



ORDU ÜNİVERSİTESİ
BİLİM ve TEKNOLOJİ
DERGİSİ

Ordu University
Journal of Science and Technology

Hakemli Elektronik Dergi

Haziran 2024 | Cilt: 14, Sayı: 1

ISSN: 2146-6440

e-ISSN: 2146-6459



ORDU ÜNİVERSİTESİ

BİLİM VE TEKNOLOJİ DERGİSİ

CİLT 14, SAYI: 1 | HAZİRAN 2024

ORDU UNIVERSITY

JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

VOLUME 14, ISSUE: 1 | JUNE 2024

"Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi" 2011 yılından bu yana, Türkçe veya İngilizce olarak hazırlanan çalışmaları açık erişimli yayınlayan bilimsel ve hakemli bir dergidir. Dergimiz, elektronik olarak yılda iki kez (Haziran ve Aralık) yayınlanmaktadır.

Dergimiz; Fen Bilimleri alanında ki Mühendislik, Temel Bilimler, Ziraat ve Fen-Matematik Eğitimi konularını kapsayan hem deneysel hem de kuramsal makalelere yer vermektedir.

Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, **TR Dizin**, Index Copernicus, DRJI ve SOBIAD tarafından taranıp indexlenmektedir.

"Ordu University Journal of Science and Technology" is a scientific and peer-reviewed journal that has been publishing open access studies in Turkish or English since 2011. Our journal is published electronically twice a year (June and December).

Our journal includes both experimental and theoretical articles in the fields of Science, Engineering Sciences, Agriculture, and Science-Mathematics Education.

Ordu University Journal of Science and Technology currently indexed by **TR Dizin**, Index Copernicus, DRJI, and SOBIAD

Makaleler "i-Thenticate" intihal incelemesinden geçmiştir.
Articles have passed the "i-Thenticate" plagiarism review.

Dergimiz, etik "Yayın Etiği Komitesi" COPE (Committee on Publication Ethics) ilkelerini benimsemektedir.

Our journal adopts the principles of COPE (Committee on Publication Ethics).



Creative Commons Atıf-GayriTicari 4.0 Uluslararası Lisansı (CC BY-NC 4.0)
Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

SAHİBİ

Ordu Üniversitesi Adına
Doç. Dr. Mithat AKGÜN (Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü)

EDİTÖR

Doç. Dr. Mithat AKGÜN

EDİTÖR YARDIMCISI

Prof. Dr. Elvan ÜSTÜN

YABANCI DİL EDİTÖRÜ

Öğr. Gör. Dr. Selin YURDAKUL

MİZANPAJ EDİTÖRÜ

Dr. Öğr. Üyesi. Necati TAŞKIN

ALAN EDİTÖRLERİ

Prof. Dr. Şevket Metin KARA
Prof. Dr. Kürşat KORKMAZ
Prof. Dr. Kamil KAYGUSUZ
Prof. Dr. Genççağa PÜRÇEK

Prof. Dr. İmdat İŞCAN
Prof. Dr. Sezai ALKAN
Prof. Dr. Mustafa AKTAŞ
Prof. Dr. Erhan SET
Prof. Dr. Tuğba ÖZBUCAK
Doç. Dr. Ahmet AYGÜN
Doç. Dr. Faruk AKYAZI
Doç. Dr. Burhan ÖZTÜRK

Doç. Dr. Mutlu SÖNMEZ ÇELEBİ
Doç. Dr. Fatih ÖNER

Doç. Dr. Ali MİROĞLU
Doç. Dr. Ömer ATABEYOĞLU
Doç. Dr. Erdem TÜRKELİ

Doç. Dr. Mithat AKGÜN
Doç. Dr. Elif ÇİL

Dr. Öğr. Üyesi Erdinç YÜCESOY
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Remzi ÖZCAN

Dr. Öğr. Üyesi. Ergün YÜCESOY

Dr. Öğr. Üyesi. Kerem ERZURUMLU
Dr. Öğr. Üyesi. Sümeyye ŞAHİN

*Endüstri Bitkileri, Tıbbi ve Aromatik Bitkiler
Bitki Fizyolojisi, Bitki Besleme ve Toprak Verimliliği
Fiziksel Kimya
Kaynak Teknolojileri, Malzeme Tasarım ve Davranışları,
Üretim Teknolojileri, Kaplama Teknolojisi
Matematiksel Analiz
Kanatlı Hayvan Yetiştirme ve Islahı
Elektrik Makineleri ve Enerji Dönüşümü
Matematiksel Analiz
Ekoloji
Bahçe Bitkileri Yetiştirme ve Islahı
Entomoloji, Nematoloji
Bahçe Bitkileri Yetiştirme ve Islahı, Hasat Sonu
Teknolojisi ve Fizyolojisi, Meyve Yetiştirme ve Islahı
Kimya, Analitik Kimya, Elektrokimya
Tarla Bitkileri Yetiştirme ve Islahı, Tahıllar ve Yemelik
Tane Baklagiller
Hidrobiyoloji
Mimarlık, Planlama, Tasarım
Betonarme Yapılar, Çelik Yapılar, Deprem Mühendisliği,
Rüzgâr, Yapı Dinamiği
Makine Mühendisliği, Gıda Bilimleri ve Mühendisliği
Eğitim Bilimleri ve Öğretmen Yetiştirme, Mikrobiyoloji,
Bakteriyoloji
Esnek Hesaplama, Olasılık Teorisi
Görüntü İşleme, Gömülü Sistemler, Sinyal İşleme,
Mekatronik Mühendisliği
Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği, Yapay Öğrenme,
Yapay Zekâ, İşaret İşleme
Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği
Gıda Bilimleri ve Mühendisliği, Gıda Bilimi, Gıda Kimyası,
Yağ Teknolojisi, Beslenme ve Diyetetik*

2024 HAZİRAN 14 (1) SAYISI HAKEM LİSTESİ

| | |
|------------------------------------|---|
| Prof. Dr. Ali ÜNLÜKARA | <i>Erciyes Üniversitesi</i> |
| Prof. Dr. Beyhan TAŞ | <i>Ordu Üniversitesi</i> |
| Prof. Dr. Mehmet Cengiz KAYACAN | <i>Süleyman Demirel Üniversitesi</i> |
| Prof. Dr. Salih ALKAN | <i>Ordu Üniversitesi</i> |
| Prof. Dr. Sultan ÖZTÜRK | <i>Karadeniz Teknik Üniversitesi</i> |
| Prof. Dr. Yasemin Özden KÖMKE | <i>Ondokuz Mayıs Üniversitesi</i> |
| Prof. Dr. Ünal KILIÇ | <i>Ondokuz Mayıs Üniversitesi</i> |
| Prof. Dr. İlkey ŞİŞMAN | <i>Sakarya Üniversitesi</i> |
| Prof. Dr. Zakire Tülay AYTAÇ AKÇİN | <i>Ondokuz Mayıs Üniversitesi</i> |
| Doç. Dr. Ali Vaiz GARİPOĞLU | <i>Ondokuz Mayıs Üniversitesi</i> |
| Doç. Dr. Özcan BEKTAŞ | <i>Samsun Üniversitesi</i> |
| Doç. Dr. Zekeriyya BAHADIR | <i>Giresun Üniversitesi</i> |
| Doç. Dr. Yasemin AKGÜN | <i>Ordu Üniversitesi</i> |
| Doç. Dr. Sibel Paşalı ATMACA | <i>Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi</i> |
| Doç. Dr. Serbay DURAN | <i>Adıyaman Üniversitesi</i> |
| Doç. Dr. Nazlı ERSOY | <i>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi</i> |
| Doç. Dr. Kadir Mert DÖLEKER | <i>Ondokuz Mayıs Üniversitesi</i> |
| Doç. Dr. Hasan YAKAN | <i>Ondokuz Mayıs Üniversitesi</i> |
| Doç. Dr. Harun ÖZER | <i>Ondokuz Mayıs Üniversitesi</i> |
| Doç. Dr. Fatma BERNA BENLİ | <i>Erciyes Üniversitesi</i> |
| Doç. Dr. Elif Feyza TOPDAŞ | <i>Atatürk Üniversitesi</i> |
| Doç. Dr. Cem GÜRLER | <i>Yalova Üniversitesi</i> |
| Dr. Öğr. Üyesi Ceren BAŞKAN | <i>Amasya Üniversitesi</i> |
| Dr. Öğr. Üyesi Filiz ERTEM KAYA | <i>Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi</i> |
| Dr. Öğr. Üyesi Numan Emre GÜMÜŞ | <i>Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi</i> |
| Dr. Öğr. Üyesi Seliha Seçil BAYRAM | <i>Karabük Üniversitesi</i> |
| Dr. Öğr. Üyesi Sevilay GÜL | <i>Namık Kemal Üniversitesi</i> |
| Dr. Öğr. Üyesi Yasin ALTIN | <i>Bursa Teknik Üniversitesi</i> |
| Dr. Öğr. Üyesi Yaşar SERT | <i>Karadeniz Teknik Üniversitesi</i> |
| Öğr. Gör. Dr. Olgun KÖKSAL | <i>Samsun Üniversitesi</i> |

- 01-08 Yeni Nesil Küresel Grafitli Dökme Demir Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi
Production of Solid Solution Strengthened Ferritic Spheroidal Graphite Cast Iron and Determination of its Mechanical Properties
Hüseyin Gümüş, Süleyman Başbuğ, Samet Tekelioğlu, Murat Dilmeç
- 09-23 The Antioxidant and Antimicrobial Activities of Some Rotten and Fresh Fruits, Vegetables Extracts
Bazı Çürük ve Taze Meyve, Sebze Ekstraktlarının Antioksidan ve Antimikrobiyal Aktiviteleri
Aliye Gediz Ertürk, Ömer Ertürk
- 24-37 Aktifleştirilmiş *Lactobacillus buchneri*'nin Yeniden Silolama Öncesi Mısır Silajına İlavesinin, Silajların Ham Besin Maddeleri İçeriği, *in Vitro* Sindirilebilirliği ve Aerobik Stabilitesi Üzerindeki Etkileri
Effects of Addition of Activated *Lactobacillus buchneri* to Corn Silage Before Re-Ensiling on Crude Nutrient Content, *In Vitro* Digestibility and Aerobic Stability of Silages
Kadir Erten, Fisun Koç
- 38-51 The Traveling Wave Solutions of Date–Jimbo–Kashiwara–Miwa Equation with Conformable Derivative Dependent on Time Parameter
Zaman Parametresine Bağlı Uyumlu Kesirli Mertebeden Date-Jimbo Kashiwara-Miwa Denkleminin İlerleyen Dalga Çözümleri
Tolga Aktürk, Aslı Alkan, Hasan Bulut, Nesrin Güllüoğlu
- 52-63 Bina İnşaatı Yapım Süreçlerinin Denetim ve Nitelik Yönünden Analizi, Deprem Bölgesi Örneği
Analysis of Building Construction Processes in Terms of Control and Quality, Example of Earthquake Zone
Arif Hikmet Çakoğlu
- 64-81 Yeraltı Sularının Ağır Metal ve Sulama Suyu Kalitesi Açısından Değerlendirilmesi ve Mekânsal Olarak Haritalandırılması: Nevşehir-Gülşehir İlçesi Örneği
Evaluation of Groundwater in terms of Heavy Metals and Irrigation Water Quality and Spatial Mapping: A Case Study from Gülşehir District in Nevşehir Province
Mualla Keten Gökkuş, Muhammed Cüneyt Bağdatlı, Halil İbrahim Oğuz
- 82-93 Katı ve Sıvı Solucan Gübre Uygulamalarının Marul (*Lactuca sativa L. var. crispa*) Bitkisinin Verimine Etkisi
The Effect of Solid And Liquid Worm Fertilizer Applications on Yield of Lettuce (*Lactuca sativa L. var. crispa*)
Tuğba Özbucak, Hülya Alan
- 94-105 Stereospecific Synthesis of cis/trans-dicarbamates
cis/trans-dikarbamatların Stereospesifik Sentezi
Latif Kelebekli

- 106-120 Türkiye’de Satışa Sunulan Elektrikli Araçların BWM ve LOPCOW Yöntemleriyle Ağırlıklandırılması ve Kriterlerin Sıralanması
Weighting and Ranking of Electric Vehicles’ Criteria On Sale in Turkey by BWM and LOPCOW Methods
Abdulkerim Güler
- 121-140 Değişik Oranlarda ve Farklı Katkı Materyalleri ile Hazırlanan Yetiştirme Ortamlarının Enoki (*Flammulina velutipes*) Mantarının Verim ve Kalitesine Etkisi
Effect of Substrates Prepared with Different Ratios and Supplement Materials on Yield and Quality of Enoki (*Flammulina velutipes*)
Ahmet Faruk Karasoy, Aysun Pekşen
- 141-153 Electrocatalytic Oxidation of Ethanol and Bioethanol Using Poly(thionine) Supported Platinum Nano/Micro Particles
Poli(tiyonin) Destekli Platin Nano/Mikro Partikülleri Kullanılarak Etanolün ve Biyoetanolün Elektrokatalitik Yükseltgenmesi
Nuriye Şahin, Mutlu Sönmez Çelebi
- 154-175 Some Applications on Spherical Indicatrices of the Helix Curve
Helis Eğrisinin Küresel Göstergeleri Üzerine Bazı Uygulamalar
Süleyman Şenyurt, Sümeyye Gür Mazlum
- 176-190 Evaluation of Tribological and Electrochemical Properties of Multiphase CoCuFeNiNb High Entropy Alloy
Çok Fazlı CoCuFeNiNb Yüksek Entropili Alaşımın Tribolojik ve Elektrokimyasal Özelliklerinin Değerlendirilmesi
Sefa Emre Sünbül, Kürşat İçin

Yeni Nesil Küresel Grafitli Dökme Demir Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Hüseyin Gümüş¹ , Süleyman Başbuğ¹ , Samet Tekelioğlu¹ , Murat Dilmeç² 

¹Mesa Makina, Konya

²Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya

Geliş Tarihi / Received Date: 09.12.2022

Kabul Tarihi / Accepted Date: 07.06.2024

Öz

Dünya’da ve Ülkemizde geniş bir üretim alt yapısına sahip olan döküm yöntemi avantajları ile gelişen teknolojik çağa ayak uydurmaktadır. Yüksek kaliteli gri dökme demirler, hafif mühendislik alaşımları gibi gelişen malzeme teknolojileri döküm ile imalat yönteminin gelişmesini hızlandırmıştır. Yeni nesil dökme demirler yüksek mukavemet dayanımı ve uzama kabiliyeti ile avantaj göstermektedir. Döküm malzemelerin en büyük dezavantajları arasında yer alan süneklik yeteneğinin artması sebebi ile raylı sistemler, savunma sanayi tarım, inşaat ve otomotiv başta olmak üzere yeni nesil dökme demir kullanımı artmıştır. Yapılan bu çalışmada, yeni nesil dökme demir olarak tanımlanan küresel grafitli EN 1563:2012’de yer alan kimyasal içerik ve mekanik özellikler referans alınarak üretim denemesi gerçekleştirilmiş, laboratuvar testleri ile malzemenin özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen bulguların EN 1563’de yapılan tanımlara göre geleneksel dökme demirlere (EN-GJS-500-7 ve EN-GJS-600-3) kıyasla daha gelişmiş özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: küresel grafitli dökme demir, malzeme bilimi ve mühendisliği, yeni nesil dökme demir

Production of Solid Solution Strengthened Ferritic Spheroidal Graphite Cast Iron and Determination of its Mechanical Properties

Abstract

The casting method, which has a wide production infrastructure in the world and in our country, keeps up with the developing technological age with its advantages. Developing material technologies such as high-quality gray cast irons and light engineering alloys have accelerated the development of casting and manufacturing method. Solid solution strengthened ferritic spheroidal graphite cast irons show advantages with their high strength resistance and elongation ability. Due to the increase in ductility, which is among the biggest disadvantages of cast materials, the use of solid strengthened ferritic spheroidal graphite cast iron has increased, especially in railway systems, defense industry, agriculture, construction and automotive. In this study, a production was carried out in accordance with the chemical content and mechanical properties in EN 1563:2012 with spheroidal graphite, which is defined as the solid solution strengthened ferritic spheroidal graphite cast iron, and the properties of the material were determined by laboratory tests. It was determined that the findings obtained had more advanced properties compared to conventional cast iron according to the definitions made in EN 1563.

Keywords: spheroidal graphite cast iron, material science and engineering, solid solution strengthened ferritic cast iron

Giriş

Köklü bir imalat yöntemi olan ve başta parça geometrisi olmak üzere avantajları ile sürekli gelişmekte olan döküm teknolojisi günümüzde yeni alaşımlar ve hafif malzemeler üzerine ivme kazanmış olsa da demir döküm alanında da gelişme kat etmektedir. Yüksek kaliteli dökme demirler, yeni nesil dökme demirler bu gelişmelere örnektir. 2012 yılında EN 1563'e giren yüksek silisli katı çözelti ile mukavemeti arttırılmış yeni nesil dökme demirlerin özellikleri ve üretim yöntemleri halen birçok firma ve eğitim kurumu tarafından bilinmemektedir (Standards Germany, 2012). 1990'ların başında İsveç Volvo, Scania ve İsveç Döküm enstitüsü tarafından bulunan ve geliştirilen katı çözelti ile güçlendirilmiş ferritik dökme demirler; 1998 yılında İsveç standardı SS 140725'te tanımlanmış, 2004 yılında ISO:1083:2004'de ek kısmında yer almıştır (Glavas vd., 2016; Larker, 2008; Okunnu, 2015; Olsson, 2011; Stets vd., 2014; Şirin vd., 2017; Torre vd., 2014).

Yeni nesil dökme demirler, malzemenin akma mukavemeti ve % uzama değerleri bakımından klasik dökme demirlere göre üstün özelliklere sahiptir (Glavas vd., 2016; Stets vd., 2014; Şirin vd., 2017; Torre vd., 2014). Bu netice ile raylı sistemler, enerji, savunma sanayi, otomotiv ve tarım sektöründe yüksek oranda tercih edilen sfero dökme demirlerin yerini ana sanayide yeni nesil küresel grafitli dökme demirler almaktadır.

Mesa Makina olarak 40 yılı aşkın süredir faaliyet göstermiş olduğumuz döküm sektöründe yenilikleri ve güncel teknolojileri takip etmektedir. 1984 yılında OEM parça üretimi yapmaya başlayan Mesa Makina yıllar içerisinde edindiği vizyon ile OEM parça imalatı ile üretim faaliyetlerine devam etmektedir. Bu sürecin çıktısı olarak müşteri talepleri ve sektördeki rekabet şartlarını sağlama zorunluluğu doğmuştur. Katma değerli üretim hedefiyle gelişen üretim ve laboratuvar alt yapısı ile beraber 2018 yılında kurulan Ar-Ge merkezi faaliyetleri ile sektördeki konumunu korumaktadır. Bu çalışma kapsamında, sektördeki gelişimler ve bu gelişimler neticesinde şekillenen müşteri taleplerini karşılamak amacıyla Mesa Makina'da yeni nesil küresel grafitli dökme demir deneme üretimleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma neticesinde yeni nesil dökme demir deneme üretimlerinin kimyasal ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

Materyal ve Yöntem

Yeni Nesil Küresel Grafitli Dökme Demir Üretimi

Mesa Makina mevcut üretimi ve müşteri talepleri göz önüne alınarak EN-GJS-500-14 ve EN-GJS-600-10 malzeme kalitesine sahip deneme üretimleri yapmıştır. Deneme üretimleri neticesinde mekanik ve kimyasal özelliklerin belirlenmesi için numunelerin üretilmesi hedeflenmiştir. Deneme üretimleri neticesinde kimyasal özelliklerin mekanik özellikler üzerinde etkisi belirlenerek deneme üretimleri yapılan malzeme kalitesinde üretim amaçlanmıştır. Üretimi hedeflenen yeni nesil küresel grafitli dökme demirler için EN 1563:2012'te belirtilen mekanik özellikler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. EN 1563'e göre Yeni Nesil Küresel Grafitli Dökme Demir Mekanik Özellikleri

| Malzeme | Min. Akma Dayanımı* MPa | Min. Çekme Dayanımı* MPa | Uzama % |
|----------------|----------------------------|-----------------------------|------------|
| EN-GJS-500-14C | 400 | 480 | 12 |
| EN-GSJ-600-10C | 450 | 580 | 8 |

* Et kalınlığı ≤ 30 mm için değerlerdir. İşlenmiş Malzemelerin mekanik özellikleri farklılık gösterebileceği belirtilmiştir.

EN1563:2012'de yeni nesil dökme demirler için referans kimyasal özellikleri Tablo 2'de verilmektedir. Ayrıca, paylaşılan kimyasal analizin beraberinde iki açıklamaya yer verilmiştir.

Tablo 2. EN 1563'e göre Yeni Nesil Küresel Grafitli Dökme Demirin Referans Kimyasal Özellikleri

| Malzeme | Si % Ort. * | P % Maks. | Mn % Maks. ** |
|---------------|-------------|-----------|---------------|
| EN-GJS-500-14 | 3,80 | 0,05 | 0,50 |
| EN-GJS-600-10 | 4,30 | 0,05 | 0,50 |

* Si içeriği diğer elementlerin alaşımına göre daha düşük olabilir.

** Daha düşük Mn içeriği (Örneğin 0,30) işlenebilirlik ve uzama karakteristiklerini iyileştirir.

EN1563:2012'de yeni nesil dökme demirler için yüzey sertlik değerleri Tablo 3'de görülmektedir. Standart içerisinde yer alan not da tablo içerisinde sunulmuştur. Yeni nesil küresel grafitli dökme demirlerin bir diğer özelliği olan homojen yüzey sertliği malzemenin avantajları arasında yer almaktadır.

Tablo 3. EN 1563'e göre Yeni Nesil Küresel Grafitli Dökme Demirin Yüzey Sertlikleri

| Malzeme | t ≤ 60 mm (HBW) | 60 mm <t ≤ 200 mm (HBW) |
|---------------|-----------------|-------------------------|
| EN-GJS-500-14 | 185- 215 | 170 – 200 |
| EN-GJS-600-10 | 200 – 230 | 190- 220 |

En düşük sertlik değeri ferritik matris yapıda ve düşük silis içeriğinde erişilebilir. Sertlik değeri perlit miktarı ya da silikon içeriğindeki artış ile artacağı belirtilmiştir.

Ötektik karbürler sertliği arttırır, ancak normalde istenmeler ve sadece düşük miktarlarda bulunmalarının olası olduğu belirtilmiştir.

EN1563:2012'de yeni nesil dökme demirler için mekanik özellikler belirtilmiştir. Belirtilen özellikler Tablo 4'de sunulmuştur.

Tablo 4. EN 1563'e göre Yeni Nesil Küresel Grafitli Dökme Demire Ait Özellikler

| Özellik | Birim | Malzeme | |
|------------------------------|--------------------|---------------|---------------|
| | | EN-GJS-500-14 | EN-GJS-600-10 |
| Elastisite Modülü | GN/m ² | 170 | 170 |
| Poisson Oranı | - | 0,28-0,29 | 0,28-0,29 |
| Yorulma Dayanımı*(Çentiksiz) | MPa | 225 | 275 |
| Yorulma Dayanımı* (Çentikli) | MPa | 140 | 165 |
| Kırılma Tokluğu | MPa√m | 72 | 65 |
| Yoğunluk | kg/dm ³ | 7,0 | 7,0 |
| Yapısal Matris | - | Ferritik | Ferritik |

* Yorulma dayanımının Wöhler'e göre test edildiği belirtilmiştir.

Yeni Nesil Küresel Grafitli Dökme Demirin Mekanik ve Kimyasal Özelliklerin Belirlenmesi

Yeni nesil küresel grafitli dökme demir deneme üretiminin sonunda, numunelere metalürji laboratuvarında muayeneler gerçekleştirilmiştir. Deneme üretim yapılan numunenin; spektral analiz, mikro yapı, çekme ve sertlik testleri gerçekleştirilmiştir. Mesa Makina laboratuvar alt yapısında bulunan ekipman, makine ve teçhizatlar ile gerçekleştirilen test sonuçları değerlendirilmiştir.

Malzeme cinsini ve kimyasal içeriğinin belirlenmesi için kullanılan yöntemler arasında yer alan spektral analiz, döküm sektörü başta olmak üzere metal ve metal türevi malzemelerin muayenelerinde kullanılmaktadır. Çalışma içerisinde kullanılan spektral analiz cihazı Mesa Makina metalürji laboratuvar altyapısında bulunan Paschen-Runge yerleşimine sahip, Optimize edilmiş piksel yüksek çözünürlüğü ile 130-780 nm dalga boyunda 350 mm odaklanma mesafesinde sonuç verebilen metalografik spektral analiz cihazıdır.

Malzemenin mekanik özellikleri arasında yer alan sertlik ölçümü çeşitli yöntemler ile yapılmakta ve nitel olarak ifade edilmektedir. Mesa Makina metalürjik laboratuvarında yer alan Brinell sertlik ölçme cihazı ±4 HRB hassasiyetle 66,8 – 945 HRB aralığında ölçüm yapabilmektedir.

Malzemenin özellikleri arasında yer alan ve dökme demirlerin sınıflandırılmasın da kullanılan mikro yapı, Mesa Makina laboratuvar alt yapısında bulunan Metalografik mikroskop cihazı ile incelenmiştir.

Malzemenin mekanik özellikleri arasında yer alan mukavemet verilerinin tespitinde kullanılan en yaygın yöntem çekme testidir. Çalışmada verilerin elde edildiği cihaz Mesa Makina laboratuvar alt yapısında bulunan hidrolik çekme test cihazıdır, cihaz TSE 138 EN ISO 100002-01'e uygun, 4 kolonlu,

600 mm çekme 400 mm basma kapasitesine sahip 1/300000 kuvvet ölçüm rezilasyonuna sahip, 0.01 kN hassasiyetle 0-200 kN ölçüm aralığına sahiptir.

Bulgular ve Tartışma

EN 1563:2012 standardı verilerine uygun yeni nesil küresel grafitli dökme demir deneme üretimi gerçekleştirilmiştir. İki farklı malzeme kalitesi elde edilmek üzere gerçekleştirilen deneme üretiminde belirlenen niteliklerde malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir.

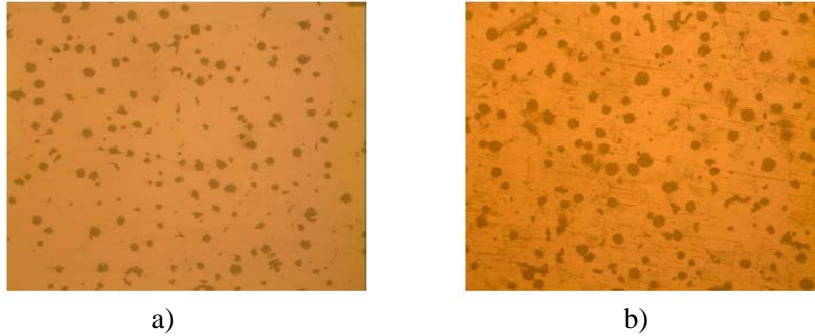
EN GJS 500-14 Bulguları

DIN EN 1563:2012-03 Standardının ekleri arasında yer alan EN-GJS-500-14 olarak tanımlanan malzemenin kimyasal kompozisyonu (bkz. Tablo 2) referans alınarak gerçekleştirilen deneme üretimi neticesinde alınan numune içeriğinde Tablo 5 içerisinde yer alan sonuç elde edilmiştir.

Tablo 5. EN-GJS-500-14 Üretimi Kimyasal Kompozisyonu

| EN-GJS-500-14 | DIN EN 1563:2012 | Mesa Makina |
|---------------|------------------|-------------|
| Si % | 3,80 | 3,79 |
| P % | 0,05 | 0,0254 |
| Mn % | 0,50 | 0,0302 |

DIN EN 1563:2021-13 Standardının ekleri arasında yeni nesil küresel grafitli dökme demir ile ilgili kısımda mikro yapı içeriğinde perlitik faz maksimum %5, sementit fazın %1'i aşmayacağı yer almaktadır. Üretim sonucu incelenen numunenin mikro yapı içerisinde %100 ferritik faz, 300 adet/mm² nodül sayısına ve EN ISO 941-1'de tanımlanan ana form V ve form VI'e uygun olması gerektiği belirtilen küre tipi form VI'e sahip olduğu gözlemlenmiştir. Numuneye ait mikro yapı görselleri Şekil 1'de yer almaktadır.



Şekil 1. EN-GJS-500-14 Üretimi Mikro Yapısı

DIN EN 1563:2012-03 Standardının ekleri arasında yer alan EN-GJS-500-14 olarak tanımlanan malzemenin yüzey sertlikleri (Tablo 3) gerçekleştirilen deneme üretim ile karşılaştırılmıştır, Karşılaştırmanın neticesi Tablo 6'da yer almaktadır.

Tablo 6. EN-GJS-500-14 Üretimi Yüzey Sertliği

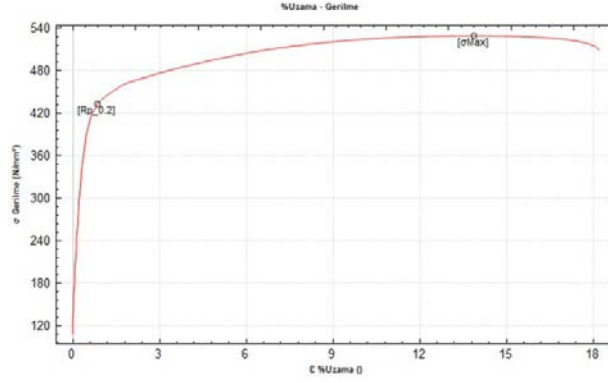
| EN-GJS-500-14 | DIN EN 1563:2012 | Mesa Makina |
|----------------|------------------|-------------|
| Sertlik Değeri | 185- 215 HBW | 204 HBW |

DIN EN 1563:2012-03 Standardının içeriğinde yer alan EN-GJS-500-14C olarak tanımlanan malzemenin mekanik özellikleri (Bkz. Tablo 1) gerçekleştirilen deneme üretim ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 7. EN-GJS-500-14 Üretimi Mekanik Özellikleri

| EN-GJS-500-14C | DIN EN 1563:2012 | Mesa Makina |
|----------------|------------------|-------------|
| Akma Dayanımı | 400 Mpa | 433,39 Mpa |
| Kopma Dayanımı | 480 Mpa | 529,83 Mpa |
| Uzama | 12 % | %18,2 |

Test sonucu Gerilme-Uzama grafiği Şekil 2’de sunulmaktadır.



Şekil 2. EN-GJS-500-14 Üretimi Gerilme - % Uzama Grafiği

EN GJS 600-10 Bulguları

DIN EN 1563:2012-03 Standardının ekleri arasında yer alan EN-GJS-600-10 olarak tanımlanan malzemenin kimyasal kompozisyonu (bkz. Tablo 2) referans alınarak gerçekleştirilen deneme üretimi neticesinde alınan numune içeriğinde Tablo 8’de yer verilmiştir.

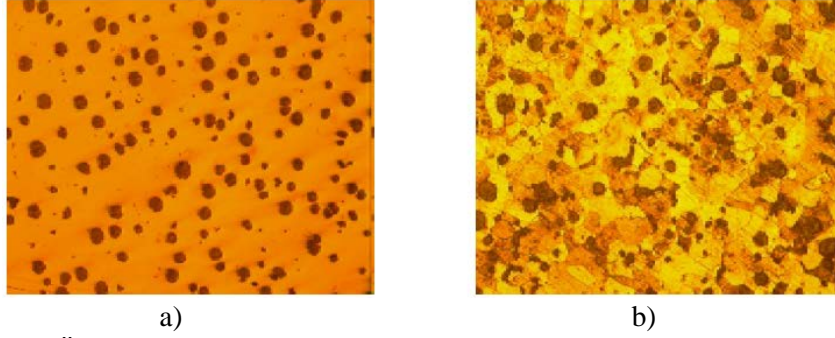
Tablo 8. EN-GJS-600-10 Üretimi Kimyasal Kompozisyonu

| EN-GJS-600-10 | DIN EN 1563:2012 | Yeni Geliştirilen (Mesa Makina) |
|---------------|------------------|---------------------------------|
| Si % | 4,30 | 3,92 |
| P % | 0,05 | 0,0239 |
| Mn % | 0,50 | 0,367 |

DIN EN 1563:2021-13 Standardının ekleri arasında yeni nesil küresel grafitli dökme demir ile ilgili kısımda mikro yapı içeriğinde perlitik faz maksimum %5, sementit fazın %1’i aşmayacağı yer almaktadır. Üretim sonucu incelenen numunenin mikro yapı içerisinde %100 ferritik faz, 300 adet/mm² nodül sayısına ve EN ISO 941-1’de tanımlanan ana form V ve form VI’e uygun olması gerektiği belirtilen küre tipi form VI’e sahip olduğu gözlemlenmiştir. Numuneye ait mikro yapı görselleri Şekil 3’te yer almaktadır.

Yeni nesil küresel grafitli dökme demirlerin standart özelliği, mikroyapılarında perlitik fazın max %5 oranında bulunmasıdır. Bunun nedeni temel olarak; silisyum elementinin ferritik matriks içerisine girmesiyle beraber, ferrit içerisindeki karbon çözünürlüğünü azaltması ve karbon atomlarının perlit (α -Fe₃C) oluşturmak yerine, grafit üzerine çökmesini veya grafit olarak oluşmasını sağlamasıdır. Bu nedenle bu dökme demirlerde aşılama da büyük önem arz eder. Etkif bir aşılama yapmak şarttır.

Klasik küresel dökme demirlerde sertlik ve mukavemet artışı perlit yapıcı elementlerle (Cu,Sn,Cr, Mo, Mn vd.) sağlanırken, yeni nesil küresel dökme demirlerde sertlik ve mukavemet artışı silisyum elementi artışıyla sağlanır. Silisyum elementinin atom çapı, demir elementinden küçüktür ve bu ferrit matris içinde kristal büzülmeye neden olur.



Şekil 3. EN-GJS-600-10 Üretimi Mikroyapısı

DIN EN 1563:2012-03 Standardının ekleri arasında yer alan EN-GJS-600-10 olarak tanımlanan malzemenin yüzey sertlikleri (Bkz. Tablo 3) gerçekleştirilen deneme üretim ile karşılaştırılmıştır, karşılaştırmanın neticesi Tablo 9'da yer almaktadır (Standards Germany, 2012).

Tablo 9. EN-GJS-600-10 Üretimi Yüzey Sertliği

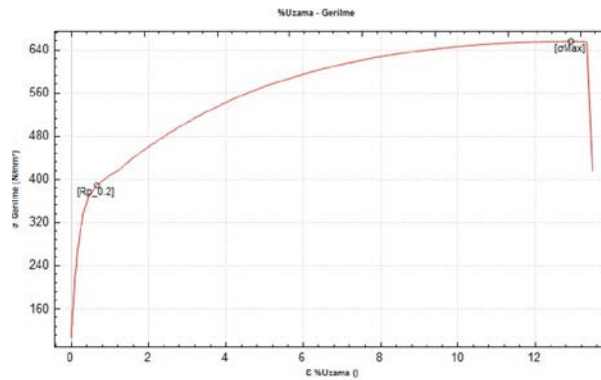
| EN-GJS-600-10 | DIN EN 1563:2012 | Yeni Geliştirilen (Mesa Makina) |
|----------------|------------------|---------------------------------|
| Sertlik Değeri | 200 – 230 | 211 HBW |

DIN EN 1563:2012-03 Standardının içeriğinde yer alan EN-GJS-600-10C olarak tanımlanan malzemenin mekanik özellikleri (Bkz. Tablo 1) gerçekleştirilen deneme üretim ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma Tablo 10'da yer almaktadır (Standards Germany, 2012).

Tablo 10. EN-GJS-600-10 Üretimi Mekanik Özellikleri

| EN-GJS-600-10C | DIN EN 1563:2012 | Yeni Geliştirilen (Mesa Makina) |
|----------------|------------------|---------------------------------|
| Akma Dayanımı | 450 Mpa | 401,24 Mpa |
| Kopma Dayanımı | 580 Mpa | 659,22 Mpa |
| Uzama | 8 % | %11,1 |

Test sonucu gerilme-birim şekil değiştirme grafiği Şekil 4'te sunulmaktadır.



Şekil 4. EN-GJS-600-10 Üretimi Gerilme-Uzama Grafiği

Elde edilen sonuçlar neticesinde; EN-GJS-600-10C deneme üretiminin akma dayanımını EN 1563:2012 standardında yer alan değerinin altında kaldığı gözlemlenmiştir (Standards Germany, 2012). Malzeme mekanik özellik olarak akma dayanımının altında kalırken, kopma dayanımının %13,5 üzerinde olduğu görülmüştür. Akma dayanımı ile kopma dayanımı arasında oluşan plastik bölgenin plastik şekillendirme prosesi için avantaj sağlayacağı bilinmektedir. Plastik deformasyon aralığı geniş olarak elde edilen sonuç, plastik şekil verme yöntemine elverişli olarak nitelendirilebilir. Basınçlı kap, muhafaza gibi kopma dayanımının yüksek olmasının talep edildiği kullanım alanlarında emniyet parçası olarak kullanım alternatifini oluşturmaktadır.

Sonuç ve Öneriler

Üretim yöntemleri arasında geometri ve seri üretim maliyetlerinde sağladığı avantaj ile ön plana çıkan döküm yöntemi malzeme ve metalürji alanında tasarım ve uygulamalarda avantaj sahibidir. Mekanik olarak mukavemet dayanımı, süneklik, sertlik gibi özelliklerinin yanı sıra alaşımlar ile hafif, sünek ve kimyasal aşınma direnci yüksek malzeme kompozisyonları ile üretime imkân sağlamaktadır (Özüsta, 2021). Bu çalışmada ele alınan yeni nesil küresel grafitli dökme demirler EN GJS 500-7 ve EN GJS 600-3 olarak adlandırılan dökme demirlere göre akma dayanımı ve süneklik konusunda avantajlı konumdadır. Sertlik ve sertliğin yüzeyde homojen dağılımı, yeni nesil dökme demirlerin literatürde yer alan avantajlarından. Çalışma neticesinde üretimi gerçekleştirilen EN 1563: 2012 standardına yer alan EN GJS 500-14 ve EN GJS 600-10 tanımlarına uygun olarak gerçekleştirilen malzemelerin mekanik özellikleri belirlenmiş, çalışmanın standartta yer alan tanım ve özellikler referans alındığında yeni nesil dökme demir tanımına paralel iyileştirme elde edildiği gözlemlenmiştir (Standards Germany, 2012).

Çalışma neticesinde elde edilen sonuç ile raylı sistem teknolojileri, savunma sanayi, tarım makineleri, ağır vasıta araçlar ve iş makinelerinin özellikle taşıyıcı sistemlerinde kullanımı artmakta olan ve mevcut kullanımda optimizasyonlar ile malzeme değişikliği yapılan parçaların Mesa Makina üretim kapasite ve yetkinliklerinde üretilebileceği anlaşılmıştır. Malzeme kompozisyonunda yer alan değişiklik ve Si elementinin yüksek oranda kullanılması sebebiyle üretim esnasında yaşanacak olumsuzluklar önleyici faaliyet olarak FMEA (Olası Hata Türleri ve Etkileri Analizi) uygulamaları ile ele alınmalıdır. Si elementinin parça geometrisi üzerine homojen malzeme dağılımı ve olası döküm hatalarına sebebiyet vereceği literatürde yer alan başlıca riskler olarak yer almaktadır.

Elde edilen sonuç neticesinde, üretim ve tasarım aşamasında tercih edilen, tasarım iyileştirmeler ile malzeme optimizasyonu ile malzeme değişikliği ile tercih edilen yeni nesil küresel grafitli dökme demir kullanımı için özellikle raylı sistemlerin aktarma sistemleri, savunma sanayi sistemleri, yenilenebilir enerji sistemi güç aktarma bileşenleri, tarım makinelerinin taşıyıcı sistemleri, iş makinelerinin taşıyıcı sistemleri, otomotiv süspansiyon sistemleri ve ticari araç süspansiyon sistemleri bileşenleri üzerinden iyileştirmeler yapılabilir. Elde edilen sonuç neticesinde literatürde yer alan riskler öngörülerek optimum şartlarda üretim ile katma değer sağlanabilir. Döküm konusunda oldukça önemli seviyede üretim kapasitesine sahip olan ülkemiz ekonomisi için katma değerli üretim yapılabilir.

Yazar Katkısı

Hüseyin Gümüş deneylerin gerçekleştirilmesinde, *Süleyman Başbuğ* deney numunelerin hazırlanması ve içyapı incelemelerinde, *Samet Tekelioğlu* deneysel yöntemin oluşturulması ve sonuçların yorumlanması ve *Murat Dilmeç* deney sonuçlarının elde edilmesi ve yorumlanmasında görev almıştır. Yazarlar makaleyi birlikte yazdı, okudu ve onayladı.

Etik

Bu makalenin yayınlanmasıyla ilgili herhangi bir etik sorun bulunmamaktadır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını belirtmektedir.

ORCID

Hüseyin Gümüş  <https://orcid.org/0000-0002-1752-0358>

Süleyman Başbuğ  <https://orcid.org/0000-0002-6190-8288>

Samet Tekelioğlu  <https://orcid.org/0000-0002-1432-5557>

Murat Dilmeç  <https://orcid.org/0000-0002-5345-9822>

Kaynaklar

- Glavas, Z., Strkalj, A. ve Stojakovic, A. (2016). The properties of silicon alloyed ferritic ductile irons. *Metalurgija*, 55(3), 293–296. <https://hrcak.srce.hr/153603>
- Larker, R. (2008). *Solution strength ferritic ductile iron ISO 1083/JS/500-10 offer superior and consistent properties in hydraulic rotators* [Sözlü sunum]. Keith Millis Symposium on Ductile Cast Iron, İsveç.
- Okunnu, R. (2015). *High strength solution-strengthened ferritic ductile cast iron* [Yüksek lisans tezi]. Aalto University School of Engineering, Finlandiya.
- Olsson, A. (2011). *Fatigue strength of truck components in cast iron* [Yüksek lisans tezi]. Chalmers University of Technology, Göteborg.
- Özüsta B., (2021). *Katı çözeltiyle güçlendirilmiş ferritik küresel dökme demirlerde aşınma davranışına etkisi* [Yüksek lisans tezi]. Bayburt üniversitesi, Türkiye.
- Standards Germany (2012). Founding – Spheroidal Graphite Cast Irons. DIN: EN: 1563:2012-03. Berlin, Germany.
- Stets, W., Löblich, H., Gassner, G. ve Schumacher, P. (2014). Solution strengthened ferritic ductile cast iron properties, production and application. *International Journal of Metalcasting*, 8(2), 35-40. <https://doi.org/10.1007/BF03355580>
- Şirin, B., Erkan, B., Başkaya, U., Sekmen, E. ve Bitişyılmaz H. (2017). *Yeni nesil ferritik sfero dökme demirlerin binek, ticari ve ağır iş makineleri döküm parçalarında kullanımları ve mekanik özelliklerinin klasik dökme demirler ile karşılaştırılması* [Sözlü sunum]. Tüdöksad Akademi 9. Döküm Kongresi. Eskişehir, Türkiye.
- Torre, U. D., Loizaga, A., Lacaze, J. ve Sertucha, J. (2014). As cast high silicon ductile irons with optimised mechanical properties and remarkable fatigue properties. *Materials Science and Technology*, 30(12), 1425–1431. <https://doi.org/10.1179/1743284713Y.0000000483>

The Antioxidant and Antimicrobial Activities of Some Rotten and Fresh Fruits, Vegetables Extracts

Aliye Gediz Ertürk¹ , Ömer Ertürk² 

¹Ordu University, Faculty of Arts and Science, Department of Chemistry, Ordu

²Ordu University, Faculty of Arts and Science, Department of Molecular Biology and Genetics, Ordu

Geliş Tarihi / Received Date: 28.03.2023

Kabul Tarihi / Accepted Date: 25.09.2023

Abstract

This study evaluated the antimicrobial and antioxidant activities of some fresh fruits and vegetables and their rotten forms. Among the fresh and rotten materials examined, there were *Citrus paradise*, *Citrus sinensis*, *Punica granatum*, *Cydonia oblonga*, *Malus domestica*, *Citrus limon*, *Pyrus anatolica*, *Persea americana*, *Capsicum annuum var.*, *Actinidia deliciosa*, *Beta vulgaris L.* It was already known that fresh fruits, vegetables have potential microbicidal activities. But how the rottens would behave is unknown. Antimicrobial activities of fresh and rotten samples were examined on selected bacterial (*Bacillus subtilis*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Citrobacter freundii*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*) and fungal strains (*Candida albicans* and *Saccharomyces cerevisiae*) by diffusion test, which was confirmed by the inhibition zone and advanced numerical tools. While rotten and fresh pomegranate (24.25±0.09 and 12.87±0.11 mm) showed tremendous activity against *S. aureus* by standards (Ampicillin: 11.76±0.54 and Cephazolin: 6.00±0.00 mm); against *C. albicans*, rotten avocado (24.12±0.42 mm) showed satisfactory potency compared to Nystatin (17.89±0.54 mm). Antioxidant activity was screened by DPPH free radical scavenging, ferrous ion chelation, total phenolic content, and total flavonoid content determination methods. While rotten beetroot has the richest total phenolic content with 316.21 ± 9.89 mg GAE/g extract; rotten grapefruit showed the highest total flavonoid content with 118.57±2.58 mg QE/g extract. Research on vegetables and fruits; reveals that not only as food but also as decay forms can be recommended for future therapeutic purposes as pharmacologically active antimicrobial and antioxidant agents.

Keywords: antimicrobial activity, antioxidant activity, rotten fruit, rotten vegetables

Bazı Çürük ve Taze Meyve, Sebze Ekstraktlarının Antioksidan ve Antimikrobiyal Aktiviteleri

Öz

Bu çalışmada bazı taze meyve ve sebzeler ile onların çürük formlarının antimikrobiyal ve antioksidan aktiviteleri değerlendirilmiştir. İncelenen taze ve çürük materyaller arasında *Citrus paradise*, *Citrus sinensis*, *Punica granatum*, *Cydonia oblonga*, *Malus domestica*, *Citrus limon*, *Pyrus anatolica var.*, *Persea americana*, *Capsicum annuum var.*, *Actinidia deliciosa*, *Beta vulgaris L.* yer almaktadır. Taze haldeki meyvelerin ve sebzelerin, potansiyel mikrop öldürücü aktivitelere sahip oldukları zaten biliniyordu. Ancak çürük hallerinin nasıl davranacağı bilinmiyordu. Taze ve çürük numunelerin in vitro antimikrobiyal aktiviteleri seçilmiş bakteri (*Bacillus subtilis*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Citrobacter freundii*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*) ve mantar suşları (*Candida albicans* ve *Saccharomyces cerevisiae*) üzerinden inhibisyon bölgesine göre ve gelişmiş sayısal araçlarla doğrulanmış difüzyon testi ile incelendi. Çürük ve taze nar (24.25±0.09 ve 12.87±0.11 mm) standartlara göre (Ampisilin: 11.76±0.54 ve Cephazolin: 6.00±0.00 mm) *S. aeurus'a* karşı muazzam aktivite gösterirken; *C. albicans'a* karşı, çürük avokado (24.12±0.42 mm), Nystatin'e (17.89±0.54 mm) kıyasla tatmin edici bir etki göstermiştir. Antioksidan aktivite ise, DPPH serbest radikal yakalama, demir iyonu şelasyonu, toplam fenolik içerik ve toplam flavonoid içeriği belirleme yöntemleri ile tarandı. 316.21±9.89 mg GAE/g ekstre ile çürük pancar en zengin toplam fenolik madde içeriğine sahipken; çürük greyfurt 118.5±72.58 mg QE/g ekstrakt ile en yüksek toplam flavonoid içeriğini göstermiştir. Sebze ve meyveler üzerine araştırmalar; farmakolojik olarak aktif antimikrobiyal ve antioksidan ajanlar olarak sadece gıda olarak değil, aynı zamanda çürümüş formların da gelecekteki terapötik amaçlar için önerilebileceğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: antimikrobiyal aktivite, antioksidan aktivite, çürük meyve, çürük sebze

Introduction

Fruits and vegetables are the sweet and fleshy products of a tree or other plant that contain seeds and can be eaten as food. Nutritionally, fruits and vegetables are energy-dense foods, including vitamins, minerals, fiber, and other bioactive compounds (Amao, 2018).

Vegetables provide a crucial source of nutraceuticals for well-stabilized human regimens. Nutraceuticals are substances identified as beneficial to the human body in preventing or ameliorating one or more ailments, found as natural supplements to foods or other digestible forms. At the same time, on the other side of the nutrition effects, they improve physiological performance appropriately either for improved health and well-being or to reduce the risk of disease. These components can be beneficial antioxidants, natural colorants (carotenoids), minerals, and vitamins, which often have additional advantages (Bellary et al., 2011). While the nutritional and medical communities have long recognized the nutritional importance of vegetables, there is a growing awareness among the public of the health benefits of vegetable-heavy diets.

Fruits have plenty of water content and low levels of protein and fat. Accordingly, introducing them into the daily diet is recommended for managing certain medical conditions. The fiber in fruits, such as pectin, is extensively leavened in the upper intestine. Fruits are also recommended as a source of vitamin C and potassium. In addition, other compounds, especially phytochemicals containing polyphenols, phytoestrogens, and antioxidants associated with dietary fibers, also have some preventive functions. They could even play a role in satiety.

Different components owning activities such as antimicrobial, antioxidant, antiproliferative, and anti-inflammatory have been isolated from various fruit and vegetable peels. Some bioactive compounds derived from fruit peels include coumarin, quinone, phenolic glycosides, sesquiterpenes, alkaloids, flavones, flavanone, tannins, lignans, triterpenoids, steroids, and peptides (Hussain et al., 2022). For example, coumarin in *Citrus reticulata* peels has cytotoxic activity (Prasad et al., 2010), Sesquiterpenes in *Elaeagnus rhamnoides* peels have antiviral effect (Redei et al., 2019), alkaloid in *Punica granatum* plant has anti-inflammatory effect (Sun et al., 2019), flavones in *Citrus* peels have antioxidant effect (Nguyen et al., 2017), triterpenoids in *Lansium domesticum* plant have antimicrobial effect (Ragasa et al., 2006) has been suggested to have. Although the dangerous effects of some synthetic antioxidants have been identified, multiple studies in this area continue, especially since natural antioxidant components in daily foods show health-promoting results (Acuna et al., 2002).

Today, rotten plants are chiefly used in the production of biofuels (Naik et al., 2010), biofertilizers (Lu et al., 2020), and making vinegar (Samad et al., 2016). The using rotten fruits and vegetables as biological control tools has attracted attention to protect agricultural plants for food against diseases caused by bacteria and fungi. A study conducted for this purpose reported that *Pseudomonas fluorescens*, a gram-negative bacterium produced from okra, inhibited the development of some fungi that prevent the growth of plants (Sharma et al., 2020). This environmentally friendly and alternative technique can be used as a technology that can extend the shelf life of foods in the marketing and production phases (Rahmawati et al., 2017).

The purpose of this research; was to compare the antioxidant and antimicrobial activities of eleven fresh fruits and vegetables consumed in Turkey and their rotten forms, and then make a preliminary screening to identify candidates among these products that can take on the role of forward-looking biocontrol agents.

Materials and Methods

Chemicals

Gallic acid, quercetin, butylated hydroxytoluene (BHT), butylated hydroxyanisole (BHA), 3-(2-pyridyl)-5,6-bis(4-phenyl-sulphonic acid)-1,2,4-triazine (ferrozine), 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), FeCl₂

were supplied by Sigma–Aldrich (St Louis, MO, USA). Folin–Ciocalteu reagent, methanol and ethanol reagent grade, ethylenediaminetetraacetic acid disodium salt (EDTA), sodium nitrite (NaNO_2), aluminum chloride (AlCl_3), sodium carbonate (Na_2CO_3) and NaOH were purchased from Merck (Darmstadt, Germany).

Plant Materials

Eleven varied fruits and vegetables were bought from a well-known supermarket in Ordu, Turkey between January and May 2021. The samples were identified and confirmed using Flora of Turkey (Davis, 1988). The scientific names of the tested fruits and vegetables were detailed in Table 1. Decayed samples were obtained by keeping them in sterilized containers in their juices at 25 °C for five weeks, while fresh samples were stored at - 20°C.

Preparation of Extracts

The fresh and rotten fruits and vegetables samples were washed with bi-distilled water and chopped with a blender (Fakir Hausgerate Prointermix Blender, Stuttgart, Germany) into small parts. Then, 20 grams of fresh and rotten samples (leaves, fruits, seeds, and roots) were weighed in discrete beakers, put in 100 mL ethanol, properly sealed with aluminum foil, and then kept at room temperature for 24 hours. These mixtures were filtered through 0.45 μm of a membrane filter. The acquired filtrates were evaporated by using a rotary evaporator (Heidolph Hei-VAP Advantage, Schwabach, Germany) at 40 °C until exactly solid residue remained. The resulting extracts were stored at 4 °C. The stock solutions were prepared at a concentration of 1g/mL in ethanol using the obtained extracts and these solutions were used in antioxidant and antimicrobial activity analyses (Warda et al., 2007).

Antimicrobial Activity

The antimicrobial activities of samples were studied using eight bacteria (four gram-positive: *B. cereus* ATCC®10876, *B. subtilis* B209, *L. monocytogenes* ATCC®7677, *S. aureus* ATCC6538; four gram-negative: *C. freundii* ATCC®43864, *E. coli*, ATCC®25922, *K. pneumoniae* ATCC®13883, *P. aeruginosa* ATCC®27853), a fungus (*C. albicans* ATCC®10231), and yeast (*S. cerevisiae* ATCC976). Mueller Hinton Agar (MHA, Merck), Mueller Hinton Broth (MHB, Merck), Sabouraud Dextrose Broth (SDB, Difco), and Sabouraud Dextrose Agar (SDA, Oxoid) were used for growing bacterial, yeast or fungal cells, respectively.

Antimicrobial potency was considered according to Ronald's method (1990) using a disc diffusion assay. As positive controls, amoxicillin, cephazolin (Sigma-Aldrich, St. Louis, USA) for bacteria, and nystatin (Sigma-Aldrich, St. Louis, USA) for fungus were used. Alcohol was also used as a negative control. The consisted inhibition zones on the medium were measured millimeters (mm) after incubation for 24 h at 37 °C and 27 °C for antibacterial and antifungal activities, respectively. All tests were done in triplicate.

Antioxidant Activity

DPPH Free Radical Scavenging Activity

The DPPH radical scavenging activity of all extracts obtained by maceration of the fruits chosen for the study was determined according to the methodology described by Brand-Williams (1995). 0.25 mM of DPPH no longer exhibited a violet color after interaction with the samples. Then the changes in absorbance were measured by Epoch 2 Microplate Spectrophotometer (BioTek, Winooski, USA) at 517 nm. The control was prepared without any samples. The activities to scavenge DPPH radical inhibition of sample extracts (1 mg/mL) were calculated using Equation (1):

$$\text{DPPH Radical Scavenging Activity (\%)} = \left[\frac{A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}}{A_{\text{control}}} \right] \times 100 \quad (1)$$

$A_{control}$ and A_{sample} in the equation are the absorbance values of the control and sample at 517 nm, respectively.

Ferrous Ion Chelating Activity

The chelating activity of the solutions from ethanolic plant extracts on the ferrous ions (Fe^{2+}) was interpreted by the method of Decker and Welch (1990) using BHT, and EDTA as standards. The capability of the ethanolic fruit extracts to chelate ferrous ions racing with ferrozine was examined. Finally, the absorbance was measured at 562 nm by spectrophotometer against the blank prepared from $FeCl_2$ with water. The activities to chelate the Ferrous ion of sample extracts (1 mg/mL) were calculated using Equation (2):

$$\text{Ferrous ion Chelating Activity (\%)} = \left[\frac{A_{control} - A_{sample}}{A_{control}} \right] \times 100 \quad (2)$$

$A_{control}$ and A_{sample} in the equation are the absorbance values of the control and sample at 562 nm, respectively.

Phytochemical Analyses

Total Phenolic Content (TPC)

The amount of TPC in the extracts was designated using Folin–Ciocalteu’s reagent concerning the method defined by Singleton and Slinkard (1977). The absorbance of the blue color resultant solution was read against the blank at 760 nm using a spectrophotometer. The total phenolic content values of the studied samples were expressed as mg gallic acid equivalents (GAE) per g of extract (Figure 1).

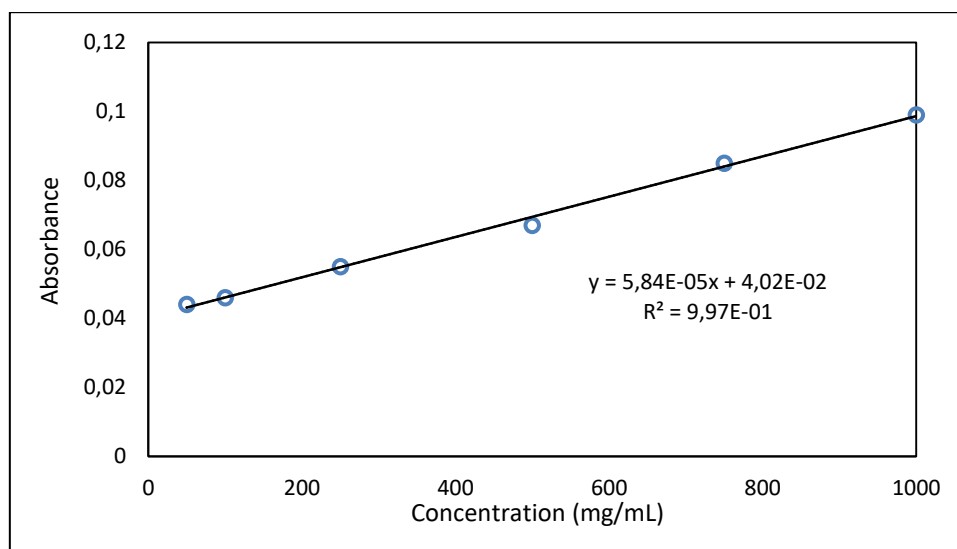


Figure 1. The Calibration Urve of Gallic Acid for Total Phenolic Content

Total Flavonoid Content (TFC)

The amount of TFC in the extracts was specified by the method of Park et al. (2008). Quercetin was used as the standard, and the determination of TFC was verified by comparing it to the calibration curve of quercetin. 1 mg/mL of the extracts was used. The blank was performed using solution-excluded plant extract. The absorbance of the sample was measured against the reagent blank at 510 nm with a spectrophotometer and compared to the quercetin calibration curve. The total flavonoids of the studied fruit extracts were described as mg quercetin per gram of extract (mg/g) (Figure 2).

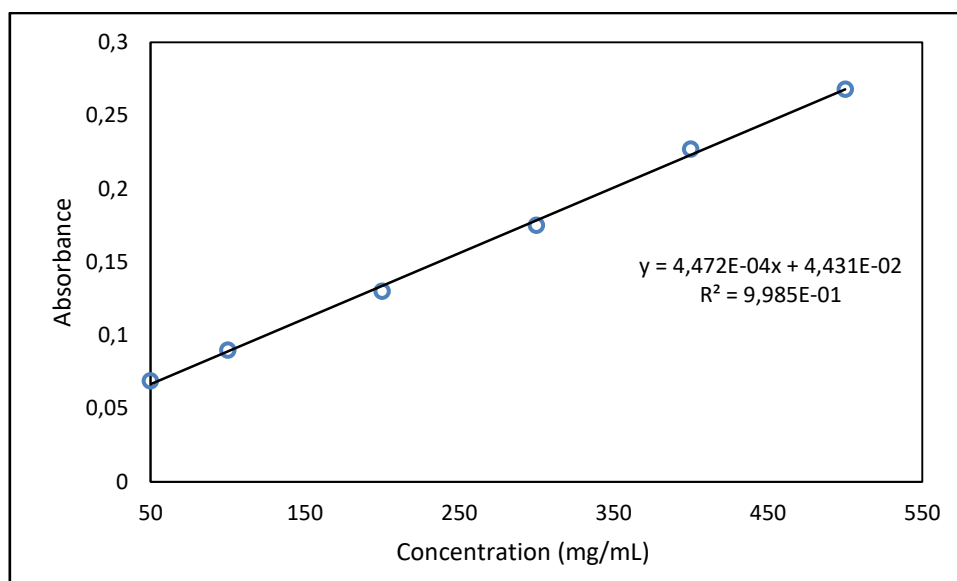


Figure 2. The Calibration Curve of Quercetin for Total Flavonoid Content

Results and Discussion

Antimicrobial Activity

In literature, little attention has been paid to the medicinal value of rotten fruits and vegetables compared to fresh fruits and vegetables. When the literature is examined, the only thing you can see about the medicinal values of rotten fruits and vegetables is the therapeutic effects of vinegar made from them. The potential of vinegar, which has been used to destroy infections since ancient times, has been reported today to improve obesity, diabetes, cardiovascular diseases, cancer, and microbial infections (Samad et al., 2016). We tried to do preliminary research to draw attention to this resource, which was left in the background and not studied, and to create a beginning of the literature that can be evaluated in different areas of use. For this reason, it is planned to examine this resource, whose effectiveness has not been evaluated so far in the current study. The antimicrobial effects of twenty-two ethanolic extracts from different samples of decayed and fresh fruits and vegetables were researched in vitro against eight human pathogenic bacteria, one fungus, and one yeast. Diffusion disc plates in the agar method are widely utilized to examine the antimicrobial effects of fruit and vegetable extracts.

The pictured outcomes in Table 1 are that some extracts of rotten fruit and vegetables, those of *C. limon* (Lemon), *P. americana* (avocado), *C. annuum var.* (red pepper chili), *A. deliciosa* (kiwi), and *B. vulgaris L.* (beet) proved to have plenty of elevated antibacterial and antifungal effects against tested all the strains in this study. Besides, the extracts of decayed fruit *P. americana* (avocado), *C. annuum var.* (red pepper- chili), and *A. deliciosa* (kiwi) showed especially yet crucial antifungal and anti-yeast activity against both *S. cerevisiae* and *C. albicans*. Moreover, these samples demonstrated great antimicrobial potential against the bacteria examined. While fresh fruits and vegetables showed weak antimicrobial activity, all rotten fruits and vegetables used in the work showed highly significant antimicrobial activities.

The maximum antimicrobial effect among twenty-two samples was observed in avocado, kiwi, red pepper-chili, and beet from all samples. Among the eleven ethanolic extracts from screened rotten samples, the largest inhibitory zones were with avocado (17-24 mm in line 16), lemon (13-20 mm in line 12), kiwi (18-28 mm in line 20), and beet (17-21 mm in line 22) and these outcomes were monitored against the following bacterial strains: *B. cereus* (+), *B. subtilis* (+), *C. freundii* (-), *L. monocytogenes* (+), *K. pneumonia* (-), *P. aeruginosa* (-), *E. coli* (-), and *S. cerevisiae*, and *C. albicans*.

Amongst the eleven ethanolic extracts from screened fresh samples, the largest inhibitory zones were belong to pomegranate (12, 15 mm in line 5), lemon (15-19 mm in line 11), avocado (10-16 in line 15) and these results were determined against the following bacterial strains *L. monocytogenes* (+), *B. cereus* (+), *B. subtilis* (+), *K. pneumoniae* (-), *P. aeruginosa* (-), *S. aureus* (-), *S. cerevisiae*, and *C. albicans*.

The rotted and fresh fruit and vegetable extracts were more effective on Gram-negative bacteria than Gram-positive ones (Table 1). *S. aureus*, *K. pneumoniae*, and *P. aeruginosa* were the most sensitive organisms against all fruit and vegetable extracts for Gram-negative bacteria, while *B. subtilis* and *L. monocytogenes* were the most sensitive among Gram-positive bacteria and for *C. albicans*.

The antimicrobial effects of various extracts obtained from the peels of pomegranate fruit against some foodborne pathogens by both in vitro agar diffusion and in situ methods are admirable. It was established that the 80% methanolic extract of pomegranate peels was a strong stopper for *E. coli*, *L. monocytogenes*, *S. aureus*, and *Y. enterocolitica* (Al-Zoreky, 2009).

The oils of citrus lemon peel demonstrate powerful antimicrobial efficiency. Antimicrobial activity has been also examined in terms of minimum prohibitory concentration by using different solvents (methanol, ethanol, and acetone) against microorganisms such as *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhimurium*, and *Micrococcus aureus* (Dhanavade et al., 2011). In the present study, alcohol extracts of both decayed and fresh samples showed very high antimicrobial potency against all microorganisms. It has already been recently recognized that many fresh fruits and vegetables have antimicrobial potential against different pathogenic and spoilage microbes. Fruits and vegetables often contain phenolics and organic acids, which are considered to cause antimicrobial activity (Adamczak et al., 2020; Akbulut & Akbulut, 2023; Zhang et al., 2020). For example, both antioxidant activities and antimicrobial potentials of 48 ethanolic extracts obtained from various fruit and vegetable samples were investigated in vitro against ten human pathogenic bacteria and fungi, and very satisfactory results were obtained (Erturk et al., 2018).

It is known that many plants are natural and inexpensive sources of polyphenols that both support nutrition and are crucial for human health (Acuna et al., 2002). In parallel, in the last decade, it has been discovered that quince fruit (*Cydonia oblonga* Miller, *Rosaceae* family) is a significant source of polyphenolic antioxidants (Silva et al., 2005). However, there is no data on the antimicrobial effects of quince fruit extracts whose polyphenolic activity was investigated. While confirming the abundant polyphenolic content of quince, the current study focused on investigating the antimicrobial effects of the extracts on diverse strains of microorganisms. Quince peel extract was the best actor in inhibiting bacterial growth, with minimal restriction and bactericidal concentrations ranging from 10^2 – $10^5 \times 10^3 \mu\text{g}$ polyphenol/mL. It is seen that the chlorogenic acid in the structure creates synergy with the other components in the extracts and increases the total antimicrobial activity (Fattouch et al., 2007). Especially the ethanolic extract of quince, which was left to rot, showed a very high level of antimicrobial activity.

Also, in a study with green kiwi, a cysteine protease inhibitor derived from kiwifruit showed in vitro antibacterial effects against phytopathogenic *Agrobacterium tumefaciens* and *Burkholderia cepacian* (Popovic et al., 2013). It is historically already known that citrus extracts are effective against pathogenic bacteria living in the digestive tract. 25% concentrated lemon juice was found to be active against enteric pathogens *Shigella sonnei*, *S. paratyphi*, and *E. coli* (Bansode & Chavan, 2012). The same antibacterial effects of natural extracts from the lemon peel (Dhanavade et al., 2011), sweet orange leaf (Ekwenye & Edeha, 2010), lemon fruit, tangerine, and Citrus against *E. coli* (Nannapaneni et al., 2008) were determined.

In this sense, avocado is also (*Persea Americana* Mill. (*Lauraceae*)) a precious fruit. It is a native species of tropical America and is generally cultivated for the meat of its fruit in many developing countries (Chanderbali et al., 2008). Extracts from the epicarp of the raw avocado fruit were found to

have both antifungal and antibacterial properties. At the same time, unrefined fruit seeds were also shown to have antibacterial properties. A previous study determined that the antifungal properties of unripe avocados originate from the idioblast fat cells composed of alkaloids, sesquiterpene hydroperoxide, and other terpenes (Platt & Thomson, 1992). Chia and Dykes (2010) reported that ethanolic avocado extracts showed antimicrobial potential (104.2–416.7 µg/mL) against both Gram-negative (except *E. coli*) and Gram-positive bacteria, while water extracts had activity against only *L. monocytogenes* (93.8–375.0 µg/mL) and *Staphylococcus epidermidis* (354.2 µg/mL) bacteria. In the antifungal activity part of the same research was found that the minimum inhibition concentration of *Zygosaccharomyces bailii* was 500 µg/mL for ethanol extracts, while no inhibition was observed for water extracts. In addition, neither ethanol nor water extracts were shown inhibition against *Aspergillus flavus* and *Penicillium spp.*

Antioxidant Activity

Four assays were used to screen for in vitro antioxidant activities of rotten fruits and vegetables. Of these, tests based on the quenching of free radicals are crucial. Because it is known that free radicals play an essential role in many diseases. Antioxidants struggle against free radicals and preserve us from different diseases. Antioxidants apply their effects either by scavenging reactive oxygen species or by protecting antioxidant defense mechanisms (Umamaheswari & Chatterjee, 2008). The method of scavenging 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazil radical (DPPH) is based on the measurement of the electron-donating ability of natural products (Nunes et al., 2012). When we evaluate the antioxidant activity results, Figure 3 shows that the percentage of scavenging effects of samples on DPPH radical was in the following order: BHT (85.67±0.58) > BHA (85.33±0.58) > pomegranate (78.00±4.36) > rotten grapefruit (59.00±1.73) > rotten quince (49.33±2.08) > rotten pear (45.33±1.98) = rotten lemon (44.67±2.00) > rotten kiwi (44.00±1.60) > grapefruit (38.67±1.58) > rotten apple (37.00±1.65) > quince (35.67±4.04) > rotten red pepper (35.00±3.51) = red pepper (34.67±1.00) = rotten beetroot (34.67±2.08) = beetroot (34.67±2.08) > rotten avocado (31.67±2.00) > apple (30.67±1.15) > pear (29.67±6.43) > lemon (28.00±1.00) > orange (25.33±3.21) > avocado (17.00±3.50) = kiwi (17.00±4.16) > rotten pomegranate (14.67±0.53) > rotten orange (11.33±2.31). Although the antioxidant capacities of samples were found to be low than those of BHA and BHT, the findings demonstrated that samples could scavenge free radicals. In this study among all the extracts, fresh pomegranate was the first, followed by rotten fruits such as grapefruit, quince, lemon, pear, and kiwi, which showed higher inhibition percentages than other fresh fruits. When the scavenging capacities of DPPH radicals were compared in a study with fresh grapefruit, orange, and lemon peels; grapefruit, lemon, and orange sequence was obtained (Singh & Immanuel, 2014).

As against EDTA, which was used as a reference metal chelating agent in this work, the ferrous chelating efficiency of EDTA was 91%, while for fresh red pepper, rotten avocado, rotten kiwi, and rotten beetroot were 59%, 58%, 53%, and 51% respectively, as shown in Figure 4. The ferrous ion chelating activities of samples were in descending order of EDTA (91.12±0.16) > red pepper (59.73±1.17) > rotten avocado (58.04±1.68) > rotten kiwi (53.33±1.25) > rotten beetroot (51.56±1.72) > beetroot (33.05±1.78) > rotten pomegranate (32.13±1.10) > orange (30.98±0.89) = rotten lemon (30.92±0.90) > rotten red pepper (29.08±0.46) > avocado (25.57±1.29) > pomegranate (24.06±0.94) > lemon (23.15±0.31) > rotten pear (22.54±1.61) > kiwi (18.19±1.49) = rotten quince (18.02±0.84) > grapefruit (17.65±0.56) = rotten apple (17.11±0.29) > rotten orange (16.29±1.30) > apple (16.44±0.62) = rotten grapefruit (16.38±1.30) > quince (15.71±1.02) = pear (15.59±0.72) > BHT (9.63±0.98).

The chelating activity assay of iron ions was tested to measure the power of rotten fruit samples to inhibit the destructive effects of free heavy metals. Fresh paprika and bruised avocado had the highest chelating activity, followed by rotten kiwi and rotten kohlrabi. Afterward, fresh beetroot, rotten pomegranate, and rotten lemon follow. In a study of the estimation of antioxidant potential with ethanol extracts of many fresh fruits and vegetables, the highest iron chelation results among

selected fruits; It has been observed that it belongs to pomegranate, kiwi, red pepper, avocado, and lemon (Erturk et al., 2018).

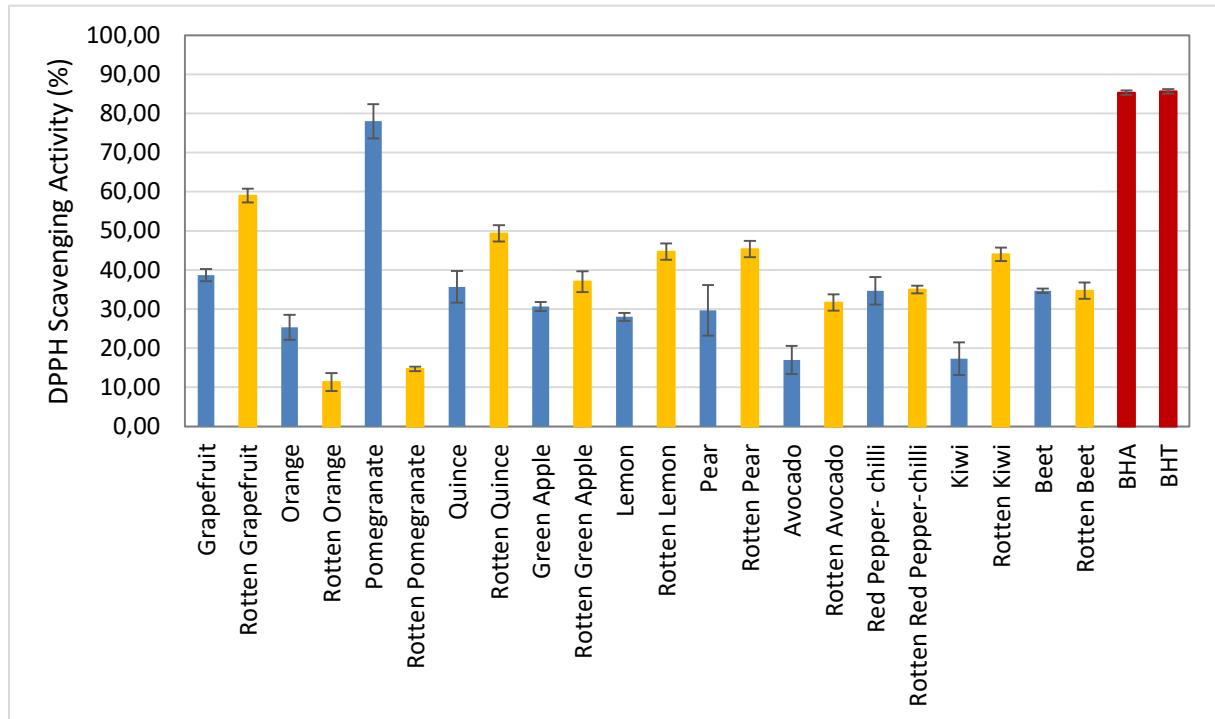


Figure 3. DPPH Activities of the Ethanol Extracts of Whole Fruits

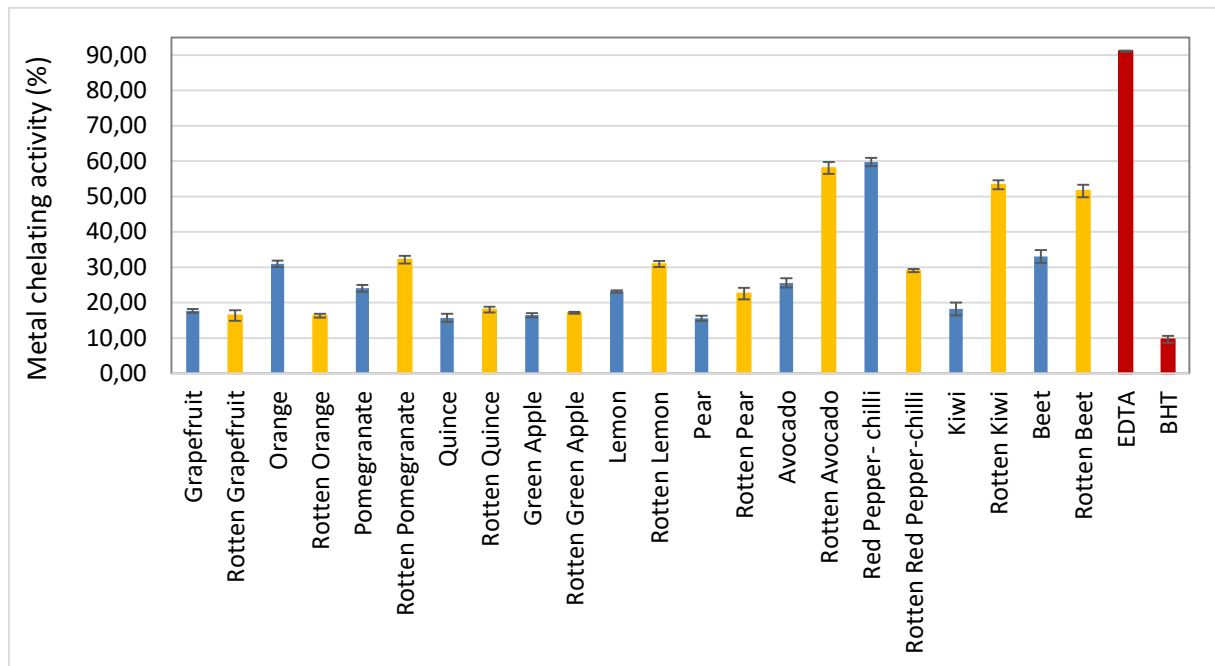


Figure 4. Metal Chelating Activities of the Ethanol Extracts of Whole Fruits

Table 1. Antimicrobial Activities of Decayed and Fresh Fruits and Vegetables

| Scientific name (Common name) | Average | B. subtilis | B. cereus | L. monocytogenes | S. aureus | C. freundii | K. pneumoniae | P. aeruginosa | E. coli | S. cerevisiae | C. albicans |
|---------------------------------------|-----------|-------------|-------------|------------------|-------------|-------------|---------------|---------------|------------|---------------|-------------|
| C. paradise (Grapefruit) | 1 A1 | 7.53±0.05 | 6.00±0.00 | 6.00±0.00 | 11.50±0.00 | 6.00±0.00 | 10.65±0.87 | 11.23±0.63 | 6.00±0.00 | 6.00±0.00 | 6.00±0.00 |
| C. sinensis (Orange) | 2 A2 | 6.89±0.40 | 6.00±0.00 | 6.00±0.00 | 6.00±0.00 | 6.00±0.00 | 12.87±0.11 | 6.00±0.00 | 8.07±0.64 | 6.00±0.00 | 6.00±0.00 |
| P. granatum (Pomegranate) | 3 A3 | 9.83±0.63 | 13.56±0.001 | 6.00±0.00 | 9.05±0.32 | 12.87±0.11 | 6.00±0.00 | 15.27±0.05 | 11.87±0.73 | 11.70±0.54 | 6.00±0.00 |
| C. oblonga (Quince) | 4 A4 | 11.25±0.63 | 12.73±0.41 | 12.79±0.23 | 12.87±0.98 | 12.53±0.22 | 11.80±0.15 | 12.76±0.82 | 12.78±0.72 | 12.38±0.32 | 12.87±0.44 |
| M. domestica (Green Apple) | 5 A5 | 13.75±0.11 | 14.92±0.74 | 13.72±0.36 | 14.65±0.23 | 14.53±0.83 | 13.80±0.15 | 12.87±0.65 | 13.22±0.98 | 13.98±0.87 | 12.76±0.62 |
| C. limon (Lemon) | 6 A6 | 7.47±0.52 | 10.23±0.24 | 6.00±0.00 | 10.45±0.98 | 6.00±0.00 | 6.00±0.00 | 11.32±0.46 | 6.00±0.00 | 6.00±0.00 | 6.00±0.00 |
| P. anatica var. (Pear) | 7 A7 | 10.66±0.52 | 14.99±0.77 | 6.00±0.00 | 11.74±0.22 | 10.44±0.00 | 6.00±0.00 | 12.47±0.38 | 11.33±0.45 | 11.12±0.38 | 11.41±0.56 |
| P. americana (Avocado) | 8 A8 | 14.52±0.67 | 17.26±0.03 | 15.26±0.03 | 18.56±0.03 | 6.00±0.00 | 6.00±0.00 | 16.56±0.087 | 17.62±0.08 | 10.86±0.93 | 17.56±0.03 |
| C. annum var. (Red Pepper- chilli) | 9 A9 | 16.49±0.41 | 13.22±0.05 | 18.23±0.55 | 13.45±0.98 | 15.45±0.98 | 13.66±0.75 | 20.62±0.26 | 15.36±0.10 | 20.45±0.06 | 19.76±0.44 |
| A. deliciosa (Kiwi) | 10 A10 | 6.00±0.00 | 6.00±0.00 | 6.00±0.00 | 6.00±0.00 | 6.00±0.00 | 6.00±0.00 | 6.00±0.00 | 6.00±0.00 | 6.00±0.00 | 6.00±0.00 |
| B. vulgaris L. (Beet) | 11 A11 | 12.80±0.22 | 12.76±0.87 | 13.70±0.63 | 12.79±0.44 | 13.39±0.56 | 11.77±0.05 | 14.76±0.87 | 12.76±0.87 | 12.84±0.54 | 12.39±0.98 |
| Ampicillin | | 12.89±0.73 | 13.67±0.32 | 11.70±0.25 | 16.98±0.54 | 10.33±0.52 | 11.88±0.23 | 14.76±0.87 | 13.55±0.44 | 12.11±0.43 | 12.62±0.12 |
| Cephazolin | | 19.07±0.05 | 21.99±0.43 | 21.32±0.11 | 24.74±0.43 | 10.44±0.00 | 21.00±0.65 | 17.47±0.11 | 18.33±0.76 | 14.43±0.54 | 17.65±0.98 |
| Nystatin | | 8.70±0.67 | 8.00±0.00 | 7.00±0.67 | 9.00±0.67 | 8.00±0.00 | 9.23±0.34 | 7.69±0.05 | 9.44±0.77 | 9.26±0.43 | 9.28±0.64 |
| | | 17.30±0.39 | 18.56±0.65 | 11.32±0.54 | 21.74±0.43 | 10.44±0.00 | 21.00±0.65 | 14.81±0.43 | 16.33±0.39 | 17.43±0.54 | 16.65±0.98 |
| | | 11.50±0.49 | 12.76±0.35 | 10.23±0.55 | 10.71±0.44 | 10.39±0.23 | 11.33±0.05 | 10.73±0.22 | 12.74±0.87 | 10.37±0.32 | 10.79±0.33 |
| | | 15.58±0.73 | 28.22±0.54 | 10.79±0.76 | 13.83±0.28 | 10.39±0.22 | 21.80±0.62 | 19.71±0.42 | 18.78±0.21 | 18.38±0.54 | 10.82±0.72 |
| | | 9.50±0.05 | 9.86±0.34 | 9.45±0.87 | 7.33±0.73 | 9.11±0.00 | 8.65±0.43 | 9.86±0.33 | 9.86±0.38 | 9.45±0.19 | 9.99±0.17 |
| | | 16.80±0.39 | 10.56±0.32 | 10.19±0.43 | 17.25±0.13 | 17.62±0.41 | 17.20±0.65 | 19.81±0.52 | 21.36±0.39 | 17.13±0.64 | 17.65±0.49 |
| | | | 32.56±0.65 | 23.58±0.054 | 26.34 ±0.54 | 11.76±0.54 | 14.89±0.12 | 14.74±0.84 | 30.67±0.74 | 22.00±0.23 | NT |
| | | | 33.67±0.98 | 26.43±0.053 | 30.45±0.73 | 6.00±0.00 | 16.86±0.67 | 16.17±0.56 | 25.33±0.83 | 17.00±0.00 | NT |
| | | | NT | NT | NT | NT | NT | NT | NT | NT | 17.00±0.32 |
| | | | | | | | | | | | 17.89±0.54 |

A: fresh, A1: decayed, mm: zone, -: no inhibition, NT: Not tested, *Bacillus cereus* ATCC®10876 (+), *Bacillus subtilis* B209 (+), *Listeria monocytogenes* ATCC®7677 (+), *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 (+), *Citrobacter freundii* ATCC® 43864 (-), *Escherichia coli* ATCC®25922 (-), *Klebsiella pneumoniae* ATCC®13883 (-), *Pseudomonas aeruginosa* ATCC®27853 (-), *Candida albicans* ATCC®10231 (fungi) and *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 976 (yeast).

Total Phenolic Content

TPC was expressed by gallic acid and evaluated as mg gallic acid equivalent (GAE)/g of extract, and the elucidation of TPC was verified by comparing it to the calibration curve of gallic acid drawn ($y=5.84 \times 10^{-5}x + 0.0402$; $r^2=0.9970$) (Figure 1). In Table 2, the analytical data were represented for both phenolics and flavonoid content of the ethanolic extract of materials.

Table 2. Total Phenolic, Flavonoid Contents of Ethanolic Extract of Fruits

| Samples | TPC (mg GAE/g extract) | TFC (mg QE/g extract) |
|-------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Grapefruit | 87.89 ± 9.89 | 23.16 ± 1.29 |
| Rotten Grapefruit | 156.39 ± 9.89 | 118.57 ± 2.58 |
| Orange | 99.32 ± 0.00 | 33.59 ± 1.29 |
| Rotten Orange | 45.57 ± 4.11 | 40.30 ± 2.58 |
| Pomegranate | 122.15 ± 9.89 | 113.35 ± 2.24 |
| Rotten Pomegranate | 300.05 ± 4.11 | 117.82 ± 0.00 |
| Quince | 122.15 ± 9.89 | 26.89 ± 1.29 |
| Rotten Quince | 105.98 ± 9.17 | 50.56 ± 0.32 |
| Green Apple | 157.35 ± 9.17 | 20.18 ± 2.58 |
| Rotten Green Apple | 234.89 ± 2.45 | 32.85 ± 2.24 |
| Lemon | 62.69 ± 4.11 | 91.73 ± 1.30 |
| Rotten Lemon | 82.18 ± 0.00 | 96.95 ± 2.58 |
| Pear | 88.86 ± 9.17 | 20.34 ± 2.73 |
| Rotten Pear | 214.43 ± 8.223 | 47.76 ± 2.58 |
| Avocado | 126.90 ± 9.17 | 24.65 ± 2.58 |
| Rotten Avocado | 267.22 ± 3.58 | 78.32 ± 1.29 |
| Red Pepper-chili | 96.94 ± 8.23 | 49.99 ± 1.29 |
| Rotten Red Pepper-chili | 105.76 ± 2.07 | 49.25 ± 2.58 |
| Kiwi | 61.74 ± 3.58 | 23.90 ± 2.24 |
| Rotten Kiwi | 297.67 ± 7.12 | 109.62 ± 1.29 |
| Beet | 122.15 ± 9.89 | 18.69 ± 1.29 |
| Rotten Beet | 316.21 ± 9.89 | 35.09 ± 2.24 |

In particular, the total phenolic compound of the rotten beetroot was strikingly high. When the TPC amounts of the ethanolic extracts of a group of root vegetables such as onion, white radish, red radish, beet, and carrot were examined, beet (28.47 mg GAE/g) exhibited the highest value (Mohammed et al., 2022). In studies conducted with fresh pomegranate fruits and their peels, it has been stated that it has a rich phenolic composition (Shiban et al., 2012). In this study, it was observed that even its rotten form had a high phenolic content. When we look at the studies done with kiwi and avocados, it was reported that they contain TFCs close to each other, and phenolic components such as pyrogallol and catechin are more in kiwi (Shehata & Soltan, 2013). In a study conducted with fresh apple, pear, quince, grape, and pomegranate, ranking for total phenolics of these fruits; obtained in the form of quince, pomegranate, grape, apple, and pear (Karadeniz, 2005). In the present study, a similar order of rotten pomegranate, rotten apple, and rotten pear was found for phenolics, too.

Total Flavonoid Content

Among the secondary metabolites of plants, flavonoids are one of the most important classes of compounds due to their biological effects. Recent studies have also revealed that some flavonoids scavenge superoxide and hydroxyl radicals, reduce lipid peroxy radicals, and inhibit lipid peroxidation (Javanovic et al., 1994). The fact that flavonoids have antioxidant and redox activity with metals brings flavonoids to a valuable place in terms of human health. Flavonoids have pro-oxidant properties as well as antioxidant properties (Cao et al., 1997). Plants contain many flavonoids. Therefore, instead of analyzing them one by one, the total amount of flavonoids is given as the flavonoid substance equivalent. TFC was expressed as mg Quercetin equivalent/ g of extract.

Quercetin was used as standard, and the determination of TFC was verified by comparing it to the calibration curve of quercetin ($y= 4.472 \times 10^{-4}x + 0.04431$; $r^2=0.9985$) (Figure 2). Here, it is evident that the total flavonoid content in rotten fruits and vegetables is higher than in fresh samples. Rotten fruits (grapefruit, pomegranate, kiwi, and lemon) have the highest values. In a study conducted with fresh lemon, tangerine, grapefruit, and orange extracts in different ethanol compositions; although their ethanol ratios are different, grapefruit, lemon, tangerine, and orange ranking were obtained as flavonoid content (Elkhatim et al., 2018). In a study conducted with aqueous extracts of fresh Kiwi, Persimmon, Pomegranate, Dragon, and Noni fruits, the flavonoid content of pomegranate was higher than that of kiwi, like the results we obtained with rotten fruits (Nanda, 2019). Also, in a study with kiwi and avocado it was determined that a kiwi has more different flavonoids than an avocado (Shehata & Soltan, 2013). Therefore, as seen in the current research, it can be considered reasonable that the flavonoid content of kiwi is higher than that of avocado.

Conclusion

When the present study was examined in general terms, it was determined that the rotten plant samples showed higher activities than their fresh form. Especially kiwi, pomegranate, grapefruit, and avocado from rotten fruits and vegetables showed high bioactivities in the screening; it was observed that lemon, beet, and red pepper chili followed these results. In the antimicrobial evaluation, the samples showed a higher potency against gram (-) bacteria. In particular, all the samples showed higher activity than standards against *S. aureus*, while rotten avocado also showed remarkable results against all bacteria and fungi studied. In light of antioxidant activity, fresh pomegranate and bruised grapefruit showed the highest activity according to the DPPH test, while the highest activity in the Ferrous ion chelation test belonged to fresh hot red pepper and bruised avocado. In both assays, rotten kiwi showed satisfactory values. In terms of phytochemical content, rotten grapefruit and rotten pomegranate have the highest phenolic component values, while rotten pomegranate and rotten kiwi have the highest flavonoid values.

Considering the results, it should not be overlooked that these foods, which we use in daily life and describe as rotten, have potential like fresh products in terms of bioactivity. These decay products demonstrate notable antibacterial and antioxidant capabilities, indicating their potential for therapeutic applications and as food preservatives. For this reason, it is crucial for public health and the economy to evaluate these cheap and practical resources, which are inactive, and supported by advanced studies.

Author Contribution

Aliye Gediz Ertürk, prepared the extracts, antioxidant, and phytochemical analyses. *Ömer Ertürk*, performed the collection and antimicrobial study of the samples. The authors co-authored, read, and approved the article.

Ethic

There are no ethical issues with the publication of this article.

Conflict of Interest

The authors state that there is no conflict of interest.

