüksek}(x) = \begin{cases} \frac{x - 82}{8}, & \text{eğer } 82 \leq x < 90 \\ 1, & \text{eğer } x \geq 90 \end{cases} \quad (9)$$

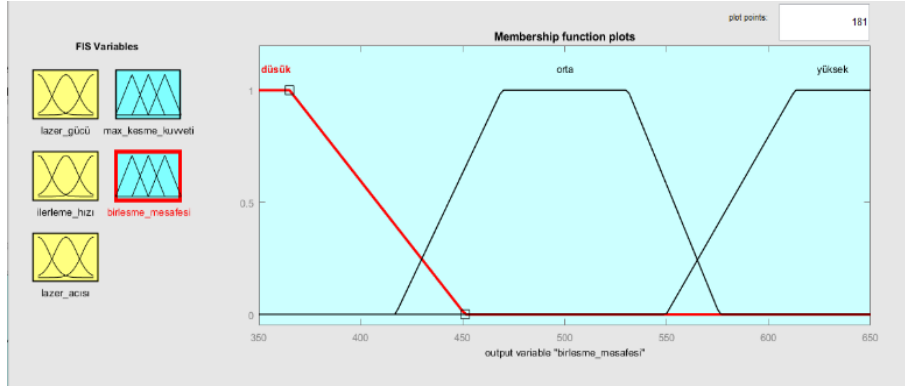


Şekil 8. Maksimum kesme kuvveti çıktısı için Bulanık Mantık üyelik fonksiyonu.

$$\mu_{düşük}(x) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } x < 3.2 \\ \frac{4 - x}{0.8}, & \text{eğer } 3.2 \leq x \leq 4 \end{cases} \quad (10)$$

$$\mu_{orta}(x) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } x < 3.5 \\ \frac{x - 3.5}{0.6}, & \text{eğer } 3.5 \leq x \leq 4.1 \\ 1, & \text{eğer } 4.1 \leq x \leq 4.8 \\ \frac{5.5 - x}{0.7}, & \text{eğer } 4.8 < x \leq 5.5 \\ 0, & \text{eğer } x > 5.5 \end{cases} \quad (11)$$

$$\mu_{yüksek}(x) = \begin{cases} \frac{x-5}{1}, & \text{eğer } 5 \leq x < 6 \\ 1, & \text{eğer } x \geq 6 \end{cases} \quad (12)$$



Şekil 9. Tam birleşme mesafesi değerleri çıktısı için Bulanık Mantık üyelik fonksiyonu.

$$\mu_{düşük}(x) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } x < 360 \\ \frac{450 - x}{90}, & \text{eğer } 360 \leq x \leq 450 \end{cases} \quad (13)$$

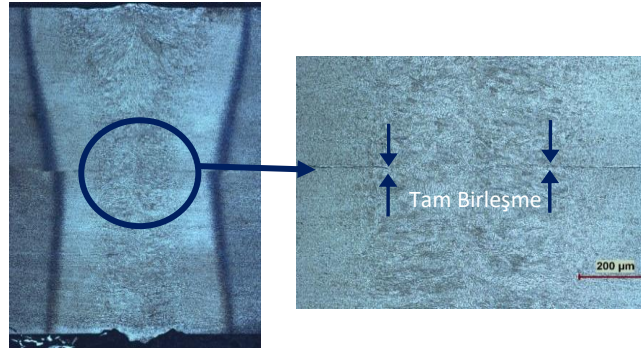
$$\mu_{orta}(x) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } x < 420 \\ \frac{x - 420}{40}, & \text{eğer } 420 \leq x \leq 460 \\ 1, & \text{eğer } 460 \leq x \leq 540 \\ \frac{575 - x}{35}, & \text{eğer } 540 < x \leq 575 \\ 0, & \text{eğer } x > 575 \end{cases} \quad (14)$$

$$\mu_{yüksek}(x) = \begin{cases} \frac{x - 550}{60}, & \text{eğer } 550 \leq x < 610 \\ 1, & \text{eğer } x \geq 610 \end{cases} \quad (15)$$

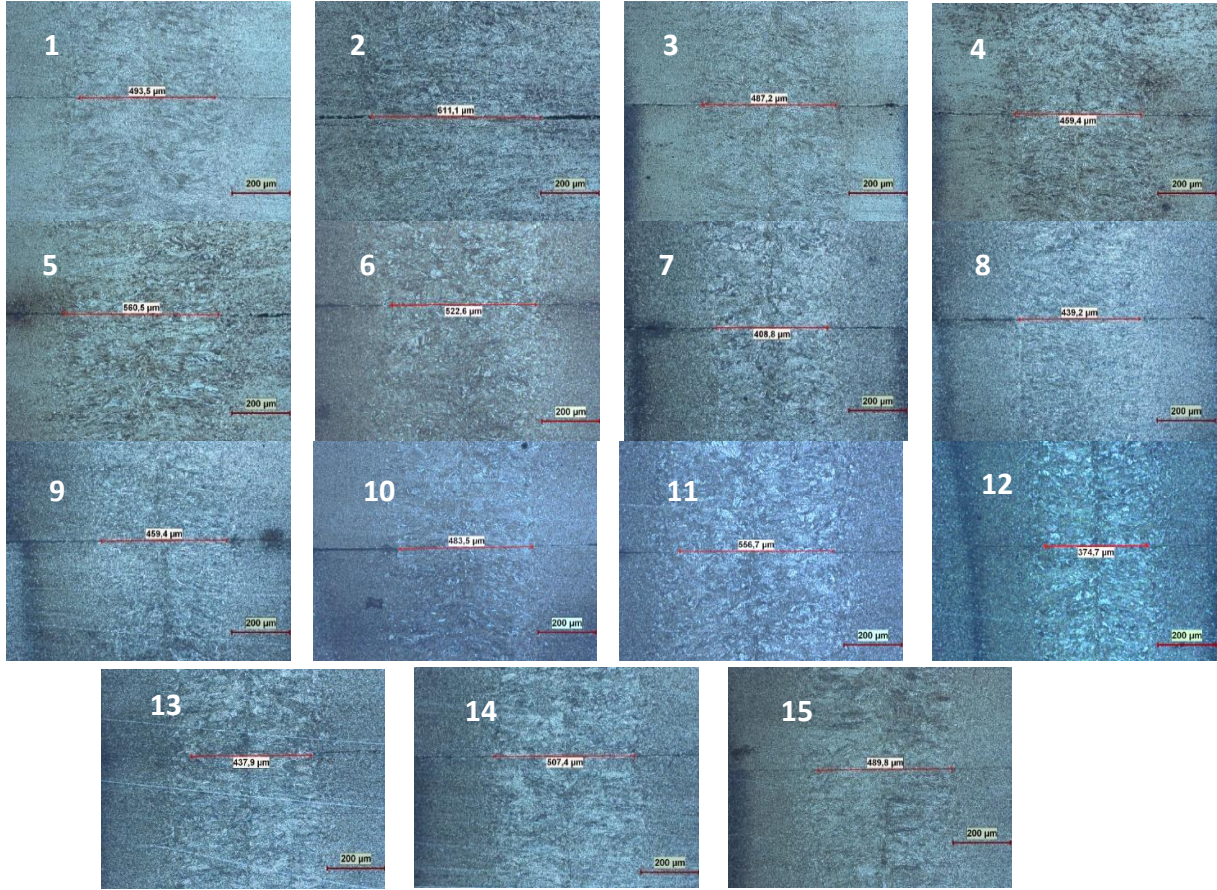
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Kaynak geometrisi

Gerçekleştirilen deneylerde numunelerin tamamında tam penetrasyon gerçekleşmiştir (Şekil 12). Bindirme kaynak bağlantısı mikroyapısı detaylı incelendiğinde bağlantı ara yüzeylerinde erime bölgesi içerisinde birleşmenin tam olarak gerçekleşmediği bir bölgenin varlığı görülmektedir, eklem boyunca oluşan bu uzunluk İngilizce “fully bonding” olarak isimlendirilmektedir. Kaynak kalitesinin ve bağlantı mukavemetinin belirlenmesinde bir kriter olarak ele alınan tam birleşme mesafesinin çatlak oluşumunda da rolü bulunmaktadır (Lin ve ark., 2021). Bağlantının en zayıf kısmından çatlak başlayıp kolaylıkla yayılabilir, bu nedenle bağlantıların kesitleri detaylı olarak incelenmiştir. Optik mikroskopta alınan birleşme mesafesi görüntüleri Şekil 13’de gösterilmektedir, ölçülen kaynak geometrileri Çizelge 4’te verilmiştir. En yüksek elde edilen birleşme mesafesi “2” numaralı numunede 2650 W lazer gücü, 47.5 mm/s ilerleme hızı, 75° lazer açısı parametreleri ile 611.1 µm olarak elde edilmiştir. En düşük elde edilen birleşme mesafesi değeri ise 374.7 µm’dir, “12” numaralı numunede 2500 W lazer gücü, 70 mm/s ilerleme hızı, 80° lazer açısı parametreleri kullanılmıştır. En yüksek değerin elde edildiği “2” numaralı numunede lazer gücü 2650 W iken, en düşük birleşme mesafesinin elde edildiği “12” numaralı numunede 2500 W’dır. Kaynaklı bağlantılarda lazer gücü artışı ile yüksek enerji girdisi sayesinde plakaların bağlanma noktası birleşme mesafesi değeri yükseltilebilir. İlerleme açısı parametresi özelinde incelenecek olursa “2” numaralı numunede 47.5 mm/s, “12” numaralı numunede 70 mm/s değerleri kullanılmıştır. Yüksek ilerleme hızında lazer ışını daha hızlı hareket ettiğinden enerji girdisi azalması sonucunda erime ve katılma daha hızlı gerçekleşmekte, birleşme mesafesi değerleri düşük kalmaktadır. Bu durum penetrasyon oranının düştüğünü gösterir ki kaynak dayanımı için istenmeyen bir durumdur. Lazer açısı parametrelerinde ise 75°’nin kullanıldığı numunede yüksek, 85° lazer açısının kullanıldığı numunede en düşük değer elde edilmiştir. Düşük lazer açısı parametresi kullanımının enerji yoğunluğu yayılımını sağlayarak tam birleşme mesafesi cinsinden olumlu sonuçlar vereceği yorumu yapılabilir.



Şekil 12. Kaynaklı numunede mikro yapı ve tam birleşme bölgesi.



Şekil 13. Numunelerin erime bölgesi tam birleşme durumları.

3.2. Mekanik özellikler

Farklı parametre grupları için gerçekleştirilen deneyler sonucunda numunelere çekme deneyi uygulanmıştır, maksimum kesme kuvveti verileri elde edilmiştir (Çizelge 4). Sonuçlar incelendiğinde en yüksek 5.9555 kN ve en düşük 4.1391 kN değerlerinin sırasıyla “2” ve “12” numaralı deney numunelerinde elde edildiği görülmüştür. Kullanılan proses parametreleri değerlerine göre ortaya çıkan ısı girdisinin mekanik özelliklere etkisi bulunmaktadır. Yüksek mekanik özelliklerin elde edildiği “2” numaralı numunede nispeten yüksek seviye 2650 W lazer gücü, nispeten düşük seviye 47.5 mm/s ilerleme hızı ve 75° lazer açısı kullanılmıştır. Mekanik özelliklerin en düşük olduğu numunede ise daha düşük seviye lazer gücü (2500 W), daha yüksek seviye ilerleme hızı (70 mm/s) ve daha yüksek değerde lazer açısı (80°) parametreleri kullanılmıştır. Ayrıca kaynak geometrisi bölümünde incelenen tam birleşme mesafesi için de aynı deney gruplarında en yüksek ve en düşük değerlerin elde edilmesi maksimum kesme kuvveti ve tam birleşme mesafesi değerlerinin birbiri ile ilişkili olduğunu göstermektedir.

Diğer deney numuneleri de birbirine göre kıyaslanarak yorumlanacak olursa: “1” ve “2” numaralı deneylerde ilerleme hızı (47.5 mm/s) ve lazer açısı (75°) parametreleri eşittir, lazer gücü parametresi farklıdır. “2” numaralı numunede lazer gücü (2650 W), “1” numaralı numuneye (2350 W) göre daha yüksektir. “1” numaralı deneyde 5.6445 kN maksimum kesme kuvveti elde edilirken, “2” numaralı deneyde 5.9555 kN değeri elde edilmiştir. Lazer gücü parametresinin artışı ile kaynak yapılacak metal üzerine yüksek ısı girdisi verilmektedir; eriyik metalin hareket kabiliyeti artmakta ve kaynak havuzu genişleyerek metalurjik bağlanma kabiliyetini dolayısıyla maksimum kesme kuvvetini artırmaktadır. “3-4” numaralı deney grupları için de diğer parametreler sabit tutulup lazer gücü 2350 W ve 2650 W olarak belirlenmiştir, lazer gücü artışı ile maksimum kesme kuvveti 5.1203 değerinden 5.5688 kN değerine yükselmiştir. Aynı sonuçlar “5-6” numaralı deneyler için de elde edilmiştir. Yani yüksek lazer gücünün yüksek kesme kuvveti elde etmede etkili olduğu söylenebilir.

“1” ve “3” numaralı numuneler birlikte değerlendirildiğinde lazer gücü (2350 W) ve lazer açısı (75°) değerleri eşit, ilerleme hızı değerleri farklıdır; “1” numaralı deneyde 47.5 mm/s, “3” numaralı deneyde 62.5 mm/s parametreleri kullanılmıştır. İlerleme hızı artışı ile maksimum kesme kuvveti 5.6445 kN değerinden 5.1203 kN değerine düşmüştür. Yüksek ilerleme hızında lazer ışını daha hızlı hareket ederek ısı girdisi azalması nedeniyle kaynak havuzundaki eriyiğin hızlı soğuması ve katılaşması sonucu kaynak mukavemetinin azalmasına neden olmaktadır. Lazer ışınının temel malzemeye temas süresinin artmasıyla ergimiş metalin akışı için uygun süre sağlanmış olur, güçlü bir bağ oluşturulmasında rol oynar (Zhang et al., 2019). “11” ve “12” numaralı deneylerden elde edilen sonuçlar da bu yorumu kanıtlar niteliktedir, bu deney gruplarında da lazer gücü (2500 W) ve lazer açısı (80°) sabit olup, ilerleme hızı “11” numaralı deneyde 40 mm/s, “12” numaralı deneyde 70 mm/s’dir. İlerleme hızının 40 mm/s’den 70 mm/s’ye yükseltilmesi kesme kuvvetini düşürmüştür.

“3” ve “7” numaralı deneylerde ise lazer gücü (2350 W) ve ilerleme hızı (62.5 mm/s) sabit, lazer açısı parametreleri 75° ve 85°’dir. Lazer açısının yükseltilmesi ile maksimum kesme kuvveti 5.1203 kN değerinden 4.8500 kN değerine düşmüştür. Düşük lazer açısı kullanımının kesme kuvveti açısından daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Aynı sonuçlar lazer gücü (2650 W) ve ilerleme hızının sabit (62.5 mm/s), lazer açısı parametresinin farklı olduğu “4-8” numaralı deney gruplarında da elde edilmiştir. Lazer açısının 75° olduğu “4” numaralı deneyde 5.5688 kN, lazer açısı parametresinin 85° kullanıldığı “8” numaralı deneyde 4.6297 kN maksimum kesme kuvveti elde edilmiştir. “13-14-15” numaralı numunelerde ise lazer gücü (2500 W), ilerleme hızı parametreleri sabittir (55 mm/s), lazer açısı parametresinde 70°-90°-80° birbiri ile kıyaslanmıştır. En yüksek kesme kuvveti 70° lazer açısına sahip 5.8266 kN olarak elde edilmiştir. Düşük lazer açısı kullanımının kaynaklı bölgedeki ısı yayılımını genişlettiğinden kaynaklı bölgenin mekanik özellikleri açısından daha iyi sonuçlar vereceği tespit edilmiştir.

“9” ve “10” numaralı parametre gruplarında en düşük (2200 W) ve en yüksek (2800 W) seviye lazer gücü kullanılmasına rağmen tüm deney grupları içerisinde maksimum ve minimum kesme kuvveti değerleri elde edilmemiştir. Bunun sebebinin yüksek lazer güçlerinde odaklanmış ısı yoğunluğunun dar bir bölgede meydana gelmesiyle sıçratma oluşturması ile ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durum lazer gücü parametresinin etkinliğinin diğer parametrelere göre daha az olduğunu göstermektedir.

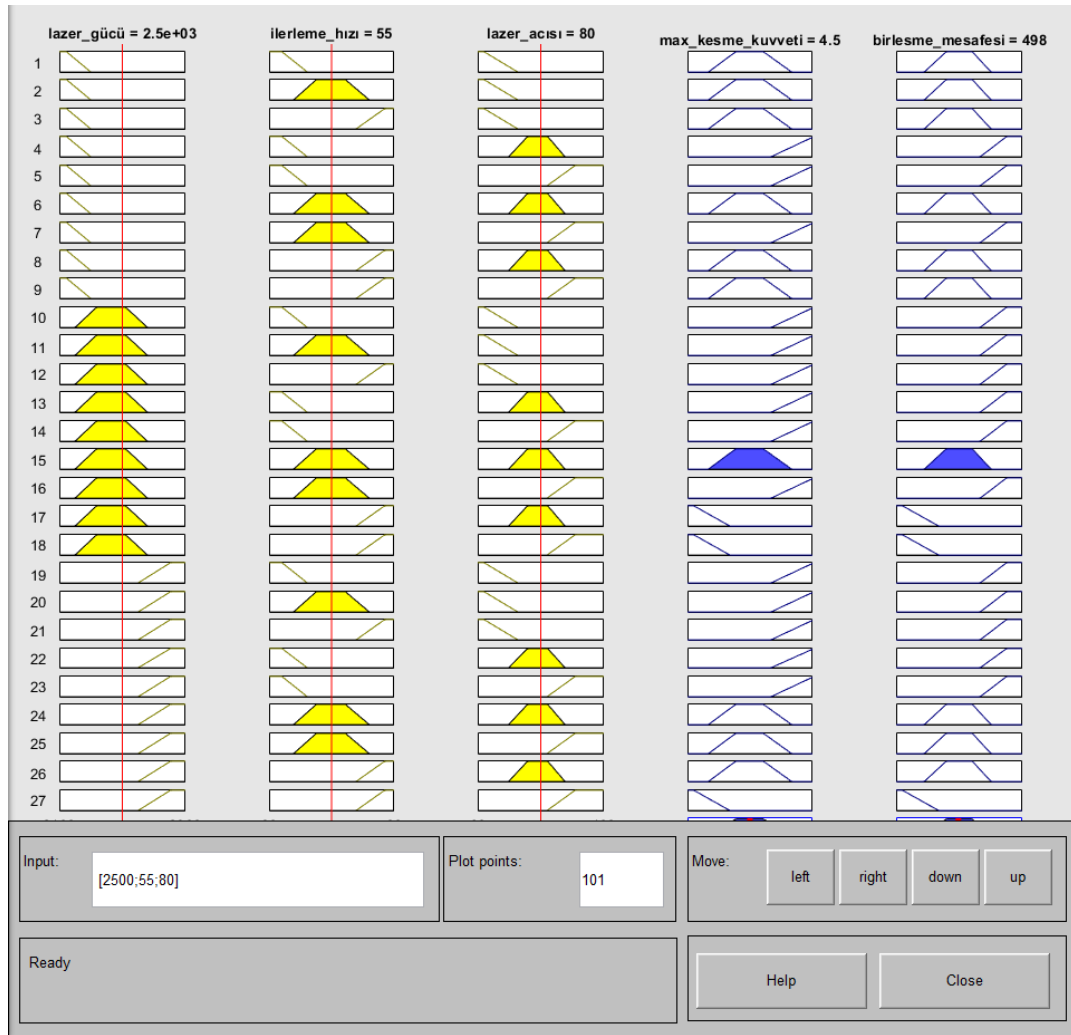
Bu bilgilerden hareketle nispeten yüksek seviye lazer gücü, düşük seviye ilerleme hızı ve düşük seviye lazer açısı parametrelerinin maksimum kesme kuvveti elde etmede etkili olduğu, mekanik özelliklere olumlu sonuçlar yaratacağı yorumu yapılabilir. Optimum proses parametreleri olarak 2800 W lazer gücü, 40 mm/s ilerleme hızı, 70° lazer açısı parametreleri belirlenebilir.