ORCID

Aliye Gediz Ertürk  <https://orcid.org/0000-0003-0831-7056>

Ömer Ertürk  <https://orcid.org/0000-0001-5837-6893>

References

- Acuna, U. M., Atha, D. E., Nee, M. H., & Kennelly, E. J. (2002). Antioxidant capacities of ten edible North American plants. *Phytotherapy Research*, 16(1), 63–65. <https://doi.org/10.1002/ptr.1031>
- Adamczak, A., O'zarowski, M., & Karpinski, T. M. (2020). Antibacterial Activity of Some Flavonoids and Organic Acids Widely Distributed in Plants. *Journal of Clinical Medicine*, 9, 109, 1-17. <https://doi.org/10.3390/jcm9010109>
- Akbulut, H. F., & Akbulut, M. (2023). Mineral composition, the profile of phenolic compounds, organic acids, sugar and *in vitro* antioxidant capacity, and antimicrobial activity of organic extracts of *Juniperus drupacea* fruits. *Food Science & Nutrition*, 11, 6435–6446. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3586>
- Al-Zoreky, N. S. (2009). Antimicrobial activity of pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit peels. *International Journal of Food Microbiology*, 134(3), 244–248. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.07.002>
- Amao, I. (2018). *Health benefits of fruits and vegetables: Review from Sub-Saharan Africa* (p. 33-35). IntechOpen. <https://dx.doi.org/10.5772/intechopen.74472>
- Balowo, A. B., Fayemi, P. O., & Muchenje, V. (2014). Natural antioxidants against lipid–protein oxidative deterioration in meat and meat products: A review. *Food Research International*, 64, 171–181. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.022>
- Bansode, D. S., & Chavan, M. D. (2012). Studies on antimicrobial activity and phytochemical analysis of Citrus fruit juices against selected enteric pathogens. *International Research Journal of Pharmacy*, 3(11), 122-126. <https://irjponline.com/details.php?article=1489>
- Bellary, A. N., Sowbhagya, H. B., & Rastogi, N. K. (2011). Osmotic dehydration assisted impregnation of curcuminoids in coconut slices. *Journal of Food Engineering*, 105(3), 453–459. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.03.002>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 28(1), 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Cao, G., Ofic, E., & Prior, R. (1997). Antioxidant and Prooxidant Behavior of flavonoids: Structure-activity relationships. *Free Radical Biology Medicine*, 22(5), 749-760. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(96\)00351-6](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(96)00351-6)
- Cemeroğlu, B. (2013). *Meyve Sebze İşleme Teknolojisi* (5. Baskı, Cilt 1). Nobel Akademik Yayıncılık.
- Chanderbali, A. S., Albert, V. A., Ashworth, V. E. T. M., Clegg, M. T., Litz, R. E., Soltis, D. E., & Soltis, P.S. (2008). *Persea americana* (avocado): Bringing ancient flowers to fruit in the genomics era. *BioEssays*, 30(4), 386–396. <https://doi.org/10.1002/bies.20721>
- Chia, T. W. R., & Dykes, G. A. (2010). Antimicrobial activity of crude epicarp and seed extracts from mature avocado fruit (*Persea americana*) of three cultivars. *Pharmaceutical Biology*, 48(7), 753–756. <https://doi.org/10.3109/13880200903273922>
- Davis, P. H. (1966–1988). *Flora of Turkey and the East Aegean Islands* (p. 1–10). Edinburgh Univ Press.
- Decker, E. A., & Welch, B. (1990). Role of ferritin as a lipid oxidation catalyst in muscle food. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 38, 674-677. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/jf00093a019>

- Dhanavade, M. J., Jalkute, C. B., Ghosh, J. S., & Sonawane, K. D. (2011). Study antimicrobial activity of lemon (*Citrus lemon L.*) peel extract. *British Journal of Pharmacology and Toxicology*, 2(3), 119-122.
<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=dc7b0c7076cbf3af14126dbad662869440387e43>
- Droby, S. (2006). Improving quality and safety of fresh fruits and vegetables after harvest by the use of biocontrol agents and natural materials. *Acta Horticulture*, 709, 45-51.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.709.5>
- Ekwenye, U. N., & Edeha, O. V. (2010). The antibacterial activity of crude leaf extract of *Citrus sinensis* (sweet orange). *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 1(4), 743-750.
<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=ae3ce4527843a5b6c9da62afe9f635e1cade2e7e>
- Elkhatim, K. A. S., Elagib, R. A. A., & Hassan, A. B. (2018). Content of phenolic compounds and vitamin C and antioxidant activity in wasted parts of Sudanese citrus fruits. *Food Science and Nutrition*, 6(5), 1214–1219. <https://doi.org/10.1002/fsn3.660>
- Ergezer, H., & Serdaroglu, M. (2009). Et ve et ürünlerinde oksidasyon mekanizması ve antioksidanların kullanımı. *Gıda Teknolojisi*, 13, 60-64.
<https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1189253>
- Ergezer, H. (2013). *Enginar atıklarından elde edilen ekstraktın çiğ ve pişirilmiş köftelerde antioksidatif etkilerinin araştırılması* [Doktora tezi]. Ege Üniversitesi.
- Erturk, A. G., Erturk, O., Ayvaz, M. Ç., & Erturk, E. Y. (2018). Screening of phytochemical, antimicrobial and antioxidant activities in extracts of some fruits and vegetables consumed in Turkey. *Celal Bayar University Journal of Science*, 14(1), 81–92. <https://doi.org/10.18466/cbayarfbe.363384>
- Fattouch, S., Caboni, P., Coroneo, V., Tuberoso, C. I. G., Angioini, A., Dessi, S., Marzouki, N., & Cabras, P. (2007). Antimicrobial activity of Tunisian quince (*Cydonia oblonga Miller*) pulp and peel polyphenolic extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(3), 963-969.
<https://doi.org/10.1021/jf062614e>
- Hussain, H., Mamadalieva, N. Z., Hussain, A., Hassan, U., Rabnawaz, A., Ahmed, I., & Green, I. R. (2022). Fruit Peels: Food Waste as a Valuable Source of Bioactive Natural Products for Drug Discovery. *Current Issues Molecular Biology*, 44, 1960–1994.
<https://doi.org/10.3390/cimb44050134>
- Javanovic, S. V., Steenken, S., Tosic, M., Marjonovic, B., & Simic, M. G. (1994). Flavonoids as antioksidants. *Journal of American Chemical Society*, 116, 4846-4851.
<https://pubs.acs.org/doi/epdf/10.1021/ja00090a032>
- Jayas, D. S., & Jeyamkondan, S. (2002). Modified atmosphere storage of grains, meats, fruits and vegetables. *Biosystems Engineering*, 82(3), 235–251. <https://doi.org/10.1006/bioe.2002.0080>
- Karadeniz, F., Burdurlu, H. S., Koca, N., & Soyer, Y. (2005). Antioxidant activity of selected fruits and vegetables grown in Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 29(4), 297-303.
<https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/vol29/iss4/9>
- Lu, P., Bainard, L. D., Ma, B., & Liu, J. (2020). Bio-fertilizer and rotten straw amendments alter the rhizosphere bacterial community and increase oat productivity in a saline–alkaline environment. *Scientific Reports*, 10, 19896, 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76978-3>
- Mohammed, E. A., Abdalla, I. G., Alfawaz, M. A., Mohammed, M. A., Al Maiman, S. A., Osman, M. A., Yagoub, A. E. A., & Hassan, A. B. (2022). Effects of Extraction Solvents on the Total Phenolic

- Content, Total Flavonoid Content, and Antioxidant Activity in the Aerial Part of Root Vegetables. *Agriculture*, 12, 1820, 1-12. <https://doi.org/10.3390/agriculture12111820>
- Naik, S. N., Goud, V. V., Rout, P. K., & Dalai, A. K. (2010). Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 578–597. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.003>
- Nanda, B. L. (2019). Antioxidant and proton potassium ATPase inhibitory activity in fruits. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 7(3), 107–115. <https://doi.org/10.30574/gscbps.2019.7.3.0093>
- Nannapaneni, R., Muthaiyan, A., Crandall, P. G., Johnson, M. G., O'Bryan, C. A., Chalova, V. I., Callaway, T. R., Carroll, J. A., Arthington, J. D., Nisbet, D. J., & Ricke, S. C. (2008). Antimicrobial activity of commercial Citrus-based natural extracts against *Escherichia coli* O157:H7 isolates and mutant strains. *Foodborne Pathogenic Disease*, 5(5), 695–704. <https://doi.org/10.1089/fpd.2008.0124>
- Nguyen, V. S., Li, W., Li, Y., & Wang, Q. (2017). Synthesis of citrus polymethoxyflavonoids and their antiproliferative activities on Hela cells. *Medicinal Chemistry Research*, 26, 1585–1592. <https://doi.org/10.1007/s00044-017-1871-4>
- Nunes, X. P., Silva, F. S., Almeida, J. R. G. D. S., Barbosa Filho, J. M., de Lima, J. T., de Araújo Ribeiro, L. A., & Júnior, L. J. Q. (2012). Biological Oxidations and Antioxidant Activity of Natural Products. In *Global approaches to their role in nutrition and health* (Chapter 1, pp. 1-20). INTECH Open Access Publisher. <https://doi.org/10.5772/26956>
- Park, Y. S., Jung, S. T., Kang, S. G., Heo, B. K. H., Arancibia-Avila, P., Toledo, F., Drzewiecki, J., Namiesnik, J., & Gorinstein, S. (2008). Antioxidants and proteins in ethylenetreated kiwi fruits. *Food Chemistry*, 107(2), 640-648. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.08.070>
- Platt, K. A., & Thomson W. W. (1992). Idioblast oil cells of avocado – distribution, isolation, ultrastructure, histochemistry and biochemistry. *International Journal of Plant Sciences*, 153(3), 301–310. <https://doi/abs/10.1086/297033>
- Popovic, M., Andjelkovic, U., Grozdanovic, M., Aleksic, I., & GavrovicJankulovic, M. (2013). *In vitro* antibacterial activity of cysteine protease inhibitor from kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). *Indian Journal of Microbiology*, 53(1), 100–105. <https://doi.org/10.1007/s12088-012-0319-2>
- Prasad, K. N., Xie, H., Hao, J., Yang, B., Qiu, S., Wei, X., Chen, F., & Jiang, Y. (2010). Antioxidant and anticancer activities of 8- hydroxy psoralen isolated from wampee [*Clausena lansium* (Lour.) Skeels] peel. *Food Chemistry*, 118, 62–66. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.073>
- Ragasa, C. Y., Labrador, P., & Rideout, J. A. (2006). Antimicrobial terpenoids from *Lansium domesticum*. *The Philippine Agriculture Science*, 89(1), 101–105. https://animorepository.dlsu.edu.ph/faculty_research/1773/
- Rahmawati, D., Chandra, M., Santoso, S., & Puteri, M. G. (2017). Application of lemon peel essential oil with edible coating agent to prolong shelf life of tofu and strawberry, *AIP Conf. Proc*, 1803(1). <https://doi.org/10.1063/1.4973164>
- Rédei, D., Kúsz, N., Rafai, T., Bogdanov, A., Burián, K., Csorba, A., Mándi, A., Kurtán, T., Vasas, A., & Hohmann, J. (2019). 14- Noreudesmanes and a phenylpropane heterodimer from sea buckthorn berry inhibit Herpes simplex type 2 virus replication. *Tetrahedron*, 75, 1364–1370. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2019.01.050>
- Rodriguez-Aguilera, R., & Oliveira, J. C. (2009). Review of design engineering methods and applications of active and modified atmosphere packaging systems. *Food Engineering Reviews*, 1, 66–83. <https://doi.org/10.1007/s12393-009-9001-9>

- Ronald, M. A. (1990). *Microbiología*. Compañía Editorial Continental SA de CV (pp. 505), México DF.
- Samad, A., Azlan, A., & Ismail, A. (2016). Therapeutic effects of vinegar: a review. *Current Opinion in Food Science*, 8, 56–61. <http://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.03.001>
- Sharma, H., Haq, M. A., Koshariya, A. K., Kumar, A., Rout, S., & Kaliyaperumal, K. (2022). "Pseudomonas fluorescens" as an Antagonist to Control Okra Root Rotting Fungi Disease in Plants. *Journal of Food Quality*, 2022, 5608543, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2022/5608543>
- Shehata, M. M. S. M., & Soltan, S. S. A. (2013). Effects of bioactive component of kiwi fruit and avocado (fruit and seed) on hypercholesterolemic rats. *World Journal of Dairy Food Sciences*, 8(1), 82-93. <https://doi.org/10.5829/idosi.wjdfs.2013.8.1.1121>
- Shiban, M. S., Al-Otaibi, M. M., & Al-Zoreky, N. S. (2012). Antioxidant activity of pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit peels. *Food Nutrition Sciences*, 3(7), 991-996. <https://doi.org/10.4236/fns.2012.37131>
- Silva, B. M., Andrade, P. B., Martins, R. C., Valentao, P., Ferreres, F., Seabra, R. M., & Ferreira, M. A. (2005). Quince (*Cydonia oblonga* Miller) fruit characterization using principal component analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(1), 111–122. <https://doi.org/10.1021/jf040321k>
- Singh, S., & Immanuel, G. (2014). Extraction of antioxidants from fruit peels and its utilization in paneer. *Journal of Food Processing & Technology*, 5(7), 349–353. <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000349>
- Slinkard, K., & Singleton, V. L. (1977). Total phenol analyses: Automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28(1), 49-55. <https://doi.org/10.5344/ajev.1974.28.1.49>
- Sun, H.Y., Ma, N., Pan, T., Du, C.L., & Sun, J.-Y. (2019). Punicagranine, a new pyrrolizine alkaloid with anti-inflammatory activity from the peels of *Punica granatum*. *Tetrahedron Letters*, 60, 1231–1233. <https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2019.03.056>
- Umamaheswari, M., & Chatterjee, T. K. (2008). *In vitro* antioxidant activities of the fractions of *Coccinia grandis* L. leaf extract. *African Journal of Traditional, Complementary, and Alternative Medicines*, 5(1), 61–73. <https://doi.org/10.4314/ajtcam.v5i1.31258>
- Warda, S., Gadir, A., Mohammed, F., & Bakhiet, A. O. (2007). Antimicrobial activity of *Tamarindus indica* fruit and *Piper nigrum* seed. *Research Journal of Microbiology*, 2(11), 824-830. <https://scialert.net/abstract/?doi=jm.2007.824.830>
- Zhang, D., Nie, S., Xie, M., & Hu, J. (2020). Antioxidant and antibacterial capabilities of phenolic compounds and organic acids from *Camellia oleifera* cake. *Food Science and Biotechnology*, 29, 1, 17–25. <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00637-1>

Aktifleştirilmiş *Lactobacillus buchneri*'nin Yeniden Silolama Öncesi Mısır Silajına İlavésinin, Silajların Ham Besin Maddeleri İçeriği, *in Vitro* Sindirilebilirliği ve Aerobik Stabilitesi Üzerindeki Etkileri

Kadir Erten¹ , Fisun Koç¹ 

¹Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü

Geliş Tarihi / Received Date: 10.05.2023

Kabul Tarihi / Accepted Date: 19.12.2023

Öz

Bu çalışmada, ikinci ürün mısır silajına aktifleştirilmiş *Lactobacillus buchneri* ilavesinin yeniden silolama üzerine etkisi incelenmiştir. Fermantasyonun 150. gününde açılan mısır silajları kontrol (K), *Lactobacillus buchneri* (LB) ve aktifleştirilmiş *Lactobacillus buchneri* (aLB)) ilaveli olmak üzere 3 muamele grubu oluşturulmuştur. Oluşturulan bu muamele grupları 6,12 ve 24 saat süreyle havaya maruz bırakıldıktan sonra yeniden silolanmıştır. Yeniden silolanan mısır silajları 60 günlük fermantasyona bırakılmıştır. Yeniden silolama öncesi ve sonrası silajlarda mikrobiyolojik ve kimyasal analizler yapılmıştır. Silajların *in vitro* gaz üretimi (İVGÜ) ve *in vitro* metan (CH₄) üretim miktarları belirlenmiştir. Elde edilen İVGÜ miktarları ile organik madde sindirilebilirlik (OMS), metabolik enerji (ME) ve net enerji laktasyon (NEL) değerleri hesaplanmıştır. Silolamanın 60. gününde açılan mısır silajlarına 7 günlük aerobik stabilite testi uygulanmıştır. Çalışmada aLB ilavesinin mısır silajlarının nötral çözücülerde çözünmeyen lif (NDF), asit çözücülerde çözünmeyen lif (ADF), asit çözücülerde çözünmeyen lignin (ADL) değerlerini düşürdüğü, ham yağ (HY), İVGÜ ve CH₄ miktarı ile OMS, ME ve NEL miktarını arttırdığı belirlenmiştir. Havaya maruz kalma süresine bağlı olarak artış gösteren karbondioksit (CO₂) miktarı aLB grubunda doğrusal olarak düşmüştür. *Lactobacillus buchneri* ilavesi ise mısır silajlarının ham protein (HP), ham selüloz (HS), NDF, ADF, ADL, asetik asit (AA) ve propiyonik asit (PA) miktarlarını artırmıştır. Silajlara LB ve aLB ilavesi, kontrol grubuna göre kuru madde (KM) kaybının daha az olmasını sağlamıştır. Araştırma sonucunda, 24 saat boyunca havaya maruz kalan silajların aLB katkısı ile yeniden silolanabileceği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: mısır silajı, yeniden silolama, aktifleştirme, *Lactobacillus buchneri*, *in vitro* gaz üretimi

Effects of Addition of Activated *Lactobacillus buchneri* to Corn Silage Before Re-Ensiling on Crude Nutrient Content, *In Vitro* Digestibility and Aerobic Stability of Silages

Abstract

In this study, the effect of activated *Lactobacillus buchneri* additive to second crop corn silage on re-ensilage was investigated. Corn silages opened on the 150th day of fermentation was divided into 3 treatment groups (control (C), *Lactobacillus buchneri* (LB) and activated *Lactobacillus buchneri* (aLB)) and re-ensiled after exposure to air (6, 12 and 24 hours). Re-ensiled corn silages was subjected to 60 days of fermentation. Microbiological and chemical analyzes were performed on silages before and after re-ensilage. *In vitro* gas production (GP) and *in vitro* methane (CH₄) production amounts of silages were determined. Organic matter digestibility (OMD), metabolic energy (ME) and net energy lactation (NEL) values were calculated with the obtained *in vitro* GP amounts. A 7-day aerobic stability test was applied to corn silages opened on the 60th day of ensiling. In the study, it was determined that the addition of aLB decreased neutral detergent fibre (NDF), acid detergent fibre; (ADF), acid detergent lignin (ADL) values, and increased the amount of eter extract (EE), GP amount *in vitro*, OMD, ME, NEL and CH₄ amount of corn silages. The amount of carbon dioxide (CO₂), which increased depending on the exposure time to air, decreased linearly in aLB group. The addition of LB increased the crude protein (CP), crude fiber (CF), NDF, ADF, ADL, acetic acid (AA) and propionic acid (PA) amounts of corn silages. Addition of LB and aLB to silages resulted in less dry matter (DM) loss compared to the control group. As a result of the research, it was determined that silages exposed to air for 24 hours could be re-ensiled with the addition of aLB.

Keywords: corn silage, re-ensilage, activation, *Lactobacillus buchneri*, *in vitro* gas production

Giriş

Silaj üretimindeki artış ve buna paralel olarak silaj yapımındaki teknolojik ilerlemeler, özellikle paket silaj yapımı, silajın ticari mal olarak değerlendirilmesine olanak sunmuştur. Büyük çiftliklerde üretilen silajlar, nakledildiği çiftliklerde yeniden silolanmaktadır. Uygulamada, genellikle toprak üstü beton silolarda silolanan materyaller ya balya silaj haline getirilmekte ya da yeniden toprak üstü beton silolarda silolanmaktadır. Silajın açılarak yeniden silolanmasına kadar ki süreç ise, silajın bir süre oksijene maruz kalmasına neden olmaktadır. Yeniden silolama ile ilgili olarak, son zamanlarda İsrail, Brezilya ve dünyanın diğer ülkelerinde uygulamalar yapılmaktadır (Dos Anjos vd., 2018; Faria vd., 2020; Medeiros vd., 2022). Yeniden silolama, ekim ve hasat için makineleri olmayan veya ekim için uygun bir alanı olmayan üreticiler için avantajlıdır. Ayrıca, yeniden silolama sayesinde, verimli arazilere sahip üreticiler ve sulama olanağına sahip kişiler, silaj satışını bir iş stratejisine dönüştürebilmektedirler (Lima vd., 2016). Yeniden silolamanın, yapılan silajın kalitesi üzerine etkilerini inceleyen sınırlı sayıda çalışma bulunmakta olup, bu çalışmalarda yeniden silolamanın, yem kalitesi üzerine olumsuz etki göstermediği belirtilmiştir (Dos Anjos vd., 2018; Erten vd., 2022; Faria vd., 2020; Michel vd., 2017).

Mısır silajı en yaygın kullanılan kaba yem kaynaklarından birisidir. Türkiye'de 2022 yılında üretilen 28.50 milyon ton silajlık mısırın yaklaşık %40'lık bölümünü ikinci ürün mısır oluşturmaktadır (Anonim, 2022). Özellikle ikinci ürün mısır silajlarının bir kısmı toprak üstü silolardan silolandıktan sonra işletmenin ihtiyacından fazla olması durumunda kamyonlara yüklenerek ya başka bir siloda yeniden silolanmakta ya da balya silaj haline getirilmektedir. Silajlar, yeniden silolanana kadar da ortalama 1-2 gün havaya maruz kalmaktadır. İkinci ürün olarak yetiştirilecek mısırın ekim zamanı, ana ürünün tarladan çıkma zamanına ve bölgeye bağlıdır. Genellikle silajlık mısır, buğday hasadından sonra Temmuz ayında ekilir ve Ekim sonu veya Kasım ayının ilk haftalarında biçilir. Yağışların yüksek olduğu bu hasat döneminde silajlar genellikle %23-25 kuru madde ile hasat edilmekte ve silolanmaktadır (Okumuş, 2021). Bu durumda silajların besin madde içerikleri ve aerobik stabilitesi olumsuz etkilenebilmektedir. Besin madde kaybının önüne geçmek, özellikle ikinci ürün mısır silajlarında yeniden silolama yapıldığında daha da zordur (Okumuş, 2021).

Yeniden silolama sürecindeki kayıpları en aza indirmek için katkı maddesi kullanılmaktadır (Erten vd., 2022; Faria vd., 2020; Medeiros vd., 2022; Michel vd., 2017). Bu amaçla laktik asit bakteri inokulantlarının katkı olarak kullanımı alternatif bir seçenektir. Silo yemleri için kullanılan laktik asit bakterileri homofermantatif ve heterofermantatif olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (McDonald vd., 2002; Muck, 2010). Bunlardan homofermantatif olanların glikolitik yolla glikoz ve diğer 6 karbonlu şekerleri laktik aside fermente (>%85) ettikleri (McDonald vd., 1991; Muck, 2018), heterofermantatif laktik asit bakterilerinin ise heksoz şekerleri (glikoz vb.) laktik asidin yanı sıra asetik asit, etanol ve karbondioksit (CO₂) gibi ürünlere fermente ettikleri bildirilmektedir (Lynch vd., 2015; McDonald vd., 1991). Araştırmacılar kuru madde içeriği düşük silajlarda genellikle heterofermantatif laktik asit bakteri inokulantlarını önermekte ve bu bakterilerin siloda laktik asidin yanı sıra asetik asit de ürettikleri için silajlarda maya ve küf gelişimini önleyerek silajların aerobik stabiliteğini geliştirdiklerini bildirmektedirler (Bağcı vd., 2023; Koç vd., 2017; Muck vd., 2018).

Bu araştırmada aktifleştirilmiş *Lactobacillus buchneri*'nin yeniden silolama öncesi mısır silajına ilavesinin, silajların ham besin maddeleri içeriği, *in vitro* sindirilebilirliği ve aerobik stabilitesi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Çalışmanın bitkisel materyalini Tekirdağ ili Osmanlı köyünde ikinci ürün olarak yetiştirilmiş (DKC6777) ve 150 gün süre ile silolanmış mısır silajı oluşturmuştur. Fermantasyonun 150. gününde bank tipi silodan alınan 120 kg silaj laboratuvar ortamına getirilmiştir. Silajlık materyal temiz bir örtü üzerine yayılarak ve 3 muamele grubuna ayrılmıştır. Muamele gruplarını, Kontrol (K), *Lactobacillus buchneri* (LB) ve aktifleştirilmiş *Lactobacillus buchneri* (aLB) oluşturmuştur. Katkı maddesi ilavesinden sonra

her muamele grubunda ki silajlar 6., 12. ve 24 saat olmak üzere oksijene maruz bırakılmıştır. Bu sürelerin ardından her muamele grubundan 5 tekerrür olmak üzere 500 g'lık paketler halinde 60 gün süre ile yeniden silolanmıştır. Silajların paketlenmesinde CAS CVP 260 PD marka vakum makinesi kullanılmıştır.

Katkı maddeleri;

1. LB: Heterofermantatif laktik asit bakteri inokulantı (NCIMB 40788-CNCM I-4323; Lalsil AS, Lallemand Inc., Canada).
2. aLB: İnokulant çalışmadan 24 saat önce %10 yağsız sütte 2 g kesme şeker ilave edilerek bekletilmiş ve bu şekilde kullanılmıştır (Santos vd., 2008).

Firma önerisi doğrultusunda kullanılan inokulant (LB ve aLB), mısır silajlarına 3×10^8 kob/g olacak şekilde ilave edilmiştir.

Kimyasal ve Mikrobiyolojik Analizler

Silaj örnekleri, yeniden silolamadan önce ve silolandıktan 60 gün sonra açılarak kimyasal ve mikrobiyolojik analizlere tabi tutulmuştur. Yemlerde, pH analizi Chen vd. (1994) tarafından bildirilen yöntemle yapılmıştır. Kuru madde (KM), ham protein (HP), ham yağ (HY) ve ham selüloz (HS) analizleri Akyıldız (1984) tarafından bildirilen yöntemle gerçekleştirilmiştir. Mısır silajlarında Laktik asit (LA) değerleri Koç ve Coşkun (2003) tarafından bildirilen spektrofotometrik yöntemle saptanmıştır. Silajların asetik asit (AA), bütirik asit (BA) ve propiyonik asit (PA) değerleri Supelco (1998) tarafından bildirilen yöntemle saptanmıştır. Amonyak azotu ($\text{NH}_3\text{-N}$) içerikleri AOAC (2005)'nin bildirişine göre saptanmış ve sonuçlar toplam silaj azotunun %'si olarak verilmiştir. Nötral çözücülerde çözünmeyen lif (NDF), asit çözücülerde çözünmeyen lif (ADF) ve asit çözücülerde çözünmeyen lignin (ADL) Van Soest vd. (1991) tarafından geliştirilen analiz yöntemine göre yapılmıştır. Mısır silajlarının, laktik asit bakterileri (LAB), maya ve küf sayımları Seale vd. (1990) tarafından bildirilen yöntemler doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Silaj örneklerinin aerobik stabilite testlerinde Ashbell vd. (1991) tarafından geliştirilen yöntem kullanılmıştır. Silolamanın 60. gününde açılan mısır silajları 7 gün süre ile aerobik stabilite testine tabi tutulmuştur. Aerobik stabilitenin 7. günündeki silaj örneklerinin pH'ları ölçülmüş, CO_2 üretimleri saptanmış ve silajların içerdiği maya ve küf popülasyonları belirlenmiştir.

In Vitro Gaz Üretimi Değerinin Saptanması

In vitro gaz üretim değerlerinin belirlenmesinde Menke ve Steingass (1988) tarafından bildirilen Gaz Üretim Tekniği kullanılmıştır. Kesimhanede kesilen rumen gelişimini tamamlamış 2 yaşında Holstein ırkı süt sığından alınan rumen sıvısı, sıcaklığı 38-40 °C arasında sabit tutularak hızlı bir şekilde laboratuvara getirilmiştir. Rumen sıvısı içerisinde kalan katı kısım süzülerek ayrılmış ve sıvı kısım daha önce hazırlanan tampon çözelti ile karıştırılarak çalışmada kullanılmıştır. Gaz üretiminin belirlenmesinde kullanılan 100 ml hacimli cam enjektörlere yaklaşık 200 mg KM yem örneği koyularak, her bir enjektöre 30 ml rumen sıvısı/tampon çözelti (1 kısım rumen sıvısı, 2 kısım tampon çözeltisi) eklenmiştir. Hazırlanan tüm enjektörler 39 °C'de inkübasyon dolabında 48 saat süre ile bekletilmiş ve yemlerin 3, 6, 12, 24 ve 48. saatlerdeki oluşan gaz değerleri ölçülmüştür. İnkübasyonun 24. saatlerinde tüpler içerisinde üretilen gaz miktarları enjektör ile alınarak metan üretimi "Sensors Europe Analysentechnik GmbH, Erkath, Germany" cihazıyla ölçülmüştür. Yemlerin, sindirilebilir organik madde derecesi (OMS) Menke vd. (1979), metabolik enerji (ME) ve net enerji laktasyon (NE_L) değerleri ise Blümmel ve Ørskov (1993) tarafından geliştirilen yöntemlere göre ve aşağıda belirtilen eşitliklerden faydalanılarak belirlenmiştir.

$$\text{OMS} = 14.88 + 0.8893 \times \text{GÜ} + 0.0448 \times \text{HP} + 0.0651 \times \text{HK}$$

$$\text{ME} = 2.2 + 0.1357 \times \text{GÜ} + 0.0057 \times \text{HP} + 0.0002859 \times \text{HY}^2$$

$$\text{NE}_L = 0.1149 \times \text{GÜ} + 0.0054 \times \text{HP} + 0.0139 \times \text{HY} - 0.0054 \times \text{HK} - 0.36$$

GÜ: 24 saatte üretilen gaz üretim miktarı (ml/200 mg KM); HP: Yem örneklerindeki ham protein (%); HK: Yem örneklerindeki ham kül içeriği (%). HY: Yem örneklerindeki ham yağ (%); OMS: *In vitro* organik madde sindirimi (g/100g, KM), ME; Metabolik enerji (MJ/kg, KM), NE_L: Net enerji laktasyon (MJ/kg, KM).

İstatistiksel Analizler

Elde edilen verileri istatistiksel olarak değerlendirilmesinde için 3 x 3 x 5 faktöriyel deneme deseni kullanılmıştır. Muamele (K, LB, aLB) ve yeniden silolama süresinin (6, 12, 24) değerlendirildiği bu çalışmada, her grup için 5 paket olacak şekilde toplam 45 adet silaj yapılmıştır. Elde edilen verilerin istatistik analizleri SPSS 22 paket programı kullanılarak yapılmıştır. Verilerin istatistiksel değerlendirmesi için tek yönlü varyans analizi ve gruplar arası farklılığı belirlemek için Tukey çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. Ayrıca, parametreler arasındaki ilişkiyi incelemek için korelasyon analiz testi uygulanmıştır (Soysal, 2000).

Bulgular ve Tartışma

Besin Madde Değerlerine İlişkin Bulgular

Mısır silajının yeniden silolama öncesi ve sonrası ham besin madde içerikleri, hücre çeperi bileşenlerine ilişkin analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

Mısır silajının yeniden silolanma öncesi KM değeri % 24.22 olarak tespit edilmiş ve yeniden silolama süresi sonunda silajların KM değerleri % 20.86-26.53 arasında değişmiştir. En yüksek KM değeri 24 saat havaya maruz kalmış LB grubunda tespit edilirken, en düşük KM değeri 12 saat havaya maruz kalmış kontrol grubunda bulunmuştur (P<0.001). Havaya maruz kalma süresine bağlı olarak, LB muamele grubunun K ve aLB gruplarına göre daha yüksek KM değerine sahip olduğu tespit edilmiştir (K grubu 24. saat hariç) (P<0.01). Bu konuda yapılan çalışmalarda, LB katkısının, mısır silajlarında KM kaybına neden olduğunu bildirilmiştir (Hu vd., 2009; Kleinschmit ve Kung, 2006; Nishino vd., 2003).

Tablo 1. Mısır Silajlarının Yeniden Silolama Öncesi ve Sonrası Ham Besin Maddeleri ve Hücre Çeperi Bileşenleri, %KM

| Par. | B | Muameleler | | | | | | | | | SH | P | | |
|------|-------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|-------|-----|-----|-----|
| | | K | | | LB | | | aLB | | | | M | S | M*S |
| | | 6 saat | 12 saat | 24 saat | 6 saat | 12 saat | 24 saat | 6 saat | 12 saat | 24 saat | | | | |
| KM | 24.22 | 23.33 ^b | 20.86 ^c | 25.05 ^{ab} | 23.51 ^{bc} | 24.75 ^{ab} | 26.53 ^a | 23.28 ^{bc} | 22.50 ^{bc} | 22.32 ^{bc} | 0.352 | *** | ** | ** |
| HP | 6.78 | 6.75 ^b | 6.77 ^b | 6.78 ^b | 7.20 ^a | 7.17 ^a | 7.19 ^a | 6.77 ^b | 6.78 ^b | 6.78 ^b | 0.043 | *** | Ö.D | Ö.D |
| HY | 3.23 | 3.41 ^{abc} | 3.08 ^{bc} | 2.77 ^c | 3.28 ^{bc} | 3.05 ^{bc} | 2.79 ^c | 4.14 ^a | 3.79 ^{ab} | 4.14 ^a | 0.108 | *** | * | Ö.D |
| HS | 20.37 | 20.55 ^c | 20.69 ^{bc} | 22.25 ^{abc} | 22.04 ^{abc} | 22.49 ^{abc} | 23.63 ^a | 20.91 ^{bc} | 21.80 ^{abc} | 22.88 ^{ab} | 0.231 | ** | *** | Ö.D |
| NDF | 44.49 | 51.27 ^{bc} | 51.19 ^c | 50.70 ^c | 51.67 ^{bc} | 53.01 ^{ab} | 54.26 ^a | 42.50 ^f | 46.27 ^d | 44.38 ^e | 0.760 | *** | *** | *** |
| ADF | 24.73 | 29.23 ^a | 25.94 ^{cd} | 25.88 ^{cd} | 29.23 ^a | 29.00 ^{ab} | 27.81 ^{abc} | 24.16 ^d | 26.26 ^{bcd} | 25.32 ^{cd} | 0.381 | *** | Ö.D | ** |
| ADL | 2.53 | 3.30 ^b | 3.12 ^b | 3.31 ^b | 4.05 ^a | 3.39 ^b | 3.41 ^b | 2.47 ^c | 3.40 ^b | 2.93 ^{bc} | 0.084 | *** | Ö.D | *** |

^{a-f}: Aynı satırdaki farklı harf içeren gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir. Par: Parametreler, M: Muamele, S: Süre, B: Başlangıç, K: Kontrol, LB: *Lactobacillus buchneri*, aLB: Aktifleştirilmiş *Lactobacillus buchneri*, KM: Kuru madde, HP: Ham protein, HY: Ham yağ, HS: Ham selüloz, NDF: Nötral çözücülerde çözünmeyen lif, ADF: Asit çözücülerde çözünmeyen lif, ADL: Asit çözücülerde çözünmeyen lignin, SH: Standart hata.

Mısır silajının yeniden silolama öncesi ve yeniden silolama sonrası HP değeri sırasıyla %6.78 ve %6.75-7.20 olarak belirlenmiştir. Mısır silajlarına yeniden silolama öncesi LB ilavesi, silajın HP değerlerini diğer gruplara göre önemli düzeyde artırmıştır (p<0.001). *Lactobacillus buchneri* muamele grubunun K ve aLB gruplarına göre daha yüksek KM değerine sahip olmasına bağlı olarak bu gruptaki silajların HP değerleri daha yüksek tespit edilmiştir. Bu konuyla ilgili benzer araştırmalar sorgum ve mısır silajlarında yeniden silolanmanın silajların HP içeriğini etkilemediğini göstermiştir (Lima vd., 2016; Medeiros vd., 2022).

Mısır silajının yeniden silolama öncesi HY değeri %3.23 iken, yeniden silolama sonrası HY değerleri %2.77-4.14 arasında değişmiştir. Mısır silajlarına yeniden silolama öncesi aLB ilavesi, silajın HY

değerlerini diğer gruplara göre önemli düzeyde artırmıştır ($p<0.001$). Silajların havaya maruz kaldığı süreye bağlı olarak (aLB 24 saat hariç) HY değerleri düşmüştür ($p<0.05$). Medeiros vd. (2022) tarafından yapılan benzer bir çalışmada, inokulant ilavesinin yeniden silolama sonrası HY içeriğini artırdığı bildirilmektedir. Araştırmacılar, inokulant uygulanan silajlarda HY değerinin yüksek olmasının fermantasyon süreci açısından bir öneminin olmadığını bildirmişlerdir.

Mısır silajının yeniden silolanmadan önceki HS değeri %20.37 olarak tespit edilmiştir. Mısır silajının yeniden silolanması ile HS değerleri %20.55-23.63 arasında değişmiştir. En yüksek HS değeri 24 saat havaya maruz kalmış LB grubunda tespit edilirken, en düşük HS değeri ise yine 6 saat havaya maruz kalmış kontrol grubunda belirlenmiş ve muameleler arasındaki fark önemli bulunmuştur ($p<0.01$).

Yeniden silolanma öncesi NDF değeri %44.49 olarak belirlenen mısır silajının, yeniden silolama sonrası NDF içeriği %42.50-54.26 arasında değişmiştir. En düşük NDF değeri 6 saat havaya maruz kalmış aLB grubu silajlarda tespit edilirken, en yüksek NDF değeri 24 saat havaya maruz kalmış LB grubunda belirlenmiştir ($p<0.001$).

Yeniden silolama öncesi ADF içeriğinin %24.73 olarak belirlendiği silajların, yeniden silolama sonrası ADF içerikleri %24.16-29.23 arasında değişmiştir. En yüksek ADF değeri 6 saat havaya maruz kalmış K ve LB gruplarında tespit edilirken, en düşük ADF değeri 6 saat havaya maruz kalmış aLB grubunda bulunmuştur. Silajlara aLB ilavesi ADF değerini düşürmüştür ($p<0.001$).

Mısır silajının yeniden silolanmadan önceki ADL değeri %2.53 olarak tespit edilmiştir. Mısır silajının yeniden silolanması ile ADL değerleri %2.47-4.05 arasında değişmiştir. En yüksek ADL değeri 6 saat havaya maruz kalmış LB grubunda tespit edilirken, en düşük ADL değeri 6 saat havaya maruz kalmış aLB grubunda bulunmuştur.

Hücre duvarı bileşenleri (NDF, ADF ve ADL) yemin sindirilebilirliğinin azalmasına, hayvanın fiziksel olarak tokluk hissetmesine ve yem tüketiminin sınırlandırılmasına neden olur (Van Soest, 1994). Çalışmada yeniden silolama öncesine göre hücre çeperi bileşenlerinde artış söz konusu olmuştur. Bu artış mısır silajının KM içeriğinin düşük olması nedeni ile oluşan KM kayıplarına bağlanabilir. Çünkü silaj da oluşan KM kayıpları hücre duvarı bileşenlerini oransal olarak arttırabilmektedir (Filya, 2007; Pahlow vd., 2003). Benzer bulgular, Altınçekiç ve Filya (2018)'nin yaptığı çalışmalarda da elde edilmiştir. Araştırmada en düşük NDF, ADF ve ADL değerleri aLB grubu silajlarda tespit edilmiştir. Nitekim yeniden silolama sonrası en düşük KM bu gruptaki silajlarda tespit edilmiştir. Bu sonuç hücre çeperi fraksiyonlarındaki artışın sebebinin destekler niteliktedir.

Fermantasyon Parametrelerine İlişkin Bulgular

Mısır silajının yeniden silolama öncesi ve sonrası fermantasyon parametrelerine ilişkin analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Mısır silajının yeniden silolanmadan önceki pH değeri 3.73 olarak tespit edilmiştir. Silajların pH'sı deneme gruplarına göre 3.58 ile 3.63 arasında değişmiştir. Yeniden silolama silajların pH değerlerinin düşmesine neden olmuştur. Ancak silajların pH değeri üzerine katkı maddesi ilavesi ve havaya maruz kalma süresinin bir etkisi tespit edilmemiştir ($P>0.001$). Katkı maddesi olarak *L. buchnerinin* kullanıldığı birçok çalışma da silaj pH seviyesini düşürdüğü belirtilmiştir. Araştırmacılar bu durumu silajlara LB ilavesinin silo ortamında LA, AA ve PA üretimini artırarak silo yemlerinin pH'larının düşmesinden kaynaklandığını belirtmiştir (Hu vd., 2009; Kleinschmit ve Kung, 2006; Kristensen vd., 2010; Ranjit ve Kung, 2000).

Mısır silajının yeniden silolama önceki $\text{NH}_3\text{-N/TN}$ değeri 54.79 g/kg KM olarak tespit edilmiştir. Mısır silajının yeniden silolanması ile $\text{NH}_3\text{-N/TN}$ değerleri 59.94-81.70 g/kg KM arasında değişmiştir. En yüksek $\text{NH}_3\text{-N/TN}$ değeri 24 saat havaya maruz kalmış aLB grubunda tespit edilirken, en düşük $\text{NH}_3\text{-N/TN}$ değeri 12 saat havaya maruz kalmış aLB grubunda bulunmuştur. Silajlık bitkinin hasat edilmesinden sonra gerçekleşen proteolisis silaj kalitesi açısından istenmeyen bir olaydır. Bu olayda bitki içeriğindeki proteinler proteaz tarafından başlıca aminoasitler ve amonyak olmak üzere peptid ve amidlere parçalanır (Filya, 2001). Silajda $\text{NH}_3\text{-N}$ birkaç gün içerisinde oluşur ve silaj pH'sı 6'dan 4'e

ininceye kadar protein parçalanması devam eder. Dolayısıyla silajda NH₃-N içeriği protein parçalanma düzeyini gösteren önemli bir parametredir. Silajların yeniden silolanması başlangıç değerlerine göre NH₃-N /TN değerinin artmasına sebep olmuştur. Ancak, silaj örneklerinin NH₃-N/TN içerikleri, silaj kalite değerlendirmesinde 'çok iyi' kalite sınıfı için bildirilen <100 g/kg TN düzeyinin altında yer almıştır (Denen ve Basmacıoğlu Malayoğlu, 2022).

Çalışmada, deneme gruplarına ait silaj örneklerinin LA içerikleri 45.69-53.53 g/kg KM arasında değişmiştir. Literatürde kaliteli silajlarda LA içeriğinin %2'nin veya 20 g/kg KM değerinin üzerinde olması gerektiği bildirilmektedir (Campbell, 2014; Seglar, 2003). Silaj fermantasyonu açısından AA istenmeyen asittir. Ancak AA silajlarda maya ve küf gelişimini önleyerek silajların aerobik stabilitelelerini artırmaktadır. Yeniden silolanan silajların LA (kontrol grubu 24 saat hariç), AA ve PA değerleri yükselmiştir (P<0.001). *Lactobacillus buchneri*'nin inokulant olarak kullanıldığı çalışmalarda AA değerleri daha yüksek tespit edilmiştir (Bağcı vd., 2023; Koc vd., 2017; Muck vd., 2018). Medeiros vd. (2022)'nin yaptıkları benzer bir çalışmada yeniden silolamanın, mısır silajlarının LA içeriğini düşürdüğü, AA değerini ise artırdığı yönündedir.

Tablo 2. Mısır Silajlarının Yeniden Silolama Öncesi ve Sonrası Fermantasyon Parametrelerine İlişkin Bulgular

| Par. | B | Muameleler | | | | | | | | | SH | P | | |
|-----------------------|-------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------|-----|-----|-----|
| | | K | | | LB | | | aLB | | | | M | S | M*S |
| | | 6 saat | 12 saat | 24 saat | 6 saat | 12 saat | 24 saat | 6 saat | 12 saat | 24 saat | | | | |
| pH | 3.73 | 3.59 | 3.61 | 3.60 | 3.61 | 3.61 | 3.59 | 3.63 | 3.58 | 3.60 | 0.006 | Ö.D | Ö.D | Ö.D |
| NH ₃ -N/TN | 54.79 | 62.99 ^{ab} | 73.84 ^{ab} | 64.98 ^{ab} | 61.73 ^{ab} | 73.33 ^{ab} | 65.56 ^{ab} | 65.60 ^{ab} | 59.94 ^b | 81.70 ^a | 1.733 | Ö.D | Ö.D | ** |
| LA | 47.38 | 49.02 ^{cd} | 55.00 ^a | 45.69 ^d | 48.49 ^{cd} | 48.50 ^{cd} | 48.62 ^{cd} | 47.98 ^{cd} | 50.80 ^{bc} | 53.53 ^{ab} | 0.576 | ** | *** | *** |
| AA | 1.70 | 6.12 ^b | 7.17 ^b | 3.84 ^b | 22.69 ^a | 21.96 ^a | 21.15 ^a | 6.79 ^b | 6.17 ^b | 6.75 ^b | 1.495 | *** | Ö.D | Ö.D |
| PA | 0.08 | 0.67 ^{bcd} | 0.43 ^{cd} | 0.78 ^{abcd} | 1.85 ^a | 1.39 ^{abc} | 1.65 ^{ab} | 0.23 ^d | 0.28 ^d | 0.45 ^{bcd} | 0.129 | *** | Ö.D | Ö.D |
| BA | 0.000 | 0.000 ^b | 0.001 ^b | 0.000 ^b | 0.035 ^a | 0.003 ^{ab} | 0.000 ^b | 0.003 ^b | 0.011 ^{ab} | 0.004 ^{ab} | 0.003 | Ö.D | Ö.D | * |
| LAB | 4.14 | 6.38 ^{ab} | 5.93 ^{ab} | 6.05 ^{ab} | 6.11 ^{ab} | 6.63 ^a | 6.00 ^{ab} | 6.57 ^{ab} | 5.93 ^{ab} | 5.89 ^b | 0.066 | Ö.D | * | ** |
| Maya | 4.78 | 5.81 ^{abc} | 5.78 ^{abc} | 5.44 ^{bc} | 6.06 ^{ab} | 6.23 ^{ab} | 5.10 ^c | 6.54 ^a | 6.17 ^{ab} | 6.40 ^a | 0.099 | *** | ** | * |

^{a-f}: Aynı satırdaki farklı harf içeren gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir. Par: Parametreler, M: Muamele, S: Süre, B: Başlangıç, K: Kontrol, LB: *Lactobacillus buchneri*, aLB Aktifleştirilmiş *Lactobacillus buchneri*, NH₃-N/TN: Amonyak azotu/TN: Toplam nitrojen oranı (g/kg KM), LA: Laktik asit (g/kg KM), AA: Asetik asit (g/kg KM), PA: Propiyonik asit (g/kg KM), BA: Bütirik asit (g/kg KM), LAB: Laktik asit bakterisi (kob/g KM), Maya: (kob/g KM), ÖD: Önemli değil, SH: Standart hata.

Mısır silajının yeniden silolanmadan önceki PA değeri 0.08 g/kg KM olarak tespit edilmiştir. Mısır silajının yeniden silolanması ile PA değerleri 0.23-1.85 g/kg KM arasında değişmiştir. Mısır silajlarına yeniden silolama öncesi aLB ilavesi silajların PA değerlerini önemli düzeyde düşürmüştür (P<0.001).

Silaj fermantasyonu sırasında anaerob bakterilerden sakkarolitik clostridialar SÇK'ları yıkımlayarak BA'e, proteolitik clostridialar ise aminoasitleri parçalayarak AA, PA ve BA ile aminlere dönüştürürler (Basmacıoğlu ve Ergül, 2002). Silaj pH değerinin 3.80-4.20 olması durumunda ortamda LA bakterileri baskın olur ve BA üreten bakteriler gelişim gösteremez. Mevcut çalışmada, silaj örneklerinin pH değeri 3.59-3.61 arasında değişim göstermiştir. Silaj örneklerinin BA içerikleri oldukça düşük düzeyde (0.000– 0.035 g/kg KM) saptanmış olup, silajların BA içeriklerinin kabul edilebilir sınırlar (<%0,5) içerisinde olması silaj fermantasyonunda bir sorunun olmadığını göstermektedir.

Mikrobiyolojik Parametrelerine İlişkin Bulgular

Araştırmanın muamele gruplarına ilişkin LAB ve maya sayıları Tablo 2'de gösterilmiştir. Mısır silajının yeniden silolanmadan önceki LAB sayıları 4.14 kob/g KM olarak tespit edilmiştir. Mısır silajının yeniden silolanması ile LAB sayıları 5.89-6.63 kob/g KM arasında değişmiştir. En yüksek LAB değeri 12 saat havaya maruz kalmış LB grubunda (6.63 kob/g KM) tespit edilirken, en düşük LAB değeri 24 saat havaya maruz kalmış aLB katkılı (5.89 kob/g KM) mısır silajlarında tespit edilmiştir. Araştırmada

silajların LAB ve LA değerleri arasında bir paralellik söz konusu olmamıştır. En yüksek LA düzeyi ve en düşük LAB sayısı 24 saat aLB grubunda tespit edilmiştir.

Yeniden silolama öncesi maya değeri 4.78 kob/g KM olarak tespit edilmiştir. Mısır silajının yeniden silolanması ile maya sayıları artmıştır. En yüksek maya değeri 6 saat havaya maruz kalmış aLB grubunda (6.54 kob/g KM) tespit edilirken, en düşük maya değeri 24 saat havaya maruz kalmış LB grubunda (5.10 kob/g KM) tespit edilmiştir. Havaya maruz kalma süresi uzadıkça, kontrol grubunda maya sayıları düşmüştür ($P < 0.01$). Araştırmada LB ile muamele edilmiş silajların maya sayıları daha yüksek tespit edilmiştir ($P < 0.001$). Bu konuda *L. buchneri* inokulantının kullanıldığı çalışmalarda maya sayısında azalma tespit edilmiştir (Hu vd., 2009; Kleinschmit ve Kung, 2006; Schmidt ve Kung, 2010; Tabacco vd., 2011). Mayalarda aerobik stabilite üzerinde etkili olan mikroorganizmalardır (Pahlow vd., 2003). Silajlarda 5 log₁₀ cfu/g üzerindeki maya sayısının, silajın aerobik stabilitesinde azalma ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Wilkinson ve Davies, 2013).

Aerobik Stabilite Parametrelerine İlişkin Bulgular

Yeniden silolanmış mısır silajlarının 7 günlük aerobik stabilite parametrelerine ilişkin analiz sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Araştırmada, kullanılan katkı maddeleri silajların aerobik stabilitesini önemli ölçüde etkilemiştir ($P < 0.001$). Havaya maruz kalma süresine bağlı olarak LB ilavesinin silajların aerobik stabilitesini üzerine farklı etkileri olmuştur. Silajların en düşük pH değerleri havaya maruz kalma süresinin 6. saatinde (LB) grubunda tespit edilmiş, ancak oksijene maruz kalma süresinin uzaması kontrol grubuna oranla silajların (LB ve aLB grubu) pH değerlerinin yükselmesine neden olmuştur ($P < 0.001$). Silajlara katkı maddesi ilavesi oksijene maruz kaldıkları sürenin 12. saatinde etkili olmuş ve maya değerlerini düşürmüştür ($P < 0.001$). LB ilavesi silajların CO₂ içeriğinin düşmesine neden olmuş, ancak maya değerleri ile bir paralellik göstermemiştir ($P < 0.001$). Bu konuda *L. buchneri* nin inokulant olarak kullanıldığı çalışmalarda LB'nin AA üretme yeteneği nedeniyle aerobik stabiliteyi iyileştirmek ve silo açıldıktan sonra bozulmaya neden olan mikroorganizmaların yayılmasını önlemek için en yaygın heterofermentatif LAB kullanımının olduğunu göstermiştir (Bai vd., 2020; Gallo vd., 2018; Muck vd., 2018; Zhang vd., 2019). Çalışmaya ait sonuçlar, LB'nin silajların aerobik stabilitesi üzerindeki etkisini inceleyen önceki çalışmaların sonuçlarını kısmen yansıtmaktadır.

Tablo 3. Mısır Silajının Yeniden Silolama Sonrası 7. Günlük Aerobik Stabilite Değerleri

| Par. | Muameleler | | | | | | | | | SH | P | | |
|-----------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------|-----|-----|-----|
| | K | | | LB | | | aLB | | | | M | S | M*S |
| | 6 saat | 12 saat | 24 saat | 6 saat | 12 saat | 24 saat | 6 saat | 12 saat | 24 saat | | | | |
| KM | 23.17 ^c | 24.58 ^b | 25.01 ^b | 22.50 ^c | 22.71 ^c | 25.15 ^b | 20.77 ^d | 21.96 ^{cd} | 30.29 ^a | 0.517 | *** | *** | *** |
| pH | 6.85 ^{abc} | 6.64 ^{cd} | 6.62 ^{cd} | 6.53 ^d | 6.88 ^{abc} | 6.64 ^{cd} | 6.76 ^{bcd} | 7.10 ^a | 7.05 ^{ab} | 0.040 | *** | ** | *** |
| Maya | 7.39 ^c | 7.61 ^b | 7.43 ^c | 7.45 ^{bc} | 6.86 ^e | 7.24 ^d | 7.84 ^a | 7.30 ^{cd} | 7.90 ^a | 0.059 | *** | *** | *** |
| CO ₂ | 46.66 ^{abc} | 52.99 ^a | 47.23 ^{abc} | 42.19 ^c | 48.91 ^{ab} | 40.84 ^c | 49.5 ^{ab} | 49.03 ^{ab} | 45.00 ^{bc} | 0.789 | *** | *** | Ö.D |

^{a-d}: Aynı satırdaki farklı harf içeren gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir. Par: Parametreler, M: Muamele, S: Süre, K: Kontrol, LB: *Lactobacillus buchneri*, aLB Aktifleştirilmiş *Lactobacillus buchneri*, KM: Kuru madde, Maya: kob/g KM, CO₂: Karbondioksit (g/kg KM), Ö.D: Önemli değil, SH: Standart hata.

İn Vitro Gaz Üretim Parametrelerine İlişkin Bulgular

Mısır silajının yeniden silolama öncesi ve sonrası *in vitro* gaz üretim (GÜ) parametrelerine ilişkin analiz sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Mısır Silajının Yeniden Silolama Öncesi ve Sonrası *In Vitro* Gaz Üretim Parametreleri

| Süre | B | Muameleler | | | | | | | | | SH | P | | |
|-----------------|-------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|-------|-----|-----|-----|
| | | K | | | LB | | | aLB | | | | M | S | M*S |
| | | 6 | 12 | 24 | 6 | 12 | 24 | 6 | 12 | 24 | | | | |
| 3 | 13.17 | 10.17 ^{abc} | 10.33 ^{ab} | 7.67 ^c | 11.00 ^{ab} | 10.33 ^{ab} | 8.67 ^{bc} | 11.33 ^a | 11.00 ^{ab} | 10.00 ^{abc} | 0.264 | * | *** | Ö.D |
| 6 | 21.83 | 17.33 ^{ab} | 19.66 ^a | 14.83 ^b | 18.66 ^{ab} | 18.66 ^{ab} | 18.33 ^{ab} | 20.00 ^a | 19.00 ^a | 19.50 ^a | 0.370 | * | Ö.D | * |
| 12 | 32.50 | 25.00 ^{ab} | 28.66 ^a | 21.50 ^b | 26.32 ^{ab} | 26.00 ^{ab} | 26.00 ^{ab} | 26.66 ^{ab} | 25.99 ^{ab} | 26.33 ^{ab} | 0.506 | Ö.D | Ö.D | * |
| 24 | 46.66 | 33.33 ^c | 41.90 ^{ab} | 34.76 ^{bc} | 42.32 ^{ab} | 38.99 ^{abc} | 41.00 ^{abc} | 47.09 ^a | 46.15 ^a | 45.92 ^a | 1.016 | *** | Ö.D | * |
| 48 | 58.00 | 44.00 ^b | 54.00 ^{ab} | 48.00 ^{ab} | 53.32 ^{ab} | 48.66 ^{ab} | 52.50 ^{ab} | 55.75 ^a | 53.15 ^{ab} | 48.39 ^{ab} | 0.958 | Ö.D | Ö.D | * |
| CH ₄ | 7.67 | 4.60 ^b | 6.47 ^a | 5.94 ^{ab} | 6.62 ^a | 6.73 ^a | 6.99 ^a | 7.01 ^a | 6.62 ^a | 6.82 ^a | 0.168 | *** | Ö.D | * |
| OMS | 59.66 | 47.82 ^c | 55.44 ^{ab} | 49.10 ^{bc} | 56.07 ^{ab} | 53.09 ^{abc} | 54.84 ^{abc} | 60.06 ^a | 59.23 ^a | 59.02 ^a | 0.904 | *** | Ö.D | * |
| ME | 8.59 | 6.77 ^c | 7.94 ^{ab} | 6.96 ^{bc} | 8.00 ^{ab} | 7.54 ^{abc} | 7.81 ^{abc} | 8.64 ^a | 8.52 ^a | 8.48 ^a | 0.138 | *** | Ö.D | * |
| NE _L | 5.44 | 4.08 ^c | 4.93 ^{abc} | 4.18 ^{bc} | 5.01 ^{ab} | 4.64 ^{abc} | 4.82 ^{abc} | 5.45 ^a | 5.47 ^a | 5.44 ^a | 0.108 | *** | Ö.D | * |

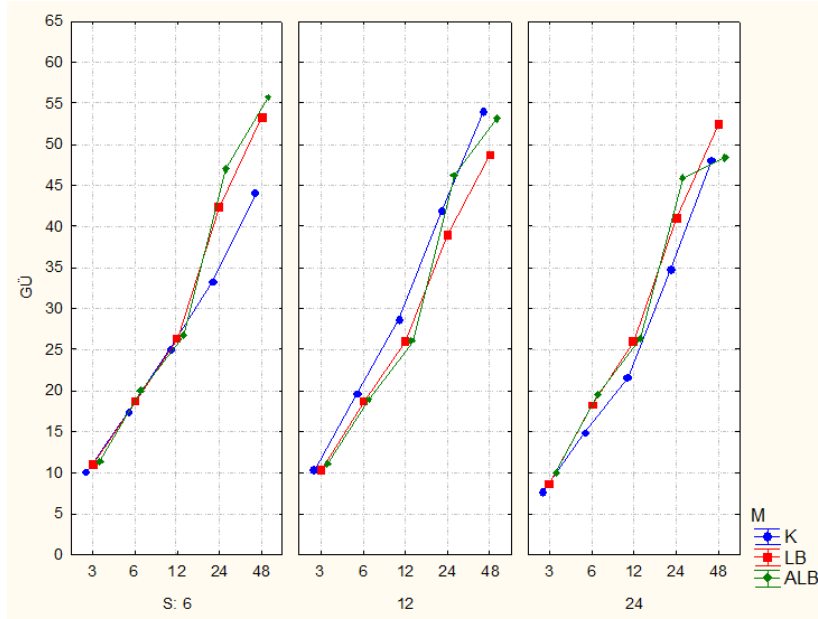
^{a-c}: Aynı satırdaki farklı harf içeren gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir. B: Başlangıç, K: Kontrol, LB: *Lactobacillus buchneri*, aLB Aktifleştirilmiş *Lactobacillus buchneri*, GÜ: Gaz üretimi (ml), CH₄: Metan (ml), OMS: Organik madde sindirilebilirliği (g/100g KM), ME: Metabolik enerji (MJ/kg KM), NE_L: Net enerji laktasyon (MJ/kg KM), ÖD: Önemli değil, SH: Standart hata.

Mısır silajının yeniden silolanmadan önceki *in vitro* GÜ₂₄ miktarı 46.66 ml olarak tespit edilmiştir. Mısır silajının yeniden silolanması ile GÜ₂₄ miktarı 33.33-47.09 ml arasında değişmiştir (Şekil 1). En yüksek GÜ₂₄ miktarı 6 saat havaya maruz kalmış aLB grubunda tespit edilirken, en düşük GÜ₂₄ miktarı 6 saat havaya maruz kalmış kontrol grubunda tespit edilmiştir (p<0.001). İnkübasyon süresinin 48 saatine kadar en yüksek GÜ miktarı, havaya maruz kalma süresinin 6. saatindeki aLB grubu silajlarda tespit edilmiştir. Bu artışın sebebi, aLB grubu silajların NDF, ADF ve ADL değerlerinin daha düşük olmasına bağlanabilir. Bu konuda yapılan çalışmalarda benzer bulgular bulunmuştur (Erten vd., 2022; Kızılışım vd., 2016;).

Mısır silajının yeniden silolamadan önceki *in vitro* CH₄ üretimi 7.67 ml olarak tespit edilmiştir. Mısır silajının yeniden silolanması ile CH₄ üretimi 4.60-7.01 ml arasında değişmiştir. En yüksek CH₄ üretimi 6 saat havaya maruz kalmış aLB grubunda tespit edilirken, en düşük CH₄ üretimi 6 saat havaya maruz kalmış kontrol grubunda bulunmuştur (p<0.001). Mısır silajında havaya maruz kalma süresinin *in vitro* CH₄ üretimi üzerine bir etkisi olmamıştır (p>0.05).

Mısır silajının yeniden silolanmadan önceki OMS değeri 59.66 g/100g KM olarak tespit edilmiştir. En yüksek OMS değeri 6 saat havaya maruz kalmış aLB grubunda (60.06 g/100g KM) tespit edilirken, en düşük OMS değeri 6 saat havaya maruz kalmış kontrol grubunda (47.82 g/100g KM) bulunmuştur. Mısır silajında havaya maruz kalma süresinin OMS değeri üzerine bir etkisi olmamıştır (p>0.05).

Mısır silajının yeniden silolama öncesi ME ve NE_L değerleri sırasıyla 8.59 ve 5.44 MJ/kg, KM olarak tespit edilmiştir. Mısır silajının yeniden silolanması ile aLB grubunun ME ve NE_L değerleri kontrol ve LB gruplarına göre daha yüksek tespit edilmiştir (p<0.001).



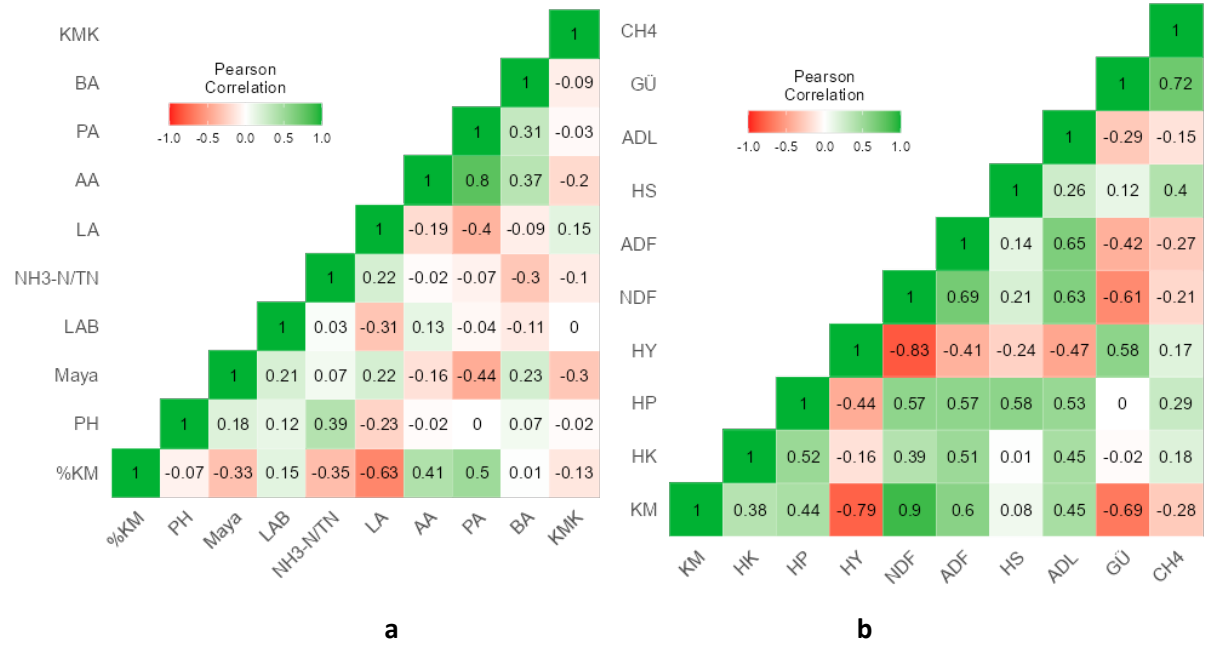
Şekil 1. Mısır Silajının Yeniden Silolama Sonrası *In Vitro* Gaz Üretim Miktarları (ml)

Korelasyon Analizine İlişkin Bulgular

Mısır silajının besin madde değerleri ile *in vitro* GÜ parametreleri ve fermantasyon parametrelerinin korelasyon analiz sonuçları Şekil 1’de verilmiştir.

Elde edilen verilere göre, silaj % KM değerinin pH, AA ve PA ile pozitif ilişkisi olduğu belirlenirken; LA ile negatif ilişkisi tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak LA değerinin PA ile negatif ilişkisi bulunmaktadır. Ayrıca pH değerinin NH₃-N/TN ile pozitif ilişkisi belirlenmiştir. *L. buchneri*’nin LA’i fermente etmesiyle AA ürettiğini, AA’in ise aerobik süreçte bozulmayı sağlayan maya ve küflerin çoğalmasını engelleyip, silajların aerobik stabilitelelerini artırdığı belirlenmiştir (Elferink vd., 1999; Muck, 1996). Elferink vd. (1999), bu durumu LA değerinin AA ile negatif olarak ilişkilendirilmesiyle açıklamaktadır. Elde edilen sonuçlara göre AA değerinin PA ile pozitif ilişkisi ve maya değerleri ile olan negatif ilişkisi bu duruma bağlanabilir.

Besin madde değerleri bakımından, KM ve HK değerlerinin HP, NDF, ADF ve ADL ile pozitif ilişkisi bulunmuştur. Ayrıca KM değeri HY ve GÜ₂₄ ile negatif olarak ilişkilendirilmiştir. Ham protein değeri HS, NDF, ADF ve ADL ile pozitif olarak ilişkilendirilirken; HY ile negatif olarak ilişkisi tespit edilmiştir. Bu durum HY değerinin HS, NDF, ADF ve ADL ile negatif olarak ilişkilendirilmesine neden olmuştur. Ham selüloz değerinin CH₄ ile pozitif ilişkisi belirlenmiştir. Hücre çeperi bileşenleri olan NDF, ADF ve ADL arasında pozitif ilişki bulunurken, GÜ ile negatif ilişkileri tespit edilmiştir. Hücre duvarı bileşenleri (NDF, ADF ve ADL) içeriğinin artması yemin sindirilebilirliğinin azalmasına neden olmakta buna paralel olarak, GÜ miktarı düşmektedir. Silajların besin madde içerikleri (HK, HP, HY ve HS) ve GÜ miktarına bağlı olarak da CH₄ miktarı pozitif yönde etkilenmektedir (Erten vd., 2022).



Şekil 2. Besin Madde İçeriği ile Fermantasyon Parametreleri Arasındaki Korelasyon (a), Besin Madde İçeriği ile *In Vitro* GÜ Parametreleri Arasındaki Korelasyonu (b)

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, ikinci ürün olan mısır silajına *L. buchneri* katkısının yeniden silolama üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışmada aLB ilavesinin mısır silajlarının NDF, ADF ve ADL miktarlarını düşürdüğü HY, *in vitro* GÜ miktarı, OMS, ME, NE_L ve CH₄ miktarını artırdığı belirlenmiştir. Havaya maruz kalma süresine bağlı olarak artış gösteren CO₂ miktarı bu grupta doğrusal olarak düşmüştür. *L. buchneri* grubunda HP, HS, NDF, ADF, ADL, AA ve PA değerleri artmıştır. Silajlara LB ve aLB ilavesi, kontrol grubuna göre KM kaybının daha az olmasına neden olmuştur. Bu çalışmadan elde edilen veriler ışığında; hayvancılık işletmeleri besin madde kayıplarını göz önünde bulundurarak yeniden silolanmış mısır silajı satın alırken daha dikkatli davranmalıdır. Yeniden silolama işlemi uygulanan silajlarda besin madde kayıplarını azaltmak için, siloyu açma ve yeniden silolama arasındaki süre mümkün olduğunca kısa olmalıdır. Katkı maddesi olarak aLB ilavesi ile 24 saat boyunca havaya maruz kalan silajların yeniden silolanabileceği belirlenmiştir.

Yazar Katkısı

Kadir Erten, verilerin toplanması ve istatistiksel analizleri gerçekleştirdi. *Fisun Koç*, deneysel ortamını hazırladı ve deneysel süreci takip etti. Yazarlar makaleyi birlikte yazdı, okudu ve onayladı.

Etik

Bu makalenin yayınlanmasıyla ilgili herhangi bir etik sorun bulunmamaktadır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını belirtmektedir.

ORCID

Kadir Erten  <https://orcid.org/0000-0002-6307-1573>

Fisun Koç  <https://orcid.org/0000-0002-5978-9232>

Kaynaklar





- Akyıldız, A.R. (1984). *Yemler bilgisi laboratuvar kılavuzu*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Altınçekiç, E. ve Filya, İ. (2018). Effect of using bacterial inoculant and organic acid on the aerobic stability and feed value of small bale maize silages containing low dry matter. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 6(7), 887-892. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v6i7.887-892.1873>
- Anonim (2022). Yem bitkisi istatistikleri. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr> adresinden 19 Ağustos 2022 tarihinde alınmıştır.
- AOAC (2005). *Association official analytical chemist*. Official methods of analysis (18. Baskı). AOAC International.
- Ashbell, G., Weinberg, Z. G., Azrieli, A., Hen, Y. ve Horev, B. (1991). A simple system to study the aerobic determination of silages. *Canadian Agricultural Engineering*, 34, 171-175. https://library.csbe-scgab.ca/docs/journal/33/33_2_391_raw.pdf
- Bağcık C., Okuyucu B. ve Koç F. (2023). Effects of inoculation preactivated lactobacillus buchneri and urea on fermentation and aerobic stability characteristics of corn silage. *Turkish Journal of Agriculture Food Science and Technology*, 11(3), 431-438. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v11i3.431-438.5272>
- Bai, J., Xu, D., Xie, D., Wang, M., Li, Z. ve Guo, X. (2020). Effects of antibacterial peptide-producing *Bacillus subtilis* and *Lactobacillus buchneri* on fermentation, aerobic stability, and microbial community of alfalfa silage. *Bioresource Technology*, 315, 123881. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123881>
- Basmacıoğlu, H. ve Ergül, M. (2002). Silaj mikrobiyolojisi. *Hayvansal Üretim*, 43(1), 12-24. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/85181>
- Blümmel, M. ve Ørskov, E.R. (1993). Comparison of *in vitro* gas production and nylon bag degradability of roughages in predicting of food intake in cattle. *Anim Feed Sci Technol*, 40(2-3), 109-119. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(93\)90150-I](https://doi.org/10.1016/0377-8401(93)90150-I)
- Campbell, B., (2014). Small-scale silage production: A resource for smallholder farmers. https://www.academia.edu/11444994/SmallScale_Silage_Production_A_Resource_for_Smallholder_Farmers adresinden Temmuz 2019 tarihinde alınmıştır.
- Chen, J., Stokes, M.R. ve Wallace, C.R. (1994). Effects of enzyme-inoculant systems on preservation and nutritive value of haycrop and corn silages. *Journal of Dairy Science*, 77(2), 501-512. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)76978-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)76978-2)
- Denen, M., & Basmacıoğlu Malayoğlu, H. (2022). Ot tipi yem şalgamı (*Brassica rapa L.*) silajında soldurmanın ve farklı katkıların fermantasyon ve aerobik stabilite üzerine etkileri. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*, 59(2), 297-312. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.963959>
- Dos Anjos, G. V. S., Gonçalves L. C., Rodrigues, J. A. S., Keller, K. M., Coelho, M. M., Michel, P. H. F., Ottoni, D. ve Jayme, D. G. (2018). Effect of re-ensiling on the quality of sorghum silage. *Journal of Dairy Science*, 101(7), 6047-6054. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13687>
- Elferink, S. O., Driehuis, F., Krooneman, J., Gottschal, J. C. ve Spoelstra, S. F. (1999). *Lactobacillus buchneri* can improve the aerobic stability of silage via a novel fermentation pathway: the anaerobic degradation of lactic acid to acetic acid and 1, 2-propanediol. In *Proceedings of the 12th international silage conference/Eds. T. Pauly [et al.]-Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences* (pp. 266-267).
- Erten, K., Kaya, A. ve Koç, F. (2022). Bakteriyel inokulant ve organik asit ilavesi ile yeniden silolamanın mısır silajının aerobik stabilitesi ve *in vitro* gaz üretim parametreleri üzerine olan etkileri. *Journal*

- of the Institute of Science and Technology, 12(4), 2568-2580. <https://doi.org/10.21597/jist.1138835>
- Faria, E .F. S., da Silva, T. C., Pina D. D. S., Santos, E. M., de Araujo, M. L. G. M. L., da Silva, L. O. ve Carvalho, G. G. P. (2020). Do re-ensiling time and application of *Lactobacillus buchneri* alter the characteristics of sugarcane silage? *The Journal of Agricultural Science*, 158(5), 438-446. <https://doi.org/10.1017/S0021859620000751>
- Filya İ. (2001). Silaj fermantasyonu. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 32(1), 87-93. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/34482>
- Filya, İ. (2007). Ülkemizde silaj yapımı ve silaj kalitesinin artırılma yolları. *Yem Magazin*, 37-44.
- Gallo, A., Bernardes, T. F., Copani, G., Fortunati, P., Giuberti, G., Bruschi, S. ve Masoero, F. (2018). Effect of inoculation with *lactobacillus buchneri* LB1819 and *lactococcus lactis* O224 on fermentation and mycotoxin production in maize silage compacted at different densities. *Animal Feed Science and Technology*, 246, 36-45. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.09.009>
- Hu, W., Schmidt, R. J., McDonell, E. E., Klingerman, C. M. ve Kung, Jr. L. (2009). The effect of *lactobacillus buchneri* 40788 or *lactobacillus plantarum* MTD-1 on the fermentation and aerobic stability of corn silages ensiled at two dry matter contents. *Journal of Dairy Science*, 92(8), 3907-3914. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1788>
- Kızılşimşek, M., Mokhtari, N. E. P., Adem, E. R. O. L., Öztürk, Ç. ve Gürkan, L. (2016). Laktik asit üretme yeteneklerinin yüksek olduğu bilinen izolatların mısır silajının *in vitro* gaz üretim değerleri ve yem kalitesi özelliklerine etkileri. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25(Özel sayı-2), 285-288. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/264756>
- Kleinschmit, D. H. ve Kung Jr. L. (2006). A meta-analysis of the effects of *lactobacillus buchneri* on the fermentation and aerobic stability of corn and grass and small-grain silages. *Journal of Dairy Science*, 89(10), 4005- 4013. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72444-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72444-4)
- Koc, F., Ozturk Aksoy, S., Agha Okur, A., Celikyurt, G., Korucu, D. ve Ozduven, M.L. (2017). Effect of pre-fermented juice, *lactobacillus plantarum* and *lactobacillus buchneri* on the fermentation charecteristics and aerobic stability of high dry matter alfalfa bale silage. *The Journal of Animal & Plant Sciences*. 27(5), 1426-1431. <http://www.thejaps.org.pk/docs/v-27-06/04.pdf>
- Koç, F. ve Coşkuntuna, L. (2003). Silo yemlerinde organik asit belirlemede iki farklı metodun karşılaştırması. *Hayvansal Üretim*, 44(2), 37-46. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/85152>
- Kristensen, N.B., Sloth, K.H., Højberg, O., Spliid, N.H., Jensen, C. ve Thøgersen, R. (2010). Effects of microbial inoculants on corn silage fermentation, microbial contents, aerobic stability, and milk production under field conditions. *Journal of Dairy Science*, 93(8), 3764-3774. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3136>
- Lima, E.M.D., Gonçalves, L.C., Keller, K.M., Rodrigues, J.A.D.S., Santos, F.P.C., Michel, P.H.F., Raposo, V.S. ve Jayme, D.G. (2016). Re-ensiling and its effects on chemical composition, *in vitro* digestibility, and quality of corn silage after different lengths of exposure to air. *Canadian Journal of Animal Science*, 97(2), 250-257. <https://doi.org/10.1139/cjas-2016-0005>
- Lynch, J. P., Baah, J. ve Beauchemin, K. A. (2015). Conservation, fiber digestibility, and nutritive value of corn harvested at 2 cutting heights and ensiled with fibrolytic enzymes, either alone or with a ferulic acid esterase-producing inoculant. *Journal of Dairy Science*, 98, 1214- 1224. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8768>
- McDonald, P., Edwards, R.A. ve Greenhalgh, J. F. D. (2002). *Animal nutrition* (6. Baskı). Longman, London and New York.

- McDonald, P., Henderson, A. R. ve Heron, S. J. E. (1991). *The biochemistry of silage* (2. Baskı). Chalcombe Publications.
- Medeiros, P. H. A. de Figueiredo, O. A., Lima, E. M., Gonçalves, L. C., dos Santos Rodrigues, J. A., Keller, K. M., da Glória, J. R., Borges AL da, C. C., Lana, Â. M. Q. ve Jayme, D. G. (2022). Re-ensiling and microbial inoculant use effects on the quality of maize silages exposed to air. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)*, 12(1), 19-28. <https://doi.org/10.21206/rbas.v12i1.13683>
- Menke, K. H., Raab, L., Salewski, A., Steingass, H., Fritz, D. ve Schneider, W. (1979). The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*. *The Journal of Agricultural Science*, 93(1), 217-222. <https://doi.org/10.1017/S0021859600086305>
- Menke, K.H. ve Steingass, H. (1988). Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Animal Research and Development*, 28, 7–55. <https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers?ReferencelD=604471>
- Michel, P. H. F., Gonçalves, L. C., Rodrigues, J.A.S., Keller, K. M., Raposo, V. S., Lima, E. M., Santos, F. P. C. ve Jayme, D. G. (2017). Re-ensiling and inoculant application with *lactobacillus plantarum* and *propionibacterium acidipropionici* on sorghum silages. *Grass and Forage Science*, 72(3), 432-440. <https://doi.org/10.1111/gfs.12253>
- Muck, R. E. (2010). Silage microbiology and its control through additives. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 183-191. <https://www.scielo.br/j/rbz/a/ynGDV5rLyTQPPWMjHssmDM/?lang=en>
- Muck, R. E., Nadeau, E. M. G., McAllister, T. A., Contreras-Govea, F. E., Santos, M. C. ve Kung Jr, L. (2018). Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 3980-4000. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13839>
- Nishino, N., Yoshida, M., Shiota, H. ve Sakaguchi, E. (2003). Accumulation of 1,2-propanediol and enhancement of aerobic stability in whole crop maize silage inoculated with *lactobacillus buchneri*. *Journal of Applied Microbiology*, 94(5), 800–807p. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2003.01810.x>
- Okumuş, A. (2021). *İkinci ürün mısır silajına fındık zurufu ilavesinin silaj fermantasyonu, aerobik stabilite ve in vitro gaz üretimi üzerine etkileri* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Bursa Uludağ Üniversitesi.
- Pahlow, G., Muck, R. E., Driehuis, F., Elferink, S. J. O. ve Spoelstra, S. F. (2003). Microbiology of ensiling. *Silage Science and Technology*, 42, 31-93. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr42.c2>
- Ranjit, N. K. ve Kung Jr. L. (2000). The effect of *lactobacillus buchneri*, *lactobacillus plantarum*, or a chemical preservative on the fermentation and aerobic stability of corn silage. *Journal of Dairy Science*, 83(3), 526- 535. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)74912-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)74912-5)
- Santos, E. M., Zanine, A. M., Ferreira, D. J., Oliveira, J. S., Penteadó, D. C. S. ve Pereira, O. G. (2008). Inoculante ativado melhora a silagem de capim-tanzania ("panicum maximum"). *Archivos de zootecnia*, 57(217), 35-72. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2790571>
- Schmidt, R. J. ve Kung Jr, L. (2010). The effects of *Lactobacillus buchneri* with or without a homolactic bacterium on the fermentation and aerobic stability of corn silages made at different locations. *Journal of Dairy Science*, 93(4), 1616-1624. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2555>
- Seale, D. R., Pahlow, G., Spoelstra, S. F., Lindgren, S., Dellaglio, F. ve Lowe, J. F. (1990). *Methods for the microbiological analysis of silage*. Grovfoder.
- Seglar, W. J. (2003). Fermentation analysis and silage quality testing. *Proceedings of the Minnesota Dairy Health Conference* (pp. 119-135). University of Minnesota Digital Conservancy.

- Soysal, İ. (2000). *Biometrinin prensipleri (İstatistik I ve II ders notları)*. TÜ Tekirdağ Ziraat Fak. Yayınları.
- Supelco, (1998). *Solid phase microextraction: Solventless sample preparation for monitoring flavor compounds by capillary gas chromatography*. Bulletin 869A. <https://gcms.cz/labrulez-bucket-strap-h3hsga3/3d0431d0215646a69874d8960e2a198d/4524.pdf>
- Tabacco, E., Piano, S., Revello-Chion, A. ve Borreani, G. (2011). Effect of *Lactobacillus buchneri* LN4637 and *Lactobacillus buchneri* LN40177 on the aerobic stability, fermentation products, and microbial populations of corn silage under farm conditions. *Journal of Dairy Science*, 94(11), 5589-5598. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4286>
- Van Soest, P. V., Robertson, J. B. ve Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Wilkinson, J. M. ve Davies, D. R. (2013). The aerobic stability of silage: key findings and recent developments. *Grass and forage Science*, 68(1), 1-19. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2012.00891.x>
- Zhang, Y. C., Li, D. X., Wang, X. K., Lin, Y. L., Zhang, Q., Chen, X. Y. ve Yang, F. Y. (2019). Fermentation quality and aerobic stability of mulberry silage prepared with lactic acid bacteria and propionic acid. *Animal Science Journal*, 90(4), 513-522. <https://doi.org/10.1111/asj.13181>

The Traveling Wave Solutions of Date–Jimbo–Kashiwara–Miwa Equation with Conformable Derivative Dependent on Time Parameter

Tolga Aktürk¹ , Aslı Alkan² , Hasan Bulut² , Nesrin Güllüoğlu³ 

¹ Ordu University, Faculty of Education, Department of Mathematics and Science Education, Ordu

² Fırat University, Faculty of Science, Department of Mathematics

³ Harran University, Şanlıurfa Vocational School of Technical Sciences, Program of Computer Programming

Geliş Tarihi / Received Date: 09.06.2023

Kabul Tarihi / Accepted Date: 03.11.2023

Abstract

In the paper, the traveling wave solutions of the conformable derivative Date–Jimbo–Kashiwara–Miwa equation were obtained by the modified exponential function method (MEFM). It has been seen that the wave solutions found are functions that have the feature of being periodic functions. The proper values for the parameters in the acquired wave solutions are then used to generate two contour and density graphs in three dimensions that simulate the solution functions.

Keywords: conformable date–jimbo–kashiwara–miwa equation, modified exponential function method, traveling wave solution.

Zaman Parametresine Bağlı Uyumlu Kesirli Mertebeden Date-Jimbo Kashiwara-Miwa Denklemine İlerleyen Dalga Çözümleri

Öz

Bu makalede, uyumlu kesirli türevli Date–Jimbo–Kashiwara–Miwa denkleminin ilerleyen dalga çözümleri, değiştirilmiş üstel fonksiyon yöntemi (DÜFY) ile elde edilmiştir. Bulunan dalga çözümlerinin periyodik fonksiyon özelliği taşıyan fonksiyonlar olduğu görülmüştür. Elde edilen dalga çözümlerindeki parametreler için uygun değerler daha sonra, çözüm fonksiyonlarını simüle eden üç boyutlu iki tane kontur ve yoğunluk grafiklerini oluşturmak için kullanılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: uyumlu date–jimbo–kashiwara–miwa denklemi, değiştirilmiş üstel fonksiyon metodu, ilerleyen dalga çözümü

Introduction

In the last 20 years, nonlinear phenomena in applied mathematics and physics have played a crucial role in soliton theory, the calculation of analytical, numerical solutions, and especially the traveling wave solutions of nonlinear equations in mathematical physics. Nonlinear partial differential equations (NPDEs), often known as quasi-linear or nonlinear evolution equations, can be used to represent a wide variety of phenomena. This intricate mathematical equation, known as a space and time related, nonlinear evolution equation, or NLEE for short, has the potential to replicate almost every event that takes place in the natural world, particularly those that pertain to the fields of science and engineering. In order to provide an explanation for the natural occurrences that have taken place in a variety of scientific areas consisting of engineering, chemistry, biology, dynamics, plasma physics, electrodynamics, applied physics, and so on. It is necessary for us to search for specific answers to the NLEEs. There are many techniques to solve these kinds of problems that have been written about (Abdel-Gawad & Osman, 2013; Akturk et al., 2017; Baskonus & Bulut, 2015; Baskonus et al., 2017; Chen & Wang, 2005; Chen & Yan, 2005; Dubrovsky & Lisitsyn, 2002; Duran, 2020; Duran, 2021a; Duran, 2021b; Hossain & Akbar, 2017; Jafari et al., 2015; Jianming et al., 2011; Kubal & Aktürk, 2023; Kumar & Pankaj, 2015; Lü, 2005; Malwe et al., 2016; Mohyud-Din & Noor, 2007; Salas & Gómez, 2010; Shen et al., 2013).

In this paper, we obtain the traveling wave solutions of the conformable Date-Jimbo-Kashiwara-Miwa equation (CDJKME) by the modified exponential function method (MEFM) (Baskonus et al., 2016; Xu, 2008).

The CDJKME is defined by (Guo & Lin, 2019; Ismael et al., 2021)

$$U_{xxxxy} + 4U_{xxy}U_x + 2U_{xxx}U_y + 6U_{xy}U_{xx} - \alpha U_{yyy} - 2\beta \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial^\theta U}{\partial t^\theta} \right) \right) = 0, \quad (1)$$

where α and β are non-zero constants and $0 < \theta \leq 1$, $U = U(x, y, t)$ is the wave-amplitude function, which describes long water waves. In case of $\theta = 1$, Eq. (1) reduces to Date-Jimbo-Kashiwara-Miwa equation.

This article is organized as follows: Basic definitions, theorems and the modified exponential function method are presented in material and method. In Section of results and discussion, we present the proposed method's application of the CDJKM equation. Finally, we present the section of conclusion.

Method

Basic definitions and theorems about fractional calculus in conformable sense are given.

Definition 1. Let a function $f: [0, \infty) \rightarrow \mathbb{R}$. The conformable fractional derivative (CFD) of f order θ is given by (Abdeljawad, 2015; Gözütok & Gözütok, 2018; Khalil et al., 2014).

$$T_\theta[f(t)] = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{f(t + \varepsilon t^{1-\theta}) - f(t)}{\varepsilon}, \quad (2)$$

for all $t > 0, \theta \in (0, 1]$.

Theorem 1. Let $\theta \in (0, 1]$ and f, g be θ -differentiable at a point $x > 0$. Thus, it is obtained as (Abdeljawad, 2015; Gözütok & Gözütok, 2018; Khalil et al., 2014).

$$i. T_\theta(af + bg) = aT_\theta(f) + bT_\theta(g), \text{ for all } a, b \in \mathbb{R}. \quad (3)$$

$$ii. T_\theta(t^p) = pt^{p-1}, \text{ for all } p \in \mathbb{R}. \quad (4)$$

$$iii. T_\theta(\lambda) = 0, \quad \text{for all constant functions} \\ f(t) = \lambda. \quad (5)$$

$$iv. T_\theta(fg) = fT_\theta(g) + gT_\theta(f). \quad (6)$$

$$v. T_{\theta} \left(\frac{f}{g} \right) = \frac{gT_{\theta}(f) - fT_{\theta}(g)}{g^2}. \quad (7)$$

If f is differentiable, then the derivative of the polynomial t is obtained as

$$T_{\theta}[f(t)] = t^{1-\theta} \frac{d}{dt} f(t). \quad (8)$$

Definition 2. Let f be an n –times differentiable at t . Then, the CFD of f order θ is defined by (Khalil et al., 2014).

$$T_{\theta}[f(t)] = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{f^{([\theta]-1)}(t + \varepsilon t^{([\theta]-\theta)}) - f^{([\theta]-1)}(t)}{\varepsilon}, \quad (9)$$

for all $t > 0, \theta \in (n, n + 1], [\theta]$ is the smallest integer greater than or equal to θ .

Theorem 2. Let f be an n –times differentiable at t . So, there is the following equality (Khalil et al., 2014).

$$T_{\theta}[f(t)] = t^{[\theta]-\theta} f^{([\theta]}(t), \quad (10)$$

for all $t > 0, \theta \in (n, n + 1]$.

The Modified Exponential Function Method

In the part, we are going to learn about MEFM. First, it will be helpful to go over some things that are already known about the MEFM.

To employ this method, understand about the NPDEs

$$P(U, T_{\theta}U, U_x, U_y, U_{xx}, U_{yy}, U_{tx}, \dots) = 0, \quad (11)$$

where $U = U(x, y, t)$ is required function, P is a polynomial which has function of $u(x, y, t)$ and its partial derivatives according to x, y, t .

Step 1: Assume that the traveling wave transformation is as follows:

$$U(x, y, t) = U(\xi), \xi = kx + ry - c \frac{t^{\theta}}{\theta}, \quad (12)$$

where k and c are nonzero constants that is determined in the future. By substituting partial derivatives of equation (12) into equation (11), equation (11) is changed into a nonlinear ordinary differential equation (NODE) described by,

$$N(U, U', U'', U''', \dots) = 0, \quad (13)$$

where N is a polynomial depend on U .

Step 2: Assume that the traveling wave solution to equation (13) is written in below:

$$U(\xi) = \frac{\sum_{i=0}^N A_i [\exp(-\Psi(\xi))]^i}{\sum_{j=0}^M B_j [\exp(-\Psi(\xi))]^j} = \frac{A_0 + A_1 \exp(-\Psi) + \dots + A_N \exp(N(-\Psi))}{B_0 + B_1 \exp(-\Psi) + \dots + B_M \exp(M(-\Psi))}, \quad (14)$$

where A_i and $B_j, (0 \leq i \leq N, 0 \leq j \leq M)$ are constants which is specified in future, $A_N \neq 0, B_M \neq 0$ and $\Psi = \Psi(\xi)$ provides the ODE:

$$\Psi'(\xi) = \exp(-\Psi(\xi)) + \mu \exp(\Psi(\xi)) + \lambda. \quad (15)$$

Solving equation (15), then the five solution families are obtained (Naher & Abdullah, 2013).

Family 1: Let $\mu \neq 0, \lambda^2 - 4\mu > 0,$

$$\Psi(\xi) = \ln \left(\frac{-\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2\mu} \tanh \left(\frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2} (\xi + E) \right) - \frac{\lambda}{2\mu} \right). \quad (16)$$

Family 2: Let $\mu \neq 0, \lambda^2 - 4\mu < 0,$

$$\Psi(\xi) = \ln \left(\frac{\sqrt{-\lambda^2 + 4\mu}}{2\mu} \tan \left(\frac{\sqrt{-\lambda^2 + 4\mu}}{2} (\xi + E) \right) - \frac{\lambda}{2\mu} \right). \quad (17)$$

Family 3: Let $\mu = 0, \lambda \neq 0$ and $\lambda^2 - 4\mu > 0,$

$$\Psi(\xi) = -\ln \left(\frac{\lambda}{\exp(\lambda(\xi + E)) - 1} \right). \quad (18)$$

Family 4: Let $\mu \neq 0, \lambda \neq 0$ and $\lambda^2 - 4\mu = 0,$

$$\Psi(\xi) = \ln \left(-\frac{2\lambda(\xi + E) + 4}{\lambda^2(\xi + E)} \right). \quad (19)$$

Family 5: Let $\mu = 0, \lambda = 0$ and $\lambda^2 - 4\mu = 0,$

$$\Psi(\xi) = \ln(\xi + E). \quad (20)$$

where $A_0, A_1, \dots, A_N, B_0, B_1, \dots, B_M, E, \lambda, \mu$ are constants and is determined in the future. Utilizing homogeneous balance principle between the highest nonlinear terms with the highest order derivatives of U in equation (14). It will be found a relationship between N and M .

Step 3: When Eq. (15) and the families solutions are put into Equation (14), we get a polynomial with $\exp(\Psi(\xi))$ terms. The algebraic equation system in terms of $A_0, A_1, \dots, A_N, B_0, B_1, \dots, B_M, E, \lambda, \mu$ is found by putting the coefficients of the same power of $\exp(\Psi(\xi))$ to zero. Lastly, by plugging the values of the coefficients into equation (14), it provides the traveling wave solutions of equation (11).

Results and Discussion

In this part, solutions to the CDJKME will be found by using the MEFM. Handle the traveling wave transformation:

$$U(x, y, t) = U(\xi), \xi = kx + ry - c \frac{t^\theta}{\theta}. \quad (21)$$

Using the traveling wave transformation for Eq. (1), the following NODE is obtained:

$$k^4 r U'''' + 3k^3 r (U')^2 - (\alpha r^3 - 2k^2 c \beta) U' = 0. \quad (22)$$

When $U' = V$ is applied to Eq. (22), we obtain the NODE

$$k^4 r V'' + 3k^3 r V^2 - (\alpha r^3 - 2k^2 c \beta) V = 0, \quad (23)$$

where $V = U'$ and also both integral constants are zero. When we apply the balancing procedure to Eq. (23), it is obtained the relationship

$$n = m + 2.$$

Choosing $m = 1$, then we find $n = 3$. For m and n values, we obtain

$$U(\xi) = \frac{A_0 + A_1 e^{-\Psi} + A_2 e^{-2\Psi} + A_3 e^{-3\Psi}}{B_0 + B_1 e^{-\Psi}}. \quad (24)$$

The system of algebraic equations with $e^{-\Psi(\xi)}$ coefficients is generated by rearranging Eq. (24) according to the necessary term in Eq. (23).

Utilizing Mathematica, some appropriate coefficients acquired are as follows:

Case 1:

$$A_0 = -2k\mu B_0,$$

$$A_1 = -2k(\lambda B_0 + \mu B_1),$$

$$A_2 = -2k(B_0 + \lambda B_1),$$

$$A_3 = -2k B_1,$$

$$c = \frac{r^3\alpha - k^4r(\lambda^2 - 4\mu)}{2k^2\beta}.$$

Using these coefficients in Equation (13), the solutions are obtained as:

Family 1: Let $\mu \neq 0, \lambda^2 - 4\mu > 0$, we obtain solution of Eq. (1)

$$U_{1,1}(x, t) = \left(\frac{k \cdot (\lambda^3 - 4\lambda\mu + 2\Gamma\mu \sinh[\vartheta\Gamma])}{\lambda^2 - 2\mu + 2\mu \cosh[\vartheta\Gamma]} \right), \tag{25}$$

where, $\xi = kx + ry - c \frac{t^\theta}{\theta}, \vartheta = EE + \xi, \Gamma = \sqrt{\lambda^2 - 4\mu}$.

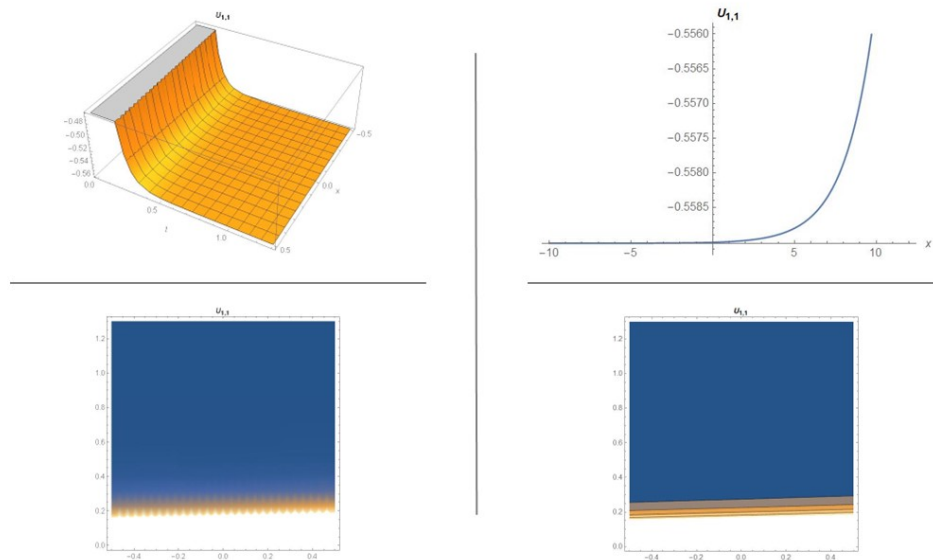


Figure 1. 2D, 3D, Density, Contour Graphs of Equation (24) at $\lambda = 3, \mu = 1, \theta = 0.5, y = 0.1, \beta = 1.3, \alpha = 0.543056, k = 0.25, r = 0.75, t = 0.1, c = 3.41466, A_1 = -2.13, A_2 = -1.59, B_1 = 0.66, EE = 0.82, A_3 = -0.33, B_0 = 1.2, A_0 = -0.6$.

Family 2: Let $\mu \neq 0, \lambda^2 - 4\mu < 0$, the solution of Eq. (1) is found by

$$U_{1,2}(x, t) = \frac{((k(\lambda^2 - 4\mu - 2\mu\psi) \sin[\vartheta\psi])}{(\lambda^2 - 2\mu + 2\mu \cos[\vartheta\psi])}. \tag{26}$$

where, $\xi = kx + ry - c \frac{t^\theta}{\theta}, \vartheta = EE + \xi, \psi = \sqrt{-\lambda^2 + 4\mu}$.

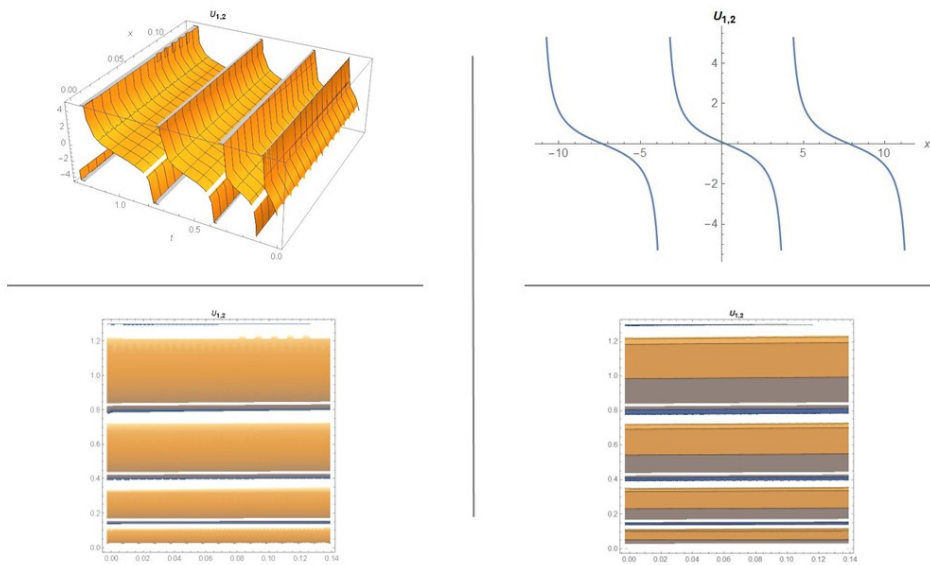


Figure 2. 2D, 3D, Density, Contour Graphs of Equation (25) at $\lambda = 1, \mu = 3, \theta = 0.5, y = 0.1, \beta = 1.3, \alpha = 1.35, t = 1, k = 0.25, r = 0.75, c = 3.70313, A_1 = -1.59, A_2 = -0.93, B_1 = 0.66, EE = 0.82, A_3 = -0.33, B_0 = 1.2, A_0 = -1.8$.