Çizelge 4. Çekme deneyinde elde edilen maksimum kesme kuvveti sonuçları

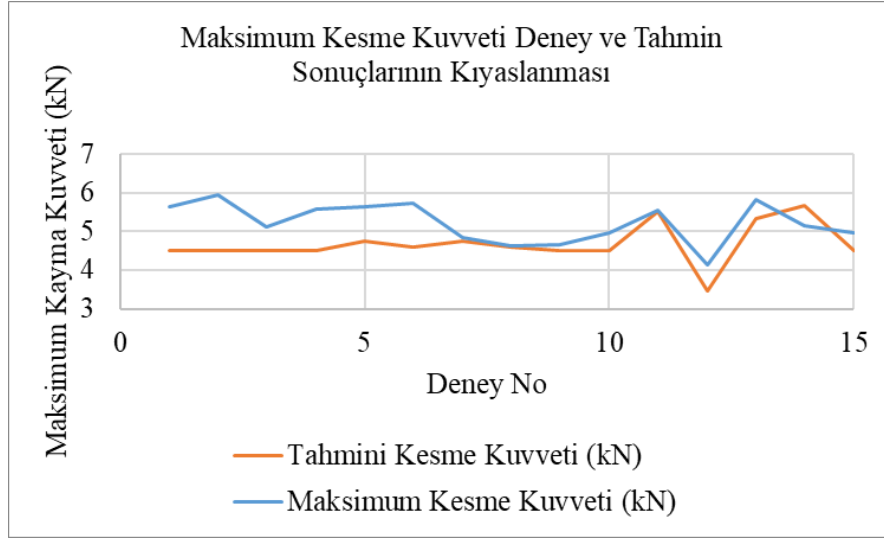
Deney No	Lazer Gücü (W)	İlerleme Hızı (mm/s)	Lazer Açısı (°)	Tam Birleşme Mesafesi (µm)	Maksimum Kesme Kuvveti (kN)
1	2350	47.5	75	493.5	5.6445
2	2650	47.5	75	611.1	5.9555
3	2350	62.5	75	487.2	5.1203
4	2650	62.5	75	459.4	5.5688
5	2350	47.5	85	560.5	5.6438
6	2650	47.5	85	522.6	5.7203
7	2350	62.5	85	408.8	4.8500
8	2650	62.5	85	439.2	4.6297
9	2200	55	80	459.4	4.6568
10	2800	55	80	483.5	4.9594
11	2500	40	80	556.7	5.5594
12	2500	70	80	374.7	4.1391
13	2500	55	70	437.9	5.8266
14	2500	55	90	507.4	5.1443
15	2500	55	80	489.8	4.9672

3.3. Bulanık mantık yöntemi ile optimizasyon çalışması

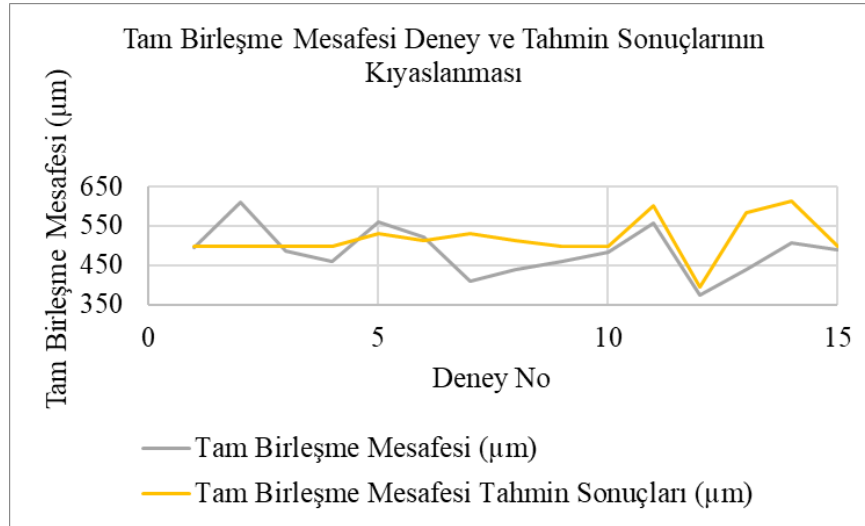
Lazer kaynak parametrelerinin kesme kuvvetine ve birleşme mesafesi değerlerine etkisini incelemek, optimum proses parametrelerini belirlemek için Bulanık Mantık yöntemi kullanılarak MATLAB Fuzzy Toolbox yardımıyla bir analiz yapılmıştır. Tahmine dayalı bulanık çıkarım sisteminin geliştirilmesi için 27 adet kural tanımlanarak kural tabanı oluşturulmuştur. Kural tabanı, deneysel koşula göre beklenen çıktıyı tahmin etmek için kullanılır. Lazer gücü, ilerleme hızı ve lazer açısı parametreleri için girdi değerleri verildiğinde, çıktı değerleri tahmin edilmektedir, Şekil 14'de kullanılan arayüz gösterilmiştir. İlk üç sütun girdi parametreleri olan lazer gücü, ilerleme hızı, lazer açısını göstermektedir; dördüncü ve beşinci sütun ise yanıt değişkenleri maksimum kesme kuvveti ve tam birleşme mesafesini göstermektedir. Örneğin 2500 W lazer gücü, 55 mm/s ilerleme hızı, 80° lazer açısı girdi parametreleri için elde edilecek maksimum kesme kuvveti 4.5 kN ve elde edilecek bonding uzunluğu 498 μm tahmin edilmektedir. Çalışmada kullanılan tüm girdi parametreleri için maksimum kesme kuvveti ve tam birleşme mesafesi tahmin sonuçları MATLAB arayüzü yardımıyla elde edilmiştir. Örnek olarak Deneysel sonuçlar için 2800 W lazer gücü, 55 mm/s ilerleme hızı, 80° lazer açısı girdi parametrelerinde maksimum kesme kuvveti 4.5 kN, tam birleşme mesafesi 498 μm olarak tahmin edilmiştir. Deneysel sonuçlar için 2500 W lazer gücü, 40 mm/s ilerleme hızı, 80° lazer açısı girdi parametrelerinde maksimum kesme kuvveti 5.52 kN, tam birleşme mesafesi tahmin sonucu 601 μm 'dir. Elde edilen deneysel çıktılar ve tahmin sonuçları grafik çizdirilerek birbirine göre kıyaslanmıştır, maksimum kesme kuvveti için Şekil 15, tam birleşme mesafesi için Şekil 16'da yer almaktadır. Tahmin sonuçları ile deneysel sonuçlar nispeten birbiri ile tutarlıdır, otomotiv sektöründe kaynak işlemlerinde parametrelerin kullanıma açısından yol gösterici nitelik taşımaktadır.



Şekil 14. Kural tabanı oluşturulan Bulanık Mantık modelinin arayüzü.



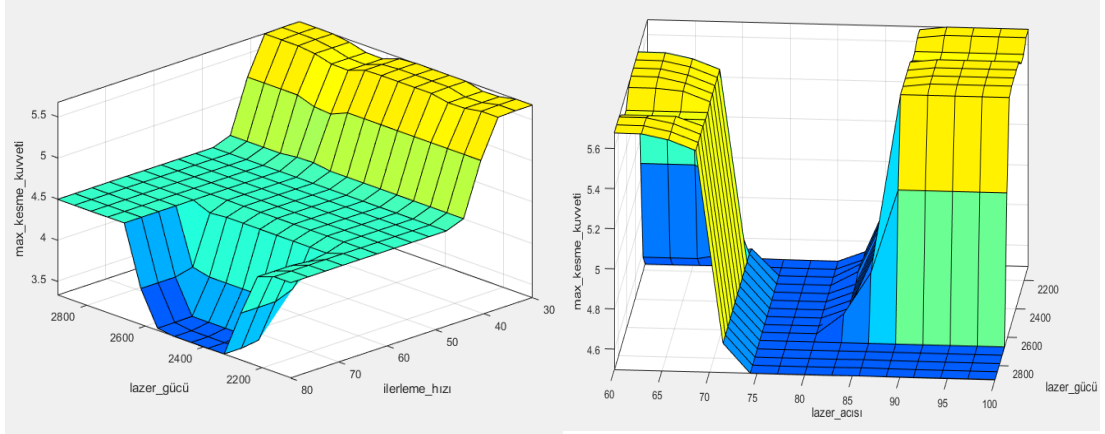
Şekil 15. Maksimum kesme kuvveti için Bulanık Mantık tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması.



Şekil 16. Tam Birleşme Mesafesi için Bulanık Mantık tahmin sonuçları ile deneysel verilerin kıyaslanması.

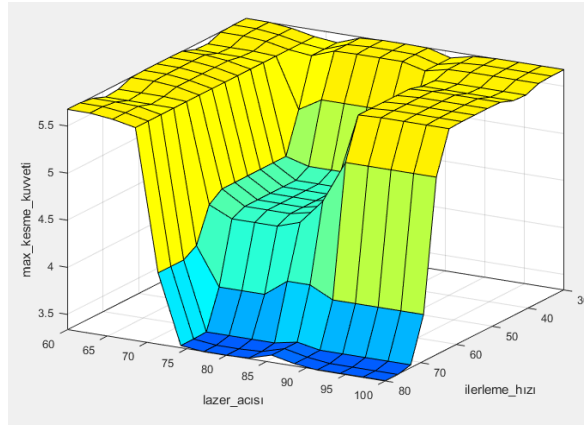
MATLAB yardımıyla maksimum kesme kuvveti ve birleşme mesafesi çıktıları için girdi parametrelerine göre yüzey grafikleri çizdirilmiştir, Şekil 17 ve Şekil 18'de grafikler gösterilmektedir. Lazer gücü ve ilerleme hızı için oluşturulan yüzey grafiği yorumlandığında düşük seviye ilerleme hızında (40 mm/s) maksimum kesme kuvvetinin elde edilebileceği gözlemlenmektedir (Şekil 17.a). Lazer açısı ve lazer gücü yüzey grafiklerinde düşük seviye lazer açısında (70°) maksimum kesme kuvveti değerleri elde edilebileceği tespit edilmiştir, ki bu sonuçlar diğer bölümlerde incelenen maksimum kesme kuvveti ve birleşme mesafesi ile tutarlıdır (Şekil 17.b). Lazer açısı ve ilerleme hızı grafiğinde ise aynı sonuçların elde edilebileceği söylenebilir (Şekil 17.c). Lazer gücü, parametrelere göre net bir değişim göstermemiştir, diğer parametrelere göre etkinliği daha azdır.

Tam birleşme mesafesi için elde edilen sonuçlar kesme kuvveti sonuçları ile örtüşmektedir, elde edilen grafikler oldukça benzerdir (Şekil 18). Çekme deneyinden elde edilen sonuçlar ile birlikte değerlendirildiğinde yüksek seviye lazer gücü (2800 W), ilerleme hızının düşük seviye (40 mm/s) ve lazer açısı parametresinin düşük (70°) olmasının mekanik ve geometrik özellikler açısından iyi sonuçlar vereceği söylenebilir.



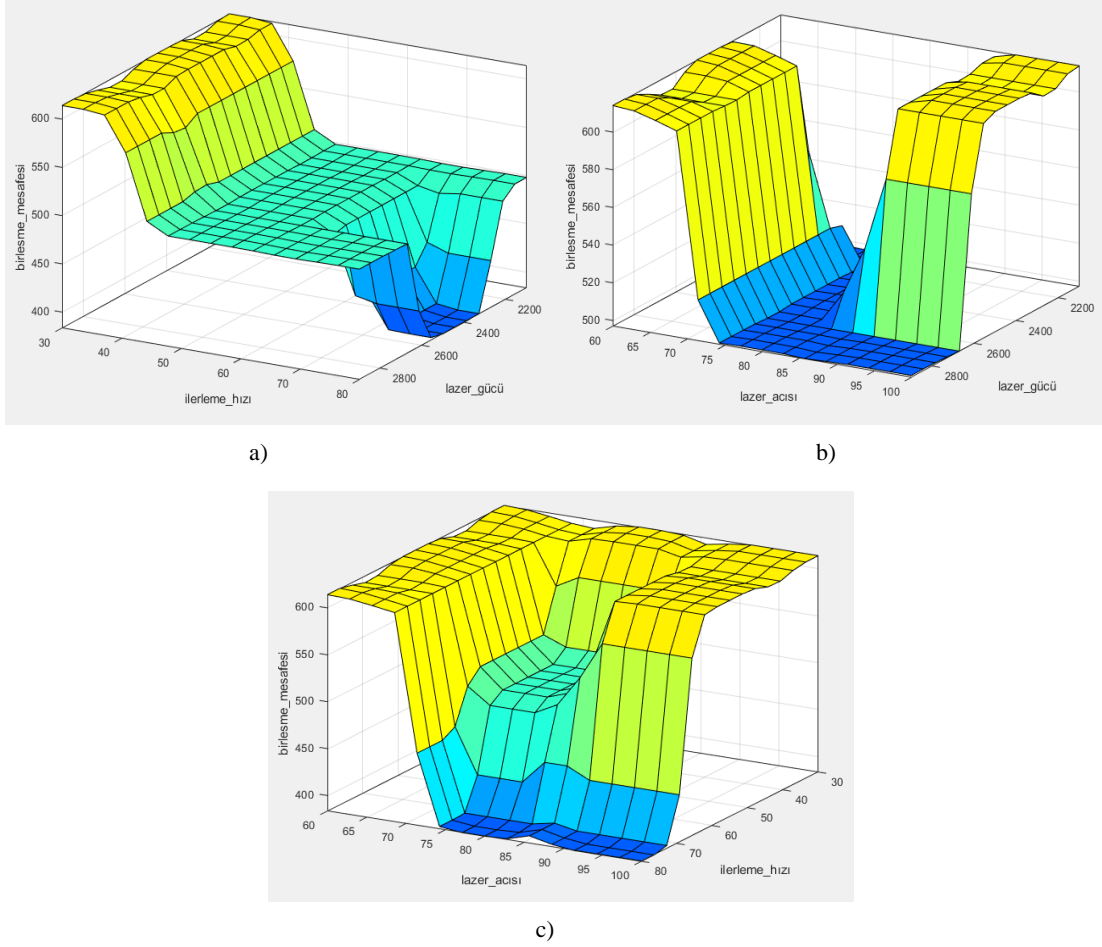
a)

b)



c)

Şekil 17. Kesme kuvveti çıktısı için yüzey grafikleri a) Lazer gücü ve ilerleme hızı ilişkisi, b) lazer gücü ve lazer açısı ilişkisi, c) ilerleme hızı ve lazer açısı ilişkisi.



Şekil 18. Tam birleşme mesafesi için yüzey grafikleri a) Lazer gücü ve ilerleme hızı ilişkisi, b) lazer gücü ve lazer açısı ilişkisi, c) ilerleme hızı ve lazer açısı ilişkisi.

4. Sonuç

Çalışma kapsamında Dual Phase (DP) 1200 çeliklerin fiber lazer kaynak yöntemi ile bindirme formunda birleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Lazer gücü, ilerleme hızı ve lazer açısı girdi parametrelerinin, kesme kuvveti ve birleşme mesafesi üzerindeki etkilerini tahmin etmek ve proses parametrelerini optimize etmek için Bulanık Mantık Mamdani yöntemi kullanılmıştır.

- Lazer gücü parametresinin artışı ile kaynak alanına daha yüksek ısı girdisi aktarılmakta kaynak havuzu genişleyerek metalurjik bağlanma kabiliyeti artmaktadır. Ancak, yüksek lazer güçlerinde sıçratmanın da mekanik özellikler üzerinde olumsuz etkisinin olabileceği unutulmamalıdır.
- İlerleme hızı parametresinin düşük olması ile lazer ışınının kaynak metaline temas süresi arttırılmakta ve erimenin gerçekleşmesi için zaman sağlanmaktadır. Yüksek seviye lazer gücü (2800 W), düşük seviye ilerleme hızı (40 mm/s) ve düşük seviye lazer açısı (70°) parametrelerinin kombinasyonunda yüksek birleşme mesafesi değerleri ve kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir; metalurjik bağlanma ve mukavemet özelliklerinin iyi olduğunun kanıtıdır.
- Bulanık Mantık Mamdani yöntemi ile elde edilen kesme kuvveti ve kaynak geometrisi tahmin sonuçları deneysel çıktılar ile örtüşmektedir. Otomotiv sektörüne yönelik kaynak işlemlerinde ilgili parametrelerin kullanımı için yol gösterici nitelik taşımaktadır, yöntemin benimsenebileceği saptanmış ve literatüre kazandırılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Birimi tarafından desteklenen OUAP (MH)-2019-6 numaralı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, fiber lazer kaynak işlemlerinin gerçekleştirilmesinde sağladığı imkanlar dolayısıyla LASER ISSE firmasına teşekkür eder.

Bu çalışmada, yazarı Meryem ALTAY olan “708282” numaralı “Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Yüksek Mukavemetli DP1200 Çeliğinde Lazer Kaynak Parametrelerinin Optimizasyonu” başlıklı yüksek lisans tezinden elde edilen veriler kullanılmıştır.

Kaynakça

- Altay, M. (2021). *Otomotiv endüstrisinde kullanılan yüksek mukavemetli DP1200 çeliğinde lazer kaynak parametrelerinin optimizasyonu*. (Yüksek Lisans Tezi), Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Bursa, Türkiye.
- Bandyopadhyay, K., Panda, S. K., & Saha, P. (2016). Optimization of fiber laser welding of DP980 steels using RSM to improve weld properties for formability. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 25(6), 2462–2477. doi:10.1007/s11665-016-2071-y
- Barzani, M. M., Zalnezhad, E., Sarhan, A., Farahany, S., Ramesh, S. (2015) Fuzzy logic based model for predicting surface roughness of machined Al-Si-Cu-Fe die casting alloy using different additives-turning. *Measurement*, 61, 150-161. doi: 10.1016/j.measurement.2014.10.003
- Devendran, P., & Ashoka Varthanan, P. (2021). Prediction of weldment mechanical properties in GMAW with robot-assisted using fuzzy logic systems. *Materials Research Express*, 8(12), 126524. doi:10.1088/2053-1591/ac432a
- Heidarzadeh, A., Testik, Ö. M., Gülerüz, G., & Barenji, R. V. (2020). Development of a fuzzy logic based model to elucidate the effect of FSW parameters on the ultimate tensile strength and elongation of pure copper joints. *Journal of Manufacturing Processes*, 53, 250–259. doi:10.1016/j.jmapro.2020.02.020
- Janasekaran, S., Jamaludin, M. F., Yusof, F., Shukor, M. H. A., & Ariga, T. (2017a). Influence of BA4047 filler addition through Mamdani fuzzy logic optimization for double-sided T-joint welding of aluminum alloys using low-power fiber laser. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 93(5–8), 2133–2143. doi:10.1007/s00170-017-0695-1
- Janasekaran, S., Yusof, F., Zin, H. M., Jamaludin, M. F., & Shukor, M. H. A. (2017b). A fuzzy logic-based prediction model for fracture force using low-power fiber laser beam welding. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 91, 3603–3610. doi:10.1007/s00170-017-0073-z
- Kim, P. (2017). *MATLAB Deep Learning: With Machine Learning, Neural Networks and Artificial Intelligence*. CA, USA: Apres. doi:10.1007/978-1-4842-2845-6
- Lin, J., Zhang, J., Min, J., Sun, C., & Yang, S. (2021). Laser-assisted conduction joining of carbon fiber reinforced sheet molding compound to dual-phase steel by a polycarbonate interlayer. *Optics and Laser Technology*, 133, 106561. doi:10.1016/j.optlastec.2020.106561
- Medhi, T., Hussain, S. A. I., Saha Roy, B., & Saha, S. C. (2020). Selection of best process parameters for friction stir welded dissimilar Al-Cu alloy: A novel MCDM amalgamated MORSM approach. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 42(10), 1–22. doi:10.1007/s40430-020-02631-9
- Nair, A., Ramji, V., Durai Raj, R., & Veeramani, R. (2020). Laser cladding of Stellite 6 on EN8 steel – A fuzzy modelling approach. *Materials Today: Proceedings*, 39, 348–353. doi:10.1016/j.matpr.2020.07.431
- Palani, K., Elanchezhian, C., Ramnath, B. V., & Ramadoss, R. (2020). Hybrid Fuzzy based response surface optimization of welding parameters on Vickers microhardness and impact strength of FSWed AA8011-H24 aluminium alloy joints. *Materials Today: Proceedings*, 23, 573–582. doi:10.1016/j.matpr.2019.05.412
- Rout, A., Deepak, B. B. V. L., Biswal, B. B., & Mahanta, G. B. (2022). Weld seam detection, finding, and setting of process parameters for varying weld gap by the utilization of laser and vision sensor in robotic arc welding. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 69(1), 622–632.

[doi:10.1109/TIE.2021.3050368](https://doi.org/10.1109/TIE.2021.3050368)

- Shanavas, S., & Dhas, J. E. R. (2018). Quality prediction of friction stir weld joints on a 5052 H32 aluminium alloy using fuzzy logic technique. *Materials Today: Proceedings*, 5(5), 12124 - 12132. [doi:10.1016/j.matpr.2018.02.190](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.02.190)
- Velázquez, D. R. T., Helleno, A. L., Fals, H. C., & dos Santos, R. G. (2021). Prediction of geometrical characteristics and process parameter optimization of laser deposition AISI 316 steel using fuzzy inference. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 115(5–6), 1547–1564. [doi:10.1007/s00170-021-07269-y](https://doi.org/10.1007/s00170-021-07269-y)
- Zeinali, M., & Khajepour, A. (2010). Development of an adaptive fuzzy logic-based inverse dynamic model for laser cladding process. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 23(8), 1408-1419. [doi:10.1016/j.engappai.2009.11.006](https://doi.org/10.1016/j.engappai.2009.11.006)
- Zhang, L. L., Zhang, L. J., Long, J., Sun, X., Zhang, J. X., & Na, S. J. (2019). Enhanced mechanical performance of fusion zone in laser beam welding joint of molybdenum alloy due to solid carburizing. *Materials and Design*, 181, 107957. [doi:10.1016/j.matdes.2019.107957](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.107957)



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Derleme Makale

Van Gölü Havzası ve Civarının Depremselliğine Genel Bir Bakış

Hamdi ALKAN*, Mustafa TOKER, İsmail AKKAYA

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 65080, Van, Türkiye
Hamdi ALKAN, ORCID No: 0000-0003-3912-7503, Mustafa TOKER, ORCID No: 0000-0001-9981-6605,
İsmail AKKAYA, ORCID No: 0000-0002-7682-962X

*Sorumlu yazar e-posta: hamdialkan@yyu.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 30.06.2022
Kabul: 07.10.2022
Online Nisan 2023

DOI: [10.53433/yyufbed.1138320](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1138320)

Anahtar Kelimeler

Deprem riski,
Sismik hasar indisi,
Van Gölü havzası,
Yapı-zemin etkileşimi

Öz: Bu çalışma kapsamında, Van Gölü Havzası ve civarı için özellikle aletsel dönemde meydana gelmiş depremler ve bunların artçı şok verileri kullanılarak yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Farklı sismolojik parametrelerin kullanıldığı bu çalışmaların bulguları derlenerek, bölgenin gelecekteki deprem riski/tehlikesi karşısındaki durumu ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Aletsel ve tarihsel dönemde büyüklüğü 5.0 ve üzerinde olan birçok depremin meydana geldiği bölgede, son olarak 23 Ekim 2011 ($M_w=7.1$) ve 09 Kasım 2011 ($M_w=5.8$) tarihlerinde Van şehir merkezi civarında meydana gelen yıkıcı/hasar verici iki deprem bölgenin farklı özelliklerdeki aktif fay mekanizmalarına sahip olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, özellikle Van Gölü'nün hemen doğusu ile Çaldıran, Muradiye, Özalp, Saray ve Erciş civarında yakın gelecekte deprem tehlikesi diğer bölgelere göre büyük olarak ifade edilebilir. Ayrıca, Van Gölü Havzası ve civarının gerek jeofizik yöntemlere gerekse yapısal incelemelere dayalı farklı parametreler (zemin büyütmesi ve sismik hasar indisi gibi) kullanılarak zemin mühendislik özellikleri ve yapı-zemin etkileşimi açısından değerlendirmesi de bu çalışmada incelenmiştir.

An Overview of the Seismicity of Lake Van Basin and Its Surrounding Area

Article Info

Received: 30.06.2022
Accepted: 07.10.2022
Online April 2023

DOI: [10.53433/yyufbed.1138320](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1138320)

Keywords

Lake Van basin,
Seismic risk,
Seismic vulnerability index,
Soil-structure interaction

Abstract: In the scope of this study, the findings obtained from the previous studies using the main shocks with their aftershocks that occurred mainly in the instrumental period are evaluated for the Van Lake Basin. Using the different seismological parameters, the results of these previous studies are compiled to reveal the future earthquake hazard/risk. Many destructive earthquakes with magnitudes greater than 5.0 occurred in the region during the instrumental and historical periods. Finally, two destructive/damaging earthquakes that occurred around the city center of Van on 23 October 2011 ($M_w=7.1$) and 9 November 2011 ($M_w=5.8$) showed that the region has active fault mechanisms with different characteristics. As a result, the earthquake hazard evaluation and forecasting in the near future show a higher seismic risk in the east of Lake Van, especially around Çaldıran, Muradiye, Özalp, Saray, and Erciş, than in other regions. In addition to seismic risk analyses, the evaluation of the Van Lake Basin and its surroundings, in terms of soil engineering properties and soil-structure interaction, using different parameters (soil amplification and soil-structure interaction, etc.) based on geophysical methods and structural investigations, are also examined in this study.