Family 3: Let $\mu = 0, \lambda \neq 0, \lambda^2 - 4\mu < 0$, the solution of Eq. (1) is obtained by

$$U_{1,3}(x, t) = \left(k\lambda \coth \left[\frac{1}{2} \vartheta \right] \lambda \right), \tag{27}$$

where, $\xi = kx + ry - c \frac{t^\theta}{\theta}, \vartheta = EE + \xi$.

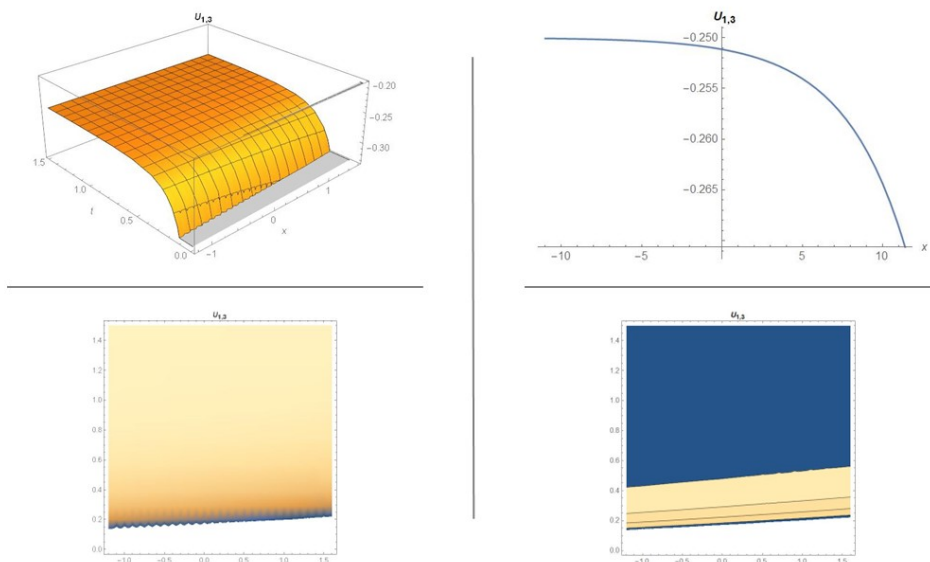


Figure 3. 2D, 3D, Density, Contour Graphs of Equation (26) at $\lambda = 1, \mu = 0, \theta = 0.5, y = 0.1, \beta = 1.3, \alpha = 1.35, k = 0.25, r = 0.75, c = 3.48678, t = 1, A_1 = -0.6, A_2 = -0.93, B_1 = 0.66, EE = 0.82, A_3 = -0.33, B_0 = 1.2, A_0 = 0$.

Family 4: Let $\mu \neq 0, \lambda \neq 0, \lambda^2 - 4\mu = 0$, the solution of Eq. (1) is acquired by

$$U_{1,4}(x, t) = \left(\frac{1}{2}k \left(\frac{4\lambda}{2 + \vartheta\lambda} + \lambda(2 + \vartheta\lambda) - 4\xi\mu \right) \right), \tag{28}$$

where, $\xi = kx + ry - c \frac{t^\vartheta}{\vartheta}, \vartheta = EE + \xi$.

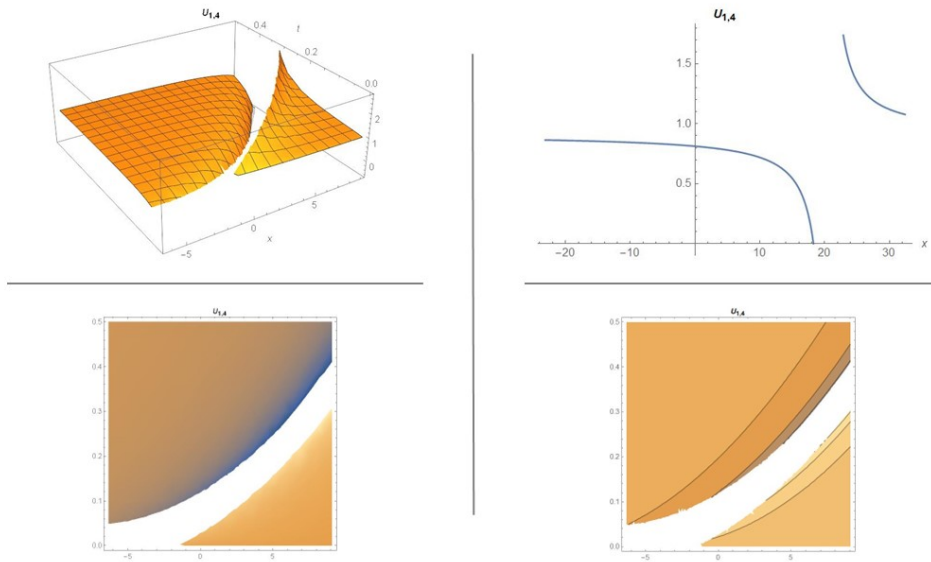


Figure 4. 2D, 3D, Density, Contour Graphs of Equation (27) at $\lambda = 2, \mu = 1, \theta = 0.5, y = 0.1, \beta = 1.3, \alpha = 1.35, k = 0.25, r = 0.75, c = 3.50481, A_1 = -1.53, A_2 = -1.26, B_1 = 0.66, EE = 0.82, A_3 = -0.33, B_0 = 1.2, A_0 = -0.60$.

Family 5: Let $\mu = 0, \lambda = 0, \lambda^2 - 4\mu = 0$, the solution of Eq. (1) is found by

$$U_{1,5}(x, t) = \frac{2k}{\vartheta}, \tag{29}$$

where, $\xi = kx + ry - c \frac{t^\vartheta}{\vartheta}, \vartheta = EE + \xi$.

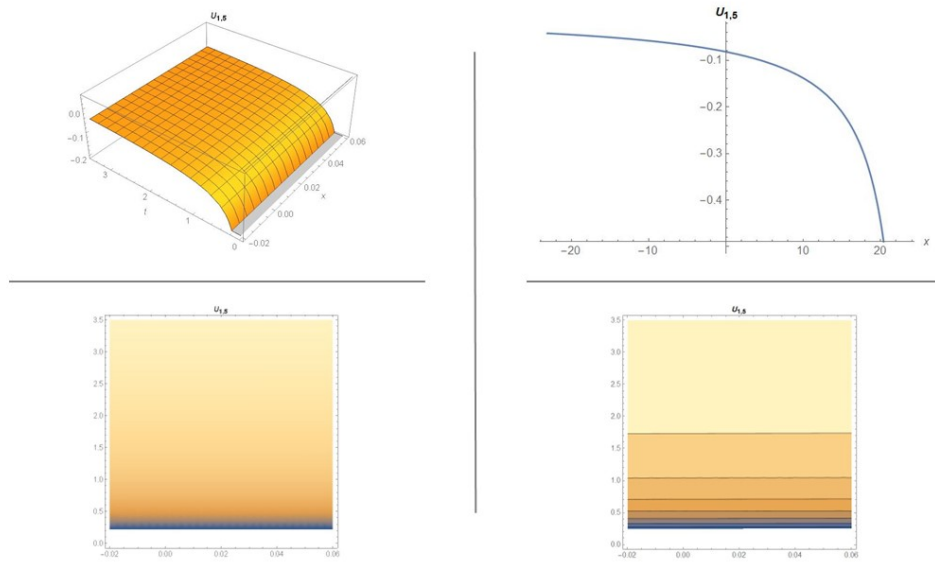


Figure 5. 2D, 3D, Density, Contour Graphs of Equation (28) at $\lambda = 0, \mu = 0, \theta = 0.5, y = 0.1, \beta = 1.3, \alpha = 1.35, k = 0.25, r = 0.75, c = 3.50481, A_1 = 0, A_2 = -0.6, B_1 = -1.1, EE = 0.82, A_3 = -0.33, B_0 = 1.2, A_0 = 0$.

Case-2:

$$A_0 = -\frac{1}{3}k(\lambda^2 + 2\mu)B_0,$$

$$A_1 = -\frac{1}{3}k(6\lambda B_0 + (\lambda^2 + 2\mu)B_1),$$

$$A_2 = -2k(B_0 + \lambda B_1),$$

$$A_3 = -2k B_1,$$

$$c = \frac{r^3\alpha + k^4r(\lambda^2 - 4\mu)}{2k^2\beta}$$

When these coefficients are put into Equation (23), the following solutions are found:

Family 1: Let $\mu \neq 0, \lambda^2 - 4\mu > 0$, the solution of Eq. (1) is found by

$$U_{2,1}(x, t) = \left(\frac{1}{3}k(\lambda^2 - 4\mu) \left(-\vartheta + \frac{3\lambda}{\lambda^2 - 2\mu + 2\mu \cosh[\vartheta\Phi]} \right) + \frac{2k\Phi\mu \sinh[\vartheta\Phi]}{\lambda^2 - 2\mu + 2\mu \cosh[\vartheta\Phi]} \right), \quad (30)$$

where, $\xi = kx + ry - c \frac{t^\theta}{\theta}, \vartheta = EE + \xi, \Phi = \sqrt{\lambda^2 - 4\mu}$.

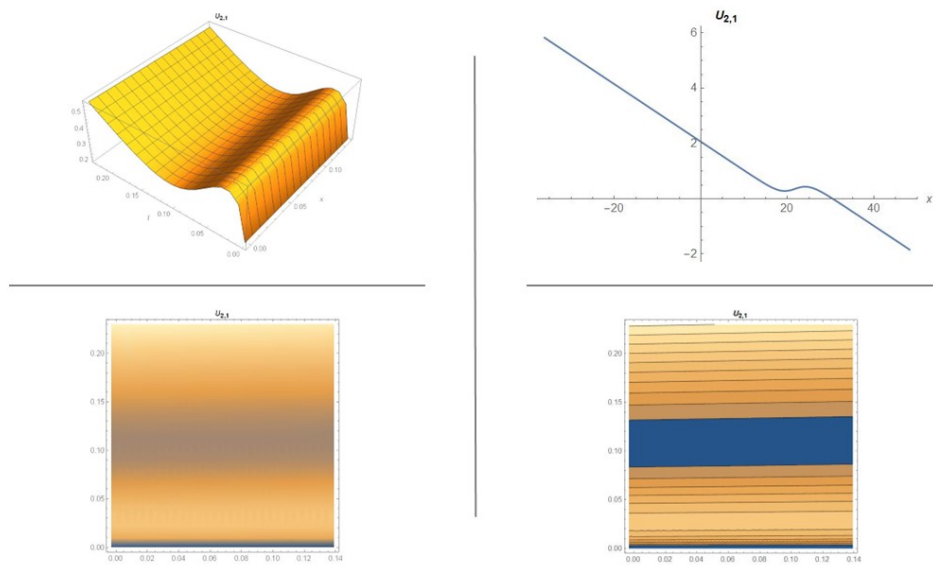


Figure 6. 2D, 3D, Density, Contour Graphs of Equation (29) at $\lambda = 3, \mu = 1, \theta = 0.5, y = 0.1, \beta = 1.3, \alpha = 1.35, k = 0.25, r = 0.75, c = 3.59495, A_1 = -2.405, A_2 = -1.59, B_1 = 0.66, EE = 0.82, A_3 = 1.6, B_0 = 1.2, A_0 = -1.1$.

Family 2: Let $\mu \neq 0, \lambda^2 - 4\mu < 0$, the solution of Eq. (1) is obtained by

$$U_{2,2}(x, t) = \left(\frac{1}{3} k(\lambda^2 - 4\mu) \left(-\vartheta + \frac{3\lambda}{\lambda^2 - 2\mu + 2\mu \cosh[\vartheta \zeta]} \right) + \frac{2k\zeta \mu \sinh[\vartheta \zeta]}{\lambda^2 - 2\mu + 2\mu \cosh[\vartheta \zeta]} \right). \quad (31)$$

where, $\xi = kx + ry - c \frac{t^\theta}{\theta}, \vartheta = EE + \xi, \zeta = \sqrt{-\lambda^2 + 4\mu}$.

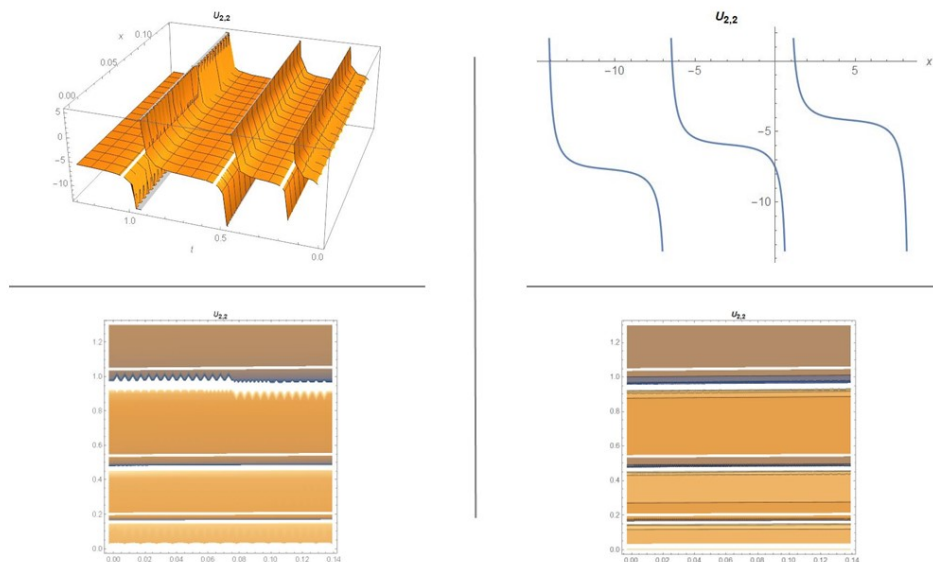


Figure 7. 2D, 3D, Density, Contour Graphs of Equation (30) at $\lambda = 1, \mu = 3, \theta = 0.5, y = 0.1, \beta = 1.3, \alpha = 1.35, k = 0.25, r = 0.75, c = 3.30649, A_1 = -0.985, A_2 = -0.93, B_1 = 0.66, EE = 0.82, A_3 = -0.33, B_0 = 1.2, A_0 = -0.7$.

Family 3: Let $\mu = 0, \lambda \neq 0, \lambda^2 - 4\mu < 0$, the solution of Eq. (1) is found by

$$U_{2,3}(x, t) = -\frac{1}{3}k\vartheta\lambda^2 + k\lambda\coth\left[\frac{1}{2}\vartheta\lambda\right]. \tag{32}$$

where, $\xi = kx + ry - c\frac{t^\theta}{\theta}, \vartheta = EE + \xi$.

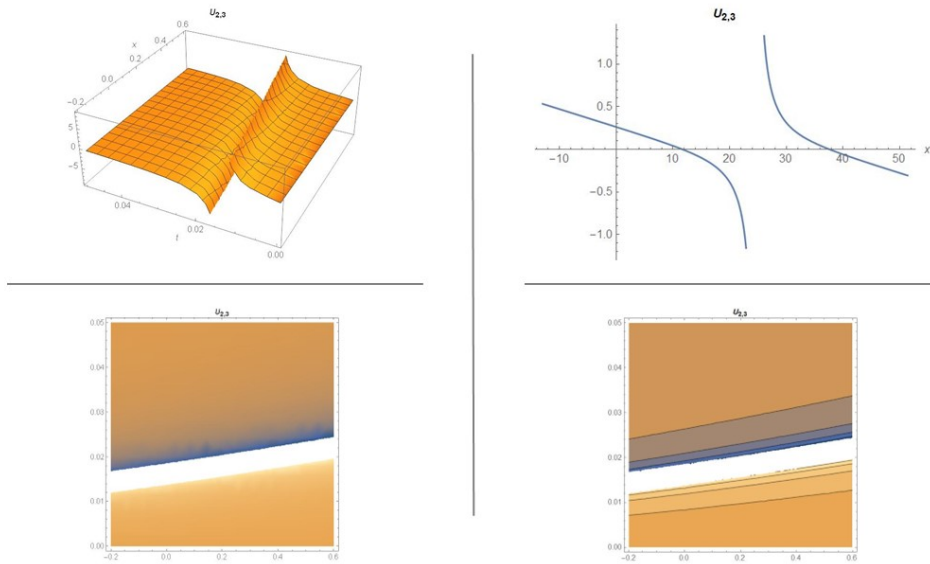


Figure 8. 2D, 3D, Density, Contour Graphs of Equation (31) at $\lambda = 1, \mu = 0, \theta = 0.5, y = 0.1, \beta = 1.3, \alpha = 1.35, k = 0.25, r = 0.75, c = 3.52284, A_1 = -0.655, A_2 = -0.93, B_1 = 0.66, EE = 0.82, A_3 = -0.33, B_0 = 1.2, A_0 = -0.1$.

Family 4: Let $\mu \neq 0, \lambda \neq 0, \lambda^2 - 4\mu = 0$, the solution of Eq. (1) is acquired by

$$U_{2,4}(x, t) = \left(\frac{1}{6}k \left(\frac{12\lambda}{2 + \vartheta\lambda} + \lambda(2 + \vartheta\lambda) - 4\xi\mu \right) \right). \tag{33}$$

where, $\xi = kx + ry - c\frac{t^\theta}{\theta}, \vartheta = EE + \xi$.

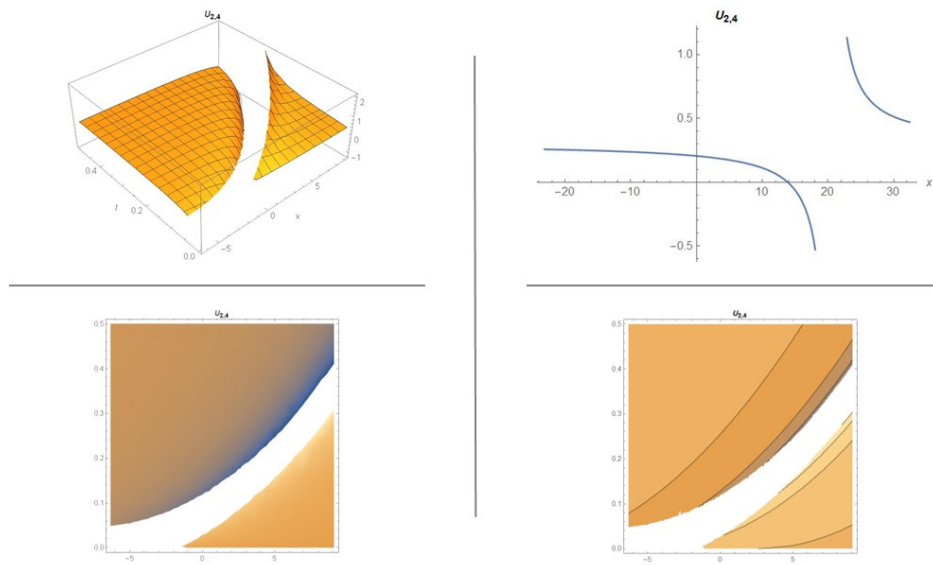


Figure 9. 2D, 3D, Density, Contour Graphs of Equation (32) at $\lambda = 2, \mu = 1, \theta = 0.5, y = 0.1, \beta = 1.3, \alpha = 1.35, k = 0.25, r = 0.75, c = 3.50481, A_1 = -1.53, A_2 = -1.26, B_1 = 0.66, EE = 0.82, A_3 = -0.33, B_0 = 1.2, A_0 = -0.60$.

Family 5: Let $\mu = 0, \lambda = 0, \lambda^2 - 4\mu = 0$, the solution of Eq. (1) is found by

$$U_{2,5}(x, t) = \frac{2k}{\vartheta} \tag{34}$$

where, $\xi = kx + ry - c \frac{t^\theta}{\theta}, \vartheta = EE + \xi$.

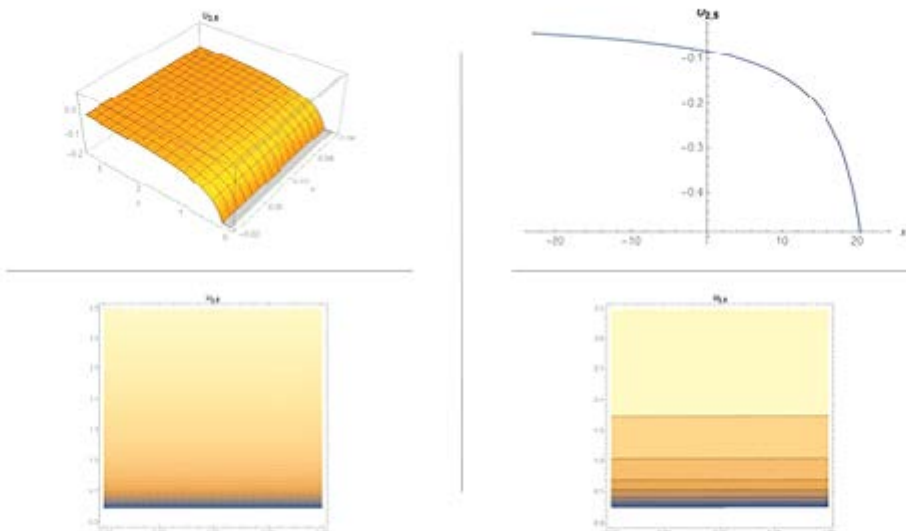


Figure 10: 2D, 3D, Density, Contour Graphs of Equation (33) at $\lambda = 0, \mu = 0, \theta = 0.5, k = 0.25, A_3 = -0.33, \alpha = 1.35, \beta = 1.3, B_0 = 1.2, A_0 = 0, c = 3.50481, A_1 = 0, A_2 = -0.6, B_1 = 0.66, EE = 0.82, y = 0.1, r = 0.75$.

Conclusion

Lastly, we demonstrated how to acquire the traveling wave solutions of the CDJKME via the MEFM. In the paper, we acquired traveling wave solutions of the CDJKME by utilizing MEFM. In Mathematica software, we obtain the traveling wave solutions of the CDJKME. The 2D,3D plots, density and contour surface graphs of the traveling wave solutions by choosing the proper parameters have been plotted in program. Based on our accomplishments, we can assert that our findings have made a substantial contribution to this field. The proposed method is highly efficient in obtaining the analytical solutions of such NPDEs. It is observed that the method is applicable to a wide range of difficult nonlinear models in applied mathematics, engineering, and physics, such as the Landau-Ginzburg-Higgs equation, Klein-Gordon equation and Duffing equation.

Author Contribution

All authors read and approved the final manuscript.

Ethics Statement

There are no ethical issues with the publication of this article.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

ORCID

Tolga Aktürk  <https://orcid.org/0000-0002-3948-6357>

Aslı Alkan  <https://orcid.org/0000-0002-1036-7178>

Hasan Bulut  <https://orcid.org/0000-0002-6089-1517>

Nesrin Güllüoğlu  <https://orcid.org/0000-0002-0057-8158>

References

- Abdel-Gawad, H. I., & Osman, M. S. (2013). On the variational approach for analyzing the stability of solutions of evolution equations. *Kyungpook mathematical journal*, 53(4), 661-680. <http://dx.doi.org/10.5666/KMJ.2013.53.4.680>
- Abdeljawad, T. (2015). On conformable fractional calculus. *Journal of computational and Applied Mathematics*, 279, 57-66. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2014.10.016>
- Akturk, T., Bulut, H., & Gurefe, Y. (2017). An application of the new function method to the Zhiber-Shabat equation. *An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications*, 7(3), 271-274. <https://doi.org/10.11121/ijocta.01.2017.00488>
- Baskonus, H. M., & Bulut, H. (2015). New hyperbolic function solutions for some nonlinear partial differential equation arising in mathematical physics. *Entropy*, 17(6), 4255-4270. <https://doi.org/10.3390/e17064255>
- Baskonus, H. M., Bulut, H., & Atangana, A. (2016). On the complex and hyperbolic structures of the longitudinal wave equation in a magneto-electro-elastic circular rod. *Smart Materials and Structures*, 25(3), 035022. <https://doi.org/10.1088/0964-1726/25/3/035022>
- Baskonus, H. M., Bulut, H., & Sulaiman, T. A. (2017). Investigation of various travelling wave solutions to the extended (2+1)-dimensional quantum ZK equation. *The European Physical Journal Plus*, 132(11), 482. <https://doi.org/10.1140/epjp/i2017-11778-y>
- Chen, Y., & Wang, Q. (2005). Extended Jacobi elliptic function rational expansion method and abundant families of Jacobi elliptic function solutions to (1+1)-dimensional dispersive long wave

- equation. *Chaos, Solitons & Fractals*, 24(3), 745-757. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2004.09.014>
- Chen, Y., & Yan, Z. (2005). New exact solutions of (2+ 1)-dimensional Gardner equation via the new sine-Gordon equation expansion method. *Chaos, Solitons & Fractals*, 26(2), 399-406. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2005.01.004>
- Dubrovsy, V. G., & Lisitsyn, Y. V. (2002). The construction of exact solutions of two-dimensional integrable generalizations of Kaup–Kuperschmidt and Sawada–Kotera equations via $\bar{\sigma}$ -dressing method. *Physics Letters A*, 295(4), 198-207. [https://doi.org/10.1016/S0375-9601\(02\)00154-8](https://doi.org/10.1016/S0375-9601(02)00154-8)
- Duran, S. (2020). Exact solutions for time-fractional Ramani and Jimbo–Miwa equations by direct algebraic method. *Advanced Science, Engineering and Medicine*, 12(7), 982-988. <https://doi.org/10.1166/ asem.2020.2663>
- Duran, S. (2021a). Dynamic interaction of behaviors of time-fractional shallow water wave equation system. *Modern Physics Letters B*, 35(22), 2150353. <https://doi.org/10.1142/S021798492150353X>
- Duran, S. (2021b). An investigation of the physical dynamics of a traveling wave solution called a bright soliton. *Physica Scripta*, 96(12), 125251. <https://doi.org/10.1088/1402-4896/ac37a1>
- Gözütok, N.Y., & Gözütok, U. (2018). Multivariable conformable fractional calculus. *Filomat*, 32(2), 45-53. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1701.00616>
- Guo, F., & Lin, J. (2019). Interaction solutions between lump and stripe soliton to the (2+ 1)-dimensional Date–Jimbo–Kashiwara–Miwa equation. *Nonlinear Dynamics*, 96, 1233-1241. <https://doi.org/10.1007/s11071-019-04850-9>
- Hossain, A. K. S., & Akbar, M. A. (2017). Closed form solutions of two nonlinear equation via the enhanced (G'/G)-expansion method. *Cogent Mathematics*, 4(1), 1355958. <https://doi.org/10.1080/23311835.2017.1355958>
- Ismael, H. F., Seadawy, A., & Bulut, H. (2021). Rational solutions, and the interaction solutions to the (2+ 1)-dimensional time-dependent Date–Jimbo–Kashiwara–Miwa equation. *International Journal of Computer Mathematics*, 98(12), 2369-2377. <https://doi.org/10.1080/00207160.2021.1897112>
- Jafari, H., Kadkhoda, N., & Baleanu, D. (2015). Fractional Lie group method of the time-fractional Boussinesq equation. *Nonlinear Dynamics*, 81, 1569-1574. <https://doi.org/10.1007/s11071-015-2091-4>
- Jianming, L., Jie, D., & Wenjun, Y. (2011). Bäcklund transformation and new exact solutions of the Sharma-Tasso-Olver equation. *Abstract and Applied Analysis*, 2011, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2011/935710>
- Khalil, R., Al Horani, M., Yousef, A., & Sababheh, M. (2014). A new definition of fractional derivative. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 264, 65-70. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2014.01.002>
- Kubal, Ç., & Aktürk, T. (2023). Investigation of traveling wave solutions of nonlinear mathematical models by the modified exponential function method. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25(2), 575-598. <https://doi.org/10.25092/baunfbed.1244878>
- Kumar, A., & Pankaj, R. D. (2015). Tanh–coth scheme for traveling wave solutions for Nonlinear Wave Interaction model. *Journal of the Egyptian Mathematical Society*, 23(2), 282-285. <https://doi.org/10.1016/j.joems.2014.05.002>
- Lü, D. (2005). Jacobi elliptic function solutions for two variant Boussinesq equations. *Chaos, Solitons & Fractals*, 24(5), 1373-1385. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2004.09.085>

- Malwe, B.H., Betchewe, G., Doka, S.Y., & Kofane, C.T. (2016). Travelling wave solutions and soliton solutions for the nonlinear transmission line using the generalized Riccati equation mapping method. *Nonlinear Dynamics*, 84, 171–177. <https://doi.org/10.1007/s11071-015-2318-4>
- Mohyud-Din, S. T., & Noor, M. A. (2007). Homotopy perturbation method for solving fourth-order boundary value problems. *Mathematical Problems in Engineering*, 2007. <http://doi.org/10.1155/2007/98602>
- Naher, H., & Abdullah, F. A. (2013). New approach of (G'/G) -expansion method and new approach of generalized (G'/G) -expansion method for nonlinear evolution equation. *American Institute of Physics Advances*, 3(3), 032116. <https://doi.org/10.1016/j.joems.2014.03.005>
- Salas, A. H., & Gómez S, C. A. (2010). Application of the Cole-Hopf transformation for finding exact solutions to several forms of the seventh-order KdV equation. *Mathematical Problems in Engineering*, 2010, 194329. <https://doi.org/10.1155/2010/194329>
- Shen, G., Sun, Y., & Xiong, Y. (2013). New travelling-wave solutions for Dodd-Bullough equation. *Journal of Applied Mathematics*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/364718>
- Xu, F. (2008). Application of Exp-function method to symmetric regularized long wave (SRLW) equation. *Physics Letters A*, 372(3), 252-257. <https://doi.org/10.1016/j.physleta.2007.07.035>

Bina İnşaatı Yapım Süreçlerinin Denetim ve Nitelik Yönünden Analizi, Deprem Bölgesi Örneği

Arif Hikmet Çakoğlu¹ 

¹Sinop Üniversite, Boyabat İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Gayrimenkul Geliştirme ve Yönetimi Bölümü, Sinop

Geliş Tarihi / Received Date: 01.08.2023

Kabul Tarihi / Accepted Date: 27.03.2024

Öz

Ülkemiz gelişmekte olan ve genç nüfusunun fazla olması nedeniyle inşaat sektöründe talep sürekliliği devam etmektedir. Bununla beraber gerek mevcut gerekse devam etmekte olan bina inşaatı yapım süreçlerinde denetim ve nitelik yönünden hatalar ile karşılaşmaktadır. Meydana gelen 6 Şubat 2023 tarihli Kahramanmaraş merkezli depremlerde oluşan büyük hasarların bir bölümünün bahse konu süreçlerdeki hatalardan kaynaklı olabileceği özellikle Şanlıurfa'nın Bozova ve Siverek ilçeleri ile Adıyaman'ın Gölbaşı ilçelerinde yapılan gözlemsel incelemelerimizden anlaşılmaktadır. Yapı sektörünün tasarım aşamalarından, uygulama ve denetleme süreçlerine kadar yer alan mimar ve mühendislerin, yapı denetim yönetmeliğinde tanımlanmış olan görev ve yetkilerinde liyakat ve tecrübenin daha öncelikli olması gerektiği görülmüştür. Ayrıca, konut ve apartman gibi barınma amaçlı yapılarda mimari projelerde sadece mimarların değil ilave olarak inşaat mühendislerine de yetki verilmesinin tasarım-statik uyumluluğu için önem arz ettiği bu çalışmada vurgulanmıştır. Ülkemizde en çok kullanılan 4734 sayılı Kamu İhale Kanunu'nun, önceki ihale yasasına göre daha fazla nitelik ve kaliteli yapım amaçlamasına rağmen yönetmeliklerdeki bazı düzenlemelerde, bu amacın uzağında sonuçların ortaya çıkabileceği gibi durumlara neden olabileceği de yapılan incelemelerden görülmektedir. Sadece diploma sahipliğinin; yapım işlerindeki yoğunluk dikkate alınarak müteahhit ve/veya nitelikli teknik eleman olabilmek için yeterli görülmeceği, nitelik ve tecrübe esaslı kriterlere dayalı yeni düzenlemelere ihtiyaç bulunmaktadır. Unutulmamalıdır ki ülkemizin nüfus ve sanayi bakımından önemli bir bölümü 1. Derece deprem bölgesindedir ve bu bölgeler başta olmak üzere doğru yapım sürecinin başta teknik elemanlar düzeyinde olmak üzere yeniden yapılandırılması gelecek nesiller için büyük önem arz etmektedir.

Anahtar kelimeler: yapı denetim, statik, tasarım, deprem

Analysis of Building Construction Processes in Terms of Control and Quality, Example of Earthquake Zone

Abstract

Due to the fact that our country is developing and has a large young population, demand continuity continues in the construction sector. However, errors in terms of inspection and quality are encountered in both existing and ongoing building construction processes. It is understood from our observational studies carried out especially in Bozova and Siverek districts of Şanlıurfa and Gölbaşı districts of Adıyaman that some of the major damages in the Kahramanmaraş-centered earthquakes dated February 6, 2023 may be caused by errors in the said processes. It has been observed that merit and experience should be a priority in the duties and powers of architects and engineers, who are involved in the construction industry from the design stages to the application and inspection processes, as defined in the building inspection regulation. In addition, it is emphasized in this study that authorizing not only architects but also civil engineers in architectural projects in residential buildings such as houses and apartments is important for design-static compatibility. Although the Public Procurement Law No. 4734, which is the most used in our country, aims for more quality and quality construction than the previous tender law, it is seen from the examinations that some regulations in the regulations may lead to situations that are far from this purpose. Only diploma possession; Considering the intensity of construction works, new regulations are needed based on qualification and experience-based criteria, which will not be considered sufficient to become a contractor and/or qualified technical personnel. It should not be forgotten that a significant part of our country in terms of population and industry is in the 1st Degree earthquake zone, and restructuring the correct construction process in these regions, especially at the technical staff level, is of great importance for future generations.

Keywords: building control, static, design, earthquake

Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Arif Hikmet Çakoğlu  acakoglu@sinop.edu.tr

Giriş

Türkiye'nin 1999 yılında maruz kaldığı iki büyük Marmara depreminden sonra bina yapım süreçlerinde iyileşmeler başlamıştır. Ancak, daha öncesinde artan nüfus, ekonomik gelişmeler, arz-talep dengesini de etkileyerek, konut sahibi olmak bir "yatırım aracı" olarak görülmeye başlanmasıyla yapı üretenlerin sayısı da oldukça artmıştır. Ülkemizdeki toplam müteahhit sayısı tüm Avrupa Birliği'ne üye 27 ülkedeki müteahhit sayısının 10 katını geçmiştir (Tezel, 2017). Konut ya da bina inşaatı yapmanın kazançlı bir alan olarak görülmesi, bu sektörde imalat yapanlar arasında da nitelik ve yapım kalitesi bakımından da zaaf oluşmasına neden olmuştur. Bunun en bariz sonuçları olarak deprem kuşağında olduğumuz tüm yapı sektörü elemanlarınca bilinmesine rağmen depremlerde can ve mal kayıplarının fazla olması gösterilebilir. İlave olarak metropol şehirlerimizde bazen haber konusu da olan 20-25 yaşlarındaki binaların taşıyıcı elemanlarında çatlakların görülmesi, kullanılan kalitesiz beton, dahası 2004 yılında dükkan katındaki kolonların kesilmesi nedeniyle kendiliğinden çöken ve 92 kişinin hayatını kaybettiği Konya Merkez'deki Zümrüt Apartmanı örnekleri deprem olmaksızın oluşan olumsuz durumlardır. Son yıllarda, ilgili bakanlık tarafından yapı denetimine dair ciddi tedbirlerin alındığı yönetmelikler yürürlüğe konmuştur. Ancak, yapı denetim firmalarında görev yapan, özellikle denetim konusunda daha fazla sorumluluğa sahip olanlar, başta inşaat mühendisleri olmak üzere teknik elemanların yeterli liyakate sahip olmalarını gerekmektedir.

Ülkemizde 1980'li yılların ortasından itibaren yerel idarelerin imar işlerindeki yetkileri 3194 sayılı İmar Kanunu ile güçlendirilmiştir. Özellikle 8. Madde ile belediyelere ve valiliklere imar planlarını hazırlama ve onaylama yetkisi verilmiştir. 6360 sayılı Büyükşehir yasası ile de, köylerin tüzel kişilikleri kaldırılarak kentlerin birer mahallesi haline getirilmiştir. Nüfusu 2000'den az olan belde belediyeleri de kapatılmıştır (Resmi Gazete, 2012). Vatandaşın merkezi idareye bağımlılığını azaltmayı, sunulan hizmetlerde daha geniş ölçekte planlama yapılması amaçlanmıştır (Kalağan, 2018). Bu yasa ile kırsalda yer alan mera, otlak, sulak alanlar da kamu arazisi haline dönüştürülmüştür. Her ne kadar bazı vergi ve düzenlemeler için 5 yıl muafiyet getirilmiş olsa da bu sürenin sonunda ilgili yerel idareler tarafından önce arsa daha sonra da yapılaşmaya açık hale getirilebileceğinden, inşaat sektöründe faaliyet gösteren kişi/firmalar için de cazip olacaktır. Ayrıca, belediyeler kent imar planlarını İller Bankasına (İlbank) verdikleri yetki üzerinden de yaptırabilmektedirler (Baba, 2016). Belediyelerin seçilmiş üyelerden oluşturulan belediye meclislerinin en önemli görevlerinden biri de farklı ölçeklerde (1/25.000-1/5.000-1/2.000-1/1.000) imar planları konularında karar alabilmeleridir. Çünkü bu imar planları şehrin gelecek yıllardaki yerleşimine ve iskân alanları oluşturulmasının temelini teşkil etmektedir. Bu planların hazırlık aşamasında konunun teknik boyutunun yanında rant-kamu yararı-etik-yargı ve siyaset gibi başka faktörlerde rol oynamaktadır (Güneş ve Uzunay, 2017).

Kırsaldan şehirlere göçlerin artması belediyelerin yeni iskân alanları açmalarına sebep olmuştur. Yapılaşma sürecindeki hızlı artış ile beraber inşaat sektöründe faaliyet gösteren kişi ya da kurumlar da haliyle artmış ve müteahhitlik önemli bir kazanç alanı haline gelmiştir. Bütün bu hızlı kentleşme sürecinde, yapı sektöründekilerin yetkinliği konusunda ya da yapılan işlerin kalitesi ve denetlenebilirliği yeterince önemsenmemiştir. Özellikle 2008 sonrası yapı denetim kanunu ve yönetmelikleri çıkarılıp ilerleyen yıllarda uygulamada görülen aksaklıklara değişiklikler ile güncellemeler yapılmıştır.

Depremlerde ortaya çıkan yıkık binaların sebepleri olarak; depreme dayanıklı rijit yapı tasarımının sağlanamaması, dayanım, süneklik ve enerjiyi absorbe etme gücü özelliklerinin yeterli bir şekilde hesaplara dâhil edilememesi söylenebilir. Dayanım, özellikle beton kalitesi ile çelik donatının yeterli miktarda ve doğru işçiliğin en iyi biçimde uygulanması ile elde edilir. Deprem, ani olarak gelen ve binaların temelinden etkileyen yatay yüküdür. Yapıların statüğünü etkileyen ve ivmeden kaynaklı bu beklenmeyen yüklerin, deprem beklenen şehirlerde önceden doğru belirlenmesi ve göz önünde tutulması gerekir. Yapıyı etkileyen kuvvetlere bağımlı olarak yapının muhtemel davranışı ve yapının türüne göre önce mimari ardından statik tasarımına karar verilir. Yapıların düşük oranda hasar görmesi ihtimali öncelikli olarak ele alınırsa, işçilik ve malzeme kalitesi ile birlikte yapı maliyeti de artacaktır.

Büyük bir bölümü deprem kuşağında olan ülkemizde daha fazla acılar yaşanmaması için, yapım süreçlerinde görev alan tüm bireylerin yüklenici-teknik eleman-işçi olarak tecrübe ve liyakat bakımından yeterli düzeyde olmalarını gerektirmektedir. Ayrıca, kamu kurumları tarafından yapılacak düzenlemelerde, uygulama ve denetim konularına yönelik yönetmeliklerde koşullar gereği değişiklikler yapılması da normal görülmelidir.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, Kahramanmaraş merkezli depremlerden etkilenen Şanlıurfa'nın Bozova ve Siverek ilçeleri ile Adıyaman'ın Gölbaşı ilçesinde gözlemsel tespitler yapılmıştır. Söz konusu şehirlerde hasarlı binalar ile 6 Şubat 2023 tarihi itibarıyla yapım süreci durdurulan tamamlanmamış binalardaki özellikle denetim ve işçilik kaynaklı hataların varlığı yerinde incelenmiştir.

Yapı Denetim Yönetmeliğinin yürürlüğe girmesi ve değişik zamanlarda yapılan düzenlemeler ile denetim elemanlarının sorumlulukları ayrıca son depremlerden sonra Planlı Alanlar İmar Yönetmeliğinde yapılan değişiklikler ile teknik eleman yetkilerindeki değişiklikler ele alınmıştır.

Mimarlar ile inşaat mühendislerinin görev tanımları her ne kadar yakın ise de, mimari tasarım ve statik çözüm konusunda farklı tercihlerin bazen yapı güvenliğindeki riski artırabileceği ifade edilmeye çalışılmıştır. Mimarların, yasal haklarından dolayı yararlandığı mimari projeleri imzalamalarının - sadece konut amaçlı yapılar için- inşaat mühendislerine de bu hakkın verilmesinin dayanım ve dayanıklılık öneminden dolayı ilgili Kanun kapsamında yorumlanmaya çalışılmıştır.

Ülkemizde gerek özel sektörde gerekse kamu ihalelerine katılan oldukça fazla yüklenici/müteahhit bulunmaktadır. Son depremlerde meydana gelen can ve mal kayıpları sonrası yapı alanında faaliyet gösteren iş insanları ile proje, denetim ve uygulama aşamalarında görev yapan teknik personelin yetkinliklerinin de nitelik bakımından tekrar ele alınması gerekliliği; yüklenici belgesine sahip olma, doğrudan temin ve yapılan ihale sayıları rakamları ile açıklanmaya çalışılmıştır. Bu konuda, halen yürürlükte olan ve en çok kullanılan 4734 sayılı Kamu İhale Kanunu ve Yapım İşleri Uygulama Yönetmeliği ile beraber Yapı Denetim Yönetmeliği kapsamında analiz ve değerlendirmeler yapılmıştır.

Bulgular

Türkiye'de Kahramanmaraş merkezli 6 Şubat 2023 tarihli 7,7 ve 7,6 büyüklüğündeki depremler başta Kahramanmaraş, Hatay ve Adıyaman olmak üzere 10 il ve ilçelerde yıkıcı sonuçlara sebep olmuştur. Ülkemizde mevcut yapıların çok büyük bölümünün sırasıyla 1975, 1997, 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine göre inşaa edildiği bilinmektedir. Ancak, yapım süreçlerinde kalite ve niteliğin öne çıkarılması amacıyla Yapı Denetim Uygulama Yönetmelikleri de düzenlenerek binayı yaptıran ile denetleyen arasındaki ilişkinin bu süreçleri suistimal etmesinin önlenmesi hedeflenmiştir. Son olarak yapılan ve 01.01.2019 tarihinden itibaren yürürlükte olan değişiklikler ile yapı denetim firmalarından teşkil edilen "havuz sistemi" ile bina yaptıranlar artık denetleyici firmaları kendileri değil valiliklere bağlı çevre, şehircilik ve iklim değişikliği il müdürlükleri belirlemektedirler. Bu çalışmada, başta bina yapım sürecinde karşılaşılan denetim elemanlarının yeterliliği konusu gözlemsel örnekler ile ifade edilmiştir. Binaların tasarım aşamalarında karşılaşılabilen uyumsuzluklara karşı öneride bulunulmuştur. Ayrıca, müteahhitlik yapabilme kriterlerinin yeniden belirlenmesi gerektiği yönünde tavsiyeler aşağıdaki başlıklar altında verilmiştir.

Mimar-Mühendis Yetki ve Sorumluluk Alanlarında Düzenleme

Tüm betonarme yapılarda bilindiği üzere mimari projelerde mimar ünvanlı teknik eleman imzası zorunludur. Mimari projeler, binanın kat planlarının da yer aldığı kesit ve dış görünüşlerden ibaret olup zaman zaman özellikle statik-betonarme projeleri yapan mühendislerle aralarında bilhassa taşıyıcı elemanların konumlandırılmasında anlaşmazlıklar çıkabilmektedir. Mimarlar tasarım üzerine odaklanıp görselliği ve estetiği öncelikle ele alırken, mühendisler için yapının uzun ömürlü olması, can güvenliği ve genel itibarıyla sağlık daha fazla önem arz eder.

Planlı Alanlar İmar Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, 12 Mayıs 2023 tarihli Resmi Gazete’de yayınlanarak 1 Temmuz 2023 tarihi itibarıyla yürürlüğe girmiştir. Buna göre, inşaat mühendisleri ve mimarlar başta olmak üzere teknik elemanların yetkilerinde tecrübeye dayalı yeni düzenlemelerle kısıtlamalar getirilmiştir. Yeni mezun inşaat mühendisleri, en çok 4 katlı(dahil) binaların proje müellifliğini üstlenebilirken, 5-7 kat arası statik proje müellifliği için asgari 3 yıl tecrübe, daha önce ruhsatı alınmış 10.000 m² inşaat alanı ile en az 4 proje müellifliğine sahip olma şartı getirilmiştir. Benzer durumlar, 8-15 arası katlı binalar ile 15 kat üzeri binalar için de tecrübe, daha önce bitirilen toplam inşaat alanı ile projelendirilme süreci tamamlanmış yapı sayıları artırılarak ilgili yönetmelikte açıklanmıştır(Yönetmelik, 2013).

Aynı yönetmelikte mimarlar için de; nüfusu 50.000 ve üzeri olan belediyelerde halkın genelinin kullanımına açık olan resmi binalar, ibadet yerleri, eğitim, sağlık tesisleri, kültürel binalar, eğlence yapıları, konaklama amaçlı binalar, alışveriş merkezleri, ulaştırma istasyonları, iş hanı, büro, pasaj, çarşı gibi ticari yapılar ile merkezi iş alanları ve idaresince bu kapsamda olduğu değerlendirilen yapıların mimari proje müellifliğini yapabilmek için asgari 5 yıl tecrübe, daha önce ruhsatı alınmış toplam kullanım alanı 10.000 m² ve 4 farklı yapının proje müellifliğinde aktif olarak yer alma şartları getirilmiştir. Son yönetmelikteki değişiklikler şüphesiz ülke genelindeki yapılaşma alanında görülen aksaklıklar ya da sorunlar üzerine alınmış, proje müellifliğine haiz teknik elemanlarda nitelik ve tecrübenin arandığı daha sağlam yapıların üretilmesine yöneliktir.

5846 sayılı Fikri ve Sanat Eserleri Kanunu’nun “Fikir ve sanat eserlerinin çeşitleri” başlıklı ‘İlim ve edebiyat eserleri’ sıralanırken 2/3. Maddesinde “Bedii vasfı bulunmayan her nevi teknik ve ilmi mahiyette fotoğraf eserleriyle, her nevi haritalar, planlar, projeler, krokiler, resimler, coğrafya ve topoğrafyaya ait maket ve benzerleri, her çeşit mimarlık ve şehircilik tasarım ve projeleri, mimari maketler, endüstri, çevre ve sahne tasarım ve projeleri.” İfadesi bulunmaktadır. Yine, “Güzel sanat eserleri” başlığı altında ise (güzel sanat eserleri, estetik değere sahip olan) 4/3. Maddesinde Mimarlık eserleri yer almaktadır. Adı geçen Kanun’da farklı başlıklar altında yer alan mimari projeler ile mimari eserlerin koruma kapsamında da değerlendirilmeleri yine ayrıdır. Kanun’da bahsedilen “bedii vasfı” güzel, estetik değeri olan anlamını taşıırken, bu özellikleri taşımayan mimari projelerden bahsedilmektedir. Buradaki ifadelerin karşılaştırmasından mimari projelerin uygulanmasından ortaya çıkan ‘her yapının’ güzel sanat eseri olamayacağı, ancak estetik değer taşıması halinde ‘güzel sanat eseri’ olarak değerlendirilebileceği anlaşılmaktadır.

Yapılar, estetik değere sahip olmak şartıyla güzel sanat eseri olarak korunabileceğinden, bir mimarlık projesi çerçevesinde inşa edilen ve estetik değere sahip olmayan, sıradan binalar mimarlık eseri olamaz ve güzel sanat eseri olarak korunamazlar. Estetik özelliği bulunmayan bu üç boyutlu binalar sadece birer “yapıdır” (Yücel, 2015). Estetik algısı kişinin eğitim, yaş, kültür ve cinsiyeti gibi parametrelere göre değişir ve objektif kriterlere göre değerlendirme yapılması oldukça zor olabilir.

Konut, apartman, mesken gibi binaların “bedii vasfının bulunmadığı” yani göze hoş gelen, estetik özellik taşımadığı hemen herkesin bildiği bir gerçektir. Bu yapıların, Kanun’un 2/3. Maddesi doğrultusunda ‘İlim ve edebiyat eserleri’ olarak mimari projelerinin sadece mimarların uhdesinde kalması durumunda, tasarımındaki tercihler, ‘statik-betonarme hesaplamalarında zorlayıcı tercihlere’ neden olabilmektedir. Estetik ya da görünüm, statik projeye ne kadar uyumlu olursa yapının işlevsel ömrü de uzun olacaktır. Dolayısıyla, sanat eseri kapsamında yer almayan, bedii vasfından uzak (yalnız konut, mesken gibi yapılar için) mimari projelerin asgari 5-10 yıl tecrübeli inşaat mühendisleri tarafından da çizilebilmesi durumunda tasarım ile statik uyumluluk artacağından yapının maruz kalabileceği afetlerde hasar görme oranları çok düşük seviyede kalması beklenmelidir.

Ülkemizde devlet ve vakıf üniversitelerinde toplam 120 adet mimarlık, 128 adet inşaat mühendisliği bölümü bulunmaktadır (Yükseköğretim Kurulu, 2023). Türk Mühendis ve Mimar Odalarına bağlı olarak Şubat 2021 itibarıyla 130.760 inşaat mühendisi, 63.628 mimar bulunmaktadır (Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, 2021). Mimarlık bölümlerinde “yapı anabilim dalı” alanında verilen dersler, inşaat mühendisliği bölümlerinde olduğu kadar çeşitli ve detaylı değildir. Mimarlık eğitiminde mesleki

bilgiler uygulama bilinciyle verilmeli, yapılan tasarımlar öğrenci projesi olarak da uygulama projesi olarak da belli kriterlere göre değerlendirilmelidir. Yapı Bilgisi ve Malzeme Bilgisi ağırlık kazanmalıdır. Betonarme yapılar, çelik yapılar, ahşap yapılar malzeme ve taşıyıcı sistem özellikleriyle mimarlar tarafından da bilinmelidir. Depreme dayanıklı yapı tasarımı ve konuyu destekleyen bilgiler lisans ve lisansüstü seviyesinde verilmelidir (Akıncıtürk, 2003).

Bir başka mühendislik konusu da zemin etütlerinin yeterince önem verilmeden yüzeysel şekilde yapılmasıdır. Belediyeler, kendi imar mevzuatları gereğince aynı ada ve parsel içinde bina kat sayılarını belirlerken her bir parselin zemin taşıma güçlerinin farklı olabileceği ihtimaline karşın, bitişindeki binanın bulunduğu parselde göre değil ayrı bir zemin etüt raporu talep etmektedir. Ancak bazen özellikle bitişik nizam yapılarda, A binasının yanında yeni yapılacak B binasının oturacağı zemine ait etüt çalışması A binasına bakılarak yeterli çalışma yapılmadan verilebilmektedir ki, bunun en güzel örneği olarak Adıyaman Gölbaşı ilçesindeki binanın en küçük bir çatlama olmadan zemindeki sıvılaşma nedeniyle arkaya yatması gösterilebilir (Şekil 1). Halbuki, en yumuşak hatta balçık zeminlerde bile doğru tasarım ile bina yapılabilir. Bu tür taşıma gücü zayıf zeminlerde yapılacak binaların maliyeti, daha derin temel kazısı ile sağlam zemini bulma ya da fore kazık gibi çözümlerle artacaktır.



Şekil 1. Zemin Sıvılaşmasından Arkaya Yatan Bina (Adıyaman/Gölbaşı)

Yapı Denetim Firmaları-Yeni Mezunlar

Yapı Denetim Yönetmeliği ile kapalı kullanım alanları 200 m²'yi aşan binalar yapı denetim firmalarının sorumluluğunda yapılırken, özellikle statik/betonarme yani taşıyıcı sistemin sağlamlığı yönünden sorumluluğun inşaat mühendislerinde olduğu bu firmalarda görevli teknik personelin yetki sınırları da belirlenmiş ve Tablo 1'de gösterilmiştir. Kamu kurumlarının yaptırdığı binalar bilindiği üzere yapı denetim firmalarına değil kendi personelinin denetiminde tamamlanmaktadır (Yapı Denetim Uygulama Yönetmeliği, 2008).

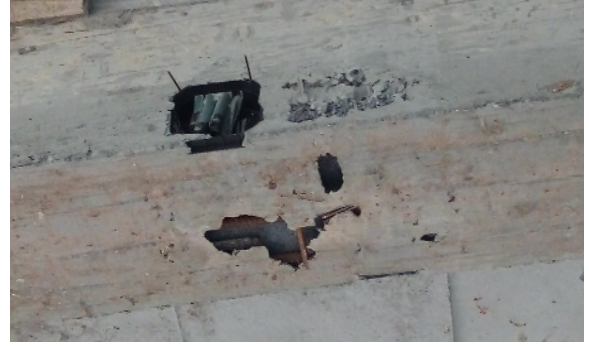
Tablo 1. Yapı Denetim Firmalarındaki Teknik Eleman Yetki Sınırları

| Teknik eleman | Denetim yetki sınırı (m ²) |
|--|--|
| İnşaat Mühendisi veya Mimar | 30.000 |
| Makine Mühendisi | 60.000 |
| Elektrik Mühendisi | 120.000 |
| Teknik Öğretmen (İnşaat, Makine, Elektrik) | 13.500 |
| Tekniker (İnşaat, Makine, Elektrik, Yapı Denetimi) | 8.500 |
| Teknisyen (İnşaat, Makine, Elektrik) | 3.500 |

Özellikle Siverek ilçesinde nüfusu 300.000'e yakın olan bu yerleşim birimindeki devam eden inşaatlarda yapılan gözlemsel incelemede- bilhassa denetim aşamalarından kaynaklı oldukça kusurlu imalatlar ile karşılaşmıştır. Betonarme yapıların önemli taşıyıcı elemanı olan kirişlerin yatayda adeta yük aktarımını engelleyici menfi durumlar görülmüştür. Buat yerinin kiriş içinde geniş bir yuva açılarak demir donatıların dahi betondan sıyrıldığı (Şekil 2 ve 3) hatta kiriş içinden delik açılarak pis su tesisat borusunun içinden geçirilmesi gibi işçilik ve denetim hataları örnek olarak gösterilebilir (Şekil 4).



Şekil 2. Kiriş İçinde Yanlış Buat Yerleşimi



Şekil 3. Kiriş İçinde Buat İçin Yanlış Yer Seçimi



Şekil 4. Kiriş İçinden Geçen Pis Su Tesisat Borusu



Şekil 5. Segregasyon (dış cephe kolonları)

Bir de yapılan incelemelerde segregasyon olarak tabir edilen beton içindeki malzemelerin ayrışımı diye tanımlanan örnekler ile oldukça sık karşılaşmıştır (Şekil 5). Segregasyon görünümüne yapıyı devam eden inşaatların nerdeyse tamamında rastlanmıştır.

Şeklen bozuk olduğu net bir şekilde görünen bu taşıyıcı elemanlardaki durum sadece betonun vibratör ya da demir çubuklar ile şişleme yolu ile sıkıştırılamaması ile açıklanamaz. Söz konusu betonlardaki iri agreganın biraz fazla olması, haliyle kum ve çimentonun nispeten daha az olmasını sonuçta uygun granülometri bileşenleri tercih edilmeyip betonun maliyetini düşürme amacını desteklemektedir. Hazır beton firmalarının imal ettiği betonların test amaçlı aldıkları numuneleri 15x15x15 cm'lik küpler olduğundan küçük kalıplar içerisinde sıkıştırılabilmeleri normal ancak bina taşıyıcı elemanlarında sıkıştırılmaları oldukça güç olmaktadır. Bu konuda yapı denetim firmalarının sorumluluğu olmakla beraber bu firmaların bünyesinde görevli mühendislerin çoğunluğunun yeni mezun olması, gerek deneyim eksikliğine gerekse hazır beton santrallerinden gelen bu malzemenin uygun olmadığına dair reddetme yaptırımında bulunamamaları gibi etkenlere bağlanabilir.

Deprem bölgesi illerinden Şanlıurfa Bozova ilçesinde orta ve ağır hasarlı binalarda görülen hatalardan biri de etriyelerin eksik olması özellikle kolon-kiriş sargı bölgesinde; gövde kısmındaki sıklığın (örneğin 20 cm ise) yarısı kadar (10 cm) olması gerekirken, 30 cm aralıkta etriyenin bulunmadığı tespit edilmiştir. Yine, demir donatıların kalıp içerisinde yerleştirdikten sonra pas payı bırakılmadığı deprem esnasında sıvaların dökülmesiyle ortaya çıkmıştır (Şekil 6). Bu ve benzeri durumlar, öncelikle

denetim elemanlarının yapım sürecini ciddi anlamda takip altına almasına ilave olarak işçiliğin ne kadar önemli olduğunu da göstermektedir.



Şekil 6. Pas Payı Bırakılmayan Kiriş Betonu

Bozova ilçesinde sadece 3 yıl önce yapılmış iki katlı betonarme binanın giriş kat kolonlarında oluşan hasarlar Şekil (7 ve 8)'de gösterilmiştir. Ağır hasarlı olarak tespiti yapılan binadaki söz konusu taşıyıcı elemanlarda yapılan ilk incelemede beton kalitesinin düşük olmasının yanı sıra, etriye aralarının fazla olması ve iri agrega olarak tabir ettiğimiz çakılın olması gerekenden (>32 mm) büyük kullanılması olarak sıralanabilir.

Bu örnekten yola çıkarak, ülkemizde zorunlu eğitimin 12 yıl olmasının da avantajıyla, inşaatlarda çalışan işçilerin de en az meslek liseli ve ilgili bölümden mezun olmaları şartı olması halinde sektördeki kalifiye işçiliği artıracak düşünülmalıdır. Kalıp işçiliğinden özellikle demir donatı hatta sıva ve boya gibi işlerin mesleki eğitim almış lise mezunlarınca yapılması işçilik hatalarının asgari düzeyde kalmasını sağlayacaktır. Bu görüş sadece inşaat işçileri ile sınırlı kalmamalı işyeri açmak isteyenlerin de en azından ilgili meslek lisesi bölümünden mezun olmaları teşvik edilmelidir.



Şekil 7. Zemin Kat Kolon (eksik malzeme)



Şekil 8. Zemin Kat Kolon (etriye, eksik malzeme)

Söz edilen bu binalardan, Siverek ve Bozova ilçelerinde işçilik kalitesinin düşüklüğü yanında imalata giren malzeme tercihi ve en önemlisi eksik ya da yetersiz denetim aşamalarının hasar oluşumunda baş etken olduğu söylenebilir. Yine Adıyaman Gölbaşı ilçesinde yıkılan ya da ağır hasar gören binaların önemli bir bölümünün az katlı da olsa herhangi bir mühendislik hizmeti almadan inşa edildiği de yerinde görülmüştür.

Yapım İşleri, İhaleler, Yüklenici Olabilme ve Doğrudan Temin

Yapım işlerinde kamu kurumlarınca en çok uygulanan 4734 sayılı Kamu İhale Kanunu olup, bu Kanun kapsamında yapılan yapım ihalelerine katılabilmek için gerekli en önemli belgelerden biri de iş deneyim belgesidir. İş deneyim belgesi; iş bitirme, iş denetleme, iş yönetme ve iş durum başlıkları altında çeşitleri olmakla birlikte nasıl ve ne şekilde temin edileceği ilgili yönetmelikte ayrıntılı olarak açıklanmıştır (Yapım İşleri Uygulama Yönetmeliği, 2009). Yine, bu Kanun'un 22. Maddesinde ifade edilen doğrudan temin usulü, 30.07.2003 tarihinde yayınlanan 4964 sayılı Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun'un 15. Maddesi ile ihale kapsamından çıkarılmıştır. İdarelerin belirli bir bedele kadar ihtiyaçlarını karşılamak için kanun ile verilmiş bir hak olup, bu tür alımlarda da iş deneyim belgesi aranmamaktadır.

Bu arada yüklenici sıfatına sahip olmayan daha önce yapım işi tamamlamamış kişi ya da tüzel kişilikler özellikle büyükşehirlerdeki kamu kurumlarında doğrudan temin yolu ile 22/d maddesine istinaden, teklifleri uygun olması halinde yapım işlerini üstlenmektedir. Tamamlanmasını müteakip o işe ait iş bitirme belgesi düzenlenerek başka kurumların yapım işi ihalelerine katılabilmektedirler. Bu durumda da daha önce yapım işi tamamlamamış kişilere "yüklenici olabilme" imkanı tanınmaktadır. Tablo 2'de görüleceği üzere, Büyükşehirlerde 01.02.2023 tarihinden itibaren 1 yıl geçerli olmak üzere KDV Hariç 431.810,00 TL'ye kadar yapım işi doğrudan temin usulü ile tamamlanmasını müteakip ilgili firma ya da kişi iş bitirme belgesi almaya hak kazanabilmektedir ki daha önce hiçbir tecrübesi olmayanlar için bu belgeye sahip olma adına önemli bir adım teşkil etmektedir. Sözgelimi, doğrudan temin yolu ile yapım işi tamamlayıp ilgili idareden 431.000,00 TL'lik iş bitirme belgesi alan kişi ya da firma, bu belge ile teklif bedelinin %50'si oranında iş deneyim belgesinin istendiği kamu kurumlarındaki ihalelere katılıp 862.000,00 TL'lik teklif yapabilmekte ve o ihaleyi kazandığı ve işi tamamlaması halinde iş deneyim belgesi tutarı büyümektedir. Ülkemiz nüfusunun %78,16'sı, bu 30 büyükşehir sınırları içinde ikamet etmekte olduğu 2022 yılı sonu Türkiye İstatistik Kurumu verilerinde açıklanmıştır (TÜİK, 2023). İhale türü olmayan 22/d maddesine istinaden yaptırılan yapım işleri ile elde edilen iş bitirme belgelerinin yaygınlaşması ister istemez yüklenici mesleğindeki nitelik, vasıf gibi özelliklerde düşüş olmasına da neden olabilmektedir.

Tablo 2. Kamu İhale Kanunundaki Bazı Parasal Limitler (KDV hariç)

| 4734 Sayılı Kanun'da geçen bazı parasal limitler | | |
|--|--|---------------|
| 4734 Sayılı Kanun 22/d maddesi | Büyükşehir Belediyesi sınırları içindeki idareler | 431.810 TL* |
| | Diğer illerdeki idareler | 143.845 TL* |
| 4734 Sayılı Kanun 62 (h) maddesi | Mühendis ve Mimarlar için iş deneyim belgesi hesabında | 1.597.917 TL* |

*Bu yazı içeriğinde sözü edilen konulara ait limitler

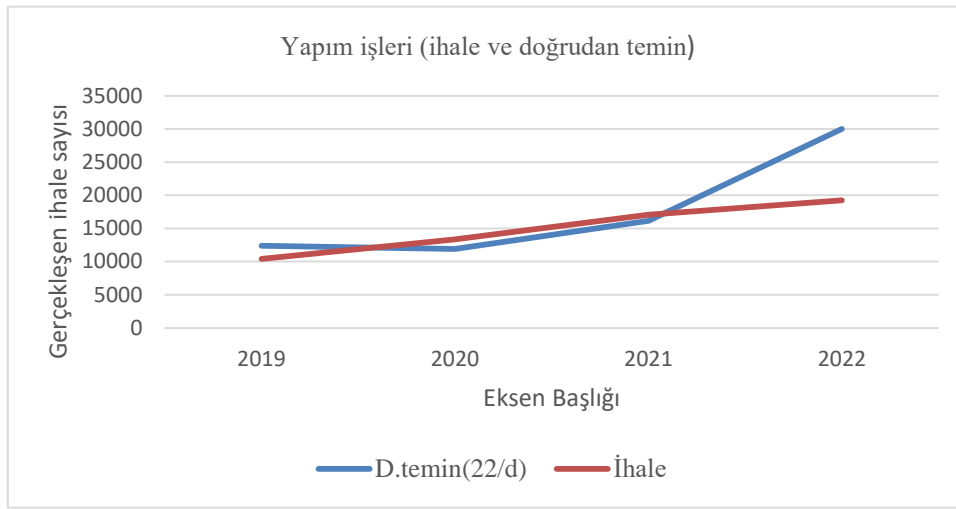
İhale türü olmamakla birlikte Kanun'un 22/d maddesine istinaden doğrudan temin usulü ile yaptırılan yapım işleri sayısı, ihale ile yaptırılan yapım işleri sayısından fazladır. Tablo 3 ve Şekil 9'dan görüldüğü gibi Kamu İhale Kurumunun internet sitesinde önceki yıllara ait veriler paylaşılmadığından mevcut sayılar üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Bu rakamlardan doğrudan temin yolu ile yapım işi yapanların kaç tanesinin daha önce yapım işi tamamladığı, 22/d maddesinin ihale usulü olmamasından dolayı bilinmemektedir. İdareler, tamamlanan yapım işlerini doğrudan temin yolu ile de olsa Elektronik Kamu Satınalma Platformu (EKAP) üzerinden sisteme bilgileri girerek kayıt altına alınmaktadır. Yıllık ortalama 15 bin civarında (2022 yılında yaklaşık 30.000) yapım işinin bir bölümünün daha önce yüklenicilik yapmamış ancak fatura kesebilen esnaf tarafından yapıldığını varsaydığımızda, kanuna uygun görünse de özüne uygun olmadığı izlenimi bırakmaktadır.

4734 sayılı Kanun öncesinde, 2886 sayılı Devlet İhale Kanunu'na göre yaptırılan yapım işlerinde de herhangi bir esnaf müteahhitlik karnesine sahip olabiliyordu ve bu karneler halen güncellenerek yine 2886 sayılı Kanun'a göre yapılan ihalelerde geçerli olmakla birlikte 4734 sayılı Kanun'a göre yapılan ihalelerde hükümsüzdür. Gerekçe olarak da daha nitelikli, vasıflı yüklenicilerin iş yapabilme yolunun

açılması, yapılan işlerdeki kalitenin artırılması amaçlanmıştır. Nitekim, eski Kanun'da yüksek öğrenimli olmayan teknik personelin de müteahhitlik karnesine farklı oranlarda da olsa sahip olma hakkı varken 4734 sayılı Kanun'da sadece ilgili mühendis ve mimarlara mezuniyet belgelerini iş deneyim belgesi olarak kullanabilme imkanı getirilmiştir. Ülke nüfusunun büyük bölümünün yaşadığı şehirlerimizde yapım işi tecrübesi olmayanlara Kanun'un 22/d maddesine istinaden doğrudan temin yolu ile iş bitirme belgesine sahip olmayı kolaylaştırmak, bu Kanun'un yürürlüğe girdiği tarihten beri amaçlanan kaliteli yapım işleri tamamlanması gayesine ters düşmektedir.

Tablo 3.Yapım İşi ihale ve Doğrudan Temin Sayıları

| Yıllar | D.temn (22/d) | İhale |
|--------|---------------|-------|
| 2019 | 12405 | 10391 |
| 2020 | 11891 | 13373 |
| 2021 | 16169 | 17078 |
| 2022 | 29999 | 19265 |



Şekil 9. Kamu Kurumlarındaki Yapım İşleri (doğrudan temin ve ihale)

Kamu kurumlarına yapılan ihalelere katılımda 2886 s. Devlet İhale Kanunu'ndan elde edilen müteahhitlik karneleri 4734 s. Kamu İhale Kanunu'nda kullanılmayıp kısıtlama yapılırken, daha önce giriş bölümünde bahsedildiği üzere tüm Avrupa'daki müteahhit sayısının toplamının 10 katı müteahhit ülkemizde kayıtlı haldedir. Oysa, deprem ülkesi olmamız hasebiyle, sağlam yapıların üretilebilmesi can güvenliği için öncelik arz etmektedir. Yatırım aracı olarak "konut" her zaman cazibe odağı olsa da, bina yapan kişi ya da firmaların da nitelik ve deneyim yönünden özellikli olmalarını gerektirmektedir.

Teknik Elemanların Diploma Avantajı

Yapım işi tamamlamamış özellikle serbest çalışan mühendis ve mimarlar, Kanun'un 62. maddesi (h) bendi gereğince on beş yıl ile sınırlı kalmak üzere her bir yılı belirlenmiş bir rakama karşılık gelen iş bitirme belgesine sahip olduğu kabul edilir. Bu rakam her yıl Kamu İhale Kurumu tarafından yayınlanan eşik değerlerin de yer aldığı ilgili tebliğ içerisinde yazılır ve 1 Şubat itibarıyla bir yıl geçerlidir. Son olarak 25.01.2023 tarihinde Resmi Gazete'nin 32084 sayılı baskısında 2023/1 no.lu tebliğ olarak yayınlanmış ve mühendis ile mimarların diplomaları, her yıl için 1.597.917,00 Türk Lirasına tekabül eden iş bitirme belgesi yerine geçmektedir (Kamu İhale Kurumu Genel Tebliği, 2023/1). On beş yıldan fazlası kullanılmak istenirse, mühendis ve mimarların bu süre içerisinde bitirmiş oldukları yapım işi olmalı ya da kamuda görev yaptıkları süre içerisinde denetleme veya yönetme görevinde tamamlanan yapım işi olmalıdır. Örnek verilecek olursa, yapım işi tamamlamamış 15 yıllık bir mühendis veya mimarın mezuniyet belgesi 23.968.755,00 Türk Lirası değerinde iş bitirme belgesi yerine geçmektedir. İş deneyimi bulunan mühendis veya mimarların ise on beş yıllık

sınırlamaya tabi olmaksızın mezuniyetlerinden sonra geçen her yıl için Kamu İhale Kanunu'nun 62'nci maddesinin birinci fıkrasının (h) bendinde belirtilen tutar kadar benzer iş deneyimi olarak değerlendirmeye tabi tutulur.

Keza, Yapım İşleri Uygulama Yönetmeliğinin 43. Maddesinde "İş deneyim belgesi düzenlemeye yetkili kurum ve kuruluşlar" başlıklı 2. Alt Maddesinde tüzel kişilere gerçekleştirilen inşaatlar için belediye sınırları veya mücavir alanlar dahilinde ise ilgili belediyeler, bu sınırların dışında ise valilikler (çevre, şehircilik ve iklim değişikliği il müdürlükleri) tarafından düzenleneceğinden bahsedilmektedir (Yapım İşleri Uygulama Yönetmeliği, 2009). O halde son 15 yılda herhangi bir yapım işi tamamlamamış hatta özel inşaat dahi yapmamış mühendis ve mimarların mezuniyet belgelerini iş bitirme belgesi olarak kullanabilmelerinin -mesleki faaliyette bulunmamalarına rağmen- müteahhit olabilmelerinde yeterli bir özellik anlamı taşıması, inşaat sektöründe nitelik bakımından sorgulanmasına neden olabilecektir.

Yine aynı yönetmeliğin 47/7. Maddesine göre; mühendis ve mimarların en az %51 hissesinin olduğu ve asgari 5 yıllık firmalar da sözü edilen mezuniyet belgelerini iş bitirme belgesi olarak kullanabilecektir. Bu durumda mesleki tecrübesi olmayan mühendis ve mimarların diplomalarını kullandırmaları tüzel kişiliğin diğer ortağının da lehine olacaktır.

Tablo 4. Toplam İhale ve Yapım İhalelerinin Sayıları

| Yıl | Yapım İşi İhale Sayısı | Toplam İhale Sayısı | Yapım İşi/Toplam İhale | Söz. Bedeli Oranı (Yapım/Tüm İhaleler) |
|------|------------------------|---------------------|------------------------|---|
| 2011 | 21841 | 100246 | 0,218 | 0,525 |
| 2012 | 20666 | 94173 | 0,219 | 0,572 |
| 2013 | 22473 | 98007 | 0,229 | 0,595 |
| 2014 | 16558 | 91107 | 0,182 | 0,432 |
| 2015 | 19826 | 92873 | 0,213 | 0,420 |
| 2016 | 19674 | 89319 | 0,220 | 0,512 |
| 2017 | 21369 | 89315 | 0,239 | 0,623 |
| 2018 | 19670 | 77568 | 0,254 | 0,578 |
| 2019 | 10391 | 58251 | 0,178 | 0,430 |
| 2020 | 13373 | 57955 | 0,231 | 0,485 |
| 2021 | 17078 | 65991 | 0,259 | 0,618 |
| 2022 | 19265 | 75224 | 0,256 | 0,655 |

Kamu İhale Kurumu'nun internet sitesinde de yer alan istatistiki veriler incelendiğinde yapılan toplam ihale sayısında özellikle 2018 yılı sonrasında düşüş yaşanırken yapım işi ihaleleri sayısında önemli değişiklik görünmemektedir (Kamu İhale Kurumu, 2022). Tablo 4'de görüldüğü üzere işçi çalıştırmaya dayalı temizlik hizmet alımı, güvenlik personeli hizmet alımı ihalelerinin, bu sektörlerde çalışanların kadroya alınmasını müteakip eden 2018 ve sonrasında yapılan ihale sayısında düşüş görünmektedir. Oysa yapım işleri ihaleleri yıllık ortalama 17-20 bin sayıları arasında stabil halde kalmıştır. Bu sayı tüm kamu kurum ihaleleri sayısının % 20-25'i aralığındadır. Oysa yapım ihalelerindeki sözleşme bedelleri toplamı, ihale sayılarının aksine tüm ihalelerin sözleşme bedelleri toplamının çoğunlukla yarısından fazlasını oluşturmuştur. İhale yolu ile yapılan kamu harcamalarında yapım işlerinin önemli bir yer teşkil ettiği tablolardan da görülmekte olup, bu tür işlerin tecrübeli ve nitelikli firmalar tarafından yapılması gerektiği kamu kaynaklarının verimli kullanımı yönünden oldukça önem arz etmektedir. İster doğrudan temin ister ihale yolu ile olsun yüklenicilerde deneyim şartı aranması kamu menfaatine olacaktır.

Sonuç ve Öneriler

Mimari projelerin güzel sanat eseri olmadığı, 5846 sayılı Kanun'un "İlim ve edebiyat eserleri" başlıklı açıklamalarında genel ifade ile yer aldığı bilinmektedir. Özellikle insanların ikamet ettiği konut, mesken, apartman gibi yapıların statik-betonarme çözümlerinin mimari tasarımları ile uyumlu

olmasının can güvenliği öncelikle ele alındığında oldukça önem arz ettiği bilinen bir gerçektir. Bu nedenle, sadece konut ve apartman gibi yapılarla sınırlı kalmak kaydıyla betonarme yapıların mimari projelerinin en az 5-10 yıl deneyim sahibi inşaat mühendisleri tarafından da tasarlanabilmesi konusunda mühendislere de yetki verilmelidir. İnşaat mühendislerine, söz konusu yapıların ömürleri boyunca karşılaşılabileceği dinamik yükler ve durabilitesini dikkate alarak; mimari ve statik proje arasında en uygun çözümü tasarlamak güç gelmeyecektir.

Özellikle bina inşaatlarında çalışan işçilerin meslek lisesinin ilgili bölümünden mezun olmaları, işçilik kaynaklı hataların minimum düzeyde kalmasını sağlayacaktır. Ülkemizde vasıfsız kişilerin istihdamında inşaat işleri önemli rol oynasa da, deprem başta olmak üzere yapı güvenliği bakımından demir ustası, kalıp ustası, seramik ustası, elektrik ustası gibi çalışanlar için artık kalifiye elemanlar tercih edilmelidir. Bu konuda önceliğin meslek liselilerin inşaat, elektrik, makine vb. mezunlarına verilmesi halinde inşaatlarda işçilik kalitesi artmasının yanı sıra orta vadede yükseköğrenim kurumlarındaki yığılma ya da tercihlere de önemli etkisi olacaktır.

Mesleki tecrübesi olmayan mühendis ve mimarların mezuniyet belgelerinin ister doğrudan kendilerince, ister tüzel kişiliklerin en az 5 yıldır %51 hissedarı olmak kaydıyla iş bitirme belgesi olarak değerlendirilmeleri, kamu kurumlarına yapılan inşaat işlerinde nitelik ve kalite bakımından yeniden değerlendirilmelidir.

Kanun'un 22/d maddesine bağlı olarak doğrudan temin yöntemi ile ülke nüfusunun %78'inin ikamet ettiği şehirlerde iş deneyim belgesi aranmaksızın yapım işinin tamamlanması, yüklenicilik mesleğinde nitelik ve vasıf düşürücü bir sonuca neden olabilmektedir. Ayrıca diğer illerde de büyükşehirlerdeki yapım işleri doğrudan temin limitinin 1/3'ü kadar değil biraz daha yüksek tutulması, bu şehirlerdeki kamu ihtiyaçlarının karşılanmasında kolaylık sağlayacaktır. Doğrudan temin yolu ile yapım işlerinde tıpkı ihalelerde olduğu gibi iş deneyim belgesine sahip olma şartının konulması ve teklif bedelinin en az %75'i gibi belirli bir oranda istenmesi yüklenicilik sıfatında olumlu yönde katkıda bulunacağı düşünülmektedir. Kamu ihalelerinde olduğu gibi, can güvenliği bakımından özel sektörde de konut, bina yapılarında nitelik ve liyakata dayalı sınırlandırmalar getirilmelidir.

Segregasyon olarak bilinen betonu oluşturan malzemelerin döküm ve kalıp sökülmesinden sonra ayrılmış halde görünmeleri sadece görsel bozunum değil aynı zamanda betonun dayanımını da menfi yönde etkilemektedir. İri agreganın granülometrideki oranının artırılarak ince agrega (kum) ve haliyle çimento miktarından kısıtlamaya gidilmesi ile maddi anlamda tasarruf sağlanması amaçlandığı açıkça bellidir. Bu firmaların denetim yetkisi Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüklerinde olduğundan adı geçen kurum yetkililerince gereğinin yapılması sağlanmalıdır. Yapı denetim firmalarındaki teknik personelin özellikle inşaat mühendislerinin daha tecrübeli olmaları, yeni mezunlara belirli bir süre sorumluluk verilmemesi halinde yapım sürecindeki işçilik, malzeme kaynaklı kusurların asgariye düşürülmesinde bir çözüm olacağı düşünülmektedir.

Etik

Bu makalenin yayınlanmasıyla ilgili herhangi bir etik sorun bulunmamaktadır.

Çıkar Çatışması

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını belirtmektedir.

ORCID




Arif Hikmet Çakoğlu  <https://orcid.org/0000-0002-8055-7858>

Kaynaklar

Akincitürk, N. (2003). Yapı tasarımında mimarın deprem bilinci. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 8(1), 189-201. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/202885>

- Baba, G. İ. (2016). Belediyelerin imar konusunda yetki ve görevleri. *İstanbul Aydın Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 2(1), 173-194. <https://dergipark.org.tr/en/pub/iauhfd/issue/45548/572403>
- Fikri ve Sanat Eserleri Kanunu (1951). Resmi Gazete 13 Aralık 1951, Sayı: 7981.
- Güneş M., ve Uzunay, M.(2017). Belediyelerde imar planlama süreci ve denetim. *Ombudsman Akademik*, 6, 161-179. <https://doi.org/10.32002/ombudsmanakademik.440156>
- İmar Kanunu (1985). Resmi Gazete 9 Mart 1985, Sayı:18749.
- Kalağan G. (2018). Türkiye’de 6360 sayılı Büyükşehir Yasası kapsamında büyükşehirler/bütünşehirler: Yönetmelik yapı, mali/iktisadi boyut ve gelecek vizyonu üzerine bir tartışma. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 10(25), 591-603. <https://doi.org/10.20875/makusobed.453775>
- Kamu İhale Kanunu (2002). T.C. Resmi Gazete 22 Ocak 2002, Sayı: 24648.
- Kamu İhale Kurumu, <https://dosyalar.kik.gov.tr/genel/Raporlar/> adresinden 24 Mart 2023 tarihinde alınmıştır.
- Kamu İhale Kurumu Genel Tebliği (2023). T.C. Resmi Gazete 25 Ocak 2023, Sayı: 32084.
- Planlı Alanlar İmar Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik (2023). T.C. Resmi Gazete 12 Mayıs 2023, Sayı: 32188.
- Resmi Gazete (2012). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/12/20121206-1.htm> adresinden 9 Ekim 2023 tarihinde alınmıştır.
- Sabah Gazetesi (2017). https://www.sabah.com.tr/yazarlar/gunaydin/sb-mevlut_tezel/2017/12/15/ adresinden 30.07.2023 tarihinde alınmıştır.
- Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği. <http://www.tmmob.org.tr> adresinden 4 Nisan 2023 tarihinde alınmıştır.
- TÜİK (2023), Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=nufus-ve-demografi-109&dil=1> adresinden 15 Mart 2023 tarihinde alınmıştır.
- Yapı Denetimi Uygulama Yönetmeliği (2008). Resmi Gazete 5 Şubat 2008, Sayı: 26778
- Yapı Denetimi Uygulama Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik (2018). Resmi Gazete 29 Aralık 2018, Sayı:30640.
- Yapım İşleri Uygulama Yönetmeliği (2009). T.C. Resmi Gazete 4 Mart 2009, Sayı: 27159.
- Yücel M.T. (2015). Mimarlık projeleri ile mimarlık eserleri ve bunlar üzerinde değişiklik yapılması. *İstanbul Medipol Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 2(2), 183-200. <https://dergipark.org.tr/en/pub/imuhfd/issue/54307/736968>
- Yükseköğretim Kurulu. <https://yokatlas.yok.gov.tr/lisans-bolum.php?b=10110> adresinden 2 Nisan 2023 tarihinde alınmıştır.

Yeraltı Sularının Ağır Metal ve Sulama Suyu Kalitesi Açısından Değerlendirilmesi ve Mekânsal Olarak Haritalandırılması: Nevşehir-Gülşehir İlçesi Örneği

Mualla Keten Gökkuş¹ , Muhammed Cüneyt Bağdatlı² , Halil İbrahim Oğuz³ 

¹Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği, Nevşehir

²Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama, Niğde

³Adıyaman Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Adıyaman

Geliş Tarihi / Received Date: 18.08.2023

Kabul Tarihi / Accepted Date: 01.11.2023

Öz

Bu çalışma, Nevşehir-Gülşehir ilçesi yeraltı sularının sulama suyu kalitesi açısından değerlendirilmesi amacıyla yürütülmüştür. Bu amaçla Gülşehir ilçesinin 32 köyünden 2022 yılı kış mevsiminde (şubat ayında) yeraltı suyu örnekleri alınmıştır. Alınan örneklerde pH, EC (elektriksel iletkenlik), As (arsenik), Cd (kadmiyum), Ni (nikel), Fe (demir), Co (kobalt), Al (alüminyum), Zn (çinko), Cr (krom), U (uranyum), Pb (kurşun) metal iyonları ile SAR (sodyum adsorbsiyon oranı) ve RSC (kalıcı sodyum karbonat) parametreleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda yeraltı sularındaki arseniğin 0.49-1297 $\mu\text{g l}^{-1}$, kromun 0.02-4.87 $\mu\text{g l}^{-1}$, demirin 0-74.01 $\mu\text{g l}^{-1}$, kobaltın 0-1.98 $\mu\text{g l}^{-1}$, uranyumun 0.13 ile 204.4 $\mu\text{g l}^{-1}$ arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Su örnekleri alınan köylerden Emmiler, Gümüşyazı, Fakiuşağı, Eskiyaılacık ve Dadağı köylerinde As derişiminin izin verilen sınır değerlerin üzerinde olduğu görülmüştür. Dadağı, Fakiuşağı, Merkez ve Terlemez köylerinde ise uranyumun sınır değer üstünde çıktığı görülmüştür. Şahinler köyünün elektriksel iletkenliği değerleri Türk Standartları Enstitüsünün belirlediği 2500 $\mu\text{s cm}^{-1}$ değerinin üzerinde çıkmıştır. EC değeri diğer bütün köylerde 1. Sınıfta yer almıştır. Yeraltı suyu örnekleri alınan diğer tüm lokasyonlardaki pH, EC, SAR ve RSC değerleri kullanılabilir düzeyde bulunmuştur. SAR değeri bütün bitkilerin yetiştiriciliği için uygun aralıkta bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar ışığında bölgedeki yeraltı sularının sürekli izlenmesi ve tarımsal sulama açısından sorun oluşabilecek noktalarda lokal önlemlerin alınması tavsiye edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: coğrafi bilgi sistemleri (CBS), Gülşehir, mekânsal modelleme, Nevşehir, su kalitesi

Evaluation of Groundwater in terms of Heavy Metals and Irrigation Water Quality and Spatial Mapping: A Case Study from Gülşehir District in Nevşehir Province

Abstract

This study was carried out to evaluate the groundwater of Nevşehir-Gülşehir district in terms of irrigation water quality. For this purpose, groundwater samples were taken from 32 villages of Gülşehir district in the winter of 2022 (in February). In the samples taken, pH, EC (electrical conductivity), As (arsenic), Cd (cadmium), Ni (nickel), Fe (iron), Co (cobalt), Al (aluminium), Zn (zinc), Cr (chromium), U (uranium), Pb (lead) metal ions and SAR (sodium adsorption rate) and RSC (persistent sodium carbonate) parameters were determined. As a result of the study, arsenic in groundwater varied between 0.49-1297 $\mu\text{g l}^{-1}$, chromium between 0.02-4.87 $\mu\text{g l}^{-1}$, iron between 0-74.01 $\mu\text{g l}^{-1}$, cobalt between 0-1.98 $\mu\text{g l}^{-1}$, and uranium between 0.13 and 204.4 $\mu\text{g l}^{-1}$. has been observed. It was observed that the As concentration in the villages of Emmiler, Gümüşyazı, Fakiuşağı, Eskiyaılacık and Dadağı, where water samples were taken, was above the limit values. In the villages of Dadağı, Fakiuşağı, Merkez and Terlemez, it was observed that uranium was above the limit value. The electrical conductivity values of Şahinler village were above the 2500 $\mu\text{s cm}^{-1}$ value determined by the Turkish Standards Institute. The EC value was in Class 1 in all other villages. pH, EC, SAR and RSC values in all other locations where groundwater samples were taken were found to be at usable levels. The SAR value was found to be within the appropriate range for the cultivation of all plants. In the light of the results obtained, it was recommended to constantly monitor the groundwater in the region and take local measures at points where problems may occur in terms of agricultural irrigation and heavy metal.

Keywords: geographic information systems (GIS), Gülşehir, spatial modeling, Nevşehir, water quality

Giriş

Toprak, bitki ve sudaki ağır metal kontaminasyonu, dünya çapında tarımsal gelişmeyi etkileyen ciddi bir çevre sorunudur. Bu tür kirlenme, yalnızca asit yağmuru, erozyon ve kaya ayrışması gibi doğal süreçlerden değil, aynı zamanda metalik atıkların boşaltılması, arıtılmamış atık su ile sulama, madencilik faaliyetleri, kanalizasyon çamuru, aşırı kimyasal gübre ve böcek ilacı kullanımı gibi endüstriyel faaliyetlerden de kaynaklanır (Ahmad vd., 2019; Khan vd., 2008; Zhang vd., 2010).

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, ağır metallerin toksisitesi nedeniyle ciddi bir çevre sorunu olan tarım arazilerinde ağır metal kirliliği meydana gelmektedir. Son yıllarda, tarım arazilerinde kullanılan sulama suyu, toprak ve sebzelerdeki ağır metaller ve metaloidlerin konsantrasyonları, sanayileşme ve kentleşmenin genişlemesi de dahil olmak üzere antropojenik faaliyetler nedeniyle büyük ölçüde artmaktadır. Endüstriyel atık sularla kirlenmiş sulama suları, topraklarda ve mahsullerde önemli ağır metal kirliliğine neden olmuştur. Toprağın atık su ile sulanmasıyla, büyüyen bitkilerin yenilebilir kısımlarında ağır metal konsantrasyonu da yüksek olmaktadır (Agca vd., 2014; Ahmed vd., 2019; Islam vd., 2017).

Tarımsal sulamada sulama suyu kalitesinin belirlenmesi, tarımsal su yönetimi ve planlamasında önemli bir faaliyettir. Suyun iyonik bileşimi bitki büyümesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yetersiz kalitede su ile yapılan sulama, bitki büyümesini geciktirebilir, toprağı kirlitebilir ve tuzluluk nedeniyle tarım arazilerini verimsiz hale getirebilir. Sulama suyunun kalitesinin belirlenebilmesi için pH, toplam tuzluluk, sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), sodyum yüzdesi, kalıcı sodyum karbonat da (RSC) belirlenmelidir (Cemek ve Oktaş, 2020).

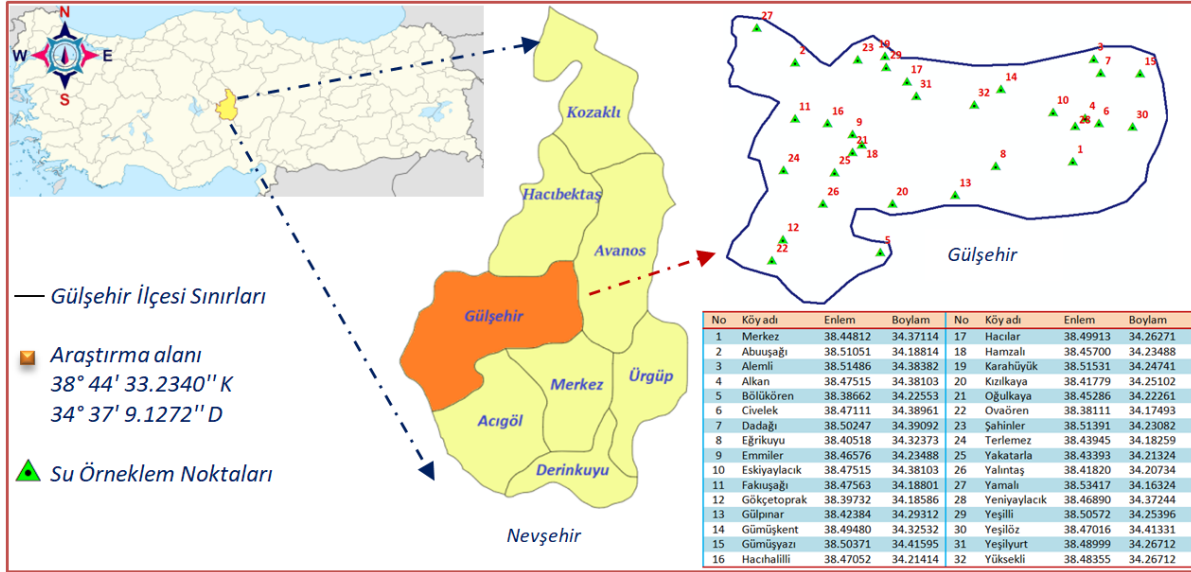
Elektriksel iletkenlik (EC), sulama suyu kalitesinin en önemli göstergesidir. Ekin verimliliği üzerinde büyük etkileri olan bir tuzluluk ölçüsüdür. Yüksek EC değerlerine sahip sular, toprak çözeltisinin iyonları ile bitkilerin su için rekabetini azaltarak mahsul verimini azaltır. EC ne kadar büyükse, toprağın nemli görünümüne rağmen bitkiler için mevcut olan su o kadar azdır (Joshi vd., 2009). Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) uydu görüntülerinin sayesinde birçok bilim dalında kullanılan bir teknolojidir (Ceylan ve Vural, 2023). Bir çok alanda olduğu gibi tarımsal üretim çalışmalarında da üretimi olumsuz etkileyen unsurların incelenmesi ve gerekli olan tedbirlerin alınması, bilgilerin en hızlı ve etkin biçimde değerlendirilip sorunların çözülmesi gerekmektedir. Günümüzde bilgi teknolojileri çok farklı alanlarda, farklı meslek gruplarında, farklı amaçlarla insanlara yoğun bir şekilde hizmet etmektedir. Bu bilgi teknolojilerinden ekonomik, politik, sosyal ve kültürel, mühendislik gibi birçok alanda kaynakların yönetimi ve birbirleri ile entegrasyonunun yapılmasındaki karmaşık analizlerin hızlı ve verimli gerçekleştirilmesinde önemli bir yere sahiptir (Yomralıoğlu, 2000).

Bu çalışmanın amacı Nevşehir-Gülşehir ilçesi köylerinde tarımsal sulama amaçlı kullanılan yeraltı sularını sulama suyu kalitesi, ağır metal içeriği açısından değerlendirmek ve elde edilen sonuçları CBS ortamında mekânsal olarak modellemektir. Araştırma sonuçları bölgedeki tarımsal üretim faaliyetlerine ve ürün kalitesinin artmasına önemli katkılar sağlayacaktır. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre tuzluluğa dayanıklı bitkilerin yetiştiriciliği ve çeşitli remediasyon yöntemleri ile ağır metallerin uzaklaştırılmasına ilişkin öneriler verilmiştir.

Materyal ve Yöntem

Materyal

Araştırma alanı Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesinde yer alan Nevşehir ili Gülşehir ilçesi sınırlarıdır. Gülşehir ilçesi Nevşehir il merkezinin kuzeybatısında olup merkeze 18 km mesafededir. Deniz seviyesinden yüksekliği 885 m, yüzölçümü ise 931 km²'dir. Çalışma alanının yeri ve su örneklem noktalarının konumları Şekil 1'de şematize edilerek gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışma Alanının Yeri ve Su Örneklem Noktaları Konumları

Çalışma sahası yoğun tarımsal üretimin yapıldığı ve tarımsal sulama amaçlı yeraltı sularının ağırlıklı olarak kullanıldığı bir bölgedir. İlçenin merkez hariç 31 köyü bulunmakta olup her bir köyde tarımsal üretim etkin olarak yürütülmektedir. Özellikle de çerezlik kabak, patates, nohut, arpa, buğday ve üzüm yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan ürünlerdendir.