1. Giriş

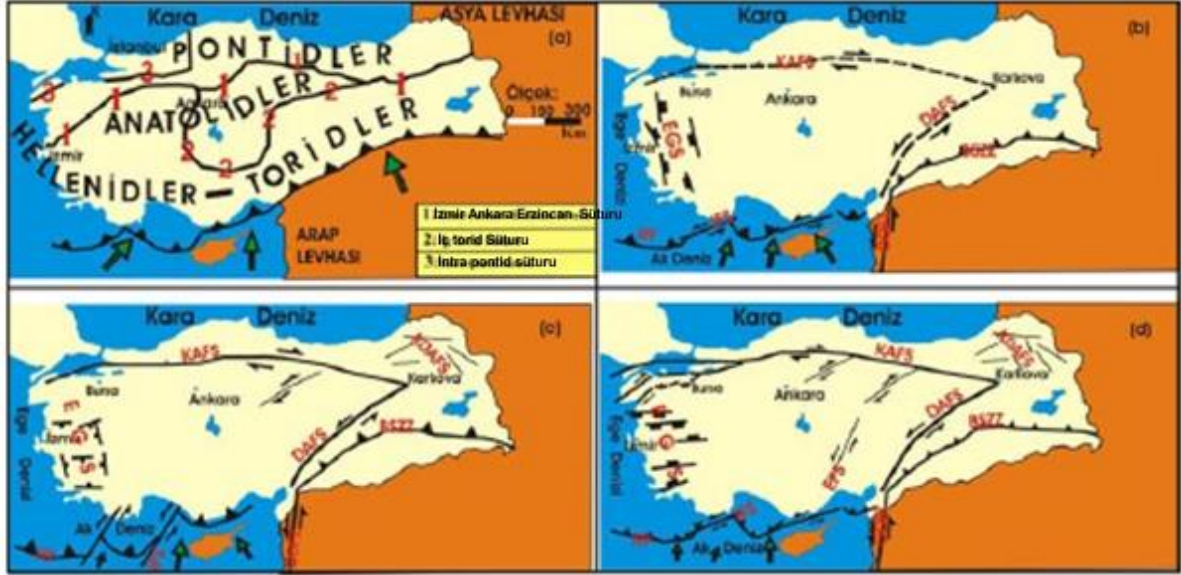
Yerküre içerisindeki kırılmalar nedeniyle bir kaynaktan ani olarak çıkan enerjinin sismik dalgalar şeklinde ve titreşimler halinde yayılarak geçtikleri ortamı ve yeryüzünü sarsması olayı *deprem* olarak tanımlanmaktadır. *Deprem*, kayaç kırılmaları boyunca blokların birbirlerine göre farklı hareket ettiği zayıf yerler yani *faylar* boyunca meydana gelir. Tarih boyunca ülkemizde birçok yıkıcı deprem meydana gelmiş olmasına rağmen, özellikle 17 Ağustos 1999 Gölcük depremi ($M_w=7.4$), 12 Kasım 1999 Düzce depremi ($M_w=7.2$), 23 Ekim 2011 Van depremi ($M_w=7.2$), 24 Ocak 2020 Elâzığ depremi ($M_L=6.7$) ve 30 Ekim 2020 İzmir depremi ($M_w=6.9$) gibi depremler ülkemizin sismotektonik yapısı itibarıyla bu doğa olayının vazgeçilmez olduğunu bize bir kez daha göstermiştir (Koeri, 2022). Diğer taraftan, Doğu Anadolu platosu da sahip olduğu tektonik mekanizmalardan dolayı, sismik etkinliği oldukça yüksek bir bölgedir. Bu plato içerisinde ve Bitlis-Zagros bindirme kuşağının hemen kuzeyinde bulunan Van Gölü havzası yaklaşık olarak 20.000 km²'lik yüz ölçüme sahiptir ve deprem üretme ya da tekrarlama açısından oldukça aktiftir. Özellikle yakın geçmişte meydana gelen 1976 Çaldıran depremi ($M_s=7.3$) ve 2011 Van depremi ($M_w=7.1$) bölgenin ürettiği sismik aktiviteyi açıkça göstermektedir. Bu bakış açısı ile Van Gölü havzası ve civarı yer bilimcilerin dikkatini her zaman çekmeyi başarmıştır. Bölgenin sismik tehlike/risk durumu ya da olası gelecek deprem tahmini için gerilme değişimi, sismik durgunluk, jeodezik ölçümler, magnitüd-frekans ilişkisi ya da tekrarlama zamanı gibi farklı sismotektonik parametreler ile ortaya koyulmaya çalışılmaktadır. Diğer taraftan, geçmişte meydana gelmiş depremleri üreten fay ve fay mekanizmalarının yapısal nitelikleri de detaylı olarak incelenmektedir. Bu çalışmada, Van Gölü havzası ve civarındaki son yıllarda yapılmış olan bazı sismolojik makaleler derlenerek, bölgenin depremselliği hakkında genel çıkarımlar yapılmıştır.

2. Van Gölü Havzası ve Civarının Tektoniği ve Jeolojisi

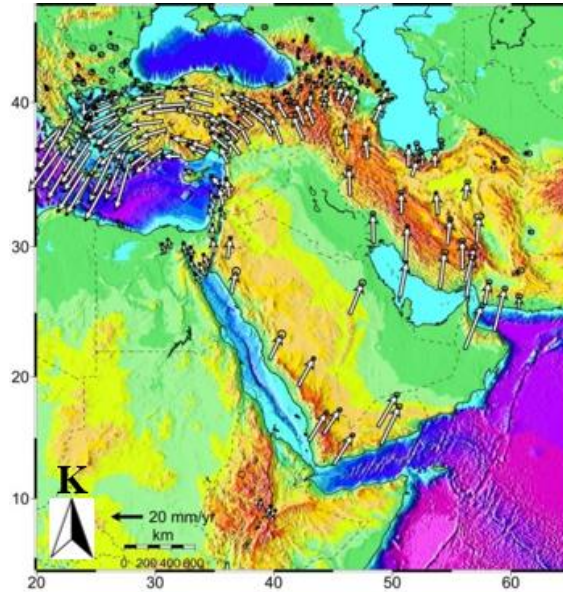
Alpine-Himalayan orojenik sisteminin Doğu Akdeniz kuşağı içerisinde yer alan Anadolu plakası Avrasya, Arap ve Afrika plakalarının birbirleri ile göreceli hareketlerinden etkilenmektedir. Anadolu'nun doğu kısmını Doğu Anadolu plakası oluşturmaktadır. Bölgede yaklaşık olarak 13 milyon yıl önce (orta Miyosen dönem) Avrasya plakası ile Arap plakasının çarpışması sonucu Neotetis okyanusunun güney kolu tükenmiştir. Bu kıta-kıta çarpışma dinamiği, Doğu Anadolu fay zonu ve Bitlis-Zagros bindirme kuşağı (BZBK) boyunca meydana gelmiştir (Şekil 1). Ayrıca, K-G yönlü kıta-kıta çarpışma geç Miyosen döneme ve sıkışma-genişleme tektoniği ise erken Pliyosenden güncel döneme kadar devam etmektedir. BZBK boyunca devam eden kıtasal çarpışma neticesinde, Doğu Anadolu plakası 2000 m civarında topografik bir yükselmeye maruz kalmıştır. Bu esnada, bölgede kabuksal kısalma ve kalınlaşma, çarpışma sonrası meydana gelen magmatizma ile birlikte ters fay, sağ ve sol yönlü doğrultu atımlı fay mekanizmaları gelişmeye devam etmiştir. K-G yönlü bu tektonik sıkışma Anadolu plakasını saat yönünün tersine doğru bir rotasyon hareketi yapmasına ve batıya doğru göç etmesine sebep olmuştur (Şekil 2). Bu seyahat iki önemli transform fay mekanizması boyunca meydana gelmiştir. Bunlar sağ yönlü doğrultu atımlı fay mekanizmasına sahip Kuzey Anadolu fay zonu (KAFZ) ve sol yönlü doğrultu atımlı fay mekanizmasına sahip Doğu Anadolu fay zonu (DAFZ)'dur. KAFZ ve DAFZ Karlıova üçlü kesişim bölgesinde (KÜK) birleşmektedir (Şekil 3). Bölgedeki diğer önemli tektonik yapılar sol yönlü doğrultu atımlı mekanizmaya sahip Ölü Deniz fay zonu (ÖDFZ) ve Kuzey Doğu Anadolu fay zonu (KDAFZ)'dur (McKenzie, 1970; Şengör & Yılmaz, 1981; Şengör ve ark., 1985; McClusky ve ark., 2000; Bozkurt, 2001; Koçyiğit ve ark., 2001; Keskin, 2003; Şengör ve ark., 2003; Reilinger ve ark., 2006; Bayrak ve ark., 2013 ve 2015; Emre ve ark., 2018; Alkan ve ark., 2020 ve 2021 Çoban & Sayıl, 2020; Alkan, 2022).

KAFZ dünyanın önemli ve aktif fay zonlarından bir tanesidir (Şengör ve ark., 1985; Şaroğlu ve ark., 1992; Emre ve ark., 2013) ve KAFZ, KÜK'den Ege denizine kadar yaklaşık 1400 km'lik bir uzunluğa sahiptir. Emre ve ark. (2013) KAFZ'nu sismik davranış ve geometrilerine göre 38 farklı segmente ayırmıştır. KAFZ'nun kayma hızı batıya doğru artacak şekilde 5 ile 25 mm/yıl arasında değişmektedir (Reilinger ve ark., 2006). KAFZ aletsel dönemde $M \geq 7.0$ olan 10 adet deprem üretmiştir. Bu depremler oldukça büyük can ve mal kayıplarına neden olmuştur. 1912'de $M_s=7.4$ büyüklüğündeki depremden sonra doğudan batıya bir deprem göçü başlamış ve 1939'da $M_s=7.9$ depreminden sonra 60 yıl içerisinde 8 adet $M \geq 7.0$ deprem meydana gelmiştir.

DAFZ, KÜK'den Antakya yakınlarındaki Kahramanmaraş üçlü eklemine kadar yaklaşık 600 km uzunluğa sahiptir ve bu noktadan sonra güneye doğru ÖDFZ ile birleşmektedir (Şengör ve ark., 1985; Över ve ark., 2002; Westaway, 2004; Yılmaz ve ark. 2006). Fayın kayma hızı, 6 ile 10 mm/yıl civarındadır (Taymaz ve ark., 1991; McClusky ve ark., 2000). DAFZ tarihsel deprem kataloğunda yer alan $M \geq 7.0$ olan birçok deprem üretmiştir (AFAD, 2022). Ancak 20. yüzyılda sadece bir adet yıkıcı deprem (2020 Elâzığ depremi, $M_w=6.8$) meydana gelmiştir. 1500'lü yıllardan günümüze doğru DAFZ'nda meydana gelen yıkıcı depremler; 1513 Pazarcık, 1822 Kahramanmaraş, 1866 Karlıova, 1872 Antakya, 1874 Gezin, 1875 Sivrice, 1893 Çelikhan, 1905 Pötürge, 1971 Bingöl, 1977 Palu ve Haziran-Temmuz 1986 Sürgü depremleridir (Ateş & Bayülke, 1977; Şaroğlu ve ark., 1987).

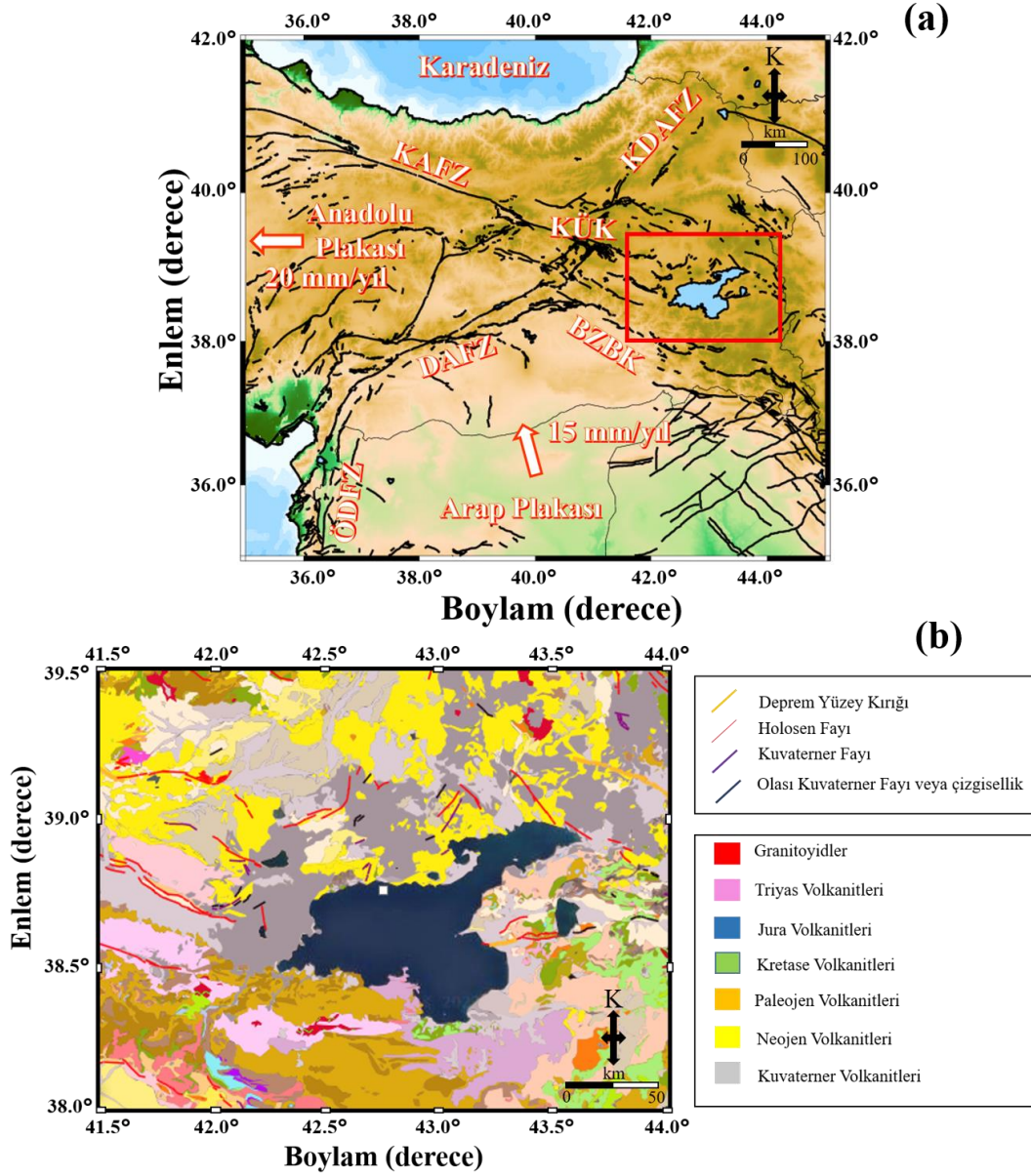


Şekil 1. Anadolu'nun Paleotektonik-Güncel dönem evrimi (a) Miyosen dönem öncesi, (b) Orta-Geç Miyosen dönem, (c) Pliyosen dönem, (d) Holosen dönem (Okay & Tüysüz, 1999). Kısaltmalar; KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, KDAFZ: Kuzey Doğu Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, BZSZ: Bitlis-Zagros Sütur Zonu, ÖDFZ: Ölü Deniz Fay Zonu, EGS: Ege Graben Sistemi.



Şekil 2. Güneyde Arap levhası ve buna bağlı olarak Anadolu ve çevresindeki levhaların oklar ile belirlenmiş hareket yönleri ve GPS hızları (Reilinger ve ark., 2006).

KÜK'nin güney doğusunda ve BZBK'nın kuzeyinde deniz seviyesinden 1650 m yükseklikte bulunan Van Gölü (38.5°K, 43°D) bölgedeki önemli tektonik yapılardan bir tanesidir (Şekil 3). Kapalı havza yapısına sahip Van Gölü güncel şeklini Kuvaterner dönemdeki etkin volkanizma ile almıştır. Van Gölü havzası, Muş rampa havzasının doğuda hem sedimentolojik ve hem de tektonik devamı olup, Nemrut volkanı ile ayrılmıştır (Şengör ve ark., 1985). Van Gölü içerisinde birçok havza ve sırt ile birlikte farklı mekanizmalara sahip fay bileşenleri ve modal morfolojik yapılar bulunmaktadır (Selçuk, 2016; Çukur ve ark., 2017; Toker ve ark., 2017a; Toker, 2021).

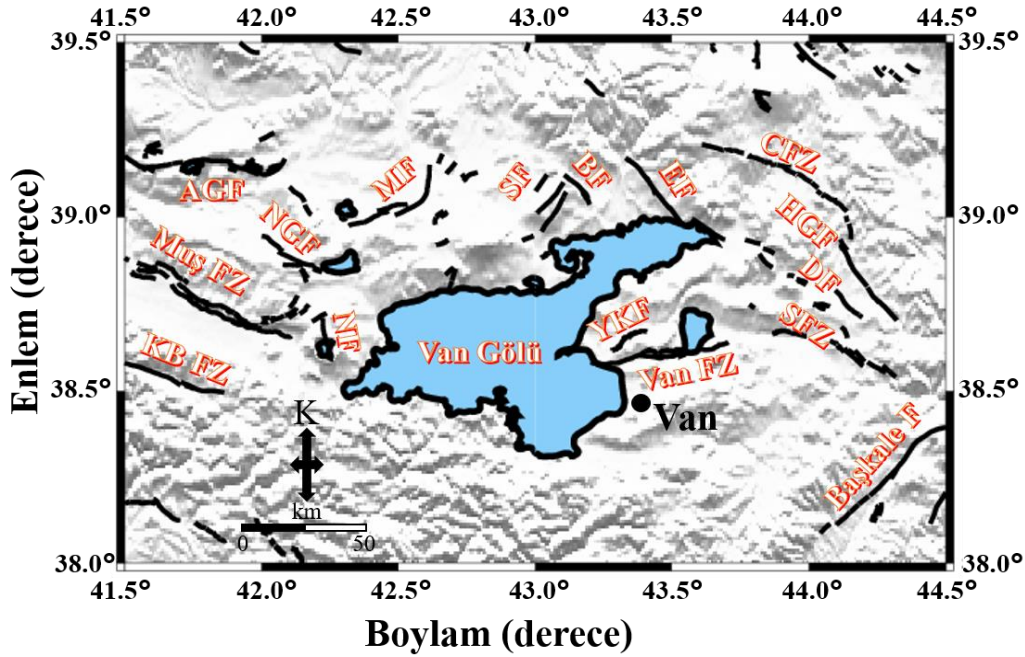


Şekil 3. (a) Doğu Anadolu ve civarındaki ana tektonik birimler (Bozkurt (2001) ve Emre ve ark. (2018)'den değiştirilerek çizilmiştir). İncelenen bölge kırmızı dikkdörtgen ile gösterilmiştir. Oklar plaka hız ve yönlerini göstermektedir (Reilinger ve ark., 2006). Kısaltmalar; KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, KDAFZ: Kuzey Doğu Anadolu Fay Zonu, KÜK: Karlıova Üçlü Kesişim, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, BZBK: Bitlis-Zagros Bindirme Kuşağı, ÖDFZ: Ölü Deniz Fay Zonu. (b) Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nden alınan Van Gölü havzası ve civarının Jeoloji haritası (Akbaş ve ark., 2011; Emre ve ark., 2013).

Geç Pliyosende oluşan Van Gölü havzasında genel olarak Paleozoyik dönemden günümüze kadar birçok farklı kayaç birliği yerleşik haldedir. Havzanın güney batısında Bitlis masifi ile ilişkili

Mezozoyik yaşlı metamorfik kayalar, doğusunda Yüksekova karmaşığına ait ofiyolitler, volkanikler ve kırıntılı çökel birimler bulunmaktadır. Van formasyonu olarak isimlendirilen bölgede ise Oligosen-Miyosen yaşlı denizel çökeller ve genel olarak kırıntılı kayalar bulunmaktadır. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nden elde edilen bölgenin jeoloji haritasına göre (Akbaş ve ark., 2011; Emre ve ark., 2013), Van Gölünün batısında Triyas, Paleojen ve Kuvaterner volkanitleri yerleşik durumdadır. Van Gölünün doğusunda ayrılmamış Kuvaterner birimler, Oligosen-Alt Miyosen kırıntılılar, ofiyolitik melanj, Üst Kretase-Paleosen yaşlı bazaltlar ve Pliyosen yaşlı karasal kırıntılılar bulunmaktadır. Van Gölünün güneyinde Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı mermerler ve şistler, kuzeyinde Pliyosen-Kuvaterner yaşlı Piroklastik kayalar hâkimdir (Şekil 3). Diğer taraftan, Doğu Anadolu bölgesindeki kıta-kıta çarpışma ile ilişkili Erzurum-Kars platosundan Arap plakasına kadar devam eden bir volkanik kuşak bulunmaktadır. Bölgede, Van Gölü yakınlarında litolojisi, morfolojisi ve volkanolojik karakterleriyle belirgin stratovolkanlar vardır. Bunlardan başlıcaları Nemrut, Süphan ve Tendürek volkanlarıdır. Tendürek volkanı biraz kuzeyde kalmaktadır. Van Gölü havzasının hemen batısında ve kuzeyinde Kuvaterner yaşlı Nemrut ve Süphan volkanları bu kuşağın bir parçasıdır. Van Gölünün oluşumunu ele alan çalışmalarda, gölün oluşumunda volkanizmanın ve volkanlardan atılan çökelin birinci derecede önemli rol oynadığı belirtilmektedir (Acarlar ve ark., 1991; Çukur ve ark., 2013 ve 2017; Özdemir ve ark., 2019; Ersayar, 2021).

Van Gölü havzası ve civarında birçok aktif fay ve fay zonu bulunmaktadır. Sağ yönlü doğrultu atımlı fay mekanizmasına sahip Dorutay fayı, Hasantimur Gölü fayı, Erciş fayı, Bulamaç fayı, Nazik Gölü fayı, Saray fay zonu, Çaldıran fay zonu ve Kavakbaşı fay zonu iken, sol yönlü doğrultu atımlı fay mekanizmasına sahip Başkale fayı, Malazgirt fayı ve Süphan fayı mevcuttur (Şekil 4). Diğer taraftan havzanın batısında bulunan Nemrut fayı normal fay mekanizmasına sahip iken, doğuda bulunan ve Van yerleşim merkezinde olan Yeniköşk fayı ve Van fay zonu ve havzanın batısında bulunan Muş fay zonu ters fay mekanizmasına sahiptir (Emre ve ark., 2018).

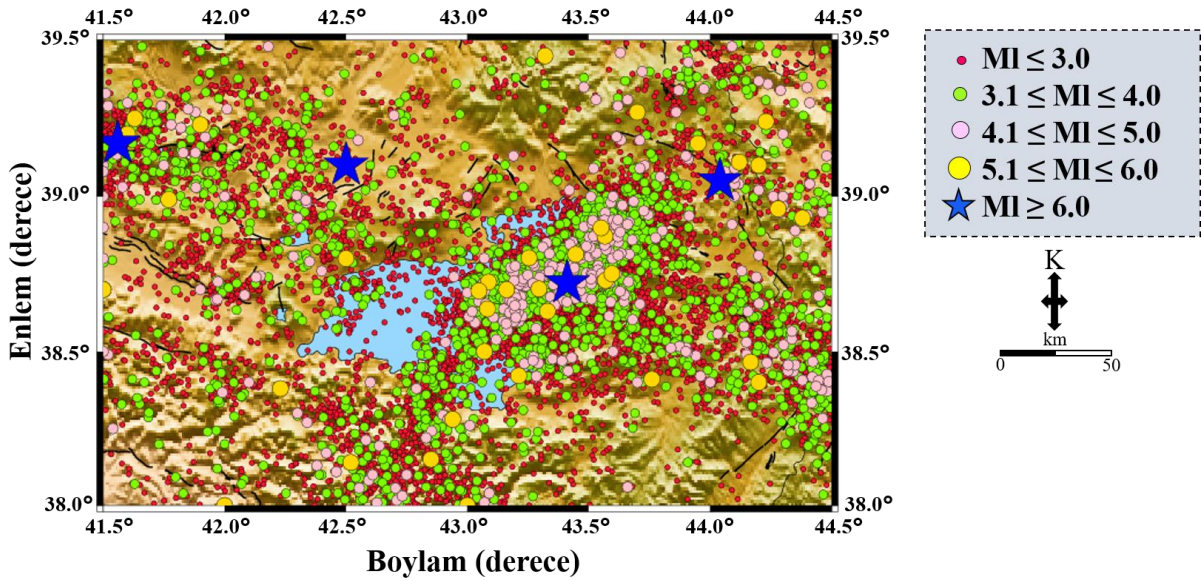


Şekil 4. Van Gölü havzasındaki aktif tektonik faylar (Emre ve ark. (2018)'den değiştirilerek alınmıştır). Kısaltmalar; AGF: Akdoğan Gölü Fayı, NGF: Nazik Gölü Fayı, MF: Malazgirt Fayı, SF: Süphan Fayı, BF: Bulamaç Fayı, EF: Erciş Fayı, CFZ: Çaldıran Fay Zonu, HGF: Hasantimur Gölü Fayı, DF: Dorutay Fayı, SFZ: Saray Fay Zonu, YKF: Yeniköşk Fay Zonu, NF: Nemrut Fayı, KBFZ: Kavakbaşı Fay Zonu.

Tarihsel ve aletsel dönemde bu faylarda meydana gelen depremlerin odak derinlikleri genellikle sığ olmakla birlikte şiddetleri hasar verici ya da yıkıcı düzeydedir. Tarihsel dönemde, 1111 Van depremi (IX), 1276 Erciş depremi (VIII), 1441 Nemrut volkanik aktivitesi, 1646 Van depremi (IX), 1715 Van-

Erciş depremi (VIII), 1881 Nemrut depremi bölgedeki önemli ve yıkıcı depremlerdir (AFAD, 2011). Özellikle aletsel dönemde meydana gelen 1903 Malazgirt depremi ($M=6.3$), 1930 Salmas depremi ($M=7.2$), 1964 Erciş depremi ($M=5.3$), 1976 Çaldıran depremi ($M_s=7.3$), 2011 Van depremi ($M_w=7.1$), 2011 Edremit depremi ($M_w=5.6$), 2020 Khoy depremi ($M_w=5.9$) ve 2020 Saray depremi ($M_w=5.4$) bölgenin tektonik olarak oldukça aktif olduğunun göstergesidir (AFAD, 2011). Bu depremler bölgede ağır hasarlara ve can kayıplarına neden olmuştur. Şekil 5’de aletsel dönemde meydana gelen depremlerin episantr dağılımları gösterilmiştir. Bu depremlerin katalog bilgileri Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü web sayfasından alınmıştır (Koeri, 2022). 1900-2022 yılları için magnitüdüleri $1.0 \leq M_L \leq 8.0$ arasında seçilen sığ depremler (derinlik ≤ 70.0 km) için tarama yapılarak 16920 adet deprem lokasyonu elde edilmiştir.

Aletsel dönemde büyüklüğü 5.0 ve daha büyük olan yaklaşık 50 adet yıkıcı/hasar verici deprem Van Gölü havzasında meydana gelmiştir (Şekil 5). 1976 yılında Çaldıran fay zonu üzerinde meydana gelen deprem, yaklaşık olarak 50 km yüzey kırığı ile bölgedeki bu zamana kadar meydana gelen en büyük deprem olarak kayıtlara geçmiştir (Selçuk ve ark., 2016). 23 Ekim 2011 ve 09 Kasım 2011 tarihlerinde meydana gelen Van depremi ($M_w=7.1$) ve Edremit depremi ($M_w=5.6$) ve bunlarla ilişkili meydana gelen artçı şoklar neticesinde, yaklaşık olarak 644 vatandaşımız hayatını kaybetmiş ve binlerce yapı kullanılamaz hale gelmiştir. 2011 Van depreminin odak mekanizması ters fay karakterinde iken, 09 Kasım 2011 tarihinde Edremit ilçesi yakınlarında meydana gelen depremin odak mekanizması sol yönlü doğrultu atımlıdır (AFAD, 2011). Başka bir ifadeyle, bu iki deprem birbirinden bağımsızdır. Diğer taraftan, bölgede 23 Şubat 2020 tarihinde, Başkale fayı üzerinde doğrultu atımlı mekanizmaya sahip iki adet deprem ($M_w=5.9$) meydana gelmiştir. Son olarak, Saray fay zonu üzerinde 25 Haziran 2020 tarihinde odak mekanizması çözümü normal fay olan bir deprem ($M_w=5.4$) meydana gelmiştir. Sadece bu depremlerin yapısal karakterleri bile bir kez daha göstermiştir ki Van Gölü ve civarı yıkıcı deprem üretme açısından oldukça aktif bir bölge olup, çok sayıda farklı fay sistemine sahiptir (AFAD, 2020a ve 2020b).



Şekil 5. Van Gölü havzası ve civarı için 1900-2022 yılları arasında meydana gelen 16920 adet depremin episantr dağılımı. Depremlerin aletsel büyüklükleri (M_L) yandaki sembollerle gösterilmiştir. Deprem katalog verisi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü web sayfasından alınmıştır (Koeri, 2022).

3. Van Gölü Havzasındaki Deprem Verileri Kullanılarak Yapılan Parametre ve Kestirim Çalışmaları

Van Gölü havzası ve civarı depremsellik açısından her yönüyle ilginç bir bölgedir. Özellikle Doğu Anadolu plakası Arap ve Avrasya plakalarının terslenmesinden dolayı bir sıkışma mekanizması

altındadır. Bölgenin bu aktif tektonik karakteri farklı türde fay mekanizmalarına ve dolayısıyla da aktif depremselliğe sebep olmaktadır. Sismik durağanlık, InSAR, GPS, Gutenberg-Richter (frekans-magnitud) b -değeri, Coulomb gerilme değeri gibi farklı parametreler kullanılarak, birçok bilim insanı Van Gölü havzası için çalışmalar yapmışlardır. Aşağıda, bu çalışmaların önemli bir kısmı verilmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen bulgular, bir sonraki bölümde değerlendirilmiştir.

Taymaz ve ark. (2004), Doğu Akdeniz Bölgesi'nin aktif faylanma ve kabuksal deformasyonunu incelemiştir. Bu tematik çalışma Akdeniz ve civarındaki deniz jeofiziği araştırmaları, Batı Anadolu açıkları için araştırmalar, doğrultu atımlı fay sistemleri ile ilişkili yapısal unsurlar, özellikle Batı Anadolu için sismisite ve İstanbul'daki kuvvetli yer hareketi simülasyonunu içermektedir.

Sayıl (2005), Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki dokuz farklı deprem kaynağı için uzun vadede deprem tekrarlama zamanını ve büyüklüğünü belirlemeye çalışmıştır. Çalışmada, Van Gölü'nün kuzeyi ve güneyi için 10 yıllık olasılıkta (P_{10} , probability) ana şoku takiben büyüklüğü $M_f=6.7$ olan bir depremin meydana gelme ihtimalini $P_{10}=0.46$ olarak belirlemiştir. Diğer taraftan, 30 yıllık olasılıkta (P_{30} , probability) ana şoku takiben büyüklüğü $M_f=6.7$ olan bir depremin meydana gelme ihtimalini ise $P_{30}=0.83$ olarak hesaplamıştır.

Irmak ve ark. (2012), 23 Ekim 2011 Van depreminin ($M_w=7.1$) kırılma sürecini ve artçı şoklarını incelemiştir. Çalışmada, fay düzlem çözümleri ile yüzey kırık geometrisini karşılaştırmışlardır. Van depreminin Doğu Anadolu sıkıştırma zonu üzerinde Van ve Erçek arasında kuzeydoğu-güneybatı eğilimli ters bir fay düzlemi üzerinde meydana geldiğini göstermişlerdir. Fay düzlemi üzerinde büyük atımlı bir asperite "kırılma" bölgesi belirlenmiş ve güneybatı - kuzeydoğu yönlü yayılan ve düz bir kırık yapısı ortaya koymuşlardır.

Bulut ve ark. (2012), DAFZ boyunca meydana gelen sismik aktiviteyi ve fay kinematığını araştırmışlardır. Elde ettikleri hiposantr çözümlerine göre, DAFZ'nun KD-GB ve D-B yönlü alt segmentlerden meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Sol yönlü doğrultu atımlı fay mekanizması ile GPS verilerinden elde ettikleri deformasyon yönlerinin uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Diğer taraftan, lokal ters ve normal faylanmaya sahip odak mekanizması çözümlerini de gözlemlemişlerdir. Hiposantrların gözlemlenen uzaysal-zamansal değişiminin fay zonu üzerindeki ana segmentler boyunca mikro ve orta büyüklükteki depremlerin göçüne karşılık geldiğini belirtmişlerdir.

Öztürk & Bayrak (2012), Doğu Anadolu'da gözlemlenen sismik durağanlığın değişimini incelemiştir. Van Gölü havzası civarında bulunan Başkale Fayı için düşük b -değeri (<0.7) elde etmişlerdir. Diğer taraftan 2009 yılı itibarıyla Z -değerinin değişimini de incelemiştir. Elde ettikleri sonuçlara göre, Erzurum, Tunceli, Elâzığ-Bingöl ve Van Gölü civarı olmak üzere dört farklı bölge için sismik durağanlıktan ve gelecekteki deprem potansiyelinin bu bölgeler için yüksek olduğundan bahsetmişlerdir.

Bayrak ve ark. (2013), 2011 Van depremi esnasında ortaya çıkan deprem tetikleme Gutenberg-Richter (frekans-magnitud) ilişkisinden hesaplanan b -değeri, artçı şokların azalım ilişkisinden hesaplanan p -değeri, fraktal analizinden hesaplanan D -değeri ve Coulomb gerilme değişiminden hesaplanan gerilme değerinden faydalanarak incelemiştir. Elde ettikleri sonuçlara göre, ana şokun kosismik kaymasından dolayı, pozitif gerilme transferi artçı şok aktivitesini tetiklemiştir.

Doğan & Karakaş (2013), 2011 Van depreminin ($M_w=7.1$) tektonik yapısını ve kosismik yüzey yırtılma geometrisini incelemiştir. Ana ters fay üzerinde meydana gelen bu depremin gömülü (buried) ya da kör (blind) bir yapı tarafından üretildiğini ve Erciş-Van arasındaki bloklarda olduğunu ifade etmişlerdir. Birincil ters yırtılma ile birlikte ikincil ters bindirme fayı KD doğrultulu sol yanal ve KB doğrultulu sağ yanal bir fay meydana getirmiştir. Ayrıca, yüzey yırtılmasının toplam boyunu 8 km civarında hesaplamışlardır.

Elliott ve ark. (2013), InSAR, cisim dalgası verisi, uydu görüntüleri ve saha çalışması verilerinden faydalanarak 2011 Van depreminin ($M_w=7.1$) fay parametrelerini belirlemeye çalışmışlardır. Van depreminin kuzeye eğimli bir çift ters fay ekseninde meydana geldiğini ve 11 km civarındaki bir alanın yırtıldığını ifade etmişlerdir. Diğer taraftan, fayın kayma yapısının yaklaşık olarak 9 km derinlikte ve yüzey kırığı ile uyumlu olduğunu belirtmişlerdir.

Fielding ve ark. (2013), P - ve SH -dalga analizi, InSAR, GPS ve jeodezik verileri kullanarak 2011 Van depreminin kaynak modellerini karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, ana şok orta kabuk derinliklerinde (~ 25 km) meydana gelmiş ve sığ bölgede kayma daha kısa gerçekleşmiştir.

Görgün (2013), 2011 Van depreminin ($M_w=7.1$) öncesi ve sonrası için Gutenberg-Richter (frekans-magnitud) ilişkisinden elde edilen b -değeri değişimi analizini yapmıştır. 23 Ekim 2011'den

önce Van-Erciş ana şok bölgesinde b -değerlerinin önemli ölçüde daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bununla ilişkili olarak, ana şokun yüksek gerilme ya da düşük b -değerine sahip olan asperite bölgesinde olduğunu ifade etmiştir. Van-Erciş depremi artçı şokları ile ilişkili düşük b -değerlerinin Van Gölü havzasında orta ya da büyük depremlerin gelecekte olabileceği gerçeğini işaret etmiştir.

Utkucu ve ark. (2013), 23 Ekim 2011 Van depreminin ($M_w=7.1$) öncesi ve sonrası için Coulomb statik gerilme değişimlerini incelemişlerdir ve gelecekte meydana gelebilecek olan deprem tehlikesi etkilerinin azaltılması hakkında çalışmışlardır. 2011 Van depreminin ardından Gürpınar fayı üzerindeki sığ gerilme yapısının daha belirgin hale geldiğini ve 1646 Van depreminin tekrarlanmasının bastırıldığını ifade etmişlerdir. Utkucu ve ark. (2013), ana şok yırtılma bölgesiyle ilişkili olarak artçı şokların kaynak mekanizması ve dağılımının dört farklı bölgede toplandığını belirtmişlerdir. Buna ek olarak, artçı şokların bölgenin daha çok kuzeydoğusunda yoğunlaştığını ifade etmişlerdir. Bu yoğunlaşmanın gelecekteki artçı şoklar ve deprem tehlikesinin azaltılması için önemli bir fikir vereceğini belirtmişlerdir.

Degori ve ark. (2014), 2011 Van depreminin ($M_w=7.1$) artçı şok aktivitesinin mekânsal ve zamansal özelliklerini, fay ekseninin yüzey görüntüsünden elde edilen parametreler ve Gutenberg-Richter b -değeri değişiminden faydalanarak incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, Van fay zonu boyunca 0.9-1.5 arasında değişen b -değeri değişimlerini hesaplamışlardır. Yüksek b -değerleri ana şokun episantr bölgesi civarında ve düşük b -değerleri fayın civar bölgelerinde elde edilmiştir.

Doğan ve ark. (2014), asismik fay aktivitesini kanıtlamak için 23 Ekim 2011 Van depremini takiben meydana gelen post-sismik deformasyonu incelemişlerdir. Jeodezik gözlemlere göre, kosismik bindirme fayının taban bloğu ana şokun ardından yeniden aktif hale gelmiştir. Elde edilen sonuçlarda, InSAR modellerden oluşturulan kosismik fayın sığ kısmındaki kayma miktarı asismik kayma ile ilişkilendirilmiştir. Asismik kaymanın neden olduğu gerilme transferi aktif faylar için deprem risk değerlendirmesinde dikkate alınabileceğini belirtmişlerdir.

Kalafat ve ark. (2014), 23 Ekim 2011 Van depreminin ve artçı şoklarının odak mekanizması çözümlerini, gerilme rejimi ve deformasyon karakteristiği açısından incelemişler ve genel olarak, DB ve KD-GB yönlü fayların bölgedeki deprem aktivitesine sebep olduğunu belirtmişlerdir. Odak mekanizması çözümlerinin, ana şokun ters fay karakteristiğinde olduğunu gösterdiğini ve deprem aktivitesinin sıkışma rejimi ile ilişkili olarak devam ettiğini ifade etmişlerdir. Sonuç olarak Kalafat ve ark. (2014)'na göre, Van depreminin bölgesel gerilme değişimine neden olduğunu ve civar faylarda meydana gelebilecek orta büyüklükteki depremleri tetikler nitelik taşıdığını belirtmişlerdir.

Gutenberg-Richter b -değeri, sismik durağanlık Z -değeri, yıllık olasılık ve tekrarlama zamanı parametrelerine bağlı olarak, Öztürk (2017) Doğu Anadolu bölgesi için gelecek deprem potansiyeli varsayımında bulunmuştur. Van Gölünün kuzeyi ve Malazgirt fayı civarı için düşük b -değeri ve Z -değeri hesaplanmıştır. Bu düşük değerlerin gelecekte güçlü deprem oluşumu için bir kanıt olabileceğini ifade etmiştir. Bölge için aletsel büyüklüğü 5.0 ve üzeri olan depremlerin geri dönüş periyodunun 13 yıl civarında olduğunu hesaplamıştır.

Işık ve ark. (2017), 2011 Van depreminin artçı şoklarının uzaysal-zamansal dağılımını ve mekanizmasını incelemişlerdir. Artçı şok aktivitesinin, ana şokun D-B yönlü sağ yönlü bir fay ve kosismik yırtılmanın sonlanmasıyla ilişkili sol yönlü bir fayın tetiklenmesiyle ortaya çıktığını ifade etmişlerdir. Ayrıca, ana şokla ilişkili pozitif Coulomb gerilme değişiminin de bu aktivitelerle uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Işık ve ark. (2017), Van fay zonunun K-G doğrultulu sol yönlü bir fay tarafından kesildiğini belirtmişlerdir.

Çoban & Sayıl (2018), DAFZ ve yakın çevresinin depremselliğini Poisson ve Üstel dağılım modelleri ile araştırmışlardır. Çalışma bölgesi için Poisson modeline göre, gelecek 10 yıl içerisinde büyüklüğü ($M_s \geq 5.0$) olan bir depremin olma olasılığı %100'e yakın ve tekrarlama periyodu 2 yıl olarak hesaplanmıştır. Diğer taraftan Üstel dağılım modeline göre, büyüklüğü ($M_s \geq 5.2$) olan bir depremin olma olasılığı %30'a yakın ve tekrarlama periyodu 4 yıl olarak belirlenmiştir.

Öztürk (2018), b -değeri, D_c -değeri ve Z -değeri parametrelerini kullanarak, Doğu Anadolu bölgesi için deprem aktivitesinin bölge-zaman analizini incelemiştir. Çalışmada, yüksek Z -değeri ve düşük b -değerine sahip bölgelerin gelecek depremler için riskli bölgeler olduğunu ifade etmiştir. Buna göre, büyük Z -değeri ve küçük b -değeri olan bölgeler çalışma bölgesinde mevcuttur. Van Gölü havzası ve civarı için Erciş fayı, Yeniköşk fayı, Van fay zonu ve Saray fay zonunu içeren bölgelerin yüksek riskli bölgeler olduğunu ifade etmiştir.

Toker ve ark. (2021), telesismik dalga formlarından faydalanarak, 23 Ekim 2011 Van depreminin tetiklediği fay dışı doğrultu atımlı hareketleri incelemiştir. Çalışmada, kabuksal yapıların gerilme dağılımlarındaki yanal değişimlerini etkilediği ifade edilmiştir. Van Gölü ve Erçek Gölü altındaki kabuksal uzanım nedeniyle fay alanı dışında yeni bir transfer fayın gerilme etkileşimine katkısı olduğunu belirtmişlerdir ki bu etkileşim Erçek Gölü tabanında tek kanallı, yüksek çözünürlüklü sismik yansıma verileriyle de ortaya konulmuştur (Toker & Tur, 2018). Ayrıca Tokar & Şahin (2019), Van Gölünün tabanını teşkil eden kabuk yapısında, magmatik birikim ve bu birikim dahilinde olmak üzere, lokal kabuksal kalınlaşmaların varlığından bahsetmişlerdir. Tokar ve ark. (2017a) ise, bu magmatik oluşumların sismik yansıma görüntülerini Van Gölü tabanında göstermişlerdir.

Alkan & Bayrak (2022), Van Gölü havzasının Coulomb gerilme değişimi ve *b*-değeri dağılımını farklı derinlik seviyeleri için incelemiştir. Gerilme transferi ve *b*-değeri değişimi arasındaki ters orantıdan faydalanarak bölge için yüksek riskli bölgelerin varlığını ortaya koymuşlardır. Buna göre, Van Gölünün doğusunda bulunan Başkale fayı, Çaldıran fay zonu, Van fay zonu ve Yeniköşk fayı civarında deprem üretme potansiyelinin daha yüksek olduğunu, fakat batı ve kuzey bölgelerinde özellikle Nemrut ve Süphan volkanları civarında riskin daha düşük olduğunu ifade etmişlerdir.

4. Van Gölü Havzasındaki Yerleşim Alanlarında Mühendislik Parametrelerine Bağlı Jeofizik ve Yapı-Zemin İlişkisi Çalışmaları

Mühendislik yapılarının kurulu olduğu alanlarda bölgenin büyük ve yıkıcı deprem üretme potansiyeli ile birlikte bölgedeki bina kalitesi ve zemin özellikleri de depremlere bağlı hasar oranını arttıran etkilerin başında gelmektedir. Deprem dalgaları zemin tabakalarından geçerken dayanım azalması, sıvılaşma, zemin büyütmesi ve zemin yenilmeleri gibi problemlere neden olabilir.

Van Gölü havzasındaki yerleşim alanlarının çoğu genel itibariyle gevşek ve suya doymuş alüvyon karakteristiğindeki güncel göl ve akarsu tortullarının düzlükleri üzerinde kuruludur. Dolayısıyla, deprem dalgalarının karakteristiğini değiştirerek farklı şiddet derecelerinde hasara yol açabilecek bu tür yerel zemin koşullarının farklılığından kaynaklı etkilerin detaylı olarak ortaya konulması gerekmektedir. Bu amaçla yapılan çalışmaların başında jeofizik yöntemlere dayalı elde edilen mühendislik parametreleri ve bunların yapısal unsurlar üzerine etkilerinin incelenmesi gerekmektedir. Yerel zemin koşullarının statik ve dinamik yükler altındaki davranışları, deprem kaynak özellikleri, yapı-zemin etkileşimi ve yapı kalitesi hasar derecesini etkileyen ana faktörlerdir ve bir arada bütünleşik olarak değerlendirilmelidir. 23 Ekim 2011 ($M_w=7.1$) Van depremi sonrası meydana gelen büyük hasar ve can kayıpları bu durumun bölge için son göstergelerindendir. Van Gölü havzası ve civarında gerek jeofizik ve gerekse jeolojik yöntemlerle yapısal incelemelere dayalı farklı parametreler kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır.

Tapan ve ark. (2013), 23 Ekim 2011 ve 9 Kasım 2011 Van ve Edremit depremleri sonrasında depremlerin yapı türlerine etkilerini incelemiştir. Çalışmada gözlemlenen yapısal hasarların taşıyıcı sistemdeki düzensizliklerin boyutu, iççilikteki yetersiz kalite düzeyi ve yetersiz yapı malzemesi kullanımı ile doğrudan ilişkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Kalkan & Gülkan (2013), jeolojik, tektonik ve sismolojik verileri kullanarak Van ili ve çevresi için yuvarlatılmış karelej depremsellik modeli oluşturmuşlar ve bu modeli dikkate alarak, deprem riski hesaplamaya çalışmışlardır. Çalışmada, Van şehir merkezi için deprem yer hareketinden kaynaklanan yer ivmesinin ortalama 475 yıl için 0.44 g ve ortalama 2475 yıl için ise 0.76 g olduğunu hesaplamışlardır.

Akinci & Antonioli (2013), 23 Ekim 2011 Van depreminin temel özelliklerini inceleyerek, ana şokun yer hareketi özelliklerini analiz etmişlerdir. En büyük yer ivmesi (PGA), hızı (PGV) ve spektral ivme açısından (SA) Van depreminin yer hareketi özelliklerini incelemiştir. Zengin & Caktı (2014), stokastik sonlu fay yöntemini kullanılarak 23 Ekim 2011 Van depreminin kuvvetli yer hareketi simülasyonlarını incelemiştir.