Yöntem

Su Örneklerinin Alınması

Araştırma kapsamında Güleşhir ilçesinin merkez dahil toplam 32 lokasyonundan 2022 yılı kış döneminde tarımsal sulama amaçlı kullanılan yeraltı su kuyularından su örnekleri alınmıştır. Su örnekleri 250 ml'lik sterilize edilmiş polietilen plastik şişeler yardımıyla alınmış ve analiz zamanına kadar +4 °C altında buzdolabında muhafaza edilmiştir. Su örneklerinin alınması esnasında borularda herhangi bir birikmeye karşı suyun bir miktar akıtılması sağlanmıştır. Alınan örnekler şişelendikten sonra etiketle isimlendirilmiştir (Dağdelen, 2012).

Ağır Metal Analizleri

Alınan su örneklerindeki As, Cd, Ni, Cr, Co, Al, Fe, Zn, Cr, U, Pb ağır metal derişimleri Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Bilim Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarlarında ICP-MS/MS cihazı kullanılmıştır. Kalibrasyon çözeltileri hazırlanırken bütün elementler için standart çözeltiler Multi-Element Calibration Standards (Agilent, 10 µg L⁻¹) ile hazırlanmıştır. Yeraltı su örnekleri alındığında numune kaplarını olası bir kirlilikten arındırmak ve su örneklerini asitlendirmek için Scharlau marka %69'luk nitrik asit (HNO₃) çözeltisi kullanılmıştır. Su örnekleri içerisinde bulunabilecek herhangi bir partikül ve harici etmenleri süzmek için 0,45 µm gözenekli selüloz membran filtre kullanılmıştır. Ölçüme hazır hale gelen yeraltı su örneklerinin ağır metal içeriği Agilent 8800 model ICP-MS Triple Quad cihaz ile belirlenmiştir. Cihazın radyo frekans gücü 1300 W, Micramis Nebulizer tipi, Scott tipi sprey bölmesi, plazma hava akış hızı 1.5 l min⁻¹, auxiliary hava akış hızı 0.9 l min⁻¹, nebulizer hava akış hızı 1-1.1 l min⁻¹, numune alım hızı 1.8 ml min⁻¹, ölçüm verileri n=3, ara yüzey vakum= 4 torr, kvadrupol= 1205 torr, analitik kütleler=52Cr, 55Mn, 56Fe, 59Co, 60Ni, 63Cu, 65Zn, 111Cd, 208Pb'dir. Saptama sınırları Cr; 0.036 µg l⁻¹, Mn; 0.037 µg l⁻¹, Fe; 0.125 µg l⁻¹, Co; 0.002 µg l⁻¹, Ni; 0.805 µg l⁻¹, Cu; 0.160 µg l⁻¹, Zn; 1.483 µg l⁻¹, Cd; 0.002 µg l⁻¹ ve Pb; 0.121 µg l⁻¹'dir. 7700x orta matris numuneleri için genel metot kullanılmaktadır. Bazı kuyulardan elde edilen su numunelerinin içerisinde bulunan toz vb. parçacıklar filtreden geçirilerek arındırılmıştır. Su numuneleri falkon tüplerine 2.5 ml su olacak şekilde eklendikten sonra ICP-MS/MS cihazında

okumalar yapılmıştır. Sonuçlar $\mu\text{g l}^{-1}$ olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 1’de SKKY (2015), TS 266 (2005), EPA (2009), EC (2015) ve WHO (2017) kalite değerlerine göre yorumlanmıştır.

Tablo 1. Bazı Ağır Metallerin Sularda Bulunmasına İzin Verilen Maksimum Konsantrasyonları

| Su Kalite Parametreleri | SKKY | | | | TS266 | EC | WHO | EPA |
|------------------------------|-----------|---------|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|
| | 1.sınıf | 2.sınıf | 3.sınıf | 4.sınıf | | | | |
| pH | 6.5-8.5 | 6.5-8.5 | 6.0-9.0 | <6.0-9.0> | 6.5-9.2 | 6.5-9.5 | 6.5-8.8 | 6.5-8.5 |
| Ec ($\mu\text{s cm}^{-1}$) | - | - | - | - | 2500 | 2500 | - | - |
| Zn ($\mu\text{g l}^{-1}$) | 200 | 500 | 2000 | >2000 | | | | 5000 |
| Fe ($\mu\text{g l}^{-1}$) | 300 | 1000 | 5000 | >5000 | 200 | 200 | 300 | 300 |
| Cd ($\mu\text{g l}^{-1}$) | 3 | 5 | 10 | >10 | 5 | - | 3 | 5 |
| Co ($\mu\text{g l}^{-1}$) | 10 | 20 | 200 | >200 | - | - | - | - |
| Cr ($\mu\text{g l}^{-1}$) | ≤ 20 | 50 | 200 | >200 | 50 | - | 50 | 100 |
| Pb ($\mu\text{g l}^{-1}$) | 10 | 20 | 50 | >50 | 10 | - | 10 | 15 |
| Ni ($\mu\text{g l}^{-1}$) | ≤ 20 | 50 | 200 | >200 | 20 | 20 | 70 | - |
| As ($\mu\text{g l}^{-1}$) | 20 | 50 | 100 | >100 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Al (mg l^{-1}) | 0.3 | 0.3 | 1 | >1 | 200 | - | 100-200 | 50-200 |
| U ($\mu\text{g l}^{-1}$) | - | - | - | - | - | - | 30 | 30 |

Elektriksel İletkenlik (EC) ve pH Analizleri

Alınan su örneklerinin EC ve pH’sı cam elektrotlu pH metre (Thermo Orion 420A+) ile elektriksel iletkenlik değerleri ise EC metre (YSI 3200 conductivity instrument) ile belirlenmiştir (Ayyıldız, 1990). Ölçümler Nevşehir Ticaret Borsası Laboratuvarlarında hizmet alımı şeklinde gerçekleştirilmiştir.

SAR ve RSC Analizleri

Sulama suyu kalite sınıflarının belirlenmesi için Sodyum Adsorbsiyon oranı (SAR) ve Kalıcı Sodyum karbonat (RSC) analizleri Nevşehir Ticaret Borsası Gıda Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. SAR ve RSC ölçümlerinde gerekli olan Ca, Mg, Na elementleri Vista-MPX CCD Simultaneous ICP/OES cihazı ile ölçülmüştür. SAR hesaplamaları Eşitlik 1, RSC ise Eşitlik 2’ye göre belirlenmiştir. SAR ve RSC sınır değerleri Güngör vd., (2012)’ye göre değerlendirilmiştir. Tüm iyon konsantrasyonları meq l^{-1} cinsinden belirlenmiştir. Buna göre SAR 0-10 olan sularda sodyum zararı düşük, 10-18 arasında orta, 18-26 arasında yüksek, 26’dan fazla ise çok yüksek olarak bildirilmiştir. RSC sınıflandırmasında 2.5 meq l^{-1} den fazla olan RSC değerlerinin sulama suyu için uygun olmadığı, 1.25 meq l^{-1} den daha az suların güvenli olduğu, 1.25-2.5 meq l^{-1} arasında olan suların kullanılabilmesi için iyi bir toprak düzenlemesine ihtiyaç olduğu belirtilmektedir.

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}} \quad \text{Eşitlik 1}$$

$$\text{RSC} = (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \quad \text{Eşitlik 2}$$

Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Mekânsal Değerlendirme

Araştırma kapsamında Nevşehir-Gülşehir ilçesi tarımsal su yeraltı su kuyularından toplanan su örneklerinde belirlenen pH, EC, SAR, RSC, As, Pb, Zn ve U değerlerine ilişkin mekansal bir değerlendirme yapılmıştır. Elde edilen verilerin mekansal olarak modellenmesi için CBS yazılımlarından Arc GIS 10.3.1 programı kullanılmıştır (Anonim, 2010).

Belirlenen su kalitesi parametrelerinin mekansal olarak değerlendirilmesinde jeostatistiksel yöntemlerden olan IDW enterpolasyon yöntemi kullanılmıştır (Elangovan ve ark., 2013; Kol ve Küpçü, 2008; Taylan ve Damçayırı, 2016). IDW enterpolasyon yönteminin tercih edilmesinin nedeni ise diğer enterpolasyon yöntemlerine kıyasla en doğru dağılımı verdiği görülmüş ve bu doğrultuda da araştırma sahasına ilişkin tarımsal su kalitesi özelliklerinin mekansal dağılım haritaları üretilmiştir (Setianto ve Triandini, 2013). Su örneklerinin alındığı yeraltı suyu kuyularının koordinat değerleri ile

su örneği alınan noktadan elde edilen su kalitesi parametreleri Arc GIS ortamında çakıştırılarak bazı su kalitesi parametrelerine ilişkin mekânsal dağılım modelleri oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında belirlenen lokasyonlardan alınan yerlerdeki bazı su numunelerinin laboratuvar sonuçlarında sifıra yakın değerler bulunmuştur. Elde edilen sonuçların analiz raporlarında bu değerler ölçülebilir limitlerin altında kaldığı için araştırma kapsamında incelen tüm parametrelere ilişkin mekânsal dağılım modelleri oluşturulamamıştır.

Bulgular ve Tartışma

Araştırmaya konu olan Nevşehir - Gülşehir ilçesine bağlı merkez dahil 32 köyden alınan yeraltı suyu örneklerinde belirlenen bazı ağır metal (Al, Cr, Fe, Co, Ni, Zn, As, Cd, Pb, ve U) derişimleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Belirlenen Ağır Metal Derişimleri ($\mu\text{g L}^{-1}$)

| Su Örneklem Lokasyonları | Al | Cr | Fe | Co | Ni | Zn | As | Cd | Pb | U |
|--------------------------|-----|-------|--------|------|-------|--------|---------|-------|------|-------|
| Abuüşağı | ÖLA | 0.25 | ÖLA | 0.01 | 0.03 | 7.93 | 99.53 | 0.026 | 0.68 | 19.31 |
| Alemli | ÖLA | 0.64 | ÖLA | ÖLA | ÖLA | 14.84 | 8.27 | ÖLA | 0.75 | 15.41 |
| Alkan | ÖLA | 0.21 | ÖLA | ÖLA | ÖLA | 9.67 | 0.49 | ÖLA | 0.47 | 7.55 |
| Bölükören | ÖLA | 0.53 | ÖLA | ÖLA | ÖLA | ÖLA.0 | 14.91 | ÖLA | 0.61 | 5.98 |
| Civelek | ÖLA | 0.18 | 0.59 | ÖLA | ÖLA | 0.07 | 3.91 | ÖLA | 0.52 | 6.50 |
| Dadağı | ÖLA | 0.08 | 27.28 | ÖLA | 0.51 | 1.93 | 1297.98 | 0.002 | 0.57 | 41.09 |
| Eğrikuyu | ÖLA | 1.20 | ÖLA.0 | ÖLA | ÖLA | ÖLA | 62.81 | ÖLA | 0.51 | 7.63 |
| Emirler | ÖLA | 0.01 | 19.76 | ÖLA | 0.72 | 3.38 | 109.33 | ÖLA | 1.02 | 15.35 |
| Emmiler | ÖLA | 0.17 | 3.31 | 0.04 | 0.66 | 1.86 | 108.72 | 0.245 | 1.42 | 16.62 |
| Eskiyaylacık | ÖLA | 0.04 | 19.11 | ÖLA | ÖLA | 4.84 | 110.63 | ÖLA | 0.63 | 6.31 |
| Fakiüşağı | ÖLA | 0.45 | 3.14 | 0.22 | 0.43 | 1.91 | 214.18 | ÖLA | 0.62 | 204.4 |
| Gökçetoprak | ÖLA | 0.13 | 1.83 | ÖLA | 0.04 | 0.38 | 6.05 | ÖLA | 0.52 | 17.41 |
| Gülpinar | ÖLA | 0.25 | 4.35 | ÖLA | ÖLA | ÖLA | 61.91 | ÖLA | 0.59 | 11.78 |
| Gümüşkent | ÖLA | 0.14 | 18.41 | 0.4 | 3.85 | 0.96 | 18.70 | ÖLA | 0.34 | 15.69 |
| Gümüşyazı | ÖLA | 0.29 | ÖLA | ÖLA | 3.42 | 167.23 | 262.79 | 0.096 | 0.42 | 12.44 |
| Hacıhalilli | ÖLA | ÖLA.0 | 34.24 | ÖLA | 0.98 | 9.734 | 10.16 | ÖLA | 0.04 | 0.13 |
| Hacılar | ÖLA | 0.71 | ÖLA | ÖLA | ÖLA | 3.10 | 19.10 | ÖLA | 0.76 | 9.10 |
| Hamzalı | ÖLA | 0.31 | ÖLA | ÖLA | ÖLA | 2.33 | 74.02 | ÖLA | 0.61 | 14.43 |
| Karacahöyük | ÖLA | 4.87 | 2.62 | 0.03 | 10.02 | 82.59 | 9.96 | 0.069 | 0.50 | 4.37 |
| Kızılkaya | ÖLA | 0.61 | ÖLA | ÖLA | ÖLA.0 | 2.83 | 20.00 | 0.008 | 0.67 | 8.85 |
| Merkez | ÖLA | 3.05 | ÖLA | ÖLA | 1.25 | 67.51 | 25.94 | ÖLA | 0.54 | 31.59 |
| Oğulkaya | ÖLA | 0.44 | ÖLA | ÖLA | 2.05 | 15.41 | 58.94 | ÖLA | 0.52 | 9.39 |
| Ovaören | ÖLA | 1.93 | ÖLA | ÖLA | ÖLA | 3.50 | 12.43 | ÖLA | 0.62 | 14.45 |
| Şahinler | ÖLA | 0.21 | 1.94 | 0.15 | 0.96 | 2.86 | 6.81 | 0.149 | 0.95 | 25.84 |
| Terlemez | ÖLA | 0.02 | ÖLA | ÖLA | ÖLA | 0.45 | 3.99 | ÖLA | 24.1 | 32.25 |
| Yakatarla | ÖLA | 0.06 | 74.01 | 1.98 | 7.69 | 18.45 | 2.84 | ÖLA | 0.67 | 4.18 |
| Yalıntaş | ÖLA | 0.16 | ÖLA | ÖLA | ÖLA | ÖLA | 21.26 | ÖLA | 0.59 | 24.05 |
| Yamalı | ÖLA | 0.93 | 0.07 | ÖLA | 0.38 | 9.72 | 5.82 | ÖLA | 0.27 | 7.28 |
| Yeniyaylacık | ÖLA | 0.14 | ÖLA.0 | ÖLA | ÖLA | 414.17 | 14.43 | ÖLA | 1.31 | 6.824 |
| Yeşilli | ÖLA | 3.79 | ÖLA.0 | ÖLA | ÖLA | 9.82 | 19.48 | ÖLA | 0.30 | 8.38 |
| Yeşilöz | ÖLA | 0.19 | 0.06 | ÖLA | ÖLA | 1.18 | 50.44 | ÖLA | 0.42 | 25.57 |
| Yeşilyurt | ÖLA | 2.92 | 4.08 | ÖLA | 0.08 | ÖLA.0 | 33.3 | ÖLA | 0.50 | 4.92 |
| Yüksekli | ÖLA | 0.17 | ÖLA.00 | ÖLA | 0.07 | ÖLA.0 | 7.89 | ÖLA | ÖLA | 6.28 |

*ÖLA: Ölçülebilir sınır değerlerin altında

Tablo 2 incelendiğinde, köylerde yeraltı sularında Al elementine rastlanılamamıştır, dolayısıyla sulama açısından engel teşkil etmemektedir. Cr ($<100 \mu\text{g l}^{-1}$), Fe ($<5000 \mu\text{g l}^{-1}$), Co ($<200 \mu\text{g l}^{-1}$), Ni ($<200 \mu\text{g l}^{-1}$) ve Zn ($<2000 \mu\text{g l}^{-1}$) elementleri hiçbir köyde Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinin (SKKY, 2004) sınır

değerinin dışına çıkmamıştır. Bu parametreler bakımından yeraltı sularının Tarımsal sulama için uygun olduğu tespit edilmiştir.

Uranyum elementine Fakiuşağı'nda Dünya Sağlık Örgütü'nün belirlediği (WHO, 2017) $30 \mu\text{g l}^{-1}$ değerinin neredeyse 7 katı fazlasına rastlanılmıştır. Dadağı, Terlemez ve Merkez köylerde de yine sınır değerlerin üzerinde uranyum belirlenmiştir. Bu köylere yakın mesafede bulunan Gümüşyazı Köyü'nde maden ocağının varlığı ve Gülşehir ilçesinin barit ve kaya tuzu yataklarını bulundurması sebebiyle bölgede uranyumun yüksek çıktığı düşünülmektedir. Uranyum insanlarda kanser ve diğer hastalıklara yakalanma riskini artırmaktadır (Wagner vd., 2011). Bu nedenle sınır değerlerin üzerindeki konsantrasyona sahip suların içilmemesi ve tarımsal sulamada kullanılmaması önerilmektedir.

Emmiler, Gümüşyazı, Fakiuşağı, Eskiyaılacık ve Dadağı köylerindeki kuyulardan sulardaki As elementi Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinin (SKKY, 2004) belirlediği sınır değerlerinin üzerinde bulunmuştur. Özellikle de Gümüşyazı ve Fakiuşağı köylerinde izin verilen sınır değerlerinin 2 katına varan değerler görülmüştür. Bu değerlerin yüksekliğinin Gülşehir Köyü'nün eriyonit minerali içeren volkanik tüfleri içine alan bir bölgede bulunmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bu kuyulardan ve kaynaklardan elde edilen suların sulamada kullanılması uygun değildir. Sulamada kullanıldığı takdirde bitkilerde toksisiteye neden olmaktadır. Bu durum bitkilerin gelişimini olumsuz etkilediği gibi arsenikli sularla yetişmiş besinlerin tüketimiyle de insanlara geçer. Ayrıca insanların arsenikli suları tüketmesiyle de gastrointestinal (GI) bozukluklar, ishal, stomatit, titreme, dışkıda pas kırmızısı renk, ataksi, felç, kusma ve kasılma, depresyon ve zatürre gibi rahatsızlıklara yol açar (Verma ve Dwivedi, 2013). Ağır metallerin bazı etkileri ise toksik (akut, kronik veya subkronik), nörotoksik ve hatta kanserojen, mutajenik veya teratojenik olabilir (Singh vd., 2010).

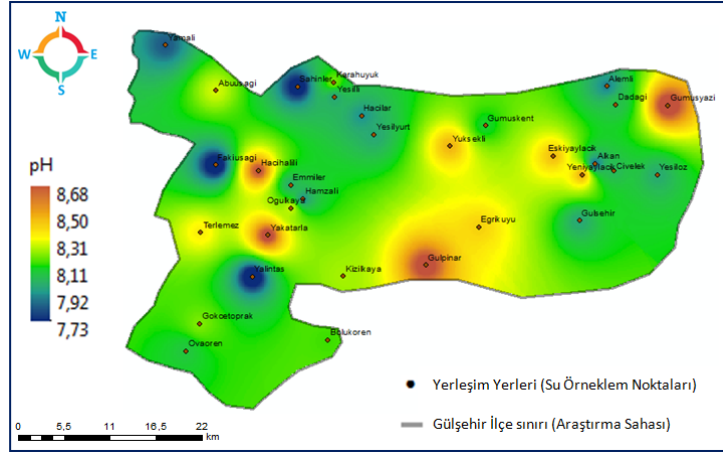
Cd ve Pb elementleri hiçbir köyde belirtilen değer dışına çıkmadığından bu köylerdeki sulama suyunun tarımsal sulama için uygun olduğu saptanmıştır. Elde edilen değerler sadece kış mevsimine ait verilerdir. Bu değerler yazın kuyulardaki suyun sulamada kullanılması ile diğer mevsimlerde elde edilecek sular da farklı değerlerin ortaya çıkmasına sebep olabileceği düşünülmektedir. Benzer şekilde Gümüş (2021) sanayi, tarımsal ve evsel atık sularının yoğun baskısı altında bulunan Akarçay Akarsuyu (Afyonkarahisar)'nın ağır metal içeriğini incelediği çalışmada Cd değerini SKKY'ye göre 1. kalite su sınıfı içerisinde bulmuştur. Kubier vd. (2020) Almanya'nın Kuzeybatısındaki ovalarda yapmış oldukları çalışmada, sulama sularında Cd içeriğini 0.01 ile $0.98 \mu\text{g l}^{-1}$ aralığında bulmuştur. EPA (2009) da belirtilen $0.5 \mu\text{g l}^{-1}$ olan sınır değerinin üzerindeki suları tarımsal alanlardan tespit etmişlerdir. Bunun sebebini tarımsal alanlarının nitrat ile ilişkisi nedeniyle, Cd salımının antropojenik olarak indüklendiğinden kaynaklandığını bildirmişlerdir. Gülşehirdeki köylerde $0.5 \mu\text{g l}^{-1}$ 'nin altında kadmiyuma rastlanılmış olması, bu bölgede aşırı gübrelemeden kaynaklanan bir Cd birikiminden kaynaklanmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 3'te alınan yeraltısu örneklerinde belirlenen pH, EC, SAR ve RSC değerleri verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Hacıhalilli ve Eskiyaılacık köylerine ait suyun pH, EC, SAR düzeyi uygun görünürken RSC'nin uygun olmayan (2.5'ten büyük) değerlere sahip olduğu görülmüştür. Şahinler Köyü'nün EC değeri yüksek çıkmıştır. Kontrollü kullanımı gerektirmektedir. Diğer köylere ait tüm pH, EC, SAR ve RSC değerleri kullanılabilir, iyi ve çok iyi düzeylerinde bulunmuştur.

Tablo 3. Gülşehir Köylerine Ait Yeraltı Sularının Ph, EC, SAR ve RSC Değerleri

| Su Örneklem Lokasyonları | pH | EC | SAR | RSC |
|--------------------------|------|-------------|------|-------------|
| Abuuşağı | 8.27 | 903 | 1.89 | -7.97 |
| Alemlı | 7.9 | 330 | 0.87 | -1.17 |
| Alkan | 7.88 | 220 | 0.27 | -0.82 |
| Bölükören | 8.14 | 340 | 0.61 | -0.22 |
| Civelek | 8.02 | 293 | 1 | 0.37 |
| Dadağı | 8.04 | 982 | 3.25 | -4.43 |
| Eğrikuyu | 8.4 | 535 | 3.06 | 1.07 |
| Emirler | 7.99 | 1483 | 3.38 | -9.09 |
| Emmiler | 7.99 | 1483 | 3.38 | -9.09 |
| Eskiyaylacık | 8.44 | 690 | 8.41 | 2.53 |
| Fakıusağı | 7.74 | 1930 | 2.25 | -14.9 |
| Gökçetoprak | 8.19 | 464 | 2.07 | 0.53 |
| Gülpınar | 8.67 | 532 | 4.32 | -2.24 |
| Gümüşkent | 8.09 | 889 | 1.17 | -7.56 |
| Gümüşyazı | 8.7 | 856 | 5.88 | 0.93 |
| Hacıhalilli | 8.64 | 720 | 9.84 | 3.02 |
| Hacılar | 7.92 | 288 | 0.87 | -0.49 |
| Hamzalı | 7.94 | 491 | 1.82 | -1.86 |
| Karacahöyük | 8.19 | 410 | 0.98 | -0.76 |
| Kızılkaya | 8.23 | 699 | 4.07 | 0.77 |
| Merkez | 7.97 | 1684 | 1.77 | -9.69 |
| Oğulkaya | 8.26 | 406 | 1.91 | 0.87 |
| Ovaören | 8.06 | 376 | 1.44 | 0.14 |
| Şahinler | 7.76 | 2536 | 4.13 | -15.86 |
| Terlemez | 8.4 | 327 | 2.59 | 2.16 |
| Yakatarla | 8.68 | 893 | 5.79 | 0.84 |
| Yalıntaş | 7.73 | 675 | 0.97 | -5.74 |
| Yamalı | 7.86 | 1820 | 4.43 | -9.67 |
| Yeniyaylacık | 8.47 | 390 | 0.64 | -1.63 |
| Yeşilli | 8.2 | 355 | 1.81 | 1.01 |
| Yeşilöz | 7.98 | 969 | 1.94 | -7.34 |
| Yeşilyurt | 7.97 | 554 | 2.78 | -0.73 |
| Yüksekli | 8.46 | 324 | 1.01 | 1.18 |

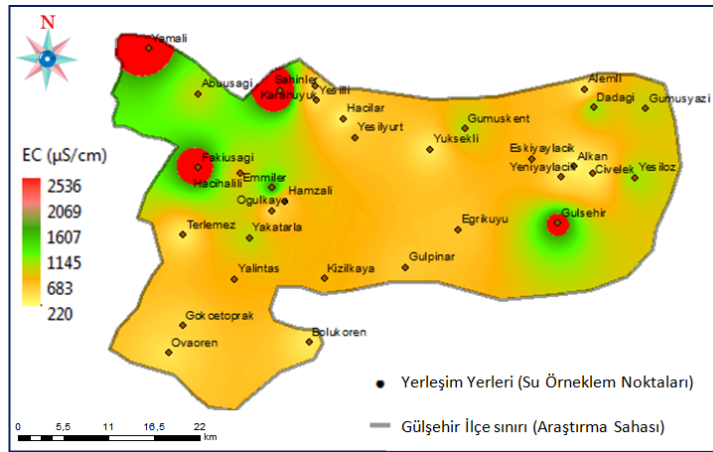
Yerlatisuyu örnekleri alınan lokasyonlarda belirlenen pH değerlerine ilişkin mekansal değerlendirme modelleri Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. pH Değerlerinin Mekansal Dağılım Modeli

Çalışma sahasından 32 farklı lokasyondaki yeraltı sularından alınan su örneklerinde pH değerlerinin 7.73-8.68 arasında değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Özellikle çalışma alanının Gümüşyazi, Gülşehir, Yakatarla ve Hacıhalilli köylerindeki yeraltı sularının pH değerleri 8.5'in üzerinde olduğu saptanmıştır.

Araştırma sahasından alınan 32 su numunesinin ortalamasına göre pH değeri 8.16 olarak belirlenmiştir. Genel anlamda Gülşehir ilçesi sınırlarından farklı lokasyonlardan alınan yeraltı su örneklerinin bazik bir karakter gösterdiği görülmüştür. Kavurmacı (2010) Gümüşkent köyünün mineralli su kaynaklarını araştırdığı çalışmasında pH değerinin 6.38-6.5 arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir. Bu çalışmada Gümüşyazi pH değeri 8.09 olarak bulunmuştur. Değerler arasındaki farklılığın mineralli su kaynaklarının sıcaklık derecesindeki artıştan kaynaklandığını düşündürmüştür. Sulardaki sıcaklık değeri arttıkça pH değeri düşmektedir (Ölmez ve Saraç, 2009). Araştırma alanından alınan sulama suyu örneklerinde ölçülen EC değerlerinin mekansal dağılım modeli ise Şekil 3'te verilmiştir.

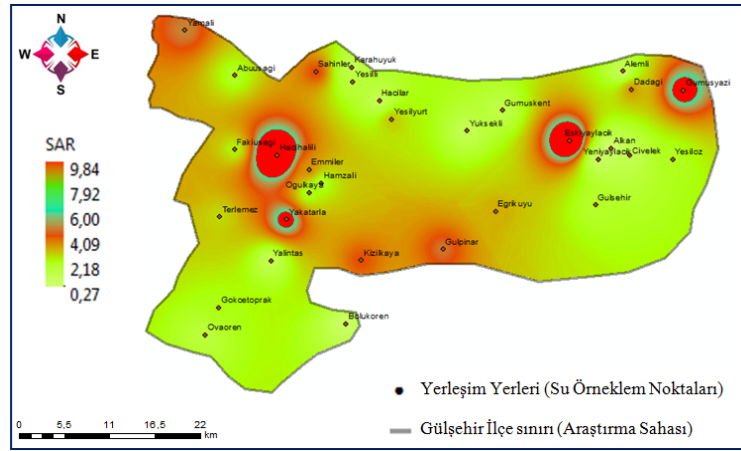


Şekil 3. EC Değerlerinin Mekansal Dağılım Modeli

Araştırma sahasındaki yeraltı sularındaki EC değerleri 220-2536 $\mu\text{S cm}^{-1}$ arasında dağılım göstermiştir. Özellikle Gülşehir merkez (1684 $\mu\text{S cm}^{-1}$), Yamalı (1820 $\mu\text{S cm}^{-1}$), Fakiuşağı (1930 $\mu\text{S cm}^{-1}$) ve Şahinler (2536 $\mu\text{S cm}^{-1}$) köylerinden alınan su örneklerindeki EC değerlerinin diğer lokasyonlardan alınan EC değerlerine nispeten daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanından alınan 32 su örneğindeki ortalama EC değerinin ise 762 $\mu\text{S cm}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Tarımsal sulama suyu kalitesi bakımından sulama sularındaki EC değerinin 2500 $\mu\text{S cm}^{-1}$ aralığında olan suların tarımsal sulama

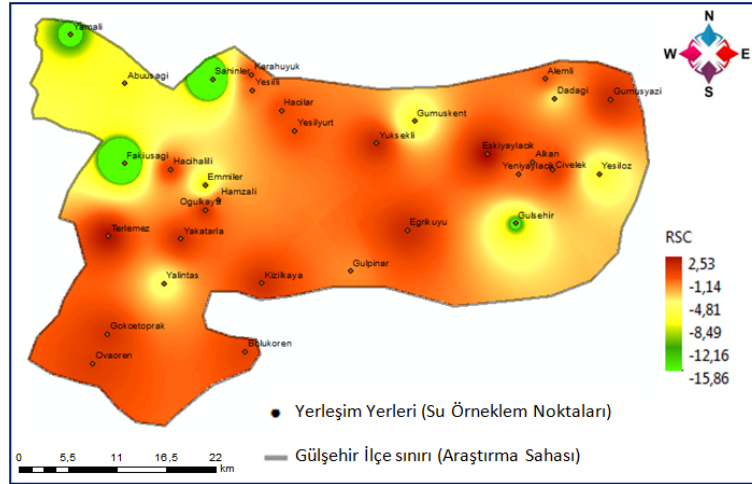
amaçlı kullanılmasında izin verilebilir sınıfına girdiği bilinmektedir (FAO, 1985). Araştırma sahasındaki bazı lokasyonlarda EC değerinin izin verilebilir sınır değerlerinden yani $2500 \mu\text{S cm}^{-1}$ 'den yüksek olması sulardaki tuzluluğun bir göstergesi olup bu suların sulama suyu amaçlı kullanılmasına devam edilmesi ilerleyen zamanlarda toprakta tuz birikiminin artmasına neden olmakla birlikte yetiştirilen bitkide verim kaybı ve bitkilerde bir takım gelişme bozukluklarına neden olacaktır. Bozdağ (2017), Konya Ovası yeraltı sularının kalitesini incelediği çalışmada, EC değerini $578-5972 \mu\text{S cm}^{-1}$ aralığında bulmuşlardır. Bölgenin %8.5 oranında yeraltı sularının sulama suyu için uygun olmayan sınırlarda bulunduğunu bildirmişlerdir. Kavurmacı (2010) Gümüşkentteki mineralli sularda EC değerini $2920-3160 \mu\text{S cm}^{-1}$ olarak bulmuşlardır. Bu çalışmada ise Gümüşkent köyünün EC değeri $889 \mu\text{S cm}^{-1}$ bulunmuştur. Değerlerin birbirinden farklı olmasının nedeni suların su - kayaç temas sürelerinin farklı olmasından ya da suların çözünürlükleri farklı kayalarla temas etmesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Ayrıca ölçülen suların sıcaklık derecelerinin farklılığından da kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Sulama sularındaki su kalitesi değerlendirme parametrelerinden bir tanesi de SAR'dır. Çalışma sahası için 32 farklı lokasyondan alınan yeraltı sulama suyu örneklerinde SAR değerleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar CBS ortamında analiz edilerek Şekil 4'te mekansal dağılım modeli oluşturulmuştur. Çalışma alanındaki SAR değerlerine bakıldığında 0.27-9.84 arasında değişkenlik gösterdiği görülmüştür. SAR; sulama sularının tarımsal sulama amaçlı kullanılabilirliğinin bir göstergesidir. $\text{SAR} < 10$ olan sular tarımsal sulama amaçlı kullanılabilir olup mükemmel su kalitesinde olarak sınıflandırılmaktadır (Ayyıldız, 1983). Bu bağlamda Gülşehir ilçe sınırları dahilinde 32 lokasyondan yeraltı sularından alınan su örneklerindeki SAR değeri tarımsal sulama suyu kalitesi açısından uygun olduğu söylenebilir. Alobaidly ve ark. (2010) İran koşullarında SAR değerini 2.11 olarak bulmuşlardır. Gülşehirdeki tüm köylerde suların SAR değeri de İran koşullarındaki gibi sulamaya engel teşkil etmeyecek düzeydedir.



Şekil 4. Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR) Değerlerinin Mekansal Dağılım Modeli

Araştırma alanı için sulama suyu kalitesi değerlendirme ölçütlerinden olan kalıcı sodyum karbonat (RSC) değerleri çalışma sahası için hesaplanmış ve Gülşehir ilçesi için mekansal dağılım modelleri oluşturulmuştur. Hesaplanan RSC değerlerine ilişkin yapılan mekansal değerlendirme modeli Şekil 5'te verilmiştir.



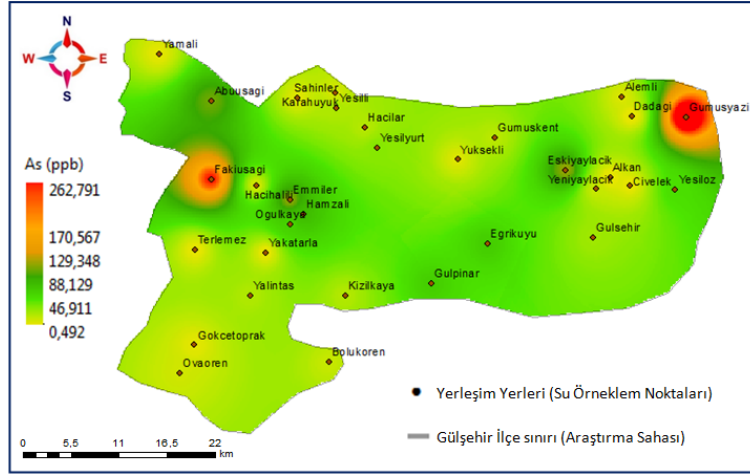
Şekil 5. Kalcı Sodyum Karbonat (RSC) Değerlerinin Mekansal Dağılım Modeli

Alınan sulama suyu örneklerindeki hesaplanan en yüksek RSC değerinin 2.53 ile Eskiyaılacık Köyü'nde olduğu belirlenmiştir. RSC bakımından sulama suları kritik düzeyde olup bu suların kullanılmasının sürekli takip edilmesi ve su analizlerinin sık olarak yapılması tavsiye edilmektedir. Alobaidly ve ark. (2010) İran koşullarında RSC değerini -12.75 olarak bulmuşlardır. Gülşehirde Eskiyaılacık ve Hacıhalilli köyleri dışındaki köyler de İran koşullarındaki gibi sulamaya engel teşkil etmeyecek düzeyde olduğu anlaşılmıştır.

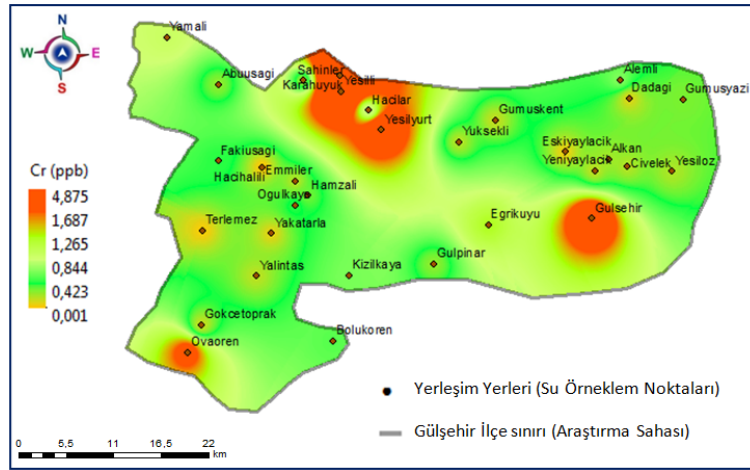
Sulama suyu kalitesinin değerlendirilmesi amacıyla yürütülen bu çalışma kapsamında alınan sulama suyu örneklerinde belirlenen arsenik içeriğinin mekansal dağılım modeli ise Şekil 6'da verilmiştir.

Nevşehir ilinde gerek kayaç yapısı gerekse de jeomorfolojik toprak yapısı nedeniyle As miktarının yüksek düzeyde olduğu bilinmektedir. Çalışma sahasından alınan 32 su örneğinde As değerlerinin 0,492-262,791 $\mu\text{g l}^{-1}$ arasında değiştiği görülmüştür. Dünya Sağlık Örgütü kriterlerine bakıldığında özellikle içme sularından As değerinin 10 $\mu\text{g l}^{-1}$ 'yi geçmemesi istenmektedir (Chakraborti, 2016). Ancak yeraltı suyundan yapılan sulama sularındaki yüksek As nedeniyle sulama ile birlikte As miktarı da bitkiye geçerek bitki bünyesinde birikime neden olabilmektedir. Araştırmacılar tarafından yapılan bazı çalışmalarda özellikle çerezlik kabak bitkisinde sulama suyu kaynaklı As birikiminin yüksek olduğu görülmüştür (Oğuz vd., 2016).

Bu bakımdan bölgedeki sulama sularının As içeriği bakımında takip edilmesi ve tarımsal üretimin izlenmesi gerekmektedir. Bitki bünyesinde de birikime neden olan arsenik insan sağlığını olumsuz etkileyen kanserojen bir ağır metaldir. Bu bağlamda sadece araştırma sahasının değil Nevşehir ili genelinde kullanılan tarımsal sulama sularının yakın takip edilmesi oldukça önem arz etmektedir.



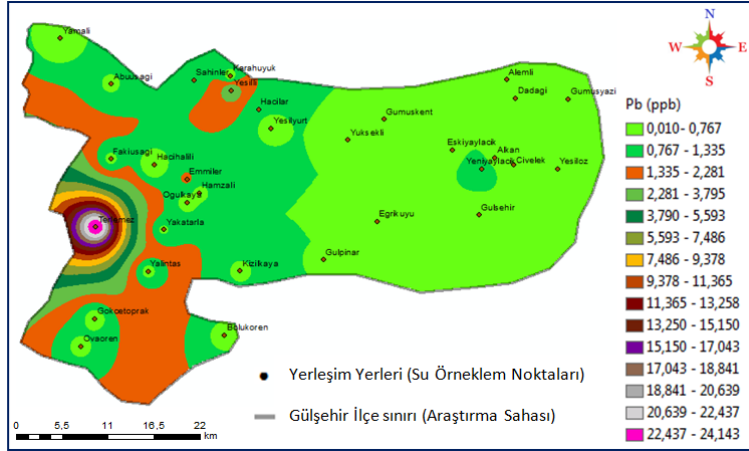
Şekil 6. Arsenik (As) Değerlerinin Mekansal Dağılım Modeli



Şekil 7. Kurşun (Pb) Değerlerinin Mekânsal Dağılım Modeli

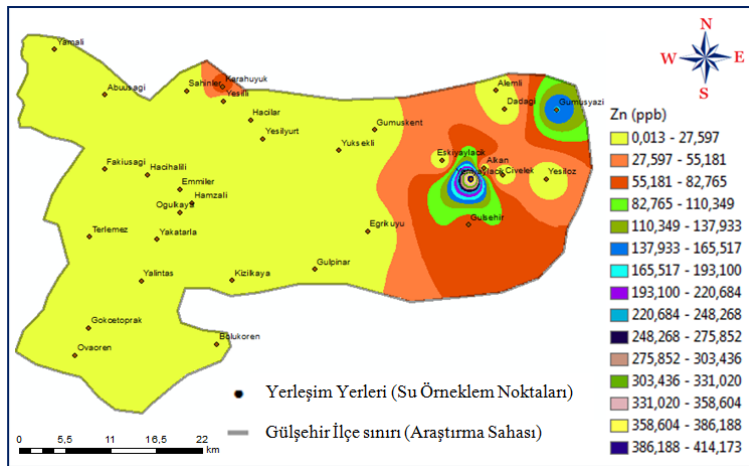
Araştırma alanından alınan su örneklerinde tespit edilen Pb miktarlarının mekansal dağılım modeli de Şekil 7'de sunulmuştur. Sulama suyu örneklerinde Pb değerleri de belirlenmiş olup 0.010-24.143 $\mu\text{g l}^{-1}$ arasında değişiklik gösterdiği görülmüştür. Özellikle Gülshehir ilçesinin batısında yer alan lokasyonlardaki yeraltı sularında Pb birikiminin diğer noktalara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. En yüksek Pb değeri 24.143 $\mu\text{g l}^{-1}$ ile Terlemez Köyü'nden alınan su örneklerinde tespit edilmiştir. Sulama sularındaki izin verilebilir Pb sınır değeri 5000 $\mu\text{g l}^{-1}$ olduğu göz önüne alındığında çalışma alanındaki yeraltı sularında tespit edilen Pb değerinin izin verilebilir sınır değerinin çok altında olduğu ve Pb içeriği bakımından tarımsal sulama amaçlı kullanılabilir olduğu görülmektedir. Yeraltı sularındaki Pb birikimi özellikle Pb içerikli tarımsal ilaç ve pestisitler ile kimyasal gübre ve araçların egzoz gazından kaynaklandığı bilinmektedir. Bu bağlamda ilgili kimyasal girdilerin kontrollü bitkiye ve toprağa uygulanması ve mümkün olduğunca Pb içerikli olmayan kimyasal uygulamaların yapılması ilerde sulara Pb birikiminin artmasını engelleyecektir.

Gülşehir ilçesinden 32 farklı noktadaki yeraltı sularından alınan su örneklerinde krom (Cr) analizleri de gerçekleştirilmiştir. Su örneklerinde belirlenen Cr miktarlarının mekansal dağılım modeli ise Şekil 8'de sunulmuştur.



Şekil 8. Krom (Cr) Değerlerinin Mekânsal Dağılım Modeli

Yapılan analizler neticesinde Cr miktarın $0.001-4.875 \mu\text{g l}^{-1}$ arasında değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Özellikle Gülşehir merkezi ile Yeşilyurt ($2.924 \mu\text{g l}^{-1}$), Karahüyük ($4.875 \mu\text{g l}^{-1}$) ve Yeşilli ($3.61 \mu\text{g l}^{-1}$) köylerindeki Cr miktarlarının diğer lokasyonlara nispeten daha yüksek olduğu görülmüştür. Sulama sularında izin verilebilir Cr miktarının 0.1 mg l^{-1} 'yi aşmaması istenmektedir. Bu bağlamda Cr miktarı bakımında yeraltı sularının bu bölgede tarımsal sulama amaçlı kullanılmasında herhangi bir sorun görülmemiştir. Kumbur vd. (2008) Mersin koşullarında tarımsal amaçlı kullanılan sularda Cu, Mn, Cr, Ni ve Mo tespit etmişlerdir. Sularda görülen bu ağır metallerin bölgede yoğun olarak kullanılan pestisitlerden kaynaklandığını bildirmişlerdir. Gülşehir ilçesinin köylerinden elde edilen sularda bu elementlerin sınır değerlerin üzerinde çıkmaması bölgede pestisit ve gübrelemenin aşırı yapılmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çalışma sahasından alınan su örneklerinde tespit edilen Zn derişimlerinin mekansal dağılım modeli ise Şekil 9'da görülmektedir.



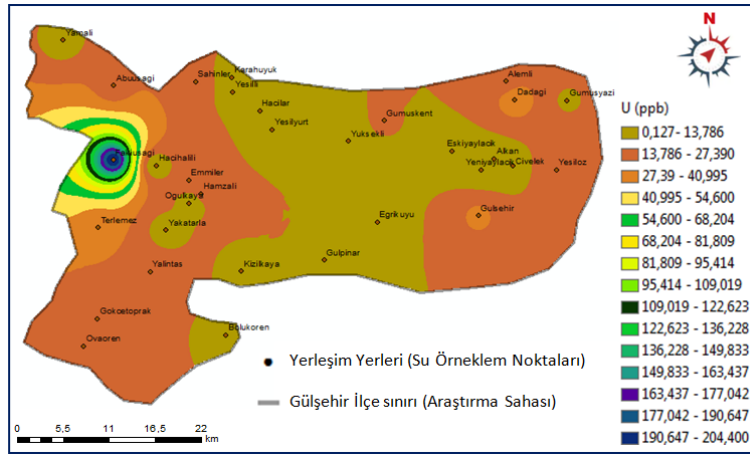
Şekil 9. Çinko (Zn) Değerlerinin Mekansal Dağılım Modeli

Gülşehir ilçesi yeraltı sularından alınan sulama suyu örneklerinde tespit edilen Zn miktarlarının $0.013-414.173 \mu\text{g l}^{-1}$ arasında değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Çinko değerlerinin alansal dağılımına bakıldığında, özellikle Yeniaylacık ($414.173 \mu\text{g l}^{-1}$) ve Gümüşyazı ($167.233 \mu\text{g l}^{-1}$) köylerinde yüksek olduğu bu miktarların diğer su örnekleri alınan noktalara kıyasla Zn konsantrasyonu bakımından daha yüksek düzeyde seyrettiği belirlenmiştir.

Sulama sularında Zn için izin verilebilir sınır değerinin 2 mg l^{-1} 'yi aşmaması istenir (SKKY, 2004). Bu bağlamda araştırma sahasından alınan sulama suyu örneklerindeki Zn konsantrasyonunun izin verilebilir sınır değerlerinde olduğu ve kuyu sularının tarımsal sulama suyu amaçlı kullanımında Zn bakımından herhangi bir sorun olmadığı söylenebilir.

Ahmed vd. (2018), yaptıkları sulama suyu ve toprak verilerinin hiyerarşik küme analizinde, sulama suyu ve toprağın kirlenmesinin endüstriyel atıkların sulama suyuna boşaltılmasından kaynaklandığını ortaya koymuştur. Çalışmada yapraklı sebzelerdeki ağır metal konsantrasyonları çoğunlukla izin verilen Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği limitlerinin altındayken, kök sebzelerdeki As, Cr ve Pb konsantrasyonları izin verilen limitleri aşmıştır. Sebze verilerinin korelasyon ve küme analizleri, sebzelerdeki ağır metal kontaminasyonundan kirli sulama suyu ve toprak kullanımının sorumlu olabileceğini göstermiştir. Kök sebzelerdeki biyokonsantrasyon faktörüne (BCF) göre As, Cr, Zn ve Pb elementlerinin topraktan sebzelere transferi orta/düşük, Cd ve C elementlerinin ise yüksektir. Bu kök sebzeler insan tüketimi için güvensiz kabul edildiğinden, kök sebzeler ekilirken bu tür bir kirlenme daha ciddiye alınmalıdır. Nevşehir il genelinde ve Gülşehir ilçesinde kök sebzelerden biri olan patates yetiştiriciliğinin yaygın olmasından ötürü, bu bölgelerde özellikle de As, Cr, Zn ve Pb bakımından yüksek olan sularla patates yetiştiriciliğinin yapılmaması gerekmektedir.

Araştırma sahasından alınan su örneklerinde tespit edilen uranyum derişimlerinin mekansal dağılım modeli Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Uranyum (U) Değerlerinin Mekânsal Dağılım Modeli

Alınan sulama suyu örneklerinde uranyum konsantrasyonunun $0.127-204.4 \text{ } \mu\text{g l}^{-1}$ arasında değişiklik gösterdiği görülmüştür. Özellikle çalışma sahasının batısında kalan lokasyonlarda bu oranının diğer su örneği alınan noktalara nispeten daha yüksek olduğu mekansal dağılım modelinden de görülmektedir. En yüksek uranyum miktarı Fakiuşağı ($204.4 \text{ } \mu\text{g l}^{-1}$) köyünde tespit edilmiştir. Uranyumun kritik değeri Dünya Sağlık Örgütü'nün standartlarına göre $30 \text{ } \mu\text{g l}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (WHO, 2017). Başta Fakiuşağı olmak üzere Dadağı, Terlemez ve Merkez ilçelerde bu değer çok üstünde olduğu anlaşılmaktadır. Bu bölgedeki suların içme suyu olarak kullanılmaması gerektiği öngörülmüştür. İnsan sağlığına zararlarının yanında uranyum kanserojen bir madde olup bitkiler üzerine ciddi anlamda toksik etki yapmaktadır (Wagner ve ark., 2011). Bitki kökleri yardımıyla da bitki bünyesinde birikime neden olabilir. Bu bağlamda özellikle uranyum miktarının çok yüksek olduğu Fakiuşağı Köyü'ndeki tarımsal üretimin izlenmesi ve sulama suyu kaynaklarının yakından takip edilmesi tavsiye edilmektedir. Bu durum Fakiuşağı'nda uranyumca zenginleşme gösteren kayaların olabileceğini düşündürmüştür. Küçüksümbül ve Tarcan (2021), Söke (Aydın) yeraltı sularında uranyum miktarını belirtilen sınır değerlerin üç katı kadar yüksek bildirmişlerdir. Uranyumun yüksek çıktığı noktaların gnays ve şist dokanalarında olduğunu gözlemlemişlerdir. Benzer şekilde Fakiuşağı'nda da görülen yüksek uranyumun sebebinin bölgenin eriyonitli volkanik tüf kayalarının volkanik yapısından kaynaklandığını düşündürmüştür. Atabay (2007), eriyonitli volkanik tüf kayalarının Gülşehir ilçesine bağlı Fakiuşağı köyünü de içine alan bölgelerde yüzeylendiğini ve bu

minerali içeren tuflein gri, beyaz, sarımsı, bej pomza ve volkanik kayaç parçaları ile amfibol, piroksen, plajiyoklas, kuvars, biyotit ve opak mineralleri de içerdiğini bildirmişlerdir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar, hem Türkiye hem de diğer ülkelere ait yeraltı suyunda ağır metal, pH, EC, RSC ve SAR gibi sulama suyu kalite belirteçlerinin birbirine benzer veya farklılıklar olduğunu göstermiştir. Çalışma sonuçları, Nevşehir toprakları volkanik tüflerden oluştuğundan bazı mineral maddeler bakımından zengin olması ve ayrıca, yoğun gübreleme, sanayi atıkları ve tarımsal ilaçlamalar nedeniyle bölgede As, Cd, Cr ve Ni gibi insan sağlığına zararlı olabilecek ağır metal birimi olabileceğini göstermektedir. Örneğin, Beyhan ve Algül (2018), Bafa gölü'nde çalıştıkları bazı istasyonlarda tarımsal arazide kullanılan ilaç ve gübrelerin sulama suyuna karıştığını ve bu noktalarda yüksek Ni, Cd, Cr, Cu ve Fe değerlerinin olduğunu bildirmişlerdir. Gülşehir'deki köylerde bu ağır metaller belirtilen sınır değerlerin altında çıkmıştır. Bu durum köylerde tarımsal amaçla kullanılan gübre ve ilaçların yoğun olarak sulama suyuna karışmadığını düşündürmüştür. Kamra vd. (2000), Hindistanın kuzeybatısındaki ovaların yeraltı suyu kalite değerlendirmesiyle ilgili yapmış oldukları çalışmada; EC değerini 1–30 dS m⁻¹, pH değerini 8.1–9.6, SAR'ı 4–203 ve RSC'yi 0–70 aralığında bulmuşlardır. Sonuçların geniş bir aralıkta değiştiği buna karşın Gülşehir'deki yeraltı sularından çok daha yüksek olduğu görülmektedir. Araştırmacılar EC, pH, SAR ve RSC'nin kuyu derinliği arttıkça yükseldiğini bildirmişlerdir. Gülşehir'den elde edilen suların bir çoğunun 60 m'den daha az derinlikten alınmış olması Hindistan'daki yeraltı sularından elde edilen EC, pH, SAR ve RSC değerinden daha düşük çıkma sebebinin doğrulamıştır. Subaşı (2017), Kaman'ın (Kırşehir) kuzey bölgesinde yeraltı suyu kalitesini incelediği çalışmasında; As, F (flor) ve U değerlerini yüksek bulmuştur. Bu değerlerin yüksek çıkmasını bölgede işletilmiş demir ve florit maden alanlarında yapılan tahribatlardan, aşırı gübre ve tarımsal ilaçlardan kaynaklı olabileceğini bildirmiştir. Benzer şekilde bölgeye yakınlığı ile bilinen Gülşehir (Nevşehir)'de de As ve U değerleri yüksek çıkmıştır. Bu değerlerin yüksek çıkmasının Gülşehir ilçesinin volkanik eriyonitli volkanik tuf kayalarından oluşmuş olmasından kaynaklanabileceği düşünülmüştür (Atabey, 2007).

Sonuç ve Öneriler

Yapılan çalışma sonucunda Nevşehir ili Gülşehir ilçesinde bulunan Emmiler, Gümüşyazı, Fakıuşağı, Eskiyaılacık ve Dadağı köylerinde tarımsal sulama için belirlenen As aralığının standartların üzerinde olduğuna rastlanılmıştır. Bu köylerdeki yüksek As içerikli sulardan arınmak için çeşitli iyileştirme yöntemlerinin kullanılması önerilmiştir. Bunlardan kimyasal ve fiziksel remediasyon yöntemleri maliyetli, biyolojik yöntemlerin kullanılması ise daha etkin bir yöntemdir. Fitoremediasyon teknolojisi de denilen bu yöntemle bitki materyali kullanılarak ağır metal ile kirlenen sulardaki organik ve inorganik maddeler arındırılmaktadır. Uranyum içeriği başta Fakıuşağı olmak üzere Dadağı, Terlemez ve Merkez köylerde çok yüksek bulunmuştur. Bu köylerdeki suların içilmemesi ve bölgenin uranyum kaynak araştırmasının yapılması önerilmiştir. Cr, Fe, Co, Ni, Al ve Zn elementleri hiçbir köyde Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinin sınır değerinin dışına çıkmamıştır. Tarımsal sulama için uygun olduğu tespit edilmiştir.

EC değeri Kış mevsiminde Yamalı, Fakıuşağı ve Eğrikuyu köylerinde yüksek çıkmıştır. Tuzluluk ile EC değeri arasındaki sıkı ilişkiden ötürü EC değerinin yüksek çıkması suların tuz içeriğinin yüksek olduğunu göstergesidir. Bu sularla sulanan bitkilerin tuz stresine girme olasılığı çok yüksektir. Tuzlu sular kültür bitkisi yetiştiriciliğini sınırlayan önemli faktörlerden biridir. Dolayısıyla tuz seviyesinin yüksek olduğu sularla bitkisel üretim yapılacak ise tuz stresine dayanıklı bitki türleri ve çeşitlerin yetiştirilmesi gerekmektedir. Yamalı, Fakıuşağı ve Eğrikuyu köylerinde üreticilere tuz stresine toleranslı asma anaçları (41 B ve Kober 5 BB, 1616 C Amerikan asma anacı), kültür iğdesi, alıç, muşmula, hünnap, lavanta, sorgum, kinoa ve kapari bitkilerinin yetiştiriciliğinin yapılması önerilmiştir. Bölgede tarımı yapılabilen şeker pancarı, sorgum, arpa, buğday, soya fasulyesi, çerezlik kabak, balkabağı, sakız kabağı gibi toleranslı ve orta derecede toleranslı kültür bitkileri yetiştirilebilir. Bu çalışma özellikle Nevşehir yöresinde, sulama sularında; ağır metal ve tuzluluk oranlarının değişimi konusunda ileride yapılacak daha detaylı çalışmalara ışık tutacaktır.

Yazar Katkısı

Mualla Keten Gökkuş, köylerden kuyu suyu örneklerini topladı, deneysel ortamını hazırladı, deneysel süreci takip etti, makale yazımında yer aldı. *Muhammed Cüneyt Bağdatlı*, haritaların oluşturulmasını sağladı ve verilerin analizlerini gerçekleştirdi. *Halil İbrahim Oğuz*, verilerin değerlendirilmesi ve makale yazımında yer aldı. Yazarlar makaleyi birlikte yazdı, okudu ve onayladı.

Etik

Bu makalenin yayınlanmasıyla ilgili herhangi bir etik sorun bulunmamaktadır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını belirtmektedir.

ORCID

Mualla Keten Gökkuş  <https://orcid.org/0000-0001-7741-922X>

Muhammed Cüneyt Bağdatlı  <https://orcid.org/0000-0003-0276-4437>

Halil İbrahim Oğuz  <https://orcid.org/0000-0003-2213-7449>

Kaynaklar

- Agca, N. ve Özdel, E. (2014). Assessment of spatial distribution and possible sources of heavy metals in the soils of Sariseki-Dörtyol District in Hatay Province (Turkey). *Environmental Earth Science*, 71, 1033–1047. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2507-8>
- Ahmed, M., Matsumoto, M. ve Kurosawa, K. (2018). Heavy metal contamination of irrigation water, soil, and vegetables in a multi-industry district of Bangladesh. *International Journal Environmental Research*, 12, 531–542. <https://doi.org/10.1007/s41742-018-0113-z>
- Ahmed, M., Matsumoto, M., Ozaki, A., Thinh, N. V. ve Kurosawa, K. (2019). Heavy metal contamination of irrigation water, soil, and vegetables and the difference between dry and wet seasons near a multi-industry zone in Bangladesh. *Water*, 11(3), 583. <https://doi.org/10.3390/w11030583>
- Alobaidy, A. H. M. J., Al-Sameraiy, M. A., Kadhem, A. J. ve Majeed, A. A. (2010). Evaluation of treated municipal wastewater quality for irrigation. *Journal of Environmental Protection*, 1(03), 216. <https://doi.org/10.4236/jep.2010.13026>
- Ayyıldız, M. (1990) *Sulama suyu kalitesi ve tuzluluk*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Ayyıldız, M. (1983). *Irrigation water quality and salty problems*. Atatürk University.
- Beyhan, M. ve Algül, F. (2018). Bafa Gölü sediment ve su kalitesinin ağır metaller bakımından değerlendirilmesi. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 2(2), 128-138. <https://doi.org/10.30516/bilgesci.413824>
- Anonim. (2010). Arc GIS 10.3.1. *ESRI environmental system research institute*, Redland.
- Atabey, (2007). Aksaray-Nevşehir arası eriyonit minerali içeren volkanik tüflerin dağılımı ve akciğer kanseri (mezotelyoma) ilişkisi [Sözlü sunum]. 60. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, Türkiye.
- Bozdağ, A. (2017). Çumra (Konya) Ovasındaki yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri ve sulama suyu kalitesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(3), 559-571. <https://doi.org/10.21923/jesd.283896>

- Cemek, B. ve Oktaş, R. (2020). Evaluation of quality of groundwater in irrigation using fuzzy logic in the Bafra Plain, Northern Turkey. *Eurasian Journal of Soil Science*, 9(4), 339-348. <https://doi.org/10.18393/ejss.783470>
- Ceylan, M. ve Vural, A. (2023). Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve analitik hiyerarşi süreci (AHS) yöntemi ile yeraltı suyu potansiyel alanlarının tespiti: Gökdere Havzası (Gümüşhane) örneği. *International Conference on Scientific and Academic Research*, 1, 342-349.
- Chakraborti, D. (2016). Is WHO guideline value of arsenic in drinking water 10 µg l⁻¹ in the developing countries safe to drink?. *BLDE University Journal of Health Sciences*, 1(1), 57. <https://doi.org/10.4103/2456-1975.183289>
- Dağdelen, N. (2012). Sulama Suyu Kalitesi. https://www.researchgate.net/publication/274582612_Sulama_Suyu_KalitesiFarkli_kaynaklardan_derleme_ve_ceviri_calismasidir adresinden 12 Şubat 2023 tarihinde alınmıştır.
- Elangovan, R., Yadava Mudaliar, P., Rahaman, K., Muttavarapu, R. ve Rajan, V. (2013). Evaluation of noise climate in a campus environment using geospatial technology. *Proceedings of Meetings on Acoustics*, 19, 040057. <https://doi.org/10.1121/1.4800404>
- EC (2015). European Communities. Commission directive 2015 CD (EU) 2015/1787 of 6 October 2015 amending annexes II and III to council directive 98/83/EC on the quality of water intended for human consumption. European Council.
- EPA (2009). United States Environmental Protection Agency. Edition of the drinking water standards and health advisories. <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf> adresinden 16 Ocak 2020 tarihinde alınmıştır.
- FAO (1985). Water quality for agriculture. FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gümüş, N. E. (2021). Akarçay akarsuyu (Afyonkarahisar) su kalitesi ve ağır metal kirliliği. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 6(1), 120-127. <https://doi.org/10.35229/jaes.839147>
- Güngör, Y., Erözel, Z ve Yıldırım, O. (2012). *Sulama ders kitabı*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları (No:1592).
- Islam, M.S. Ahmed, M. K. Habibullah-Al-Mamun ve M. Islam, S. M. A. (2017). Sources and ecological risk of heavy metals in soils of different land uses in Bangladesh. *Pedosphere*, 29(5), 665-675. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60394-1](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60394-1)
- Joshi, D. M., Kumar, A. ve Agrawal, N. (2009). Assessment of the irrigation water quality of river Ganga in Haridwar district. *Rasayan Journal of Chemistry*, 2(2), 285-292. <https://rasayanjournal.co.in/vol-2/issue-2/7.pdf>
- Kavurmacı, M. M. (2010). Çorak, Karakaya ve Gümüşkent (Nevşehir) mineralli sularının ve kaynak alanlarındaki travertenlerin hidrojeokimyası [Yayımlanmamış doktora tezi]. Aksaray Üniversitesi.
- Khan, S., Cao, Q., Zheng, Y. M., Huang, Y. Z. ve Zhu, Y. G. (2008). Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. *Environmental Pollution*, 152(3), 686-692. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.056>
- Kol, Ç. ve Küpçü, S. (2008). *Arc GIS spatial analiz*. İşlem Coğrafi Bilgi Sistemleri Mühendislik ve Eğitim Ltd. Şti.

- Kamra, S. K., Mongia, A. D., Singh, O. P. ve Boonstra, J. (2000). Hydraulic and geo-chemical characterization of saline groundwater aquifers through pumping test studies. *Proceedings of the International Conference on Managing Natural Resources for Sustainable Agricultural Production in the 21st Century, Extended Summaries of Voluntary Papers on Natural Resources*, 2, 534–535.
- Kumbur, H., Özsoy, H. D. ve Özer, Z. (2008) Mersin ilinde tarımsal alanlarda kullanılan kimyasalların su kalitesi üzerine etkilerinin belirlenmesi. *Ekoloji* 17, 68, 54-58. <https://eds.p.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=ddb7b127-e0b6-4b4a-a0c5-fa1eafeec3c%40redis>
- Kubier, A., Hamer, K. ve Pichler, T. (2020). Cadmium background levels in groundwater in an area dominated by agriculture. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 16(1), 103-113. <https://doi.org/10.1002/ieam.4198>
- Küçüksümbül, A. ve Tarcan, G. (2021). Nalbantlar Ovası (Söke, Aydın) yeraltı suyu ve tarım toprakları inorganik kalite araştırması: Arsenik ve uranyum tehlikesi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 45(2), 213-234. <https://doi.org/10.24232/jmd.1049636>
- Oğuz, H. İ., Bağdatlı, M., Erdoğan, O., Karatepe, A. ve Karipçin, F. (2016). Sulama suyu kaynakları ve çerezlik kabak (Cucurbita pepo L.)'ta arsenik kontaminasyonunun belirlenmesi: Nevşehir ilinde örnek bir uygulama. *Derim*, 33(1), 109-118. <https://doi.org/10.16882/derim.2016.49349>
- Ölmez, M. ve Saraç, D. (2009). Su ürünleri için pH'nın önemi. *Ziraat Mühendisliği*, 353, 12-17. <https://dergipark.org.tr/en/pub/zm/issue/52115/680975>
- Setianto, A. ve Triandini, T. (2013). Comparison of kriging and inverse distance weighted (idw) interpolation methods in lineament extraction and analysis. *Journal of Applied Geology*, 5(1), 21-29. <https://doi.org/10.22146/jag.7204>
- Singh, A., Sharma, R.K., Agrawal, M. ve Marshall, F.M. (2010). Health risk assessment of heavy metals via dietary intake of foodstuffs from the wastewater irrigated site of a dry tropical area of India. *Food and Chemical Toxicology*, 48(2), 611-9. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.11.041>
- SKKY, (2004). Su kirliliği kontrolü yönetmeliği tabloları. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2004/12/Su%20Kirliligi%20Yonetmeligi%20Tablolarini%20Gostermek%20i%20cin%20Bilgi%20Verme%20Amaci%20ile%20Hazirlanmistir> adresinden 12 şubat 2023 tarihinde alınmıştır.
- Subaşı, B. 2017. Kaman (Kırşehir) Kuzeyi'nin yeraltı suyu kirliliği açısından incelenmesi [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Karabük Üniversitesi.
- Taylan, E. D. ve Damçayırı, D. (2016). Isparta bölgesi yağış değerlerinin IDW ve kriging enterpolasyon yöntemleri ile tahmini. *İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi*, 459, 7551-7559. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/284992>
- TSE-TS 266. (2005). İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik, sular-içme ve kullanma suları. Türk Standartları.
- Verma, R. ve Dwivedi, P. (2013). Heavy metal water pollution-A case study. *Recent Research in Science and Technology*, 5(5), 98-99. https://www.researchgate.net/profile/Rashmi-Verma-5/publication/303152384_Heavy_metal_water_pollution-A_case_study/links/5a1e8ef90f7e9b9d5efff7f6/Heavy-metal-water-pollution-A-case-study.pdf
- Wagner, S. E., Burch, J. B., Bottai, M., Puett, R., Porter, D., Bolick-Aldrich, S., ... ve Hébert, J. R. (2011). Groundwater uranium and cancer incidence in South Carolina. *Cancer Causes Control*, 22, 41–50 (2011). <https://doi.org/10.1007/s10552-010-9669-4>

WHO (Dünya Sağlık Örgütü) (2017). Guidelines for drinking-water quality. WHO, World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf?sequence=1>

Yomralıoğlu, T. (2000). *Coğrafi bilgi sistemleri temel kavramlar ve uygulamalar*. İber Ofset.

Zhang, M. K., Liu, Z. Y. ve Wang, H. (2010). Use of single extraction methods to predict bioavailability of heavy metals in polluted soils to rice. *Communication Soil Science and Plant Analysis*, 41(7), 820–831. <https://doi.org/10.1080/00103621003592341>

Katı ve Sıvı Solucan Gübre Uygulamalarının Marul (*Lactuca sativa* L. var. *crispa*) Bitkisinin Verimine Etkisi

Tuğba Özbucak¹ , Hülya Alan² 

¹ Ordu Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Ordu

² Ordu Üniversitesi, Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Ordu

Geliş Tarihi / Received Date: 28.08.2023

Kabul Tarihi / Accepted Date: 25.09.2023

Öz

Tarımsal uygulamalar içerisinde özellikle kimyasal gübre uygulamalarının çevre üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu tür istenmeyen çevresel sorunlar spesifik solucanlardan elde edilen ve organik gübre olarak kullanılabilir olan ürünler ile hafifletilebilir. Yapılan bu çalışmada ahır gübresi, *Eisenia foetida* (Lumbricidae) ile kompostlanmıştır. Katı olarak elde edilen vermikompost ile ticari sıvı solucan gübresinin %0, 10, 20 ve 30'lük dozlarının) uygulandığı ortamlarda yetiştirilen *Lactuca sativa* L. var. *crispa* (Marul) bitkisinin bazı verim parametreleri (bitkinin boyu, eni, yaş ve kuru ağırlığı ile kök uzunluğu, yaş ve kuru ağırlıkları) üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada elde edilen bulguların istatistiksel analizlerine göre tüm parametreler üzerine gübre formu ve dozun önemli etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Katı ve sıvı solucan gübre uygulamaların bütün sonuçlarının kontrole göre önemli ve yüksek olduğu belirlenmiştir. Katı solucan gübre uygulamasının sıvı gübreye göre daha etkili olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, katı solucan gübresi uygulamasında bitkinin en, yaş ağırlık, kökün uzunluğu ve kuru ağırlığında en yüksek değerler %10 uygulama dozunda, bitki boyu, kuru madde ve kök yaş ağırlığı değerlerinde ise %20 uygulama dozunda en iyi değerler elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: vermikompost, sıvı solucan gübre, *L. sativa*, *Eisenia foetida*

The Effect of Solid And Liquid Worm Fertilizer Applications on Yield of Lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *crispa*)

Abstract

Among agricultural practices, especially chemical fertiliser applications have unfavorable impacts on the environment. Such undesirable environmental problems can be alleviated by products derived from specific earthworms, which can be used as organic fertilizer. In this study, barnyard manure was composted with the Red California earthworm *Eisenia foetida* (Lumbricidae). The effects of 0, 10, 20 and 30 % doses of solid vermikompost and commercial liquid vermikompost on some yield parameters (plant width, plant height, plant wet weight, plant dry matter weight, root length, root wet and dry matter weights) of lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *crispa*) plants grown in the applied media were investigated. According to the statistical analyses of the results obtained in the study, it was determined that the effect of fertilizer type and dose applications on all parameters was significant. It was determined that all results of solid and liquid vermikompost applications were significant and higher than the control. It was observed solid vermikompost application was more effective than liquid fertilizer. As a result, the highest values in plant width, plant wet weight, root length and root dry weight were obtained at 10% application dose, while the best values in plant height, dry matter and root wet weight were obtained at 20% application dose in solid vermikompost application.

Keywords: vermikompost, liquid vermikompost, *L. sativa*, *Eisenia foetida*

Giriş

Dünya nüfusunun hızlı artışı gıda talebinin artışına neden olmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak için tarımda gübreleme ve pestisit kullanımı yaygın kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. Toprak analizine dayalı olmayan kimyasal gübre uygulamalarının toprağın verim ve kalitesi üzerinde oldukça fazla olumsuz etkileri bulunmaktadır (Sipahi vd., 2017). Bununla beraber, toprakta bitki gelişiminin sürdürülebilir şekilde devamlılığı için ihtiyacı olan elementlerin ilave edilmesi de gerekmektedir (Sönmez vd., 2008). Tarımsal uygulamalarda yaygın olarak kullanılan kimyasal gübreler ve pestisitler çevre üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Bu nedenle bütün bu kimyasallara karşı alternatif yöntemler geliştirmek zorunlu hale gelmiştir. Bu da doğaya ve insana zarar vermeyen üretim sistemlerinin ve bilimsel çalışmaların ivme kazanmasına neden olmuştur. Son yıllarda tarımda çeşitli atıkların doğal veya suni olarak kompost ve malç formunda belirli aralıklarla toprağa ilave edilmesinin toprak özelliklerini iyileştirdiği ifade edilmiştir (Yağmur ve Okur, 2018).

Organik atıklardan toprak solucanları ile elde edilen vermikompost önemli bir toprak düzenleyicidir (Bellitürk ve Görres, 2012). Organik maddeleri inorganik hale dönüştüren solucanlar toprağın kalitesini arttırarak doğal ekosistemler için de oldukça faydalı bir rol oynamaktadırlar (Açıkbaş, 2016). Bu nedenle sürdürülebilir tarım uygulamaları içerisinde vermikompost oluşumu organik atıkların geri dönüşümü ile kirlilik yükünü ortadan kaldırmasıyla da önemli bir yer tutmaktadır (Tavuç, 2016). Bu potansiyel tarımda vermikültür denilen bir sektörün doğmasına neden olmuştur (Şimşek-Erşahin, 2011). Organik kökenli atıkların toprak solucanlarına mama olarak yedirilmesi olarak bilinen vermikompost işlemi aslında organik atıkların humuslaştırılması olarak da ifade edilebilir (Bellitürk, 2016; Bhat vd., 2018; Ludibeth vd., 2012; Manyuchi ve Phiri, 2013; Şimşek-Erşahin, 2011).

Marul (*L. sativa* L. var. *crispa*) bitkisi Compositae familyasının bir üyesi olup ticari potansiyeli olan, ılıman iklim bitkisidir (Eşiyok, 2012; Soylu vd., 2017). Organik madde açısından zengin topraklarda çabuk büyümektedir (Kibar, 2018). Marul yetiştirirken azot içerikli kimyasal gübrelerin fazla kullanılması insanlarda zararlı etkiler yapan nitrat birikimine neden olmaktadır (Polat vd., 2004; Vural vd., 2000). Marul vitamin ve mineral açısından zengin (Aybak, 2002; Demir vd., 2003) olup ülkemizde sera ve tarlada dört mevsim yetiştirilebilen bir üründür. Marul ve diğer ürünlerin yetiştirilmesinde toprak özellikleri, mevsim, su ve kullanılan gübre çeşitleri bitkinin içeriğini önemli oranda etkilemektedir (Saldamlı ve Sağlam, 1998).

Yapılan literatür araştırmasında marul bitkisi üzerinde katı ve sıvı solucan gübrelerinin etkilerinin karşılaştırıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu araştırma ile, serada yetiştirilen marul bitkisinin verimi üzerinde katı ve sıvı solucan gübrelerinin farklı dozlarının etkileri belirlenmeye ve karşılaştırılmaya çalışılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Çalışmada Maritima kıvrıkcık marul çeşidi kullanılmıştır. Vermikompost üretimi için 1x2 m ebadında hazırlanan kasalarda gerçekleştirilmiştir. Araştırmada kullanılan *Eisenia foetida* (Kırmızı Kaliforniya Solucanı)' solucanlarına besin olarak fermente edilerek hazırlanmış büyükbaş hayvan gübresi (separatör) verilmiştir. Ortamın nem ihtiyacı nemölçer cihazı ile takip edilerek %65-75 civarında tutulmuştur. Yaklaşık 6 ay sonra elde edilen katı solucan vermikompostu kullanılmıştır. Çalışmada sıvı solucan gübresi olarak ticari olarak satın alınan pH'ı 8,9, toplam azot içeriği %1, organik madde miktarı %8 olan Solomcan marka ürün kullanılmıştır.

Torf ve perlitler karışımı (3:1 oranında) ile hazırlanan viyollere marul tohumları ekilmiştir (Şekil 1). 20 m²'lik plastik bir serada yürütülen denemede 3-4 gün sonra çimlenme görülmüştür. 15 gün sonra viyol gözlerine birer adet fide kalacak şekilde seyreltme yapılmıştır. Yaklaşık bir ay sonra da fideler saksılara alınmıştır (Şekil 2). Sera içerisine uygun bir şekilde yerleştirilen toplam 3 kg'lık 24 adet saksıya %0 (kontrol), %10, %20, %30 dozlarında hazırlanan katı ve sıvı solucan gübreleri uygulanmıştır. Sıvı solucan gübresi firmanın önerisine uygun şekilde hazırlanarak uygulama

yapılmıştır. 3 tekerrür olarak gerçekleştirilen denemede saksılar şebeke suyu ile düzenli olarak sulanmıştır.



Şekil 1. Tohumların Viyollere Eklmesi



Şekil 2. Fidelerin Saksıya Alınması

Hasadı yapılan bitkilerin boy ve en uzunlukları cetvel yardımıyla ölçülmüştür. Bitkilerin yaş ve kuru ağırlıkları hassas teraziyile belirlenmiştir. Kuru madde oranı (g/bitki) ise saksıdan sökülen bitkilerin etüvde 105°C'de kurutulup tartılmasıyla bulunmuştur (Allen vd., 1986). Elde edilen verilerin İstatistiki analizleri SPSS v24 paket programı üzerinden yürütülmüş ve sonuçlar %5 önem düzeyi altında değerlendirilmiştir (Olmuş vd., 2017). ANOVA tipi istatistikler, özellikle gruptaki örneklem büyüklüklerinin benzer olduğu durumlar için sağlam kabul edildiğinden, makale boyunca iki yönlü ANOVA sonuçları rapor edilmiştir (Pituch ve Stevens, 2015).

Bulgular

Katı ve sıvı solucan gübrelere %0, 10, 20 ve 30'lük dozlarının marul bitkisinin eni, boyu, taze, kuru ağırlığı, kök uzunluğu, kök kuru ve yaş ağırlığı üzerindeki etkileri istatistiki olarak değerlendirilip aşağıda sunulmuştur.

Bitki Boyu (cm)

Bitki boyu açısından gübre ile doz etkileşiminin önemli olduğu görülmüştür ($p < .001$) (Tablo 1). Her iki gübre uygulaması kontrole göre yüksek olmakla beraber katı gübre uygulamasında sıvı gübre uygulamasına göre daha yüksek değerler elde edilmiştir.

Tablo 1. Bitki Boyu İstatistiksel Analizleri

| Gübre Formu | Doz | N | Ortalama (cm) | Std. Sapma |
|-------------|--|---|---------------|------------|
| Katı | Kontrol | 2 | 11.100 | 0.566 |
| | %10 | 3 | 25.333 | 3.786 |
| | %20 | 3 | 31.333 | 1.528 |
| | %30 | 3 | 23.333 | 1.528 |
| Sıvı | Kontrol | 2 | 11.050 | 5.586 |
| | %10 | 2 | 15.500 | 0.141 |
| | %20 | 3 | 13.233 | 0.643 |
| | %30 | 2 | 14.750 | 1.768 |
| Total | Kontrol ^a | 4 | 11.075 | 3.242 |
| | %10 ^b | 5 | 21.400 | 6.015 |
| | %20 ^b | 6 | 22.283 | 9.969 |
| | %30 ^b | 5 | 19.900 | 4.904 |
| p-değeri | Gübre: <.001 Doz: <.001 Gübre *Doz : <.001 | | | |

Bitki Eni (cm)

Bitki eni verilerine göre sadece gübre çeşidi ve doz önemli ($p < .001$) iken, gübre ile doz etkileşimi ise istatistiksel açıdan önemsizdir ($p > .05$). Katı gübre uygulamasının sıvı gübreye göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir (Tablo 2).

Tablo 2. Bitki Eni İstatistiksel Analizleri

| Gübre Formu | Doz | N | Ortalama (cm) | Std. Sapma |
|-------------|--|---|---------------|------------|
| Katı | Kontrol | 2 | 13.350 | 1.909 |
| | %10 | 3 | 29.667 | 3.215 |
| | %20 | 3 | 29.000 | 7.390 |
| | %30 | 3 | 29.433 | 3.235 |
| Sıvı | Kontrol | 2 | 9.800 | 5.657 |
| | %10 | 2 | 18.250 | 1.909 |
| | %20 | 3 | 18.267 | 1.290 |
| | %30 | 2 | 16.900 | 0.990 |
| Total | Kontrol ^a | 4 | 11.575 | 4.010 |
| | %10 ^b | 5 | 25.100 | 6.722 |
| | %20 ^b | 6 | 23.633 | 7.555 |
| | %30 ^b | 5 | 24.420 | 7.253 |
| p-değeri | Gübre : <.001 Doz: <.001 Gübre *Doz : 0.40 | | | |

Ortak harfi olmayan doz ortalamaları arasındaki farklılık istatistik olarak önemlidir (Tukey $p < .05$).

Bitki Yaş Ağırlığı (gr/bitki)

Farklı gübre uygulamalarının ve dozlarının bitki yaş ağırlığına olan etkilerinin istatistiksel analiz sonuçlarına göre gübre, doz ve gübre*doz interaksiyonunun önemli bulunduğu belirlenmiştir ($p < .01$) (Tablo 3). Katı gübre uygulamasının kontrole ve sıvı gübreye göre oldukça yüksek değerler gösterdiği tespit edilmiştir.

Tablo 3. Bitki Yaş Ağırlığı İstatistiksel Analizleri

| Gübre Formu | Doz | N | Ortalama | Std. Sapma |
|-------------|---|---|----------|------------|
| Katı | Kontrol | 2 | 1.500 | 0.707 |
| | %10 | 3 | 138.000 | 34.117 |
| | %20 | 3 | 117.667 | 32.716 |
| | %30 | 3 | 99.333 | 35.005 |
| Sıvı | Kontrol | 2 | 6.000 | 7.071 |
| | %10 | 2 | 13.500 | 0.707 |
| | %20 | 3 | 25.333 | 6.658 |
| | %30 | 2 | 22.000 | 2.828 |
| Total | Kontrol ^a | 4 | 3.750 | 4.856 |
| | %10 ^b | 5 | 88.200 | 72.334 |
| | %20 ^b | 6 | 71.500 | 54.804 |
| | %30 ^b | 5 | 68.400 | 49.080 |
| p-değeri | Gübre : <.001 Doz: <.001 Gübre çeşidi*Doz: 0.01 | | | |

Ortak harfi olmayan doz ortalamaları arasındaki farklılık istatistik olarak önemlidir (Tukey p<.05).

Bitki Kuru Madde Ağırlığı (gr)

Bitki kuru madde ağırlığına ilişkin tanımlayıcı istatistiklere bakıldığında (Tablo 4) katı solucan gübre kullanılan bitkilerin kuru madde ağırlığının sıvı solucan gübre uygulamasına göre yüksek ve istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir ($p<.001$). Doz miktarları açısından da istatistiksel olarak önemlilik görülmektedir ($p<.05$) ve bu önemliliğin farklı gübre çeşidi uygulamasından değil kontrole göre yüksek kaynaklandığı gözlenmiştir. Bitki kuru madde ağırlığı üzerinde gübre çeşidi ve doz etkisinin de etkisi olduğu tespit edilmiştir ($p<.05$).

Tablo 4. Bitki Kuru Madde Ağırlığı İstatistiksel Analizleri

| Gübre Formu | Doz | N | Ortalama (g) | Std. Sapma |
|-------------|---|---|--------------|------------|
| Katı | Kontrol | 2 | 0.503 | 0.704 |
| | %10 | 3 | 7.667 | 1.155 |
| | %20 | 3 | 9.333 | 2.517 |
| | %30 | 3 | 8.000 | 2.646 |
| Sıvı | Katkısız | 1 | 2.000 | |
| | %10 | 2 | 1.500 | 0.707 |
| | %20 | 3 | 2.667 | 0.577 |
| | %30 | 2 | 2.000 | 0.000 |
| Toplam | Katkısız ^a | 3 | 1.002 | 0.998 |
| | %10 ^b | 5 | 5.200 | 3.493 |
| | %20 ^b | 6 | 6.000 | 4.000 |
| | %30 ^b | 5 | 5.600 | 3.782 |
| p-değeri | Gübre : <.001 Doz: 0.02 Gübre *Doz : 0.34 | | | |

Ortak harfi olmayan doz ortalamaları arasındaki farklılık istatistik olarak önemlidir (Tukey p<.05).

Kök Uzunluğu (cm)

Kök uzunluğu üzerinde sadece doz miktarının tek başına istatistiksel olarak önemli olduğu gözlenmiştir ($p<.05$) (Tablo 5). Her iki uygulama kontrole göre yüksek olmakla beraber, katı gübre uygulaması sıvı gübreye göre daha yüksektir.

Tablo 5. Kök Uzunluğu İstatistiksel Analizleri

| Gübre Formu | Doz | N | Ortalama (cm) | Std. Sapma |
|-------------|---|---|---------------|------------|
| Katı | Kontrol | 2 | 7.500 | 0.707 |
| | %10 | 3 | 36.333 | 9.452 |
| | %20 | 3 | 27.333 | 2.754 |
| | %30 | 3 | 26.333 | 6.351 |
| Sıvı | Kontrol | 2 | 12.250 | 10.960 |
| | %10 | 2 | 22.900 | 3.394 |
| | %20 | 3 | 19.333 | 4.163 |
| | %30 | 2 | 23.100 | 2.687 |
| Total | Kontrola | 4 | 9.875 | 6.909 |
| | %10b | 5 | 30.960 | 10.084 |
| | %20b | 6 | 23.333 | 5.401 |
| | %30b | 5 | 25.040 | 5.011 |
| p-değeri | Gübre: 0.10 Doz: 0.00 Gübre*Doz: 0.21 | | | |

Ortak harfi olmayan doz ortalamaları arasındaki farklılık istatistik olarak önemlidir (Tukey $p<.05$).

Kök Yaş Ağırlığı (gr/bitki)

Kök yaş ağırlığı sonuçlarının istatistiki analiz sonuçlarına göre gübre çeşidi ile doz miktarı ve interaksiyonu önemli bulunmuştur ($p<.05$) (Tablo 6). Gübrenin katı olarak uygulandığı bütün dozlarda kontrole ve sıvı gübre uygulamasına göre oldukça yüksek bulunmuştur.

Tablo 6. Kök Yaş Ağırlığı İstatistiksel Analizleri

| Gübre Formu | Doz | N | Ortalama | Std. Sapma |
|-------------|---|---|----------|------------|
| Katı | Kontrol | 2 | 1 | - |
| | %10 | 3 | 90 | 39.281 |
| | %20 | 3 | 99 | 30.806 |
| | %30 | 3 | 49.667 | 25.697 |
| Sıvı | Kontrol | 2 | 1.503 | 2.118 |
| | %10 | 2 | 4 | - |
| | %20 | 3 | 3 | 3.464 |
| | %30 | 2 | 5 | 1.414 |
| Toplam | Kontrol ^a | 4 | 1.251 | 1.257 |
| | %10 ^{ab} | 5 | 55.6 | 54.684 |
| | %20 ^b | 6 | 51 | 56.118 |
| | %30 ^b | 5 | 31.8 | 30.483 |
| p-değeri | Gübre: 0.00 Doz: 0.03 Gübre*Doz interaksiyonu: 0.03 | | | |

Ortak harfi olmayan doz ortalamaları arasındaki farklılık istatistik olarak önemlidir (Tukey $p<.05$).

Kök Kuru Madde Ağırlığı (gr/bitki)

Katı ve sıvı gübre uygulamalarının kök kuru madde ağırlığı üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < .001$). (Tablo 7). Kök kuru madde ağırlığı sonuçları katı gübre uygulamasında oldukça yüksek tespit edilmiştir.

Tablo 7. Kök Kuru Madde Ağırlığı İstatistiksel Analizleri

| Gübre Formu | Doz | N | Ortalama (g) | Std. Sapma |
|-------------|---------|---|---|------------|
| Katı | %10 | 3 | 40.333 | 22.745 |
| | %20 | 3 | 48 | 21 |
| | %30 | 3 | 15.333 | 8.737 |
| Sıvı | Kontrol | 2 | 1 | - |
| | %10 | 2 | 1 | - |
| | %20 | 3 | 1.333 | 0.577 |
| | %30 | 2 | 1 | - |
| p-değeri | | | Gübre: <.001 Doz: 0.31 Gübre*Doz : 0.19 | |

Tartışma

Yapılan çalışmada separatör (ahır) gübresinin *E. foetida* solucanı ile kompostlanmasıyla elde edilen katı vermikompostun ve ticari sıvı solucan gübresinin farklı doz uygulamalarının *L. sativa'* nın bazı verim parametreleri üzerindeki etkileri karşılaştırılmaya çalışılmıştır. Vermikompost ile ilgili bilimsel çalışmaların artmaya başladığı görülse de marul bitkisi üzerinde solucan vermikompostunun katı ve sıvı formlarının farklı dozlarının çalışıldığı bir araştırmaya rastlanmamıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçların istatistiksel analizlerine göre çalışılan bütün özelliklerin önemli olduğu tespit edilmiştir.

Gübre çeşidi ve dozuna göre istatistiksel olarak önemli bulunan bitki boyunun her iki gübre çeşidi kontrole göre daha yüksek değerler (14.75-31.33 cm) göstermiştir. Bununla beraber, bitki boyu değerleri katı gübre uygulaması (31.33 cm) sıvı gübreye (14.75 cm) göre daha yüksek ve önemlidir. Marul bitkisi üzerinde katı solucan gübresi uygulamasının olumlu etkileri olduğu bildirilmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen bitki boyu değerleri bu çalışmadaki sonuçlar ile paralellik göstermektedir. Kontrole göre bitki boyu değerlerinin yüksek bulunması da bu çalışmanın sonuçları ile benzerdir. En yüksek bitki boyu en yüksek doz uygulamasında görülmesine rağmen bizim çalışmamızda en uzun bitki boyu değeri %20'lik katı gübre uygulamasında görülmüştür (Durak vd., 2017). Marul ile yapılan başka bir çalışmada da yapılan çalışmaya benzer şekilde orta dozda solucan gübre ilavesinin en yüksek boy artışına sebep olduğu belirlenmiştir (Adiloğlu vd., 2018). Yapılan diğer çalışmalarda da bamyaya (Kannahi ve Babynisha, 2018), biber (Narkhede vd., 2011), karnabahar (Amresh, 2009), domates (Abafita vd., 2014) ve nohutta (Yaday ve Garg, 2015) yapılan solucan gübre uygulamalarının bitkide boy artışına neden olduğu bildirilmiştir. Solucan gübresi ve geleneksel gübrelemenin birlikte uygulandığı *Satureja hortensis* L. bitkisinde de bitki boyu ve veriminde artış olduğu belirtilmiştir (Kara, 2021). Sıvı gübre uygulamasının bizim çalışmamızın aksine Nergis (*Narcissus* cv. 'Royal Connection') bitkisinin boy uzunluğunda üzerinde olumlu sonuç verdiği tespit edilmiştir (Bademkiran vd., 2018). Yapılan çalışmada bitki eni sonuçlarında da katı gübre uygulamasının (29.66 cm) kontrole (13.35 cm) ve sıvı gübre uygulamasına (16.90 cm) göre yüksek ve önemli olduğu görülmüştür. Yapılan diğer bazı araştırmalarda da karnabahar (Amresh, 2009), marul (Adiloğlu vd., 2018), domates (Joshi ve Vig, 2010) ve ıspanakta (Çıtak vd., 2011; Özkan vd., 2016) benzer sonuçlar bulunmuştur. Katı ve solucan gübre uygulama sonuçlarında görülen farklılığın nedeni katı gübrenin sıvı gübreye göre daha yavaş salınımlı olmasından dolayı bitkinin ihtiyaç duyduğunda kullanıyor olması olabilir. Ayrıca yapılan çalışmada her iki uygulamada aynı dozlar (%10, 20, 30) kullanıldığından sıvı gübre uygulamasında bu dozların yetersiz kalmış olabileceği de bu durumun bir diğer nedeni olabilir.

Bitki yaş ve kuru ağırlığı değerleri gübre çeşidi ile doz miktarı açısından kontrole göre yüksek ve önemli bulunmuştur. *Tagetes erecta* L.'da kuru ve yaş ağırlık miktarının solucan gübre uygulamasının doz artışına bağlı olarak arttığı bildirilmiştir (Çiçek, 2021). Yaptığımız çalışmada katı gübre uygulamasının marulda bitki yaş (138 gr) ve kuru ağırlığında (9.33 gr) artışa neden olduğu tespit edilmiştir. Oysa, karnabaharda yapılan bir çalışmada sıvı solucan gübresi uygulamalarının en yüksek bitki kuru ve yaş ağırlığı değerlerini verdiği görülmüştür (Şener ve Ulukapı, 2018). Biberde yapılan bir çalışmada bitki kuru ve yaş ağırlığında (Şahin vd., 2020), çilekte ise bitkinin meyve ağırlığında kontrole göre anlamlı artışlar olduğu belirtilmiştir (Develi vd., 2022). Domateste ise kuru madde oranının yapılan uygulama ile kontrole göre bitki veriminde artış yaptığı ifade edilmiştir (Alidadi vd., 2014; Azarmi vd., 2008; Chanda vd., 2011).

Solucan gübre uygulamasının yapılan çalışmada olduğu gibi kök uzunluğunu ve gelişimine olumlu etki yaptığı bildirilmiştir (Çitak vd., 2011; Kumari vd., 2017; Şahin vd., 2020). Kökün kuru ağırlığı verileri yalnızca gübre çeşidi bakımından anlamlılık gösterirken kök yaş ağırlığı sonuçları gübre ve doz açısından önemli bulunmuştur. Kök kuru ve yaş ağırlığı sonuçları katı gübre uygulamasının %30'luk dozunda (26.33 cm) %10'luk dozuna (36.33 cm) göre oldukça düşük, sıvı gübre uygulamasının bütün dozlarında birbirine aşağı yukarı yakın ve düşük (19.33-23.1 cm) olarak tespit edilmiştir. Farklı bitkiler ile yapılan çalışmalarda solucan gübre uygulamasının bitki kök yaş ağırlığında pozitif etkiye sahip olduğu belirlenmiştir (Ateş vd., 2019; Mustafa ve vd., 2022; Kumari vd., 2017).

Sonuç ve Öneriler

Yapılan bu çalışma ile marulda katı ve sıvı solucan gübre uygulamalarının çalışılan bütün özelliklerde kontrole göre önemli ve yüksek değerler gösterdiği tespit edilmiştir. Katı solucan gübresinin farklı dozlarının sıvı gübreye göre daha etkili olduğu görülmektedir. Çalışmada elde edilen sonuçların genel değerlendirmesine göre, bitkinin eni, yaş ağırlığı, kök uzunluğu, kök kuru ağırlığı sonuçları katı gübre uygulamasının %10'luk dozunda, bitkinin boy, kuru madde, kök yaş ağırlığı değerleri ise %20 'lik doz uygulamasında en yüksek değerleri vermiştir.

Sonuç olarak, marulda özellikle katı solucan gübresinin farklı özelliklerde yukarıda tespit ettiğimiz dozlarının uygulanmasının verimi arttıracığı düşünülmektedir. Ekolojik ve sürdürülebilir tarım açısından pek çok avantaja sahip solucan gübre uygulamalarının yaygınlaştırılması için bu alanda farklı bitkilerle yapılacak çalışmalar arttırılmalıdır.

Destek ve Teşekkür

Bu çalışma, Ordu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Koordinasyon Birimi (B-2025) tarafından desteklenmiştir. Bu çalışma, Tuğba Özbucak danışmanlığında Hülya Alan tarafından tamamlanan "Kırmızı kaliforniya solucan (*Eisenia foetida*) kompostunun *Lactuca sativa* L., bitkisinin büyüme, gelişim ve pestisit toleransı üzerindeki etkisinin belirlenmesi" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir (Tez No. 751754).

Yazar Katkısı

Tuğba Özbucak, deneysel ortamını hazırladı ve deneysel süreci takip etti. *Hülya Alan*, analizlerin yapılması ve verilerin toplanmasını gerçekleştirdi. Yazarlar makaleyi birlikte yazdı, okudu ve onayladı.

Etik

Bu makalenin yayınlanmasıyla ilgili herhangi bir etik sorun bulunmamaktadır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını belirtmektedir.