Akkaya ve ark. (2015), 23 Ekim 2011 ($M_w=7.1$) Van depreminden sonra Van ili ile Erciş ilçesi arasında kalan ve yüksek derecede hasara uğramış köylerdeki yapıları ve zemin koşullarını mikrotremor yöntemi ile incelemiştir. Köy konutlarındaki hasar derecelerinde yerel zemin koşullarının ve topoğrafik değişimlerin önemli derecede etkili olduğunu ifade etmişlerdir. Elde ettikleri periyot ve büyütme sonuçlarının bu durumu destekler nitelikte olduğunu ve hasarlarla yüksek derecede korelasyon gösterdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, hasar derecesinde yamaç etkisinin önemini ortaya koymuşlardır.

Akkaya ve ark. (2018a ve 2018b), Van ili Erciş ilçesinin kayma dalga hızı (V_s) ve *SPT* değerlerine bağlı sıvılaşma potansiyelini incelemişlerdir. Bölgede meydana gelebilecek farklı büyüklükteki depremlerin üreteceği farklı ivme değerlerine bağlı analizler yapmışlardır. Jeofizik ve jeolojik verilere dayalı analizler sonucunda Erciş yerleşim alanı ve çevresinde sıvılaşma olabilecek alanlar ortaya konulmuştur.

Erdil ve ark. (2018), 23 Ekim 2011 Van depreminden ($M_w=7.1$) sonra hasar görmüş Van kalesi civarındaki tarihi yapılardan Ulu Cami'yi hem mikrotremor ölçümleriyle hem de modal analizle incelemişlerdir.

Akkaya & Özvan (2019), Van ili yerleşim alanı ve çevresi için jeofizik yöntemlere (sismik kırılma, yüzey dalgalarının çok kanallı analizi ve mikrotremor) ve jeoteknik sondaj verilerine dayalı mühendislik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma alanı için Coğrafi Bilgi sistemine (GIS) dayalı mühendislik parametrelerini (V_{s30} , zemin sınıfı, baskın periyot ve zemin büyütmesi) içeren veri tabanları oluşturmuşlardır. Yüzeyden ilk 30 m'ye kadar ki ortalama kayma dalga hızının (V_{s30}) Van ili yerleşim alanı ve çevresinde 180 m/s ile 850 m/s arasında değiştiğini, buna bağlı olarak da bölgenin farklı alanlarında farklı zemin sınıflarının hâkim olduğunu belirlemişlerdir. Elde ettikleri zemin hakim titreşim periyot değerlerinin (0.11-1.5 sn) göreceli olarak yerleşim alanında yüksek değerler sergilediğini, bunun bölge için kalın alüvyon yapısına ve yapısal unsurlarla farklı bölgelerde farklı derecelerde etkileşime neden olabileceğini ifade etmişlerdir. Diğer taraftan, düşük periyot değerleri çalışma alanının kuzey ve doğusunda, yüksek periyot değerleri ise yerleşimin yoğun olduğu merkez bölgelerde elde edilmiştir. Bu bulgularında, bölgedeki jeoteknik sonuçlarla doğrulandığı çalışma da ayrıca belirtilmiştir.

Şengül ve ark. (2019), Edremit ilçesi ve Van ilinin güney kesiminde yer alan traverten birimlerindeki deformasyon modelini araştırmışlardır. Çalışmada, iki boyutlu (2-D) elektrik öz direnç tomografi (ERT) profilleri kullanılarak, yüzeydeki ve yüzey altındaki fayların yapısal ve stratigrafik ilişkileri incelenmiştir.

Erdil & Ceylan (2019a), 2011 Van depremi, 2003 Bingöl depremi ve 2002 Afyon depreminde hasar görmüş 192 bina verilerini dikkate alarak sismik hasar analizi yapmışlardır. Binalara ilişkin kullanılan parametrelerin etkisi, sismik performans, her parametrenin ağırlık faktörleri ve hasar seviyesini tahmin etme başarısını incelemişlerdir.

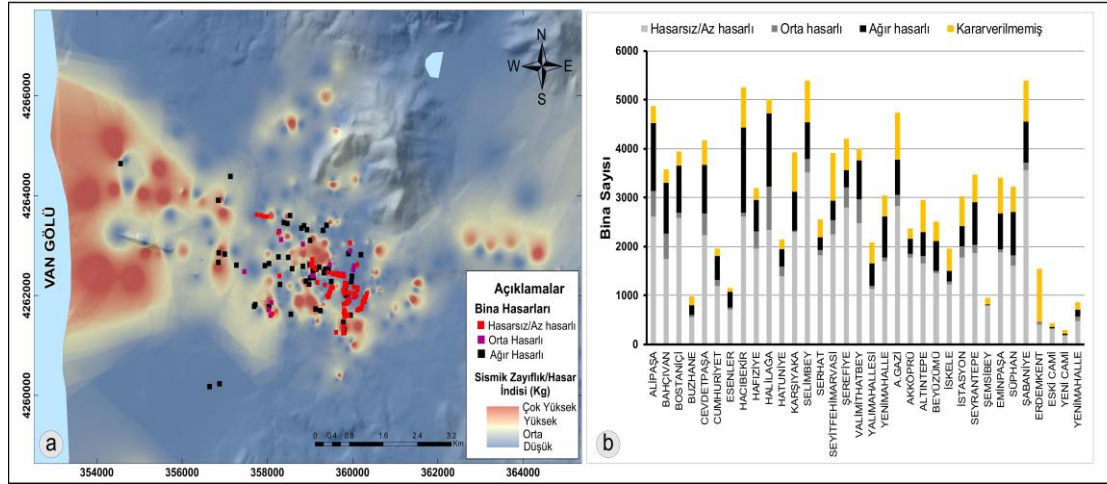
Erdil & Ceylan (2019b), 2011 Van depreminde hasar görmüş binalarda olmak üzere moment, kesme kuvveti ve eksenel yük (MVP) etkileşim tabanlı yeni bir yöntemle binaların sismik performanslarını incelemişlerdir. Çalışmada kullanılan yöntemle detaylı değerlendirme tekniklerine göre daha az zaman harcanarak binaların ön sismik hasar değerlendirmesinde kullanılabilecek basit denklemler önermişlerdir.

Mikrotremor kayıtlarının spektral oranını kullanan Akkaya (2020a), Van ili yerleşim alanı ve çevresi için zemin hâkim titreşim periyodu, büyütme değeri ve sismik hasar indisi (K_g) değerlerini hesaplamıştır. Çalışmada elde ettiği K_g değerleri ile Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından üretilen 23 Ekim 2011 Van depreminden sonra meydana gelen bina hasarlarını bir arada değerlendirmiştir (Şekil 6). İncelenen binaların hasar durumlarının hasar indisi ile ilişkili olduğunu ifade etmiştir.

Akkaya (2020b), yüksek sismik hasar indisi (K_g) değerleri ile muhtemel büyük bir deprem ile ilişkili yüksek ivme değerlerinin hasara neden olan plastik davranış ve göçme davranışını tetikleyeceğini ifade etmiştir. Aynı zamanda, zemin dinamik davranışının da oldukça etkili olduğu sonucuna varmıştır.

Aktif ve pasif kaynaklı yüzey dalgası yöntemlerini kullanan Alkan & Akkaya (2021), Van ili Çaldıran ilçesi ve civarının zemin özelliklerini incelemişlerdir. V_s hızlarına dayalı olarak, çalışma bölgesinin mühendislik özelliklerini belirlemiş ve yapı-zemin ilişkisini değerlendirmişlerdir.

Erdeve Özvan ve ark. (2021), AFAD tarafından yürütülen İl Afet Risk Azaltma Planı (İRAP) çerçevesinde, Van Gölünün doğusunda yer alan eski göl ve akarsu tortullarından oluşan Bardakçı yerleşkesindeki Pleistosen-Holosen yaşlı kil çökellerini ve bu bölgede bulunan bindirme fayının etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, fayın tavan bloğunun zemin özelliklerinin taban bloğuna göre daha düşük dayanımda olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, bu tür faylarda tampon bölgenin fayın taban bloğuna göre tavan bloğunda daha geniş tutulması gerekliliğinden bahsetmişlerdir.



5. Tartışma ve Sonuç

Doğu Anadolu önemli tektonik fay ve fay sistemlerine sahip Türkiye'nin önemli sismik bölgelerinin başında gelmektedir. Doğu Anadolu plakasında oldukça özel bir konuma sahip olan Van Gölü havzası da depremsellik açısından oldukça aktif bir bölgedir. Aletsel ve tarihsel dönemde bu bölgede birçok büyük ve yıkıcı deprem meydana gelmiştir. Bu depremler bölge halkının yaşam koşullarını oldukça zor hale getirmiştir. Özellikle son zamanlarda meydana gelen 1976 Çaldıran depremi, 1999 Erciş depremi, 2000 Gevaş depremi, 2011 Van depremi, 2011 Edremit depremi ve 2020 Hoy depremi için hesaplanan odak mekanizması çözümleri de genellikle birbirinden farklı fay sistemlerinin bölgede hâkim olduğunu göstermiştir. Diğer taraftan, 2011 Van depremi ($M_w=7.1$) için ayrı bir parantez açmak gerekmektedir. Van depremi ana ve artçı şokları Van şehir merkezinde ve çevre yerleşkelerde büyük kayıplara neden olmuştur. Sadece Van depremi ana şokunun ürettiği enerji 15000 ton TNT x 33.2 (1 Ton TNT=4.2x10⁹ jul) (AFAD, 2011) olduğu düşünüldüğünde, ortaya çıkan riskin ne kadar büyük olduğunun anlaşılması için yeterlidir. Bu depremin ana şokundan sonraki ilk üç ay içerisinde farklı büyüklüklere sahip yaklaşık 6200 adet artçı şok meydana gelmiştir (Bayrak ve ark., 2013). Bu artçı şok aktivite sayısı bile insanların yaşadığı travmanın büyüklüğünü ispatlar niteliktedir. Bu doğa olayının afete dönüşmemesi için farklı disiplinlerdeki bilim insanları yoğun mesai harcamaktadır. Bu duruma bir çözüm üretmek için depremlerin önceden kestirilmesi, tehlike/risk çalışmaları ve yapı-zemin ilişkileri gibi çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

Doğu Anadolu sıkışma bölgesinde, büyük/yıkıcı deprem üretme ihtimali bulunan dört adet sismik boşluktan bir tanesi "Doğu Van Segmenti" dir. Bu bölgede, sağ yanallı fay mekanizması genellikle bulunmakla birlikte, sık mikro-deprem aktivitesi gözlenmektedir. Van Gölünün doğusunda yer alan bu bölge sismik boşluk olarak nitelendirilmekte ve zamansal boşluk modeliyle benzerlik göstermektedir. Az sayıda büyük magnitüdü ve çok sayıda küçük magnitüdü deprem aktivitesi ile temsil edilen bu bölgenin sismik karakterini anlama açısından kabuk yapısı oldukça önemlidir. Astenosferin yükselmesine bağlı olan yüksek ısı akışı, kısmi magmatik füzyon ve yoğun volkanotektonik etkileşim, kabuğun reolojik özelliklerini etkileyerek alt-üst kabuk sınırı arasındaki makaslama dayanımını düşürmüştür. Bu nedenle alt kabuk sünek davranarak sismojenik olarak etkisizleşmiş, astenosfer ile üst kabuk arasındaki sınır sığ düzeye (10 km) taşınmıştır. Bunun sonucunda astenosferden bir sıyrılma düzlemi ile ayrılan üst kabuk dilimleri astenosferden bağımsız karmaşık bir tektonik rejim geliştirmiştir. Bu tektonik rejim, nispeten sığ odak derinliklerine sahip yoğun deprem aktivitesine neden olmaktadır (Toker & Şahin, 2019; Toker ve ark., 2021).

Van Gölü yükselmesine neden olan lokal olarak yukarı çekme yükselimi, kabuk altı derinliklerdeki düşük yoğunluklu kayaların oluşumuna dair izostatik bir tepki olarak gelişebilmektedir (Şengör ve ark., 2003). Bu düşük yoğunluklu lokal yükselimi alanı, ince kabuk kaynaklı yüksek sıcaklıklardan kaynaklanan düşük yoğunluklu üst manto yapısıyla karşılaştırılabilir. Yukarı çekme yükselimi, düşük yoğunluklu akışkan malzemeden (kabuk içindeki kütle yetersizliği, "mass deficiency")

ya da denge durumundan büyük sapmalarla (large deviations in crustal equilibrium) ya da düşük hız zonunun (low velocity zone) varlığıyla desteklenir. Bu sonuçlar, Van Gölünün sıkışmalı kabuk yapısının ince olduğunu, üst manto tarafından yukarı çekildiğini ve üst kabuğu oluşturan bindirme-ters fay kontrollü blok-dilimlerinin yeniden hareketlenerek organize olduğunu göstermektedir, bu durum Van Gölü depremselliğini ciddi bir şekilde etkilemektedir (örn., Erçek Gölü, Toker ve ark., 2017b). Burada ifade edilen bulgular, son yıllarda yapılan, sismik (Toker ve ark., 2017a ve 2017b; Toker & Tur, 2018) ve sismolojik (Çınar & Alkan, 2017; Toker & Şahin, 2019; Toker ve ark., 2021; Alkan ve ark., 2020) çalışmalarla da desteklenmektedir.

Çalışma bölgesindeki yerleşim alanları genellikle alüvyon birimler üzerine kuruludur. Olası hasar verici depremlerde bu birimler deprem dalgalarının yüzeye yakın bölgelerde ve yapısal unsurlarda etkilerini arttırabilmektedir. Özellikle 2011 Van depreminden sonra gerçekleştirilen jeofizik ve yapı-zemin ilişkisi çalışmalarında zayıf zemin karakteristiğinin önemi vurgulanmıştır (Tapan ve ark., 2013; Kalkan & Gülkan, 2013; Akkaya ve ark., 2015; Erdil ve ark., 2018; Erdil & Ceylan, 2019a; Akkaya & Özvan, 2019; Akkaya, 2020a ve 2020b; Özvan ve ark., 2021). Depreme bağlı yapısal hasarların azaltılması için depremlerin özellikleri, zemin yapısı ve yapı kalitesi birlikte değerlendirilmelidir. Bunun için; depremin büyüklüğü, ivmesi, depremi üreten fayın tipi, yırtılma hızı, fayın yapılarla olan uzaklıkları ile birlikte zeminin yanal ve düşey yöndeki mühendislik özelliklerinin detaylı olarak belirlenmesi son derece önemlidir. Ayrıca, taşıyıcı sistemdeki düzensizlikler, işçilikteki yetersiz kalite düzeyi ve yetersiz yapı malzemesi kullanımı da yapısal hasarlarda doğrudan etken parametrelerdendir (Tapan ve ark., 2013). Bununla birlikte hem zemin hem de bina için hesaplanabilen sismik hasar indisi yapının olası depremler sonrası performansının değerlendirmesinde kullanılabilir parametrelerden biridir (Akkaya, 2020a). Özellikle inşaat mühendisleri tarafından geliştirilen yapı değerlendirme yöntemleri yapıların deprem performanslarının irdelenmesinde son derece önemli bilgiler vermektedir.

Bu çalışmada, Van Gölü havzası ve civarının depremselliği ve gelecek için deprem tehlikesi olan bölgeler incelenmeye çalışılmıştır. Literatürde, Van Gölü havzası ve civarı için farklı sismolojik parametreler kullanılarak yapılan çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmaların bir kısmından elde edilen bulgular değerlendirilip, çıkarımlar yapılmıştır. Oldukça kısa geri dönüş periyoduna sahip tahminler (~13 yıl) bölgede aletsel büyüklüğü 5.0 ve üstü olan depremlerin olabileceği gerçeğini ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, Başkale fayı, Erciş fayı, Çaldıran fay zonu, Van fay zonu, Saray fay zonu ve Yeniköşk fayı civarında deprem üretme potansiyelinin daha yüksek olduğu, bunun aksine Van Gölünün batısında ve kuzeyinde genel olarak riskin daha düşük olduğu ifade edilmiştir.

Teşekkür

Çalışma da bazı şekiller Generic Mapping Tools (GMT) programı kullanılarak çizilmiştir (Wessel ve ark., 2013).

Kaynakça

- Acarlar, M., Bilgin, A. Z., Elibol, E., Erkan, T., Gedik, İ., Güner, E., Hakyemez, Y., Şen, A. M., Uğuz, M. F., & Umut, M. (1991). *Van Gölü Doğusu ve Kuzeyinin Jeolojisi*. Ankara, Türkiye: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi Yayını, Rapor No: 9469.
- AFAD (T.C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı) (2011). *Van Depremi (23 Ekim 2011) Raporu*. Ankara, Türkiye: Deprem Dairesi Başkanlığı.
- AFAD (T.C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı) 2020a. *23 Şubat 2020 Hoy (İran) Mw 5.9 Depremlerine İlişkin Ön Değerlendirme Raporu*. Ankara, Türkiye: Deprem Dairesi Başkanlığı.
- AFAD (T.C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı) (2020b). *25 Haziran 2020 Saray (İran) Mw 5.4 Depremlerine İlişkin Ön Değerlendirme Raporu*. Ankara, Türkiye: Deprem Dairesi Başkanlığı.
- AFAD. (2022). Afet ve Acil Durum Yönetmeliği Başkanlığı (AFAD) Tarihsel Dönem Deprem Kataloğu. [AFAD | deprem.gov.tr](https://deprem.gov.tr). Erişim tarihi: 26.09.2022.
- Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., & Altun, İ. E. (2011). *1:1.250.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası*. Ankara, Türkiye: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını.

- Akıncı, A., & Antonioli, A. (2013). Observations and stochastic modelling of strong ground motions for the 2011 October 23Mw 7.1 Van, Turkey, Earthquake. *Geophysical Journal International*, 192(3), 1217-1239. doi:10.1093/gji/ggs075
- Akkaya, İ., Özvan, A., Tapan, M., & Şengül, M. A. (2015). Determining the site effects of 23 October 2011 earthquake (Van province, Turkey) on the rural areas using HVSR microtremor method. *Journal of Earth System Science*, 124(7), 1429-1443. doi:10.1007/s12040-015-0626-1
- Akkaya, İ., Özvan, A., Akın, M., Akın, M. K., & Övün, U. (2018a). Comparison of SPT and Vs-Based liquefaction analyses: A case study in Erciş (Van, Turkey). *Acta Geophysica*, 66, 21-38. doi:10.1007/s11600-017-0103-0
- Akkaya, İ., Özvan, A., Övün, U., Akın, M., & Akın, M. (2018b). Kayma Dalgası Hızı (Vs) Kullanılarak Erciş (Van) Yerleşim Alanının Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), 55-68. doi:10.21605/cukurovaummfd.357197
- Akkaya, İ., & Özvan, A. (2019). Site characterization in the Van settlement (Eastern Turkey) using surface waves and HVSR microtremor methods. *Journal of Applied Geophysics*, 160, 157-170. doi:10.1016/j.jappgeo.2018.11.009
- Akkaya, İ. (2020a). Availability of seismic vulnerability index (Kg) in the assessment of building damage in Van, Eastern Turkey. *Earthquake Engineering Vibration*, 19(1), 189-204. doi:10.1007/s11803-020-0556-z
- Akkaya, İ. (2020b). Jeofizik verilerinden elde edilen sismik zayıflık indisinin yapı hasar dağılımının belirlenmesinde kullanılabilirliği. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(4), 1711-1723. doi:10.17798/bitlisfen.668611
- Alkan, H., Çınar, H., & Oreshin, S. (2020). Lake Van (southeastern Turkey) experiment: Receiver function analyses of lithospheric structure from teleseismic observations. *Pure and Applied Geophysics*, 177, 3891-3909. doi:10.1007/s00024-020-02447-7
- Alkan, A., & Akkaya, İ. (2021). Aktif tektonizma etkisi altındaki Çaldıran (Van) yerleşim alanının yüzey dalgası yöntemleriyle incelenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(4), 1435-1447. doi:10.17798/bitlisfen.959503
- Alkan, H., Büyüksaraç, A., Bektaş, Ö., & Işık, E. (2021). Coulomb stress change before and after 24.01.2020 Sivrice (Elazığ) Earthquake (Mw=6.8) on the East Anatolian Fault Zone. *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 2648. doi:10.1007/s12517-021-09080-1
- Alkan, H. (2022). Crustal structure in and around the East Anatolian volcanic belt by using receiver functions stacking. *Journal of African Earth Sciences*, 191, 104532. doi:10.1016/j.jafrearsci.2022.104532
- Alkan, H., & Bayrak, E. (2022). Coulomb stress changes and magnitude-frequency distribution for Lake Van region. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 168, 141-156. doi:10.19111/bulletinofmre.990666
- Ateş, R., & Bayülke, N. (1977). *26 Mart 1977 Palu Elazığ Depremi*. Ankara, Türkiye: Deprem Araştırma Daire Başkanlığı.
- Bayrak, Y., Yadav, R. B. S., Kalafat, D., Tsapanos, T. M., Çınar, H., Singh, A. P., Bayrak, E., Yılmaz, Ş., Öcal, F., & Koravos, G. (2013). Seismogenesis and earthquake triggering during the Van (Turkey) 2011 seismic sequence. *Tectonophysics*, 601, 163-176. doi:10.1016/j.tecto.2013.05.008
- Bayrak, E., Yılmaz, Ş., Softa, M., Türker, T., & Bayrak, Y. (2015). Earthquake hazard analysis for East Anatolian fault zone, Turkey. *Natural Hazards*, 76(2), 1063-1077. doi:10.1007/s11069-014-1541-5
- Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey - A synthesis. *Geodinamica Acta*, 14(1-3), 3-30. doi:10.1080/09853111.2001.11432432
- Bulut, F., Bohnhoff, M., Eken, T., Janssen, C., Kılıç, T., & Dresen, G. (2012). The East Anatolian fault zone: Seismotectonic setting and spatiotemporal characteristics of seismicity based on precise earthquake locations. *Journal of Geophysical Research*, 117(B7), B07304. doi:10.1029/2011JB008966
- Çınar, H., & Alkan, H. (2017). Crustal S-wave structure around the Lake Van region (eastern Turkey) from interstation Rayleigh wave phase velocity analyses. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 26(1), 73-90. doi:10.3906/yer-1605-13

- Çoban, K. H., & Sayıl, N. (2018). Investigation of the seismicity of East Anatolian fault zone (EAFZ) according to Poisson and Exponential distribution models. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(2), 491-500.
- Çoban, K. H., & Sayıl, N. (2020). Different probabilistic models for earthquake occurrences along the North and East Anatolian fault zones. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 971. doi:10.1007/s12517-020-05945-z
- Çukur, D., Krastel, S., Demirel-Schlüter, F., Demirbağ, E., İmren, C., Niessen, F., Toker, M., & PaleoVan-Working Group (2013). Sedimentary evolution of Lake Van (Eastern Turkey) reconstructed from high-resolution seismic investigations. *International Journal of Earth Sciences*, 102, 571-585. doi:10.1007/s00531-012-0816-x
- Çukur, D., Krastel, S., Tomonaga, Y., Schmincke, H. U., Sumita, M., Meydan, A. F., Çağatay, M. N., Toker, M., Kim, S. P., Kong, G. S., & Horozal, S. (2017). Structural characteristics of the Lake Van Basin, eastern Turkey, from high-resolution seismic reflection profiles and multibeam echosounder data: geologic and tectonic implications. *International Journal of Earth Sciences*, 106, 239-253. doi:10.1007/s00531-016-1312-5
- Degori, P., Akinci, A., Lucente, F. P., & Kılıç, T. (2014). Spatial and temporal variations of aftershock activity of the 23 October 2011 Mw 7.1 Van, Turkey, Earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 104(2), 913-930. doi:10.1785/0120130118
- Doğan, B., & Karakaş, A. (2013). Geometry of co-seismic surface ruptures and tectonic meaning of the 23 October 2011 Mw 7.1 Van earthquake (East Anatolian Region, Turkey). *Journal of Structural Geology*, 46, 99-114. doi:10.1016/j.jsg.2012.10.001
- Doğan, U., Demir, D. Ö., Çakır, Z., Ergintav, S., Özener, H., Akoğlu, A. M., Nalbant, S. S., & Reilinger, R. (2014). Postseismic deformation following the Mw 7.2, 23 October 2011 Van earthquake (Turkey): Evidence for aseismic fault reactivation. *Geophysical Research Letters*, 41(7), 2334-2341. doi:10.1002/2014GL059291
- Elliott, J. R., Copley, A. C., Holley, R., Scharer, K., & Parsons, B. (2013). The 2011 Mw 7.1 Van (Eastern Turkey) earthquake. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 118(4), 1619-1637. doi:10.1002/jgrb.50117
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., & Şaroğlu, F. (2013). *Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası. Ölçek 1:1.250.000*. Ankara, Türkiye: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H., & Çan, T. (2018). Active fault database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16, 3229-3275. doi:10.1007/s10518-016-0041-2
- Erdeve Özvan, E., Çetin, H., Özvan, A., & Akkaya, İ. (2021). Van bindirme fayı tampon zonunun il afet risk azaltma planı (İRAP) çerçevesinde değerlendirilmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(3), 1036-1046. doi:10.17714/gumusfenbil.933740
- Erdil, B., Tapan, M., Akkaya, İ., & Korkut, F. (2018). Effects of structural parameters on seismic behaviour of historical masonry minaret. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 62(1), 148-161. doi:10.3311/ppci.10687
- Erdil, B., & Ceylan, H. (2019a). A detailed comparison of preliminary seismic vulnerability assessment methods for RC buildings. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 43, 711-725. doi:10.1007/s40996-019-00234-6
- Erdil, B., & Ceylan, H. (2019b). MVP interaction based seismic vulnerability assessment of RC buildings. *Gradevinar*, 71, 489-503. doi:10.14256/JCE.2441.2018
- Ersayar, I. (2021). *Determination of the geological properties of the Quaternary fluvial and lacustrine deposits in the Engil Valley (se part of Lake Van)*. (MSc), Yuzuncu Yıl University, Institute of Natural and Applied Science Van, Turkey.
- Fielding, E. J., Lundgren, P. R., Taymaz, T., Yolsal-Çevikbilen, S., & Owen, S. E. (2013). Fault-Slip source models for the 2011 M 7.1 Van earthquake in Turkey from SAR interferometry, pixel offset tracking, GPS, and seismic waveform analysis. *Seismological Research Letters*, 84(4), 579-593. doi:10.1785/0220120164
- Görgün, E. (2013). Analysis of the b-values before and after the 23 October 2011 Mw 7.2 Van-Erciş, Turkey earthquake. *Tectonophysics*, 603, 213-221. doi:10.1016/j.tecto.2013.05.030

- Irmak, T. S., Doğan, B., & Karakaş, A. (2012). Source mechanism of the 23 October 2011, Van (Turkey) earthquake (M= 7.1) and aftershocks with its tectonic implications. *Earth, Planets and Space*, 64, 991-1003. doi:10.5047/eps.2012.05.002
- Işık, S. E., Konca, A. Ö., & Karabulut, H. (2017). The seismic interactions and spatiotemporal evolution of Seismicity following the October 23, 2011 Mw 7.1 Van, Eastern Anatolia, earthquake. *Tectonophysics*, 702, 8-18. doi:10.1016/j.tecto.2017.02.024
- Kalafat, D., Kekovalı, K., Akkoyunlu, F., & Ögütçü, Z. (2014). Source mechanism and stress analysis of 23 October 2011 Van Earthquake (Mw=7.1) and aftershocks. *Journal of Seismology*, 18, 371-384. doi:10.1007/s10950-013-9413-0
- Kalkan, E., & Gülkan, P. (2013, Eylül). 2011 depreminin ışığında Van ve çevresi için deprem hesabı parametrelerinin tayini. 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Hatay.
- Keskin, M. (2003). Magma generation by slab steepening and breakoff beneath a subduction-accretion complex: An alternative model for collision-related volcanism in Eastern Anatolia, Turkey. *Geophysical Research Letters*, 30(24), 8046. doi:10.1029/2003GL018019
- Koçyiğit, A., Yılmaz, A., Adamia, S., & Kuloshvili, S. (2001). Neotectonics of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: Implication for transition from thrusting to strike-slip faulting. *Geodinamica Acta*, 14(1-3), 177-195. doi:10.1080/09853111.2001.11432443
- Koeri, (2022). Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Merkezi (KOERI) Deprem Sorgulama Sistemi. [KOERI DB search \(boun.edu.tr\)](https://www.koeri.boun.edu.tr/). Erişim tarihi: 26.09.2022.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Samli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M. N., & Veis, G. (2000). Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B3), 5695-5719. doi:10.1029/1999JB900351
- McKenzie, D. P. (1970). Plate tectonics of the Mediterranean Region. *Nature*, 226, 239-243. doi:10.1038/226239a0
- Okay, A. I., & Tüysüz, O. (1999). Tethyan sutures of northern Turkey. *Geological Society, London, Special Publications*, 156(1), 475-515. doi:10.1144/GSL.SP.1999.156.01.22
- Över, S., Can Ünlügenç, U., & Bellier, O. (2002). Quaternary stress regime change in the Hatay region (SE Turkey). *Geophysical Journal International*, 148(3), 649-662. doi:10.1046/j.1365-246X.2002.01621.x
- Özdemir, Y., Mercan, Ç., Oyan, V., & Atakul Özdemir, A. (2019). Composition, pressure, and temperature of the mantle source region of quaternary nepheline-basanitic lavas in Bitlis Massif, Eastern Anatolia, Turkey: A consequence of melts from Arabian lithospheric mantle. *Lithos*, 328-329, 115-129. doi:10.1016/j.lithos.2019.01.020
- Öztürk, S., & Bayrak, Y. (2012). Spatial variations of precursory seismic quiescence observed in recent years in the eastern part of Turkey. *Acta Geophysica*, 60(1), 92-118. doi:10.2478/s11600-011-0035-z
- Öztürk, S. (2017). Space-time assessing of the earthquake potential in recent years in the Eastern Anatolia region of Turkey. *Earth Sciences Research Journal*, 21(2), 67-75. doi:10.15446/esrj.v21n2.50889
- Öztürk, S. (2018). Earthquake hazard potential in the Eastern Anatolian Region of Turkey: Seismotectonic b and Dc-values and precursory quiescence Z-value. *Frontiers of Earth Science*, 12(1), 215-236. doi:10.1007/s11707-017-0642-3
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Çakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydurs, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrotsa, A., Filikov, S. V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R., & Karam, G. (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111(B5), B05411. doi:10.1029/2005JB004051

- Sayı, N. (2005). An application of the time- and magnitude-predictable model to long-term earthquake prediction in eastern Anatolia. *Journal of Seismology*, 9, 367-379. doi:10.1007/s10950-005-0037-x
- Selçuk, A. S. (2016). Evaluation of the relative tectonic activity in the eastern Lake Van basin, East Turkey. *Geomorphology*, 270, 9-21. doi:10.1016/j.geomorph.2016.07.009
- Selçuk, A. S., Erturaç, M. K., & Nomade, S. (2016). Geology of the Çaldıran Fault, Eastern Turkey: Age, slip rate and implications on the characteristic slip behaviour. *Tectonophysics*, 680, 155-173. doi:10.1016/j.tecto.2016.05.019
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., & Boray, A. (1987). *Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremsellikleri*. Ankara, Türkiye: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 8174.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., & Kuşçu, İ. (1992). *Active Fault Map of Turkey. 2 sheets, scale 1:2,000,000*. Ankara, Türkiye: Publication of General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA).
- Şengör A. M. C., & Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75(3-4), 181-241. doi:10.1016/0040-1951(81)90275-4
- Şengör, A. M. C., Görür, N., & Şaroğlu, F. (1985). Strike-Slip Faulting and Related Basin Formation in Zones of Tectonic Escape: Turkey as a Case Study. In K. T. Biddle, N. Christie-Blick (Eds.), *Strike-Slip Deformation, Basin Formation and Sedimentation Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication*. San Antonio, Texas, USA: SEPM Society for Sedimentary Geology. doi:10.2110/pec.85.37.0211
- Şengör, A. M. C., Özeren, S., Genç, T., & Zor, E. (2003). East Anatolian high plateau as a mantle-supported, north-south shortened domal structure. *Geophysical Research Letters*, 30(24), 8045. doi:10.1029/2003GL017858
- Şengül, M. A., Gürboğa, Ş., Akkaya, İ., & Özvan, A. (2019). Deformation patterns in the Van region (Eastern Turkey) and their significance for the tectonic framework. *Geologica Carpathica*, 70(3), 193-208. doi:10.2478/geoca-2019-0011
- Tapan, M., Comert, M., Demir, C., Sayan, Y., Orakcal, K., & İlki, A. (2013). Failures of structures during the October 23, 2011 Tabanlı (Van) and November 9, 2011 Edremit (Van) earthquakes in Turkey. *Engineering Failure Analysis*, 34, 606-628. doi:10.1016/j.engfailanal.2013.02.013
- Taymaz, T., Eyidoğan, H., & Jackson, J. (1991). Source parameters of large earthquakes in the East Anatolian Fault Zone (Turkey). *Geophysical Journal International*, 106(3), 537-550. doi:10.1111/j.1365-246X.1991.tb06328.x
- Taymaz, T., Westaway, R., & Reilinger, R. (2004). Active faulting and crustal deformation in the eastern mediterranean region. *Tectonophysics*, 391(1-4), 1-9. doi:10.1016/j.tecto.2004.07.005
- Toker, M., Şengör, A. M. C., Demirel-Schluter, F., Demirbağ, E., Çukur, D., İmren, C., Niessen, F., & PaleoVan-Working Group. (2017a). The structural elements and tectonics of the Lake Van basin (Eastern Anatolia) from multi-channel seismic reflection profiles. *Journal of African Earth Sciences*, 129, 165-178. doi:10.1016/j.jafrearsci.2017.01.002
- Toker, M., Pınar, A., & Tur, H. (2017b). Source mechanisms and faulting analysis of the aftershocks in the Lake Erçek area (Eastern Anatolia, Turkey) during the 2011 Van event (Mw 7.1): Implications for the regional stress field and ongoing deformation processes. *Journal of Asian Earth Sciences*, 150, 73-86. doi:10.1016/j.jseaes.2017.09.017
- Toker, M., & Tur, H. (2018). Structural patterns of the Lake Erçek Basin, eastern Anatolia (Turkey): Evidence from single-channel seismic interpretation. *Marine Geophysical Research*, 39, 567-588. doi:10.1007/s11001-017-9333-4
- Toker, M., & Şahin, Ş. (2019). Crustal Poisson's ratio tomography and velocity modeling across tectono-magmatic lake regions of Eastern Anatolia (Turkey): New geophysical constraints for crustal tectonics. *Journal of Geodynamics*, 131(101651), 1-28. doi:10.1016/j.jog.2019.101651
- Toker, M. (2021). The structural coupling to rupture complexity of the aftershock sequence of the 2011 earthquakes in Lake Van Area (Eastern Anatolia, Turkey). *Journal of Engineering Sciences and Design*, 9(1), 27-51. doi:10.21923/jesd.861520
- Toker, M., Pınar, A., & Hoşkan, N. (2021). An integrated critical approach to off-fault strike-slip motion triggered by the 2011 Van mainshock (Mw 7.1), Eastern Anatolia (Turkey): New stress field constraints on subcrustal deformation. *Journal of Geodynamics*, 147, 101861. doi:10.1016/j.jog.2021.101861

- Utkucu, M., Durmuş, H., Yalçın, H., Budakoğlu, E., & Işık, E. (2013). Coulomb static stress changes before and after the 23 October 2011 Van, Eastern Turkey, earthquake (Mw=7.1): Implications for the earthquake hazard mitigation. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(7), 1889-1902. doi:10.5194/nhess-13-1889-2013
- Wessel, P., Smith, W. H. F., Scharroo, R., Luis, J., & Wobbe, F. (2013). Generic mapping tools: Improved version released. *EOS, Transactions American Geophysical Union*, 94(45), 409-410. doi:10.1002/2013EO450001
- Westaway, R. (2004). Kinematic consistency between the Dead Sea Fault Zone and the Neogene and Quaternary left-lateral faulting in SE Turkey. *Tectonophysics*, 391(1-4), 203-237. doi:10.1016/j.tecto.2004.07.014
- Yılmaz, H., Over, S., & Ozden, S. (2006). Kinematics of the East Anatolian Fault Zone between Turkoglu (Kahramanmaras) and Celikhan (Adiyaman), eastern Turkey. *Earth, Planets and Space*, 58(11), 1463-1473. doi:10.1186/BF03352645
- Zengin, E., & Cakti, E. (2014). Ground motion simulations for the 23 October 2011 Van, Eastern Turkey earthquake using stochastic finite fault approach. *Bulletion of Earthquake Engineering*, 12, 627-646. doi:10.1007/s10518-013-9527-3



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Derleme Makale

Balık Yağında Emülsiyon ve Enkapsülasyon Uygulamaları

Gülistan OKUTAN*, Gökhan BORAN

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 65080, Van, Türkiye
Gülistan OKUTAN, ORCID No: 0000-0002-1936-7633, Gökhan BORAN, ORCID No: 0000-0002-8871-8433

*Sorumlu yazar e-posta: gulistanokutan@outlook.com

Makale Bilgileri

Geliş: 10.06.2022
Kabul: 27.11.2022
Online Nisan 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1128812

Anahtar Kelimeler

Balık yağı,
Emülsiyon,
Enkapsülasyon,
Muhafaza,
Omega yağ asitleri

Öz: Balık yağı, içerdiği uzun zincirli ve çoklu doymamış yağ asitleri nedeniyle oksidasyona karşı son derece hassastır. Söz konusu yağ asitleri içinde omega-3 (ω -3 veya n-3) yağ asitlerinin sağlık üzerine önemli etkileri olduğu görülmüştür. Bu nedenle, balık yağının yapısının korunması ve oksidasyona karşı dayanıklı hale getirilmesi önemlidir. Emülsiyon teknikleri ile yağların oksidasyona karşı dayanımı artırılmakta ve yağların çeşitli ürünlerin formülasyonunda kullanımı daha kolay hale gelebilmektedir. Enkapsülasyon tekniğinin ise yağlar, aroma bileşenleri, uçucu bileşenler ve vitaminler gibi biyoaktif bileşenleri koruduğu bilinmektedir. Balık yağının emülsiyon ve enkapsülasyon teknikleri ile işlenmesi ve gerek gıda ürünlerinde gerekse kozmetik ve ilaç ürünlerinde balık yağı emülsiyonları veya balık yağı kapsülleri olarak kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu derlemede, emülsiyon ve enkapsülasyon teknikleri hakkında genel bilgi verilerek, balık yağının emülsiyon ve enkapsülasyon teknikleri ile işlendiği mevcut çalışmalar incelenmiştir.

Emulsion and Encapsulation Applications in Fish Oil

Article Info

Received: 10.06.2022
Accepted: 27.11.2022
Online April 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1128812

Keywords

Emulsion,
Encapsulation,
Fish oil,
Omega fatty acids,
Storage

Abstract: Fish oil is quite susceptible to oxidation due to its high content of long-chain polyunsaturated fatty acids. It is seen that omega-3 (ω -3 or n-3) fatty acids, among the others, show significant effects on human health. Therefore, it is important to preserve quality of fish oil and to make it resistant to oxidation. Fish oil may become more resistant to oxidation by emulsion methods and emulsified fish oil may be more convenient for use in formulations of different products. It is also known that encapsulation methods are useful in preservation of lipids, aroma compounds, volatiles and vitamins. Therefore, processing of fish oil by emulsion and encapsulation methods is getting increasingly common as well as their use in both food products, cosmetics and pharmaceuticals. In this review, brief information is given about emulsion and encapsulation methods and recent literature about fish oil emulsions and encapsulation is reviewed.

1. Giriş

Son yıllarda yapılan çalışmalar, balık yağının kalp-damar sağlığı, beyin ve sinir sisteminin işlevselliği ve çeşitli kanser türlerinin önlenmesi üzerine önemli etkileri olduğunu göstermiştir (Uysal ve ark., 2005; Botrel ve ark., 2014). n-3 yağ asitlerinin kalp-damar hastalıkları, hipertansiyon, depresyon, Alzheimer ve Parkinson hastalığı gibi çeşitli hastalıkları önlediği bilinmektedir (Tanskanen ve ark., 2001). Balık yağı, çoklu doymamış yağ asitleri olan n-3 ve n-6 yağ asitleri bakımından oldukça zengindir. Eikosapentaenoik asit (EPA) ve dokosaheksaenoik asit (DHA) miktarının en yüksek olduğu gıdalar balıklardır (Boran, 2004). Balık, EPA ve DHA'in yanısıra yağda eriyen A, D ve E vitaminleri açısından da zengindir. Çoklu doymamış yağ asitleri oksijen, enzim, ışık, metal iyonları, ısı gibi çevresel faktörlerin etkisiyle kolayca bozulur. Balık yağının oksidasyonu esnasında oluşan besin kaybı, acılaşma ve istenmeyen tat hidroperoksitlerin dekompozisyonu ile gelişir ve bu durum balık yağının raf ömrünü azaltır (Baek, 2012). Balık yağının zengin içeriği, yağ bazlı ürünlerin geliştirilmesi ve kullanımı, gıda ve tıp çevrelerinde büyük ilgi görmüştür. Bununla birlikte, balıksı tat, suda çözünmeme ve yapısında bulunan çok sayıda kararsız çift bağ nedeniyle balık yağının ön işlemlerden geçirilerek daha dayanıklı ve kullanımı kolay ara ürünlere dönüştürülmesi gerekir. Bu amaçla, balık yağının emülsiyonu ve enkapsülasyonu son yıllarda büyük ilgi görmüş ve önem kazanmıştır. Bu derlemede, emülsiyon ve enkapsülasyon yöntemleri hakkında kısaca bilgi verilmiş, balık yağının emülsiyonu ve enkapsülasyonu ile ilgili mevcut çalışmalar özetlenmiştir.

2. Emülsiyon

Emülsiyon, birbiri içinde çözünmeyen iki sıvının termodinamik olarak stabil olmayan karışımı olarak tanımlanabilir (Zheng ve ark., 2020). Emülsiyonlar, gıda, tarım ve tıp gibi farklı alanlarda geniş kullanım alanı bulmaktadır. Süt, krema, sıvı ve toz salata sosları, mayonez, hazır çorbalar, çözeltiler, tereyağı, margarin ve dondurma gibi ürünler gıda emülsiyonlarına örnektir (Güngör ve ark., 2013). Emülsiyonlar, su içinde yağ (Y/S), yağ içinde su (S/Y) veya çoklu emülsiyonlar olarak bulunabilmektedir (Tadros, 2013). Y/S emülsiyonunda su dış veya sürekli fazı oluştururken yağ ise iç veya dispers fazı oluşturur. Emülsiyonlar, dispers fazın damla boyutuna göre makroemülsiyonlar, mikroemülsiyonlar ve nanoemülsiyonlar olmak üzere sınıflandırılabilir. Makroemülsiyonlarda damla boyutu 100 nm ile 100 µm arasında olurken, mikroemülsiyonların ve nanoemülsiyonların damlacık boyutu 1 ile 100 nm arasında değişmektedir (Zhang, 2011; Kale & Deore, 2017). Mikroemülsiyonlar ve nanoemülsiyonlar birbirine benzemekle birlikte mikroemülsiyonlar kendiliğinden oluşabilirken nanoemülsiyonlar mekanik kuvvet ile elde edilebilmektedir (Serdaroğlu ve ark., 2015).

Emülsiyon tekniği ile üretilen gıdalarda yapının oluşması ve ürün stabilitesinin sağlanması için emülgatörler kullanılmaktadır. Emülgatörler, yüzey gerilimini azaltarak gıdaların dispers yapıya kavuşmalarını sağlayan maddelerdir (Göksel Saraç, 2018). Emülsiyonların formülasyonu ve stabilizasyonu için genel olarak düşük molekül ağırlıklı sürfaktanlar, amfilik polimerler, lipidler, proteinler ve polisakkaritler kullanılır ve bu yüzey aktif moleküller sıvı-sıvı ara yüzeyinde adsorbe olup damlacıkların birleşimine karşı sterik/elektrostatik bir bariyer oluşturur (Li ve ark., 2020). Bir uygulama için emülgatörün seçimi, başarılı ürünler oluşturmak için kritiktir ve bu seçim; ürün formülasyonu, işleme koşulları ve istenen nihai özelliklere bağlıdır (Chung & McClements, 2014). Genel olarak, proteinler, polisakkaritler, fosfolipidler ve yüzey aktif maddeler dahil olmak üzere gıda endüstrisinde kullanılacak çok sayıda sentetik ve doğal emülgatör bulunmaktadır (Ozturk & McClements, 2016). Proteinlerin çeşitli fonksiyonel özellikleri vardır. Bu fonksiyonel özelliklerinden biri de emülsifiye edici özellikleridir. Çeşitli proteinler kullanılarak emülsiyon stabilitesinin artırılması yönünde çalışmalar mevcuttur (Diaz ve ark., 2003; Hu ve ark., 2003). Emülsiyonlar özünde kararsız sistemlerdir ve farklı olaylar yoluyla fiziksel olarak bozulabilirler (McClements, 2015). Emülsiyonlar, zamana bağlı olarak faz ayrımı, Oswalt olgunlaşması, kremalaşma, flokülasyon, koalesens ve sedimentasyon süreçlerinden dolayı çeşitli değişiklikler gösterebilir (Urbina-Villalba, 2009). Bununla birlikte, kimyasal bozulma da söz konusu olabilir. Kimyasal bozulmaya genel olarak hidroliz ve oksidasyon sebep olur (McClements & Decker, 2000).