ORCID

Tuğba Özbucak  <https://orcid.org/0000-0002-4784-3537>

Hülya Alan  <https://orcid.org/0000-0001-5117-9192>

Kaynaklar

- Açıkbaş, B. (2016). Vermikompostun Trakya İlkeren/5BB aşu kombinasyonundaki asma fidanlarının bitki besin elementi içerikleri üzerine etkisi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13(4), 131-138. <https://dergipark.org.tr/en/pub/jotaf/issue/29443/315469>
- Abafita, R., Shimbir, T. ve Kebede, T. (2014). Effects of different rates of vermicompost as potting media on growth and yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and soil fertility enhancement. *Sky Journal of Soil Science and Environmental Management*, 3(7), 073-077. <https://www.researchgate.net/profile/Tesfu-Kebede/publication>
- Adiloğlu S., Eryılmaz-Açıkgöz F., Solmaz Y., Çaktü, E. ve Adiloğlu, A. (2018). Effect of vermicompost on the growth and yield of lettuce plant (*Lactuca sativa* L. var. *crispa*). *International Journal of Plant & Soil Science*, 21(1), 1-5. <https://www.researchgate.net/profile/Aydin-Adiloglu/publication>
- Alidadi, H., Saffari, AR., Ketabi, D., Peiravi, R. ve Hosseinzadeh, A. (2014). Comparison of vermicompost and cow manure efficiency on the growth and yield of tomato plant. *Health Scope*, 3(4), 1-5. <https://brieflands.com/articles/healthscope-20066.html>
- Allen S. E., Grimshaw H. M., Parkinson J. A., Quamby C. ve Roberts J. D. (1986). Chemical analysis. Chapman, S. B. (Ed.), *Method in plant ecology* (s. 411-466) içinde. Black well Scientific Publications Oxford.
- Amresh, H. (2009). *Effect of NPK and vermicompost on growth and yield of cauliflower (Brassica oleracea var. botrytis L.)* [Yüksekisans tezi]. College of Agriculture in Gwalior.
- Ateş, K. A., Demirkıran, A. R. ve İnik, O. (2019). Toprağa bazı doğal ve yapay gübre ilavelerinin çilek bitkisinin verim parametreleri üzerine olan etkileri. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 8(2), 23-28. <https://dergipark.org.tr/en/pub/tdfd/issue/51475/578780>
- Aybak, Ç.H. (2002). *Salata ve marul yetiştiriciliği*. Hasad Yayıncılık.
- Azarmi, R., Ziveh, P. S. ve Satari, MR. (2008). Effect of vermicompost on growth, yield, and nutrition status of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11(14), 1797-1802. <https://europepmc.org/article/med/18817219>
- Bademkıran, F., Çığ, A. ve Türkoğlu, N. (2018). Nergis (*Narcissus* cv. 'Royal Connection') bitkisinin gelişimi üzerine katı ve sıvı solucan gübresi dozlarının etkileri. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 5(4), 676-684. <https://dergipark.org.tr/en/pub/turkjans/issue/39809/471511>
- Bellitürk, K. ve Görres, J. H. (2012, Mayıs, 15-17). *Balancing vermicomposting benefits with conservation of soil and ecosystems at risk of earthworm invasions* [Sözlü sunum]. VIII. International Soil Science Congress on Land Degradation and Challenges in Sustainable Soil Management, İzmir, Türkiye.
- Bellitürk, K. (2016). Sürdürülebilir tarımsal üretimde katı atık yönetimi için vermicompost teknolojisi. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 31(3), 1-5. <https://dergipark.org.tr/en/pub/cutarim/issue/30644/332298>
- Bhat, S. A., Singh, S., Singh, J., Kumar, S. ve Bhawana, V.A. (2018). Bioremediation and detoxification of industrial wastes by earthworms: Vermicompost as powerful crop nutrient in sustainable agriculture. *Bioresource Technology*, 252, 172-179. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.003>

- Chanda, G.K., Bhunia, G. ve Chakraborty, S.K. (2011). The effect of vermicompost and other fertilizers on cultivation of tomato plants. *Journal of Horticulture and Forestry*, 3(2), 42-45. <https://www.researchgate.net/profile/Susanta-Kumar-Chakraborty/publication>
- Çıtak, S., Sönmez, S., Koçak, F. ve Yaşın, S. (2011). Vermikompost ve ahır gübresi uygulamalarının ıspanak (*Spinacia oleracea* var. L.) bitkisinin gelişimi ve toprak verimliliği üzerine etkileri. *Derim*, 28(1), 56-69. https://www.horticulturalstudies.org/uploads/pdf_177.pdf
- Çiçek, N. (2021). Kadife (*Tagetes erecta*) çiçeğinin bazı kalite ve gelişim parametrelerine yaras gübresi ve vermicompostun etkileri. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 2(1), 24-31. <https://dergipark.org.tr/en/pub/joinabt/issue/65483/1013148>
- Demir, H., Gölükçü, M., Topuz, A., Özdemir, F., Polat, E. ve Şahin, H. (2003). Yedikule ve iceberg tipi marul çeşitlerinin mineral madde içeriği üzerine ekolojik üretimde farklı organik gübre uygulamalarının etkisi. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(1), 79-85. <https://dergipark.org.tr/en/pub/akdenizfderg/issue/1585/19693>
- Develi, E.A., Yavuz, A. ve Erdoğan, Ü. (2022). Vermikompost uygulamalarının San Andreas (*Fragaria x ananassa* Duch.) çilek çeşidinin bazı verim ve kalite değerlerine etkisi. *Turkish Journal of Agriculture: Food Science and Technology*, 9, 2641-2648. <http://www.agrifoodscience.org/index.php/TURJAF/article/view/4950>
- Durak A., Altuntaş Ö., Kutsal İ. K., Işık R. ve Karaat, F. E. (2017). The effects of vermicompost on yield and some growth parameters of lettuce. *Turkish Journal of Agriculture Food Science and Technology*, 5(12), 1566-1570. <http://agrifoodscience.org/index.php/TURJAF/article/view/1461>
- Eşiyok, D. (2012). *Kışlık ve yazlık sebze yetiştiriciliği*. Meta Basım.
- Kannahi, M. ve Babynisha, S. (2018). Effect of vermicompost, vermiwash and microbial inoculants on growth of *Abelmoschus esculentus* L. *International Journal of Biology Research*, 3(1), 44-48. <https://www.biologyjournal.in/assets/archives/2018/vol3issue1/2-4-58-768.pdf>
- Kara, N. (2021). Solucan gübresinin *Satureja hortensis* L.'nin herba verimi ve uçucu yağ oranına etkisi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(2), 1635-1642. <https://dergipark.org.tr/en/pub/jist/article/876023>
- Kibar, B. (2018). Marulda bitkisel özellikler, bazı kalite özellikleri ve besin elementleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 4(2), 149-160. <https://dergipark.org.tr/en/pub/ijaws/issue/40497/486571publisher>
- Kumari, N., Yadav, B. S. ve Peter, J. K. (2017). Synergistic effect of vermicompost, vermiwash, bioaugmentation and carrier based biofertilizer on growth of *Solanum melongena* L. var. Silligudi 111 (Brinjal). *International Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 4(3), 64-70. <https://www.allsubjectjournal.com/assets/archives/2017/vol4issue3/4-2-29-299.pdf>
- Ludibeth, M. S., Marina, E. I. ve Vicenta, M. E. (2012). Vermicomposting of sewage sludge: Earthworm population and agronomic advantages. *Compost Science and Utilization*, 20(1), 11-17. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2012.10737016>
- Manyuchi, M. M. ve Phiri, A. (2013). Vermicomposting in solid waste management: A Review. *International Journal of Scientific Engineering and Technology*, 2(12), 1234-1242. <https://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ijset1&volume=2&issue=12&article=015>
- Mustafa, A., Çiçek, N., Yücedağ, C. & Şimsek, SA. (2022). Determination of the alleviating effect of liquid vermicompost on germination and seedling of Hungarian vetch (*Vicia pannonica* Crantz.) under salt stress. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 27(1), 61-70. <https://dergipark.org.tr/en/pub/mkutbd/issue/69350/1035869>

- Narkhede, S. D., Attarde, S. B. ve Ingle ST. (2011). Study on effect of chemical fertilizer and vermicompost on growth of chilli pepper plant (*Capsicum annum*). *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation*, 6(3), 327-332. <https://eds.p.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=4a3b64df-5635-4534-bbb3-811314b18def%40redis>
- Olmuş H., Erbaş S., Nazman E. (2017). *Araştırmacılar için SPSS uygulamalı istatistiksel deney tasarımı*. Gazi Kitabevi.
- Özkan, N., Dağlıoğlu, M., Ünser, E. ve Müftüoğlu, N.M. (2016). Vermikompostun ıspanak (*Spinacia oleracea* L.) verimi ve bazı toprak özellikleri üzerine etkisi. *Çanakkale On sekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 4(1),1-5. <http://ziraat.dergi.comu.edu.tr/dosyalar/Ziraat/comu-ziraat-fakultesi-dergisi-cilt-4-sayi1-2016.pdf#page=8> m
- Pituch, K. A. ve Stevens, J. P. (2015). *Applied multivariate statistics for the social sciences: Analyses with SAS and IBM's SPSS*. Routledge.
- Polat, E., Onus, A. N. ve Demir, H. (2004). Atık mantar kompostunun marul yetiştiriciliğinde verim ve kaliteye etkisi. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17(2), 149-154. <https://dergipark.org.tr/en/pub/akdenizderg/issue/1582/19648>
- Saldamlı, İ. ve Sağlam, F. (1998). *Gıda kimyası*. Hacettepe Üniversitesi Yayınları.
- Sipahi, C., Akın, A. C. ve Bozoğlan, G. B. (2017). Hayvancılıkta alternatif bir üretim sahasının ekonomik analizine ilişkin bir pilot çalışma: Solucan gübresi üretimi – vermikompost. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(2), 135-143. <https://doi.org/10.24998/maeusabed.364343>
- Soylu, S., Sertkaya, E., Üremiş, İ., Bozkurt, İ. ve Kurt, Ş. (2017). Hatay ili marul (*Lactuca sativa* L.) ekim alanlarında görülen önemli hastalık etmenleri, zararlı ve yabancı ot türleri ve yaygınlık durumları. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(1), 23-33. <https://dergipark.org.tr/en/pub/mkuzfd/issue/30381/298689>
- Sönmez, İ., Kaplan, M. ve Sönmez, S. (2008). Kimyasal gübrelerin çevre kirliliği üzerine etkileri ve çözüm önerileri. *Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Derim Dergisi*, 25(2), 24-34. <http://www.derim.com.tr/tr/download/article-file/52960>
- Şahin, S., Gebeloğlu, N. ve Kartal, H. (2020). Biber fidesi gelişiminde torf-perlit karışımına vermikompost katılmasının etkileri. *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(SP1), 192-196. <http://agrifoodscience.org/index.php/TURJAF/article/view/4093>
- Şener, S., ve Ulukapı, K. (2018). Farklı organik gübrelerin tarla ve örtü altı koşullarında yetiştirilen karnabaharın bitki gelişimi ve verim parametreleri üzerine etkisi. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 32(3),510-515. <http://sjafs.selcuk.edu.tr/sjafs/article/view/900>
- Simsek-Ersahin, Y. (2011). The use of vermicompost products to control plant diseases and pests. Karaca, A. (Eds.) *Biology of Earthworms. Soil Biology* içinde. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14636-7_12
- Tavuç, İ. (2016). *Farklı atıklardan hazırlanan kompost bileşiminin solucan gübresinin nitel ve nicel özelliklerine etkileri* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Vural, H., Eşiyok, D. ve Duman İ. (2000). *Kültür sebzeleri (Sebze yetiştirme)*. Ege Üniversitesi Basımevi.
- Yadav, A. ve Garg, V. K. (2015). Influence of vermi-fortification on chickpea (*Cicer arietinum* L.) growth and photosynthetic pigments. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 4(4), 299-305. <https://doi.org/10.1007/s40093-015-0109-z>

Yağmur, B. ve Okur, B. (2018). Bazı doğal toprak düzenleyicilerin mısır (*Zea mays* L.) bitkisinin verim parametreleri üzerine etkileri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 55(4), 471-477. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.419225>

Stereospecific Synthesis of *cis/trans*-dicarbamates

Latif Kelebekli¹ 

¹ Ordu University, Faculty of Science and Arts, Department of Chemistry, Ordu

Geliş Tarihi / Received Date: 14.09.2023

Kabul Tarihi / Accepted Date: 05.10.2023

Abstract

The efficient synthesis of a new class of allylic *cis/trans*-dicarbamates are described. Allylic diols as key intermediates of the targeted compounds were prepared in a facile way, starting from *p*-benzoquinone. Reaction of allylic diol compounds with *p*-TsNCO resulted in the formation of *cis/trans*-dicarbamate groups. The structure of *cis/trans*-dicarbamates were determined by ¹H-NMR, ¹³C-NMR, FT-IR and elemental analysis techniques.

Keywords: stereospecific, *bis*-carbammates, *trans*-carbamat, *cis*-carbamat

cis/trans-dikarbamatların Stereospesifik Sentezi

Öz

Yeni bir allilik *cis/trans*-dikarbamat sınıfının verimli sentezi açıklanmaktadır. Hedeflenen bileşiklerin anahtar ara maddeleri olarak allilik dioller, *p*-benzokinon'dan başlayarak kolay bir şekilde hazırlandı. Allilik diol bileşiklerinin *p*-TsNCO ile reaksiyonu *cis/trans*-dikarbamat gruplarının oluşumuyla sonuçlandı. *cis/trans*-Dikarbamatların yapısı ¹H-NMR, ¹³C-NMR, FT-IR ve elemental analiz teknikleriyle aydınlatıldı.

Anahtar Kelimeler: stereospesifik, *bis*-karbamatlar, *trans*-karbamat, *cis*-karbamat

Introduction

Carbamate-bearing molecules play a vital role in modern drug discovery and medicinal chemistry (Ghosh & Brindisi, 2015). Most carbamates in medicinal chemistry are drugs or drug candidates marketed in preclinical or clinical trials (Vacondio et al., 2010). Structurally, carbamate functional groups are directly related to amide ester hybrid functions and show good chemical and proteolytic stabilities as standard. Organic carbamates and isothiocyanates have an outstanding property in organic synthesis and peptide chemistry as optimum protecting groups for amines and amino acids in general (Ghosh & Brindisi, 2015; Gupte et al., 2001; Matošević & Bosak, 2020; Yakan, 2020). Additionally, many of the oxazolidinone-containing cyclic carbamate compounds constitute a new class of synthetic antibiotics with potent activity against a wide range of drug-resistant Gram-positive bacteria (Prasher et al., 2023).

In particular, allylic carbamates have attracted great attention due to their important roles in various fields (Ghraiiri et al., 2022; Kelebekli et al. 2012). In fact, it is claimed to belong to the structural or functional part of many approved drugs (Matošević et al., 2020; Dal Corso et al., 2020) and prodrugs (Mattarei et al., 2015) used in the treatment of various diseases such as Alzheimer's disease (Kořak et al., 2020), cancer (Huxley et al., 2020), hepatitis C, etc. (Krzywik et al., 2021), HIV infection (Chander et al., 2016), anxiety and epilepsy (Löscher et al., 2021).

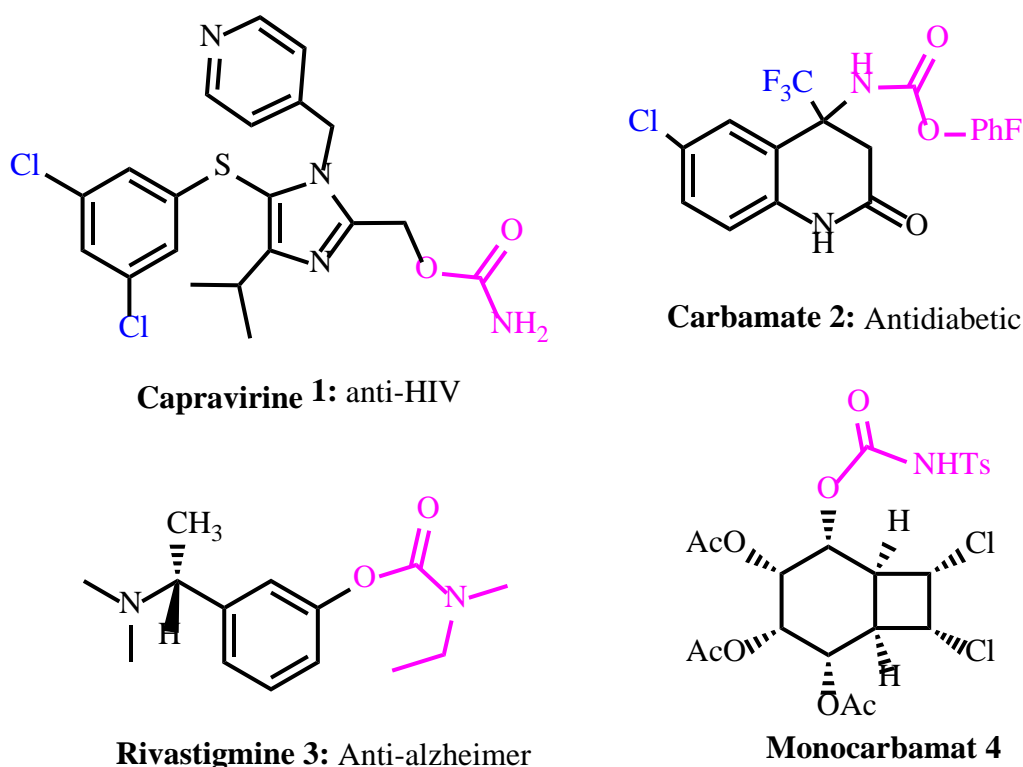


Figure 1. Selected Compounds Containing Carbamates

The carbamate-yielding reaction of alcohols with isocyanates has been studied by many researchers. On the other hand, isocyanates such as 4-methyl-benzenesulfonyl isocyanate (*p*-TsNCO) and phenyl isocyanate (PhNCO) are frequently used in the preparation of aminocyclitols and are also widely used in the preservation of alcohols (Huang & Yan, 2017; Kelebekli, 2020; Seo & Chung, 2017; Trost & Kalnmals, 2020). In addition, some drugs containing halogen atoms as well as carbamate function are widely reported in the literature (Scattolin et al., 2019), such as capravirine **1** (Li et al., 2012), 1-benzoxazin-4-yl]methyl-(4-fluorophenyl)carbamate **2** (Mizutani et al., 2009) that is antibacterial drug,

Rivastigmine **3** for Alzheimer's disease (Franz et al., 2018), monocarbamate **4** (Kelebekli, 2022) (Figure 1).

Regio- and/or stereoselective reactions are very important in synthetic organic chemistry and therefore vary depending on the type of reagent. For this reason, carbamates attract the attention of pharmacologists as well as chemists.

On the other hand, the development of new methods based on carbamate synthesis will lead to different research in the field of organic synthesis. We considered allylic diol groups for the formation of *cis/trans*-carbamates. As a result, we planned to investigate the importance of dicarbamate functional groups due to the effectiveness of pharmaceutical drugs.

Material and Method

Experimental

A capillary melting apparatus (Electrothermal) was used for determination of melting points and the results are presented without correction. IR spectra were obtained from KBr (solution in 0.1 mm cells) or film with a Shimadzu spectrophotometer. The $^1\text{H-NMR}$, $^{13}\text{C-NMR}$ spectra were recorded on 400 (100) MHz Bruker spectrometer (Avance III) and are reported in δ units with SiMe_4 as internal standard. TLC was performed on E. Merck Silica Gel 60 F_{254} plate (0.2 mm). Flash-column chromatography was performed on Merck silica gel (60 mesh). All organic extracts were dried with MgSO_4 , filtered, and concentrated on a rotary evaporator. The distilled solvents in all synthesis were used. Elemental analyses were carried out on a Carlo Erba 1108 model CHNS-O analyzer.

(1RS,4SR,4aRS,5SR,8RS,8aSR)-/(1RS,4SR,4aRS,5SR,8SR,8aSR)-1,4,4a,5,8,8a-Hexahydro-1,4-ethanonaphthalene-5,8-diol (9)

The title compound was prepared in 90% yield as described in the literature (Ishii et al, 2015; Kelebekli, 2013).

(1RS,4SR,4aRS,5SR,8RS,8aSR)-1,4,4a,5,8,8a-Hexahydro-1,4-ethanonaphthalene-5,8-diyl bis(tosylcarbamate) (10) and (1RS,4SR,4aRS,5SR,8SR,8aSR)-1,4,4a,5,8,8a-Hexahydro-1,4-ethanonaphthalene-5,8-diyl bis(tosylcarbamate) (11)

To a stirred solution of tricyclic *cis/trans*-diol **9** (1.00 g, 5.21 mmol) in anhydrous THF (15 mL) under nitrogen at room temperature was added *p*-toluenesulfonyl isocyanate (*p*-TsNCO) (2.13 g, 10.80 mmol, 1.64 mL) dropwise *via* a syringe. The reaction mixture was stirred at room temperature to give crude *bis*-dicarbamates for 12 h. After removal of the solvent under reduced pressure (50 °C, 20 mmHg), the reaction mixture was chromatographed on silica gel (60 g) by eluting with 25% ethyl acetate/hexane to afford (1RS,4SR,4aRS,5SR,8RS,8aSR)-1,4,4a,5,8,8a-hexahydro-1,4-ethanonaphthalene-5,8-diyl bis(tosylcarbamate) **10** (2.32 g, 76%) and (1RS,4SR,4aRS,5SR,8SR,8aSR)-1,4,4a,5,8,8a-hexahydro-1,4-ethanonaphthalene-5,8-diyl bis(tosylcarbamate) **11** (0.46 g, 15%).

cis-dicarbamate **10**: White crystals, mp 130-131 °C (from EtOAc/hexane). $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, CDCl_3) δ 8.59 (br s, 2H, -NH), 7.88 (d, A part of AA'BB' system, $J = 8.4$ Hz, 4H, aromatic), 7.30 (d, B part of AA'BB' system, $J = 8.4$ Hz, 4H, aromatic), 5.90 (t, $J = 4.0$ Hz, 2H, -CH=CH, H6 and H7), 5.75 (d, $J = 1.2$ Hz, 2H, -CH=CH, H2 and H3), 5.17 (br s, 2H, CH-O), 2.45 (br s, 2H, bridgehead-CH, H4a and H8a), 2.41 (s, 6H, arom- CH_3), 2.31 (br s, 2H, bridgehead-CH, H1 and H4), 1.39 (d, 2H, A part of AB system, $J = 7.2$ Hz, geminal effect- CH_2CH_2), 1.11 (d, 2H, B part of AB system, $J = 7.2$ Hz, geminal effect- CH_2CH_2);

$^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, CDCl_3) δ 150.7 ($\times 2$, C=O, -CO-NHTs), 145.2 ($\times 2$, arom-ipso), 135.8 ($\times 2$, arom-ipso), 132.5 ($\times 2$, C=C), 130.5 ($\times 2$, C=C), 129.9 ($\times 4$, aromatic), 128.4 ($\times 4$, aromatic), 70.6 ($\times 2$, C-O), 41.0 ($\times 2$, bridgehead-CH, C4a and C8a), 31.3 ($\times 2$, bridgehead-CH, C1 and C4), 26.0 (- CH_2CH_2), 21.9 ($\times 2$, tosyl- CH_3); IR (CHCl_3 , cm^{-1}): 3246, 3052, 2947, 2908, 1744, 1598, 1448, 1348, 1227, 1162, 1090, 892, 871,

758, 738, 664, 548; Anal. Calcd for $C_{28}H_{30}N_2O_8S_2$: C, 57.32; H, 5.15; N, 4.78; S, 10.93; Found: C, 56.75; H, 5.77; N, 4.48; S, 11.67 %.

trans-dicarbamate **11**: White crystals, mp 176-177 °C (from EtOAc/hexane). 1H -NMR (400 MHz, $CDCl_3$) δ 10.02 (br s, 2H, -NH), 7.92 (d, A part of AA'BB' system, $J = 8.4$ Hz, 4H, aromatic), 7.36 (d, B part of AA'BB' system, $J = 8.4$ Hz, 4H, aromatic), 6.53 (dd, $J = 9.6, 6.4$ Hz, 1H, H6), 6.22 (t, $J = 7.2$ Hz, 1H, H3), 6.10 (dd, $J = 9.6, 6.4$ Hz, 1H, H7), 5.84 (t, $J = 7.2$ Hz, 1H, H2), 5.43 (t, $J = 6.0$ Hz, 1H, H8, -CH-O), 4.42 (ddd, $J = 11.2, 6.0, 5.6$ Hz, 1H, H5, -CH-O), 2.75 (d, $J = 5.2$ Hz, 1H, bridgehead-CH, H4), 2.50 (brd, $J = 4.4$ Hz, 1H, bridgehead-CH, H1), 2.45 (s, 6H, arom- CH_3), 2.23 (dd, $J = 11.2, 5.2$ Hz, 1H, bridgehead-CH, H8a), 2.10 (dd, $J = 11.2, 4.8$ Hz, 1H, bridgehead-CH, H4a), 1.51 (m, 2H, - CH_2), 1.26 (m, 2H, - CH_2); ^{13}C -NMR (100 MHz, $CDCl_3$) δ 150.5 ($\times 2$, C=O, -CO-NHTs), 144.9 ($\times 2$, arom-ipso), 139.4 ($\times 2$, arom-ipso), 136.3 ($\times 2$, C=C), 133.6 (C=C), 131.7 (C=C), 129.7 ($\times 4$, aromatic), 128.5 ($\times 4$, aromatic), 69.6 (C-O), 65.2 (C-O), 44.3 (bridgehead-C, C4a or C8a), 43.8 (bridgehead-C, C4a or C8a), 33.0 (bridgehead-C, C1 or C4), 32.7 (bridgehead-C, C1 or C4), 26.4 (- CH_2), 26.0 (- CH_2), 21.8 ($\times 2$, tosyl- CH_3); IR ($CHCl_3$, cm^{-1}): 3046, 2939, 2868, 1745, 1597, 1464, 1350, 1223, 1210, 1160, 1088, 977, 879, 815, 728, 661, 560; Anal. Calcd for $C_{28}H_{30}N_2O_8S_2$: C, 57.32; H, 5.15; N, 4.78; S, 10.93; Found: C, 56.81; H, 5.81; N, 4.42; S, 11.12 %.

Result and Discussion

This study started with the endoselective Diels–Alder cycloaddition of *p*-benzoquinone **5** and 1,3-cyclohexadiene **6**, and the required cycloaddition product **7** was obtained as a single product in 83% yield (Ishii et al., 2015; Kelebekli, 2013) (Figure 2). The structure of the synthesized diketone compound **7** was clearly deduced from their 1H and ^{13}C -NMR spectra the structure of the obtained compound. Reduction reaction is a frequently used method in organic synthesis, and various reducing reagents are defined for the successful conduct of such reactions. $LiAlH_4$ and $NaBH_4$ are widely used among the strongest and mildest reducing agents developed for the reduction of functional groups in synthetic organic chemistry.

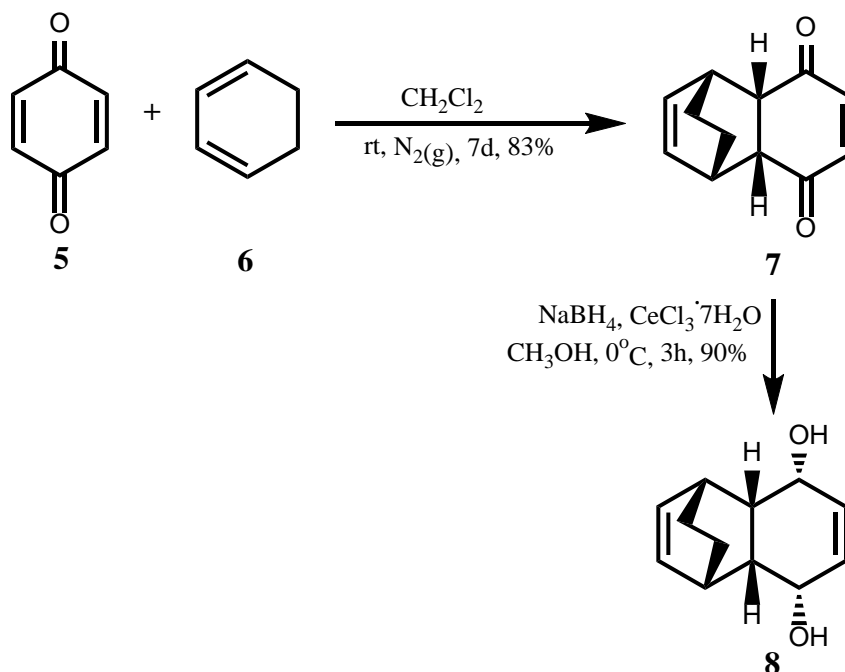


Figure 2. Synthesis of Compound **8**

There are many studies in the literature on the reduction of α,β -unsaturated ketone compounds. The carbonyl groups in these compounds and their derivatives are generally reduced with NaBH_4 and/or $\text{NaBH}_4\text{-CeCl}_3\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Kelebekli & Atli, 2019; Luce, 1978; Marchand et al., 1986). Allylic *cis*-diols are a useful intermediate in organic syntheses.

Therefore, in our previous study, the Luche reduction on **7** ($\text{NaBH}_4\text{-CeCl}_3\cdot 7\text{H}_2\text{O}/\text{MeOH}$) resulted in the addition of a hydride from the stereoselectively preferred convex face. As expected, *cis* reduction led to compound **8** (Kelebekli & Şahin, 2023) (Figure 2).

Therefore, reduction of α,β -unsaturated ketones functional groups with NaBH_4 in a polar solution in the presence of $\text{CeCl}_3\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ yields almost exclusively the allylic alcohol functional groups, sometimes stereoselectively.

In our subsequent study, the same procedure was used and it was observed that two products were formed as a result of the reduction of compound **7** and the protection of the diols formed with TsNCO. It is understood from this that the reduction product represents *cis/trans* diols products. Treatment of allylic *cis/trans*-diol **9** with 2 equivalents of 4-methyl-benzenesulfonyl isocyanate (*p*-TsNCO) in THF yielded *cis*-dicarbamate **10** and *trans*-dicarbamate **11** in high yield. It was observed that the reaction was completed in 12 hours. The resulting carbamates were purified by chromatography method and gave allylic *cis*-dicarbamate **10** and allylic *trans*-dicarbamate **11** products. The total yield after purification was determined to be 91% from *cis/trans*-1,4-diol **9** (Figure 3). Thus, in this study, the protection of *cis/trans*-diol with *p*-TsNCO was successfully achieved. The structures of *cis*-dicarbamate **10** and *trans*-dicarbamate **11** were established on the basis of $^1\text{H-NMR}$, $^{13}\text{C-NMR}$ data and for further structural evidence IR and HRMS data were also used. To our knowledge so far, we have not encountered *trans* diol formation from the reduction of diketone **7**. Therefore, the formation of *trans* diol was an interesting approach in this system.

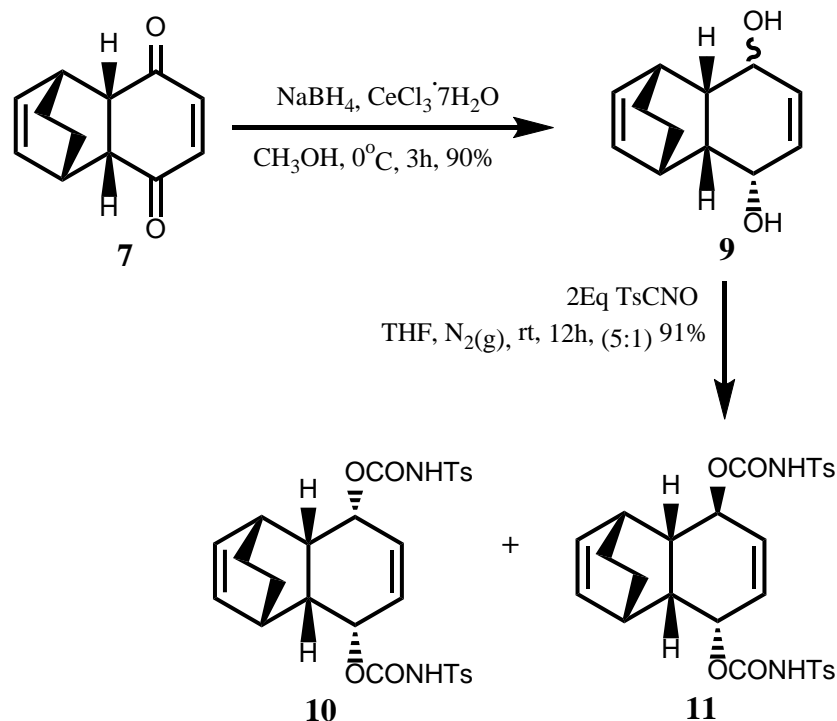


Figure 3. Synthesis of Allylic *cis/trans*-dicarbamates **10** and **11**

The relative configuration of *cis*-dicarbamate **10** is clearly deduced from the evaluation of ^1H and ^{13}C -NMR spectra (Figure 4). On the other hand, the configuration of symmetric *cis*-dicarbamate **10** was elucidated spectroscopically. The protons that are most helpful in the configuration analysis of the symmetric structure are bridgehead H4a and H8a. The bridgehead H4a and H8a resonated at 2.45 ppm as a broad singlet. On the other hand, H6 and H7 resonated with H5 or H8 at 5.90 ppm ($J_{6,5}$ or $J_{7,8}=4.0$ Hz) as a triplet. Due to the allylic interaction, it is possible to see the same coupling constant for H6 (H7) bonded to the double bond carbon C6 (C7) at 5.90 ppm ($J = 4.0$ Hz). Likewise, the double bond protons H2 or H3 resonated at 5.75 ppm ($J=1.2$ Hz) as a doublet. Moreover, the bridgehead H1 and H4 resonated at 2.31 ppm as a broad singlet. As a result of these findings, it is obvious that there is a *cis* relationship between the configurations of the two carbamate groups (-OCONHTs) and that the molecule also has symmetry.

On the other hand, the 12-line ^{13}C -NMR spectrum clearly revealed the existence of a symmetric structure. In the ^{13}C -NMR spectrum of *cis*-dicarbamate **10**, the typical signals of the carbonyl carbon and carbon to which the tosyl group (-C-O) is attached of the *cis*-dicarbamates appeared at 150.2 ppm, at 70.6 ppm, respectively (Figure 4). In light of this information, these results fully support the proposed structure.

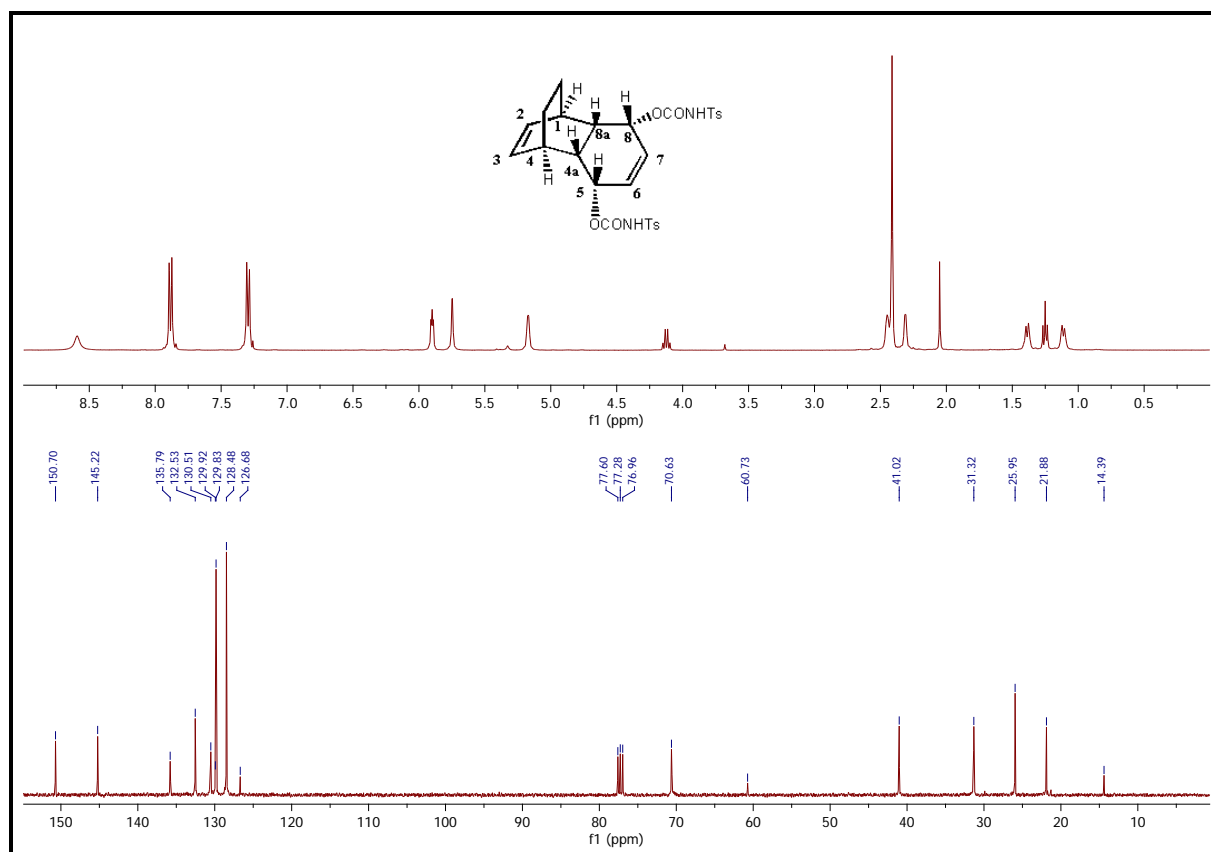


Figure 4. 400 Mhz ^1H -NMR and 100 Mhz ^{13}C -NMR Spectra of *cis*-Dicarbamate **10**

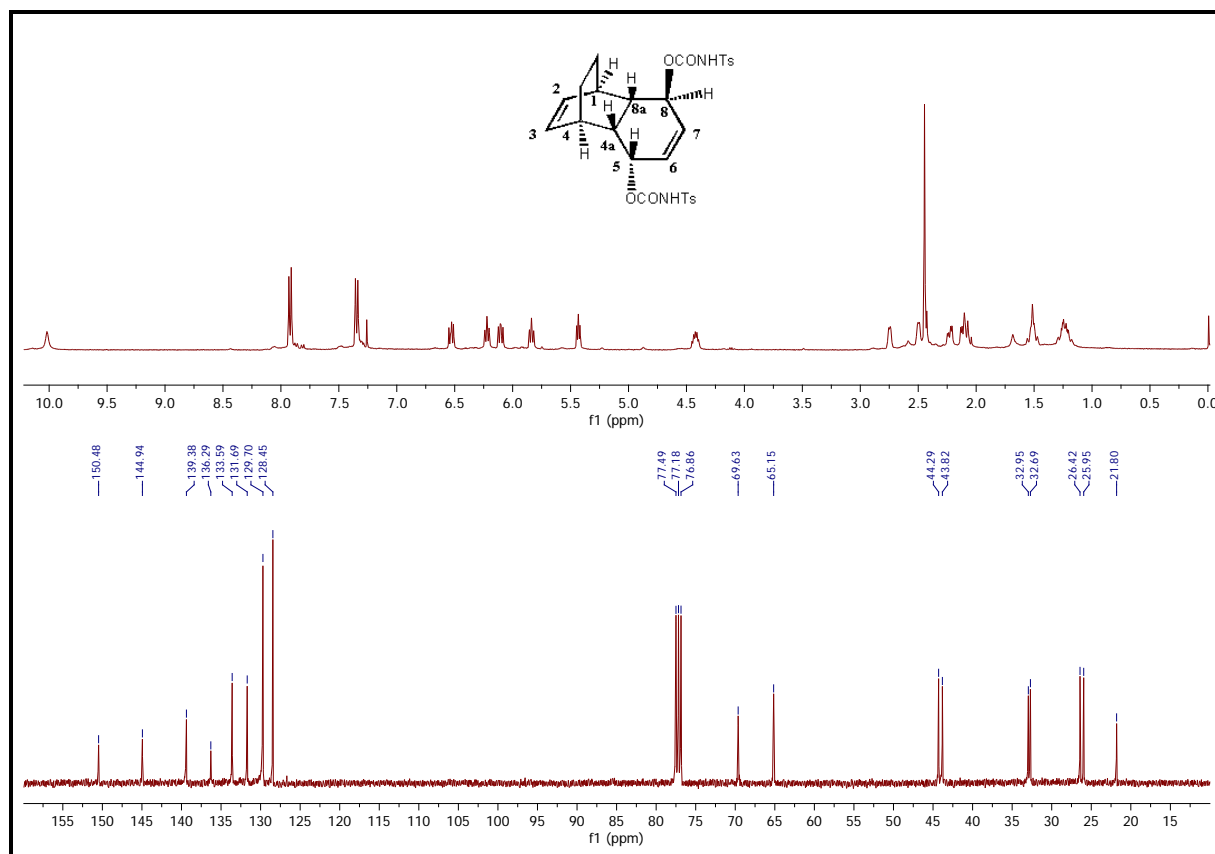


Figure 5. 400 MHz ¹H-NMR and 100 MHz ¹³C-NMR Spectra of *trans*-dicarbamate **11**

The relative configuration of *trans*-dicarbamate **11** was unambiguously deduced from their ¹H and ¹³C-NMR spectra (Figure 5). The ¹H-NMR spectrum of compound **11** provided important information about the structure of the molecule. The most important thing that distinguishes the configuration of compound **11** from the configuration of the symmetric compound **10** is based on the binding of protons in the *trans*-position attached to C5 and C8 in compound **11**. All protons in the compound resonated separately, which is clear evidence that this compound is not symmetrical. In particular, according to these data, it can be explained that there is a *trans* relationship between the two -OCONHTs and as a result, the molecule does not have symmetry. In particular, the ¹³C-NMR spectrum provided more detailed information in elucidating this molecule. Thus, the 16-line ¹³C-NMR spectrum clearly shows that the molecule has an asymmetric structure. In the ¹³C-NMR spectrum of *trans*-dicarbamate **11**, the typical peak of the carbonyl carbon of the dicarbamates appeared at 150.2 ppm (in CDCl₃). In the ¹³C-NMR spectrum of **11**, in particular, two aliphatic carbons (-CH-O) were observed at 69.6 and 65.2 ppm, respectively. On the other hand, two bridgehead carbons C4a and C8a were observed at 44.3 and 43.8 ppm, respectively. In light of this information, these results fully support the proposed *trans* structure.

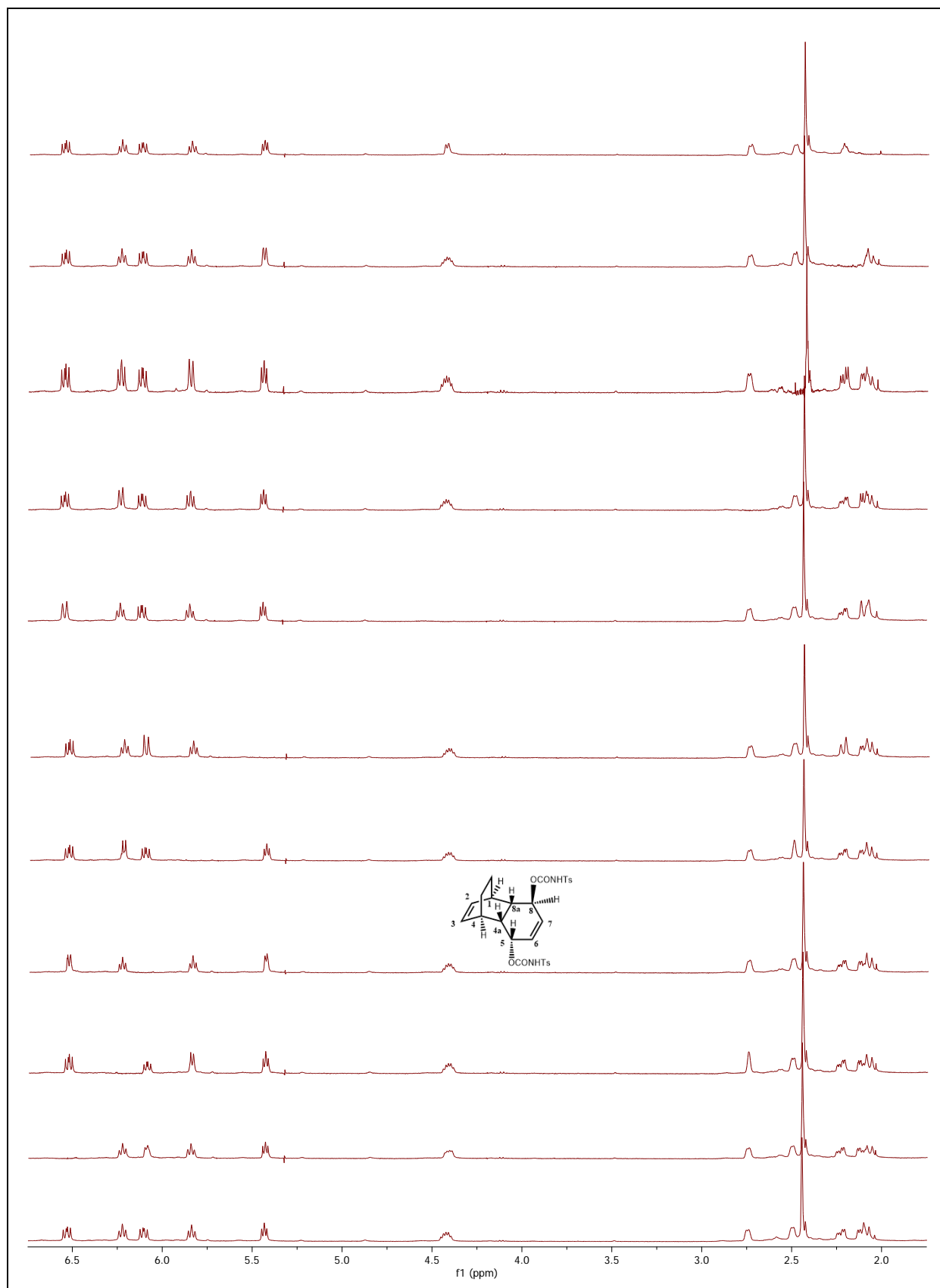


Figure 6. The $^1\text{H-NMR}$ Irradiation Spectrum of *trans*-dicarbamate **11** (CDCl_3 , 400 MHz, ppm)

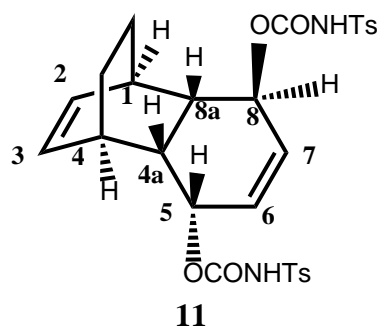


Figure 7. $^1\text{H-NMR}$ Spectrum of *trans*-carbamate **11**

In the $^1\text{H-NMR}$ spectrum of *trans*-carbamate **11** (Figure 6), when H-3 at 6.22 ppm was irradiated, the H-2 signal at 5.84 ppm caused the change from triplet to a doublet. At the same time, it is clearly seen that the bridgehead H-4 signal at 2.75 ppm changes from doublet to broad singlet. The irradiation of bridgehead H-4 at 2.75 ppm caused the signal of H-3 at 6.22 ppm changing from a triplet to a doublet and at the same time, the signal of H-4a at 2.75 ppm changing. Thus, it can be stated that it is clearly seen that H-3 with H-2 and H-4a with H-4 are protons adjacent to each other. Irradiation of H-5 at d 4.42 ppm (-CHO) caused the H-6 signal at 6.53 ppm to change from a doublet of doublets into clearly doublet. At the same time, the resonance signal of the bridgehead proton H-4a at 2.75 ppm clearly changes from a doublet of doublets into a broad doublet. Thus, it has vicinal bond with H-5, H-6 and bridgehead H-4a. Upon irradiation at the resonance signal of H-8 at 5.43 ppm, as the signal of H-7 at 6.53 ppm changing from a doublet of doublets into a doublet, at the same time the resonance signal of bridgehead H-8a at 3.35 ppm also changing from a doublet of doublets into clearly doublet. Thus, H-7 and H-8a with H-8 are the neighboring protons with each other. In irradiation of H-8a at 3.35 ppm resulted in the signal of H-8 at 5.43 ppm changing from a triplet to a doublet, in addition, it led to signal enhancement of the resonances at H-4a. These results show us that they also provide evidence that H-8 and H-4a are protons adjacent to H-8a. We thus easily described the relative stereochemistry of all protons in *trans*-carbamate **11** by taking into account the coupling constants.

Conclusion

In conclusion, a novel of *cis/trans*-dicarbamates has been synthesized reasonably in good yields. Since carbamates are intermediate products of oxazolidones, the synthesis of dicarbamates, especially those with a *trans* structure, will become more important in the future. It may also enable expansion of oxazolidinone synthesis for various purposes and provide an alternative possibility in this regard.

Ethics

There are no ethical issues related to the publication of this article.

Conflict of Interest

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

ORCID

Latif Kelebekli  <https://orcid.org/0000-0002-6242-2589>

References


Chander, S., Ashok, P., Zheng, Y. T., Wang, P., Raja, K. S., Taneja, A., & Murugesan, S. (2016). Design, synthesis and in-vitro evaluation of novel tetrahydroquinoline carbamates as HIV-1 RT inhibitor

- and their antifungal activity. *Bioorganic Chemistry*, 64, 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2015.12.005>
- Dal Corso, A., Borlandelli, V., Corno, C., Perego, P., Belvisi, L., Pignataro, L., & Gennari, C. (2020). Fast cyclization of a proline-derived self-immolative spacer improves the efficacy of carbamate prodrugs. *Angewandte Chemie International Edition*, 59, 4176–4181. <https://doi.org/10.1002/anie.201916394>
- Franz, M., Stalling, T., Steinert H., & Martens, J. (2018). First catalyst-free CO₂ trapping of N-acyliminium ions under ambient conditions: sustainable multicomponent synthesis of thia- and oxazolidinyl carbamates. *Organic Biomolecular Chemistry*, 16, 6914–6926. <https://doi.org/10.1039/C8OB01865K>
- Ghosh, A. K., & Brindisi, M. (2015). Organic carbamates in drug design and medicinal chemistry. *Journal of Medicinal Chemistry*, 58, 2895–2940. <https://doi.org/10.1021/jm501371s>
- Ghraiiri, S., Retailleau, P., Crousse, B., & Slimi, T. B. (2022). A one-pot synthesis and X-Ray structural characterization of new highly substituted-allyl carbamates. *Journal of Molecular Structure*, 1258, 132548. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2022.132548>
- Gupte, S. P., Shivarkar, A. B., & Chaudhari, R. V. (2001). Carbamate synthesis by solid-base catalyzed reaction of disubstituted ureas and carbonates. *Chemical Communications*, 2620–2621. <https://doi.org/10.1039/B107947F>
- Huang, D., & Yan, G. (2017). Recent advances in reactions of aryl sulfonyl isocyanates. *Organic Biomolecular Chemistry*, 15, 1753–1761. <https://doi.org/10.1039/C6OB02720B>
- Huxley, C., Wibowo, M., Lum, K. Y., Gordon, S., D'Hyon, S., Guan, H., Wang, X., Chen, Y., Si, M., Wang, M., White, J. M., Wahi, K., Wang, Q., Holst, J., & Davis, R. A. (2020). Synthesis of bilocularin A carbamate derivatives and their evaluation as leucine transport inhibitors in prostate cancer cells. *Phytochemistry*, 179, 112478. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2020.112478>
- Ishii, Y., Ito, S., Saito, Y., Uno, D., & Oba, T. (2015). Synthesis of [2,3]Naphthoporphyrins Using 4,9-Dihydro-4,9-Ethano-2H-Benz[f]Isoindole as a Benz[f]Isoindole Equivalent. *Tetrahedron*, 71, 8892–8898. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2015.09.072>
- Kelebekli, L., Balcı, N., & Şahin, E. (2012). Oxazolidinone polycyclitols. Stereospecific synthesis of novel aminocarbasugars with oxazolidinone ring. *Tetrahedron*, 68, 1886–1893. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2011.12.078>
- Kelebekli, L. (2013). Stereoselective Synthesis of Tricyclo[6.2.2.0^{2,7}]Dodecane-3,6,9,10- Tetrol via Selective Reduction of α,β -Unsaturated 1,4-Diketone. *Synthetic Communications*, 43, 2998–3009. <https://doi.org/10.1080/00397911.2012.754472>
- Kelebekli, L. (2022). Synthesis and hydrolysis of monocarbamate from allylic 1,4-dicarbamate: Bis-homodichloroinositol. *Carbohydrate Research*, 522, 108681. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2022.108681>
- Kelebekli, L. (2020). Synthesis of N-acetyl-4-methyl-benzenesulfonamide from Chloramine-T. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10(2), 117-124. <https://dergipark.org.tr/en/pub/ordubtd/issue/58759/823390>
- Kelebekli, L., & Atlı, I. (2019). Stereoselective synthesis of a new methyl-substituted inositol Derivative. *Tetrahedron*, 75, 130531. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2019.130531>
- Kelebekli, L., & Şahin, E. (2023). Stereospecific synthesis of Pd(0)-catalyzed oxazolidinone with tetracyclic structure. *Synthetic Communications*, 53, 1832-1843. <https://doi.org/10.1080/00397911.2023.2252537>

- Košak, U., Strašek, N., Knez, D., Jukič, M., Žakelj, S., Zahirović, A., & Gobec, S. (2020). N-alkylpiperidine carbamates as potential anti-Alzheimer's agents. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 197, 112282. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2021.113282>
- Krzywik, J., Aminpour, M., Janczak, J., Maj, E., Moshari, M., Mozga, W., Wietrzyk, J., Tuszyński, J. A., & Huczyński, A. (2021). An insight into the anticancer potential of carbamates and thiocarbamates of 10-demethoxy-10-methylaminocolchicine. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 215, 113282. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2021.113282>
- Li, X., Zhan, P., De Clercq, E., & Liu, X. (2012). The HIV-1 non-nucleoside reverse transcriptase inhibitors (Part V): Capravirine and its analogues. *Current Medicinal Chemistry*, 19, 6138–6149. <https://doi.org/10.2174/092986712804485764>
- Löscher, W., Sills, G. J., & White, H. S. (2021). The ups and downs of alkyl-carbamates in epilepsy therapy: how does cenobamate differ? *Epilepsia*, 62, 596–614. <https://doi.org/10.1111/epi.16832>
- Luche, J. L. (1978). Lanthanides in Organic Chemistry. 1. Selective 1,2 Reductions of Conjugated Ketones. *Journal of the American Chemical Society*, 100, 2226–2227. <https://doi.org/10.1021/ja00475a040>
- Marchand, A. P., LaRoe, W. D., Sharma, G. V. M., Suri, S. C., Reddy, D. S. (1986). Facile Stereoselective Reductions of Enediones and Cage Diketones Using Sodium Borohydride-Cerium(III) Chloride. *The Journal of Organic Chemistry*, 51, 1622–1625. <https://doi.org/10.1021/jo00359a054>
- Matošević, A., & Bosak, A. (2020). Carbamate group as structural motif in drugs: a review of carbamate derivatives used as therapeutic agents. *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology*, 71, 285–299. <https://doi.org/10.2478/aiht-2020-71-3466>
- Mattarei, A., Azzolini, M., Zoratti, M., Biasutto, L., & Paradisi, C. (2015). N- Monosubstituted Methoxy-oligo(ethylene glycol) carbamate ester pro- drugs of resveratrol. *Molecules*, 20, 16085–16102. <https://doi.org/10.3390/molecules200916085>
- Mizutani, T., Ishikawa, S., Nagase, T., Takahashi, H., Fujimura, T., Sasaki, T., Nagumo, A., Shimamura, K., Miyamoto, Y., Kitazawa, H., Kanesaka, M., Yoshimoto, R., Aragane, K., Tokita, S., & Sato, N. (2009). Discovery of novel benzoxazinones as potent and orally active long chain fatty acid elongase 6 inhibitors. *Journal of Medicinal Chemistry*, 52, 7289–7300. <https://doi.org/10.1021/jm900915x>
- Prasher, P., Mall, T., & Sharma, M. (2023). Cyclic carbamates in medicine: A clinical perspective. *Drug Development Research*, 84, 397–405. <https://doi.org/10.1002/ddr.22033>
- Seo, U. R., & Chung, Y. K. (2017). Potassium Phosphate-Catalyzed One-pot Synthesis of 3-Aryl-2-oxazolidinones from Epoxides, Amines, and an Atmospheric Carbon Dioxide. *Green Chemistry*, 19, 803–808. <https://doi.org/10.1039/C6GC02934E>
- Scattolin, T., Bouayad-Gervais, S., & Schoenebeck, F. (2019). Straightforward access to N-trifluoromethyl amides, carbamates, thiocarbamates and ureas. *Nature*, 573, 102–107. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1518-3>
- Trost, B. T., & Kalnals, C. A. (2020). Annulative Allylic Alkylation Reactions between Dual Electrophiles and Dual Nucleophiles: Applications in Complex Molecule Synthesis. *Chemistry A European Journal*, 26, 1906 – 1921. <https://doi.org/10.1002/chem.201903961>
- Vacondio, F., Silva, C., Mor, M., & Testa, B. (2010). Qualitative structure-metabolism relationships in the hydrolysis of carbamates. *Drug Metabolism Reviews*, 42(4), 551–589. <https://doi.org/10.3109/03602531003745960>

Yakan, H. (2020). Novel Schiff bases derived from isothiocyanates: synthesis, characterization, and antioxidant activity. *Research on Chemical Intermediates*, 46, 3979–3995.
<https://doi.org/10.1007/s11164-020-04185-w>

Türkiye’de Satışa Sunulan Elektrikli Araçların BWM ve LOPCOW Yöntemleriyle Ağırlıklandırılması ve Kriterlerin Sıralanması

Abdulkerim Güler¹

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Şarkışla Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Bilişim Sistemleri ve Teknolojileri Bölümü, Sivas

Geliş Tarihi / Received Date: 24.09.2023

Kabul Tarihi / Accepted Date: 29.06.2024

Öz

Elektrikli araçlar dünya çapında hızla yaygınlaşmaktadır. Enerji verimliliği hem ekonomi hem de çevre için önem arz etmektedir. Elektrikli araçlardaki bu etkiler nedeniyle birçok şirket elektrikli araç üretimi için çalışmalar yapmaktadır. Elektrikli araç satın almak isteyen alıcılar için de elektrikli araç teknolojileri içinde bir seçim problemi ortaya çıkmaktadır. Türkiye’de elektrikli araçların satışa sunulması, hem çevresel sürdürülebilirlik hem de ekonomik dönüşüm açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Türkiye’de satışa sunulan elektrikli araçlar için önemli olan kriterler çok kriterli ağırlıklandırma yöntemlerinden BWM ve LOPCOW Yöntemleri ile ağırlıklandırılmıştır. Ağırlıklandırma yöntemleri için hem subjektif hem de objektif ağırlıklandırma yöntemleri kullanılmış ve bu yöntemlerin ortak ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Böylece elektrikli araçlar için kriterlerin önem sıralamaları belirlenmiştir. Elektrikli araçların pazarlama stratejilerinin belirlenmesinde kullanılabilecek kriterlerin öneminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada elektrikli araçlar için kriterlerin ağırlıklandırılması ve sıralaması yapılmıştır. BWM ve LOPCOW Yöntemlerinin sonuçları karşılaştırılmış ve birleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, en önemli kriterin “Batarya Kapasitesi”, en az önemli kriterin ise “Ağırlık” olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: elektrikli araçlar, BWM yöntemi, LOPCOW yöntemi

Weighting and Ranking of Electric Vehicles’ Criteria On Sale in Turkey by BWM and LOPCOW Methods

Abstract

Electric vehicles are rapidly becoming widespread worldwide. Energy efficiency is important for both the economy and the environment. Due to these effects on electric vehicles, many companies are working on the production of electric vehicles. For buyers who want to buy electric vehicles, a selection problem arises within electric vehicle technologies. The introduction of electric vehicles in Turkey is of great importance for both environmental sustainability and economic transformation. In this study, the important criteria for the electric vehicles offered for sale in Turkey are weighted by BWM and LOPCOW methods. For weighting methods, both subjective and objective weighting methods were used and common weight values of these methods were calculated. Thus, it was tried to determine the importance rankings of the criteria for electric vehicles. It is aimed to determine the importance of the criteria that can be used in determining the marketing strategies of electric vehicles. In this study, the weighting and ranking of the criteria for the electric vehicle were carried out. The results of BWM and LOPCOW Methods are compared and combined. As a result of the study, it was determined that the most important criterion is "Battery Capacity" and the least important criterion is "Weight".

Keywords: electric vehicles, BWM method, LOPCOW method

Giriş

Dünya’da en fazla kullanılan fosil enerji kaynaklarından olan petrol tüketiminin neredeyse %60’ından fazlasını içten yanmalı motorlar içermektedir. Bu nedenle de, Dünya’da CO2 salınımının %25,5’ine sebep olmaktadır. Karayolları taşımacılığında bu tüketim içinde tüm CO2 salınımının %16’sına sadece karayolları taşımacılığı neden olmaktadır (Xu ve Yu, 2009). Elektrikli araçlar fosil yakıtlı araçlara nazaran ekonomik ve çevre dostu olması nedeniyle giderek yaygınlaşmaktadır. Elektrikli araçların 2030 yılına kadar küresel olarak binek otomobil satışlarının %75’ini oluşturması beklenmekte ve bu da endüstrinin mevcut gidişatını ve hızını önemli ölçüde arttırmaktadır (TEHAD, 2023). Elektrikli araçlar, çevre dostu olmaları nedeniyle diğer geleneksel otomobillere göre daha avantajlı ve popüler durumda olmaktadır (Polatgil, 2024).

Günümüzde, dünyadaki elektrikli araç üretici piyasasına Türkiye de katılmıştır. Türkiye merkezli elektrikli araç ile ülkemizde satışa sunulmaya başlanmıştır. Bu araçlara ilgi giderek artmaktadır. Elektrikli araçlar, çevre dostu yeni bir ürün olarak ifade edilmektedir (O’Connor ve McDermott, 2004). Elektrikli araçlar, kısmen veya tamamen elektrik enerjisi ile çalışan araçlara verilen isimdir. Elektrikli araç tipleri; tam elektrikli araçlar, hibrit araçlar, plug-in araçlar ve yakıt hücresel araçlar şeklinde çeşitlendirilmektedir (Andersson ve Börjesson, 2021).

Bu çalışmayı diğer çalışmalardan ayıran özellik, Türkiye’de satışa sunulan araçların tercih edilmesinde tüketicilerin tercihlerini etkileyen kriterlerin ön plana çıkarılması ve çok kriterli karar verme yöntemlerinden uzman görüşleri ile kriter ağırlık değerleri elde edilen yöntem (BWM) ile uzman görüşüne gerek kalmadan direkt verilere göre kriterlere ağırlık değerleri veren (LOPCOW) yöntemi sonuçları karşılaştırılmış ve kriter ağırlıkları ortak ağırlık değerleri olarak birleştirilmiştir. Ayrıca, çalışmada kullanılan kriterler, elektrikli araçlar ile ilgili yapılan ulusal ve uluslararası çalışmalarda kullanılan kriterlerdir (Tablo 1).

Türkiye’de satışa sunulan elektrikli araçların pazarlama stratejilerinin belirlenmesinde elektrikli araçların kriterlerin ağırlıkları ve sıralamaları sistematik bir şekilde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri(ÇKKVY) ile değerlendirilmiştir. Böylece bu çalışma ile otomotiv endüstrisi paydaşlarına, elektrikli araç satın alma niyeti olanlara, elektrikli araçların Türkiye’deki pazarlama stratejilerini geliştirmede rehberlik edecek ve tüketicilerin tercihlerini anlama konusunda daha etkili bir temel sunacaktır.

Literatür Taraması

Elektrikli araçlar ve Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri(ÇKKVY) ile ilgili literatür incelemesi aşağıda belirtilmiştir.

Karabulut (2023) yaptığı çalışmada, elektrikli motosikletleri CRITIC-COPRAS entegreli yöntem ile analiz etmiştir. Çalışma sonucuna göre, en yüksek önem düzeyinin fiyat kriterine ait olduğu tespit edilmiştir. Çaloğlu Büyükselçuk ve Tozan (2022) yaptıkları çalışmada, elektrikli sportif araçların performanslarını CRITIC ve EATWIOS entegreli çok kriterli karar verme yöntemleri ile sıralamışlardır. Çalışma sonucunda, İngiltere’de üretilen e-SUV’ların en iyi elektrikli araç olduğu tespit edilmiştir. Bilgilioğlu (2022) yaptığı çalışmada, Bulanık AHP yöntemi ile elektrikli araç şarj istasyonu için yer seçiminde çok kriterli karar verme yöntemini kullanmıştır. En uygun yerin belirlenmesi için bu yöntemi kullanmıştır. Böylece şarj istasyonu için yer seçimi haritası üretilmiştir. Abdulvahitoğlu vd. (2022) yaptıkları çalışmada, elektrikli otomobil seçiminde çok kriterli karar verme yöntemlerinden Borda tümleşik MULTIMOORA yöntemini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, popüler olan elektrik araç seçimi için standart sapma tabanlı MULTIMOORA tümleşik Borda yönteminin kullanıldığı bir model önermişlerdir. “Mercedes EQC 400 4MATIC” adlı aracın en iyi seçenek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Gülerüz ve Çokyaşar (2021) yaptıkları çalışmada, otomobil seçiminde TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. Böylece tüketicilerin otomobil satın alırken seçimlerine yardımcı olmayı hedeflemişlerdir. Sonar ve Kulkarni (2021) yaptıkları çalışmada, AHP ve MABAC yöntemlerini bütünleştirmiş, 6 farklı kriter üzerinden 6 alternatif elektrikli aracın sıralamasını yapmışlardır. Çalışma

sonucunda, en önemli kriter “maksimum menzil”, en az önemli kriter ise “aracın torku” olarak tespit edilmiştir. Karasu Asnaz ve Özdemir (2021) yaptıkları çalışmada, elektrikli araç şarj istasyonlarını çok kriterli karar verme yöntemleri ile optimal konumlandırmayı hedeflemişlerdir. Her bir alternatif konumun kriterlere göre performansı değerlendirilmiş ve alternatiflerin sıralanması yapılmıştır. Çoşkun (2021) yaptığı çalışmada, elektrikli otomobil seçiminde çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanmıştır. MULTIMOORA yöntemi kullanılarak Hyundai Kona 150 kW'nin en üst sıraya yerleştiği, Renault ZOE'nin ise beşinci sırada yer aldığı sonucuna ulaşılmıştır. Öztaysi vd. (2021) yaptıkları çalışmada, elektrikli araç seçiminde Bulanık KEMIRA yöntemi kullanmışlardır. Üç fayda kriteri, üç maliyet kriteri ve 5 alternatiften oluşan bir karar modeli oluşturup önerilen Bulanık KEMIRA yöntemi kullanılmıştır. Babacan (2020) yaptığı çalışmada, Türkiye'deki orta gelir grubu için otomobil seçiminde çok kriterli karar verme yöntemi kullanmıştır. Alıcıların otomobil ihtiyacını karşılamak için VIKOR yöntemi ile problem çözülmüştür. Gavcar ve Kara (2020) yaptıkları çalışmada, elektrikli otomobil seçiminde ENTROPİ ve TOPSIS yöntemlerini kullanmışlardır. Tesla'nın Model X LR ve Model 3 otomobilleri, en yüksek performans skoru elde etmiştir. Biswas ve Das (2018) yaptıkları çalışmada, Bulanık AHP-MABAC yöntemlerini kullanarak elektrikli araç seçimi yapmışlardır. Çalışma için yedi potansiyel alternatiften oluşan bir örnek değerlendirilmiştir. Seçilen kriterlere göre Hyundai İoniq Electric'in diğer alternatiflere göre daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir Sakthivel vd. (2013) yaptıkları çalışmada, otomobil satın almada hibrit birçok kriterli karar verme yöntemi kullanmışlardır. En iyi aracın seçimini değerlendirmek için iki model önermişlerdir. Araçların nihai sıralamasını elde etmek için GRA ve PROMETHEE yöntemi kullanılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Çalışmada kullanılan kriterler literatür incelemesi sonucunda belirlenmiştir. Bu kriterler tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Kriterlerin Literatür İncelemesi

| Kriterler | Birim | Optimizasyonun Yönü | Referans Literatürü |
|--|------------|---------------------|---|
| Batarya Kapasitesi (KRT1) | kw/saat | Fayda | Gavcar ve Kara (2020), Flizikowski vd.(2020), Kuchta ve Vrba (2003), Więckowski vd. (2023) |
| Beygir Gücü (KRT2) | kW | Fayda | Gavcar ve Kara (2020), Büyükselçuk ve Tozan(2022), Çoşkun (2022), Dijk ve Yarime (2010), Aksen vd. (2009), Więckowski vd. (2023) |
| Menzil (KRT3) | km | Fayda | Gavcar ve Kara (2020), Çaloğlu Büyükselçuk ve Tozan(2022), Çoşkun (2022), Abdulvahitoğlu vd. (2022), Lundström (2014), Więckowski vd. (2023) |
| Tüketim (KRT4) | kWh/100 km | Maliyet | Büyükselçuk ve Tozan (2022), Van Vliet vd. (2011), Sathre and Gustavsson (2021), Więckowski vd. (2023) |
| Şarj olma süresi (KRT5) | Dakika | Maliyet | Çaloğlu Büyükselçuk ve Tozan (2022), Çoşkun (2022), Abdulvahitoğlu vd. (2022), Giansoldati vd. (2020), Horn vd. (2019), Więckowski vd. (2023) |
| Tork (KRT6) | Nm | Fayda | Çaloğlu Büyükselçuk ve Tozan (2022), Çoşkun (2022), Kubiczek ve Hadasik (2021), Grigor'ev vd. (2015), Więckowski vd. (2023) |
| Azami hız (KRT7) | Km/h | Fayda | Çaloğlu Büyükselçuk ve Tozan(2022), Çoşkun (2022), Helmers ve Marx (2012), Kim vd. (2014), Więckowski vd. (2023) |
| Hızlanma (100'e kadar hızlanma) (KRT8) | Saniye | Fayda | Van Wee vd. (2012), Guo ve Zhang (2017) |
| Ağırlık (KRT9) | Kg | Maliyet | Çaloğlu Büyükselçuk ve Tozan(2022), Van Vliet vd. (2011) , Petrovic vd. (2015), Więckowski vd. (2023) |

Bu çalışmada kullanılan veriler ise, 2023 yılı eylül ayı ile sınırlıdır. Çalışmada Türkiye’de satışa sunulan elektrikli araçların verileri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan veriler araçları üreten firmaların web sayfalarından, Türkiye’de araç satış sitelerindeki verilerden karşılaştırma yapılarak (örn; <https://evdatabase.org>, www.sahibinden.com vb.) elde edilmiştir. Elde edilen veriler tablo 2’de gösterilmiştir.

Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden BWM yöntemi, kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için uzman görüşlerini kullanırken, LOPCOW yöntemi ise kriterlerin sıralanmasını sağlamak için mevcut verilerin analizi ile sıralama yapmaktadır. Elektrik-elektronik mühendisi ve Üniversite öğretim üyesinden oluşan alanında uzman 5 kişiyle yapılan görüşmeler sonucuna göre kriterlerin sıralaması yapılmıştır. Daha sonra bu sıralamalar ortak ağırlık değerleri olarak tek sırada birleştirilmiştir.

Tablo 2. Elektrikli Araç Modelleri Verileri

| S.N | Modeller | Batarya Kapasitesi | Menzil | Tüketim | Şarj | Beygir Gücü | Tork | Azami Hız | Hızlanma | Ağırlık |
|-----|--------------------------------|--------------------|--------|---------|------|-------------|------|-----------|----------|---------|
| 1 | Audi Q8 e-tron 50 quattro (A1) | 89 | 505 | 19,5 | 41 | 249 | 664 | 200 | 6 | 2510 |
| 2 | Audi Q8 e-tron 55 quattro (A2) | 106 | 600 | 19,9 | 41 | 300 | 664 | 200 | 5,6 | 2510 |
| 3 | BMW i4 M50 (A3) | 80,7 | 510 | 19 | 31 | 399 | 795 | 225 | 3,9 | 2215 |
| 4 | BMW iX1 xDrive30 (A4) | 64,7 | 440 | 16,8 | 29 | 230 | 494 | 180 | 5,6 | 2085 |
| 5 | BMW iX3 2022 (A5) | 80 | 460 | 18,5 | 32 | 210 | 400 | 180 | 6,8 | 2185 |
| 6 | BMW iX xDrive 50 (A6) | 105,2 | 630 | 19,8 | 35 | 384 | 765 | 200 | 4,6 | 2510 |
| 7 | BMW iX xDrive 40 (A7) | 71 | 425 | 19,4 | 31 | 239 | 630 | 200 | 6,1 | 2365 |
| 8 | BMW i7 xDrive60 (A8) | 107,8 | 625 | 18,4 | 34 | 399 | 745 | 240 | 4,7 | 2715 |

| | | | | | | | | | | |
|----|--|-------|-----|------|------|-----|------|-----|-----|------|
| 9 | Hyundai Kona Elektrik 150 kW 2021 (A9) | 64 | 484 | 14,7 | 47 | 150 | 395 | 167 | 7,9 | 1760 |
| 10 | Hyundai IONIQ 5 (A10) | 72,6 | 430 | 17,7 | 18 | 224 | 605 | 185 | 5,2 | 2095 |
| 11 | Jaguar I-Pace EV400 (A11) | 90 | 470 | 27,5 | 45 | 294 | 696 | 200 | 4,8 | 2208 |
| 12 | Kia EV6 Long Range GT LINE (A12) | 77,4 | 506 | 17,2 | 18 | 238 | 605 | 187 | 5,2 | 2105 |
| 13 | Kia Niro EV Prestige (A13) | 64,8 | 463 | 15,7 | 43 | 150 | 255 | 167 | 7,8 | 1739 |
| 14 | Mercedes EQE 350+ (A14) | 90 | 654 | 15,9 | 32 | 214 | 565 | 210 | 6,4 | 2355 |
| 15 | Mercedes AMG EQE 53 4MATIC+ (A15) | 90,56 | 526 | 20,2 | 32 | 459 | 950 | 220 | 3,5 | 2525 |
| 16 | Mercedes EQE 300+ (A16) | 89 | 616 | 16,7 | 32 | 180 | 550 | 210 | 7,3 | 2495 |
| 17 | Mercedes AMG EQS 53 4MATIC+ (A17) | 108 | 580 | 21,5 | 31 | 559 | 1020 | 250 | 3,4 | 2655 |
| 18 | Mercedes EQS 580 4MATIC (A18) | 108 | 676 | 18,4 | 31 | 384 | 855 | 210 | 4,3 | 2585 |
| 19 | Mercedes EQS 450+ (A19) | 108 | 780 | 15,6 | 31 | 244 | 568 | 210 | 6,2 | 2480 |
| 20 | Mercedes EQB 350 4MATIC (A20) | 66,5 | 419 | 18,1 | 32 | 214 | 520 | 160 | 6,2 | 2175 |
| 21 | Mercedes EQC 400 4MATIC (A21) | 80 | 462 | 20,8 | 40 | 300 | 760 | 180 | 5,1 | 2495 |
| 22 | Mercedes EQA 350 4MATIC (A22) | 66,5 | 432 | 17,5 | 30 | 214 | 520 | 160 | 6 | 2080 |
| 23 | Mini Cooper SE (A23) | 32,6 | 235 | 16,8 | 35 | 135 | 270 | 150 | 7,3 | 1440 |
| 24 | Peugeot SUV e-2008 (A24) | 50 | 331 | 15,1 | 30 | 99 | 260 | 150 | 8,5 | 1548 |
| 25 | Porsche Taycan Turbo Cross Turismo (A25) | 93,4 | 452 | 28,7 | 22,5 | 499 | 850 | 250 | 3,3 | 2395 |
| 26 | Porsche Taycan Turbo S Cross Turismo (A26) | 93,4 | 419 | 29,4 | 22,5 | 559 | 1050 | 250 | 2,9 | 2395 |
| 27 | Porsche Taycan 4S Cross Turismo (A27) | 93,4 | 452 | 28,1 | 22,5 | 419 | 650 | 240 | 4,1 | 2320 |
| 28 | Porsche Taycan 4 Cross Turismo (A28) | 93,4 | 456 | 28,1 | 22,5 | 350 | 500 | 220 | 5,1 | 2320 |
| 29 | Porsche Taycan Turbo S (A29) | 93,4 | 416 | 28,5 | 22,5 | 559 | 1050 | 260 | 2,8 | 2370 |
| 30 | Porsche Taycan Turbo (A30) | 93,4 | 452 | 28 | 22,5 | 499 | 850 | 260 | 3,2 | 2380 |
| 31 | Porsche Taycan 4S Plus (A31) | 93,4 | 464 | 27 | 22,5 | 419 | 650 | 250 | 4 | 2295 |
| 32 | Porsche Taycan 4S (A32) | 79,2 | 408 | 26,2 | 22,5 | 389 | 640 | 250 | 4 | 2215 |
| 33 | Porsche Taycan (A33) | 79,2 | 431 | 28 | 22,5 | 300 | 345 | 230 | 5,4 | 2125 |
| 34 | Renault ZOE 2022 (A34) | 52 | 386 | 13,5 | 70,0 | 99 | 245 | 140 | 9,4 | 1502 |
| 35 | DFSK Seres 3 Elektrikli SUV (A35) | 52,5 | 405 | 15,8 | 30 | 119 | 300 | 160 | 8,9 | 1690 |
| 36 | Skywell ET5 (A36) | 85,97 | 565 | 15,9 | 63 | 150 | 320 | 150 | 8,2 | 1930 |
| 37 | Subaru Solterra e-Xclusive (A37) | 71,4 | 466 | 16,1 | 30 | 160 | 336 | 160 | 6,9 | 2015 |
| 38 | Volvo XC40 Recharge P6 (A38) | 69 | 423 | 18,7 | 32 | 169 | 330 | 160 | 7,4 | 2030 |
| 39 | Tesla Model Y Long Range AWD (A39) | 81 | 533 | 16,9 | 28 | 291 | 510 | 217 | 5 | 1979 |
| 40 | Tesla Model 3 Long Range (A40) | 75 | 614 | 15,5 | 30 | 323 | 493 | 261 | 4,4 | 1844 |
| 41 | Tesla Model 3 Standard Range Plus (A41) | 54 | 448 | 12,6 | 22 | 217 | 404 | 225 | 5,6 | 1745 |
| 42 | Tesla Model Y Performance (A42) | 80 | 480 | 16,6 | 27 | 335 | 643 | 241 | 3,7 | 2003 |
| 43 | Tesla Model Y Long Range AWD (A43) | 81 | 533 | 16,9 | 27 | 291 | 510 | 217 | 5 | 1979 |
| 44 | TOGG T10X V1 RWD Standart (A44) | 88,5 | 523 | 16,9 | 28 | 160 | 350 | 185 | 7,8 | 2126 |

Best Worst Yöntemi (BWM)

Rezaei 2015 yılında, bir karar vericinin tercihini temsil etmek için oluşturulmuş bir ikili karşılaştırma yöntemini önermiştir. Bu yöntemde, diğerlerine göre en iyiden ikili karşılaştırmalar kümesi ve diğerlerine göre en kötüden ikili karşılaştırmalar kümesi olmak üzere toplamda $2n-3$ çiftli karşılaştırma kullanılmıştır (Rezaei, 2015).

BWM, sadece tek bir uzmandan fikir alınması için geliştirilen bir yöntemdir. Fakat, birden çok uzman söz konusu olduğunda, geometrik ya da aritmetik ortalama ile de bu yöntem kullanılabilir (Mohammadi ve Rezaei, 2020).

Bu yöntemin aşamaları şu şekildedir (Rezaei, 2015);

1.Aşama: Karar vericiler tarafından $C=\{c_1, c_2, c_3, \dots, c_n\}$ biçiminde karar kriterleri belirlenmektedir.

2. Aşama: Her karar vericiler sırayla, c_B ($B \in N$) ve c_W ($W \in N$) ile belirtilen en iyi (en önemli) ve en kötü (en az önemli) kriterlerini tanımlamaktadırlar. Birden fazla kriter en iyi ya da en kötü olarak kabul edildiği durumda ise, bu kriterlerden sadece bir tanesi isteğe bağlı olarak seçilebilmektedir (N: Kriter sayısı).

3.Aşama: Her karar verici, 1 ile 9 arasında bir sayı seçerek en iyi kriteri (c_B) diğer tüm kriterlere göre karşılaştırmaktadır. Kriterleri eşit öneme sahip kriter 1 ve en önemli kriter ise 9 ile belirtilmektedir. En iyi kriterle diğer kriterler ikili karşılaştırmaktadır:

$$A_{BO} = (a_{B1}, a_{B2}, a_{B3}, \dots, a_{Bj}, \dots, a_{Bn})$$

Burada a_{Bj} ($j \in N$), en iyi c_B kriterinin c_j kriterine göre karşılaştırması göstermektedir. Kriter j üzerinde en iyi kriterin B tercihini belirtmektedir ve $a_{BB} = 1$ 'dir.

4.Aşama: Her karar verici, 1 ile 9 arasında bir sayı seçerek tüm kriterlerin en kötü kriterine göre karşılaştırmasını yapmaktadır. Diğer kriterlerden en kötü ile ilgili ikili karşılaştırmalar;

$$A_{OW} = (a_{1W}, a_{2W}, a_{3W}, \dots, a_{jW}, \dots, a_{nW})$$

Burada, a_{jW} ($j \in N$), diğer c_j kriterinin en kötü c_B kriterine karşılaştırmasını göstermektedir. j'nin en kötü kriter W üzerindeki tercihini göstermektedir ve $a_{WW} = 1$ 'dir.

5.Aşama: Bu aşamada, min-max modeli çözülerek optimal ağırlık vektörü $w=(w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)^T$ elde edilmektedir:

$$\min \max_j \left\{ \left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right|, \left| \frac{w_j}{w_W} - a_{jW} \right| \right\}$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1, \quad w_j \geq 0, \quad j \in N. \quad (1)$$

Model (1) doğrusal şekli aşağıdaki gibi (Model 2) dönüştürülür:

$$\min \xi$$

$$|w_B - w_j a_{Bj}| \leq \xi \quad (2)$$

$$|w_j - w_W a_{jW}| \leq \xi \quad (3)$$

$$\sum_j w_j = 1 \quad w_j \geq 0, \quad \forall j, j = 1, 2, 3, \dots, J$$

Model 2 ile kriterlerin ağırlıkları ve ξ hesaplanmaktadır.

Burada w_j , j kriterinin ağırlığını göstermektedir ve ξ değeri ikili karşılaştırmalarda bu karşılaştırmaların ne kadar tutarlı olduğunu tespit etmek amacıyla kullanılmaktadır. ξ değeri sifıra ne kadar yakınsa, ikili karşılaştırmaların da o kadar tutarlı olduğu söylenebilir. Tutarlılık indeksi ile ilgili tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Tutarlılık İndeksi

| $a_{En\ iyi-En\ Kötü}$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------------------------|---|------|---|------|-----|---|------|------|------|
| Tutarlılık İndeksi | 0 | 0,44 | 1 | 1,63 | 2,3 | 3 | 3,73 | 4,47 | 5,23 |

BWM'nin Tutarlılık Oranı, elde edilen ξ ve bu değere karşılık gelen tutarlılık indeksi ise şu şekilde hesaplanmaktadır:

Tutarlılık Oranı= $\xi /$ (Tutarlılık indeksi)

Tutarlılık oranı sıfıra ne kadar yakın olursa, elde edilen vektör de o kadar tutarlıdır denir (Demir ve Bircan, 2020)

LOPCOW Yöntemi

LOPCOW yöntemi, objektif bir yaklaşım benimsemektedir. Karar vericilerin kişisel fikirlerine gerek olmadan kriter ağırlıklarını belirleyebilen bir yöntemdir. Bu yöntem, kriter ağırlıklarını hesaplarken alternatiflerin negatif performans değerini kullanabilmekte ve birçok kriter ile alternatiflerin verimli bir biçimde değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır (Biswas vd., 2022).

LOPCOW yöntemi, kriter ağırlıklarını objektif bilgilere dayanarak hesaplamaktadır. Bu yöntemin avantajları şu şekildedir (Ecer ve Pamucar, 2022);

- Kriter ağırlıkları nispeten eşit dağılım göstermektedir.
- Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde alternatiflerin negatif performans değerleri kullanılmaktadır. Bu, hisse senedi getirileri gibi birçok karmaşık gerçek hayattaki senaryolarda faydalı bir özelliktir.
- Çok sayıda kriter ve alternatif ile verimli bir şekilde çalışabilmektedir.

$X = [x_{ij}]_{m \times n}$ karar matrisi olmak üzere, m alternatif sayısını ve n ise kriter sayısını göstermektedir. Aşağıda LOPCOW yönteminin aşamaları açıklanmıştır (Ecer ve Pamucar, 2022).

1. Aşama: Normalleştirilmiş karar matrisinin oluşturulması

Doğrusal max-min tipi normalleştirme kullanarak, normalleştirilmiş karar matrisi aşağıdaki gibi elde edilmektedir;

$$R = [r_{ij}]_{m \times n}$$

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{min}^j}{x_{max}^j - x_{min}^j} \quad (j \in j^+, \text{ istenen etki: maksimize etmek}) \quad (4)$$

$$r_{ij} = \frac{x_{max}^j - x_{ij}}{x_{max}^j - x_{min}^j} \quad (j \in j^-, \text{ istenen etki: minimize etmek}) \quad (5)$$

2. Aşama: Kriterler için Yüzde Değeri (YD) türetmek

Her kriter için Yüzde Değeri, ortalama kare değerinin doğal logaritması ile yüzde olarak ifade edilen standart sapmanın bir oranı olarak verilmektedir. Bu adım, ağırlıkların eşit olmayan dağılımını düşürmeye yardımcı olmaktadır. Buna göre, Yüzde Değeri şu şekilde hesaplanmaktadır;

$$P_j = \left| \ln \left(\frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m r_{ij}^2}{m}}}{\sigma} \right) \cdot 100 \right| \quad (6)$$

Burada σ standart sapmayı ifade etmektedir.

3. Aşama: Kriter ağırlıklarının hesaplanması

Kriter ağırlıkları şu şekilde belirlenmektedir;

$$w_j = \frac{P_{ij}}{\sum_{j=1}^n P_{ij}} \quad (7)$$

Burada, $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ (Burada, tüm kriterlerin ağırlıklarının toplamı = 1'dir)

Ortak Ağırlık Yöntemi ile BWM ve LOPCOW Yöntemi ile elde edilen ağırlık Değerlerinin Birleştirilmesi

Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinde analizler için daha sağlam bir model kurabilmek amacıyla ortak ağırlıklandırma yapılabilmektedir. Bu nedenle, sübjektif ve objektif ağırlıklandırma yöntemlerinden (BWM ve LOPCOW) elde edilen kriter ağırlıkları eşitlik 8 ile birleştirilmiş ve ağırlıklar hesaplanmıştır (Bektaş, 2022; Zavadskas ve Podvezko, 2016).

$$w_{j \text{ ortak}} = \frac{w_{j1} * w_{j2}}{\sum_{j=1}^m w_{j1} * w_{j2}} \quad (8)$$

Bulgular

BWM Yönteminin Uygulanması

1. Aşama: Batarya kapasitesi, menzil, tüketim, şarj süresi, beygir gücü, tork, azami hız, hızlanma ve ağırlık olmak üzere toplamda 9 kriter kullanılmıştır.

2. Aşama: Uzmanların değerlendirmelerine göre kriterlerin sıralanması tablo 4'te gösterilmiştir. Her uzmanın verdiği cevabın geometrik ortalaması alınarak tek bir sıralama elde edilmiştir (Mohammadi ve Rezaei, 2020).

Tablo 4. Uzmanlara Göre Kriterlerin Sıralaması

| Kriterler | 1.Uzman | 2.Uzman | 3.Uzman | 4.Uzman | 5.Uzman | Geometrik Ortalama | Sıralama |
|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------------|----------|
| Batarya Kapasitesi | 4 | 6 | 7 | 4 | 6 | 5,26 | 5 |
| Menzil | 6 | 5 | 6 | 5 | 5 | 5,38 | 6 |
| Tüketim | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1,52 | 1 |
| Şarj Süresi | 5 | 4 | 4 | 3 | 2 | 3,44 | 4 |
| Beygir Gücü | 1 | 3 | 3 | 1 | 3 | 1,93 | 2 |
| Tork | 3 | 1 | 2 | 6 | 4 | 2,70 | 3 |
| Azami Hız | 8 | 7 | 9 | 8 | 8 | 7,97 | 8 |
| Hızlanma | 7 | 8 | 5 | 7 | 7 | 6,72 | 7 |
| Ağırlık | 9 | 9 | 8 | 9 | 9 | 8,79 | 9 |

Tablo 4'e bakıldığında elektrikli araçlar için en iyi kriterin "tüketim" ve en az önemli kriterin ise "ağırlık" olduğu görülmektedir.

3. Aşama: En iyi olarak belirlenen kritere göre diğer kriterlerin öncelik sıralamaları uzmanlar yardımıyla oluşturulmuş ve tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. En İyi Olarak Belirlenen Kritere Göre İkili Karşılaştırmalar

| Kriterler | Batarya Kapasitesi | Menzil | Tüketim | Şarj Süresi | Beygir Gücü | Tork | Azami Hız | Hızlanma | Ağırlık |
|-----------|--------------------|--------|---------|-------------|-------------|------|-----------|----------|---------|
| Kod | KRT1 | KRT2 | KRT3 | KRT4 | KRT5 | KRT6 | KRT7 | KRT8 | KRT9 |
| KRT3 | 2 | 6 | 1 | 5 | 3 | 4 | 8 | 7 | 9 |

4. Aşama: En kötü olarak değerlendirilen kriter ile diğer kriterlerin öncelik sıralamaları uzmanlar yardımıyla oluşturulmuş ve tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. En Kötü Olarak Değerlendirilen Kriter ile İkili Karşılaştırmalar

| Kriterler | Batarya Kapasitesi | Menzil | Tüketim | Şarj Süresi | Beygir Gücü | Tork | Azami Hız | Hızlanma | Ağırlık |
|-----------|--------------------|--------|---------|-------------|-------------|------|-----------|----------|---------|
| Kod | KRT1 | KRT2 | KRT3 | KRT4 | KRT5 | KRT6 | KRT7 | KRT8 | KRT9 |
| KRT9 | 5 | 4 | 9 | 5 | 8 | 7 | 3 | 2 | 1 |

5.Aşama: Min-max modelinin çözülmesi ve optimal ağırlıkların tespit edilmesi.

min ξ

$$|W_{KR3} - 2W_{KR1}| \leq \xi$$

$$|W_{KR3} - 6W_{KR2}| \leq \xi$$

$$|W_{KR3} - 5W_{KR4}| \leq \xi$$

$$|W_{KR3} - 3W_{KR5}| \leq \xi$$

$$|W_{KR3} - 4W_{KR6}| \leq \xi$$

$$|W_{KR3} - 8W_{KR7}| \leq \xi$$

$$|W_{KR3} - 7W_{KR8}| \leq \xi$$

$$|W_{KR3} - 9W_{KR9}| \leq \xi$$

$$|W_{KR1} - 5W_{KR9}| \leq \xi$$

$$|W_{KR2} - 4W_{KR9}| \leq \xi$$

$$|W_{KR3} - 9W_{KR9}| \leq \xi$$

$$|W_{KR4} - 5W_{KR9}| \leq \xi$$

$$|W_{KR5} - 8W_{KR9}| \leq \xi$$

$$|W_{KR6} - 7W_{KR9}| \leq \xi$$

$$|W_{KR7} - 3W_{KR9}| \leq \xi$$

$$|W_{KR8} - 2W_{KR9}| \leq \xi$$

$$W_{KR1} + W_{KR2} + W_{KR3} + W_{KR4} + W_{KR5} + W_{KR6} + W_{KR7} + W_{KR8} + W_{KR9} = 1$$

$$W_{KR1}, W_{KR2}, W_{KR3}, W_{KR4}, W_{KR5}, W_{KR6}, W_{KR7}, W_{KR8}, W_{KR9} \geq 0$$

Ağırlık katsayı değerleri, LINGO 20.0 programıyla çözülmüş ve tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Ağırlık Katsayı Değerleri

| Kriterler | Kod | Ağırlık(w) |
|--------------------|------|------------|
| Tüketim | KRT3 | 0,3080 |
| Batarya Kapasitesi | KRT1 | 0,1941 |
| Menzil | KRT2 | 0,0647 |
| Şarj Süresi | KRT4 | 0,0776 |
| Beygir Gücü | KRT5 | 0,1294 |
| Tork | KRT6 | 0,0970 |
| Azami Hız | KRT7 | 0,0485 |
| Hızlanma | KRT8 | 0,0554 |
| Ağırlık | KRT9 | 0,0253 |

$$\xi = 0,080154$$

BWM yönteminin uygulamasında 9 adet kriter kullanılmıştır. Buna göre $2*9-3 = 15$ adet karşılaştırma yapılmıştır. $\xi = 0,080154$ değerinin tutarlılık oranı için; tablo 1'de tutarlılık indeksinin 9 kriter için karşılık gelen 5,23 değerine göre; Tutarlılık oranı= $0,080154/5,23 = 0,0153$ olur ve bu değer 0,10'dan küçük olduğu için tutarlıdır denilebilir (Demir ve Bircan, 2020).

LOPCOW Yöntemi ile Kriterlerin Ağırlıklandırılması

1. Aşama: Normalleştirilmiş karar matrisinin oluşturulması

Doğrusal max-min tipi normalleştirme kullanarak, normalleştirilmiş karar matrisi tablo 8'de elde edilmiştir.