3. Enkapsülasyon

Enkapsülasyon, aktif bileşenlerin taşıyıcı maddelerin içine hapsedildiği bir işlemdir. Kaplanan malzemeye aktif veya çekirdek malzeme, kaplama malzemesine ise kabuk, duvar malzemesi, taşıyıcı veya enkapsülen denir (Madene ve ark., 2006). Enkapsülasyon, elde edilen ürün boyutuna göre makro, mikro veya nano ön ekleri alarak adlandırılmaktadır (Koç ve ark., 2010). Enkapsülasyon, biyoaktif moleküllerin (antioksidanlar, mineraller, vitaminler, fitosteroller, lutein, yağ asitleri, likopen, vb.) ve canlı hücrelerin (probiyotikler) gıdalarda salınımını iyileştirmek için yararlı bir araçtır (Wandrey ve ark., 2010; Vos ve ark., 2010). Bir enkapsülasyon malzemesinin seçimi için önem arz eden kriterler, enkapsülasyon işleminin nihai ürüne sağlaması gereken işlevsellik, kaplama malzemesi için potansiyel kısıtlamalar, kapsüllerin konsantrasyonu, salınım tipi, stabilite gereksinimleri ve maliyet kısıtlamalarıdır. Kapsüllerin koruyucu kabuğunun tasarımı için kullanılan malzemeler gıda sınıfında olmalı, biyolojik olarak parçalanabilir ve iç faz ile çevresi arasında bir bariyer oluşturabilmelidir. Gıda sektöründe enkapsülasyon için kullanılan malzemelerin çoğu biyomoleküllerdir. Malzemeler, doğal olmalarının dışında çevre koşullarına karşı maksimum koruma sağlamalı, çeşitli koşullar altında işleme veya depolama sırasında aktif maddeleri kapsül yapısı içinde tutmalı, kapsülünmüş malzeme ile reaksiyona girmemeli, ihtiyaç duyulursa yüksek konsantrasyonda iyi reolojik özelliklere ve enkapsülasyon sırasında kolay çalışma kabiliyetine sahip olmalıdır (Nedovic ve ark., 2011).

Enkapsülasyonda kullanılan yaygın duvar malzemeleri üç ana gruba ayrılabilir: Karbonhidratlar (maltodekstrin, nişasta, selüloz, Arap zankı, mesquite zankı, guar zankı, galaktomannanlar, siklodekstran, pektin gibi bitkisel kaynaklı karbonhidratlar; karragenan ve aljinat gibi su kaynaklı karbonhidratlar; ksantan, -jellan, dekstran, kitosan gibi mikrobiyal veya hayvansal kaynaklı karbonhidratlar), proteinler (soya proteini, bezelye proteini, arpa proteini, zein, glüten gibi bitkisel kaynaklı proteinler; kazein, peynir altı suyu proteini, jelatin gibi hayvansal kaynaklı proteinler) ve lipidler (süt yağı, fosfolipid, balmumu ve karnauba mumu gibi lipitler ve mumlar) (Augustin & Sanguansri, 2012; Wandrey ve ark., 2010). Doğru duvar malzemesi seçimi, kapsülün kapsülleme verimini ve stabilitesini etkilediği için çok önemlidir. İdeal duvar malzemesi çekirdekle tepkimeye girmemeli; çekirdeği kapsül içinde kapatma ve muhafaza etme ve olumsuz koşullara karşı maksimum koruma sağlama yeteneğine sahip olmalı, gıdalarda kullanımı durumunda hoş olmayan bir tada sahip olmamalıdır (Gharsallaoui ve ark., 2007; Nazzaro ve ark., 2012).

Enkapsülasyon uygulamasının avantajları aşağıda sıralanmıştır (Zuidam & Shimoni, 2010).

- Aktif maddenin üstün kullanımı (örneğin, sıvı aktif maddenin, serbest akışlı ve daha nötr bir kokuya sahip olabilen bir toza dönüştürülmesi)
- Gıda işleme sistemlerinde aktif maddenin hareketsizliği
- Nihai üründe ve işleme sırasında iyileştirilmiş stabilite (yani, uçucu aktif maddenin daha az buharlaşması ve/veya gıda ürünündeki oksijen veya su gibi diğer bileşenlerle reaksiyona girmemesi)
- İyileştirilmiş güvenlik (örneğin, aroma gibi uçucu maddelerin daha az yanma özelliği)
- Görünür ve dokusal efektlerin oluşturulması (görsel ipuçları)
- Aktif bileşenlerde ayarlanabilir özellikler (partikül boyutu, yapı, yağda veya suda çözünürlük, renk)
- Tat maskeleyme
- Kontrollü salınım

Enkapsülasyon işleminde fiziksel, kimyasal ve fizikokimyasal yöntemler kullanılmaktadır. Fiziksel yöntemler; püskürterek kurutma, püskürterek soğutma/dondurma, akışkan yatak kaplama, ekstrüzyon, kokristalizasyon, santrifüj ekstrüzyon, dondurarak kurutma yöntemleridir. Kimyasal yöntemler; moleküler inklüzyon ve polimerizasyon yöntemleridir. Fizikokimyasal yöntemler ise koaservasyon ve lipozom yöntemleridir (Shahidi & Han, 1993; Silva ve ark., 2014).

4. Balık Yağında Yapılan Emülsiyon Çalışmaları

Proteinlerin balık yağı emülsiyonlarında antioksidan madde olarak kullanılabileceği çeşitli araştırmacılar tarafından doğrulanmıştır (Faraji ve ark., 2004). Söz konusu emülsiyonlarda çoklu

doymamış yağ asitlerini proteinlerle korumak ve besleyici değerini artırmak mümkündür. Comunian ve ark. (2018), Ringa balığı yağından suda yağ emülsiyonu hazırlamışlardır. Emülgatör olarak farklı kombinasyonlarda jelatin, kazein, soya proteini ve peynir altı suyu proteinini kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre %1.5 (w/w) jelatin-%0.5 kazein, %0.5 (w/w) jelatin, %1 jelatin ve %1 (w/w) peyniraltı suyu (PAS) proteini içeren kombinasyonun; morfoloji, partikül boyutu ve zeta potansiyeli olarak en iyi sonuçları sunduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte %0.5 kazein ve %0.5 jelatin içeren formülasyon, diğer tüm formülasyonlar ile karşılaştırıldığında en iyi oksidatif korumayı sağladığı bildirilmiştir. Tong ve ark. (2000), somon balığı yağından tween 20 yardımı ile suda yağ emülsiyonu hazırlamışlardır. Hazırlanmış olan bu emülsiyona PAS proteini, PAS proteininin yüksek moleküler ağırlıklı fraksiyonu ve PAS proteininin düşük moleküler ağırlıklı fraksiyonunu eklemiştir. Bu maddelerin antioksidatif özelliklerini araştırmışlardır. Elde edilen verilere göre PAS proteininin yüksek fraksiyonu düşük fraksiyondan daha antioksidatif özellik gösterdiği ve PAS proteininin antioksidan olarak kullanılabilirliği belirlenmiştir.

Moayedzadeh ve ark. (2018), balık yağına farklı oranlarda tween 80 ve jellan gamı ekleyip emülsiyon hazırlamışlardır. Emülsiyonların özellikleri incelendiğinde tween 80'in tek başına balık yağını kendiliğinden emülsifiye etmede yetersiz olduğu fakat jellanın eklenmesi ile stabil emülsiyon oluşumunun sağlandığı ve jellanın eklenmesi ile surfaktan oranını azaldığı belirtilmiştir. Garcia Moreno ve ark. (2014), yaptıkları çalışmada morina balığı karaciğer yağından suda yağ emülsiyonu elde etmişlerdir. Bu emülsiyona 3 fosfolipid (lesitin, fosfatidkolin, fosfatidetanol amin) ve kazein ekleyip fiziksel stabilitesini ve antioksidan özelliklerini değerlendirmişlerdir. Sonuçlara göre, lesitin ile stabilize edilen emülsiyonlar en negatif zeta potansiyeline ve en düşük damlacık boyutuna sahip olup en iyi fiziksel stabiliteyi gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca bu emülsiyonun, peroksit değeri ve uçucu oksidasyon ürünü konsantrasyonu açısından en az oksitlenen emülsiyon olduğu belirlenmiştir.

Walker ve ark. (2017), balık yağına orta zincirli trigliseritler, limon yağı ve kekik yağını ayrı ayrı ekleyip nanoemülsiyonlar hazırlamışlardır. Bu çalışma ile balık yağında orta zincirli trigliseritler, limon yağı ve kekik yağı kullanılarak stabil bir emülsiyon elde edileceği belirlenmiştir. Orta zincirli trigliseritler ve limon yağı ile hazırlanan nanoemülsiyonlar, depolanma esnasında fiziksel olarak daha kararlı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca taşıyıcı yağ türünün, balık yağı nanoemülsiyonun lipid oksidasyonu stabilitesine karşı önemli bir etkiye sahip olduğu da belirlenmiştir. Kekik yağı, en yüksek antioksidan aktivitesine sahip iken bunu limon yağı takip ettiği bildirilmiştir Garcia-Moreno ve ark. (2016), küçük benekli kedi köpekbalığı ve sardalya balıklarından protein hidrolizatları elde etmiştir. %5 oranında balık yağı içeren emülsiyonlara, bu hidrolizatlar %6, 5, 4, ve 3 oranında ayrı ayrı eklenmiştir. Elde edilen verilere göre, %4 ve 3 oranında kullanılan sardalya hidrolizatlarının oksidatif stabilite olarak daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Küçük benekli kedi köpekbalığının hidrolizatlarının ise zayıf emülsifiye edici özellik gösterdiği belirlenmiştir.

Yapılan bir çalışmada (Uluata ve ark., 2016), balık yağı ile büyük ve küçük partikül boyutlarından suda yağ emülsiyonları elde edilip her iki boyuttaki emülsiyonlar farklı oranlarda karıştırılmıştır. Bu emülsiyonlara riboflavin eklenip oksidasyona karşı stabilitesi ölçülmüştür. Sonuçlara göre, emülsiyon bulanıklığı damlacık boyutunun artması ile arttığı tespit edilmiştir. Çalışmada ayrıca, Damlacık boyutunun, emülsiyonların 20 veya 37°C'de saklama sırasında riboflavin kaynaklı lipid oksidasyonuna karşı stabilitesi üzerindeki etkisi ölçülmüştür. 37°C'de, azalan damlacık çapı ile hidroperoksit oluşum hızının arttığını, ancak propanal konsantrasyonlarında önemli bir fark olmadığını belirlemişlerdir. 20 °C'de hem peroksit hem de propanal değerleri, oksidasyon hızının damlacık boyutunun azalmasıyla arttığını göstermiştir. Çalışma sonunda elde edilen veriler, riboflavinin, küçük damlacıklar içeren nanoemülsiyonlarda oksidasyonu teşvik etmede daha etkili olduğunu, çünkü ışığın daha kolay nüfuz edip reaktif oksijen türleri oluşturduğunu göstermektedir (Uluata ve ark., 2016).

Dey ve ark. (2012), balık yağından nano ve mikroemülsiyonlar oluşturmuştur. Emülsiyonda emülgatör olarak tween 20 ve span 80 kullanmış ve emülsiyonların sindirim özelliklerini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda nanoemülsiyonların ince bağırsakta lipidlerin sindirimini önemli ölçüde artırdığı belirlenmiştir. Ayrıca nanoemülsiyonların damlacık boyutu sırasıyla 78.96 nm ile 94.20 nm arasında ve mikroemülsiyonların ortalama damlacık boyutunun ise $1.58 \pm 0.31 \mu\text{m}$ olduğu bulunmuştur. Klinkesorn & Geraldine (2012), orkinos balığı yağı ile lesitin ve kitosan kullanarak çok katmanlı emülsiyon üretilip farklı sıcaklıklarda (5, 10, 15 ve 25°C) depolanmışlardır. Araştırma sonucunda sıcaklığın oksidasyon hızı üzerinde önemli etkisi olduğu belirlenmiştir. Balık yağı emülsiyonunun oksidasyon hızının depolama sıcaklığının değiştirilmesi ile kontrol altına alınabileceği rapor edilmiştir.

Chang & McClements (2015), balık yağından emülsiyon hazırlamış ve fukoidan ekleyip emülsiyonun stabilizasyonu araştırmışlardır. Elde edilen verilere göre fukoidan'ın, emülsiyon damlacıklarını bir elektrostatik biriktirme mekanizması yoluyla topaklaşmaya karşı stabilize etmek için uygun bir fonksiyonel bileşen olabileceğini göstermiştir.

Qiu & ark. (2015), balık yağı deamide buğday gliadini, sodyum kazeinat, peynir altı suyu proteini izolatu olmak üzere üç yüzey aktif madde ile stabilize etmiştir. Yapılan araştırma sonucu gliadin ve peynir altı suyu proteini izolatu, su içinde balık yağı emülsiyonlarının lipid oksidasyonunu (hidroperoksitler ve TBARS) inhibe etmede sodyum kazeinattan daha etkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca in vitro sindirim sırasında, gliadin ile stabilize edilmiş emülsiyonların, üç protein arasında en düşük sindirim oranına sahip olduğu belirlenmiştir. Çizelge 1'de özetlenen çalışmalara ek olarak bazı diğer çalışmalar da verilmiştir.

Çizelge 1. Balık yağında yapılan diğer bazı emülsiyon çalışmaları.

Materyal	Emülsiyon türü	Emülgatör	Referans
Ringa balığı yağı	Geleneksel Emülsiyon	Pas	Faraji ve ark., 2004
Tuna balığı yağı	Mikroemülsiyon	Tween 80	Zheng ve ark., 2011
Balık yağı	Geleneksel Emülsiyon ve Nanoemülsiyon	Tween 20	Dey ve ark., 2012
Tuna balığı yağı	Çok Tabakalı Emülsiyon	Lesitin+Kitosan	Klinkesorn & Geraldine, 2012
Balık yağı	Çok Tabakalı Emülsiyon	Sodyum Kazeinat+Fukoidan	Chang & McClements, 2015
Balık yağı	Geleneksel Emülsiyon	Gluten, Sodyum Kazeinat ya da Pas	Qiu ve ark., 2015
Balık yağı	Pickering Emülsiyon	Çapraz Bağlı Jelatin Nanopartikülleri	Ding ve ark., 2019
Balık yağı	Geleneksel Emülsiyon ve Nanoemülsiyon	Tween 80	Costa ve ark., 2020
Morina balığı karaciğer yağı	Geleneksel Emülsiyon	Patates Proteini Peptidleri	Garcia-Moreno ve ark., 2020

Pas: Peyniraltı suyu proteinleri, Tween 80: Poligliserin polirisinolat, Tween 20: Polietilen sorbitan monolaurat.

5. Balık Yağında Yapılan Enkapsülasyon Çalışmaları

Balık yağının kapsüllemesi ile ilgili birçok araştırma vardır. Yapılan araştırmaların sonucunda görüldüğü gibi antioksidan madde eklenmesi ile oksidasyon seviyesi azaltılabilmektedir. Ayrıca su aktivitesinin düşmesi ile mikrobiyal reaksiyonların oluşumu da engellenebilmektedir. Bakry ve ark. (2017), ton balığı yağı ve ton balığı yağı + nane yağında suda yağ emülsiyonları hazırlayıp peynir altı suyu izolatu + inülin ile kapsüllemiştir. Elde edilen mikrokapsüllerin nem düzeyi %2'nin altında ve su aktivitesi 0.30'dan az olduğu belirlenmiştir. DHA ve EPA içerikleri, ton balığı + nane yağı mikrokapsüllerinde daha az seviyede azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca karışım yağındaki oksidasyon derecesi, ton balığı yağı emülsiyonuna göre daha az olduğu bildirilmiştir.

Chang & Nikerson (2017), kanola, balık ve keten tohumu yağını püskürterek kurutma yöntemi ile 1:4 duvar materyali oranında mercimek proteini izolatu + sodyum, aljinat + maltodekstrin karışımı ile kapsüllemiştir. Yağ asidi profilleri üzerindeki ihmal edilebilir etkisinden dolayı püskürterek kurutmanın bu yağlar için iyi bir mikrokapsülleme tekniği olduğunu kanıtlamışlardır. Mercimek proteini izolatu, sodyum aljinat, maltodekstrin kombinasyonu, 30 günlük depolama sonunda yağlarda hidrolitik ekşime ve oksidatif bozulmaya karşı büyük koruma gösterdiği ve balık yağında sentetik antioksidanlardan daha fazla antioksidan kapasite sunduğu belirtilmiştir. İn vitro salınım testi ile simüle mide sıvısı + simüle bağırsak sıvısı koşulları altında kapsüllemiş yağların salınımının, simüle mide sıvısında daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte simüle mide sıvısında, kapsüllemiş konola yağının daha fazla salındığı; simüle bağırsak sıvısında ise kapsüllemiş balık yağının daha fazla salındığı belirlenmiştir.

Gan ve ark. (2008), balık yağını soya proteini izolatu ve span 80 ile emülsifiye etmişlerdir. Elde edilen emülsiyona mikrobiyal transglutaminaz enzimi ekleyip liyofilizasyon (dondurarak kurutma) yöntemi ile enkapsüle etmişlerdir. Ardından elde edilen kapsülleri, riboz ve sükröz tozları ile karıştırıp, vakum paketleyip ısıtma uygulamışlardır. Elde ettikleri verilere göre, riboz içeren mikrokapsüllerin salınımının daha düşük olduğu ve riboz ile hazırlanan mikrokapsüllerin daha uzun raf ömrüne sahip

olduğu belirlenmiştir. Balık yağının kontrollü salınımı ve oksidatif stabilitesini arttırmak için mikrokapsüller geliştirmede soya proteini izolatının bir mikrokapsülleme ajanı olarak kullanılabilceği rapor edilmiştir.

Jiménez-Martín ve ark. (2015), yaptıkları bir çalışmada, tek katmanlı lesitin ve çok katmanlı lesitin-kitosan emülsiyonlarından kaplama malzemesi olarak maltodekstrin kullanarak püskürterek kurutma yoluyla mikrokapsüller elde etmişlerdir. Bu çalışmada tek tabakalı emülsiyon için; balık yağı, lesitin kullanılıp maltodekstrin ile enkapsülasyon işlemi uygulanmıştır. Çok tabakalı emülsiyon için; balık yağı, kitosan-lesitin kullanılıp maltodekstrin ile enkapsülasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Lesitin-kitosan emülsiyonları ile hazırlanan çok katmanlı mikrokapsüllerin, 30 ve 60°C’de depolama sırasında balık yağının lipid oksidasyonuna karşı büyük ölçüde koruduğu belirtilmiştir. Çok katmanlı mikrokapsüllerin balık yağında başarılı bir şekilde kullanılabilceği rapor edilmiştir.

Ghorbanzade ve ark. (2017), balık yağını nano lipozomlar ile nano enkapsüle etmiştir. Lipozomlar, soya lesitini ve ayçiçeği yağından oluşturulmuştur. Elde edilen nano enkapsüle balık yağları yoğurda eklenmiştir. Nano lipozom kapsüllemenin, yoğurda asitlik, sineresis ve peroksit değerinde düşüşe sebep olduğu belirtilmiştir. Depolama sonunda nano kapsüllemiş balık yağı ile zenginleştirilmiş yoğurda, serbest balık yağı içeren yoğurttan daha yüksek EPA ve DHA içeriklerine sahip olduğu belirlenmiştir. Genel olarak, yoğurda nano kapsüllemiş balık yağı eklenmesinin duyuşal özellikler açısından kontrol numunesine, serbest balık yağı ile zenginleştirilmiş yoğurttan daha yakın özellikler verdiği belirlenmiştir. Balık yağından elde edilen kapsüller bu çalışmada görüldüğü gibi bir ürünün formülasyonuna başarılı olarak eklenebilmektedir. Bu sayede balık yağından daha fazla yararlanabilmek mümkündür. Ayrıca enkapsülasyon işlemi ile balık yağının raf ömrü uzatılabilmektedir (Venugopalan ve ark., 2021).

Pourashouri ve ark. (2021), tavuk filetoları ile tavuk nugget üretip içerisine karragenan ve kitre zımkı ile kapsüllemiş balık yağı mikrokapsüllerini eklemiştir. Elde edilen nuggetlar, -18°C’de 3 ay boyunca depolanmıştır. %1 balık yağı içeren nugget örnekleri, kapsüllemiş balık yağı ile zenginleştirilmiş nugget örneklerinden daha yüksek TBARS ve konjuge dien değerleri vermiştir. Karragenan ve kitre zımkı ile kapsüllemiş örnekler ile kontrol örneği arasında duyuşal olarak bir fark gözlemlenmediği belirtilmiştir. Nuggetların EPA ve DHA miktarları artış gösterdiği yazarlar tarafından gözlemlenmiştir. Balık yağı yüksek oranda EPA ve DHA içermektedir ve enkapsülasyon işlemi ile koruyuculuğu artırılıp bazı ürünlere eklenmesi ile tüketicilerin bu değerli yağ asitlerinden daha fazla yararlanması sağlanabilmektedir (Gouin, 2004).

Jamshidi ve ark. (2018), balık proteini hidrolizati ve balık yağı kullanarak S/Y/S çoklu emülsiyonlarını elde etmişlerdir. Bu emülsiyonları duvar malzemeleri olarak inülin, fukoidan ve peynir altı suyu proteini ile enkapsüle etmişlerdir. Hazırladıkları mikrokapsülleri yoğurda eklemiştir. Sonuçlara göre çeper bileşiminde fukoidanın varlığı, çekirdek malzemelerini koruyarak mikrokapsüllerin besin kalitesi ve oksidatif stabilitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. İnülinin dahil edilmesi, mikrokapsüllerin özellikleri ve kuvvetlendirilmiş yoğurdun duyuşal özellikleri ile ilgili daha iyi sonuçlar ortaya çıkardığı belirtilmiştir. Çoklu emülsiyonların birçok avantajı vardır. Avantajlarından biri de tat ve koku maskeleyici özelliğidir. Balık yağının çoklu emülsiyonu ile balık yağında istenmeyen koku maskelenebilir ve tüketicilerin daha fazla tercih etmesi de sağlanabilir (Jamshidi ve ark., 2020).

Jafari ve ark. (2008), balık yağını modifiye nişasta, peynir altı suyu proteini ve maltodekstrin kullanarak püskürterek kurutma yöntemi ile kapsüllemiştir. Emülsiyon hazırlarken rotor-stator sistemi, ultrason ve mikroakışkanlaştırıcı sistemi olmak üzere 3 farklı yöntem kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre emülsifikasyon yönteminin; emülsiyon boyutu, emülsiyon kararlılığı, toz parçacık boyutu, boyut dağılımları ve yüzey yağı gibi diğer parametreler dahil olmak üzere bir dizi farklı yolla kapsüllemiş tozun nihai özelliklerini etkileyebileceğini ve belirleyebileceğini açıkça göstermiştir. Mikroakışkanlaştırmanın partiküllerin yüzeyinde minimum miktarda kapsüllememiş yağ ve maksimum kapsülleme verimliliği elde etmek için en iyi emülsifikasyon yöntemi olduğu belirlenmiştir.

Tamjidi ve ark. (2011), balık yağını, jelatin ve akasya gamı ile dondurarak kurutma yöntemi ile enkapsüle etmişlerdir. Elde ettikleri mikrokapsülleri, yoğurt üretip yoğurda eklemiştir. 5 ayrı yoğurt numunesi hazırlanmıştır. Bu numuneler; 0.8 g mikrokapsül içeren yoğurt, seyreltilmiş limon suyu (3.3 mL %20 (v/v)) ile işleme tutulan 0.8 g mikrokapsül içeren yoğurt, 0.4 g balık yağı içeren yoğurt, 0.4 g jelatin ve 3.3 mL seyreltilmiş limon suyu içeren yoğurt ve kontrol numunesi şeklinde hazırlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre tüm analiz zamanlarında kontrol yoğurdu, mikrokapsüller ile

zenginleştirilmiş yoğurttan daha fazla peynir altı suyu ayırımına sahip olduğu belirtilmiştir. Su tutma kapasitesi sonuçlarının depolamanın tüm zamanlarında, zenginleştirilmiş yoğurt numunesinin kontrol numunesinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kontrol örneğinin peroksit değeri zenginleştirilmiş yoğurt örneklerinden düşük bulunmuştur. Bununla birlikte mikrokapsülle zenginleştirilmiş yoğurt örneğinin, serbest balık yağı içeren yoğurt örneklerinden daha düşük peroksit değerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Raeisi ve ark. (2019), balık yağı ve sarımsak uçucu yağını (sırasıyla %75-%25) İran sakızı (İR) ve kitosan (KİT) (2:1, 1:1 ve 1:2 duvar materyali oranında ve duvar/ çekirdek malzemesi oranı 10:2) ile nano-kapsüllemişlerdir. Bulgulara göre 2:1 İR: KİT oranının en iyi kombinasyon olduğu belirlenmiştir ve bu kombinasyon, iyi zeta potansiyeli (33.4 ± 1.6 mV), maksimum emülsiyon stabilitesi, yüzey gerilimi (56 ± 0.3 mN m⁻¹) ve viskozite (1.09 ± 0.04 Pa s), minimum damlacık boyutu (23.19 nm) ve polidispersidite (0.120 ± 0.002) değerleri sergilemiştir. Balık yağı-sarımsak uçucu yağı kapsüllemenin başarısı, diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC), X-Işını Kırınımı (XRD) ve Fourier-Transform Kızılötesi Spektroskopi (FTIR) analizlerinden elde edilen sonuçlarla doğrulanmıştır. Fizikokimyasal özellikler ve termal stabilite, bu tür nano kapsüllerin balık yağı-sarımsak uçucu yağının sağlanması için farmasötik ve gıda endüstrilerinde umut verici bir kullanıma sahip olduğunu göstermiştir.

Chen ve ark. (2013), fitosterol ester ve limonen içeren balık yağını duvar materyali olarak peynir altı suyu proteini izolatu ve çözünür mısır lifi kullanarak püskürterek ve dondurarak kurutmuşlardır. Sonuçlara göre püskürterek kurutmada daha yüksek enkapsülasyon verimliliği elde edilmiştir. Ayrıca limonen aromasının kaybı, dondurularak kurutulmuş numunelerde önemli ölçüde daha yüksek bulunmuştur. Duyusal değerlendirme sonucunda, limonen ilavesinin mikrokapsüllerdeki hoş olmayan balık kokusunu maskeleyebileceğini göstermiştir. Genel olarak, dondurarak kurutma, üstün özelliklere sahip tozlar üretmemiş ve çekirdek malzemelere karşı sprey kurutmadan daha iyi koruma göstermediği belirtilmiştir.

Liao ve ark. (2012), yaptıkları bir çalışmada balık yağı ve SDWG (succinic acid deamidated wheat gluten) ile S/Y/S ikili-emülsiyon oluşturarak ısı polimerizasyon yöntemi ile enkapsüle etmişlerdir. Bu yöntemde uygulanan ısı işlem, disülfid bağları, hidrojen bağları ve hidrofobik etkileşimler ile glutenin sıkı bir ağ yapısı oluşturmasına sebep olduğu belirtilmiştir. Çizelge 2'de özetlenen çalışmalara ek olarak bazı diğer çalışmalar da verilmiştir.

Çizelge 2. Balık yağında yapılan diğer bazı enkapsülasyon çalışmaları.

Materyal	Duvar malzemesi	Enkapsülasyon yöntemi	Referans
Balık yağı	Glukoz ya da Trehaloz	Püskürterek kurutma	Drusch ve ark., 2006
Balık yağı	Modifiye Nişata ve/veya PAS-MD	Püskürterek kurutma	Jafari ve ark., 2008
Balık yağı	Jelatin ve Akasya Gami	Dondurarak kurutma	Tamjidi ve ark., 2011
Balık yağı	Yağsız Süttozu+MD/Sükroz/Laktoz	Püskürterek kurutma	Aghbashlo ve ark., 2012
Balık yağı	Deamide Gluten	Püskürterek kurutma	Liao ve ark., 2012
Balık yağı	PAS ve Çözünür Mısır Lifi	Püskürterek ve dondurarak kurutma	Chen ve ark., 2013
Morina balığı karaciğer yağı	Jelatin-MD, Kitosan-MD, Jelatin-Kitosan-MD, Jelatin-MTgaz	Püskürterek kurutma	Pourashouri ve ark., 2014
Balık yağı	Soya Lesitini+Ayçiçeği Yağı	Lipozom tutuklama	Ghorbanzade ve ark., 2017
Balık yağı	Soya Fasulyesi Proteini İzolatı	Püskürterek kurutma	Giorgio ve ark., 2019
Balık karaciğer yağı	Kitosan+İran Sakızı	Dondurarak kurutma	Raeisi ve ark., 2019

PAS: Peyniraltı suyu proteini, MD: Maltodekstrin, MTgaz: Mikrobiyal transglutaminaz.

6. Sonuç

Emülsiyon ve enkapsülasyon teknikleri uzun zamandan beri kullanılan tekniklerdir. Gıda endüstrisinde geniş alanlarda uygulanmaktadır. Son zamanlarda balık yağının zengin besin içeriğinden dolayı gıda sistemlerinde kullanımının artması ve balık yağının raf ömrünün uzatılması önemli bir hedef haline gelmiştir. Yapılan çalışmalar, emülsiyon ve enkapsülasyon tekniklerinin balık yağında başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir. Emülsiyon tekniği, enkapsülasyon tekniğine göre daha düşük

maliyetli ve daha kolay uygulanabilir bir teknik olması nedeniyle öne çıkmaktadır. Diğer taraftan, enkapsülasyon tekniği ile daha uzun raf ömrü sağlanabilmektedir. Bununla birlikte, antioksidan eklenmesi ile emülsiyonların koruyuculuğunun önemli ölçüde artırıldığı çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu tekniklerin gıda endüstrisinde kullanımı; raf ömrü daha uzun, fonksiyonel özellikleri geliştirilmiş, besleyici değeri yüksek özelliklere sahip yeni ürünlerin geliştirilmesinde çeşitli imkanlar sunmaktadır.

Kaynakça

- Aghbashlo, M., Mobli, H., Madadlou, A., & Rafiee, S. (2012). The correlation of wall material composition with flow characteristics and encapsulation behaviour of fish oil emulsion. *Food Research International*, 49(1), 379-388. doi:10.1016/j.foodres.2012.07.031
- Augustin, M. A., & Sanguansri, L. (2012). Challenges in Developing Delivery Systems for Food Additives, Nutraceuticals and Dietary Supplements. In N. Garti, & D. J. McClements (Eds.), *Encapsulation Technologies and Delivery Systems for Food Ingredients and Nutraceuticals* (pp. 19-48). Victoria, AUSTRALIA: Woodhead Publishing Series. doi:10.1533/9780857095909.1.19
- Baek, N. (2012). *Effects of natural antioxidants on lipid oxidation of menhaden oil*. (MSc), Virginia Polytechnic Institute and State University, Food Science and Technology, Blacksburg-Virginia, USA.
- Bakry, A. M., Fang, Z., Khan, M. A., Chen, Y., Chen, Y. Q., & Liang, L. (2017). Tuna oil and mentha piperita oil emulsions and microcapsules stabilized by Whey Protein Isolate and Inulin: Characterization and stability. *International Journal of Food Science and Technology*, 52(2), 494-503. doi:10.1111/ijfs.13305
- Boran, G. 2004. *Balık yağı kalitesinin depolama sıcaklığına ve süresine bağlı değişimi*. (MSc), Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- Botrel, D. A., Barros Fernandes, R. V., Borges, S. V., & Yoshida, M. I. (2014). Influence of wall matrix systems on the properties of spray-dried microparticles containing fish oil. *Food Research International*, 62, 344-352. doi:10.1016/j.foodres.2014.02.003
- Chang, Y., & McClements, D. J. (2015). Interfacial deposition of an anionic polysaccharide (fucoïdan) on protein-coated lipid droplets: Impact on the stability of fish oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids*, 51, 252-260. doi:10.1016/j.foodhyd.2015.05.014
- Chang, C., & Nickerson, M. T. (2017). Stability and in vitro release behaviour of encapsulated omega fatty acid-rich oils in lentil protein isolate-based microcapsules. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 69(1), 12-23. doi:10.1080/09637486.2017.1336513
- Chen, Q., Zhong, F., Wen, J., McGillivray, D., & Quek, S. Y. (2013). Properties and stability of spray-dried and freeze dried microcapsules co-encapsulated with fish oil, phytosterol esters, and limonene. *Drying Technology*, 31(6), 707-716. doi:10.1080/07373937.2012.755541
- Chung, C., & McClements, D. J. (2014). Structure–function relationships in food emulsions: Improving food quality and sensory perception. *Food Structure*, 1(2), 106-126. doi:10.1016/j.foostr.2013.11.002
- Comunian, T. A., Ravanfar, R., Selig, M. J., & Abbaspourrad, A. (2018). Influence of the protein type on the stability of fish oil in water emulsion obtained by glass microfluidic device. *Food Hydrocolloids*, 77, 96-106. doi:10.1016/j.foodhyd.2017.09.025
- Costa, M., Losada-Barreiro, S., Bravo-Díaz, C., Monteiro, L. S., Paiva-Martins, F. (2020). Interfacial concentrations of hydroxytyrosol derivatives in fish oil-in-water emulsions and nanoemulsions and its influence on their lipid oxidation: Droplet size effects. *Foods*, 9(12), 1897. doi:10.3390/foods9121897
- Dey, T. K., Ghosh, S., Ghosh, M., Koley, H., & Dhar, P. (2012). Comparative study of gastrointestinal absorption of EPA & DHA rich fish oil from nano and conventional emulsion formulation in rats. *Food Research International*, 49(1), 72-79. doi:10.1016/j.foodres.2012.07.056
- Diaz, M., Dunn, C. M., McClements, D. J., & Decker, E. A. (2003) Use of caseinophosphopeptides as natural antioxidants in oil-in-water emulsions. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 51(8), 2365-2370. doi:10.1021/jf0259841

- Ding, M., Zhang, T., Zhang, H., Tao, N., Wang, X., & Zhong, J. (2019). Effect of preparation factors and storage temperature on fish oil-loaded crosslinked gelatin nanoparticle pickering emulsions in liquid forms. *Food Hydrocolloids*, 95, 326-335. doi:10.1016/j.foodhyd.2019.04.052
- Drusch, S., Serfert, Y., Den Heuvel, A. V., & Schwarz, K. (2006). Physicochemical characterization and oxidative stability of fish oil encapsulated in an amorphous matrix containing trehalose. *Food Research International*, 39(7), 807-815. doi:10.1016/j.foodres.2006.03.003
- Faraji, H., McClements, D. J., & Decker, E. A. (2004). Role of continuous phase protein on the oxidative stability of fish oil-in-water emulsions. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 52(14), 4558-4564. doi:10.1021/jf035346i
- Gan, C. Y., Chen, L. H., & Easa, A. M. (2008). Evaluation of microbial transglutaminase and ribose cross-linked soy protein isolate-based microcapsules containing fish oil. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9(4), 563-569. doi:10.1016/j.ifset.2008.04.004
- García-Moreno P. J., Horn, A. F., & Jacobsen, C. (2014). Influence of casein-phospholipid combinations as emulsifier on the physical and oxidative stability of fish oil-in-water emulsions. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 62(5), 1142-1152. doi:10.1021/jf405073x
- García-Moreno, P. J., Guadix, A., Guadix, E. M., & Jacobsen, C. (2016). Physical and oxidative stability of fish oil-in-water emulsions stabilized with fish protein hydrolysates. *Food Chemistry*, 203, 124-135. doi:10.1016/j.foodchem.2016.02.073
- García-Moreno, P. J., Gregersen, S., Nedamani, E. R., Olsen, T. H., Marcatili, P., Overgaard, M. T., Andersen, M. L., Hansen, E. B., & Jacobsen, C. (2020). Identification of emulsifier potato peptides by bioinformatics: Application to omega-3 delivery emulsions and release from potato industry side streams. *Scientific Reports*, 10, 1-22. doi:10.1038/s41598-019-57229-6
- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., & Saurel, R. (2007). Application of spray drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40(9), 1107-1121. doi:10.1016/j.foodres.2007.07.004
- Ghorbanzade, T., Jafari, S. M., Akhavan, S., & Hadavi, R. (2017). Nano-encapsulation of fish oil in nano-liposomes and its application in fortification of yogurt. *Food Chemistry*, 216, 146-152. doi:10.1016/j.foodchem.2016.08.022
- Giorgio, L. D., Salgado, P. R., & Mauri, A. N. (2019). Encapsulation of fish oil in soybean protein particles by emulsification and spray drying. *Food Hydrocolloids*, 87, 891-901. doi:10.1016/j.foodhyd.2018.09.024
- Gouin, S. (2004). Microencapsulation: Industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends in Food Science and Technology*, 15(7-8), 330-347. doi:10.1016/j.tifs.2003.10.005
- Göksel Saraç, M. 2018. *Rendering artık yağlarından emülgatör üretimi ve model gıdalarda arayüzey (interfacial) reolojik uygulamaları*. (PhD), Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, Türkiye.
- Güngör, Ö., Zungur, A., Koç, M., & Kaymak Ertekin, F. (2013). Emülsiyonların özellikleri ve emülsifikasyon koşullarının aroma ve yağların mikroenkapsülasyonu üzerine etkisi. *Akademik Gıda*, 11(2), 116-124.
- Hu, M., McClements, D. J., & Decker, E. A. (2003) Lipid oxidation in corn oil-in-water emulsions stabilized by casein, whey protein isolate and soy protein isolate. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 51(6), 1696-1700. doi:10.1021/jf020952j
- Jafari, S. M., Assadpoor, E., Bhandari, B., & He, Y. (2008). Nano-particle encapsulation of fish oil by spray drying. *Food Research International*, 41(2), 172-183. doi:10.1016/j.foodres.2007.11.002
- Jamshidi, A., Shabanpour, B., Pourashouri, P., & Raeisi, M. (2018). Using WPC-inulin-fucoidan complexes for encapsulation of fish protein hydrolysate and fish oil in W1/O/W2 emulsion: Characterization and nutritional quality. *Food Research International*, 114, 240-250. doi:10.1016/j.foodres.2018.07.066
- Jamshidi, A., Cao, H., Xiao, J., & Simal-Gandara, J. (2020). Advantages of techniques to fortify food products with the benefits of fish oil. *Food Research International*, 137, 109353. doi:10.1016/j.foodres.2020.109353
- Jiménez-Martín, E., Gharsallaoui, A., Pérez-Palacios, T., Carrascal, J. R., & Rojas, T. A. (2015). Suitability of using monolayered and multilayered emulsions for microencapsulation of ω -3 fatty acids by spray drying: Effect of storage at different temperatures. *Food Bioprocess Technology*, 8, 100-111. doi:10.1007/s11947-014-1382-y

- Kale, S. N., & Deore, S. L. (2017). Emulsion micro emulsion and nano emulsion: A review. *Systematic Reviews in Pharmacy*, 8(1), 39-47.
- Klinkesorn, U., & Geraldine, P. L. (2012). Effect of temperature on lipid oxidation kinetics of tuna oil two-layers emulsions during storage. *Italian Journal of Food Science*, 24(4), 22-25.
- Koç, M., Sakin, M., & Ertekin, F. K. (2010). Mikroenkapsülasyon ve gıda teknolojisinde kullanımı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(1), 77-86.
- Li, Q., He, Q., Xu, M., Li, J., Liu X., Wan, Z., & Yang, X. (2020). Food-grade emulsions and emulsion gels prepared by soy protein–pectin complex nanoparticles and glycyrrhizic acid nanofibrils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(4), 1051-106. doi:10.1021/acs.jafc.9b04957
- Liao, L., Luo, Y., Zhao, M., & Wang, Q. (2012). Preparation and characterization of succinic acid deamidated wheat gluten microspheres for encapsulation of fish oil. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 92, 305-314. doi:10.1016/j.colsurfb.2011.12.003
- Madene, A., Jacquot, M., Scher, J., & Desobry, S. (2006). Flavour encapsulation and controlled release - A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 41(1), 1-21. doi:10.1111/j.1365-2621.2005.00980.x
- McClements, D. J. (2015). *Food Emulsions: Principles, Practices, and Techniques*. Florida, USA: CRC.
- McClements, D. J., & Decker, E. A. (2000). Lipid oxidation in oil-in-water emulsions: Impact of molecular environment on chemical reactions in heterogeneous food systems. *Journal of Food Science*, 65(8), 1270-1282. doi:10.1111/j.1365-2621.2000.tb10596.x
- Moayedzadeh, S., Khosrowshahi, A., Gunasekaran, S., & Madadlou, A. (2018). Spontaneous emulsification of fish oil at a substantially low surfactant-to-oil ratio: Emulsion characterization and filled hydrogel formation. *Food Hydrocolloids*, 82, 11-18. doi:10.1016/j.foodhyd.2018.03.042
- Nazzaro, F., Orlando, P., Fratianni, F., & Coppola, R. (2012). Microencapsulation in food science and biotechnology. *Current Opinion in Biotechnology*, 23(2), 182-186. doi:10.1016/j.copbio.2011.10.001
- Nedovic, V., Kalusevic, A., Manojlovic, V., Levic, S., & Bugarski, B. (2011). An overview of encapsulation technologies for food applications. *Procedia Food Science*, 1, 1806 - 1815. doi:10.1016/j.profoo.2011.09.265
- Ozturk, B., & McClements, D. J. (2016). Progress in natural emulsifiers for utilization in food emulsions. *Current Opinion in Food Science*, 7, 1-6. doi:10.1016/j.cofs.2015.07.008
- Pourashouri, P., Shabanpour, B., Razavi, S. H., Jafari, S. M., Shabani, A., & Aubourg, S. P. (2014). Oxidative stability of spray-dried microencapsulated fish oils with different wall materials. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 23(6), 567-578. doi:10.1080/10498850.2012.738357
- Pourashouri, P., Shabanpour, B., Heydari, S., & Raeisi, S. (2021). Encapsulation of fish oil by carrageenan and gum tragacanth as wall materials and its application to the enrichment of chicken nuggets. *LWT-Food Science and Technology*, 137, 110-334. doi:10.1016/j.lwt.2020.110334
- Qiu, C., Zhao, M., Decker, E. A., & McClements, D. J. (2015). Influence of protein type on oxidation and digestibility of fish oil-in-water emulsions: Gliadin, caseinate, and whey protein. *Food Chemistry*, 175, 249-257. doi:10.1016/j.foodchem.2014.11.112
- Raeisi, S., Ojagh, S. M., Quek, S. Y., Pourashouri, P., & Salaün, F. (2019). Nano-encapsulation of fish oil and garlic essential oil by a novel composition of wall material: Persian gum-chitosan. *LWT-Food Science and Technology*, 116, 108494. doi:10.1016/j.lwt.2019.108494
- Serdaroğlu, M., Öztürk, B., & Kara, A. (2015). An overview of food emulsions: Description, classification and recent potential applications. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 3(6), 430-438. doi:10.24925/turjaf.v3i6.430-438.336
- Shahidi, F., & Han, X. Q. (1993). Encapsulation of food ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 33(6), 501-547. doi:10.1080/10408399309527645
- Silva, P. T. D., Fries, L. L. M., Menezes, C. R. D., Holkem, A. T., Schwan, C. L., Wigmann, É. F. Bastos, J. D. O., & Silva, C. D. B. D. (2014). Microencapsulation: Concepts, mechanisms, methods and some applications in food technology. *Ciência Rural*, 44(7), 1304-1311. doi:10.1590/0103-8478cr20130971

- Tadros, T. F. (2013). Emulsion Formation, Stability, and Rheology. In T. F. Tadros (Ed.), *Emulsion Formation and Stability* (pp. 1-75). Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. doi:10.1002/9783527647941.ch1
- Tamjidi, F., Nasirpour, A., & Shahedi, M. (2011). Physicochemical and sensory properties of yogurt enriched with microencapsulated fish oil. *Food Science and Technology International*, 18(4), 381-390. doi:10.1177/1082013211428212
- Tanskanen, A., Hibbeln, J. R., Tuomilehto, J., Uutela, A., Haukkala, A., Viinamäki, H., Lehtonen, J. & Vartiainen, E. (2001). Fish consumption and depressive symptoms in the general population in Finland. *Psychiatric Services*, 52(4), 529-531. doi:10.1176/appi.ps.52.4.529
- Tong, L. M., Sasaki, S., McClements, D. J., & Decker, E. A. (2000). Antioxidant activity of whey in a salmon oil emulsion. *Journal of Food Science*, 65(8), 1325-1329. doi:10.1111/j.1365-2621.2000.tb10606.x
- Uluata, S., McClements, D. J., & Decker, E. A. (2016). Riboflavin-induced oxidation in fish oil-in-water emulsions: Impact of particle size and optical transparency. *Food Chemistry*, 213, 457-461. doi:10.1016/j.foodchem.2016.06.103
- Urbina-Villalba, G. (2009). An algorithm for emulsion stability simulations: account of flocculation, coalescence, surfactant adsorption and the process of ostwald ripening. *International Journal of Molecular Sciences*, 10(3), 761-804. doi:10.3390/ijms10030761
- Uysal, K., Yöntem, M., & Dönmez, M. (2005). Balık yağının koroner kalp hastalıkları üzerine etkisi. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8, 179-198.
- Venugopalan, V. K., Gopakumar, L. R., Kumaran, A. K., Chatterjee, N. S., Soman, V., Peeralil, S., Mathew, S., McClements, D. J., & Nagarajarao, R. C. (2021). Encapsulation and protection of omega-3-rich fish oils using food grade delivery systems. *Foods*, 10(7), 1566. doi:10.3390/foods10071566
- Vos P., Faas, M. M., Spasojevic, M., & Sikkema, J. (2010). Review: Encapsulation for preservation of functionality and targeted delivery of bioactive food components. *International Dairy Journal*, 20(4), 292-302. doi:10.1016/j.idairyj.2009.11.008
- Walker, R. M., Gumuş, C. E., Decker, E. A., & McClements, D. J. (2017). Improvements in the formation and stability of fish oil-in-water nanoemulsions using carrier oils: MCT, thyme oil, & lemon oil. *Journal of Food Engineering*, 211, 60-68. doi:10.1016/j.jfoodeng.2017.05.004
- Wandrey, C., Bartkowiak, A., & Harding, S. E. (2010). Materials For Encapsulation. In N. J. Zuidam, & V. Nedović (Eds.), *Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing* (pp. 31-100). New York, USA: Springer-Verlag Press.
- Zhang, J. (2011). *Novel emulsion-based delivery systems*. (PhD), Minnesota University, The Faculty of The Graduate School, Minnesota, USA.
- Zheng, M. Y., Liu, F., Wang, Z. W., & Baoyindugurong, J. H. (2011). Formation and characterization of self-assembling fish oil microemulsions. *Colloid Journal*, 73(3), 319-326. doi:10.1134/S1061933X11030197
- Zheng, L., Cao, C., Chen, Z., Cao, L., Huang, Q., & Song, B. (2020). Evaluation of emulsion stability by monitoring the interaction between droplets. *LWT-Food Science and Technology*, 132, 109804. doi:10.1016/j.lwt.2020.109804
- Zuidam, N. J. & Shimoni, E. (2010). Overview of Microencapsulates for Use in Food Products or Processes and Methods to Make Them. In N. J. Zuidam, & V. Nedovic (Eds), *Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing* (pp. 3-29). New York, USA, Springer-Verlag Press.