Tablo 8. Normalleştirilmiş Karar Matrisi

| Alt. (Araçlar) | Batarya Kapasitesi | Menzil | Tüketim | Şarj | Beygir gücü | Tork | Azami hız | Hızlanma | Ağırlık |
|----------------|--------------------|--------|---------|--------|-------------|--------|-----------|----------|---------|
| A1 | 0,7480 | 0,4954 | 0,5893 | 0,5577 | 0,3261 | 0,5205 | 0,4959 | 0,4848 | 0,1608 |
| A2 | 0,9735 | 0,6697 | 0,5655 | 0,5577 | 0,4370 | 0,5205 | 0,4959 | 0,4242 | 0,1608 |
| A3 | 0,6379 | 0,5046 | 0,6190 | 0,7500 | 0,6522 | 0,6832 | 0,7025 | 0,1667 | 0,3922 |
| A4 | 0,4257 | 0,3761 | 0,7500 | 0,7885 | 0,2848 | 0,3093 | 0,3306 | 0,4242 | 0,4941 |
| A5 | 0,6286 | 0,4128 | 0,6488 | 0,7308 | 0,2413 | 0,1925 | 0,3306 | 0,6061 | 0,4157 |
| A6 | 0,9629 | 0,7248 | 0,5714 | 0,6731 | 0,6196 | 0,6460 | 0,4959 | 0,2727 | 0,1608 |
| A7 | 0,5093 | 0,3486 | 0,5952 | 0,7500 | 0,3043 | 0,4783 | 0,4959 | 0,5000 | 0,2745 |
| A8 | 0,9973 | 0,7156 | 0,6548 | 0,6923 | 0,6522 | 0,6211 | 0,8264 | 0,2879 | 0,0000 |
| A9 | 0,4164 | 0,4569 | 0,8750 | 0,4423 | 0,1109 | 0,1863 | 0,2231 | 0,7727 | 0,7490 |
| A10 | 0,5305 | 0,3578 | 0,6964 | 1,0000 | 0,2717 | 0,4472 | 0,3719 | 0,3636 | 0,4863 |
| A11 | 0,7613 | 0,4312 | 0,1131 | 0,4808 | 0,4239 | 0,5602 | 0,4959 | 0,3030 | 0,3976 |
| A12 | 0,5942 | 0,4972 | 0,7262 | 1,0000 | 0,3022 | 0,4472 | 0,3884 | 0,3636 | 0,4784 |
| A13 | 0,4271 | 0,4183 | 0,8155 | 0,5192 | 0,1109 | 0,0124 | 0,2231 | 0,7576 | 0,7655 |
| A14 | 0,7613 | 0,7688 | 0,8036 | 0,7308 | 0,2500 | 0,3975 | 0,5785 | 0,5455 | 0,2824 |
| A15 | 0,7687 | 0,5339 | 0,5476 | 0,7308 | 0,7826 | 0,8758 | 0,6612 | 0,1061 | 0,1490 |
| A16 | 0,7480 | 0,6991 | 0,7560 | 0,7308 | 0,1761 | 0,3789 | 0,5785 | 0,6818 | 0,1725 |
| A17 | 1,0000 | 0,6330 | 0,4702 | 0,7500 | 1,0000 | 0,9627 | 0,9091 | 0,0909 | 0,0471 |
| A18 | 1,0000 | 0,8092 | 0,6548 | 0,7500 | 0,6196 | 0,7578 | 0,5785 | 0,2273 | 0,1020 |
| A19 | 1,0000 | 1,0000 | 0,8214 | 0,7500 | 0,3152 | 0,4012 | 0,5785 | 0,5152 | 0,1843 |
| A20 | 0,4496 | 0,3376 | 0,6726 | 0,7308 | 0,2500 | 0,3416 | 0,1653 | 0,5152 | 0,4235 |
| A21 | 0,6286 | 0,4165 | 0,5119 | 0,5769 | 0,4370 | 0,6398 | 0,3306 | 0,3485 | 0,1725 |
| A22 | 0,4496 | 0,3615 | 0,7083 | 0,7692 | 0,2500 | 0,3416 | 0,1653 | 0,4848 | 0,4980 |
| A23 | 0,0000 | 0,0000 | 0,7500 | 0,6731 | 0,0783 | 0,0311 | 0,0826 | 0,6818 | 1,0000 |
| A24 | 0,2308 | 0,1761 | 0,8512 | 0,7692 | 0,0000 | 0,0186 | 0,0826 | 0,8636 | 0,9153 |
| A25 | 0,8064 | 0,3982 | 0,0417 | 0,9135 | 0,8696 | 0,7516 | 0,9091 | 0,0758 | 0,2510 |
| A26 | 0,8064 | 0,3376 | 0,0000 | 0,9135 | 1,0000 | 1,0000 | 0,9091 | 0,0152 | 0,2510 |

| | | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| A27 | 0,8064 | 0,3982 | 0,0774 | 0,9135 | 0,6957 | 0,5031 | 0,8264 | 0,1970 | 0,3098 |
| A28 | 0,8064 | 0,4055 | 0,0774 | 0,9135 | 0,5457 | 0,3168 | 0,6612 | 0,3485 | 0,3098 |
| A29 | 0,8064 | 0,3321 | 0,0536 | 0,9135 | 1,0000 | 1,0000 | 0,9917 | 0,0000 | 0,2706 |
| A30 | 0,8064 | 0,3982 | 0,0833 | 0,9135 | 0,8696 | 0,7516 | 0,9917 | 0,0606 | 0,2627 |
| A31 | 0,8064 | 0,4202 | 0,1429 | 0,9135 | 0,6957 | 0,5031 | 0,9091 | 0,1818 | 0,3294 |
| A32 | 0,6180 | 0,3174 | 0,1905 | 0,9135 | 0,6304 | 0,4907 | 0,9091 | 0,1818 | 0,3922 |
| A33 | 0,6180 | 0,3596 | 0,0833 | 0,9135 | 0,4370 | 0,1242 | 0,7438 | 0,3939 | 0,4627 |
| A34 | 0,2573 | 0,2771 | 0,9464 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 1,0000 | 0,9514 |
| A35 | 0,2639 | 0,3119 | 0,8095 | 0,7692 | 0,0435 | 0,0683 | 0,1653 | 0,9242 | 0,8039 |
| A36 | 0,7078 | 0,6055 | 0,8036 | 0,1346 | 0,1109 | 0,0932 | 0,0826 | 0,8182 | 0,6157 |
| A37 | 0,5146 | 0,4239 | 0,7917 | 0,7692 | 0,1326 | 0,1130 | 0,1653 | 0,6212 | 0,5490 |
| A38 | 0,4828 | 0,3450 | 0,6369 | 0,7308 | 0,1522 | 0,1056 | 0,1653 | 0,6970 | 0,5373 |
| A39 | 0,6419 | 0,5468 | 0,7440 | 0,8077 | 0,4174 | 0,3292 | 0,6364 | 0,3333 | 0,5773 |
| A40 | 0,5623 | 0,6954 | 0,8274 | 0,7692 | 0,4870 | 0,3081 | 1,0000 | 0,2424 | 0,6831 |
| A41 | 0,2838 | 0,3908 | 1,0000 | 0,9231 | 0,2565 | 0,1975 | 0,7025 | 0,4242 | 0,7608 |
| A42 | 0,6286 | 0,4495 | 0,7619 | 0,8269 | 0,5130 | 0,4944 | 0,8347 | 0,1364 | 0,5584 |
| A43 | 0,6419 | 0,5468 | 0,7440 | 0,8269 | 0,4174 | 0,3292 | 0,6364 | 0,3333 | 0,5773 |
| A44 | 0,7414 | 0,5284 | 0,7440 | 0,8077 | 0,1326 | 0,1304 | 0,3719 | 0,7576 | 0,4620 |

2. ve 3. Aşama: Kriterler için Yüzde Değeri (YD) üretmek ve Kriter Ağırlıklarının hesaplanması

Kriterlerin Yüzde Değerleri ve kriter ağırlıkları tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Kriterlerin Yüzde Değerleri ve Kriter Ağırlıkları

| Kriterler | Batarya Kapasitesi | Menzil | Tüketim | Şarj | Beygir gücü | Tork | Azami hız | Hızlanma | Ağırlık |
|-----------------|--------------------|---------|---------|----------|-------------|---------|-----------|----------|---------|
| Yüzde Değerleri | 90,1484 | 96,9450 | 88,0551 | 120,1440 | 56,6602 | 61,7201 | 65,2052 | 67,9864 | 68,2202 |
| Ağırlıklar | 0,1261 | 0,1356 | 0,1231 | 0,1680 | 0,0792 | 0,0863 | 0,0912 | 0,0951 | 0,0954 |

Ortak Ağırlık Yöntemi ile BWM ve LOPCOW Yöntemi ile elde edilen ağırlık Değerlerinin Birleştirilmesi

BWM ve LOPCOW Yöntemleri ile elde edilen kriter ağırlıkları eşitlik 8 ile birleştirilmiş ve kriter ağırlıkları tablo 10’da hesaplanmıştır.

Tablo 10. Ortak Kriter Ağırlık Değerleri

| Yöntemler / Kriterler | LOPCOW | BWM | Ortak Ağırlık Değerleri | Ortak Sıralama |
|-----------------------|------------|--------|-------------------------|----------------|
| | Ağırlıklar | | | |
| Batarya Kapasitesi | 0,1261 | 0,3080 | 0,3322 | 1 |
| Menzil | 0,1356 | 0,1941 | 0,2251 | 2 |
| Tüketim | 0,1231 | 0,0647 | 0,0682 | 6 |
| Şarj | 0,1680 | 0,0776 | 0,1116 | 3 |
| Beygir gücü | 0,0792 | 0,1294 | 0,0877 | 4 |
| Tork | 0,0863 | 0,0970 | 0,0717 | 5 |
| Azami hız | 0,0912 | 0,0485 | 0,0379 | 8 |
| Hızlanma | 0,0951 | 0,0554 | 0,0451 | 7 |
| Ağırlık | 0,0954 | 0,0253 | 0,0207 | 9 |

Tablo 10’a bakıldığında LOPCOW ve BWM yöntemlerinden elde edilen ağırlık değerleri ortak ağırlık değerleri şeklinde birleştirilerek kriterlerin nihai ağırlıkları hesaplanmıştır. Ortak ağırlık değeri şeklinde birleştirilirken BWM yöntemi ile elde edilen ağırlık değeri ile LOPCOW yöntemi ile elde edilen ağırlık değeri çarpılıp, iki yöntem için tüm kriterlerden elde edilen ağırlık değerlerinin çarpımlarının genel toplamına bölünmesiyle elde edilmiştir. Örn; “batarya kapasitesi” için; $0,1261 \cdot 0,3080 = 0,0388388$, “menzil” için; $0,1356 \cdot 0,1941 = 0,026309$... ve en son “ağırlık” kriteri için; $0,0954 \cdot 0,0253 = 0,002415$ elde edilir. Daha sonra bu değerler toplanarak “0,116875” değer

genel toplamı ifade eder. “Batarya kapasitesi” için ortak ağırlık değeri ise $0,0388388/0,116875 = 0,3322$ olur.

Bu sonuçlara göre, en önemli kriterden başlamak üzere kriterlerin sıralaması “Batarya Kapasitesi”, “Menzil”, “Şarj”, “Beygir Gücü”, “Tork”, “Tüketim”, “Hızlanma”, “Azami Hız” ve “Ağırlık” şeklindedir.

Sonuç ve Öneriler

Elektrikli araçlar yakıt olarak birincil enerji kaynaklarından üretilen elektriği kullanmaktadırlar. Bu nedenle elektrik üretim kaynağı önem arz etmektedir. Fosil yakıttan elektrik üretim kaynağına geçiş süreci günümüzde hız kazanmıştır. Elektrik üretiminin hem çevreye hem de ekonomiye olan yararı bu kaynağın kullanımını da arttırmıştır.

Bu çalışmada da, günümüzün ve geleceğin önemli bir parçası olan elektrikli araçlar için kriter ağırlıklandırılması yapılmıştır. Elektrikli araç almak isteyen kişilere, bu karar verme aşamasında hangi kriter daha çok önem vermesi gerektiği konusunda yol göstermek hedeflenmiştir. Literatür sonucu elde edilen kriterler Çok Kriterli Ağırlıklandırma Yöntemlerinden Best Worst (BWM) Yöntemi ve LOPCOW Yöntemi ile ayrı ayrı ağırlıklandırılmıştır. Daha sonra bu sübjektif ve objektif ağırlık değerleri tek bir ortak değer olarak birleştirilmiş ve sıralanmıştır.

Çalışma sonucunda, ağırlıklandırma yöntemleri ile ağırlıklandırılan kriterlerin sıralaması ise, en önemliden en önemsiz doğru sırasıyla; “Batarya Kapasitesi”, “Menzil”, “Şarj”, “Beygir Gücü”, “Tork”, “Tüketim”, “Hızlanma”, “Azami Hız” ve “Ağırlık” şeklindedir. “Batarya Kapasitesi” nin en önemli kriter olmasının sebebinin, elektrikli aracın bataryasının aracın gidebileceği menzil için önemli olduğundan kaynaklandığı söylenebilir. “Menzil” kriteri de ikinci en iyi kriter olarak tespit edilmiştir. Bu da yine elektrikli araçlar için aracın gidebileceği mesafenin önemini göstermektedir.

Gavcar ve Kara (2020) yaptıkları çalışmada elektrikli araçlar için 5 farklı kriterleri sırasıyla “batarya kapasitesi”, “beygir gücü”, “aerodinamik katsayısı (CD)”, “tam şarj ile menzili” ve “satış fiyatı” şeklinde sıralamışlardır. Çalışma sonucu bu çalışma ile benzerlik göstermiştir. Sonar ve Kulkarni (2021) yaptıkları çalışmada AHP MABAC yöntemleri bütünlük olarak kullanmış ve 6 kriterleri sıralamasında en önemli kriter olarak “maksimum menzil” ve en az önemli kriter olarak “aracın torku” kriterini tespit etmiştir. Bu çalışmaya göre, çalışmamızda ikinci en önemli kriter olarak “menzil” kriteri bu çalışma ile benzerlik göstermiştir. Çoşkun (2022) yaptığı çalışmada kriterlerin sıralamasında en az önemli kriter “aracın maksimum hızı” kriteridir. Bu çalışmada, en az önemli olan kriterden bir önceki kriter olarak “azami hız” kriteri bulunmuştur.

En az önemli kriter ise ağırlık olarak bulunmuştur. Burada da, aracın ağırlığının diğer kriterlere oranla en son göz önüne alınabilecek bir kriter olarak düşünülmesi gerekir. Çünkü bir araç için aracın ağırlığı da virajlı yollarda yol tutuşu açısından önemli bir kriterdir.

Daha sonraki yapılabilecek çalışmalar için, elde edilen kriterlerin ağırlık değerleri ile güncel çok kriterli karar verme yöntemleri ile elektrikli araçların sıralaması yapılabilir. Ayrıca, ağırlık değerleri ortak bir ağırlık değerlerinde birleştirilebildiği için, Veri Zarflama Analizi ile verimlilikleri ölçülebilir.

Etik

Bu makalenin yayınlanmasıyla ilgili herhangi bir etik sorun bulunmamaktadır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını belirtmektedir.

ORCID

Abdulkerim Güler  <https://orcid.org/0000-0003-4220-918X>

Kaynaklar

- Abdulahitoğlu, A., Abdulahitoğlu, A. ve Kılıç, M. (2022). Elektrikli araç bataryalarının bütünleşik swara-topsis metodu ile değerlendirilmesi. *Cukurova University Journal of the Faculty of Engineering*, 37(4), 1061–1076. <https://doi.org/10.21605/CUKUROVAUMFD.1230942>
- Abdulahitoğlu, A., Abdulahitoğlu, A. ve Vural, D. (2023). *Elektrikli otomobil seçiminde çok kriterli karar verme: borda tümleşik multimoora yöntemi* [Sözlü sunum]. 4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences. Konya, Türkiye.
- Andersson, Ö. ve Börjesson, P. (2021). The greenhouse gas emissions of an electrified vehicle combined with renewable fuels: Life cycle assessment and policy implications. *Applied Energy*, 289, 116621. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116621>
- Aksen, J., Mountain, D. C. ve Jaccard, M. (2009). Combining stated and revealed choice research to simulate the neighbor effect: The case of hybrid-electric vehicles. *Resource and Energy Economics*, 31(3), 221–238. <https://doi.org/10.1016/J.RESENEECO.2009.02.001>
- Babacan, A. (2020). Türkiye’de orta gelir grubuna yönelik otomobil seçimi. Çok kriterli karar verme yöntemi olarak vikor yöntemi. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 21(1), 293–307. <https://doi.org/10.37880/CUMUIIBF.625927>
- Bektaş, S. (2022). Türk sigorta sektörünün 2002-2021 dönemi için MEREK, LOPCOW, COCOSO, EDAS ÇKKV yöntemleri ile performansının değerlendirilmesi. *BDDK Bankacılık ve Finansal Piyasalar Dergisi*, 16(2), 247–283. <https://doi.org/10.46520/BDDKDERGISI.1178359>
- Bilgiliöğlü, S. S. (2022). Coğrafi bilgi sistemleri ve bulanık analitik hiyerarşi süreci ile elektrikli araç şarj istasyonu yer seçimi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(1), 165–174. <https://doi.org/10.35414/AKUFEMUBID.1013244>
- Biswas, S., Bandyopadhyay, G. ve Mukhopadhyaya, J. N. (2022). A multi-criteria framework for comparing dividend pay capabilities: Evidence from indian fmcg and consumer durable sector. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 5(2), 140–175. <https://doi.org/10.31181/DMAME0306102022B>
- Biswas, T. K. ve Das, M. C. (2019). Selection of commercially available electric vehicle using fuzzy AHP-MABAC. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 100(3), 531–537. <https://doi.org/10.1007/S40032-018-0481-3/TABLES/9>
- Çaloğlu Büyükselçuk, E. ve Tozan, H. (2022). Elektrikli araçların performanslarının CRITIC-EATWIOS ile değerlendirilmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10(4), 1670–1688. <https://doi.org/10.29130/DUBITED.1002851>
- Çoşkun, İ. T. (2022). Çok kriterli karar verme teknikleri ile elektrikli otomobil seçimi: SDMULTIMOORA yaklaşımı. *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi*, 57(1), 68–82. <https://doi.org/10.15659/3.SEKTOR-SOSYAL-EKONOMI.22.01.1735>
- Demir, G. ve Bircan, H. (2020). Kriter ağırlıklandırma yöntemlerinden bwm ve fucom yöntemlerinin karşılaştırılması ve bir uygulama. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 21(2), 170–185. <https://doi.org/10.37880/CUMUIIBF.616766>
- Dijk, M. ve Yarime, M. (2010). The emergence of hybrid-electric cars: Innovation path creation through co-evolution of supply and demand. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(8), 1371–1390. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2010.05.001>
- Ecer, F. ve Pamucar, D. (2022). A novel LOPCOW-DOBI multi-criteria sustainability performance assessment methodology: An application in developing country banking sector. *Omega*, 112, 102690. <https://doi.org/10.1016/J.OMEGA.2022.102690>

- Flizikowski, J., Tomporowski, A., Kruszelnicka, W., Piasecka, I., Mroziński, A. ve Kasner, R. (2020). Electric cars as a future energy accumulation system. *Renewable Energy Sources: Engineering, Technology, Innovation*, 827–839. https://doi.org/10.1007/978-3-030-13888-2_80
- Gavcar, E., ve Kara, N. (2020). Elektrikli otomobil seçiminde ENTROPI ve TOPSIS yöntemlerinin uygulanması. *Journal of Human and Work*, 7(2), 351–359. <https://doi.org/10.18394/IID.695702>
- Giansoldati, M., Monte, A. ve Scorrano, M. (2020). Barriers to the adoption of electric cars: Evidence from an Italian survey. *Energy Policy*, 146, 111812. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2020.111812>
- Grigor'ev, M. A., Naumovich, N. I. ve Belousov, E. V. (2015). A traction electric drive for electric cars. *Russian Electrical Engineering*, 86(12), 731–734. <https://doi.org/10.3103/S1068371215120111/METRICS>
- Güteryüz, S. ve Çokyaşar, A. (2021). Otomobil seçimi için topsis temelli bir karar verme yaklaşımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 31, 713–724. <https://doi.org/10.31590/EJOSAT.1010625>
- Guo, F. ve Zhang, F. (2017). A study of driving cycle for electric cars on beijing urban and suburban roads. *2016 IEEE International Conference on Power and Renewable Energy, ICPRE 2016*, 319–322. <https://doi.org/10.1109/ICPRE.2016.7871224>
- Helmers, E. ve Marx, P. (2012). Electric cars: Technical characteristics and environmental impacts. *Environmental Sciences Europe*, 24(4), 1–15. <https://doi.org/10.1186/2190-4715-24-14/FIGURES/2>
- Horn, M., MacLeod, J., Liu, M., Webb, J. ve Motta, N. (2019). Supercapacitors: A new source of power for electric cars? *Economic Analysis and Policy*, 61, 93–103. <https://doi.org/10.1016/J.EAP.2018.08.003>
- Karabulut, T. (2023). CRITIC-COPRAS Yöntemi ile Elektrikli Motosiklet Seçimi. A. T. Bayram (Ed.), *Sosyal Bilimler Üzerine Araştırmalar-V* (syf. 69–83) içinde. Özgür Yayınları. <https://doi.org/https://doi.org/10.58830/ozgur.pub168>
- Karasu Asnaz, M. S. ve Özdemir, B. (2021). Elektrikli araç şarj istasyonlarının çok kriterli karar verme yöntemleri ile optimal konumlandırması. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 4(2), 175–187. <https://doi.org/10.51513/JITSA.1015108>
- Kim, J., Rasouli, S. ve Timmermans, H. (2014). Expanding scope of hybrid choice models allowing for mixture of social influences and latent attitudes: Application to intended purchase of electric cars. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 69, 71–85. <https://doi.org/10.1016/J.TRA.2014.08.016>
- Kubiczek, J. ve Hadasik, B. (2021). Segmentation of passenger electric cars market in poland. *World Electric Vehicle Journal 2021*, 12(1), 23. <https://doi.org/10.3390/WEVJ12010023>
- Kuchta, R. ve Vrba, R. (2003). Measuring and monitoring system for electric cars. *IEEE International Symposium on Diagnostics for Electric Machines, Power Electronics and Drives, SDEMPED 2003 - Proceedings*, 342–344. <https://doi.org/10.1109/DEMPED.2003.1234598>
- Lundström, A. (2014). Differentiated driving range: Exploring a solution to the problems with the “Guess-O-Meter” in electric cars. *AutomotiveUI 2014 - 6th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, in Cooperation with ACM SIGCHI - Proceedings*. <https://doi.org/10.1145/2667317.2667347>
- Mohammadi, M. ve Rezaei, J. (2020). Bayesian best-worst method: A probabilistic group decision making model. *Omega*, 96, 102075. <https://doi.org/10.1016/J.OMEGA.2019.06.001>

- Öztaysi, B., Onar, S. Ç. ve Kahraman, C. (2021). Electric vehicle selection by using Fuzzy KEMIRA. *Multiple-Valued logic and soft computing*, 37(3-4), 437-461. <https://researchr.org/publication/OztaysiOK21>
- Petrović, D. T., Pešić, D. R., Petrović, M. M. ve Mijailović, R. M. (2020). Electric cars: Are they solution to reduce CO² emission? *Thermal Science*, 24(5 Part A), 2879-2889. <https://doi.org/10.2298/TSCI191218103P>
- Polatgil, M. (2024). TOGG otomobilleri youtube video yorumlarının duygu analizi ve makine öğrenme modeli ile incelenmesi. *Uluslararası Anadolu Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(1), 15-35. <https://doi.org/10.47525/ulasbid.1398206>
- Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49-57. <https://doi.org/10.1016/J.OMEGA.2014.11.009>
- Sakthivel, G., Ilangkumaran, M., Nagarajan, G., Raja, A., Ragunadhan, P. M. ve Prakash, J. (2013). A Hybrid MCDM approach for evaluating an automobile purchase model. *International Journal of Information and Decision Sciences*, 5(1), 50-85. <https://doi.org/10.1504/IJIDS.2013.052017>
- Sathre, R. ve Gustavsson, L. (2021). A Lifecycle Comparison Of Natural Resource Use And Climate Impact Of Biofuel And Electric Cars. *Energy*, 237, 121546. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2021.121546>
- Sonar, H. C. ve Kulkarni, S. D. (2021). An integrated AHP-MABAC approach for electric vehicle selection. *Research in Transportation Business & Management*, 41, 100665, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2021.100665>
- TEHAD (Türkiye Elektrikli ve Hibrid Araçlar Derneği) (2023). <https://www.tehad.org/2022/12/26/ana-akim-elektrikli-araclar-otomotiv-endustrisini-donusturebilecek-mi/> adesinden 01 Ekim 2023 tarihinde erişilmiştir.
- Van Vliet, O., Brouwer, A. S., Kuramochi, T., Van Den Broek, M. ve Faaij, A. (2011). Energy use, cost And CO2 emissions of electric cars. *Journal Of Power Sources*, 196(4), 2298-2310. <https://doi.org/10.1016/J.JPOWSOUR.2010.09.119>
- van Wee, B., Maat, K. ve de Bont, C. (2012). Improving sustainability in urban areas: Discussing the potential for transforming conventional car-based travel into electric mobility. 20(1), 95-110. <https://doi.org/10.1080/09654313.2011.638497>
- Więckowski, J., Wątróbski, J., Kizielewicz, B. ve Sałabun, W. (2023). Complex sensitivity analysis in multi-criteria decision analysis: An application to the selection of an electric car. *Journal of Cleaner Production*, 390, 136051. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.136051>
- Xu, F. ve Yu, G. Q. (2009). Tentative analysis of layout of electrical vehicle charging stations. *East China Electric Power*, 10, 678-1682.
- Zavadskas, E. K. ve Podvezko, V. (2016). Integrated determination of objective criteria weights in MCDM. *International Journal of Information Technology Decision Making*, 15(02), 267-283. <https://doi.org/10.1142/S0219622016500036>

Değişik Oranlarda ve Farklı Katkı Materyalleri ile Hazırlanan Yetiştirme Ortamlarının Enoki (*Flammulina velutipes*) Mantarının Verim ve Kalitesine Etkisi

Ahmet Faruk Karasoy¹ , Aysun Pekşen² 

¹ Gıda Kontrol Laboratuvar Müdürlüğü, Samsun

² Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Samsun

Geliş Tarihi / Received Date: 25.10.2023

Kabul Tarihi / Accepted Date: 19.12.2023

Öz

Bu çalışmada, farklı oranlarda kullanılan değişik katkı materyallerinden hazırlanan mantar yetiştirme ortamlarının *Flammulina velutipes* (Enoki)'in verim, kalite ve biyolojik etkinlik oranına (BE) etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Buğday kepeği (BK), ayçiçeği küspesi (AÇK), mısır koçanı (MK), çay atığı (ÇA), soya küspesi (SK) ve pirinç kepeği (PK) katkı materyalleri olarak kullanılmıştır. Bu katkı materyalleri, kavak talaşına (KT) %10 ve %20 oranında eklenerek 12 yetiştirme ortamı hazırlanmıştır. Yetiştirme ortamlarının sterilizasyon sonrasında kimyasal ve fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Yetiştirme ortamlarının mantar verimi, BE oranı, mantar sayısı, ortalama mantar ağırlığı, mantarların morfolojik özellikleri, renkleri, protein oranları ve mineral madde içerikleri üzerine etkileri tespit edilmiştir. Katkı maddesi olarak kullanılan materyallerin ve farklı oranlarda katkı maddesi ilave edilerek hazırlanan ortamların mantar verimine ve BE oranına etkilerinin istatistiksel anlamda önemli olduğunun belirlenmesine karşılık, ortamlara katılma oranlarının (%10 ve 20) etkisi önemsiz bulunmuştur. Mantar verimi ve BE oranı bakımından, tüm ortamlar arasında 80KT+20BK (sırasıyla 89.60 g/şişe ve %40.03) ile 80KT+20PK (sırasıyla 89.12 g/şişe ve %39.49)'nin en yüksek değerleri verdiği tespit edilmiştir. Katkı materyallerinin mantar kalitesi üzerine de etkili olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enoki, mantar, verim, katkı materyalleri, mineral madde

Effect of Substrates Prepared with Different Ratios and Supplement Materials on Yield and Quality of Enoki (*Flammulina velutipes*)

Abstract

In this study, it was aimed to determine the effects of substrates prepared by using supplement materials at different rates on the mushroom yield, quality and biological efficiency rate (BE) of *Flammulina velutipes* (Enoki). Wheat bran (WB), sunflower pulp (SP), corn cob (CC), tea waste (TW), soybean meal (SB) and rice bran (RB) were used as supplement materials. By adding of these supplement materials into poplar sawdust (PS) at a rate of 10% and 20%, 12 substrates were prepared. Some chemical and physical properties of the substrates were determined after sterilization. The effects of the substrates on mushroom yield, BE ratio, number of mushrooms, average mushroom weight, morphological characteristics, colors, protein ratios and mineral contents were determined. Although the effects of the supplement materials and the substrates prepared by adding of supplements at different rates on mushroom yield and BE rate were statistically significant, the supplement inclusion rate (10 and 20%) in the substrates was found insignificant. In terms of mushroom yield and BE ratio, 80PS+20WB (89.60 g/bottle and 40.03%, respectively) and 80PS+20RB (89.12 g/bottle and 39.49%, respectively) were the superior among all substrates. It has been determined that supplement materials also affect mushroom quality.

Keywords: Enoki, mushroom, yield, supplement materials, minerals

Giriş

Mantarlar sağlıklı ve güvenli beslenme kaynaklarıdır. İçerdikleri yüksek besin içerikleri ve tıbbi değerleri ile yeterli gıda kaynağı noksanlığının giderilmesi için iyi bir alternatif gıda kaynağıdır (Royse vd., 2017). Dünyada 2021 yılı verilerine göre 44207117,25 ton, Türkiye’de ise 61460 ton kültür mantarı üretimi gerçekleştirilmiştir (FAO, 2023). Eren ve Pekşen (2019) ise 2018 yılında Türkiye mantar üretim miktarının 65000 ton olduğunu bildirmişler ve 2025 yılında bu miktarın 100000 ton civarına ulaşacağını öngörmüşlerdir. Dünyadaki toplam kültür mantarı arzının %85’ini *Agaricus*, *Pleurotus*, *Lentinula*, *Auricularia* ve *Flammulina* cinsi mantarlar oluşturmaktadır. *Flammulina velutipes* (Enoki) türü %5 üretim payı ile 5. sırada yer almaktadır (Royse, 2014). Bu tür Çin, Japonya, Tayvan ve Güney Kore’de yaygın olarak üretilmektedir. Çin yıllık 2.4 milyon ton üretimle bu mantarın lider üreticisidir (Liu vd., 2018). Türkiye’de mantara olan ilginin ve üretimin artması, farklı mantar türlerinin üretiminin de artmasına neden olmuştur. Bununla birlikte ülkemizde son 10 yılda ticari olarak beyaz şapkalı (*Agaricus bisporus*) ve istiridye (*Pleurotus ostreatus*) mantarı üretimi yapılmaktadır. Türkiye’de mantar sektörünün gelişebilmesi için pazardaki mantar çeşitliliğinin artırılması, özellikle dünya pazarlarında aranılan türlerin yetiştiriciliğinin yaygınlaştırılmasına ihtiyaç vardır. Dünyada üretilen başlıca mantar türlerinden biri olması ve Türkiye mikrobiyotasında bulunmasına (Karasoy vd., 2019; Sesli ve Denchev, 2014) karşılık, *F. velutipes* türünün ülkemizde ticari üretimi yapılmamaktadır. Ülkemizde yeterince tanınmayan bu türün yetiştiriciliği ile ilgili yeni yeni çalışmalar yapılmaktadır (Okuyucu, 2021).

Asya mutfağının vazgeçilmez lezzeti olarak kabul edilen *F. velutipes*, yaygın olarak “Enokitake-Enoki” olarak bilinmektedir. Aynı zamanda Asya mantarı, kış mantarı, kadife mantarı, zambak mantarı, incik ve altın iğneli mantar olarak da adlandırılmaktadır. Genellikle taze veya konserve olarak değerlendirilen *F. velutipes* hem çiğ hem de pişmiş olarak tüketilmektedir. Çorbası, salatası yapılmakta ya da sebze ve et yemeklerinde garnitür olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda tavuk sosisi, bira, sake ve şarap yapımında ek gıda maddesi olarak da kullanılmaktadır (Karasoy vd., 2019).

F. velutipes yetiştiriciliği ilk olarak ağaç kütükleri üzerinde 8.yy’da Çin’de başlamıştır (Wang, 1995). Günümüzde ise ana materyal olarak talaş, saman, pamuk tohumu kabukları ve öğütülmüş mısır koçanının kullanıldığı torba veya şişe kültüründe yetiştirilmektedir. Mantar verim ve kalitesini etkileyen en önemli faktörlerden birisi de hazırlanan kompostun bileşimidir. Bu nedenle *F. velutipes* üretiminden önce, uygun bileşime sahip, düşük maliyetli ve yerel olarak kolay bulunabilen kompost formüllerinin belirlenmesi önemlidir (Rezaeian vd., 2021; Royse vd., 2017). *F. velutipes* mantarı için yetiştirme ortamı olarak kahve atığı, kahve kabuğu, fıstık kabuğu, dut dalı tozu, çeltik ve buğday samanı, palmiyenin boş meyve demeti ve palmye lifi, soya fasulyesi, kolza samanı, kivi çubukları, dut atığı ve sorgum kabuğu, elma posası, rami sapı, kolza samanı ve bambu atıklarının kullanılabilirliğini belirlemeye yönelik çalışmalar yapılmıştır (Chen vd., 2008a; Guan vd., 2020; Harith vd., 2014; Hiramori vd., 2017; Leifa vd., 2001; Liao vd., 2019; Rezaeian ve Pourianfar, 2017; Song vd., 1993; Xie vd., 2017). *F. velutipes* herhangi bir katkı materyali ilave edilmeksizin talaş gibi temel lignoselülozik substratlar üzerinde yetiştirilebilmektedir (Rezaeian ve Pourianfar, 2017). Bununla birlikte daha yüksek verim ve kalite için uygun bir formülasyon sağlamak amacıyla çeşitli takviyelerle yetiştirme ortamı zenginleştirilmektedir. Yapılan çalışmalarda yetiştirme ortamı hazırlanmasında katkı materyali olarak pirinç kepeği, bira tahılı, yağı alınmış mısır unu, yağı alınmış soya fasulyesi unu, kolza tohumu unu, jizhi (şeker üretiminde kullanılan bir bitki) atığı, buğday kepeği, kullanılmış kompost, mısır koçanı unu ve çay atığı gibi materyallerin kullanılabilirliği test edilmiştir (Chen vd., 2008b; Jung vd., 2009; Okuyucu, 2021; Song vd., 1993). Literatürde *F. velutipes* üretiminde farklı atık materyallerin kullanımı ile ilgili çalışmalar olmakla birlikte, özellikle ayçiçeği küspesi, çay atığı, soya küspesi gibi materyallerin kullanılmasına ve bunların yetiştirme ortamına katılma oranlarına yönelik çalışmaya rastlanılmamıştır. Türkiye’de *F. velutipes* yetiştiriciliği ile ilgili çok az sayıda çalışma yapılmıştır (Okuyucu, 2021; Yılmaz, 2002).

Bu çalışmanın amacı, Türkiye mikrobiyotasından izole edilmiş *F. velutipes* mantarının üretiminde, ana materyal olarak kullanılan kavak talaşına, %10 ve 20 oranlarında ayçiçeği küspesi (AÇK), mısır koçanı

(MK), çay atığı (ÇA), buğday kepeği (BK), pirinç kepeği (PK) ve soya küspesi (SK) karıştırılarak hazırlanan yetiştirme ortamlarının verim, biyolojik etkinlik (BE) ve mantar kalitesine etkilerini saptamak ve yetiştiricilik için en uygun kompost formülünü ortaya koymaktır. Bu çalışmanın bir diğer amacı da *F. velutipes* mantar türünün tanınırlığını artırmaktır.

Materyal ve Yöntem

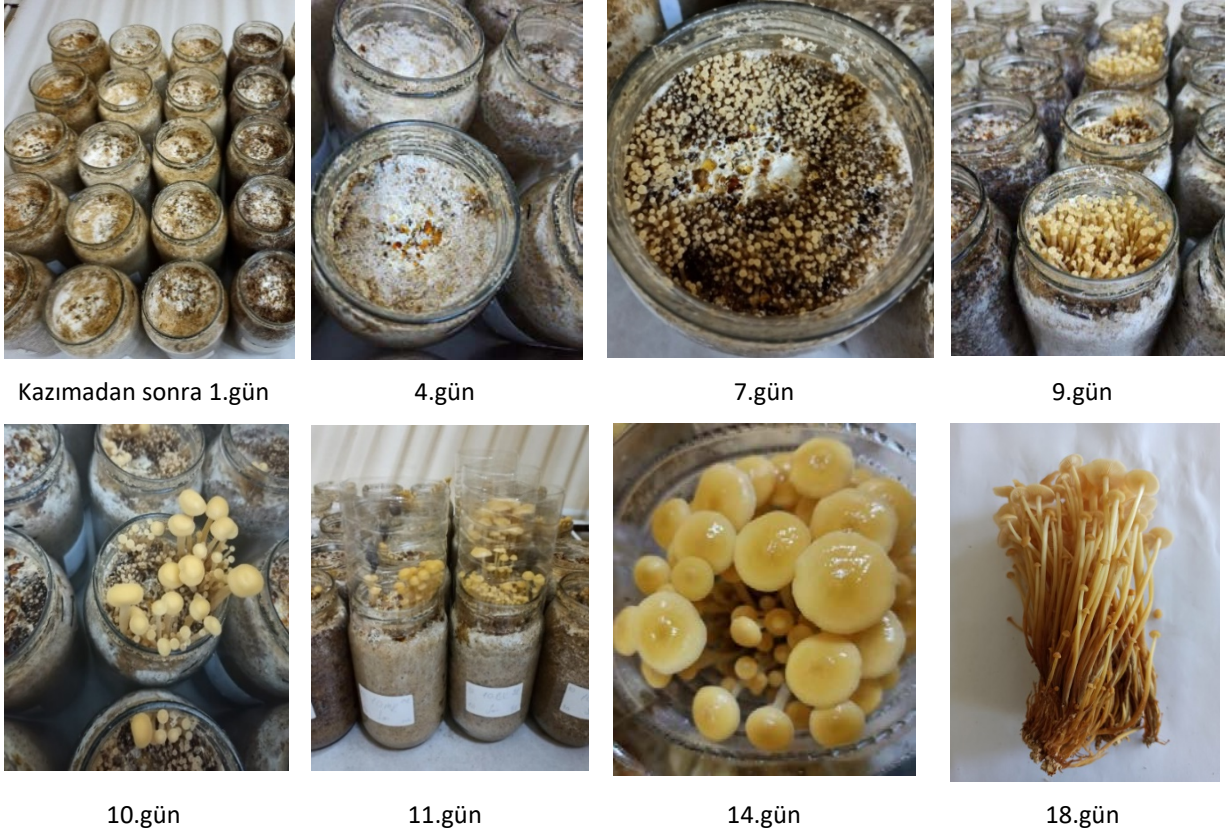
Deneme, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü'ne ait laboratuvar ve mantar üretim odasında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan *Flammulina velutipes* (Enoki) mantar türüne ait sarı ırk Türkiye mikobiyotasından izole edilmiştir. Ana kültürün çoğaltılması için besin ortamı olarak 121°C'de 15 dakika steril edilen Patates Dekstroz Agar (PDA) ve tohumluk misel üretiminde misel sardırma materyali olarak buğday kullanılmıştır. Çalışmada kavak talaşına (KT) farklı oranlarda (%10 ve 20) ilave edilen katkı maddeleri (ayçiçeği küspesi (AÇK), çay atığı (ÇA), buğday kepeği (BK), mısır koçanı (MK), pirinç kepeği (PK) ve soya küspesi (SK)) ile hazırlanan 12 yetiştirme ortamı ele alınmıştır. Her ortama kompostun pH'sını ayarlamak ve yapışkanlığını gidermek amacı ile %1 oranında alçı ilavesi yapılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Kavak Talaşına Farklı Oranda İlave Edilen Katkı Materyalleri ile Hazırlanan Kompost Formülleri ve Kısaltmaları

| Kompost Formülleri | Kısaltmalar |
|---|-------------|
| %90 Kavak Talaşı + %10 Ayçiçeği Küspesi + %1 Alçı | 90KT-10AÇK |
| %90 Kavak Talaşı + %10 Buğday Kepeği + %1 Alçı | 90KT-10BK |
| %90 Kavak Talaşı + %10 Çay Atığı + %1 Alçı | 90KT-10ÇA |
| %90 Kavak Talaşı + %10 Mısır Koçanı + %1 Alçı | 90KT-10MK |
| %90 Kavak Talaşı + %10 Pirinç Kepeği + %1 Alçı | 90KT-10PK |
| %90 Kavak Talaşı + %10 Soya Küspesi + %1 Alçı | 90KT-10SK |
| %80 Kavak Talaşı + %20 Ayçiçeği Küspesi + %1 Alçı | 80KT-20AÇK |
| %80 Kavak Talaşı + %20 Buğday Kepeği + %1 Alçı | 80KT-20BK |
| %80 Kavak Talaşı + %20 Çay Atığı + %1 Alçı | 80KT-20ÇA |
| %80 Kavak Talaşı + %20 Mısır Koçanı + %1 Alçı | 80KT-20MK |
| %80 Kavak Talaşı + %20 Pirinç Kepeği + %1 Alçı | 80KT-20PK |
| %80 Kavak Talaşı + %20 Soya Küspesi + %1 Alçı | 80KT-20SK |

Materyaller tartılmış ve iyice karıştırılarak homojen olması sağlanmıştır. Nem oranları yaklaşık %65±5 olması için musluk suyu kullanılarak ıslatılmıştır. Hazırlanan yetiştirme ortamları şişelere doldurularak orta kısmına delik açılmıştır. Misel aşılmasının kolay olması ve misel gelişimi sırasındaki hava ihtiyacının karşılanması amacıyla şişelerin ağızlarının kapatılmasında kullanılacak kapakların ortaları kesilerek pamukla kapatılmıştır. Şişelerin ağızları bu kapaklarla kapatılmış ve pamukların ıslanmaması için folyo ile üzerleri örtülerek 121°C sıcaklıkta 1.2 atmosfer basınçta 1.5 saat otoklavda steril edilmiştir. 20-25°C'ye kadar soğuyan sterilize edilen şişelere steril kabinde şişelerin orta kısmına açılan delikler içerine gelecek şekilde aşılama makası yardımıyla misel (her bir şişeye 9-11 g) ekimi yapılmıştır.

Şişeler aşılandıktan sonra 18±2°C sıcaklık ve %65-75 nem koşullarında (Hiramori vd., 2017) inkübe edilmiştir. Misel sarımı 20-25 gün sürmüştür. Misel sarımından sonra homojen mantar oluşumu için şişelerin ağzı açılarak üst kısmı kazınmıştır. Kazıma işleminden sonra mantar üretimi odasının sıcaklığı 15±2°C ve nem koşulları %95 olacak şekilde ayarlanmıştır (Thuy ve Suzuki, 2019). Bu dönemde mantar oluşumu için 300 lüks ışık ile günde 6 saat aydınlatma yapılmıştır. Sapın düzensiz uzamasını engellemek için saplar yaklaşık 2 cm yüksekliğe ulaştığında, her şişenin ağzına plastik bilezik takılmıştır. Mantarlar yaklaşık 14-18 cm uzunluğa ulaştığında ve şapkada kıvrılmalar başladığında hasat edilmiştir. *Flammulina velutipes* mantarının gelişim süreci ve hasat edilen mantarlara ait görüntüler Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Flammulina velutipes Mantarının Gelişim Süreci ve Hasat Edilen Mantarlar

Yetiştirme ortamlarında kullanılan kavak talaşı ve katkı materyallerinin başlangıç ve hazırlanan yetiştirme ortamlarının sterilizasyon sonrası örneklerinde pH ve EC (Rowell, 1996), nem, kül, N miktarları (Kacar ve İnal, 2008) belirlenmiş, C miktarları (Cormican ve Staunton, 1991) ve C/N oranları hesaplanmıştır. Ayrıca hazırlanan yetiştirme ortamlarının sterilizasyon sonrası mineral madde analizleri (Julshamn vd., 2007) yapılmıştır.

Hasat edilen mantarların verim ve biyolojik etkinlik değerleri, ortalama mantar ağırlıkları (g), ortalama mantar sayıları (adet), şapka çapları (cm), sap uzunlukları (cm) ve sap çapları (mm) belirlenmiştir. Ayrıca mantarların dijital Minolta marka renk ölçüm cihazı ile renkleri (L, a, b), protein miktarları (%) (Bilgiri ve Boztok, 1983) ve ICP-MS cihazı kullanılarak mineral madde miktarları (mg/kg veya µg/kg) (Julshamn vd., 2007) tespit edilmiştir.

Deneme 5 tekrarlamalı olarak Tesadüf Parsellerinde deneme desenine göre yürütülmüştür. Verilerin istatistiksel analizinde SPSS (ver. 17.0) programı kullanılmış olup, farklılık gösteren uygulamalar arasındaki gruplandırmalar da "Duncan Çoklu Karşılaştırma" testine göre yapılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Denemede Ele Alınan Materyallerin Başlangıçtaki ve Yetiştirme Ortamlarının Sterilizasyon Sonrası Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Soya küspesi ve ayçiçek küspesinin EC değerleri diğer katkı materyallerine göre çok önemli düzeyde yüksek bulunmuştur. Denemede ele alınan materyallerin başlangıçtaki organik madde (OM) miktarları arasında istatistiksel olarak $p < 0.01$ düzeyinde (çok önemli) fark bulunmuş ve OM içeriklerinin %92.30-98.95 arasında değiştiği saptanmıştır. Ana materyal olarak kullanılan kavak talaşının N miktarının düşük, buna karşılık C miktarının yüksek olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla C/N oranı diğer materyallere göre çok önemli düzeyde yüksek bulunmuştur. Katkı materyali olarak ele aldığımız materyaller içinde soya küspesi ve ayçiçek küspesinin N değerlerinin diğer katkı materyallerinden yüksek olduğu, bu nedenle C/N oranlarının düşük olduğu saptanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Denemede Ele Alınan Kavak Talaşı ve Katkı Materyallerinin Başlangıçtaki Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

| | Nem (%) | EC(dS/m) | pH | OM (%) | Kül (%) | C (%) | N (%) | C/N (%) |
|-----------|---------|-----------|-------|--------|---------|--------|-------|---------|
| KT | 12.10a | 0.14d | 6.22a | 98.95a | 1.06f | 49.47a | 0.18e | 275.72a |
| AÇK | 8.54e | 2.18a | 5.83b | 93.82e | 6.18b | 46.91e | 6.96b | 6.74b |
| BK | 11.67b | 1.55b | 5.94b | 95.10c | 4.91d | 47.55c | 2.31c | 20.58b |
| ÇA | 4.68f | 1.75b | 4.50e | 96.95b | 3.06e | 48.47b | 1.53d | 31.79b |
| MK | 4.14g | 1.18c | 4.85d | 96.76b | 3.25e | 48.38b | 1.72d | 28.25b |
| PK | 10.83c | 1.16c | 5.37c | 92.30f | 7.70a | 46.15f | 2.26c | 20.42b |
| SK | 9.08d | 2.15a | 6.22a | 94.35d | 5.66c | 47.17d | 7.91a | 5.96b |
| Önemlilik | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** |

KT: Kavak talaşı, AÇK: Ayçiçek küspesi, BK: Buğday kepeği, ÇA: Çay atığı, MK: Mısır koçanı, PK: Pirinç kepeği, SK: Soya küspesi, **: $p < 0.01$ düzeyinde önemli

Yetiştirme ortamlarının nem içerikleri %69.19-78.89 aralığında bulunmuştur. Nem miktarları bakımından katkı materyalleri (KM) ve farklı oranda kullanılan değişik katkı materyalleri ile hazırlanan yetiştirme ortamları (katkı materyalleri x doz interaksyonu) arasında istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli fark bulunurken, dozlar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmamıştır. Yetiştirme ortamları karşılaştırıldığında; 80KT+20ÇA ortamının nem içeriği diğer ortamlardan daha düşük bulunmuştur (Tablo 3). Bu diğer katkı materyallerine göre ÇA materyalinin su tutma kapasitesinin düşük olması (Tablo 2) ile ilgili olup, ortamdaki ÇA miktarı arttığında ortamın nem içeriği azalmıştır.

Tablo 3. Farklı Oranda Kullanılan Değişik Katkı Materyalleri ile Hazırlanan Yetiştirme Ortamlarının Sterilizasyon Sonunda Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

| | Nem (%) | EC (dS/m) | pH | C (%) | N (%) | C/N (%) |
|------------|---------|-----------|---------|--------|--------|----------|
| AÇK | 76.22a | 0.78ab | 5.73c | 48.56c | 1.37a | 40.67c |
| BK | 77.37a | 0.83a | 5.65cd | 48.55c | 0.74c | 70.39b |
| ÇA | 72.59b | 0.63c | 5.86b | 48.81b | 0.59d | 86.95b |
| MK | 75.64ab | 0.69bc | 5.85b | 48.95a | 0.20e | 251.18a |
| PK | 75.33ab | 0.70bc | 5.56d | 48.17d | 0.61d | 87.82b |
| SK | 76.97a | 0.81a | 6.08a | 48.21d | 1.19b | 41.76c |
| %10 | 76.14 | 0.61b | 5.93a | 48.70a | 0.58b | 118.25a |
| %20 | 75.23 | 0.86a | 5.65b | 48.38b | 0.98a | 74.67b |
| 90KT+10AÇK | 75.62ab | 0.63f | 5.93bc | 48.73b | 0.88de | 55.38fg |
| 90KT+10BK | 75.86ab | 0.67ef | 5.94bc | 48.65b | 0.56g | 87.84de |
| 90KT+10ÇA | 75.99ab | 0.51g | 6.00b | 48.90a | 0.47gh | 105.16cd |
| 90KT+10MK | 77.49ab | 0.59fg | 5.93bc | 48.99a | 0.17i | 297.18a |
| 90KT+10PK | 75.47ab | 0.52g | 5.86bcd | 48.49c | 0.42h | 115.44c |
| 90KT+10SK | 76.44ab | 0.77de | 5.93bc | 48.45c | 1.00c | 48.49fgh |
| 80KT+20AÇK | 76.82ab | 0.93ab | 5.54e | 48.39c | 1.87a | 25.97h |
| 80KT+20BK | 78.89a | 0.98a | 5.36f | 48.44c | 0.92cd | 52.94fg |
| 80KT+20ÇA | 69.19b | 0.75cd | 5.72d | 48.72b | 0.71f | 68.74ef |
| 80KT+20MK | 73.80ab | 0.80cd | 5.78cd | 48.90a | 0.24i | 205.17b |
| 80KT+20PK | 75.19ab | 0.89abc | 5.27f | 47.86e | 0.80ef | 60.20fg |
| 80KT+20SK | 77.49ab | 0.85bcd | 6.24a | 47.98d | 1.37b | 35.02gh |
| KM | * | ** | ** | ** | ** | ** |
| D | öd | ** | ** | ** | ** | ** |
| KM x D | * | * | ** | ** | ** | ** |

KM: Katkı maddeleri, D: Doz, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$ düzeyinde önemli, öd: önemli değil

Farklı oranda kullanılan değişik katkı materyalleri ile hazırlanan yetiştirme ortamlarının EC değerleri arasında istatistiksel olarak önemli fark bulunmuş ve EC değerlerinin 0.51 (90KT+10ÇA)-0.98 (80KT+20BK) dS/m aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Katkı materyallerinin EC değerlerinin ise 0.63-0.83 dS/m aralığında değiştiği belirlenmiştir. Yetiştirme ortamlarının EC değerleri, başlangıç materyallerinin EC değerlerinden daha düşük bulunmuştur (Tablo 2). Bunun nedeni KT'nın EC

değerinin düşük olması ve yüksek EC değerine sahip katkı materyallerinin yetiştirme ortamlarına %10 ve 20 oranında ilave edilmiş olmasıdır. Katkı materyallerinin yetiştirme ortamlarındaki miktarı arttıkça EC değerleri de artmıştır (Tablo 3).

Katkı materyallerinin, dozun ve KM x D interaksiyonunun pH değerlerine etkisi çok önemli ($p < 0.01$) bulunmuştur. Katkı materyallerinin ortamlara ilave edilme miktarı (doz) artığında 80KT+20SK ortamının pH değeri dışında diğer ortamlarda pH değeri azalmıştır. En yüksek pH değeri 6.24 ile 80KT+20SK ortamında, en düşük pH değeri 5.27 ile 80KT+20PK ortamında tespit edilmiştir (Tablo 3). Denemede yetiştirme ortamlarından elde edilen 5.27 ile 6.24 arasında değişen pH değerleri, Chang ve Miles (2004)'in bildirmiş olduğu ve *F. velutipes* mantarının optimum misel gelişimi için gerekli olan 4-8 pH değerleri aralığındadır.

Sterilizasyon sonrası katkı materyallerinin, bunların farklı oranlarda yetiştirme ortamına ilavelerinin yani dozlarının ve interaksiyonlara ait C değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak %1 düzeyinde çok önemli bulunmuştur. En düşük C değeri %47.86 ile başlangıçta materyaller arasında en düşük C değerine sahip PK (%46.15) materyalinin %20 oranında kullanıldığı 80KT+20PK ortamından elde edilmiştir. En yüksek C miktarı aralarında istatistiksel olarak fark bulunmayan 90KT+10MK, 90KT+10ÇA ve 80KT+20MK ortamlarında (sırasıyla %48.99, 48.90 ve 48.90) tespit edilmiştir (Tablo 3).

Yetiştirme ortamlarının N miktarları; hazırlandıkları katkı materyalleri ve bu katkı materyallerinin miktarına bağlı olarak değişmiştir. En düşük N miktarı 90KT+10 MK ve 90KT+20MK (sırasıyla %0.17 ve 0.24) ortamlarında, en yüksek ise 80KT+20AÇK ve 80KT+20SK (sırasıyla %1.87 ve 1.37) ortamlarında belirlenmiştir (Tablo 3). Bu katkı materyallerinin başlangıçtaki N miktarları ile ilgili olup, başlangıçta yüksek N içeriğine sahip materyallerin (Tablo 2) yetiştirme ortamına ilave edilmesi ortamların N miktarlarının artmasına neden olmuştur. Yetiştirme ortamına ilave edilen katkı materyallerinin miktarı arttıkça ortamların N değeri de artmıştır (Tablo 3). *Flammulina velutipes* mantarı yetiştiriciliği üzerine yapılan çalışmalarda; Rezaeian ve Pourianfar (2017) kompostların N değerlerinin 0.81-1.68, Sangkaew ve Koh (2017) %0.3-3.3 ve Okuyucu (2021) ise %0.55-1.27 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Çalışmada yetiştirme ortamlarından elde edilen N miktarları (%0.17-1.87) bu araştırmacıların bildirdiği aralıkta bulunmuştur (Tablo 3).

Katkı materyallerinin, dozun ve KM x D interaksiyonunun C/N oranına etkisi istatistiksel olarak çok önemli ($p < 0.01$) bulunmuştur. Çalışmada farklı oranlarda katkı maddesi eklenerek hazırlanan yetiştirme ortamlarının sterilizasyon sonrası en yüksek C/N oranı (%297.18 ve 205.17), yetiştirme ortamları içerisinde en düşük N içeriğine sahip MK katkı materyalinin kullanıldığı ortamlarda tespit edilmiştir. En düşük C/N oranı, 80KT+20AÇK (%25.87) ortamında bulunmuştur (Tablo 3). Rezaeian ve Pourianfar (2017) *F. velutipes* mantarı ile ilgili yapmış oldukları çalışmada, yetiştirme ortamlarının C/N oranının %27.25-62.16 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Ayrıca Xie vd. (2017) ve Sangkaew ve Koh (2017) *F. velutipes* yetiştiriciliği üzerine yaptıkları çalışmalarda kompostların C/N oranlarının sırasıyla %14.6-132.7 ile %25-78 aralığında olduğunu bildirmişlerdir. MK katkı materyali ile hazırlanan ortamların C/N oranlarının bu araştırmacıların bildirdikleri C/N oranlarında çok yüksek olmasına rağmen, *F. velutipes* mantarının parçalama yeteneğine bağlı olarak bu ortamlarda misel gelişimi ve verim konusunda sorun yaşanmamıştır. Leifa vd. (2001) yapmış oldukları çalışmada *F. velutipes* mantarının selüloz, hemiselüloz ve lignin içeren lignoselülozik materyalleri parçalayabilme yeteneklerinin yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Katkı materyallerinin, dozun ve KM x D interaksiyonunun sterilizasyon sonunda yetiştirme ortamlarının K miktarlarına etkileri istatistiksel olarak çok önemli ($p < 0.01$) bulunmuştur. Katkı materyallerinin K değerlerinin 3239.98-5067.52 mg/kg aralığında değiştiği belirlenmiştir. Katkı materyallerinin yetiştirme ortamına ilave edilme miktarları (doz) arttıkça K değeri de artmıştır. En düşük K değeri 90KT+10MK (2359.53 mg/kg), en yüksek ise 80KT+20SK ortamından (6636.94 mg/kg) elde edilmiştir (Tablo 4).

Yetiştirme ortamlarının P değerleri arasında istatistiksel olarak %1 düzeyinde fark bulunmuştur. P değeri üzerine katkı materyallerinin yetiştirme ortamına ilave edilme miktarlarının (dozun) etkisi

istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. İnteraksiyonun etkisi ise %5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Yetiştirme ortamları arasında en düşük P miktarı 80KT+20ÇA (630.50 mg/kg) ortamından, en yüksek P değeri ise 80KT+20PK (1389.50 mg/kg) ortamından elde edilmiştir (Tablo 4). Yılmaz (2002) yetiştirme ortamı içerisindeki magnezyum ve fosfat gibi minerallerin *F. velutipes* misel gelişimi ve primordium oluşumunda etkili olduğunu bildirmiştir. Özellikle mantar misel gelişimi için fosfor mineralinin elzem olduğunu belirtmiştir.

Tablo 4. Farklı Oranda Kullanılan Değişik Katkı Materyalleri ile Hazırlanan Yetiştirme Ortamlarının Sterilizasyon Sonrasındaki K, P, Ca, Mg, Na ve Mn Miktarları

| | K (mg/kg) | P (mg/kg) | Ca (mg/kg) | Mg (mg/kg) | Na (mg/kg) | Mn (mg/kg) |
|------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| AÇK | 4372.30b | 904.75b | 7331.20b | 1559.28b | 553.57c | 13.58d |
| BK | 3966.52c | 805.00b | 7349.00b | 1248.64c | 667.63bc | 36.71c |
| ÇA | 3558.13d | 681.75b | 6628.88c | 469.50e | 160.03d | 192.01a |
| MK | 3239.98e | 759.25b | 6033.16c | 477.86e | 182.33d | 6.54d |
| PK | 5067.52a | 1116.00a | 8183.09a | 2234.51a | 785.67b | 52.64b |
| SK | 4963.99a | 748.75b | 8072.52a | 906.14d | 1146.09a | 52.60b |
| %10 | 3019.99b | 781.50 | 6585.90b | 816.72b | 312.29b | 41.98b |
| %20 | 5369.49a | 890.33 | 7946.71a | 1481.92a | 852.82a | 76.05a |
| 90KT+10AÇK | 3372.62f | 871.50b | 6694.50def | 1079.58f | 170.13d | 9.79g |
| 90KT+10BK | 2987.49g | 829.50b | 6684.53def | 908.19g | 243.22d | 24.63ef |
| 90KT+10ÇA | 2551.57h | 733.00b | 6015.11f | 384.93j | 151.20d | 128.62b |
| 90KT+10MK | 2359.53h | 676.00b | 5882.31f | 411.30j | 169.78d | 6.33g |
| 90KT+10PK | 3557.67f | 842.50b | 6956.21de | 1461.70d | 225.18d | 32.02e |
| 90KT+10SK | 3291.05f | 736.50b | 7282.75cd | 654.34h | 914.23c | 50.49d |
| 80KT+20AÇK | 5371.98b | 938.00b | 7967.91c | 2038.98b | 937.01c | 17.37fg |
| 80KT+20BK | 4945.56c | 780.50b | 8013.46bc | 1589.08c | 1092.04bc | 48.79d |
| 80KT+20ÇA | 4564.68d | 630.50b | 7242.64cd | 554.08i | 168.87d | 255.41a |
| 80KT+20MK | 4120.43e | 842.50b | 6184.02ef | 544.42i | 194.88d | 6.75g |
| 80KT+20PK | 6577.37a | 1389.50a | 9409.97a | 3007.05a | 1346.15ab | 73.27c |
| 80KT+20SK | 6636.94a | 761.00b | 8862.30ab | 1157.93e | 1377.95a | 54.70d |
| KM | ** | ** | ** | ** | ** | ** |
| D | ** | öd | ** | ** | ** | ** |
| KM x D | ** | * | ** | ** | ** | ** |

KM: Katkı maddeleri, D: Doz, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$ düzeyinde önemli, öd: önemli değil

Yetiştirme ortamlarının sterilizasyon sonunda Ca, Mg, Na ve Mn içerikleri üzerine katkı materyallerinin, yetiştirme ortamına farklı miktarda ilave edilme miktarlarının yani dozun ve KM x D interaksiyonunun etkileri istatistiksel olarak çok önemli bulunmuştur. Yetiştirme ortamına ilave edilen katkı materyali miktarı arttıkça, yetiştirme ortamlarının mineral madde miktarları da artmıştır (Tablo 4). En düşük Ca değeri 90KT+10MK ortamından (5882.31 mg/kg), en yüksek Ca değeri ise 80KT+20PK (9409.97 mg/kg) ortamından elde edilmiştir. Ortamların Mg değerleri incelendiğinde %10 ÇA materyalinin kullanıldığı ortamda diğer ortamlara göre daha düşük Mg miktarı tespit edilmiştir. Ayrıca ortamların Na değerleri 151.20-1377.95 mg/kg aralığında, Mn değerleri 6.33-255.41 mg/kg aralığında bulunmuştur (Tablo 4).

Katkı materyalleri ve KM x D interaksiyonunun sterilizasyon sonrası yetiştirme ortamlarının Fe değerleri üzerine etkisi istatistiksel olarak çok önemli ($p < 0.01$) ve katkı materyallerinin yetiştirme ortamı içerisine katılma oranlarının etkisi ise önemli ($p < 0.05$) bulunmuştur. Katkı materyallerinin ilave edilme oranı %10'dan %20'ye arttığında yetiştirme ortamlarının Fe içerikleri de artmıştır. Yetiştirme ortamları arasında en yüksek Fe değeri, 80KT+20SK ortamından (4335.34 mg/kg) elde edilmiştir (Tablo 5).

Katkı materyallerinin yetiştirme ortamına ilave edilme miktarları arttıkça ortamların Cu miktarları da önemli ölçüde artmıştır. İnteraksiyon ortamları incelendiğinde; en yüksek Cu miktarı 80KT+20AÇK ortamında (15.31 mg/kg) tespit edilmiş, bunu aralarında istatistiksel anlamda fark olmayan 80KT+20SK,

80KT+20PK ve 80KT+20BK ortamları takip etmiştir. En düşük Cu miktarı ise 90KT+10MK ortamında (2.36 mg/kg) tespit edilmiştir (Tablo 5).

ÇA katkı materyali dışında diğer katkı materyallerinin yetiştirme ortamı içerisindeki miktarları %10'dan %20'ye artırıldığında yetiştirme ortamlarının Zn içerikleri artmıştır. Yetiştirme ortamlarının Zn değerlerinin 14.28 ile 33.72 mg/kg arasında değiştiği saptanmıştır (Tablo 5).

Tablo 5. Farklı Oranda Kullanılan Değişik Katkı Materyalleri ile Hazırlanan Yetiştirme Ortamlarının Sterilizasyon Sonrasındaki Fe, Cu, Zn, As, Cd, Hg ve Pb Miktarları

| | Fe (mg/kg) | Cu (mg/kg) | Zn (mg/kg) | As (mg/kg) | Cd (µg/kg) | Hg (µg/kg) | Pb (µg/kg) |
|------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| AÇK | 61.64b | 10.61a | 23.65ab | 685.64c | 174.66 | 1.41bc | 171.69b |
| BK | 74.56b | 6.84b | 26.26a | 716.96c | 148.45 | 1.43bc | 208.80b |
| ÇA | 61.08b | 4.53c | 14.49c | 762.19c | 187.53 | 1.47bc | 213.24b |
| MK | 30.24b | 2.48d | 20.14b | 687.64c | 162.28 | 0.59c | 110.12b |
| PK | 82.74b | 6.81b | 22.40ab | 1157.55b | 161.27 | 2.79a | 273.96b |
| SK | 3181.35a | 10.19a | 19.31bc | 1552.25a | 171.66 | 2.02ab | 821.53a |
| %10 | 345.55b | 4.27b | 16.79b | 859.26b | 166.41 | 1.23b | 235.69b |
| %20 | 788.32a | 9.54a | 25.29a | 994.82a | 168.88 | 2.01a | 364.09a |
| 90KT+10AÇK | 41.05c | 5.91d | 17.55cd | 724.91c | 157.15 | 1.06bcd | 117.51e |
| 90KT+10BK | 51.78c | 3.36e | 18.80cd | 664.85c | 145.38 | 0.93bcd | 118.15e |
| 90KT+10ÇA | 47.43c | 3.23e | 14.70d | 691.71c | 197.63 | 1.35bcd | 184.55de |
| 90KT+10MK | 29.22c | 2.36e | 17.22cd | 703.16c | 162.21 | 0.48d | 111.47e |
| 90KT+10PK | 56.47c | 2.82e | 14.96d | 936.52c | 148.86 | 1.34bcd | 141.63de |
| 90KT+10SK | 2027.37b | 7.97c | 17.54cd | 1434.43ab | 187.22 | 2.23b | 740.82b |
| 80KT+20AÇK | 82.23c | 15.31a | 29.76ab | 646.38c | 192.17 | 1.77bcd | 225.87de |
| 80KT+20BK | 97.34c | 10.32b | 33.72a | 769.07c | 151.52 | 1.93bc | 299.44cd |
| 80KT+20ÇA | 74.72c | 5.83d | 14.28d | 832.68c | 177.42 | 1.59bcd | 241.94de |
| 80KT+20MK | 31.26c | 2.59e | 23.07bc | 672.13c | 162.35 | 0.71cd | 108.77e |
| 80KT+20PK | 109.02c | 10.79b | 29.84ab | 1378.59b | 173.68 | 4.24a | 406.29c |
| 80KT+20SK | 4335.34a | 12.41b | 21.09cd | 1670.08a | 156.10 | 1.82bcd | 902.24a |
| KM | ** | ** | ** | ** | öd | ** | ** |
| D | * | ** | ** | * | öd | ** | ** |
| KM x D | ** | ** | ** | * | öd | * | * |

KM: Katkı maddeleri, D: Doz, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$ düzeyinde önemli, öd: önemli değil

Lee vd. (2009) *H. marmoreus*, *F. velutipes*, ve *P. eryngii* mantarlarının mineral içeriklerinin ve veriminin, kompost ile olan ilişkisini ortaya koydukları araştırmada; kullanılan yetiştirme ortamının K değerini 13465.1 mg/kg, Ca değerini 19647.4 mg/kg, Mg değerini 5417.8 mg/kg, Na değerini 5638 mg/kg, Mn değerini 154.1 mg/kg ve Fe değerini 410.5 mg/kg olarak tespit etmişlerdir. Okuyucu (2021), *F. velutipes* mantarının misel gelişimi ve mantar oluşumu için yetiştirme ortamlarının mineral madde (K, P, Mg, Mn, Fe, Se, Zn, Cu ve Mo) bakımından zengin olması gerekli olduğunu bildirmiştir. Araştırmacı yaptığı çalışmada farklı yetiştirme ortamlarının K içeriklerini 217.32-338.54 mg/kg, Mg içeriklerini 34.16-124.25 mg/kg, Mn içeriklerini 1.99-12.04 mg/kg, Ca içeriklerini 150.21-197.97 mg/kg ve Zn içeriklerini ise 0.17-1.38 mg/kg olarak tespit etmiştir. Sterilizasyon sonunda yetiştirme ortamlarının mineral madde miktarları Okuyucu (2021)'nin bildirmiş olduğu mineral madde miktarlarından daha yüksek bulunmuştur. Bunun nedeninin kullanılan ana materyalin, katkı materyallerinin ve yetiştirme ortamlarının ilave edilme miktarlarının farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

As değeri üzerine dozun etkisi istatistiksel olarak %5, katkı materyallerinin ve KM x D interaksiyonunun etkisi ise %1 düzeyinde önemli bulunmuştur. SK katkı materyali ile hazırlanan ortamların As miktarı diğer katkı materyalleri ile hazırlanan ortamlara göre daha yüksek bulunmuştur. En yüksek As (1670.08 mg/kg) değeri kavak talaşına %20 oranında SK ilave edilmesi ile hazırlanan yetiştirme ortamından elde edilmiştir. Bu ortamları 90KT+10SK ve 80KT+20PK ortamları izlemiştir. Diğer ortamlar aynı istatistiksel grup içinde yer almıştır (Tablo 5).

Yetiştirme ortamlarının sterilizasyon sonrasında Cd değeri üzerine katkı materyalleri, doz ve bunların etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Yetiştirme ortamlarının Cd değerleri, 145.38-197.63 µg/kg aralığında değişmiştir (Tablo 5).

Yetiştirme ortamlarının Hg ve Pb değerleri incelendiğinde; KM x D etkisi istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli, katkı materyallerinin ve ilave edilme miktarlarının etkisi %1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Hg değeri en düşük 90KT+10AÇK (0.48 µg/kg) ortamında, en yüksek 80KT+20PK (4.24 µg/kg) ortamında tespit edilmiştir. En düşük Pb değeri 108.77 µg/kg ile 80KT+20MK ortamından, en yüksek ise 902.24 µg/kg ile 80KT+20SK ortamından elde edilmiştir (Tablo 5).

Farklı Oranda Kullanılan Değişik Katkı Materyalleri ile Hazırlanan Yetiştirme Ortamlarının *Flammulina velutipes* (Enoki) Mantarının Verim ve Biyolojik Etkinlik (BE) Üzerine Etkisi

Mantar verimi ve BE değerleri üzerine katkı materyallerinin ve KM x D etkisi istatistiksel olarak %1 düzeyinde çok önemli bulunmuştur. Katkı materyallerinin yetiştirme ortamına ilave edilme miktarlarının (dozun) verim üzerine etkisi ise istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Tablo 6).

Tablo 6. Farklı Oranda Kullanılan Değişik Katkı Materyalleri ile Hazırlanan Yetiştirme Ortamlarının *Flammulina velutipes* (Enoki) Mantarının Verim ve Biyolojik Etkinlik (BE) Değeri Üzerine Etkisi

| | Verim (g/şişe) | BE (%) |
|------------|----------------|---------|
| AÇK | 25.71d | 11.36d |
| BK | 83.95a | 37.78a |
| ÇA | 37.27c | 16.60c |
| MK | 58.10b | 26.08b |
| PK | 84.92a | 37.28a |
| SK | 0.00e | 0.00e |
| %10 | 50.71 | 22.52 |
| %20 | 45.95 | 20.52 |
| 90KT+10AÇK | 51.42cd | 22.73cd |
| 90KT+10BK | 78.30ab | 35.56ab |
| 90KT+10ÇA | 37.70d | 16.68d |
| 90KT+10MK | 56.13c | 25.10c |
| 90KT+10PK | 80.72ab | 35.06ab |
| 90KT+10SK | 0.00e | 0.00e |
| 80KT+20AÇK | 0.00e | 0.00e |
| 80KT+20BK | 89.60a | 40.03a |
| 80KT+20ÇA | 36.83d | 16.51d |
| 80KT+20MK | 60.06bc | 27.07bc |
| 80KT+20PK | 89.12a | 39.49a |
| 80KT+20SK | 0.00e | 0.00e |
| KM | ** | ** |
| Doz | öd | öd |
| KM x D | ** | ** |

KM: Katkı maddeleri, D: Doz, **: $p < 0.01$ düzeyinde önemli, öd: önemli değil

Katkı materyalleri arasında en yüksek verim ve BE oranı, PK ve BK materyallerinden (sırasıyla 84.92 g/şişe ve %37.28 ile 83.95 g/şişe ve %37.78) elde edilmiştir. Verim alınan yetiştirme ortamları arasında en yüksek verim ve BE değeri sırasıyla 89.60 g/şişe ve %40.03 ile 80KT+20BK ortamından elde edilmiştir. Bunu verim ve BE bakımından aralarında istatistiksel olarak fark bulunmayan 80KT+20PK ortamı (sırasıyla 89.12 g/şişe ve %39.49 BE) takip etmiştir. Buğday kepeği, mısır koçanı ve pirinç kepeğinin katkı materyalleri olarak kullanıldığı ortamlarda doz arttıkça mantar verimi ve BE değerleri de artmıştır. ÇA materyalinin kullanıldığı ortamlarda ise doz arttıkça mantar verimi 37.70 g/şişe'den 36.83 g/şişe'ye azalmıştır. AÇK materyalinde ilave oranı %10'dan %20'ye yükseldiğinde verim elde edilememiştir. SK materyalinin %10 ve 20 oranında kavak talaşına ilave edilerek hazırlanan ortamlardan ise verim alınamamıştır (Tablo 6).

Verim elde edilmeyen bu ortamların (80KT+20AÇK, 80KT+20SK ve 90KT+10SK) N miktarları (sırasıyla %1.87, 1.37 ve 1.00) yüksek ve C/N oranları (sırasıyla %25.97, 35.02 ve 48.49) düşük bulunmuştur (Tablo 3). SK ve AÇK katkı materyallerinin kullanıldığı ortamlardan verim elde edilememesinin nedeninin, bu ortamların N içeriklerinin %1 ve üzeri olmalarından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Yetiştirme ortamlarının belirlenen özellikleri ile verim ve BE değeri arasında yapılan korelasyon analizi sonucunda; yetiştirme ortamlarının N içerikleri ile verim ve BE arasındaki ilişki önemli ve negatif bulunmuştur (sırasıyla -0.610^* ve -0.611^*) (Tablo 7). Yapılan çalışmalarda da yetiştirme ortamlarının N içeriklerinin yüksek olmasının verim ve BE değeri üzerine olumsuz etkileri olduğu bildirilmiştir (Doğan ve Pekşen, 2003; Özçelik ve Pekşen, 2007).

Korelasyon analizi sonucu C/N oranı ile N ve C miktarları arasında sırasıyla çok önemli (-0.763^{**}) ve önemli (0.639^*) ilişki bulunmuştur (Tablo 7). Birçok araştırmacı tarafından yapılan çalışmada da misel gelişimi ve mantar veriminin yetiştirme ortamının C/N oranına bağlı olduğu bildirilmiştir (Naraian vd., 2009; Yang vd., 2013). *Flammulina velutipes* yetiştiriciliğinde yetiştirme ortamında ideal C/N oranının %30 olduğu bildirilmiştir (Shi vd., 2012; Xie vd., 2017). Bununla birlikte bu çalışmada C/N oranı %50'den küçük olan 80KT+20AÇK (%25.97) ve 80KT+20SK (%35.02) ve 90KT+10SK (%48.49) ortamlarından verim elde edilememiştir. En yüksek verim %52.94 C/N oranına sahip 80KT+20BK ortamından (89.60 g/şişe) elde edilmiştir (Tablo 6). Çalışmada kullanılan tür ve ırk farklı olması nedeniyle ideal C/N oranında farklılık oluştuğu düşünülmektedir.

Song vd. (1993) yapmış oldukları çalışmada *F. velutipes* mantarının verim değerlerinin 40.03-129.38 g/şişe arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Çalışmada %10 ve 20 ÇA katkı materyali kullanılarak hazırlanan yetiştirme ortamlarından elde edilen verim değerleri, Song vd. (1993)'nin bildirmiş olduğu verim değerlerinden düşük, diğer ortamlardan elde edilen verim değerleri ise benzer bulunmuştur. Çalışmada elde edilen verim değerleri; *F. velutipes* için verim değerinin 52.8-98.8 g/şişe arasında değiştiğini bildiren Nakaya (1998)'nin ve 19.57-87.92 g/şişe arasında değiştiğini bildiren Okuyucu (2021)'nin değerleri ile uyumludur. Buna karşılık çalışmadan elde edilen verim değerleri, *F. velutipes* mantarının verim değerlerinin 96.7-143.4 g/şişe aralığında değiştiğini bildiren Jung vd. (2009)'nin verim değerlerinden düşük olduğu saptanmıştır.

Ji vd. (2001) *F. velutipes* üretiminde en yüksek BE değerini (%73), %88 mısır koçanı + %5 buğday kepeği + %5 mısır unu + %1 sakkaroz karışımından hazırlanan yetiştirme ortamından elde etmişlerdir. Farklı araştırmacılar tarafından yapılan *F. velutipes* çalışmalarında BE değerlerinin %56-78 (Leifa vd., 2001), %75-110 (Jung vd., 2009), %29.34-64.74 (Miao vd., 2014), %74.41-185.09 (Harith vd., 2014), %53.1-119.7 (Xie vd., 2017), %72.35-129.60 (Sangkaew ve Koh, 2017), %64.49-264.7 (Rezaeian ve Pourianfar, 2017), %39.3-80.3 (Liao vd., 2019), %99.62-108.74 (Zhang vd., 2019) ve %14.41-61.31 (Okuyucu, 2021) aralıklarında değiştiği bildirilmiştir.

Verim ve BE değerleri; mantar türüne, ırkına/çeşidine, mantar yetiştiriciliğinde kullanılan materyallere, yetiştirme ortamlarının besin içeriğine, EC ve pH değerlerine, C/N oranlarına, sterilizasyon yöntemine, nem ışık sıcaklık ve havalandırma gibi çevresel faktörlere ve hasada bağlıdır (Chang ve Miles, 2004). Girmay vd. (2016) farklı mantar üretiminde farklı yetiştirme ortamlarının kullanımının hem BE değerinde hem de verim değerinde değişikliklere neden olduğunu bildirmişlerdir.

Tablo 7. Yetiştirme Ortamı Özellikleri ile Verim ve BE Oranı Arasındaki İlişkiler

| | EC | pH | OM | C | N | C/N | K | P | Ca | Mg | Na | Mn | Fe | Cu | Zn | As | Cd | Hg | Pb | Verim | BE |
|-------|-------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|--------|----------|---------|---------|---------|
| Nem | 0.156 | 0.041 | -0.223 | -0.228 | 0.250 | -0.005 | 0.005 | 0.087 | 0.146 | 0.215 | 0.440 | -0.712** | 0.263 | 0.301 | 0.429 | 0.132 | -0.183 | 0.017 | 0.237 | -0.005 | -0.006 |
| EC | - | -0.593* | -0.592* | -0.595* | 0.632* | -0.453 | 0.783** | 0.353 | 0.732** | 0.546 | 0.780** | -0.036 | 0.244 | 0.805** | 0.858** | 0.296 | 0.051 | 0.523 | 0.422 | -0.129 | -0.122 |
| pH | - | - | 0.307 | 0.307 | -0.156 | 0.188 | -0.416 | -0.608* | -0.447 | -0.703* | -0.355 | -0.072 | 0.530 | -0.386 | -0.753** | 0.155 | -0.111 | -0.590* | 0.234 | 0.465 | -0.465 |
| OM | - | - | - | 1.000** | -0.601* | 0.639* | -0.854** | -0.632* | -0.966** | -0.793** | -0.894** | 0.021 | -0.521 | -0.758** | -0.517 | -0.775** | 0.042 | -0.827** | -0.679* | 0.084 | 0.090 |
| C | - | - | - | - | -0.601* | 0.639* | -0.854** | -0.629* | -0.966** | -0.791** | -0.897** | 0.025 | -0.523 | -0.758** | -0.520 | -0.775** | 0.047 | -0.825** | -0.681* | 0.083 | 0.089 |
| N | - | - | - | - | - | -0.763** | 0.615* | 0.186 | 0.654* | 0.472 | 0.673* | -0.036 | 0.431 | 0.928** | 0.475 | 0.326 | 0.309 | 0.383 | 0.512 | -0.610* | -0.611* |
| C/N | - | - | - | - | - | - | -0.535 | -0.256 | -0.661* | -0.469 | -0.553 | -0.254 | -0.324 | -0.692* | -0.291 | -0.388 | -0.187 | -0.547 | -0.475 | 0.293 | 0.296 |
| K | - | - | - | - | - | - | - | 0.537 | 0.925** | 0.712** | 0.817** | 0.117 | 0.428 | 0.800** | 0.644* | 0.568 | -0.009 | 0.684* | 0.535 | -0.118 | -0.121 |
| P | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.599* | 0.876** | 0.478 | -0.236 | -0.174 | 0.378 | 0.558 | 0.257 | 0.028 | 0.751** | 0.016 | 0.360 | 0.355 |
| Ca | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.804** | 0.911** | 0.093 | 0.444 | 0.837** | 0.626* | 0.685* | 0.001 | 0.837** | 0.630* | -0.078 | -0.082 |
| Mg | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.673* | -0.176 | -0.068 | 0.656* | 0.715** | 0.297 | -0.034 | 0.785** | 0.135 | 0.271 | 0.264 |
| Na | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | -0.109 | 0.571 | 0.862** | 0.701* | 0.718** | 0.085 | 0.755** | 0.756** | -0.216 | -0.217 |
| Mn | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | -0.029 | -0.024 | -0.308 | 0.076 | 0.397 | 0.215 | 0.089 | -0.124 | -0.124 |
| Fe | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.417 | -0.057 | 0.816** | -0.040 | 0.162 | 0.918** | -0.611* | -0.612* |
| Cu | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.693* | 0.443 | 0.263 | 0.604* | 0.569 | -0.425 | -0.426 |
| Zn | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.057 | -0.040 | 0.502 | 0.117 | 0.198 | 0.202 |
| As | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.030 | 0.624* | 0.919** | -0.330 | -0.337 |
| Cd | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.281 | 0.147 | -0.580* | -0.582* |
| Hg | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.481 | 0.070 | 0.063 |
| Pb | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | -0.565 | -0.567 |
| Verim | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1.000** |

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$ düzeyinde önemli

Farklı Oranda Kullanılan Değişik Katkı Materyalleri ile Hazırlanan Yetiştirme Ortamlarının *Flammulina velutipes* (Enoki) Mantarının Morfolojik Özellikleri Üzerine Etkisi

Değişik katkı materyallerinin farklı oranlarda ilavesi ile hazırlanan yetiştirme ortamlarının mantar özellikleri ve mantar içerikleri incelenirken mantar elde edilemeyen (80KT+20AÇK, 80KT+20SK ve 90KT+10SK) kombinasyonların değerleri yok kabul edilmiş ve buna göre istatistiksel analiz yapılmıştır. *F. velutipes* mantarının şapka çapı üzerine katkı materyalleri ve katkı materyallerinin ilave edilme dozlarının etkisi istatistiksel olarak çok önemli ($p < 0.01$), KM x D interaksiyonunun etkisi ise önemsiz bulunmuştur. Katkı materyallerinden BK ve PK katkı materyalleri ile hazırlanan ortamlarda şapka çaplarının diğer katkı materyalleri ile hazırlanan yetiştirme ortamlarından daha yüksek olduğu bulunmuştur. Katkı materyallerinin ortama ilave edilme oranı arttıkça PK materyali dışında şapka çapları azalmıştır. Farklı oranda kullanılan değişik katkı materyalleri ile hazırlanan yetiştirme ortamlarından elde edilen *F. velutipes* mantarlarında en düşük şapka çapı 2.29 cm ile 80KT+20ÇA ortamından, en yüksek ise 3.19 cm ile 90KT+10BK ortamından elde edilmiştir (Tablo 8).

Sap uzunluğu bakımından katkı materyalleri, doz ve bunların interaksiyonları incelendiğinde sırasıyla etkilerinin istatistiksel olarak çok önemli, önemli ve önemsiz olduğu tespit edilmiştir. Katkı materyallerinin etkisi şapka çapında olduğu gibi BK ve PK materyallerinde diğer katkı materyallerine göre istatistiksel olarak çok önemli düzeyde yüksek bulunmuştur. Ancak dozların etkisi şapka çapının tersine gerçekleşmiş, doz arttıkça sap uzunluğu da artmıştır. Farklı oranda değişik katkı materyali ilavesi ile hazırlanan ortamlardan elde edilen mantarların sap uzunlukları 9.65-16.25 cm arasında değişmiştir (Tablo 8). Denemede hasat edilen mantarların sap çaplarının 3.16-5.46 mm arasında değiştiği bulunmuştur. Sap çapı üzerine çalışmada ele alınan faktörlerden sadece katkı materyalleri arasında %5 düzeyinde önemli fark bulunmuştur (Tablo 8).

Tomomura (1978), *F. velutipes* mantarının 2-9 cm sap uzunluğuna ve 2-8 mm sap çapına sahip olduğunu bildirmiştir. Denemede elde edilen veriler ile Tomomura (1978)'nin verileri karşılaştırıldığında; sap uzunluğu daha yüksek, sap çapı ise benzer aralıkta bulunmuştur. Yine çalışmada elde edilen şapka çapı ve sap çapı değerleri, *F. velutipes* mantarının şapka çapı ve sap çapı değerlerinin sırasıyla 2-10 cm ve 4-8 mm arasında değiştiğini bildiren Kuo (2013)'nun değerleri ile benzer olduğu saptanmıştır. Miao vd. (2014) yapmış oldukları denemede *F. velutipes* mantarının şapka çapının ise 0.63-0.77 cm, sap uzunluğunun 12.34-14.09 cm ve sap çapının 2.9-4.6 mm arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Zhang vd. (2019)'ın yaptığı çalışmada da şapka çapı 6.7-8.2 cm, sap uzunluğu 14.57-19.92 cm ve sap çapı 2.5-3.7 mm olarak bulunmuştur. Çalışmalardan elde edilen değerler arasındaki bu değişiklikler; kullanılan tür, ırk/çeşit, kompost materyalleri ile yetiştirme koşullarındaki (ışık, sıcaklık ve özellikle ortamların CO₂ miktarları) farklılıktan kaynaklı olabilir.

Katkı materyali arasında şapka çapı ve sap uzunluğunda olduğu gibi en yüksek ortalama mantar sayısı, BK ve PK materyallerinin kullanıldığı ortamlardan elde edilmiştir. Dozlar karşılaştırıldığında %20 oranında materyal ilavesinin mantar sayısını artırdığı tespit edilmiştir. Ancak KM x D interaksyonu incelendiğinde BK materyalinde ilave edilen miktar arttığında mantar sayısının önemli derecede azaldığı görülmektedir. En yüksek mantar sayısı 101.20 adet ile 80KT+20BK ortamından, en düşük ise aralarında istatistiksel fark bulunmayan 28.00 adet ile 80KT+20ÇA ve 31.60 adet ile 90KT+10ÇA ortamlarından elde edilmiştir (Tablo 8).

Tablo 8. Farklı Oranda Kullanılan Değişik Katkı Materyalleri ile Hazırlanan Yetiştirme Ortamlarının *Flammulina velutipes* (Enoki) Mantarının Morfolojik Özellikleri Üzerine Etkisi

| | Şapka çapı (cm) | Sap uzunluğu (cm) | Sap çapı (mm) | Ort. mantar sayısı (adet) | Ort. mantar ağırlığı (g) | Renk L | a | b |
|------------|-----------------|-------------------|---------------|---------------------------|--------------------------|---------|-------|---------|
| AÇK | 2.50b | 12.97b | 3.80b | 56.50b | 0.92 | 70.46a | 1.88b | 30.36a |
| BK | 2.93a | 15.53a | 3.76b | 87.00a | 1.05 | 76.67a | 1.40b | 31.79a |
| ÇA | 2.42b | 9.66c | 3.60b | 29.80c | 1.32 | 51.64b | 2.05b | 18.94b |
| MK | 2.57b | 12.38b | 4.83a | 55.50b | 1.12 | 63.17ab | 4.38a | 25.12ab |
| PK | 2.67ab | 15.35a | 4.24ab | 80.70a | 1.14 | 62.67ab | 3.98a | 25.28ab |
| SK | _a | _a | _a | _a | _a | _a | _a | _a |
| %10 | 2.72a | 12.79b | 4.23 | 56.46b | 1.16 | 66.42 | 3.15a | 26.14 |
| %20 | 2.51b | 13.73a | 3.87 | 70.05a | 1.10 | 61.66 | 2.43b | 25.48 |
| 90KT+10AÇK | 2.50 | 12.97 | 3.80 | 56.50bc | 0.92 | 70.46ab | 1.88 | 30.36 |
| 90KT+10BK | 3.19 | 15.23 | 4.35 | 72.80b | 1.20 | 72.28ab | 2.05 | 27.91 |
| 90KT+10ÇA | 2.54 | 9.68 | 3.40 | 31.60d | 1.26 | 63.45ab | 2.78 | 23.79 |
| 90KT+10MK | 2.74 | 11.61 | 5.46 | 40.40cd | 1.39 | 67.81ab | 4.30 | 26.25 |
| 90KT+10PK | 2.65 | 14.44 | 4.14 | 81.00ab | 1.03 | 58.11b | 4.76 | 22.39 |
| 90KT+10SK | _a | _a | _a | _a | _a | _a | _a | _a |
| 80KT+20AÇK | _a | _a | _a | _a | _a | _a | _a | _a |
| 80KT+20BK | 2.66 | 15.84 | 3.16 | 101.20a | 0.90 | 81.05a | 0.75 | 35.67 |
| 80KT+20ÇA | 2.29 | 9.65 | 3.80 | 28.00d | 1.37 | 39.83c | 1.32 | 14.09 |
| 80KT+20MK | 2.40 | 13.17 | 4.20 | 70.60b | 0.86 | 58.52b | 4.47 | 23.98 |
| 80KT+20PK | 2.69 | 16.25 | 4.33 | 80.40ab | 1.26 | 67.22ab | 3.20 | 28.17 |
| 80KT+20SK | _a | _a | _a | _a | _a | _a | _a | _a |
| KM | ** | ** | * | ** | öd | ** | ** | ** |
| Doz | ** | * | öd | ** | öd | öd | ** | öd |
| KM x D | öd | öd | öd | ** | öd | ** | öd | öd |

-^a: mantar elde edilememiştir, KM: Katkı maddeleri, D: Doz, *: p<0.05, **: p<0.01 düzeyinde önemli, öd: önemli değil

Farklı oranda katkı materyallerinin eklenmesi ile hazırlanan yetiştirme ortamlarından elde edilen mantarların ağırlıklarının 0.86 (80KT+20MK) - 1.39 g (90KT+10MK) arasında değiştiği tespit edilmiştir. En yüksek ve en düşük mantar ağırlığı MK materyalinin farklı dozlarında saptanmıştır. Bu durum mantar sayısı ile açıklanabilir. En düşük mantar ağırlığının elde edildiği 80KT+20MK ortamında mantar

sayısı 70.60 adet iken, en yüksek mantar ağırlığının elde edildiği 90KT+10MK ortamından mantar sayısı 40.40 adet olarak bulunmuştur (Tablo 8).

Çalışmada elde edilen ortalama mantar ağırlığı ve sayısı Okuyucu (2021)'nin bildirmiş olduğu 3.55-4.84 g arasında değişen ortalama mantar ağırlığı değerlerinden düşük, buna karşılık 5.67-19.50 adet arasında değişen ortalama mantar sayılarından yüksek bulunmuştur.

Farklı Oranda Kullanılan Değişik Katkı Materyalleri ile Hazırlanan Yetiştirme Ortamlarının *Flammulina velutipes* (Enoki) Mantarının Rengi Üzerine Etkisi

Yetiştirme ortamlarından elde edilen mantarların parlaklığını ifade eden L değeri üzerine katkı materyallerinin ve KM x D interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak çok önemli ($p < 0.01$), dozların etkisi ise önemsiz bulunmuştur. Katkı materyalleri arasında ÇA materyalinden hazırlanan ortamlardan elde edilen mantarların L renk değerleri (51.64) diğer katkı materyallerine göre istatistiksel olarak çok önemli ($p < 0.01$) düzeyde düşük bulunmuştur. Mantarların L renk değerleri 39.83 (80KT+20ÇA) - 81.05 (80KT+20BK) arasında değişmiştir. ÇA katkı materyalinin kompost içerisindeki miktarı arttıkça L değeri neredeyse 2 katı azalmış ve L değeri 39.83 bulunmuştur (Tablo 8). Bu çay atığı materyalinin içerdiği maddelerle ilgili olabilir. ÇA katkı materyalinin %20 oranında kullanıldığı ortamlardan elde edilen mantarların rengi daha koyu iken, BK'nin %20 oranında kullanıldığı ortamlardan elde edilen mantarların renklerinin daha açık olduğu belirlenmiştir. Bu da yetiştirme ortamına ilave edilen katkı materyallerinin elde edilen mantarların rengini etkilediğini göstermektedir. Mantarların kırmızılık-yeşillik ifadesi olan a değeri ve sarılık-mavilik ifadesi olan b değeri üzerine katkı materyallerinin etkisi çok önemli ($p < 0.01$) bulunmuştur. Mantarların a renk değerleri üzerine dozların etkisi çok önemli iken, b renk değerleri üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur. Farklı oranda kullanılan değişik katkı materyalleri ile hazırlanan yetiştirme ortamlarından elde edilen mantarların hem a hem de b renk değerleri arasındaki istatistiksel fark ise önemli bulunmamıştır (Tablo 8).

Mantarların a renk değerleri 4.76 (90KT+10PK) -0.75 (80KT+20BK) aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Genel olarak MK ilave edilen ortamlardan elde edilen mantarların a renk değeri artarken, diğer ortamların a renk değeri azalmıştır. b renk değerlerinin ise 14.09-35.67 arasında değiştiği bulunmuştur. PK katkı materyalinin ortam içerisindeki miktarı arttıkça elde edilen mantarların b değeri artmıştır. Buna karşılık diğer katkı materyallerinin miktarı arttıkça bu ortamlardan elde edilen mantarların b renk değeri azalmıştır (Tablo 8). Woo vd. (2015), *F. velutipes* mantarının L değerlerinin 51.78-98.83, a renk değerlerinin -8.58-11.76 ve b renk değerlerinin ise 15.49-50.67 arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Kim vd. (2020) ise L değerlerinin 65.91-91.21, a renk değerlerinin -1.74-1.19 ve b renk değerlerinin ise 12.76-23.95 arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Farklı Oranda Kullanılan Değişik Katkı Materyalleri ile Hazırlanan Yetiştirme Ortamlarından Elde Edilen *Flammulina velutipes* (Enoki) Mantarının Protein ve Mineral Madde İçerikleri

Değişik katkı materyallerinin farklı oranlarda ilavesi ile hazırlanan yetiştirme ortamlarından elde edilen mantarın protein değeri üzerine katkı materyallerinin, dozun ve KM x D interaksiyonunun etkisi çok önemli bulunmuştur (Tablo 9). Katkı materyalleri arasında en yüksek protein içeriği AÇK ve BK materyallerinden elde edilmiştir. Bu durumun katkı materyallerinin N içerikleri ile ilgili olduğu görülmektedir (Tablo 3). Farklı oranda kullanılan değişik katkı materyalleri ile hazırlanan yetiştirme ortamlarından elde edilen mantarların protein değerlerinin %19.00-33.22 aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Sadece MK materyalinde yetiştirme ortamı içinde katkı materyallerinin miktarı arttıkça protein değeri kısmen azalmıştır. Diğer katkı materyallerinde ilave edilen miktar arttıkça protein içeriği de artmıştır (Tablo 9).

Leifa vd. (2001) *F. velutipes* mantarının protein değerlerinin %8.06-10.24, Mahfuz vd. (2017) ise %8.9-11.8 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Denemede her iki araştırmacının bulmuş olduğu protein değerlerinden daha yüksek protein (%19.0-33.22) protein değerleri elde edilmiştir. Ayrıca *F. velutipes* yetiştiriciliğinde elma posasının kullanımını araştıran Hiramori vd. (2017) mantarların protein değerlerinin %19.2-25.7 arasında olduğunu bildirmişlerdir. Okuyucu (2021) ise farklı yetiştirme ortamlarında yetiştirilen sarı ırk *F. velutipes* mantarlarının protein değerlerini %11.08-19.08 arasında

bulmuştur. Mantarların protein içerikleri; yetiştirilen mantar türüne, ırka/çeşide, analiz edilen mantarın gelişme aşamasına, kompostun fiziksel ve kimyasal özelliklerine, yetiştirme ortamının N içeriğine ve C/N oranına, analiz tekniğine ve analizde kullanılan mantar kısımlarına bağlı olarak değişebilmektedir (Turfan vd., 2018).

Tablo 9. Farklı Oranda Kullanılan Değişik Katkı Materyalleri ile Hazırlanan Yetiştirme Ortamlarının *Flammulina velutipes* (Enoki) Mantarının Protein, K, P, Ca, Mg, Na ve Mn Miktarları Üzerine Etkisi

| | Protein (%) | K (mg/kg) | P (mg/kg) | Ca (mg/kg) | Mg (mg/kg) | Na (mg/kg) | Mn (mg/kg) |
|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| AÇK | 30.61a | 29119.36c | 918.06 | 709.97 | 2041.45b | 301.48 | 8.74ab |
| BK | 30.93a | 31318.65bc | 1238.78 | 563.09 | 2118.01b | 289.97 | 9.48a |
| ÇA | 26.44b | 40831.76a | 851.73 | 3605.21 | 2724.88a | 335.80 | 10.13a |
| MK | 19.20c | 40227.61a | 961.72 | 1210.14 | 2511.31ab | 279.70 | 7.14b |
| PK | 26.79b | 37210.70ab | 1059.50 | 910.74 | 2287.22ab | 294.19 | 9.25ab |
| SK | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a |
| %10 | 25.08b | 33665.91b | 957.88 | 854.98 | 2345.15 | 293.27 | 8.71 |
| %20 | 27.98a | 39991.82a | 1088.03 | 2253.36 | 2399.63 | 308.61 | 9.30 |
| 90KT+10AÇK | 30.61b | 29119.36 | 918.06 | 709.97 | 2041.45 | 301.48 | 8.74bc |
| 90KT+10BK | 28.63c | 31870.85 | 950.68 | 615.53 | 2280.03 | 306.55 | 10.53ab |
| 90KT+10ÇA | 23.00d | 36574.68 | 802.84 | 1072.01 | 2751.26 | 317.32 | 8.48bc |
| 90KT+10MK | 19.39e | 35905.04 | 966.96 | 773.88 | 2457.45 | 261.10 | 7.14c |
| 90KT+10PK | 23.78d | 34859.60 | 1150.88 | 1103.51 | 2195.57 | 279.89 | 8.64bc |
| 90KT+10SK | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a |
| 80KT+20AÇK | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a |
| 80KT+20BK | 33.22a | 30766.45 | 1526.88 | 510.66 | 1955.99 | 273.40 | 8.44bc |
| 80KT+20ÇA | 29.89b | 45088.84 | 900.62 | 6138.41 | 2698.49 | 354.28 | 11.78a |
| 80KT+20MK | 19.00e | 44550.19 | 956.48 | 1646.40 | 2565.16 | 298.29 | 7.13c |
| 80KT+20PK | 29.80b | 39561.80 | 968.12 | 717.96 | 2378.88 | 308.48 | 9.86abc |
| 80KT+20SK | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a |
| KM | ** | * | öd | öd | * | öd | * |
| D | ** | * | öd | öd | öd | öd | öd |
| KM x D | ** | öd | öd | öd | öd | öd | * |

-^a: mantar elde edilememiştir, KM: Katkı maddeleri, D: Doz, *: p<0.05, **: p<0.01 düzeyinde önemli, öd: önemli değil

Mantar içeriğindeki Fe, Zn ve Mn gibi mikroelementler, özellikle de diyet için oldukça önemlidir (Smiderle vd., 2008). Elde edilen mantarların K içerikleri üzerine katkı materyallerinin ve dozun etkisi istatistiksel olarak p<0.05 düzeyinde önemli bulunurken, KM x D interaksiyonunun etkisinin önemsiz olduğu tespit edilmiştir. En yüksek K içeriği aralarında istatistiksel fark olmayan ÇA ve MK katkı materyallerinde bulunmuş (sırasıyla 40831.76 ve 40227.61 mg/kg), bunu PK (37210.70 mg/kg) izlemiştir. Katkı materyallerinin ortama ilave edildiği miktar arttıkça mantarların K içeriği de önemli derecede artmıştır (Tablo 9).

Elde edilen mantarların P, Ca ve Na içerikleri üzerine katkı materyallerinin, dozun ve KM x D interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Yetiştirme ortamına ilave edilen katkı materyallerine göre mantarların Mg içerikleri arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar bulunmuştur. Bununla birlikte mantarların Mg içerikleri üzerine dozların ve interaksiyonun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Mn içeriği ise hem katkı materyallerine göre hem de KM x D interaksiyonundan istatistiksel olarak önemli (p<0.05) derecede etkilenmiştir. Mantarların Mn içerikleri, MK katkı materyalinde diğer katkı materyallerine göre önemli düzeyde düşük bulunmuştur (Tablo 9).

Farklı oranda kullanılan değişik katkı materyalleri ile hazırlanan yetiştirme ortamlarından elde edilen mantarların K miktarlarının 29119.36-45088.84 mg/kg, P miktarlarının 802.84-1526.88 mg/kg, Ca

miktarlarının 510.66-6138.41 mg/kg, Mg miktarlarının 1955.99-2751.26 mg/kg, Na miktarlarının 261.10-354.28 mg/kg ve Mn miktarlarının 7.13-11.78 mg/kg arasında değiştiği tespit edilmiştir (Tablo 9). Lee vd. (2009), *F. velutipes* mantarının K içeriğinin 28009.1 mg/kg, Ca içeriğinin 324.3 mg/kg, Mg içeriğinin 1108.2 mg/kg, Na içeriğinin 187.8 mg/kg ve Mn içeriğinin 7 mg/kg olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmada hasat edilen mantarlardan elde ettiğimiz mineral madde değerlerini Lee vd. (2009)'nin bildirmiş olduğu değerlerden daha yüksek bulunmuştur.

Lee vd. (2009) yapmış oldukları çalışmada, K miktarlarının hem yetiştirme ortamında hem de mantarlarda yüksek bulunduğunu bildirmiştir. Aynı şekilde Akindahansi ve Oyetayo (2006) mantarların mineral içerikleri karşılaştırıldığında en yüksek bulunan mineralin K minerali olduğunu belirtmiştir. Çalışmada farklı oranda kullanılan değişik katkı materyalleri ile hazırlanan yetiştirme ortamlarından elde edilen mantarların mineral içerikleri karşılaştırıldığında bu araştırmacıların bulgularına benzer olarak en yüksek mineral içeriğinin K minerali olduğu saptanmıştır (Tablo 9 ve Tablo 10). Lee vd. (2009) yapmış oldukları çalışmada, Ca içeriğinin yetiştirme ortamında yüksek mantar içeriğinde ise düşük bulunduğunu bildirmişlerdir. Bu bulgulara benzer olarak, yetiştirme ortamlarının sterilizasyon sonundaki Ca miktarları yüksek, elde edilen mantarların Ca miktarlarının yetiştirme ortamlarının Ca miktarlarına göre düşük olduğu saptanmıştır (Tablo 4 ve Tablo 9).

Tablo 10. Farklı Oranda Kullanılan Değişik Katkı Materyalleri ile Hazırlanan Yetiştirme Ortamlarının *Flammulina velutipes* (Enoki) Mantarının Fe, Cu, Zn, As, Cd, Hg ve Pb Miktarları Üzerine Etkisi

| | Fe (mg/kg) | Cu (mg/kg) | Zn (mg/kg) | As (mg/kg) | Cd (µg/kg) | Hg (µg/kg) | Pb (µg/kg) |
|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| AÇK | 53.95c | 6.62a | 66.00c | 107.44ab | 506.82d | 7.91b | 39.85b |
| BK | 87.00a | 6.33a | 82.78a | 51.60c | 844.34c | 8.14b | 36.35ab |
| ÇA | 50.12c | 7.19a | 79.69ab | 81.47bc | 1915.57a | 10.72b | 54.85a |
| MK | 78.31ab | 6.19ab | 65.56c | 119.57ab | 1538.62b | 12.42ab | 52.79a |
| PK | 57.72bc | 4.89b | 72.23bc | 135.40a | 352.46d | 15.63a | 53.44a |
| SK | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a |
| %10 | 66.40 | 6.00b | 67.67b | 99.87 | 1065.31 | 10.71 | 52.08a |
| %20 | 67.07 | 6.45a | 82.04a | 96.03 | 1120.56 | 12.04 | 43.57b |
| 90KT+10AÇK | 53.95cd | 6.62b | 66.01b | 107.44abc | 506.82e | 7.91 | 39.85 |
| 90KT+10BK | 95.53a | 6.72b | 71.58b | 63.23bc | 834.12d | 9.08 | 46.91 |
| 90KT+10ÇA | 56.45cd | 6.12bc | 66.12b | 90.60bc | 1818.20ab | 10.85 | 55.81 |
| 90KT+10MK | 67.22bc | 5.72bc | 64.03b | 78.44bc | 1703.09b | 12.57 | 56.45 |
| 90KT+10PK | 58.83cd | 4.82c | 70.64b | 159.66a | 464.32e | 13.14 | 61.36 |
| 90KT+10SK | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a |
| 80KT+20AÇK | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a |
| 80KT+20BK | 78.47ab | 5.94bc | 93.98a | 39.96c | 854.55d | 7.20 | 25.78 |
| 80KT+20ÇA | 43.78d | 8.27a | 93.26a | 72.34bc | 2012.95a | 10.59 | 53.89 |
| 80KT+20MK | 89.41a | 6.66b | 67.09b | 160.70a | 1374.15c | 12.27 | 49.12 |
| 80KT+20PK | 56.61cd | 4.96c | 73.82b | 111.13ab | 240.30f | 18.12 | 45.51 |
| 80KT+20SK | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a | - ^a |
| KM | ** | ** | ** | ** | ** | ** | * |
| D | öd | * | ** | öd | öd | öd | * |
| KM x D | * | * | ** | ** | * | öd | öd |

-^a: mantar elde edilememiştir, KM: Katkı maddeleri, D: Doz, *: p<0.05, **: p<0.01 düzeyinde önemli, öd: önemli değil

Yetiştirme ortamlarından elde edilen mantarın Fe içeriği üzerine katkı materyallerinin etkisi istatistiksel olarak çok önemli, KM x D interaksiyonunun etkisi önemli ve dozun etkisi ise önemsiz bulunmuştur (Tablo 10). Katkı materyalleri arasında en yüksek Fe içeriği BK (87.00 mg/kg) katkı materyalinin kullanıldığı ortamlardan elde edilen mantarlarda, en düşük ise aralarında istatistiksel fark bulunmayan ÇA (50.12 mg/kg) ve AÇK (53.95 mg/kg)'da tespit edilmiştir. Farklı oranda kullanılan değişik katkı materyalleri ile hazırlanan yetiştirme ortamlarından elde edilen mantarın Fe içeriği en yüksek 95.53 mg/kg ile 90KT+10BK ve en düşük ise 43.78 mg/kg ile 80KT+20ÇA ortamında tespit

edilmiştir. Doz arttıkça BK, ÇA ve PK ortamlarından elde edilen mantarların Fe değeri azalmış, MK ortamının Fe değeri ise artmıştır (Tablo 10). Çalışmada hasat edilen mantarlardan elde ettiğimiz Fe değerleri, Lee vd. (2009)'nin bildirmiş olduğu değerlerden düşük bulunmuştur. Farklı yetiştirme ortamlarından elde edilen *F. velutipes* mantarlarının Fe içeriklerinin 2.92-3.99 mg/kg aralığında değiştiği bildirilmiştir (Okuyucu, 2021).

Katkı materyallerinin mantarın Cu, Zn, As, Cd ve Hg içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak çok önemli ($p<0.01$), Pb içeriğine etkisi ise önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. Katkı materyallerinin yetiştirme ortamı içine ilave edilen miktarları arttıkça, bu ortamlardan elde edilen mantarların Cu ve Zn içeriklerinin arttığı, buna karşılık Pb içeriğinin azaldığı tespit edilmiştir. Dozların mantarların As, Cd ve Hg içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Tablo 10).

Farklı oranda kullanılan değişik katkı materyalleri ile hazırlanan yetiştirme ortamlarından elde edilen mantarın Cu ve Cd içerikleri arasında istatistiksel olarak önemli, Zn ve As içerikleri arasında çok önemli, Hg ve Pb içerikleri arasında önemsiz fark olduğu belirlenmiştir. En yüksek Cu içerikleri 80KT+20ÇA (8.27 mg/kg) ortamında, en düşük ise 90KT+10PK (4.82 mg/kg) ortamında yetişen mantarlarda saptanmıştır (Tablo 10). Mantarların Zn değerleri incelendiğinde; en yüksek değer 93.98 mg/kg ile BK katkı materyalinin %20 oranında kullanıldığı ortamdan (80KT+20BK) elde edilen mantarlarda belirlenirken, bunu aralarında istatistiksel fark bulunmayan %20 oranında ÇA katkı materyalinin kullanıldığı ortamdan (80KT+20ÇA) elde edilen mantarlar (93.26 mg/kg) takip etmiştir (Tablo 10). Katkı materyallerinin yetiştirme ortamına ilave edilme miktarlarının (dozun) artması ile MK ortamından elde edilen mantarların As değeri artmış, diğer ortamların ise As değeri azalmıştır. En yüksek As değeri yetiştirme ortamları arasında 80KT+20MK (160.70 mg/kg) ortamında tespit edilmiştir. Çalışmada elde edilen mantarların Cd, Hg ve Pb değerleri ise sırasıyla 240.30-2012.95 µg/kg, 7.20-18.12 µg/kg ve 25.78-61.36 µg/kg arasında değişmiştir (Tablo 10).

As, Pb ve Hg gibi bazı mikroelementlerin belirli değerler üzerinde bulunması canlılar üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır (Bakar ve Baba, 2009). Bu nedenle *F. velutipes* mantarında bu elementlerin analizi de yapılmıştır. Çalışma sonucunda bu ağır metallerin insan sağlığı için olumsuz düzeyde olmadığı belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında mantarların mineral madde içeriklerindeki değişikliklerin mantar türlerine, çeşitlerine, yetiştirme ortamına ve analiz yöntemine bağlı olduğu söylenebilir (Turfan vd., 2018).

Sonuç ve Öneriler

Çalışmada; PK ve BK materyallerinin kullanıldığı ortamlardan, diğer ortamlara kıyasla daha fazla mantar verimi elde edilmiştir. Buna karşılık %10 SK, %20 AÇK ve SK katkı materyallerini içeren yetiştirme ortamlarından ise verim elde edilememiştir. Yapılan analizler sonucunda birçok etken 80KT+20BK ortamını ön plana çıkarmıştır. Ayrıca elde edilen veriler ışığında yetiştirme ortamı materyali seçilirken ve formüle edilirken, azot içeriğinin çok önemli bir kriter olduğu kanaatine de varılmıştır.

Ülkemizde mantar yetiştiriciliği dünya ile paralel olarak oldukça hızlı bir şekilde gelişmektedir. Mantar üretimimizdeki bu artışı tehdit eden en önemli faktör ise üretici maliyetlerindeki artışlardır. Hem mantar üretimimizin artması hem de sürekliliğin sağlanması için üretici maliyetlerinin azaltılması gerekmektedir. Üretici maliyetlerindeki en büyük payı ise yetiştirme ortamı (kompost) maliyetleri oluşturmaktadır. Yetiştirme ortamı materyalinin kolay ve ucuz bulunabilir olmasının yanında, mantar verim ve kalitesine olan etkileri de önem arz etmektedir. Bu çalışma *F. velutipes* (Enoki) mantarı yetiştiriciliğinde kullanılacak yetiştirme ortamı materyallerine ve formüllerine ışık tutmuştur.

Flammulina velutipes mantarı yetiştiriciliği ülkemiz mantar sektörü için oldukça yeni bir konudur. Dünya mantar üretim değerleri dikkate alındığında önemli bir yere sahip olan ve özellikle Çin, Japonya gibi Asya ülkelerinde yetiştiriciliği yapılan bu mantar türünün, ülkemiz doğasında bulunmasına rağmen tanınmaması ve yetiştiriciliğinin yapılmaması büyük bir eksiklik. *F. velutipes* mantarının ticari (beyaz) ve doğadan (sarı) izole edilen suşlarının karşılaştırılmasına, misel üretimine, uygun

yetiştirme ortamının hazırlanmasına, verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesine, yetiştiricilik sistemlerine ve çevre şartlarına yönelik daha detaylı araştırmalar yapılmasına ihtiyaç bulunmaktadır.

Destek ve Teşekkür

Bu çalışma, Aysun Pekşen danışmanlığında Ahmet Faruk Karasoy tarafından tamamlanan "Değişik Katkı Materyalleri ile Hazırlanan Yetiştirme Ortamlarının *Flammulina velutipes* Mantarının Verim ve Kalitesine Etkisi" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir (Tez No. 726865).

Yazar Katkısı

Aysun Pekşen, tez konusunun belirlenmesi, planlanması, verilerin değerlendirilmesi ve makale yazımında yer almıştır. *Ahmet Faruk Karasoy*, denemenin kurulması, yürütülmesi ve laboratuvar çalışmalarında yer almıştır. Yazarlar makaleyi birlikte okumuş ve onaylamışlardır.

Etik

Bu makalenin yayınlanmasıyla ilgili herhangi bir etik sorun bulunmamaktadır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

ORCID

Ahmet Faruk Karasoy  <https://orcid.org/0000-0001-9858-8989>

Aysun Pekşen  <https://orcid.org/0000-0002-9601-5041>

Kaynaklar



- Akindahunsi, A. A. ve Oyetayo, F. L. (2006). Nutrient and antinutrient distribution of edible mushroom, *Pleurotus tuber-regium* (Fries) Singer. *LWT-Food Science and Technology* 39(5), 548-553. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.04.005>
- Bakar, C. ve Baba, A. (2009). *Metaller ve insan sağlığı: yirminci yüzyıldan bugüne ve geleceğe miras kalan çevre sağlığı sorunu* [Sözlü sunum]. 1. Tıbbi Jeoloji Çalıştayı, Ürgüp, Nevşehir.
- Bilgiri, B. ve Boztok, K. (1983). Kültür mantarı (*Agaricus bisporus* L. Sing)'nın besin değeri üzerine araştırma. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(1), 9-17.
- Chang, S. T. ve Miles, P. G. (2004). *Mushrooms: Cultivation, Nutritional Value, Medicinal Effect and Environmental Impact*. Chemical Rubber Company Press.
- Chen, J. Z., Xang, D. Y. ve Ran, J. S. (2008a). Study on the cultivation of *Flammulina velutipes* by using mulberry branch powder as medium. *Hubei Agricultural Science*, 8, 933-935.
- Chen, J. Z., Wang, H. C. ve Tan, Y. Z. (2008b). Experiment of cultivating *Flammulina velutipes* with jizhi molasses herb residue. *Edible Fungi of China*, 27(5), 31-32.
- Cormican, T. ve Staunton, L. (1991, Ekim, 1-6). *Factors in mushroom (Agaricus bisporus) compost productivity* [Sözlü sunum]. Mushroom Science XIII. Volume 1. Proceedings of the 13th international congress on the science and cultivation of edible fungi, Dublin, Irish Republic.
- Doğan, H. ve Pekşen, A. (2003). Çay atıklarından hazırlanan yetiştirme ortamları ve dezenfeksiyon yöntemlerinin *Pleurotus sajor-caju*'nun verim ve kalitesine etkisi. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18, 39-48.
- Eren, E. ve Pekşen, A. (2019). Türkiye'de kültür mantarı üretimi ve teknolojik gelişmeler. *Mantar Dergisi*, 10(3), 225-233. <https://dergipark.org.tr/en/pub/mantar/issue/50932/649141>

- FAO, 2023. Value of agricultural production. https://www.fao.org/faostat_adresinden_10.08.2023 tarihinde alınmıştır.
- Girmay, Z., Gorems, W., Birhanu, G. ve Zewdie, S. (2016). Growth and yield performance of *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Fr.) Kumm (oyster mushroom) on different substrates. *Applied Microbiology and Biotechnology Express*, 6(1), 1-7. <https://doi.org/10.1186/s13568-016-0265-1>
- Guan, Q. L., Gong, M. F., Lin, T. X. ve Xu, C. H. (2020). Effect of bamboo waste replacing cottonseed husk on cultivation of *Flammulina velutipes*. *AIP Conference Proceedings*, 2252, 020004. <https://doi.org/10.1063/5.0020302>
- Harith, N., Abdullah, N. ve Sabaratnam, V. (2014). Cultivation of *Flammulina velutipes* mushroom using various agro-residues as a fruiting substrate. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 49(3), 181-188. <http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab>
- Hiramori, C., Koh, K., Kurata, S., Ueno, Y., Gamage, S., Huang, P. ve Ohga, S. (2017). Cultivation of *Flammulina velutipes* on modified substrate using fermented apple pomace. *Advances in Microbiology*, 7(11), 719-728. <https://doi.org/10.4236/aim.2017.711057>
- Ji, H., Wang, Q., Wang, H., Chen, W. J., Zhu, Z. H., Hou, H. ve Zhang, W. (2001). Preliminary research on *flammulina velutipes* and *ganoderma lucidum* cultivation using maize straw. *Edible Fungi of China*, 20(6), 11-12.
- Julshamn, K., Maage, A., Norli, H. S., Grobecker, K. H., Jorhem, L. ve Fecher, P. (2007). Determination of arsenic, cadmium, mercury, and lead by inductively coupled plasma/mass spectrometry in foods after pressure digestion: NMKL interlaboratory study. *Journal of AOAC International* 90(3), 844-856. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17580639/>
- Jung, K. J., Choi, D. S., Bang, G. P. ve Chung, K. C. (2009). Optimum mixing rate of used media for saving the production cost of *Flammulina velutipes*. *Journal of Mushroom*, 7(1), 22-26. <https://koreascience.kr/article/JAKO200914364644956.page>
- Kacar, B. ve İnal, A. (2008). *Bitki Analizleri*. Nobel Yayın Dağıtım.
- Karasoy, A. F., Okuyucu, H. ve Pekşen, A. (2019). *Flammulina velutipes* mantarı. *Mantar Dergisi*, 10(3), 152-162. <https://dergipark.org.tr/en/pub/mantar/issue/50932/646083>
- Kim, D., Kim, K. J., Kim, S. G. ve Park, H. S. (2020). Growth and storage characteristics of fruiting body by nitrogen content of sawdust media and restriction stage temperature during *Flammulina velutipes* cultivation. *Journal of Mushroom*, 18(4), 311-316. <https://koreascience.kr/article/JAKO202007636554687.page>
- Kuo, M. 2013. *Flammulina velutipes*. https://www.mushroomexpert.com/flammulina_velutipes.html adresinden 14 Aralık 2021 tarihinde alınmıştır.
- Lee, C. Y., Park, J. E., Kim, B. B., Kim, S. M. ve Ro, H. S. (2009). Determination of mineral components in the cultivation substrates of edible mushrooms and their uptake into fruiting bodies. *Mycobiology*, 37(2), 109-113. <https://doi.org/10.4489/MYCO.2009.37.2.109>
- Leifa, F., Pandey, A. ve Socol, C. R. (2001). Production of *Flammulina velutipes* on coffee husk and coffee spent-ground. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 44(2), 205-212. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132001000200015>
- Liao, Q., Zhao, Z., Cui, R., Gong, M., Xu, C., ve Tu, S. (2019). Effect of rape straw on the growth of *Flammulina velutipes*. *AIP Conference Proceedings* içinde (Vol. 2079, No. 1). AIP Publishing.
- Liu, X. B., Li, J. ve Yang, Z. L. (2018). Genetic diversity and structure of core collection of winter mushroom (*Flammulina velutipes*) developed by genomic SSR markers. *Hereditas*, 155, 1-8. <https://doi.org/10.1186/s41065-017-0038-0>

- Mahfuz, S. U., Hui, S. ve Zhongjun, L. (2017). Improved production performance and health status with winter mushroom stem (*Flammulina velutipes*) in laying chicken: Review. *International Journal of Poultry Science*, 16(4), 112-117.
- Miao, R., Zhou, J., Tan, W., Peng, W., Gan, B., Tang, L. ve Huang, Z. (2014). A preliminary screening of alternative substrate for cultivation of *Flammulina velutipes*. *Mycosystema*, 33(2), 411-424. http://journals.im.ac.cn/jwxtcn/ch/reader/advance_query.aspx
- Nakaya, M. (1998). Recycling of the waste substrate for mushroom cultivation. II Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and *Flammulina velutipes* using the sawdust from waste *Shiitake* bed logs. *Mushroom Science and Biotechnology*, 6, 95-99. http://journals.im.ac.cn/jwxtcn/ch/reader/advance_query.aspx
- Narayan, R., Sahu, R. K., Kumar, S., Garg, S. K., Singh, C. S. ve Kanaujia, R. S. (2009). Influence of different nitrogen rich supplements during cultivation of *Pleurotus florida* on corn cob substrate. *Environmentalist*, 29, 1-7. <https://doi.org/10.1007/s10669-008-9174-4>
- Okuyucu, H. (2021). *Farklı yetiştirme ortamlarının Flammulina velutipes mantarının verim ve kalitesi üzerine etkisi* [Yayımlanmamış yüksek Lisans Tezi]. Ondokuz Mayıs Üniversitesi.
- Özçelik, E. ve Pekşen, A. (2007). Hazelnut husk as a substrate for the cultivation of shiitake mushroom (*Lentinula edodes*). *Bioresource Technology*, 98(14), 2652-2658. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.09.020>
- Rezaeian, S. ve Pourianfar, H. R. (2017). A comparative study on bioconversion of different agro wastes by wild and cultivated strains of *Flammulina velutipes*. *Waste and Biomass Valorization*, 8(8), 2631-2642. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9698-7>
- Rezaeian, S., Pourianfar, H. R. ve Attaran Dowom, S. (2021). Quantitative changes in the biochemical and mineral composition of the substrate in solid-state cultivation of Enoki mushroom. *Waste and Biomass Valorization*, 12, 4463-4474. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01340-7>
- Royse, D. J. (2014). A global perspective on the high five: *Agaricus*, *Pleurotus*, *Lentinula*, *Auricularia* and *Flammulina*. *Proceedings of the 8th International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products (ICMBMP8)* (1-6). https://mushroomsociety.in/ICMBMP_ProceedingsPart_1_2014.pdf#page=10
- Royse, D. J., Baars, J. ve Tan, Q. (2017). Current overview of mushroom production in the world. Diego, C. Z. and Pardo-Gimenez, A. (Eds.), *Edible and Medicinal Mushrooms: Technology and Applications* (s. 5-13) içinde. John Wiley & Sons Inc.
- Rowell, D. L. (1996). *Soil science methods & applications*. Wesley Longman Limited.
- Sangkaew, M. ve Koh, K. (2017). The cultivation of *Flammulina velutipes* by using sunflower residues as mushroom substrate. *Journal of Advanced Agricultural Technologies*, 4(2), 140-144. <https://www.joaat.com/uploadfile/2017/0704/20170704100836390.pdf>
- Sesli, E. ve Denchev, C. M. (2014). *Checklists of the myxomycetes, larger ascomycetes, and larger basidiomycetes in Turkey*. Mycotaxon Checklists Online.
- Shi, M., Yang, Y., Guan, D., Zhang, Y. ve Zhang, Z. (2012). Bioactivity of the crude polysaccharides from fermented soybean curd residue by *Flammulina velutipes*. *Carbohydrate Polymers*, 89(4), 1268-1276. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.04.047>
- Smiderle, F. R., Carbonero, E. R., Sasaki, G. L., Gorin, P. A. ve Iacomini, M. (2008). Characterization of a heterogalactan: Some nutritional values of the edible mushroom *Flammulina velutipes*. *Food Chemistry*, 108(1), 329-333. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.10.029>

- Song, C. H., Lee, C. H., Huh, T. L., Ahn, J. H. ve Yang, H. C. (1993). Development of substrates for the production of basidiocarps of *Flammulina velutipes*. *The Korean Journal of Mycology*, 21(3), 212-216. <https://koreascience.kr/article/JAKO199303040100453.page>
- Tonomura, H. (1978). *Flammulina velutipes*. Chang, S. T. ve Hayes, W. A. (Eds.). *The Biology and Cultivation of Edible Mushrooms*. Academic Press (s. 409-421) içinde. Academic Press.
- Turfan, N., Pekşen, A., Kibar, B. ve Ünal, S. (2018). Determination of nutritional and bioactive properties in some selected wild growing and cultivated mushrooms from Turkey. *Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus*, 17(3), 57-72. <https://doi.org/10.24326/asphc.2018.3.6>
- Thuy, Q. H. B. ve Suzuki, A. (2019). Technology of mushroom cultivation. *Vietnam Journal of Science and Technology*, 57(3), 265. <https://doi.org/10.15625/2525-2518/57/3/12954>
- Wang, N. L. (1995). *Edible fungi cyclopedia of China*. Agriculture Printing House.
- Woo, S. I., Kong, W. S., Kim, E. S., Shin, P. G., Oh, Y. L., Nam, Y. K. ve Kim, K. S. (2015). Analysis of phenotypic characterization of segregation population developed by crossing in *Flammulina velutipes*. *Journal of Mushroom*, 13(3), 217-222. <https://koreascience.kr/article/JAKO201534853187585.page>
- Xie, C., Gong, W., Yan, L., Zhu, Z., Hu, Z. ve Peng, Y. (2017). Biodegradation of ramie stalk by *Flammulina velutipes*: mushroom production and substrate utilization. *Applied Microbiology and Biotechnology Express*, 7(1), 171. <https://doi.org/10.1186/s13568-017-0480-4>
- Yang, W., Guo, F. ve Wan, Z. (2013). Yield and size of oyster mushroom grown on rice/wheat straw basal substrate supplemented with cotton seed hull. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 20(4), 333-338. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2013.02.00>
- Yılmaz, F. (2002). *Flammulina velutipes* (Curt.:Fr.) Karst. türünün misel gelişiminin araştırılması (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Muğla Üniversitesi.
- Zhang, W., Liu, S., Su, G. ve Ma, L. (2019). *Camellia oleifera* seed shell: an effective substrate for producing *Flammulina velutipes* fruit bodies with improved nutritional value. *International Journal of Agriculture and Biology*, 21(5), 989-996. [http://www.fspublishers.org/view_pdf_issue.php?file=published_papers/23374_10%20doi%2015.0984%20IJAB-18-0690%20\(8\)%20989-996.pdf](http://www.fspublishers.org/view_pdf_issue.php?file=published_papers/23374_10%20doi%2015.0984%20IJAB-18-0690%20(8)%20989-996.pdf)

Electrocatalytic Oxidation of Ethanol and Bioethanol Using Poly(thionine) Supported Platinum Nano/Micro Particles

Nuriye Şahin¹ , Mutlu Sönmez Çelebi² 

¹Ordu University, Institute of Science, Department of Renewable Energy, Ordu

²Ordu University, Faculty of Science and Arts, Department of Chemistry, Ordu

Geliş Tarihi / Received Date: 02.02.2024

Kabul Tarihi / Accepted Date: 17.04.2024

Abstract

Pt micro/nano particles were supported on poly(thionine) conducting polymer and used as catalyst for electrochemical oxidation of ethanol. Thionine was polymerized from its aqueous solution by cyclic voltammetry. Incorporation of Pt complex was carried out electrochemically by polycyclic voltammetry using K_2PtCl_4 as the precursor prior to reduction. Evaluation of optimum experimental parameters was done according to the obtained oxidation currents recorded in ethanol solutions with cyclic voltammetry. For the physical characterization of the Pt/PTH catalyst prepared under optimum conditions, SEM images were recorded. When the cyclic voltammetric behavior of bioethanol with the Pt/PTH catalyst prepared under optimum conditions was examined and compared with synthetic ethanol, it was revealed that the developed catalyst showed high catalytic activity for bioethanol oxidation.

Keywords: poly(thionine), platinum, ethanol, bioethanol, electrocatalysis

Poli(tiyonin) Destekli Platin Nano/Mikro Partikülleri Kullanılarak Etanolün ve Biyoetanolün Elektrokatalitik Yükseltgenmesi

Öz

Pt mikro/nano parçacıkları poli(tiyonin) iletken polimer destek malzemesi üzerinde sentezlenmiş ve etanolün elektrokimyasal yükseltgenmesi için kullanılmıştır. Tiyonin, sulu çözeltiden dönüşümlü voltametri ile polimerleştirildi. Pt kompleksinin polimer film yapısına immobilize edilmesi, sulu K_2PtCl_4 çözeltisinden dönüşümlü voltametrik taramalar ve ardından kimyasal veya elektrokimyasal indirgeme yoluyla gerçekleştirildi. Deneysel parametreler, etanol çözeltisinde kaydedilen pik akımı değerlerine göre optimize edildi. Optimum şartlarda hazırlanan Pt/PTH katalizörünün fiziksel karakterizasyonu için SEM görüntüleri kaydedildi. Optimum şartlarda hazırlanan Pt/PTH katalizörü ile biyoetanolün dönüşümlü voltametrik davranışı incelenip sentetik etanol ile karşılaştırıldığında geliştirilen katalizörün biyoetanol yükseltgenmesi için yüksek katalitik aktivite gösterdiği ortaya çıktı.

Anahtar Kelimeler: poli(tiyonin), platin, etanol, biyoetanol, elektrokataliz

Introduction

In today's world, as the energy need is continuously rising and the existing energy resources are decreasing, energy-related research has recently been focused on renewable energy sources. Fuel cells, one of the class of devices that use renewable energy sources depending on the type of fuel, have a significant potential as environmentally friendly systems. Today, polymer electrolyte membrane (PEM) fuel cells are accepted as devices that can replace existing batteries, especially in portable devices. The most preferred fuel cells are systems that use H₂ or methanol as fuel. However, there are still some problems in this system. A fuel cell simply consists of an anode, a cathode and the electrolyte membrane that separates these two parts, which can be described as the heart of the fuel cell. In general, fuel is fed to the fuel cell from the anode, while the oxidant is fed from the cathode. Electrocatalytic reactions occur on both sides, so the surface area of the electrodes, especially the anode is of critical importance for performance (Saleh & Easton 2013).

In the design of a fuel cell, selection of the electrode material is crucial with the purpose of increasing the efficiency as well as reduction of the cost of a fuel cell system. The materials used for the construction of the catalyst layers contain a metallic catalyst material (often Pt in PEMFCs) which are usually combined with a suitable supporting platform. Pt containing catalyst materials are generally advantageous for the design of anodes as well as cathodes while less expensive non-precious metals may be used for the construction of the cathode compartment (Sönmez Çelebi, 2016).

There are many factors that are important for the efficiency of a noble metal particle-based catalyst, such as particle size and dispersion, the methods used for preparation, supporting environments, etc. The electrocatalytic activity of an electrode material can be easily improved by incorporation of a conducting polymer as the supporting medium for immobilization of the metal nanoparticles (Huang et.al., 2009; Mohanraju et.al., 2015; Sönmez Çelebi et. al., 2008; Sönmez Çelebi & Pekmez 2017; Sönmez Çelebi et. al., 2020). As described by Kralik and Biffis (Kralik & Biffis 2001), there are three steps during the preparation of metal particles supported on functional polymers: synthesis of the polymer support material, decoration of the polymer from a convenient metal particle precursor, and generation of the metal particles within the polymer.

Among the alcohol-based fuel cells, methanol is the most common fuel owing to its advantages such as low cost, ease of handling and transportation. However, it also has some disadvantages such as being a toxic substance with one of the highest ecotoxicity scores (Bai et. al., 2019). Ethanol is an alternative for methanol because it is quite attractive as a fuel as a renewable energy source. Ethanol, which is referred to as bioethanol, can be obtained in large quantities via fermentation of some agricultural products such as sugarcane, wheat, corn, etc. (Badwal et.al., 2015). Platinum-either alone or as a bimetallic catalyst- supported on a conductive support material such as a suitable C-based material or a conducting polymer is commonly used as an electrocatalyst for oxidation of ethanol at the anode of an ethanol fuel cell (Singh and Mahapatra 2023; Vigier et.al. 2004; Zhang et.al. 2023; Zhou et.al. 2003).

Herein, we describe the preparation of Pt micro/nano particle-based catalyst using poly(thionine) (PTH) conductive polymer as the support material and to test its effectiveness for the electrocatalytic oxidation of ethanol. Optimization of the experimental conditions for the preparation of the catalyst was carried out according to the oxidation peak currents obtained from the cyclic voltammetry (CV) experiments recorded in ethanol solution in acidic medium. Characterization of the PTH supported catalysts prepared under optimum conditions was further performed by electrochemical and physical methods, namely CV and Scanning Electron Microscopy (SEM).

Materials and Methods

We obtained thionine monomer, H₂SO₄, K₂PtCl₄ and ethanol from Sigma-Aldrich and used without further purification. 80% hydrazine hydrate solution in water was obtained from Merck and used after dilution. The dissolved oxygen existed in the solutions were removed by bubbling 99.99%

nitrogen gas through the cells. No temperature adjustment was needed, the electrochemical experiments were all done at ambient temperature. A CHI 600E electrochemical workstation connected to a personal computer was used with a three-electrode system glass cell. The working electrode was a Tombow pencil connected graphite electrode, PGE, with a geometrical area of $6.48 \times 10^{-2} \text{ cm}^2$. All potentials were recorded using a silver/silver chloride reference electrode (Ag/AgCl) and a linear platinum (Pt) wire was the auxiliary electrode. Scanning electron microscopy (SEM) images were recorded using JEOL model JSM-7001F.

Results and Discussion

Modification of the Electrode

The modification process includes three consecutive steps: *i*) electropolymerization of thionine onto the electrode surface, *ii*) immobilization of Pt complex ions into the polymer matrix, *iii*) reduction of the complex to obtain Pt nano/micro particles. To determine the optimum experimental conditions and to test the activity of the catalyst for ethanol oxidation, cyclic voltammograms of 0.5 M ethanol solution containing 0.5 M H_2SO_4 were recorded, and peak current values were compared.

Determination of Optimum Polymer Film Thickness

Deposition of the PTH film was carried out electrochemically with polycyclic voltammetry on the surface of the PGE from 0.05 M thionine monomer solution which also contained 0.5 M H_2SO_4 to serve as supporting electrolyte. The potential limits were -0.2 V and +0.8 V vs. Ag/AgCl in the negative and positive region (Figure 1a). Comparison of the cyclic voltammograms of the blank solution recorded with the uncoated PGE and PTH coated PGE clearly indicates the polymer coating (Figure 1b).

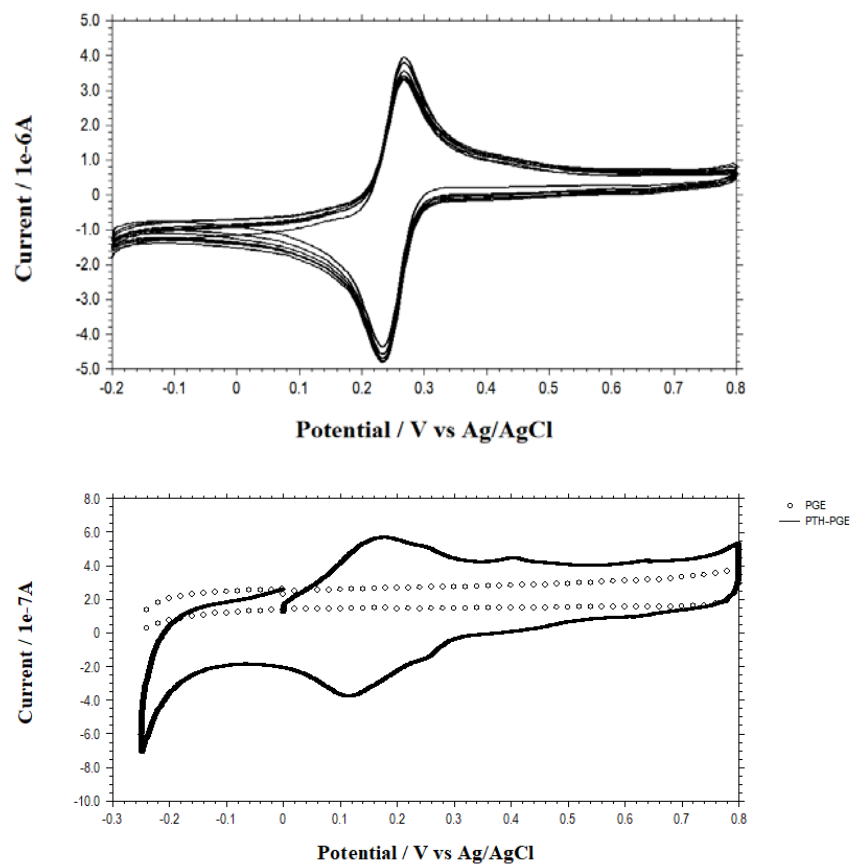


Figure 1. a) Polymerization of Thionine from 0.5 M Monomer Solution b) Cyclic Voltammograms Recorded in 0.5 M H_2SO_4 with Uncoated PGE (ooo) and PTH Coated PGE (—) (Scan rate: 0.1 V s^{-1})

Determining the appropriate polymer film thickness was important to obtain the best supporting medium for Pt particles. Polymer film was coated onto the electrode surface using 5, 10 or 15 cycles, and then a fixed amount of Pt was introduced into the resulting polymeric film and subjected to chemical reduction. When the ethanol voltammograms recorded with Pt/PTH catalysts prepared with polymer films of different thicknesses were compared, it was observed that the maximum peak current was observed with the catalyst obtained using 10 cycles (Figure 2).

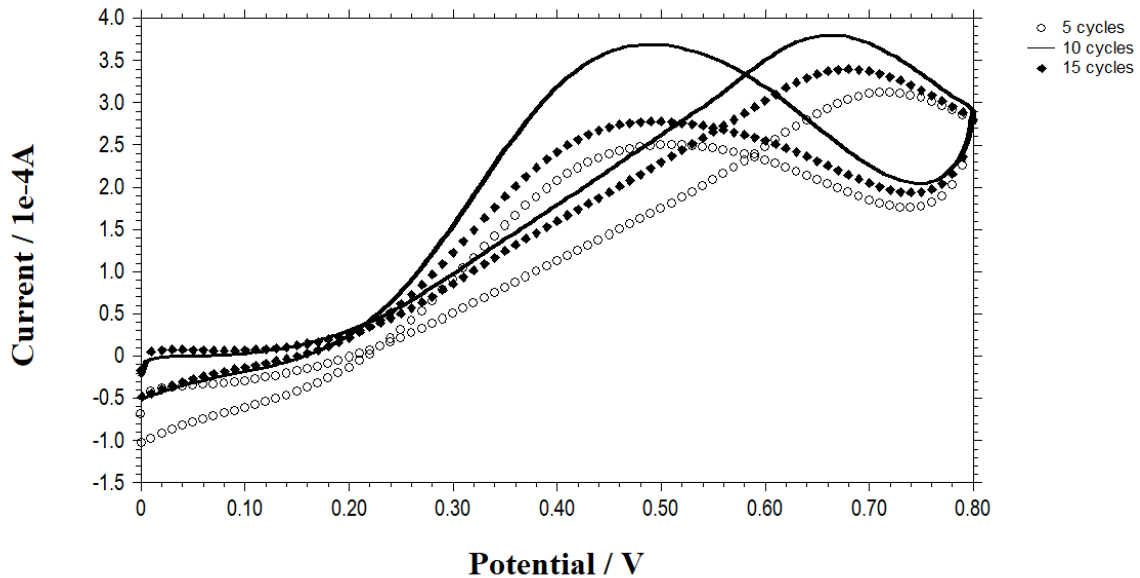


Figure 2. Cyclic Voltammograms of 0.5 M Ethanol Solution Recorded with Pt/PTH Modified PGE Prepared with Polymer Film of Different Thicknesses (Scan rate: 0.100 V s^{-1})

Immobilization of Pt Complex into the Polymer Matrix

One of the most important steps during the preparation of the catalyst is the immobilization of Pt particles into the polymer film. At this stage, when the PTH-coated electrode is immersed in a 2 mM K_2PtCl_4 solution without a supporting electrolyte and cyclic voltammetry was performed, the PtCl_4^{2-} complex is immobilized into the polymer matrix in each cycle, and then the metal particles can be obtained on the electrode surface by chemical or electrochemical reduction. An example polycyclic voltammogram is presented in Figure 3a. In Figure 3b, the influence of the Pt loading is given according to the ethanol voltammograms recorded with various amounts of Pt controlled by the number of cycles in Pt precursor. As seen from the voltammograms, maximum peak current for ethanol oxidation is obtained for 60 cycles of Pt loading.

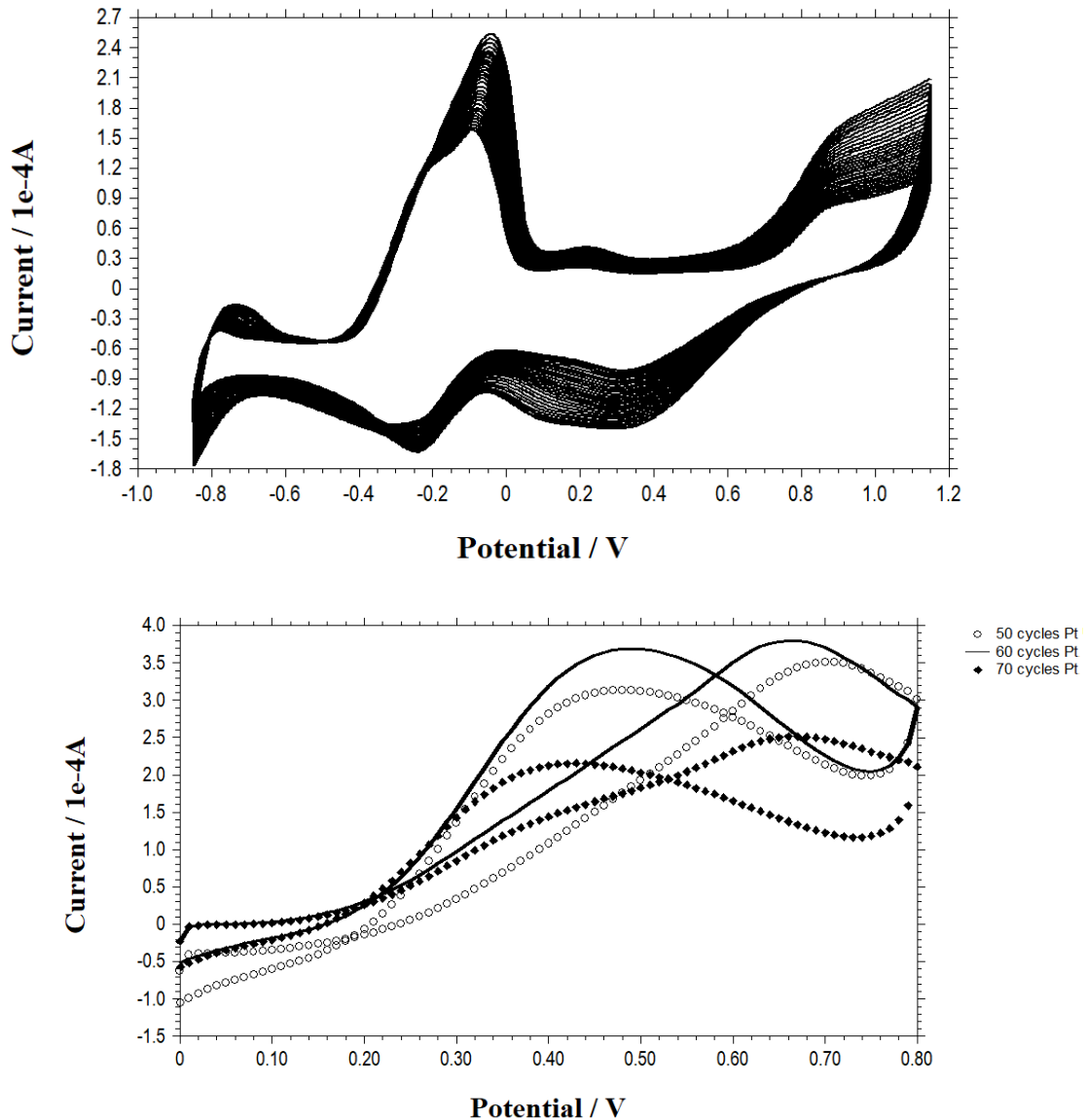


Figure 3. a) Polycyclic Voltammogram Recorded with PTH-coated PGE in 2 mM K_2PtCl_4 solution b) Cyclic Voltammograms of 0.5 M Ethanol Solution Recorded with Pt/PTH Modified PGE Containing Different Amounts of Pt Particles (Scan rate: 0.1 V s^{-1})

Reduction of the Pt Complex

After the immobilization of the Pt complex ions, an appropriate reduction process must be applied to convert it to its metallic form. For this purpose, chemical and electrochemical reduction methods were compared. We first studied chemical reduction by immersing the $PtCl_4^{2-}$ containing polymer film 0.1 M hydrazine solution which was stirred continuously. When the cyclic voltammograms of the ethanol solution were recorded with the catalyst systems obtained by reducing for 30, 60 and 90 minutes, it the best result was achieved with a reduction of 60 minutes and this condition was accepted as the optimum chemical reduction time.

For the electrochemical reduction, electrolysis was performed by applying a -0.2 V potential in 0.5 M H_2SO_4 solution, and ethanol voltammograms recorded with the catalysts obtained using different electrolysis times were compared. Electrolysis times of 5, 10, 15 and 20 minutes were studied, and the best result was obtained with the catalyst electrolyzed for 10 minutes.

In order to test which reduction method is better, the chemical and electrochemical reduction methods were compared by recording ethanol voltammograms (Figure 4).

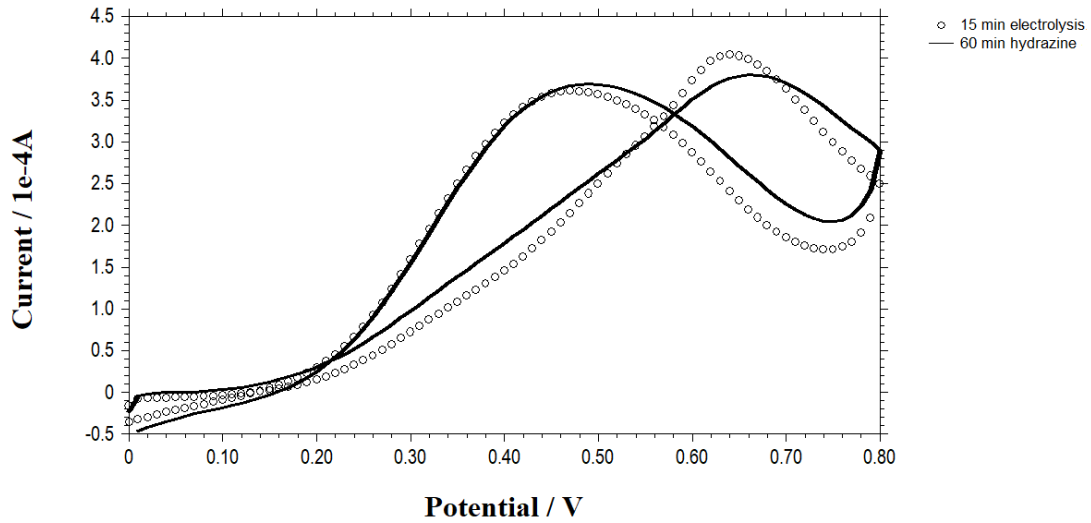


Figure 4. Cyclic Voltammograms Recorded with Pt/PTH Modified PGE Prepared by Chemical and Electrochemical Reduction Methods in 0.5 M Ethanol Solution (Scan rate: 0.100 V s^{-1})

By means of oxidation peak current, the two reduction methods gave very similar results. Therefore, to further investigate the better reduction method, we compared cyclic voltammograms recorded in H_2SO_4 (Figure 5a) and ferri/ferro solutions (Figure 5b). According to both hydrogen adsorption/desorption peaks and ferri/ferro couple redox behaviors, chemical reduction method appears to be better for reduction of the Pt complexes.

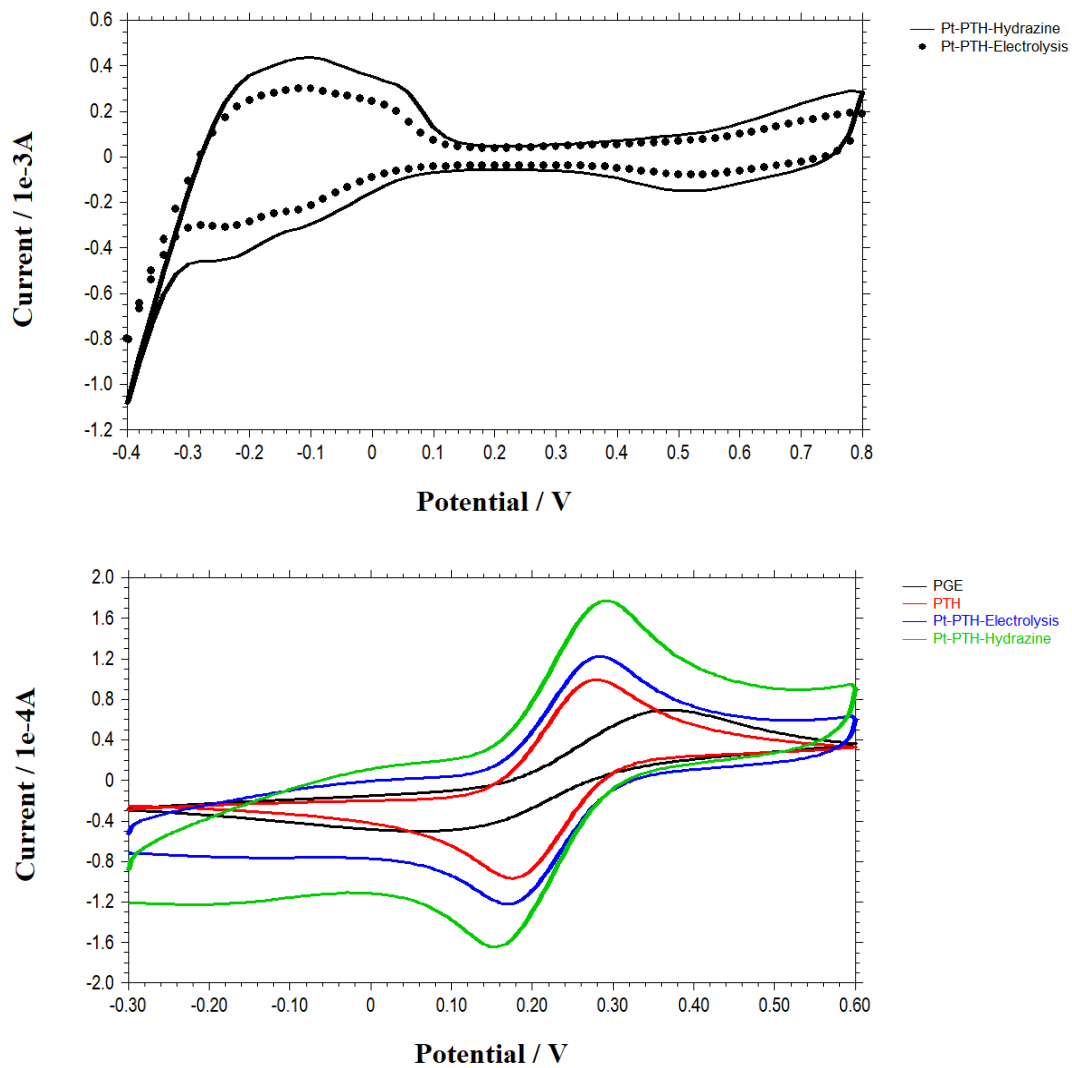


Figure 5. Cyclic Voltammograms of a) 0.5 M H₂SO₄ solution b) 5 mM Fe(CN)₆³⁻/Fe(CN)₆⁴⁻ Redox Couple Recorded with Catalysts Prepared by Chemical and Electrochemical Reduction (Scan rate: 0.1 V s⁻¹)

Scanning Electron Microscopy (SEM) Characterization

SEM images of the catalysts were recorded for the physical characterization of the Pt/PTH catalysts prepared by both reduction methods. Figures 6-9 show the SEM images recorded for naked PGE, PTH-coated PGE, Pt/PTH-coated PGE prepared by electrochemical reduction and Pt/PTH-coated PGE prepared by chemical reduction, respectively. When the images are examined, it is understood that both the polymer and Pt particles are properly coated and finely dispersed on the electrode surface, and a coating with a porous structure as desired is obtained.

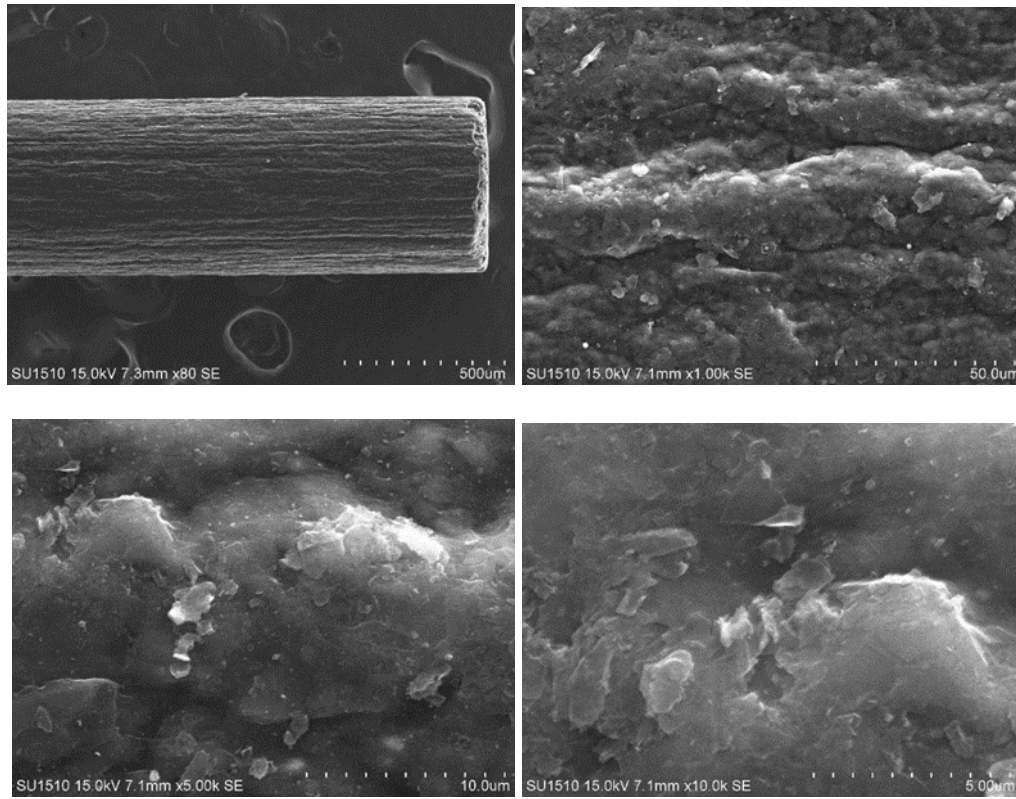
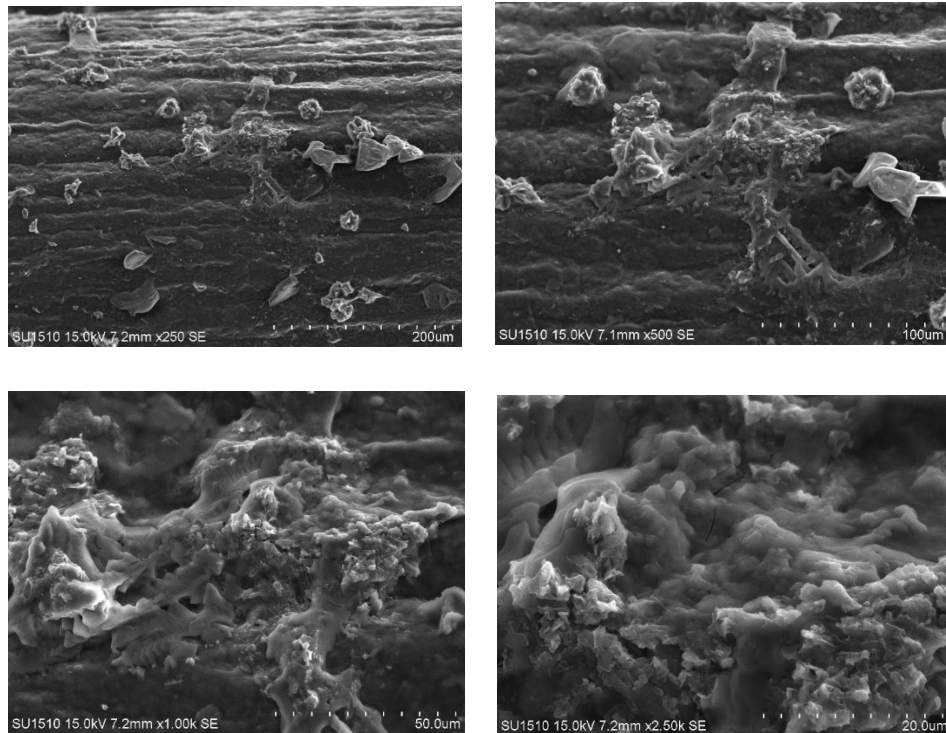


Figure 6. SEM Images Recorded with Uncoated PGE at Different Magnifications



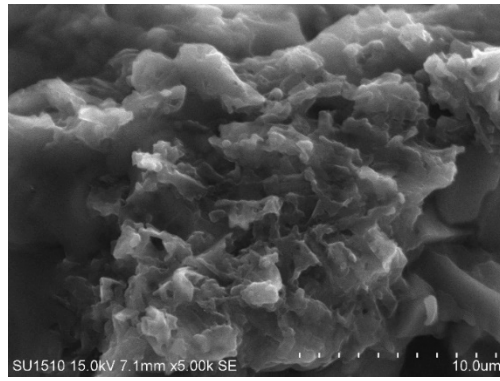
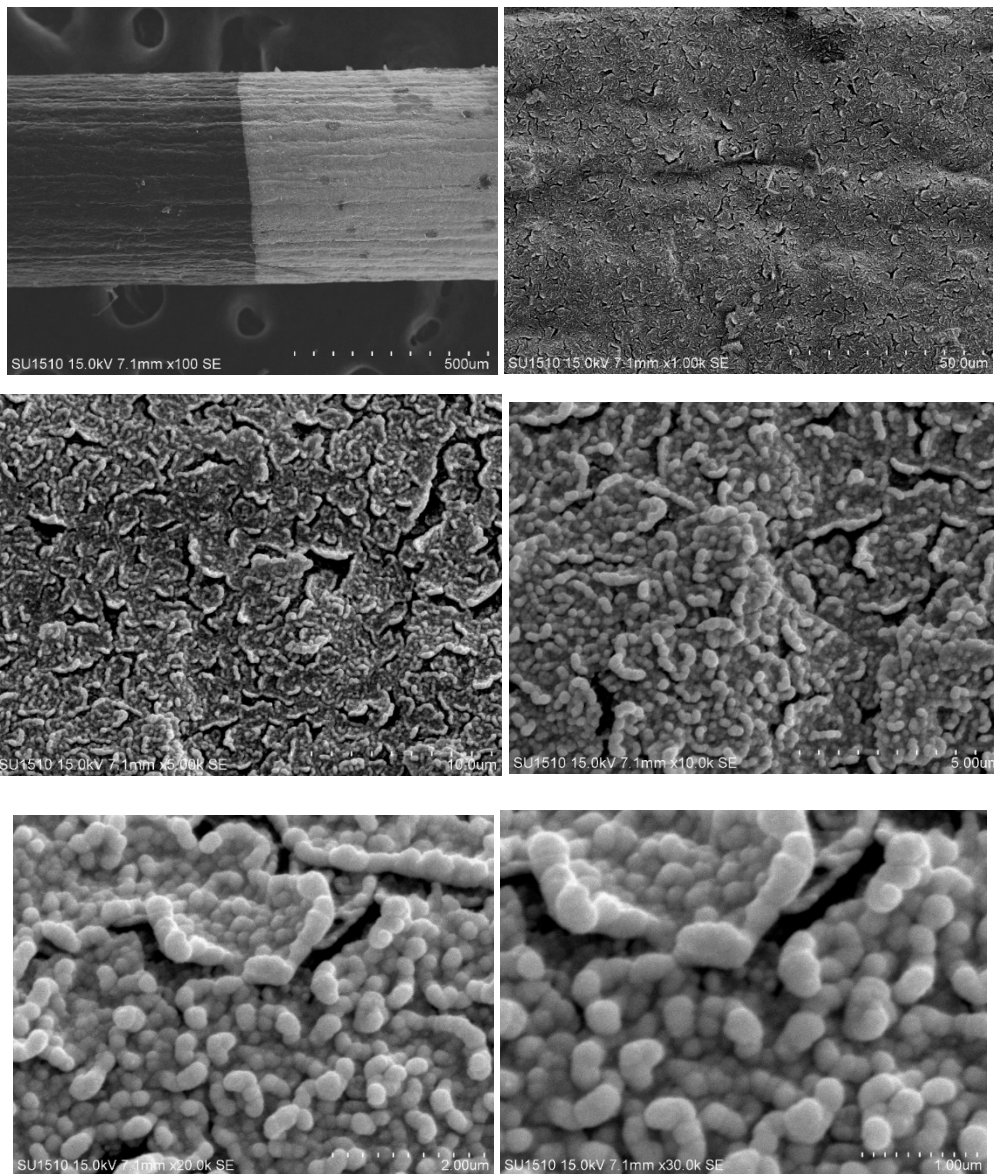


Figure 7. SEM Images Recorded with PTH-Coated PGE at Different Magnifications



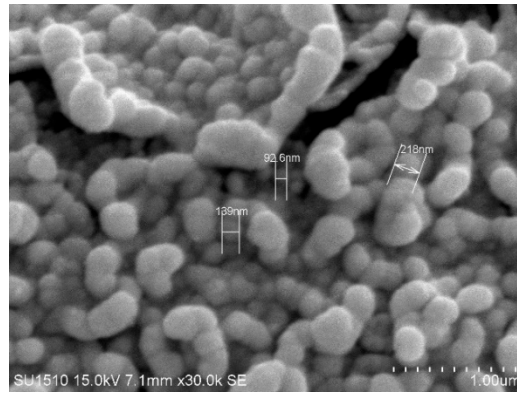
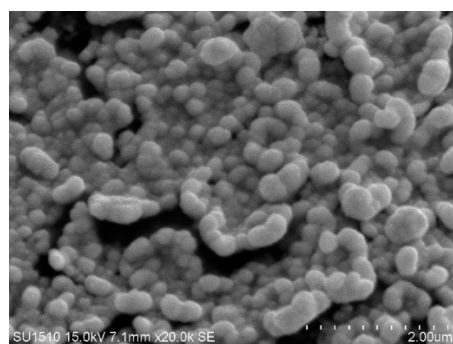
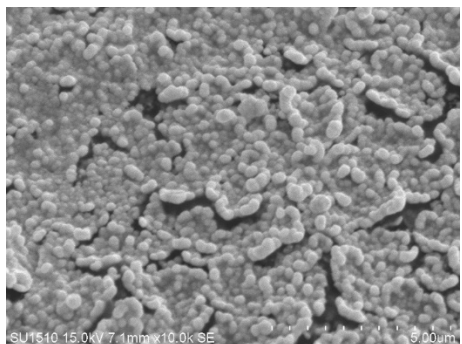
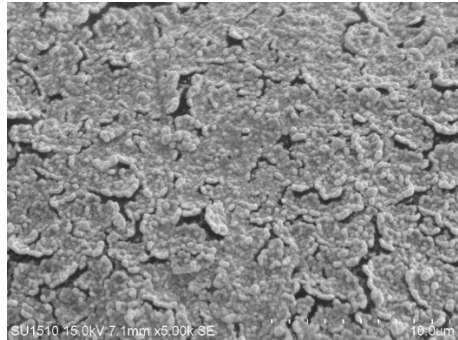
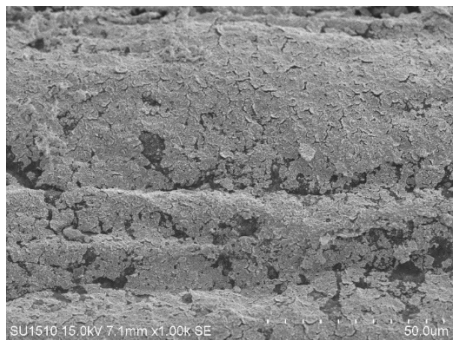
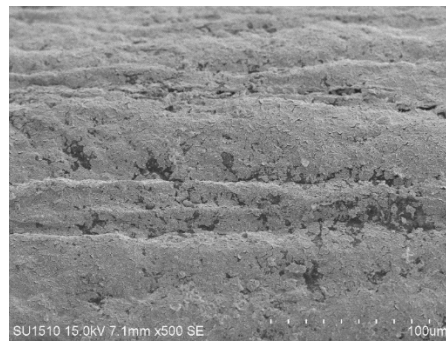
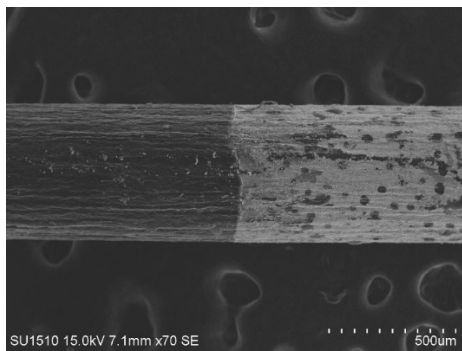


Figure8. SEM Images Recorded at Different Magnifications with Pt/PTH Catalyst Prepared by Electrochemical Reduction



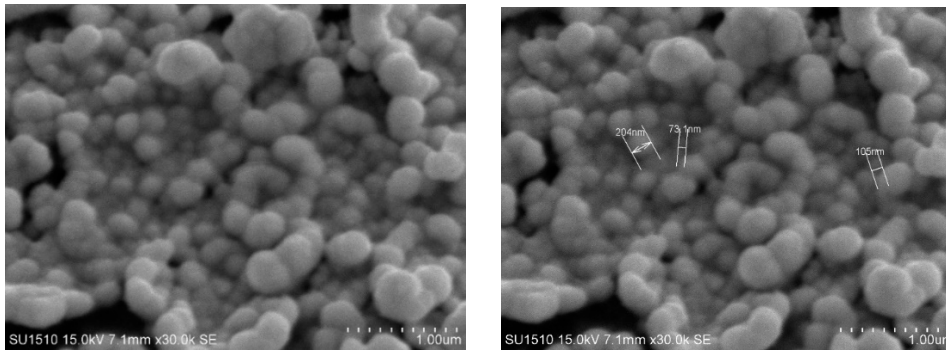


Figure 9. SEM Images Recorded at Different Magnifications with Pt/PTH Catalyst Prepared by Chemical Reduction.

Bioethanol Oxidation with Pt/PTH Catalyst

The ultimate goal of the study is to develop an effective catalyst for the electrocatalytic oxidation of bioethanol obtained from plants as a renewable energy source. For this reason, it is very important for the Pt/PTH catalyst system to show high catalytic activity against bioethanol. In Figure 10, the cyclic voltammograms of bioethanol and synthetic ethanol recorded with the Pt/PTH catalyst are compared. As can be clearly seen from the figure, when bioethanol was used, a higher current and advantageous potential was observed compared to synthetic ethanol in terms of both peak current and peak potentials. Therefore, it is obvious that the Pt/PTH catalyst developed in this study shows high catalytic activity for bioethanol oxidation.

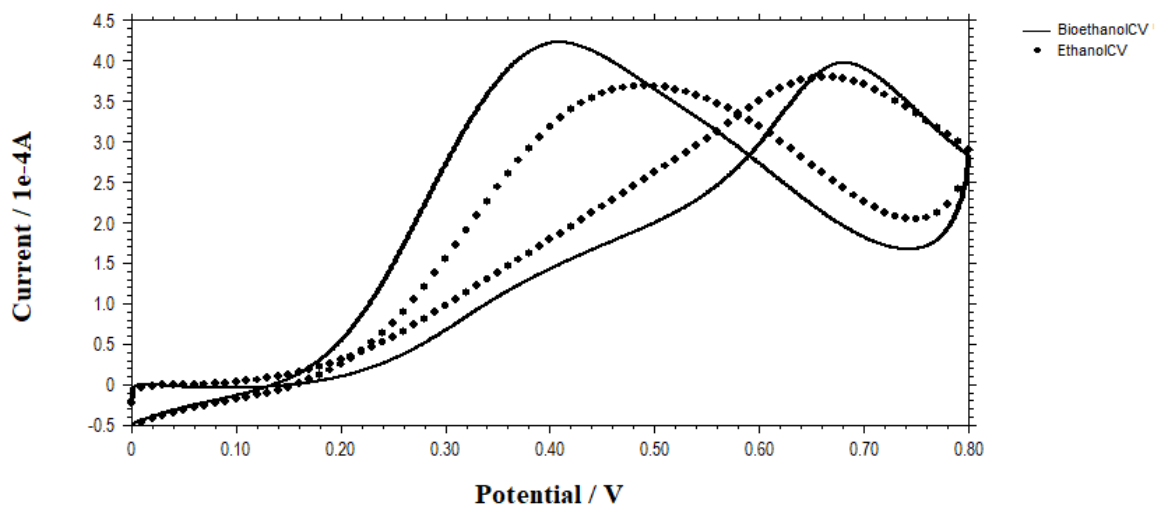


Figure 10. Cyclic Voltammograms of 0.5 M Bioethanol (—) and Synthetic Ethanol (●●●) Solutions Recorded with Pt/PTH Coated PGE (Scan rate: 0.100 V s^{-1})

Conclusions

PTH supported Pt micro/nano particles were prepared for the electrochemical oxidation of bioethanol, a renewable energy source. In order to optimize the experimental conditions, the oxidation peak currents obtained from the CVs recorded in ethanol solution were compared. The Pt/PTH catalyst was physically characterized by recording SEM images. When the cyclic voltammetric behavior of bioethanol with the Pt/PTH catalyst system was examined and compared with synthetic ethanol, it was revealed that the developed catalyst showed high catalytic activity for bioethanol oxidation.

Acknowledgment

The study was produced from the master's thesis titled "Electrocatalytic Oxidation of Bioethanol Using Poly(Thionine) Supported Platinum and Palladium Nanoparticles" which was carried out by Nuriye Şahin under the supervision of Mutlu Sönmez Çelebi (Thesis no. 864965).

Author Contribution

Nuriye Şahin, conducted the experiments, collected, and analyzed the results. Mutlu Sönmez Çelebi, supervised experiments and data collection and was responsible from all stages of manuscript preparation.

Ethic

There are no ethical issues with the publication of this article.

Conflict of Interest

The authors state that there is no conflict of interest.

ORCID

Nuriye Şahin  <https://orcid.org/0000-0002-5503-959X>



Mutlu Sönmez Çelebi  <https://orcid.org/0000-0002-8816-6763>

References

- Badwal, S. P. S., Giddey, S., Kulkarni, A., Goel, J., & Basu, S. (2015). Direct ethanol fuel cells for transport and stationary applications—A comprehensive review. *Applied Energy*, 145, 80-103. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.02.002>
- Bai, J., Liu, D., Yang, J., & Chen, Y. (2019). Nanocatalysts for electrocatalytic oxidation of ethanol. *ChemSusChem*, 12(10), 2117-2132. <https://doi.org/10.1002/cssc.201803063>
- Huang, S. Y., Ganesan, P., & Popov, B. N. (2009). Development of conducting polypyrrole as corrosion-resistant catalyst support for polymer electrolyte membrane fuel cell (PEMFC) application. *Applied Catalysis B: Environmental*, 93(1-2), 75-81. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2009.09.014>
- Kralik, M., & Biffis, A. (2001). Catalysis by metal nanoparticles supported on functional organic polymers. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 177(1), 113-138. [https://doi.org/10.1016/S1381-1169\(01\)00313-2](https://doi.org/10.1016/S1381-1169(01)00313-2)
- Mohanraju, K., Sreejith, V., Ananth, R., & Cindrella, L. (2015). Enhanced electrocatalytic activity of PANI and CoFe₂O₄/PANI composite supported on graphene for fuel cell applications. *Journal of Power Sources*, 284, 383-391. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.03.025>
- Saleh, F. S., & Easton E. B. (2013). Determining electrochemically active surface area in PEM fuel cell electrodes with electrochemical impedance spectroscopy and its application to catalyst durability. *Electrochimica Acta*, 114, 278-284. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2013.10.050>
- Singh, B. K., & Mahapatra, S. S. (2023). Performance study of palladium modified platinum anode in direct ethanol fuel cells: A green power source. *Journal of the Indian Chemical Society*, 100(2), 100876. <https://doi.org/10.1016/j.jics.2022.100876>
- Sönmez Çelebi, M., Pekmez, K., Özyörük, H., & Yıldız, A. (2008). Preparation and physical/electrochemical characterization of Pt/poly (vinylferrocenium) electrocatalyst for methanol oxidation. *Journal of power sources*, 183(1), 8-13. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2008.05.010>

- Sönmez Çelebi, M. (2016). Energy applications: Fuel cells. A. Tiwari, F. Kuralay, and L. Uzun (Ed.), *Advanced electrode materials* (397-434) içinde. Wiley-VCH.
- Sönmez Çelebi, M., & Pekmez, K. (2017). Electrooxidation of formic acid using Pt nanoparticles supported on conducting poly vinylferrocene polymer support. *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry*, 45(3), 351-358. <https://dergipark.org.tr/en/pub/hjbc/issue/61905/926356>
- Sönmez Çelebi, M., Kirlak Kara, S., & Çoşkun Kurt, N. (2020). Electrocatalytic oxidation of formic acid using Pt nanocatalyst supported on PVF-PANI composite. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10(1), 1-10. <https://dergipark.org.tr/en/pub/ordubtd/issue/55660/755194>
- Vigier, F., Coutanceau, C., Perrard, A., Belgsir, E. M., & Lamy, C. (2004). Development of anode catalysts for a direct ethanol fuel cell. *Journal of Applied Electrochemistry*, 34, 439-446. <https://doi.org/10.1023/B:JACH.0000016629.98535.ad>
- Zhang, Z., Liu, Q., Pan, D., Xue, Y., Liu, X., Zhao, J., Ouyang, Y., Ding, X., Xiao, S., & Yang, Q. (2023). Formation of a PVP-protected C/UO₂/Pt catalyst in a direct ethanol fuel cell. *RSC advances*, 13(23), 15910-15917. <https://doi.org/10.1039/D3RA01017A>
- Singh, B. K., & Mahapatra, S. S. (2023). Performance study of palladium modified platinum anode in direct ethanol fuel cells: A green power source. *Journal of the Indian Chemical Society*, 100(2), 100876. <https://doi.org/10.1039/D3RA01017A>
- Zhou, W., Zhou, Z., Song, S., Li, W., Sun, G., Tsiakaras, P., & Xin, Q. (2003). Pt based anode catalysts for direct ethanol fuel cells. *Applied Catalysis B: Environmental*, 46(2), 273-285. [https://doi.org/10.1016/S0926-3373\(03\)00218-2](https://doi.org/10.1016/S0926-3373(03)00218-2)

Some Applications on Spherical Indicatrices of the Helix Curve

Süleyman Şenyurt¹ , Sümeyye Gür Mazlum² 

¹Ordu University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics, Ordu

²Gümüşhane University, Kelkit Aydın Doğan Vocational School, Computer Technology, Gümüşhane

Geliş Tarihi / Received Date: 16.02.2024

Kabul Tarihi / Accepted Date: 14.06.2024

Abstract

In this study, the Frenet elements of the curves that are drawn on the unit sphere by the unit vectors obtained from linear combinations of Frenet vectors of the helix curve are calculated. Moreover, Sabban frames of these curves are created and Smarandache curves are defined. Finally, the geodesic curvatures of each Smarandache curve are calculated.

Keywords: geodesic curvature, helix curve, sabban frame, smarandache curve.

Helis Eğrisinin Küresel Göstergeleri Üzerine Bazı Uygulamalar

Öz

Bu çalışmada, helis eğrisinin Frenet vektörlerinin lineer birleşimden elde edilen birim vektörlerin birim küre üzerinde çizdikleri eğrilerin Frenet elemanları hesaplanmıştır. Dahası bu eğrilere ait Sabban çatıları oluşturularak Smarandache eğrileri tanımlanmıştır. Son olarak bu Smarandache eğrilerinin geodezik eğrilikleri hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Geodezik eğrilik, helis eğrisi, Sabban çatısı, Smarandache eğrisi.

Introduction

When the Frenet vectors of a differentiable curve are taken as position vectors, the regular curves that are drawn by these vectors are called Smarandache curves (Taşköprü & Tosun, 2014). Some properties of Smarandache curves obtained by using different frames and different curves were examined (Aliç & Yılmaz, 2021; Ali, 2010; Bektaş & Yüce, 2013; Çetin et al., 2014; Çetin & Kocayığıt, 2013; Şenyurt, 2018; Şenyurt & Canlı, 2023; Şenyurt & Çalışkan, 2015; Şenyurt & Öztürk, 2018; Şenyurt & Sivas, 2013; Şenyurt et al., 2019; Şenyurt et al., 2020; Şenyurt et al., 2022; Şenyurt et al., 2023a; Şenyurt et al., 2023b; Turgut & Yılmaz, 2008). Sabban frame and geodesic curvature of spherical indicatrix curves were defined by Koenderink (1990). Later, Smarandache curves obtained from Sabban frames were defined and the geodesic curvatures of these curves were calculated. Frenet vectors and curvatures of a differentiable curve are respectively (Abbena et al., 2017; Carmo, 1976)

$$T = \frac{\alpha'}{\|\alpha'\|}, \quad N = B \wedge T, \quad B = \frac{\alpha' \wedge \alpha''}{\|\alpha' \wedge \alpha''\|}, \quad (1)$$

$$\kappa = \frac{\|\alpha' \wedge \alpha''\|}{\|\alpha'\|^3}, \quad \tau = \frac{\det(\alpha', \alpha'', \alpha''')}{\|\alpha' \wedge \alpha''\|^2}. \quad (2)$$

Let $\Gamma = \gamma'$ be the tangent vector of the unit speed spherical curve $\gamma = \gamma(s)$. The orthonormal system $\{\gamma, \Gamma, D\}$ is called Sabban frame, where $D = \gamma \wedge \Gamma$ (Koenderink, 1990). According to this frame, the Sabban formulas and geodesic curvature of the curve are as follows (Koenderink, 1990; Taşköprü & Tosun, 2014):

$$\begin{aligned} \gamma' &= \Gamma, \quad \Gamma' = -\gamma + K_g D, \quad D' = -K_g \Gamma, \\ K_g &= \langle \Gamma', D \rangle \end{aligned} \quad (3)$$

If the velocity vector of a curve makes a constant angle with a fixed direction, the curve is called a helix curve, and the constant direction is called the axis of the helix. For any curve to be a helix, a necessary and sufficient condition is that the ratio of its curvatures is constant. For example, Frenet vectors, curvatures and Frenet formulas of the helix curve $\alpha(t) = (\cos t, \sin t, t)$ are as follows (Gür Mazlum, 2023; Şenyurt & Gür Mazlum, 2023):

$$T(t) = \frac{(-\sin t, \cos t, 1)}{\sqrt{2}}, \quad N(t) = -(\cos t, \sin t, 0), \quad B(t) = \frac{(\sin t, -\cos t, 1)}{\sqrt{2}}, \quad (4)$$

$$\kappa = \tau = \frac{1}{2},$$

$$T'(t) = \frac{1}{\sqrt{2}}(-\cos t, -\sin t, 0), \quad N'(t) = (\sin t, -\cos t, 0), \quad B'(t) = \frac{1}{\sqrt{2}}(\cos t, \sin t, 0).$$

Some Applications on Spherical Indicatrices of the Helix Curve

The unit vector written as the linear combination of the Frenet vectors of the helix curve is

$$\Gamma = \frac{xT + yN + zB}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}, \quad x, y, z \in \mathbb{R}. \quad (5)$$

When the vector Γ in (5) is taken as the position vector, let the resulting curve be denoted by β .

- i. If $y = z = 0, x = 1$ is taken, $\Gamma = T$ is gotten. In this case, the curve β is the T – tangent indicatrix curve. This situation has been examined before (Şenyurt and Gür Mazlum, 2023).
- ii. If $x = z = 0, y = 1$ is taken, $\Gamma = N$ is gotten. In this case, the curve β is the N – principal normal indicatrix curve.
- iii. If $x = y = 0, z = 1$ is taken, $\Gamma = B$ is gotten. In this case, the curve β is the B – binormal indicatrix curve.
- iv. If $x = y = 1, z = 0$ is taken, $\Gamma = \frac{T+N}{\sqrt{2}}$ is gotten. In this case, the curve β is the TN – indicatrix curve.
- v. If $x = z = 1, y = 0$ is taken, $\Gamma = \frac{T+B}{\sqrt{2}}$ is gotten. In this case, the curve β is a fixed point.
- vi. If $y = z = 1, x = 0$ is taken, $\Gamma = \frac{N+B}{\sqrt{2}}$ is gotten. In this case, the curve β is the NB – indicatrix curve.
- vii. If $x = y = z = 1$ is taken, $\Gamma = \frac{T+N+B}{\sqrt{3}}$ is gotten. In this case, the curve β is the TNB – indicatrix curve.

N – Principal Normal Indicatrix Curve

Theorem 1. The Frenet vectors T_N, N_N, B_N and curvatures κ_N, τ_N of the principal normal indicatrix curve β are as follows:

$$T_N = \frac{-T+B}{\sqrt{2}}, \quad N_N = -N, \quad B_N = \frac{T+B}{\sqrt{2}}, \quad \kappa_N = 1, \quad \tau_N = 0. \quad (6)$$

Proof: If the first, second and third derivatives of the curve β are taken and the necessary operations are performed,

$$\beta' = \frac{-T+B}{\sqrt{2}}, \quad \beta'' = -N, \quad \beta''' = \frac{T-B}{2\sqrt{2}}, \quad \beta' \wedge \beta'' = \frac{T+B}{2\sqrt{2}},$$

$$\|\beta'\| = 1, \quad \|\beta' \wedge \beta''\| = \frac{1}{2}, \quad \det(\beta', \beta'', \beta''') = 0$$

are obtained. From (1) and (2), the vectors in (6) are obtained.

Let $\{\beta, T_N, D_N = \beta \wedge T_N\}$ be the Sabban frame of the principal normal indicatrix curve β . So, these vectors and their derivatives are obtained as follows:

$$\beta = N, \quad T_N = \frac{-T+B}{\sqrt{2}}, \quad D_N = \frac{T+B}{\sqrt{2}}, \quad (7)$$

$$\beta' = \frac{-T+B}{\sqrt{2}}, \quad T'_N = -N, \quad D'_N = 0.$$

Definition 2. Let $\{\beta, T_N, D_N\}$ be the Sabban frame of the spherical curve that are drawn by the principal normal indicatrix curve β on unit sphere. The regular curve that are drawn by the vector

$$\Delta_1 = \frac{1}{\sqrt{2}}(\beta + T_N)$$

is called the Δ_1 – Smarandache curve, (Figure 1). From (7),

$$\Delta_1 = \frac{-T + \sqrt{2}N + B}{2} \quad (8)$$

is gotten.

Theorem 3. The geodesic curvature $K_g^{\Delta_1}$ of the Δ_1 – Smarandache curve is as follows:

$$K_g^{\Delta_1} = 0.$$

Proof: From (1) and (8), the tangent vector T_{Δ_1} of Δ_1 – Smarandache curve is as follows:

$$T_{\Delta_1} = \frac{-T - \sqrt{2}N + B}{2}. \quad (9)$$

So, by the cross product of the vectors Δ_1 and T_{Δ_1} in (8) and (9),

$$\Delta_1 \wedge T_{\Delta_1} = \frac{T + B}{\sqrt{2}}$$

is gotten. If the derivative of the vector T_{Δ_1} is taken,

$$T_{\Delta_1}' = \frac{T - \sqrt{2}N - B}{2}$$

is obtained. From (3) and (4), the proof is completed.

Definition 4. Let $\{\beta, T_N, D_N\}$ be the Sabban frame of the spherical curve that are drawn by the principal normal indicatrix curve β on unit sphere. The regular curve that are drawn by the vector

$$\Delta_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}(\beta + D_N)$$

is called the Δ_2 – Smarandache curve, (Figure 1). From (7),

$$\Delta_2 = \frac{T + \sqrt{2}N + B}{2} \quad (10)$$

is gotten.

Theorem 5. The geodesic curvature $K_g^{\Delta_2}$ of the Δ_2 – Smarandache curve is as follows:

$$K_g^{\Delta_2} = \frac{1}{\sqrt{2}}.$$

Proof: From (1) and (10), the tangent vector T_{Δ_2} of Δ_2 – Smarandache curve is as follows:

$$T_{\Delta_2} = \frac{-T + B}{\sqrt{2}}. \quad (11)$$

So, by the cross product of the vectors Δ_2 and T_{Δ_2} in (10) and (11),

$$\Delta_2 \wedge T_{\Delta_2} = \frac{T - \sqrt{2}N - B}{2}$$

is gotten. If the derivative of the vector T_{Δ_2} is taken,

$$T'_{\Delta_2} = -N$$

is obtained. From (3) and (4), the proof is completed.

Definition 6. Let $\{\beta, T_N, D_N\}$ be the Sabban frame of the spherical curve that are drawn by the principal normal indicatrix curve β on unit sphere. The regular curve that are drawn by the vector

$$\Delta_3 = \frac{1}{\sqrt{2}}(T_N + D_N)$$

is called the Δ_3 – Smarandache curve, (Figure 1). From (7),

$$\Delta_3 = B \tag{12}$$

is gotten.

Theorem 7. The geodesic curvature $K_g^{\Delta_3}$ of the Δ_3 – Smarandache curve is as follows:

$$K_g^{\Delta_3} = \frac{1}{\sqrt{2}}.$$

Proof: From (1) and (12), the tangent vector T_{Δ_3} of Δ_3 – Smarandache curve is as follows:

$$T_{\Delta_3} = -N. \tag{13}$$

So, by the cross product of the vectors Δ_3 and T_{Δ_3} in (12) and (13),

$$\Delta_3 \wedge T_{\Delta_3} = T$$

is gotten. If the derivative of the vector T_{Δ_3} is taken,

$$T'_{\Delta_3} = \frac{T - B}{\sqrt{2}}$$

is obtained. From (3) and (4), the proof is completed.

Definition 8. Let $\{\beta, T_N, D_N\}$ be the Sabban frame of the spherical curve that are drawn by the principal normal indicatrix curve β on unit sphere. The regular curve that are drawn by the vector

$$\Delta_4 = \frac{1}{\sqrt{3}}(\beta + T_N + D_N)$$

is called the Δ_4 – Smarandache curve, (Figure 1). From (7),

$$\Delta_4 = \frac{\sqrt{2}N + B}{\sqrt{3}} \tag{14}$$

is gotten.

Theorem 9. The geodesic curvature $K_g^{\Delta_4}$ of the Δ_4 – Smarandache curve is as follows:

$$K_g^{\Delta_4} = \frac{\sqrt{2} + 1}{\sqrt{3}}.$$

Proof: From (1) and (14), the tangent vector T_{Δ_4} of Δ_4 – Smarandache curve is as follows:

$$T_{\Delta_4} = \frac{-T - \sqrt{2}N + B}{2}. \tag{15}$$

So, by the cross product of the vectors Δ_4 and T_{Δ_4} in (14) and (15),

$$\Delta_4 \wedge T_{\Delta_4} = \frac{3\sqrt{2}T - 2N + \sqrt{2}B}{2\sqrt{3}}$$

is gotten. If the derivative of the vector T_{Δ_4} is taken,

$$T'_{\Delta_4} = \frac{T - \sqrt{2}N - B}{2}$$

is obtained. From (3) and (4), the proof is completed.

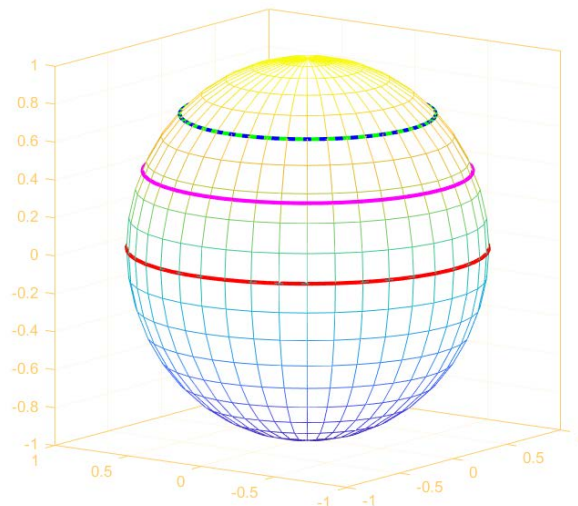


Figure 1. Δ_1 (red) , Δ_2 (blue) , Δ_3 (green) and Δ_4 (magenta) – Smarandache Curves on the Unit Sphere

B - Binormal Indicatrix Curve

Theorem 10. The Frenet vectors T_B, N_B, B_B and curvatures κ_B, τ_B of the binormal indicatrix curve β are as follows:

$$T_B = -N, \quad N_B = \frac{-T + B}{\sqrt{2}}, \quad B_B = \frac{T + B}{\sqrt{2}}, \quad \kappa_B = \sqrt{2}, \quad \tau_B = 0.$$

Proof: If the first, second and third derivatives of the curve β are taken and the necessary operations are performed,

$$\beta' = \frac{-N}{\sqrt{2}}, \quad \beta'' = \frac{T - B}{2}, \quad \beta''' = \frac{N}{\sqrt{2}}, \quad \beta' \wedge \beta'' = \frac{T + B}{2\sqrt{2}},$$

$$\|\beta'\| = \frac{1}{\sqrt{2}}, \quad \|\beta' \wedge \beta''\| = \frac{1}{2}, \quad \det(\beta', \beta'', \beta''') = 0,$$

are obtained. From (1) and (2), the proof is completed.

Let $\{\beta, T_B, D_B = \beta \wedge T_B\}$ be the Sabban frame of the binormal indicatrix curve β . So, these vectors and their derivatives are obtained as follows:

$$\beta = B, \quad T_B = -N, \quad D_B = T, \quad (16)$$

$$\beta' = \frac{-N}{\sqrt{2}}, \quad T_B' = \frac{T-B}{\sqrt{2}}, \quad D_B' = \frac{N}{\sqrt{2}}.$$

Definition 11. Let $\{\beta, T_B, D_B\}$ be the Sabban frame of the spherical curve that are drawn by the binormal indicatrix curve β on the unit sphere. The regular curve that are drawn by the vector

$$\zeta_1 = \frac{1}{\sqrt{2}}(\beta + T_B)$$

is called the ζ_1 – Smarandache curve, (Figure 2). From (16),

$$\zeta_1 = \frac{-N + B}{\sqrt{2}} \quad (17)$$

is gotten.

Theorem 12. The geodesic curvature $K_g^{\zeta_1}$ of the ζ_1 – Smarandache curve is as follows:

$$K_g^{\zeta_1} = \frac{3}{\sqrt{10}}.$$

Proof: From (1) and (17), the tangent vector T_{ζ_1} of ζ_1 – Smarandache curve is as follows:

$$T_{\zeta_1} = \frac{-T + 2B}{\sqrt{5}}. \quad (18)$$

So, by the cross product of the vectors ζ_1 and T_{ζ_1} in (17) and (18),

$$\zeta_1 \wedge T_{\zeta_1} = \frac{-2T - N - B}{\sqrt{10}}$$

is gotten. If the derivative of the vector T_{ζ_1} is taken,

$$T_{\zeta_1}' = \frac{-3N}{\sqrt{10}}$$

is obtained. From (3) and (4), the proof is completed.

Definition 13. Let $\{\beta, T_B, D_B\}$ be the Sabban frame of the spherical curve that are drawn by the binormal indicatrix curve β on unit sphere. The regular curve that are drawn by the vector

$$\zeta_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}(\beta + D_B)$$

is called the ζ_2 – Smarandache curve, (Figure 2). From (16),

$$\zeta_2 = \frac{T + B}{\sqrt{2}} \quad (19)$$

is gotten.

Theorem 14. The geodesic curvature $K_g^{\zeta_2}$ of the ζ_2 – Smarandache curve is as follows:

$$K_g^{\zeta_2} = 0.$$

Proof: From (1) and (19), the tangent vector T_{ζ_2} of ζ_2 – Smarandache curve is as follows:

$$T_{\zeta_2} = 0. \quad (20)$$

So, by the cross product of the vectors ζ_2 and T_{ζ_2} in (19) and (20),

$$\zeta_2 \wedge T_{\zeta_2} = 0$$

is gotten. From (3) and (4), the proof is completed.

Definition 15. Let $\{\beta, T_B, D_B\}$ be the Sabban frame of the spherical curve that are drawn by the binormal indicatrix curve β on unit sphere. The regular curve that are drawn by the vector

$$\zeta_3 = \frac{1}{\sqrt{2}}(T_B + D_B)$$

is called the ζ_3 – Smarandache curve, (Figure 2). From (16),

$$\zeta_3 = \frac{T - N}{\sqrt{2}} \quad (21)$$

is gotten.

Theorem 16. The geodesic curvature $K_g^{\zeta_3}$ of the ζ_3 – Smarandache curve is as follows:

$$K_g^{\zeta_3} = \frac{1}{3}.$$

Proof: From (1) and (21), the tangent vector T_{ζ_3} of ζ_3 – Smarandache curve is as follows:

$$T_{\zeta_3} = \frac{T + N - B}{\sqrt{3}}. \quad (22)$$

So, by the cross product of the vectors ζ_3 and T_{ζ_3} in (21) and (22),

$$\zeta_3 \wedge T_{\zeta_3} = \frac{T + N + 2B}{\sqrt{6}}$$

is gotten. If the derivative of the vector T_{ζ_3} is taken,

$$T'_{\zeta_3} = \frac{-T + N + B}{\sqrt{6}}$$

is obtained. From (3) and (4), the proof is completed.

Definition 17. Let $\{\beta, T_B, D_B\}$ be the Sabban frame of the spherical curve that are drawn by the binormal indicatrix curve β on unit sphere. The regular curve that are drawn by the vector

$$\zeta_4 = \frac{1}{\sqrt{3}}(\beta + T_B + D_B)$$

is called the ζ_4 – Smarandache curve, (Figure 2). From (16),

$$\zeta_4 = \frac{T - N + B}{\sqrt{3}} \tag{23}$$

is gotten.

Theorem 18. The geodesic curvature $K_g^{\zeta_4}$ of the ζ_4 – Smarandache curve is as follows:

$$K_g^{\zeta_4} = \frac{1}{3}.$$

Proof: From (1) and (23), the tangent vector T_{ζ_4} of ζ_4 – Smarandache curve is as follows:

$$T_{\zeta_4} = \frac{T - B}{\sqrt{6}}. \tag{24}$$

So, by the cross product of the vectors ζ_4 and T_{ζ_4} in (23) and (24),

$$\zeta_4 \wedge T_{\zeta_4} = \frac{T - 2N + B}{3\sqrt{2}}$$

is gotten. If the derivative of the vector T_{ζ_4} is taken,

$$T'_{\zeta_4} = \frac{N}{\sqrt{3}}$$

is obtained. From (3) and (4), the proof is completed.

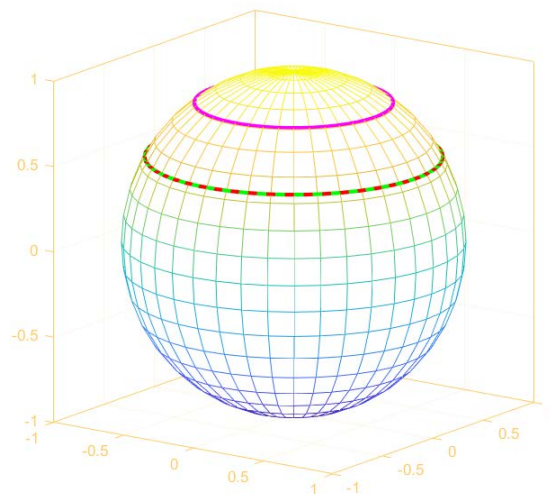


Figure 2. ζ_1 (red), ζ_3 (green) and ζ_4 (magenta) – Smarandache Curves on the Unit Sphere.

TN – Indicatrix Curve

Theorem 19. The Frenet vectors T_{TN}, N_{TN}, B_{TN} and curvatures κ_{TN}, τ_{TN} of the TN – indicatrix curve β are as follows:

$$T_{TN} = \frac{-T + N + B}{\sqrt{3}}, \quad N_{TN} = \frac{-T - 2N + B}{\sqrt{6}}, \quad B_{TN} = \frac{T + B}{\sqrt{2}}, \quad \kappa_{TN} = \frac{4}{3}, \quad \tau_{TN} = 0.$$

Proof: If the first, second and third derivatives of the curve β are taken and the necessary operations are performed,

$$\beta' = \frac{-T + N + B}{2}, \quad \beta'' = \frac{-T - 2N + B}{2\sqrt{2}}, \quad \beta''' = \frac{T - N - B}{2}, \quad \beta' \wedge \beta'' = \frac{3}{4\sqrt{2}}(T + B),$$

$$\|\beta'\| = \frac{\sqrt{3}}{2}, \quad \|\beta' \wedge \beta''\| = \frac{3}{4}, \quad \det(\beta', \beta'', \beta''') = 0,$$

are obtained. From (1) and (2), the proof is completed.

Let $\{\beta, T_{TN}, D_{TN} = \beta \wedge T_{TN}\}$ be the Sabban frame of the TN – indicatrix curve β . So, these vectors and their derivatives are obtained as follows:

$$\beta = \frac{T + N}{\sqrt{2}}, \quad T_{TN} = \frac{-T + N + B}{\sqrt{3}}, \quad D_{TN} = \frac{T - N + 2B}{\sqrt{6}} \quad (25)$$

$$\beta' = \frac{-T + N + B}{2}, \quad T'_{TN} = \frac{-T - 2N + B}{\sqrt{6}}, \quad D'_{TN} = \frac{T - N - B}{2\sqrt{3}}.$$

Definition 20. Let $\{\beta, T_{TN}, D_{TN}\}$ be the Sabban frame of the spherical curve that are drawn by the TN – indicatrix curve β on unit sphere. The regular curve that are drawn by the vector

$$\partial_1 = \frac{1}{\sqrt{2}}(\beta + T_{TN})$$

is called the ∂_1 – Smarandache curve, (Figure 3). From (25),

$$\partial_1 = \frac{(\sqrt{3} - \sqrt{2})T + (\sqrt{3} + \sqrt{2})N + \sqrt{2}B}{2\sqrt{3}} \quad (26)$$

is gotten.

Theorem 21. The geodesic curvature $K_g^{\partial_1}$ of the ∂_1 – Smarandache curve is as follows:

$$K_g^{\partial_1} = \frac{\sqrt{3} + 14\sqrt{2}}{42}.$$

Proof: From (1) and (26), the tangent vector T_{∂_1} of ∂_1 – Smarandache curve is as follows:

$$T_{\partial_1} = \frac{-(\sqrt{6} + 2)T + (\sqrt{6} - 4)N + (\sqrt{6} + 2)B}{\sqrt{42}}. \quad (27)$$

So, by the cross product of the vectors ∂_1 and T_{∂_1} in (26) and (27),

$$\partial_1 \wedge T_{\partial_1} = \frac{(4\sqrt{3} + 6\sqrt{2})T - (3\sqrt{2} + 2\sqrt{3})N + (12\sqrt{2} - 2\sqrt{3})B}{6\sqrt{14}}$$

is gotten. If the derivative of the vector T_{∂_1} is taken,

$$T'_{\partial_1} = \frac{-(\sqrt{6} - 4)T - 2(\sqrt{6} + 2)N + (\sqrt{6} - 4)B}{2\sqrt{21}}$$

is obtained. From (3) and (4), the proof is completed.

Definition 22. Let $\{\beta, T_{TN}, D_{TN}\}$ be the Sabban frame of the spherical curve that are drawn by the TN – indicatrix curve β on unit sphere. The regular curve that are drawn by the vector

$$\partial_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}(\beta + D_{TN})$$

is called the ∂_2 – Smarandache curve, (Figure 3). From (25),

$$\partial_2 = \frac{(\sqrt{3}+1)T + (\sqrt{3}-1)N + 2B}{2\sqrt{3}} \quad (28)$$

is gotten.

Theorem 23. The geodesic curvature $K_g^{\partial_2}$ of the ∂_2 – Smarandache curve is as follows:

$$K_g^{\partial_2} = \frac{\sqrt{2} + \sqrt{6}}{4}$$

Proof: From (1) and (28), the tangent vector T_{∂_2} of ∂_2 – Smarandache curve is as follows:

$$T_{\partial_2} = \frac{-T + N + B}{\sqrt{3}}. \quad (29)$$

So, by the cross product of the vectors ∂_2 and T_{∂_2} in (28) and (29),

$$\partial_2 \wedge T_{\partial_2} = \frac{(\sqrt{3}-3)T - (\sqrt{3}+3)N + 2\sqrt{3}B}{6}$$

is gotten. If the derivative of the vector T_{∂_2} is taken,

$$T'_{\partial_2} = \frac{-T - 2N + B}{\sqrt{6}}$$

is obtained. From (3) and (4), the proof is completed.

Definition 24. Let $\{\beta, T_{TN}, D_{TN}\}$ be the Sabban frame of the spherical curve that are drawn by the TN – indicatrix curve β on unit sphere. The regular curve that are drawn by the vector

$$\partial_3 = \frac{1}{\sqrt{2}}(T_{TN} + D_{TN})$$

is called the ∂_3 – Smarandache curve, (Figure 3). From (25),

$$\partial_3 = \frac{(1-\sqrt{2})T + (\sqrt{2}-1)N + (\sqrt{2}+2)B}{2\sqrt{3}} \quad (30)$$

is gotten.

Theorem 25. The geodesic curvature $K_g^{\partial_3}$ of the ∂_3 – Smarandache curve is as follows:

$$K_g^{\partial_3} = \frac{4\sqrt{3} + \sqrt{6}}{10}.$$

Proof: From (1) and (30), the tangent vector T_{∂_3} of ∂_3 – Smarandache curve is as follows:

$$T_{\partial_3} = \frac{(1-\sqrt{2})T - (2\sqrt{2}+1)N + (\sqrt{2}-1)B}{\sqrt{15}}. \quad (31)$$

So, by the cross product of the vectors ∂_3 and T_{∂_3} in (30) and (31),

$$\partial_3 \wedge T_{\partial_3} = \frac{(3-\sqrt{2})T + (1-\sqrt{2})N + (2-\sqrt{2})B}{2\sqrt{5}}$$

is gotten. If the derivative of the vector T_{∂_3} is taken,

$$T'_{\partial_3} = \frac{(4+\sqrt{2})T + (2\sqrt{2}-4)N - (4+\sqrt{2})B}{2\sqrt{15}}$$

is obtained. From (3) and (4), the proof is completed.

Definition 26. Let $\{\beta, T_{TN}, D_{TN}\}$ be the Sabban frame of the spherical curve that are drawn by the TN – indicatrix curve β on unit sphere. The regular curve that are drawn by the vector

$$\partial_4 = \frac{1}{\sqrt{3}}(\beta + T_{TN} + D_{TN})$$

is called the ∂_4 – Smarandache curve, (Figure 3). From (25),

$$\partial_4 = \frac{(\sqrt{3}-\sqrt{2}+1)T + (\sqrt{3}+\sqrt{2}-1)N + (\sqrt{2}+2)B}{3\sqrt{2}} \quad (32)$$

is gotten.

Theorem 27. The geodesic curvature $K_g^{\partial_4}$ of the ∂_4 – Smarandache curve is as follows:

$$K_g^{\partial_4} = \frac{4\sqrt{3} + \sqrt{6}}{10}.$$

Proof: From (1) and (32), the tangent vector T_{∂_4} of ∂_4 – Smarandache curve is as follows:

$$T_{\partial_4} = \frac{(-\sqrt{3}-\sqrt{2}+1)T + (\sqrt{3}-2\sqrt{2}-1)N + (\sqrt{3}+\sqrt{2}-1)B}{\sqrt{24-6\sqrt{3}}}. \quad (33)$$

So, by the cross product of the vectors ∂_4 and T_{∂_4} in (32) and (33),

$$\partial_4 \wedge T_{\partial_4} = \frac{(12+\sqrt{6}-4\sqrt{3}+\sqrt{2})T + (3+\sqrt{3})(-\sqrt{3}-\sqrt{2}+1)N + 2(-\sqrt{2}+1)(\sqrt{3}-2\sqrt{2}-1)B}{6\sqrt{12-3\sqrt{3}}}$$

is gotten. If the derivative of the vector T_{∂_4} is taken,

$$T'_{\partial_4} = \frac{-(\sqrt{3}-2\sqrt{2}-1)T + (-2\sqrt{3}-2\sqrt{2}+2)N + (\sqrt{3}-2\sqrt{2}-1)B}{2\sqrt{3}\sqrt{4-\sqrt{3}}}$$

is obtained. From (3) and (4), the proof is completed.

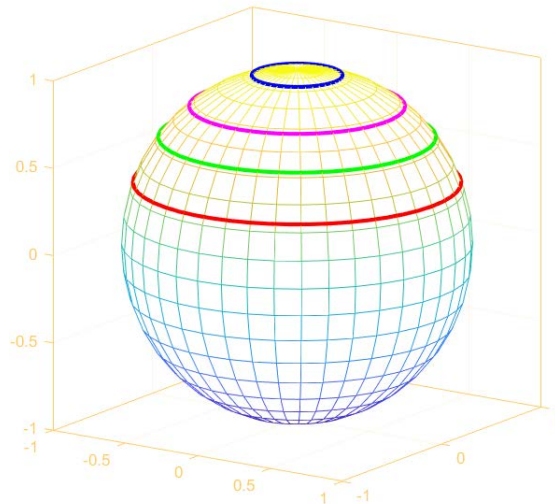


Figure 3. ∂_1 (red), ∂_2 (blue), ∂_3 (green) and ∂_4 (magenta) – Smarandache Curves on the Unit Sphere

NB - Indicatrix Curve

Theorem 28. The Frenet vectors T_{NB}, N_{NB}, B_{NB} and curvatures κ_{NB}, τ_{NB} of the NB – indicatrix curve β are as follows:

$$T_{NB} = \frac{-T - N + B}{\sqrt{3}}, \quad N_{NB} = \frac{5T - 4N + B}{\sqrt{42}}, \quad B_{NB} = \frac{T + 2N + 3B}{\sqrt{14}}, \quad \kappa_{NB} = \frac{2\sqrt{21}}{9}, \quad \tau_{NB} = 0.$$

Proof: If the first, second and third derivatives of the curve β are taken and the necessary operations are performed,

$$\beta' = \frac{-T - N + B}{2}, \quad \beta'' = \frac{T - 2N + B}{2\sqrt{2}}, \quad \beta''' = \frac{T + N - B}{2}, \quad \beta' \wedge \beta'' = \frac{1}{4\sqrt{2}}(T + 2N + 3B),$$

$$\|\beta'\| = \frac{\sqrt{3}}{2}, \quad \|\beta' \wedge \beta''\| = \frac{\sqrt{7}}{4}, \quad \det(\beta', \beta'', \beta''') = 0,$$

are obtained. From (1) and (2), the proof is completed.

Let $\{\beta, T_{NB}, D_{NB} = \beta \wedge T_{NB}\}$ be the Sabban frame of the NB – indicatrix curve β . So, these vectors and their derivatives are obtained as follows:

$$\beta = \frac{N + B}{\sqrt{2}}, \quad T_{NB} = \frac{-T - N + B}{\sqrt{3}}, \quad D_{NB} = \frac{2T - N + B}{\sqrt{6}} \tag{34}$$

$$\beta' = \frac{-T - N + B}{2}, \quad T'_{NB} = \frac{T - 2N - B}{\sqrt{6}}, \quad D'_{NB} = \frac{T + N - B}{2\sqrt{3}}.$$

Definition 29. Let $\{\beta, T_{NB}, D_{NB}\}$ be the Sabban frame of the spherical curve that are drawn by the NB – indicatrix curve β on unit sphere. The regular curve that are drawn by the vector

$$\pi_1 = \frac{1}{\sqrt{2}}(\beta + T_{NB})$$

is called the π_1 – Smarandache curve, (Figure 4). From (34),

$$\pi_1 = \frac{\sqrt{2}T + (\sqrt{3} - \sqrt{2})N + (\sqrt{3} + \sqrt{2})B}{2\sqrt{3}} \quad (35)$$

is gotten.

Theorem 30. The geodesic curvature $K_g^{\pi_1}$ of the π_1 – Smarandache curve is as follows:

$$K_g^{\pi_1} = \frac{3 + 2\sqrt{6}}{6}.$$

Proof: From (1) and (35), the tangent vector T_{π_1} of π_1 – Smarandache curve is as follows:

$$T_{\pi_1} = \frac{(2 - \sqrt{6})T - (\sqrt{6} + 4)N - (2 - \sqrt{6})B}{\sqrt{42}}. \quad (36)$$

So, by the cross product of the vectors π_1 and T_{π_1} in (35) and (36),

$$\pi_1 \wedge T_{\pi_1} = \frac{(12\sqrt{2} + 2\sqrt{3})T + (\sqrt{2} - 2\sqrt{3})N + (\sqrt{2} - 6\sqrt{3})B}{6\sqrt{7}}$$

is gotten. If the derivative of the vector T_{π_1} is taken,

$$T_{\pi_1}' = \frac{(4 + \sqrt{6})T + (4 - 2\sqrt{6})N - (4 + \sqrt{6})B}{2\sqrt{21}}$$

is obtained. From (3) and (4), the proof is completed.

Definition 31. Let $\{\beta, T_{NB}, D_{NB}\}$ be the Sabban frame of the spherical curve that are drawn by the NB – indicatrix curve β on unit sphere. The regular curve that are drawn by the vector

$$\pi_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}(\beta + D_{NB})$$

is called the π_2 – Smarandache curve, (Figure 4). From (34),

$$\pi_2 = \frac{2T + (\sqrt{3} - 1)N + (\sqrt{3} + 1)B}{2\sqrt{3}} \quad (37)$$

is gotten.

Theorem 32. The geodesic curvature $K_g^{\pi_2}$ of the π_2 – Smarandache curve is as follows:

$$K_g^{\pi_2} = \frac{1 + \sqrt{3}}{12}.$$

Proof: From (1) and (37), the tangent vector T_{π_2} of π_2 – Smarandache curve is as follows:

$$T_{\pi_2} = \frac{T - N + B}{\sqrt{3}}. \quad (38)$$

So, by the cross product of the vectors π_2 and T_{π_2} in (37) and (38),

$$\pi_2 \wedge T_{\pi_2} = \frac{2T + (\sqrt{3} + 3)N - (\sqrt{3} + 1)B}{6}$$

is gotten. If the derivative of the vector T_{π_2} is taken,

$$T_{\pi_2}' = \frac{T - B}{2\sqrt{3}}$$

is obtained. From (3) and (4), the proof is completed.

Definition 33. Let $\{\beta, T_{NB}, D_{NB}\}$ be the Sabban frame of the spherical curve that are drawn by the NB – indicatrix curve β on the unit sphere. The regular curve drawn that are by the vector

$$\pi_3 = \frac{1}{\sqrt{2}}(T_{NB} + D_{NB})$$

is called the π_3 – Smarandache curve, (Figure 4). From (34),

$$\pi_3 = \frac{(2 - \sqrt{2})T - (1 + \sqrt{2})N + (1 + \sqrt{2})B}{2\sqrt{3}} \quad (39)$$

is gotten.

Theorem 34. The geodesic curvature $K_g^{\pi_3}$ of the π_3 – Smarandache curve is as follows:

$$K_g^{\pi_3} = \frac{19 - 13\sqrt{2}}{60\sqrt{3}}.$$

Proof: From (1) and (39), the tangent vector T_{π_3} of π_3 – Smarandache curve is as follows:

$$T_{\pi_3} = \frac{(1 + \sqrt{2})T + (1 - 2\sqrt{2})N - (1 + \sqrt{2})B}{\sqrt{15}}. \quad (40)$$

So, by the cross product of the vectors π_3 and T_{π_3} in (39) and (40),

$$\pi_3 \wedge T_{\pi_3} = \frac{2(3 + \sqrt{2})T - \sqrt{2}N + 3(3 - \sqrt{2})B}{6\sqrt{5}}$$

is gotten. If the derivative of the vector T_{π_3} is taken,

$$T_{\pi_3}' = \frac{(2\sqrt{2} - 1)T + 2(1 + \sqrt{2})N + (1 - 2\sqrt{2})B}{2\sqrt{15}}$$

is obtained. From (3) and (4), the proof is completed.

Definition 35. Let $\{\beta, T_{NB}, D_{NB}\}$ be the Sabban frame of the spherical curve that are drawn by the NB – indicatrix curve β on unit sphere. The regular curve that are drawn by the vector

$$\pi_4 = \frac{1}{\sqrt{3}}(\beta + T_{NB} + D_{NB})$$

is called the π_4 – Smarandache curve, (Figure 4). From (34),

$$\pi_4 = \frac{(2-\sqrt{2})T + (\sqrt{3}-\sqrt{2}-1)N + (\sqrt{3}+\sqrt{2}+1)B}{3\sqrt{2}} \quad (41)$$

is gotten.

Theorem 36. The geodesic curvature $K_g^{\pi_4}$ of the π_4 – Smarandache curve is as follows:

$$K_g^{\pi_4} = \frac{19 + 3\sqrt{3} + 2\sqrt{2}}{18(4-\sqrt{3})}.$$

Proof: From (1) and (41), the tangent vector T_{π_4} of π_4 – Smarandache curve is as follows:

$$T_{\pi_4} = \frac{(1-\sqrt{3}+\sqrt{2})T + (1-2\sqrt{2}-\sqrt{3})N + (\sqrt{3}-\sqrt{2}-1)B}{\sqrt{24-6\sqrt{3}}}. \quad (42)$$

So, by the cross product of the vectors π_4 and T_{π_4} in (41) and (42),

$$\pi_4 \wedge T_{\pi_4} = \frac{(12+\sqrt{6}-2\sqrt{3}-\sqrt{2})T + (\sqrt{6}-2\sqrt{3}+3\sqrt{2})N + (12-\sqrt{6}-4\sqrt{3}-3\sqrt{2})B}{6\sqrt{12-3\sqrt{3}}}$$

is gotten. If the derivative of the vector T_{π_4} is taken,

$$T_{\pi_4}' = \frac{(2\sqrt{2}+\sqrt{3}-1)T + 2(1-\sqrt{3}+\sqrt{2})N + (1-2\sqrt{2}-\sqrt{3})B}{2\sqrt{12-3\sqrt{3}}}$$

is obtained. From (3) and (4), the proof is completed.

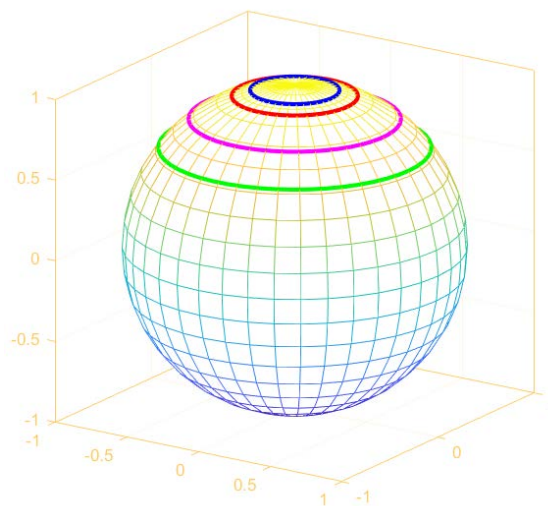


Figure 4. π_1 (red), π_2 (blue), π_3 (green) and π_4 (magenta) – Smarandache Curves on the Unit Sphere

TNB - Indicatrix Curve

Theorem 37. The Frenet vectors $T_{TNB}, N_{TNB}, B_{TNB}$ and curvatures κ_{TNB}, τ_{TNB} of the TNB – indicatrix curve β are as follows:

$$T_{TNB} = \frac{-T+B}{\sqrt{3}}, \quad N_{TNB} = -\frac{2N}{\sqrt{6}}, \quad B_{TNB} = \frac{T+B}{\sqrt{2}}, \quad \kappa_{TNB} = \sqrt{3}, \quad \tau_{TNB} = 0.$$

Proof: If the first, second and third derivatives of the curve β are taken and the necessary operations are performed,

$$\beta' = \frac{-T+B}{\sqrt{6}}, \quad \beta'' = \frac{-N}{\sqrt{3}}, \quad \beta''' = \frac{T-B}{\sqrt{6}}, \quad \beta' \wedge \beta'' = \frac{1}{3\sqrt{2}}(T+B),$$

$$\|\beta'\| = \frac{1}{\sqrt{3}}, \quad \|\beta' \wedge \beta''\| = \frac{1}{3}, \quad \det(\beta', \beta'', \beta''') = 0$$

are obtained. From (1) and (2), the proof is completed.

Let $\{\beta, T_{TNB}, D_{TNB} = \beta \wedge T_{TNB}\}$ be the Sabban frame of the TNB - indicatrix curve β . So, these vectors and their derivatives are obtained as follows:

$$\beta = \frac{T+N+B}{\sqrt{3}}, \quad T_{TNB} = \frac{-T+B}{\sqrt{2}}, \quad D_{NB} = \frac{T-2N+B}{\sqrt{6}} \quad (43)$$

$$\beta' = \frac{-T+B}{\sqrt{6}}, \quad T'_{TNB} = -N, \quad D'_{NB} = \frac{-T+B}{\sqrt{3}}.$$

Definition 38. Let $\{\beta, T_{TNB}, D_{TNB}\}$ be the Sabban frame of the spherical curve that are drawn by the TNB - indicatrix curve β on the unit sphere. The regular curve that are drawn by the vector

$$\chi_1 = \frac{1}{\sqrt{2}}(\beta + T_{TNB})$$

is called the χ_1 - Smarandache curve, (Figure 5). From (43),

$$\chi_1 = \frac{(\sqrt{2}-\sqrt{3})T + \sqrt{2}N + (\sqrt{2}+\sqrt{3})B}{2\sqrt{3}} \quad (44)$$

is gotten.

Theorem 39. The geodesic curvature $K_g^{\chi_1}$ of the χ_1 - Smarandache curve is as follows:

$$K_g^{\chi_1} = \frac{\sqrt{3}}{3}.$$

Proof: From (1) and (44), the tangent vector T_{χ_1} of χ_1 - Smarandache curve is as follows:

$$T_{\chi_1} = \frac{-\sqrt{2}T - 2\sqrt{3}N + \sqrt{2}B}{4}. \quad (45)$$

So, by the cross product of the vectors χ_1 and T_{χ_1} in (44) and (45),

$$\chi_1 \wedge T_{\chi_1} = \frac{(\sqrt{6}+4)T - 2N - (\sqrt{6}-4)B}{4\sqrt{3}}$$

is gotten. If the derivative of the vector T_{χ_1} is taken,

$$T_{\chi_1}' = \frac{\sqrt{6}T - 2N - \sqrt{6}B}{4}$$

is obtained. From (3) and (4), the proof is completed.

Definition 40. Let $\{\beta, T_{TNB}, D_{TNB}\}$ be the Sabban frame of the spherical curve that are drawn by the TNB – indicatrix curve β on the unit sphere. The regular curve that are drawn by the vector

$$\chi_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}(\beta + D_{TNB})$$

is called the χ_2 – Smarandache curve, (Figure 5). From (43),

$$\chi_2 = \frac{(\sqrt{2} + 1)T + (\sqrt{2} - 2)N + (\sqrt{2} + 1)B}{2\sqrt{3}} \quad (46)$$

is gotten.

Theorem 41. The geodesic curvature $K_g^{\chi_2}$ of the χ_2 – Smarandache curve is as follows:

$$K_g^{\chi_2} = \frac{\sqrt{2} + 2}{\sqrt{3}}.$$

Proof: From (1) and (46), the tangent vector T_{χ_2} of χ_2 – Smarandache curve is as follows:

$$T_{\chi_2} = \frac{-T + B}{\sqrt{2}}. \quad (47)$$

So, by the cross product of the vectors χ_2 and T_{χ_2} in (46) and (47),

$$\chi_2 \wedge T_{\chi_2} = \frac{(\sqrt{2} - 2)T - 2(\sqrt{2} + 1)N + (\sqrt{2} - 2)B}{2\sqrt{6}}$$

is gotten. If the derivative of the vector T_{χ_2} is taken,

$$T_{\chi_2}' = -N$$

is obtained. From (3) and (4), the proof is completed.

Definition 42. Let $\{\beta, T_{TNB}, D_{TNB}\}$ be the Sabban frame of the spherical curve that are drawn by the TNB – indicatrix curve β on unit sphere. The regular curve that are drawn by the vector

$$\chi_3 = \frac{1}{\sqrt{2}}(T_{TNB} + D_{TNB})$$

is called the χ_3 – Smarandache curve, (Figure 5). From (43),

$$\chi_3 = \frac{(1 - \sqrt{3})T - 2N + (1 + \sqrt{3})B}{2\sqrt{3}} \quad (48)$$

is gotten.

Theorem 43. The geodesic curvature $K_g^{\chi_3}$ of the χ_3 – Smarandache curve is as follows:

$$K_g^{\chi_3} = \frac{5\sqrt{6}}{24}.$$

Proof: From (1) and (48), the tangent vector T_{χ_3} of χ_3 – Smarandache curve is as follows:

$$T_{\chi_3} = \frac{T - \sqrt{3}N - B}{2}. \quad (49)$$

So, by the cross product of the vectors χ_3 and T_{χ_3} in (48) and (49),

$$\chi_3 \wedge T_{\chi_3} = \frac{(5 + \sqrt{3})T + 2N + (5 - \sqrt{3})B}{4\sqrt{3}}$$

is gotten. If the derivative of the vector T_{χ_3} is taken,

$$T_{\chi_3}' = \frac{\sqrt{3}T + 2N - \sqrt{3}B}{2\sqrt{2}}$$

is obtained. From (3) and (4), the proof is completed.

Definition 44. Let $\{\beta, T_{TNB}, D_{TNB}\}$ be the Sabban frame of the spherical curve that are drawn by the TNB – indicatrix curve β on unit sphere. The regular curve that are drawn by the vector

$$\chi_4 = \frac{1}{\sqrt{2}}(\beta + T_{TNB} + D_{TNB})$$

is called the χ_4 – Smarandache curve, (Figure 5). From (43),

$$\chi_4 = \frac{(1 + \sqrt{2} - \sqrt{3})T + (\sqrt{2} - 2)N + (1 + \sqrt{2} + \sqrt{3})B}{3\sqrt{2}} \quad (50)$$

is gotten.

Theorem 45. The geodesic curvature $K_g^{\chi_4}$ of the χ_4 – Smarandache curve is as follows:

$$K_g^{\chi_4} = \frac{(1 + \sqrt{2})}{3}.$$

Proof: From (1) and (50), the tangent vector T_{χ_4} of χ_4 – Smarandache curve is as follows:

$$T_{\chi_4} = \frac{(\sqrt{2} - 1)T - \sqrt{6}N + (1 - \sqrt{2})B}{\sqrt{12 - 4\sqrt{2}}}.$$

So, by the cross product of the vectors χ_4 and T_{χ_4} in (49) and (50),

$$\chi_4 \wedge T_{\chi_4} = \frac{(-4 + \sqrt{6} + 2\sqrt{3} + 6\sqrt{2})T + 2N + (-4 - \sqrt{6} - 2\sqrt{3} + 6\sqrt{2})B}{3\sqrt{24 - 8\sqrt{2}}}$$

is gotten. If the derivative of the vector T_{χ_4} is taken,

$$T_{\chi_4}' = \frac{\sqrt{6}T + 2(\sqrt{2} - 1)N - \sqrt{6}B}{\sqrt{24 - 8\sqrt{2}}}$$

is obtained. From (3) and (4), the proof is completed.

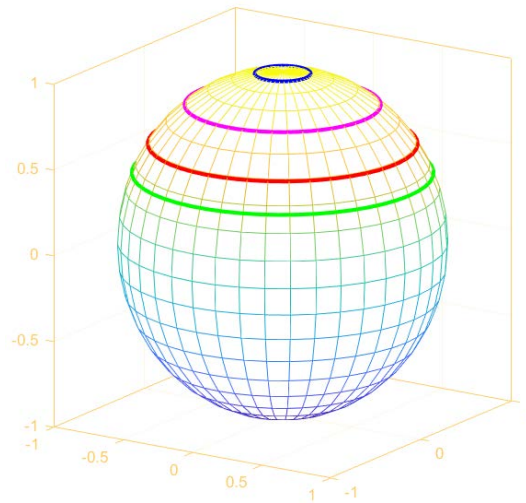


Figure 5. χ_1 (red), χ_2 (blue), χ_3 (green) and χ_4 (magenta) – Smarandache Curves on the Unit Sphere

Conclusion and Suggestions

In this study, the Frenet elements of the curves that are drawn on the unit sphere by the unit vectors obtained from the linear combination of the Frenet vectors of the helix curve were calculated and Smarandache curves were defined by creating Sabban frames of these curves. Similar studies can be done on different curves in various spaces by considering other well-known frames.

Acknowledgement

The authors would like to thank the referees who criticize the paper and the editors who contributed to the article publication process.

Author Contribution

The authors co-wrote, read and approved the manuscript.

Ethics

There are no ethical issues regarding the publication of this article.

Conflict of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

ORCID

Süleyman Şenyurt  <https://orcid.org/0000-0003-1097-5541>

Sümeyye Gür Mazlum  <https://orcid.org/0000-0003-2471-1627>

References

- Abbena, E., Salamon, S., & Gray, A. (2017). *Modern differential geometry of curves and surfaces with Mathematica*. CRC Press (3rd Edition). <https://doi.org/10.1201/9781315276038>
- Alıç, Ş., & Yılmaz, B. (2021). Smarandache Curves according to alternative frame in E^3 . *Journal of Universal Mathematics*, 4(2), 140-156. <https://doi.org/10.33773/jum.956862>

- Ali, A. T. (2010). Special smarandache curves in the euclidean space. *International Journal of Mathematical Combinatorics*, 2, 30-36. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=710cb20458012e6eb683d3e29998cd0e57325b1e>
- Bektaş Ö. and Yüce, S. (2013). Special smarandache curves according to darbox frame in E^3 . *Romanian Journal of Mathematics and Computer Science*, 3(1), 48-59. <https://arxiv.org/pdf/1203.4830>
- Çetin, M., Tunçer, Y., & Karacan, M. K. (2014). Smarandache curves according to Bishop frame in Euclidean 3-space. *Gen. Math. Notes*, 20(2), 50-66. <https://fs.unm.edu/SN/MA-SmarandacheCurvesAccordingingBishop.pdf>
- Çetin, M. and Kocayığıt, H. (2013). On the quaternionic smarandache curves in euclidean 3-space. *Int. J. Contemp. Math. Sciences*, 8(3), 139-150. <https://www.m-hikari.com/ijcms/ijcms-2013/1-4-2013/cetinIJCMS1-4-2013.pdf>
- Do Carmo, M. P. (1976). *Differential geometry of curves and surfaces*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Gür Mazlum, S. (2023). *On the evolute curves of any non unit speed curve in euclidean 3-space* [Oral presentation]. 8th Asia Pacific International Modern Sciences Congress, Iksad Institute, Delhi, India.
- Koenderink, J. (1990). *Solid Shape*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Şenyurt, S. (2018). D-smarandache curves according to the sabban frame of the spherical indicatrix curve. *Turk. J. Math. Comput. Sci.* 9, 39-49. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/610102>
- Şenyurt, S., & Canlı, D. (2023). *On the tangent indicatrix of special viviani's curve and its corresponding smarandache curves according to sabban frame* [Oral presentation]. 10th International Başkent Congress on Physical, Ankara, Türkiye.
- Şenyurt, S., & Çalışkan, A. (2015). An application according to spatial quaternionic Smarandache curve. *Appl. Math. Sci.*, 9(5), 219-228. <http://dx.doi.org/10.12988/ams.2015.411961>
- Şenyurt, S., & Öztürk, B. (2018). Smarandache Curves of Salkowski Curve According Frenet Frame. *Turkish Journal of Mathematics and Computer Science*, 10, 190-201. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/615426>
- Şenyurt, S., & Sivas, S. (2013). An application of smarandache curve. *Ordu University Journal of Science and Tecnology*, 3(1), 46-60. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ordubtd/issue/11065/132165>
- Şenyurt, S., Cevahir, C., & Altun, Y. (2019). Smarandache curves according to sabban frame belonging to mannheim curves pair. *Commun. Fac. Sci. Univ. Ank. Ser. A1 Math.*, 68(1), 500-523. <https://doi.org/10.31801/cfsuasmas.431877>
- Şenyurt, S., & Gür Mazlum, S. (2023). *Some applications on the tangent indicatrix curve of the helix* [Oral presentation]. 2nd International İzmir Congress on Life. İzmir, Türkiye.
- Şenyurt, S., Cevahir, C., & Altun, Y. (2020). On the Smarandache curves of spatial quaternionic involute curve. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section A: Physical Sciences*, 90, 827-837. <https://doi.org/10.1007/s40010-019-00640-5>
- Şenyurt, S., Canlı, D., Can, E., & Gür Mazlum, S. (2022). Some special smarandache ruled surfaces by frenet frame in E^3 -II. *Honam Mathematical Journal*, 44(4), 594-617. <https://doi.org/10.5831/HMJ.2022.44.4.594>

- Şenyurt, S., Ayvaci, K. H., & Canlı, D. (2023a). Smarandache curves according to flc-frame in euclidean 3-space. *Fundamentals of Contemporary Mathematical Sciences*, 4(1), 16-30. <https://doi.org/10.54974/fcmathsci.1142404>
- Şenyurt, S., Canlı, D., Can, E., & Gür Mazlum, S. (2023b). Another application of smarandache based ruled surfaces with the darboux vector according to frenet frame in E^3 . *Commun. Fac. Sci. Univ. Ank. Ser. A1 Math. Stat.* 72(4), 880-906. <https://doi.org/10.31801/cfsuasmas.1151064>
- Taşköprü, K., & Tosun, M. (2014). Smarandache curves according to Sabban frame on S^2 . *Boletim da Sociedade Paranaense de Matematica*, 32(1), 51-59. <https://arxiv.org/pdf/1206.6229>
- Turgut, M., & Yılmaz, S. (2008). Smarandache curves in minkowski space-time. *International J. Math. Combin.*, 3, 51-55. <https://www.mathcombin.com/upload/file/20150126/1422261423330082520.pdf#page=56>

Evaluation of Tribological and Electrochemical Properties of Multiphase CoCuFeNiNb High Entropy Alloy

Sefa Emre Sünbül¹ , Kürşat İçin² 

¹Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Gaziantep

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Trabzon

Geliş Tarihi / Received Date: 03.06.202x

Kabul Tarihi / Accepted Date: 14.06.2024

Abstract

Recent research has heavily focused on high entropy alloys (HEAs) due to their promising potential for diverse industrial applications. This study investigates the CoCuFeNiNb alloy, analyzing its structural, tribological, and electrochemical characteristics. The alloy was synthesized using vacuum arc melting in an argon environment and was subsequently examined through X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX), wear testing, and corrosion analysis. The tribological and electrochemical performances were assessed through wear and corrosion experiments. The results reveal that the alloy contains FCC, BCC, and Laves phases. The coefficient of friction for the CoCuFeNiNb high entropy alloy increased to 0.28, 0.5, and 0.78 under loads of 0.25 MPa, 0.5 MPa, and 1 MPa, respectively. Observations of the wear surface showed abrasion wear at low pressure, delamination layers at medium pressure, and plastic deformation zones at high pressure. In a 3.5 wt% NaCl solution, the alloy exhibited a corrosion potential of -0.236 V and a corrosion current density of 1.89×10^{-5} A/cm².

Keywords: high entropy alloy, vacuum arc melting, tribological properties, corrosion properties

Çok Fazlı CoCuFeNiNb Yüksek Entropili Alaşımın Tribolojik ve Elektrokimyasal Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Öz

Yüksek entropili alaşımlar (YEA'lar), son yıllarda yoğun araştırmalara konu olmuş ve farklı endüstriyel uygulamalara yönelik potansiyel göstermektedir. Bu çalışma, CoCuFeNiNb alaşımının yapısal, tribolojik ve elektrokimyasal özelliklerini incelemektedir. Alaşım, Ar atmosferinde vakumlu ark eritme yöntemi ile hazırlanmış ve XRD, SEM, EDX, aşınma ve korozyon analizleri ile karakterize edilmiştir. Aşınma testleri ve korozyon deneyleri, alaşımın tribolojik ve elektrokimyasal performansını değerlendirmiştir. Bulgular, alaşımın YMK, HMK ve Laves fazlarından oluştuğunu göstermektedir. CoCuFeNiNb yüksek entropili alaşımının sürtünme katsayısı, 0.25 MPa, 0.5 MPa ve 1 MPa yük altında sırasıyla 0.28, 0.5 ve 0.78 olarak artış göstermiştir. Aşınma yüzeyinde düşük basınçta abrazyon izleri, orta basınçta delaminasyon tabakaları ve yüksek basınçta plastik deformasyon bölgeleri gözlemlenmiştir. CoCuFeNiNb alaşımının %3,5 NaCl çözeltisindeki korozyon potansiyeli -0,236 V ve korozyon akım yoğunluğu $1,89 \times 10^{-5}$ A/cm² olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: yüksek entropili alaşım, vakum ark eritme, tribolojik özellikler, korozyon özellikleri

Introduction

High entropy alloys (HEAs) have been intensively researched in literature for the last 20 years (Miracle & Senkov, 2017). Following the discovery of HEAs, they have gained great momentum in the scientific field and high entropy studies in various subjects are still popular. Like many other innovations, high entropy alloys need time to transition to industrial use or application. It is thought that all alloys and compounds in this series will find their place in the industry over time (Dada et al., 2023; Rashidy Ahmady et al., 2023).

The term HEA was first introduced in 2004 by Yeh and his research group (Chen et al., 2004; Yeh et al., 2004). Unlike conventional alloys, HEAs are formed with elements used in equal or close proportions (Sonar et al., 2024). Four main factors make high entropy alloys important: the high entropy effect (Dewangan et al., 2022), slow diffusion effect (Verma et al., 2024), lattice distortion (Wang et al., 2024), and cocktail effect (Wang et al., 2023). The high entropy effect reduces the free energy of solid solution phases in the alloy, facilitating their formation at high temperatures (Yu et al., 2024). The slow diffusion effect arises since each atom in each lattice site within the alloy is different from its neighboring atoms and this leads to different local energy levels within the lattice, hence diffusion is slow in HEAs (Verma et al., 2024). Lattice distortion occurs due to the atoms in the structure having different diameters (Wang et al., 2024). Finally, the cocktail effect refers to the dependence of the properties of the alloy on the properties of different elements (Cao et al., 2020). For example, Al, a light element, reduces the density of the alloy, while adding Al to CoCrCuFeNi alloy increases the hardness (Man et al., 2022; Yang et al., 2015; C. Zhang et al., 2023). Through the combination of five or more different elements, HEAs have the potential to produce a variety of properties

High entropy alloys are alloy groups with the potential to combine properties such as high strength and plasticity, good machinability, wear, corrosion, and oxidation resistance (Hu et al., 2024; W. Ye et al., 2024). Various elemental contents and calculations are made to obtain different phases and properties (X. Ye et al., 2024; Zareipour et al., 2024). In addition, multi-phase HEAs exhibit high hardness, excellent wear resistance, oxidation resistance, and corrosion resistance at high temperatures. The addition of Nb to CoCrFeNi HEAs, Wu et al. (T. Wu et al., 2023) and Liu et al. (Liu et al., 2015) demonstrated the transformation from a single face-centered cubic (FCC) phase to a dual-phase configuration containing FCC and Laves phases. The Laves phase, which is formed as a result of Nb enrichment at the grain boundaries, makes a significant contribution to the strengthening of alloys by acting as an effective reinforcing phase at high temperatures. On the other hand, the addition of Nb in high-entropy alloys (HEAs) has a significant impact on the formation of Laves phases. Research has shown that Nb can promote the formation of Laves phases in various HEAs, such as CoCrFeNi and CoCrFeMnNi alloys (Chen et al., 2022). The presence of Nb-rich Laves phases in these alloys contributes to strengthening mechanisms, enhancing the overall mechanical properties of the materials. Moreover, the volume fraction of Laves phases increases with the Nb content, leading to improved ultimate strength but reduced fracture strain in the alloys (Qin et al., 2019). The coherent relationship between Nb-rich Laves phases and the matrix in HEAs demonstrates the potential of Nb to enhance the structural stability and mechanical performance of these advanced materials (Evangeline et al., 2020). Additionally, the segregation of Nb during solidification can promote the formation of Nb-rich Laves phases in Ni-based alloys, affecting their microstructure and corrosion resistance.

The addition of Cu in high-entropy alloys (HEAs) plays a significant role in the formation of Cu-rich phases, impacting the microstructure and mechanical properties. Low Cu concentrations contribute to solid solution strengthening, enhancing both yield strength and ultimate tensile strength (Du et al., 2022). At higher Cu concentrations, nano Cu-rich particles precipitate from the matrix, further increasing the strength properties, but excessive Cu content can lead to the formation of weak continuous Cu-rich phases that reduce the ultimate tensile strength and elongation (X. Zhang et al., 2023). Additionally, the introduction of Cu-rich particles at grain boundaries in nanostructured HEAs

can provide thermal stability and mechanical strength, with the Cu particles acting as grain boundary pinning agents and contributing to high yield strengths and total elongation (Agrawal et al., 2022). Furthermore, strategies to eliminate Cu segregation in HEAs through processing techniques like ball milling and spark plasma sintering have been successful in achieving uniform distribution of Cu, improving both mechanical properties and corrosion resistance while maintaining antibacterial properties. Lastly, in transformation-induced plasticity HEAs, Cu addition can lead to improved ductility, delayed TRIP effect, and enhanced strength through stabilized FCC phases, increased interfaces, and finer grain sizes.

The objective of this study is to investigate the effect of Cu on the microstructural, tribological, and corrosion properties of a high entropy alloy with a composition that causes second-phase formation, such as Nb. The effect of the high positive mixing enthalpy of copper on these properties of the multiphase high entropy alloy CoCuFeNiNb was revealed. The structural, microstructural, tribological, and corrosion properties of the CoCuFeNiNb produced by a vacuum arc melting system were investigated with different approaches.

Materials and Methods

In this study, commercially available Co, Cu, Fe, Ni, and Nb metals with a minimum purity of 99.9% were used to create a multi-phase high entropy alloy. The CoCuFeNiNb equiatomic alloy was prepared by vacuum arc melting these high-purity metals in an argon atmosphere with 99.999% purity. The alloy underwent six remelting cycles, being inverted each time to ensure thorough chemical homogenization. The melting process was conducted in a water-cooled Cu melting pot using a W electrode. After the produced alloy, an optical emission spectrometer (OES) was used to analyze the chemical composition of the HEA. According to the results of the OES analysis, the composition of the prepared high entropy alloy consisted of 16.9 wt.% Fe, 17.8 wt.% Co, 17.7 wt.% Ni, 19.2 wt.% Cu and 28.4 wt.% Nb.

For structural analysis, the sample was sectioned into small pieces. X-ray diffraction (XRD) analysis was performed using a PANalytical Xpert Powder³ instrument, operating at a step size of 0.013°/s with CuK α radiation in the 2 θ range from 10° to 90°. Following standard metallographic procedures, a Zeiss EVO LS10 Scanning Electron Microscope (SEM) was employed to examine the microstructure and visualize corroded and worn surfaces. Elemental ratios in the phases were identified through selective area energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX) analysis.

Wear properties were assessed using a pin-on-disc device, with the alloy in contact with 4140 stainless steel under dry sliding conditions. Wear tests were conducted at a sliding speed of 0.3 m/s, over a distance of 4000 m, at room temperature, and under varying loads of 0.25 MPa, 0.5 MPa, and 1.0 MPa. Friction coefficients were measured for each of the three samples. Corrosion properties were examined using Tafel measurements performed with a Gamry Interface 1010E model device. For these measurements, a ternary electrode setup was used, comprising the CoCuFeNiNb high entropy alloy as the working electrode, a graphite rod as the counter electrode, and a saturated calomel electrode as the reference electrode. All corrosion tests were conducted at room temperature in a 3.5 wt% NaCl solution for 3600 s to achieve a stable open circuit potential. Tafel measurements were conducted over a voltage range of -0.5 to 1.5 V with a constant scan rate of 10 mV/s.

Result and Discussion

The X-ray diffraction (XRD) pattern illustrating the structural characteristics of the CoCuFeNiNb alloy is given in Figure 1. Within the XRD pattern of this alloy, one observes the coexistence of face-centered cubic (FCC), body-centered cubic (BCC), and Laves phases. The identification of both FCC and BCC phases in the XRD pattern of the CoCuFeNiNb alloy indicates the presence of a multiphase structure, a feature that could potentially have a beneficial impact on the mechanical and thermal properties of the material. Specifically, the FCC phase is recognized for imparting ductility to the

alloy, whereas the BCC phase is believed to contribute to its hardness and strength. Furthermore, the inclusion of Laves phases in the alloy's XRD pattern might enhance its thermal stability, particularly attributable to the presence of the Nb element, rendering it suitable for applications involving elevated temperatures. In the literature, CoCrFeNiNb_x (x: atomic ratio, x = 0, 0.1, 0.2, and 0.3) HEAs (H. Wu et al., 2023), FeCoCrNiNb_x HEAs (Liu et al., 2023), CoCrFeNiMo_xNb_y HEAs (T. Wu et al., 2023). Some Nb-containing alloys also appear to have Laves phases. The addition of niobium (Nb) to high-entropy alloys (HEAs) has been shown to have significant effects on the microstructure and mechanical properties of HEAs. Studies have demonstrated that increasing Nb content in HEAs leads to the formation of fine eutectic structures, changes the grain shape from columnar to equiaxed, and promotes the stability of body-centered cubic (BCC) phases (Zhang et al., 2022). Furthermore, the presence of Nb can enhance the transformation-induced plasticity (TRIP) effect in BCC HEAs, leading to improved mechanical properties such as work-hardening behavior and increased ductility (Malatji et al., 2020). Additionally, the introduction of Nb in HEAs can induce the formation of hexagonal Laves phases and precipitates, impacting the phase stability and mechanical strength of the alloys (Sunkari et al., 2020). Overall, Nb plays a crucial role in refining microstructures, enhancing mechanical properties, and influencing the phase evolution in HEAs.

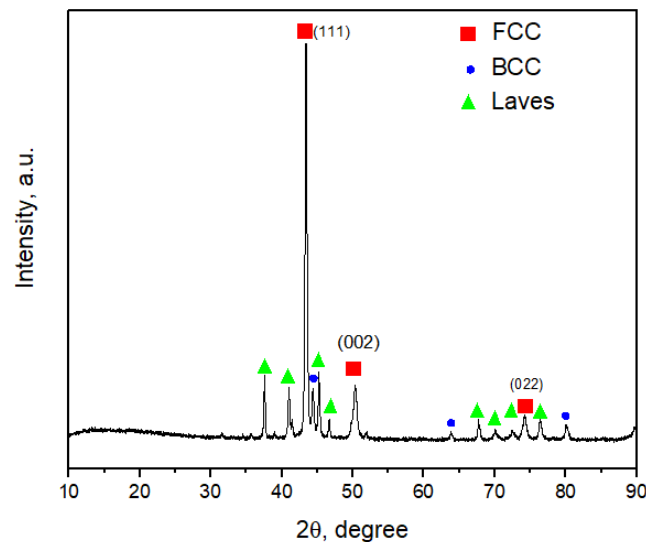


Figure 1. X-ray Diffraction Pattern of CoCuFeNiNb High Entropy Alloy

When examining the microstructure and elemental map analyses of the CoCuFeNiNb high-entropy alloy, understanding why copper (Cu) and niobium (Nb) form second phases requires a comprehension of the microstructural characteristics and thermodynamic factors. Figures 2 and 3 illustrate the microstructure and elemental distribution of this alloy. The data obtained from these figures reveal that phase separations and elemental enrichments are concentrated in specific regions. Figure 2 shows the microstructure of the CoCuFeNiNb high-entropy alloy. Microstructural analysis reveals the presence of different phases. Dark gray areas represent the FCC (Face-Centered Cubic) structure, gray areas represent the BCC (Body-Centered Cubic) structure and light gray areas represent Nb-rich Laves phases. These distinct phases highlight the heterogeneity in the alloy's microstructure. Some parts of the gray areas are Cu-rich regions, indicating that these elements have separated within the alloy. Figure 3 presents the elemental map analysis of the microstructure. The distribution maps of Fe, Cu, Co, Ni, and Nb demonstrate the complexity and non-homogeneous distribution in the alloy's microstructure. The positive mixing enthalpies between copper (Cu) and other elements lead to Cu separating from the matrix phase and forming second phases. Positive mixing enthalpy causes an increase in free energy when two elements mix, leading to thermodynamic instability and phase separations. Cu tends to separate when mixed with elements like Fe, Co, and Ni, making it difficult for Cu to remain dissolved within the matrix. The formation of a Cu-rich phase in high-entropy alloys (HEAs) is influenced by the Cu concentration within the alloy.

Low Cu concentrations (<5 at. %) contribute to solid solution strengthening, enhancing both yield strength and ultimate tensile strength (Du et al., 2022). As the Cu concentration increases to around 7 at. %, nano Cu-rich particles precipitate from the face-centered cubic (FCC) matrix, further strengthening the alloy (Wang et al., 2022). However, when the Cu concentration reaches approximately 13 at.%, a weak continuous Cu-rich phase forms between dendrites, which can lead to early fracture and a significant decrease in ultimate tensile strength and elongation (Kai-Le et al., 2023). On the other hand, Cu and Nb have different atomic sizes compared to other elements. These size differences create stress fields in the microstructure, leading to phase separations. Atomic size differences can cause Cu and Nb to cluster around larger or smaller atoms, forming distinct phases (Freudenberger et al., 2004; Park et al., 2016). In the CoCuFeNiNb high-entropy alloy, the formation of second phases by copper (Cu) and niobium (Nb) occurs due to positive mixing enthalpies, atomic size differences, crystal structure mismatches, thermodynamic instability, and chemical properties. These factors explain the heterogeneity and phase separations in the alloy's microstructure. The microstructural and elemental analyses in Figures 2 and 3 support these theoretical explanations and visually reveal the reasons for Cu and Nb forming separate phases. These phase separations significantly impact the mechanical and physical properties of the alloy, and should be considered in engineering applications.

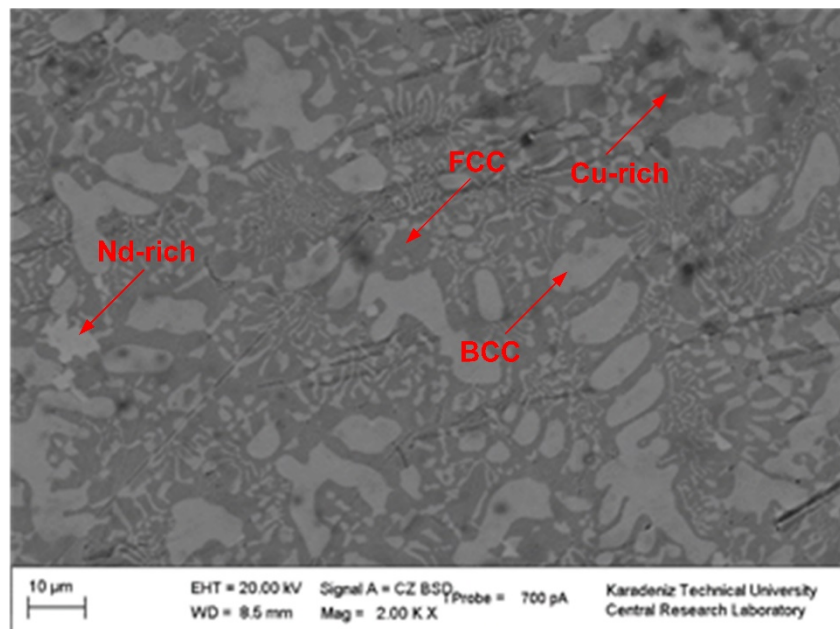


Figure 2. SEM Image of CoCuFeNiNb High Entropy Alloy

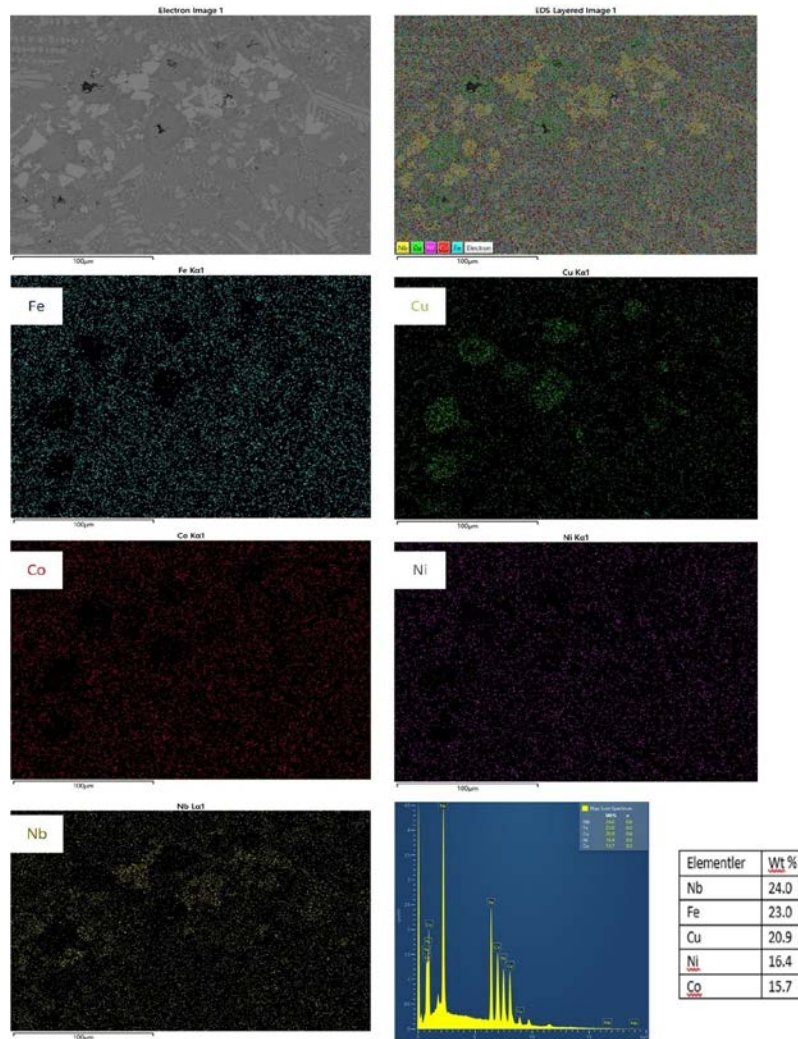


Figure 3. EDS Map Analysis Results of CoCuFeNiNb High Entropy Alloy

The graph in Figure 4 illustrates the friction coefficient as a function of time under different loads for the CoCuFeNbNi high-entropy alloy in a dry sliding condition. Across all loads, the friction coefficient demonstrates a very stable curve. However, a minor fluctuation is observed under the 1 MPa load up to approximately 500 seconds, after which it stabilizes. This fluctuation can be attributed to various factors including phase composition, inhomogeneities in the alloy's microstructure, the formation of cracks on the worn surface, oxidation, or the development of delamination layers. The high-entropy alloy CoCuFeNbNi is composed of multiple elements that can form various phases, including FCC, BCC, and Laves phases. The presence of Cu and the formation of Nb-rich Laves phases can lead to microstructural inhomogeneities. These phases have different mechanical properties and responses to wear, which can contribute to fluctuations in the friction coefficient. For instance, Cu tends to segregate due to its positive mixing enthalpy with other elements, leading to regions within the alloy that are richer in Cu and potentially softer. This segregation can cause variations in the local hardness and wear resistance of the alloy, affecting the friction behavior over time. Research indicates that the presence of copper can lead to segregation in HEAs, affecting mechanical properties and corrosion resistance (Mukanov et al., 2023). Strategies such as ball milling and spark plasma sintering have been proposed to eliminate Cu segregation in HEAs, resulting in improved strength, plasticity, and corrosion resistance. Additionally, the distribution of Cu elements in HEAs becomes more uniform with the dissolution of the Cu-rich phase, leading to enhanced mechanical properties and corrosion resistance (Cheng et al., 2022).

During the initial period under the 1 MPa load, microstructural inhomogeneities might lead to the formation of cracks on the worn surface. These cracks can act as initiation points for delamination, where layers of the material start to peel off due to repeated sliding contact. This process can cause temporary increases in the friction coefficient as new, rough surfaces are exposed. Over time, these cracks may propagate and merge, leading to a more uniform worn surface that stabilizes the friction coefficient. Another factor contributing to the fluctuation in the friction coefficient is oxidation. During sliding, the high contact pressures and temperatures can promote the formation of oxide layers on the alloy surface. These oxides can be beneficial by forming a protective layer that reduces direct metal-to-metal contact, but they can also break away and contribute to wear debris. The formation and removal of these oxide layers can cause variations in the friction coefficient until a steady-state condition is achieved where the rate of oxide formation and removal reaches equilibrium. As the load increases, the interaction between the sliding surfaces intensifies. Higher loads lead to greater contact pressures, which can increase the extent of plastic deformation and material transfer between the surfaces. This increased interaction can result in more pronounced wear debris, oxide layer formation, and localized cracking, all contributing to the observed fluctuations in friction. Under higher loads, such as 1 MPa, these effects are more significant due to the greater forces involved. The overall trend observed is that the friction coefficient increases with increasing load. At the end of the 4000-second test duration, the average friction coefficients for 0.25 MPa, 0.5 MPa, and 1.0 MPa loads are approximately 0.28, 0.5, and 0.78, respectively. This increase in friction coefficient with load can be explained by several factors: With increasing load, the contact pressure between the sliding surfaces increases. This higher pressure enhances the real area of contact, leading to more significant adhesion and increased friction. Higher loads result in greater plastic deformation of the alloy's surface. This deformation can increase the surface roughness and the mechanical interlocking between the sliding surfaces, contributing to a higher friction coefficient. At higher loads, the amount of wear debris generated increases. These debris particles can become entrapped between the sliding surfaces, acting as abrasive particles that further increase the friction coefficient. The formation and removal of oxide layers are more pronounced under higher loads. These oxides can initially act as a solid lubricant, reducing friction, but their breakdown and removal can expose fresh metal surfaces that increase friction until a new oxide layer forms. The stability of the friction coefficient under different loads indicates the alloy's robustness in dry sliding conditions. However, the initial fluctuation observed at 1 MPa suggests that microstructural factors and surface interactions play significant roles in the alloy's tribological performance. The increase in friction coefficient with load highlights the need to consider these effects in applications where the alloy will be subjected to varying loads and sliding conditions. Overall, the CoCuFeNbNi high-entropy alloy exhibits stable frictional behavior under different loads, with specific factors contributing to initial fluctuations at higher loads. Understanding these factors is crucial for optimizing the alloy's performance in practical applications, ensuring reliable and efficient operation under various tribological conditions.

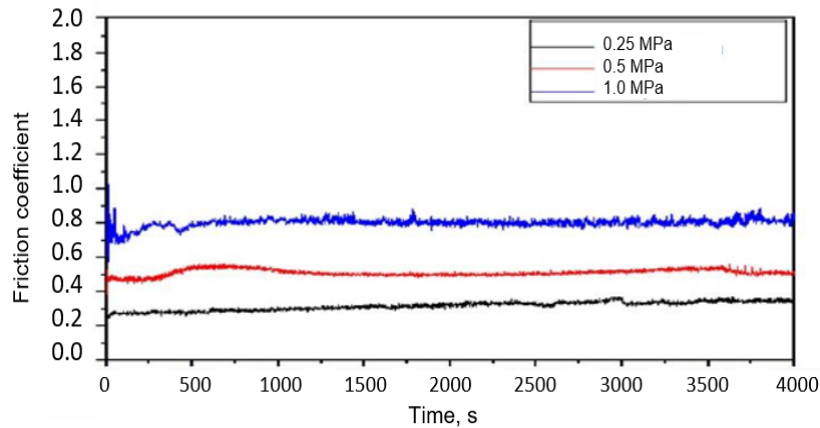


Figure 4. Coefficient of Friction-Time Plot of CoCuFeNiNb High Entropy Alloy under 0.25 MPa, 0.5 MPa, and 1 MPa Load

The wear surfaces of the CoCuFeNiNb high-entropy alloy, which is shown in Figure 5, were analyzed under various contact pressures (0.25 MPa, 0.5 MPa, and 1 MPa) to understand the relationship between wear behavior and contact pressure. The results reveal a direct correlation between contact pressure and the wear characteristics of the alloy. Under a low contact pressure of 0.25 MPa, the wear surface predominantly exhibited abrasion marks and small pits. These observations suggest that the wear mechanism at this pressure is primarily abrasive wear. The friction coefficient was measured to be approximately 0.28, indicating good tribological performance under low-pressure conditions. The presence of abrasion marks suggests that the material removal process was relatively uniform, with minimal severe damage or plastic deformation occurring on the surface. The small pits observed could be attributed to minor adhesive wear or localized micro-plowing effects. At an intermediate contact pressure of 0.5 MPa, the wear surface showed a combination of abrasion and delamination marks. The formation of delamination layers was also noticeable. The friction coefficient at this pressure increased slightly to around 0.5. This increase indicates a transition in the wear mechanism due to the higher contact pressure. The presence of both abrasion and delamination marks suggests that the alloy surface experienced higher stress levels, leading to the initiation and propagation of subsurface cracks. These cracks eventually caused the material to delaminate, creating a rougher surface texture and increasing the friction coefficient. The delamination layers are indicative of repeated mechanical loading and fatigue, which are characteristic of intermediate wear conditions. Under a high contact pressure of 1 MPa, the wear surface exhibited pronounced delamination marks, regions of plastic deformation, and intense abrasion marks. The friction coefficient significantly increased to approximately 0.78. This substantial increase in the friction coefficient indicates a more severe wear regime. The pronounced delamination marks suggest extensive subsurface cracking and material spalling. The regions of plastic deformation indicate that the material underwent significant mechanical strain, leading to the permanent deformation of the surface. The intense abrasion marks at this pressure are likely due to the high contact stress, which facilitates the removal of material in the form of wear debris. The combination of these wear mechanisms under high-pressure results in a rough and damaged surface, contributing to the higher friction coefficient. The observed wear behavior and friction coefficients under different contact pressures provide valuable insights into the performance of the CoCuFeNiNb high-entropy alloy in various tribological conditions. The alloy shows good wear resistance and low friction under low contact pressure (0.25 MPa). The primary wear mechanism is abrasion, with minimal severe damage, suggesting that the alloy can perform well in applications where contact stresses are relatively low. At medium contact pressure (0.5 MPa), the wear behavior changes, with both abrasion and delamination contributing to material removal. The increase in friction coefficient indicates that while the alloy can still perform adequately, there is a higher degree of wear and surface damage. Applications involving intermediate contact pressures should consider this transition in wear mechanisms. Under high contact pressure (1 MPa), the alloy experiences severe wear, with

significant delamination, plastic deformation, and intense abrasion. The high friction coefficient reflects the extensive surface damage and material loss. This suggests that the alloy may require additional considerations, such as surface treatments or lubrication, to improve its performance in high-stress applications.

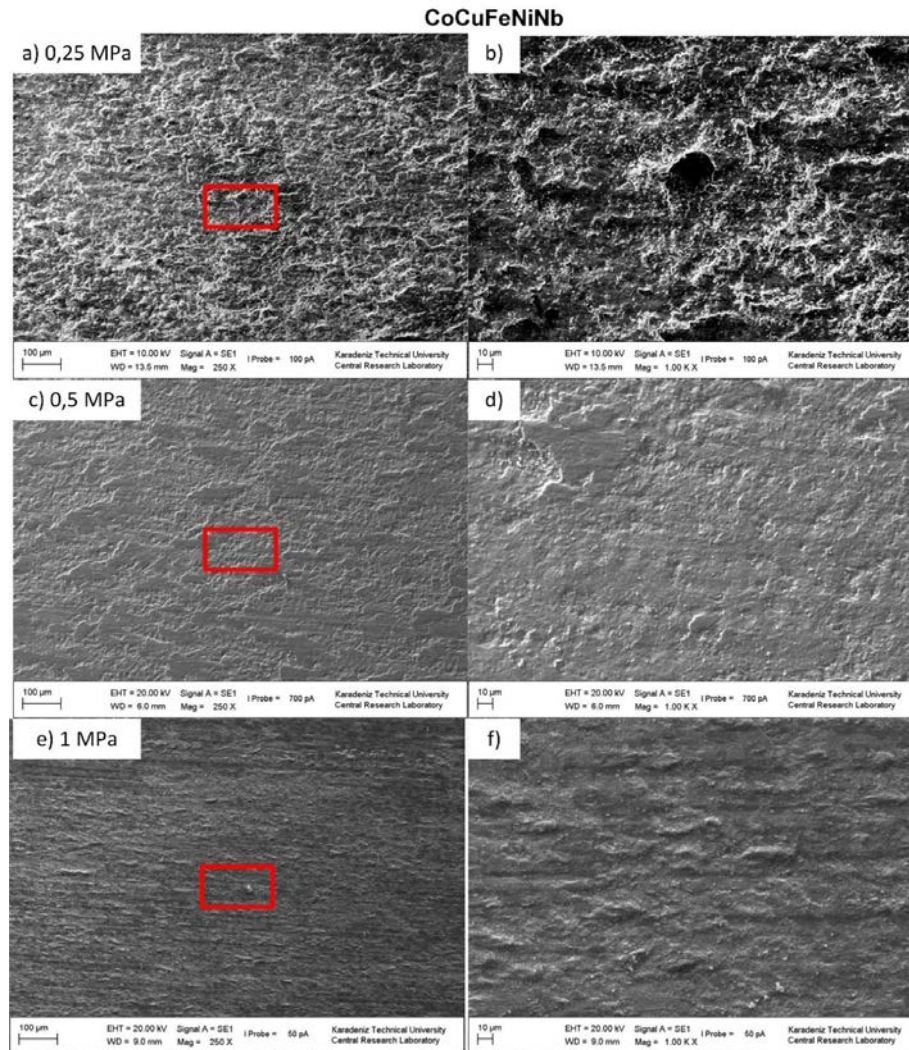


Figure 5. SEM Morphologies of the Worn surfaces of CoCuFeNiNb High Entropy Alloy under Loads of (a) and (b) 0.25 MPa, (c) and (d) 0.5 MPa, (e) and (f) 1.0 MPa

Figure 6 shows the wear particles of the CoCuFeNiNb high-entropy alloy under a pressure of 1 MPa. Given that the wear particles are similar across different loads, only the wear particles under the 1 MPa load are presented. The morphology and size of the wear particles in the image are noteworthy. Most particles have irregular shapes and varying sizes, indicating that the wear mechanism is associated with multiple processes such as abrasion and delamination. Specifically, the heterogeneous distribution and size differences of the particles suggest that material loss on the wear surface originates from microstructural weaknesses and stress concentrations that form under load. Additionally, some particles exhibit agglomeration, indicating the presence of plastic deformation and large material masses detached from the surface. The obtained images reveal that the wear particles exhibit irregular shapes and different sizes. This variety reflects the heterogeneous nature of the wear process and the involvement of various mechanisms. The majority of the particles having irregular shapes indicate the influence of abrasive wear and delamination. Abrasive wear involves the continuous removal of material from the surface due to mechanical interactions, causing microscopic-level wear. The heterogeneous distribution and size differences of the particles show that different wear mechanisms are effective simultaneously on the material surface: Hard particles

on the material surface create scratches, leading to material loss. This process results in the formation of irregular and varying-sized particles. Under high pressure, cracks form in the subsurface layers of the material and propagate to the surface, causing the detachment of material layers. This process is particularly effective in the formation of large and irregular particles.

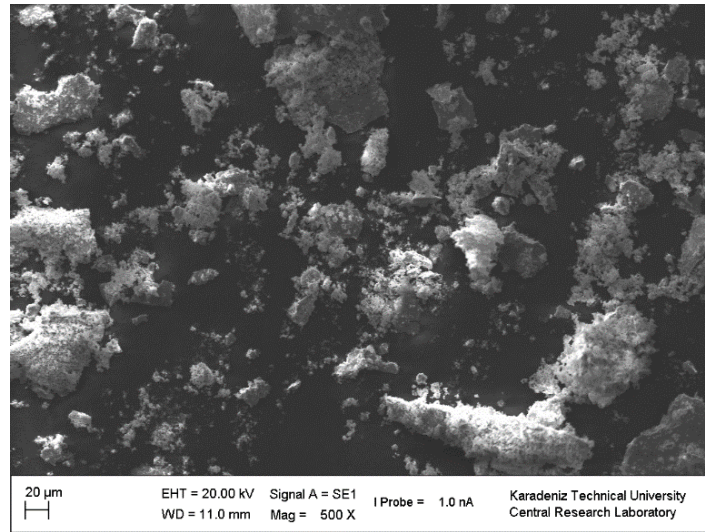


Figure 6. Wear Particles of CoCuFeNiNb High Entropy Alloy under 1 MPa

Figure 7 presents the potentiodynamic polarization curve of the CoCuFeNiNb high-entropy alloy in a 3.5% NaCl solution. From this curve, the corrosion potential (E_{corr}) is determined to be -0.236 V, and the corrosion current density (i_{corr}) is found to be 1.89×10^{-5} A/cm². These values provide insights into the corrosion behavior of the CoCuFeNiNb high-entropy alloy. The corrosion potential, E_{corr} , is an important parameter that indicates the susceptibility of the alloy to corrosion. An E_{corr} value of -0.236 V suggests that the alloy has a moderate tendency to undergo corrosion in the NaCl solution. This potential reflects the protective characteristics of the passive film on the alloy's surface and its resistance to anodic and cathodic reactions. A more positive E_{corr} generally indicates a lower tendency for the material to corrode, while a more negative value indicates a higher tendency. The corrosion current density, i_{corr} , represents the rate of corrosion of the alloy. The value of 1.89×10^{-5} A/cm² indicates that the alloy has a low corrosion rate, implying slow corrosion progression. A low i_{corr} value is desirable as it means that the material is more resistant to corrosion and can maintain its integrity over a longer period when exposed to corrosive environments. The obtained E_{corr} and i_{corr} values suggest that the CoCuFeNiNb high-entropy alloy can be safely used in NaCl solutions and similar corrosive environments. The low corrosion rate indicates that the alloy can withstand corrosive attacks without significant degradation. This makes it suitable for applications where exposure to saline environments is common, such as in marine engineering or chemical processing. The general shape of the polarization curve further indicates the formation of a stable passive film on the alloy's surface. This passive film acts as an effective barrier against corrosion processes. The formation of such a film is crucial as it prevents the underlying metal from coming into direct contact with the corrosive environment, thereby significantly reducing the corrosion rate. The stability of this passive film is evident from the polarization behavior, where a stable and protective layer forms, maintaining the integrity of the alloy.

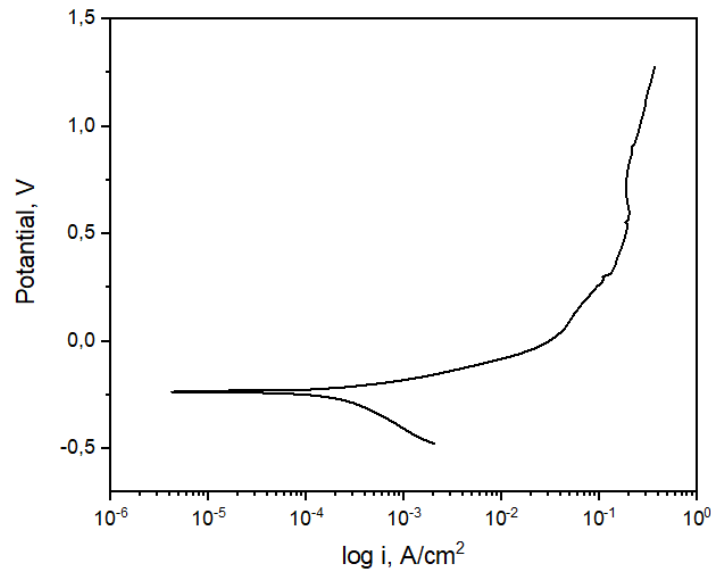


Figure 7. Potentiodynamic Polarisation Curve of CoCuFeNiNb High Entropy Alloy

The SEM image obtained after the electrochemical corrosion tests of the CoCuFeNiNb high-entropy alloy, shown in Figure 8 at 1000x magnification with a 10 μm scale bar, reveals the morphological changes on the surface. The image depicts microstructural changes and damage that occurred on the alloy's surface post-corrosion. Notable features include widespread roughness, cracks, surface irregularities, and pits. These morphological changes indicate material loss from the surface during the corrosion process. The observed pits and the formation of corrosion products are associated with the material detaching from the surface and then re-depositing. Additionally, these pits represent localized areas where corrosion has intensified, typically due to the formation of local galvanic cells induced by Cl^- ions on the surface. Such localized corrosion can result from microstructural heterogeneities and electrochemical potential differences between various phases within the material.

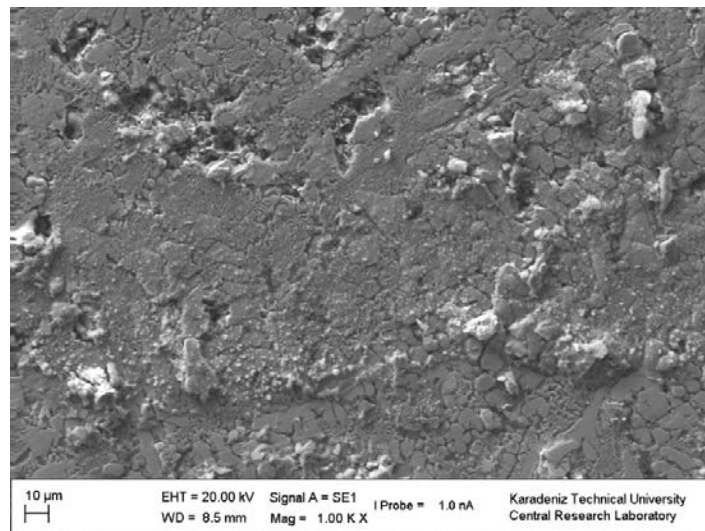


Figure 8. Surface Morphology Image Obtained after Electrochemical Measurement

Conclusion

This study provides a comprehensive evaluation of the structural, tribological, and corrosion properties of the CoCuFeNiNb high-entropy alloy. XRD and SEM analyses revealed that the alloy contains FCC, BCC, and Laves phases, which positively influence its tribological properties. Wear tests show that the alloy performs well under low and medium pressures but requires careful

consideration under high pressures. Corrosion tests indicate that the alloy exhibits good corrosion resistance in NaCl solution and forms a stable passive film on its surface. Some important results obtained in the study are summarized below.

- The CoCuFeNiNb alloy exhibits a multiphase structure consisting of FCC, BCC, and Laves phases.
- The formation of second phases by copper (Cu) and niobium (Nb) in the CoCuFeNiNb high-entropy alloy, specifically the FCC, BCC, and Nb-rich Laves phases, is driven by positive mixing enthalpies, atomic size differences, crystal structure mismatches, thermodynamic instability, and chemical properties, resulting in significant microstructural heterogeneity and phase separations.
- The wear tests show that the alloy has an average friction coefficient of 0.28 under a 0.25 MPa load, 0.5 under a 0.5 MPa load, and 0.78 under a 1 MPa load, indicating good performance under low and medium pressures but requiring careful consideration under high pressures.
- Corrosion tests reveal that the alloy has a corrosion potential (E_{corr}) of -0.236 V and a corrosion current density (i_{corr}) of 1.89×10^{-5} A/cm² in a 3.5% NaCl solution, indicating good corrosion resistance and the formation of a stable passive film, making it suitable for use in corrosive environments.

Acknowledgment

The current study was supported by the Karadeniz Technical University Scientific Research Projects Unit with the projects numbered FAY-2023-10562 and FBA-2024-11177. The authors would like to thank the relevant unit for their support.

Author Contribution

Sefa Emre Sünbül, prepared the experimental procedures and followed the experimental process, prepared the manuscript, and analyzed the data. *Kürşat İçin*, prepared the experimental procedures and followed the experimental process, prepared the manuscript, and analyzed the data.

Ethics Statement

There are no ethical problems regarding the publication of this paper.

Conflict of Interest

The authors state that there is no conflict of interest.

ORCID

Sefa Emre Sünbül  <https://orcid.org/0000-0002-2648-9268>

Kürşat İçin  <https://orcid.org/0000-0002-5160-6753>

References

- Agrawal, P., Gupta, S., Shukla, S., Nene, S. S., Thapliyal, S., Toll, M. P., & Mishra, R. S. (2022). Role of Cu addition in enhancing strength-ductility synergy in transforming high entropy alloy. *Materials & Design*, 215, 110487. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.110487>
- Cao, B. X., Wang, C., Yang, T., & Liu, C. T. (2020). Cocktail effects in understanding the stability and properties of face-centered-cubic high-entropy alloys at ambient and cryogenic temperatures. *Scripta Materialia*, 187, 250-255. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2020.06.008>

- Chen, T. K., Shun, T. T., Yeh, J. W., & Wong, M. S. (2004). Nanostructured nitride films of multi-element high-entropy alloys by reactive DC sputtering [Article]. *Surface and Coatings Technology*, 188-189(1-3 SPEC.ISS.), 193-200. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2004.08.023>
- Chen, X.-g., Qin, G., Gao, X.-f., Chen, R.-r., Song, Q., & Cui, H.-z. (2022). Strengthening CoCrFeNi high-entropy alloy by Laves and boride phases. *China Foundry*, 19(6), 457-463. <https://doi.org/10.1007/s41230-022-1007-4>
- Cheng, Z., Wang, S., Wu, G., Gao, J., Yang, X., & Wu, H. (2022). Tribological properties of high-entropy alloys: A review. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 29(3), 389-403. <https://doi.org/10.1007/s12613-021-2373-4>
- Dada, M., Popoola, P., & Mathe, N. (2023). Recent advances of high entropy alloys for aerospace applications: A review. *World Journal of Engineering*, 20(1), 43-74. <https://doi.org/10.1108/WJE-01-2021-0040>
- Dewangan, S. K., Mangish, A., Kumar, S., Sharma, A., Ahn, B., & Kumar, V. (2022). A review on High-Temperature Applicability: A milestone for high entropy alloys. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 35, 101211. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2022.101211>
- Du, C., Hu, L., Pan, Q., Chen, K., Zhou, P., & Wang, G. (2022). Effect of Cu on the strengthening and embrittlement of an FeCoNiCr-xCu HEA. *Materials Science and Engineering: A*, 832, 142413. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2021.142413>
- Evangelina, A., Sathiya, P., & Arivazhagan, B. (2020). Laves Phase Formation and Segregation of Nb in Ni-Cr-Mo Superalloy over 316L by Hot Wire (HW) TIG Cladding Process. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45(11), 9685-9698. <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04873-0>
- Freudenberger, J., Botcharova, E., & Schultz, L. (2004). Formation of the microstructure in Cu-Nb alloys. *Journal of Materials Science*, 39(16), 5343-5345. <https://doi.org/10.1023/B:JMSE.0000039241.01005.c6>
- Hu, J., Yang, K., Wang, Q., Zhao, Q. C., Jiang, Y. H., & Liu, Y. J. (2024). Ultra-long life fatigue behavior of a high-entropy alloy. *International Journal of Fatigue*, 178, 108013. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2023.108013>
- Kai-Le, W., Wen-Kui, Y., Xin-Cheng, S., Hua, H., & Yu-Hong, Z. (2023). Phase field method to study the mechanism of Cu-rich phase precipitation in AlxCuMnNiFe high-entropy alloy. *Acta Physica Sinica*, 72. <https://doi.org/10.7498/aps.72.20222439>
- Liu, C., Gao, Y., Chong, K., Guo, F., Wu, D., & Zou, Y. (2023). Effect of Nb content on the microstructure and corrosion resistance of FeCoCrNiNb_x high-entropy alloys in chloride ion environment. *Journal of Alloys and Compounds*, 935, 168013. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.168013>
- Liu, W. H., He, J. Y., Huang, H. L., Wang, H., Lu, Z. P., & Liu, C. T. (2015). Effects of Nb additions on the microstructure and mechanical property of CoCrFeNi high-entropy alloys. *Intermetallics*, 60, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2015.01.004>
- Malatji, N., Popoola, A. P. I., Lengopeng, T., & Pityana, S. (2020). Effect of Nb addition on the microstructural, mechanical and electrochemical characteristics of AlCrFeNiCu high-entropy alloy. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 27(10), 1332-1340. <https://doi.org/10.1007/s12613-020-2178-x>
- Man, J., Wu, B., Duan, G., Zhang, L., Wan, G., Zhang, L., Zou, N., & Liu, Y. (2022). The synergistic addition of Al, Ti, Mo and W to strengthen the equimolar CoCrFeNi high-entropy alloy via thermal-mechanical processing. *Journal of Alloys and Compounds*, 902, 163774. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.163774>

- Miracle, D. B., & Senkov, O. N. (2017). A critical review of high entropy alloys and related concepts. *Acta Materialia*, 122, 448-511. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2016.08.081>
- Mukanov, S., Loginov, P., Fedotov, A., Bychkova, M., Antonyuk, M., & Levashov, E. (2023). The effect of copper on the microstructure, wear and corrosion resistance of CoCrFeNi high-entropy alloys manufactured by powder metallurgy. *Materials*, 16(3), 1178. <https://doi.org/10.3390/ma16031178>
- Park, H. J., Na, Y. S., Hong, S. H., Kim, J. T., Kim, Y. S., Lim, K. R., Park, J. M., & Kim, K. B. (2016). Phase evolution, microstructure and mechanical properties of equi-atomic substituted TiZrHfNiCu and TiZrHfNiCuM (M = Co, Nb) high-entropy alloys. *Metals and Materials International*, 22(4), 551-556. <https://doi.org/10.1007/s12540-016-6034-5>
- Qin, G., Li, Z., Chen, R., Zheng, H., Fan, C., Wang, L., Su, Y., Ding, H., Guo, J., & Fu, H. (2019). CoCrFeMnNi high-entropy alloys reinforced with Laves phase by adding Nb and Ti elements. *Journal of Materials Research*, 34(6), 1011-1020. <https://doi.org/10.1557/jmr.2018.468>
- Rashidy Ahmady, A., Ekhlasi, A., Nouri, A., Haghbin Nazarpak, M., Gong, P., & Solouk, A. (2023). High entropy alloy coatings for biomedical applications: A review. *Smart Materials in Manufacturing*, 1, 100009. <https://doi.org/10.1016/j.smmf.2022.100009>
- Sonar, T., Ivanov, M., Trofimov, E., Tingaev, A., & Suleymanova, I. (2024). An overview of microstructure, mechanical properties and processing of high entropy alloys and its future perspectives in aeroengine applications. *Materials Science for Energy Technologies*, 7, 35-60. <https://doi.org/10.1016/j.mset.2023.07.004>
- Sunkari, U., Reddy, S. R., Athira, K. S., Chatterjee, S., & Bhattacharjee, P. P. (2020). Effect of niobium alloying on the microstructure, phase stability and mechanical properties of CoCrFeNi₂.1Nb_x high entropy alloys: Experimentation and thermodynamic modeling. *Materials Science and Engineering: A*, 793, 139897. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.139897>
- Verma, V., Belcher, C. H., Apelian, D., & Lavernia, E. J. (2024). Diffusion in high entropy alloy systems – A review. *Progress in Materials Science*, 142, 101245. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2024.101245>
- Wang, H., He, Q., Gao, X., Shang, Y., Zhu, W., Zhao, W., Chen, Z., Gong, H., & Yang, Y. (2024). Multifunctional High Entropy Alloys Enabled by Severe Lattice Distortion. *Advanced Materials*, 36(17), 2305453. <https://doi.org/10.1002/adma.202305453>
- Wang, L., Zhang, L., Lu, X., Wu, F., Sun, X., Zhao, H., & Li, Q. (2023). Surprising cocktail effect in high entropy alloys on catalyzing magnesium hydride for solid-state hydrogen storage. *Chemical Engineering Journal*, 465, 142766. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.142766>
- Wang, Z., Lan, N., Zhang, Y., & Deng, W. (2022). Microstructure and properties of MAO-Cu/Cu-(HEA)N composite coatings on titanium alloy. *Coatings*, 12(12), 1877. <https://doi.org/10.3390/coatings12121877>
- Wu, H., Zhang, S., Wu, C. L., Zhang, C. H., Sun, X. Y., & Bai, X. L. (2023). Electrochemical corrosion behavior in sulfuric acid solution and dry sliding friction and wear properties of laser-cladded CoCrFeNiNb_x high entropy alloy coatings. *Surface and Coatings Technology*, 460, 129425. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2023.129425>
- Wu, T., Yu, L., Chen, G., Wang, R., Xue, Y., Lu, Y., & Luan, B. (2023). Effects of Mo and Nb on the microstructure and high temperature oxidation behaviors of CoCrFeNi-based high entropy alloys. *Journal of Materials Research and Technology*, 27, 1537-1549. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.10.058>

- Yang, T., Xia, S., Liu, S., Wang, C., Liu, S., Zhang, Y., Xue, J., Yan, S., & Wang, Y. (2015). Effects of Al addition on microstructure and mechanical properties of Al_xCoCrFeNi High-entropy alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 648, 15-22. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2015.09.034>
- Ye, W., Zhou, Q., Shi, Y., Xie, M., Chen, B., Wang, H., & Liu, W. (2024). Robust wear performance of graphene-reinforced high entropy alloy composites. *Carbon*, 224, 119040. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2024.119040>
- Ye, X., Diao, Z., Lei, H., Wang, L., Li, Z., Li, B., Feng, J., Chen, J., Liu, X., & Fang, D. (2024). Multi-phase FCC-based composite eutectic high entropy alloy with multi-scale microstructure. *Materials Science and Engineering: A*, 889, 145815. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2023.145815>
- Yeh, J. W., Chen, S. K., Lin, S. J., Gan, J. Y., Chin, T. S., Shun, T. T., Tsau, C. H., & Chang, S. Y. (2004). Nanostructured High-Entropy Alloys with Multiple Principal Elements: Novel Alloy Design Concepts and Outcomes. *Advanced Engineering Materials*, 6(5), 299-303. <https://doi.org/10.1002/adem.200300567>
- Yu, B., Ren, Y., Zeng, Y., Ma, W., Morita, K., Zhan, S., Lei, Y., Lv, G., Li, S., & Wu, J. (2024). Recent progress in high-entropy alloys: A focused review of preparation processes and properties. *Journal of Materials Research and Technology*, 29, 2689-2719. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.01.246>
- Zareipour, F., Shahmir, H., & Huang, Y. (2024). Formation and significance of topologically close-packed Laves phases in refractory high-entropy alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 986, 174148. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2024.174148>
- Zhang, C., Huang, L., Li, S., Li, K., Lu, S., & Li, J. (2023). Improved corrosion resistance of laser melting deposited CoCrFeNi-series high-entropy alloys by Al addition. *Corrosion Science*, 225, 111599. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2023.111599>
- Zhang, F., Xiang, C., Han, E.-H., & Zhang, Z. (2022). Effect of Nb Content on Microstructure and Mechanical Properties of Mo_{0.25}V_{0.25}Ti_{1.5}Zr_{0.5}Nb_x High-Entropy Alloys. *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*, 35(10), 1641-1652. <https://doi.org/10.1007/s40195-022-01399-2>
- Zhang, X., Yu, Y., Ren, B., Liu, Z., Li, T., Wang, L., & Qiao, Z. (2023). Design of a novel CoCrFeNiCu_{0.3} high entropy alloy with desirable mechanical, corrosion and anti-bacterial properties via adjusting Cu distribution. *Materials Today Communications*, 35, 105946. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.105946>



ORDU ÜNİVERSİTESİ
BİLİM ve TEKNOLOJİ
DERGİSİ

Ordu Üniversitesi Cumhuriyet Yerleşkesi
Cumhuriyet Mahallesi No:218 Müzik ve Sahne Sanatları
Fakültesi Binası 3. Kat Fen Bilimleri Enstitüsü 52200
Altınordu/ORDU

Tel: 0 452 226 52 00
Faks: 0 452 226 52 20

<http://btd.odu.edu.tr>
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/ordubtd>