



Bitlis Eren Üniversitesi  
**Fen Bilimleri Dergisi**

Bitlis Eren University  
**Journal of Science**

ISSN : 2147-3129  
e-ISSN : 2147-3188

Cilt / Volume: 7

Sayı / Number: 1

Yıl / Year: 2018

**Yazışma Adresi**

Bitlis Eren Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
13000, Merkez, Bitlis/TÜRKİYE  
Tel: 0 (434) 2220071

[fbe@beu.edu.tr](mailto:fbe@beu.edu.tr)  
<http://dergipark.gov.tr/bitlisfen>

**Yayın Kurulu / Editorial Board**

<b>Sahibi / Owner</b>	Prof. Dr. Erdal Necip YARDIM
<b>Sorumlu Müdür / Director</b>	Doç. Dr. Koray KÖKSAL
<b>Baş Editör / Editor in Chief</b>	Dr. Öğr. Üyesi Ökkeş ÖZTÜRK
<b>Yardımcı Editörler / Associate Editors</b>	Doç. Dr. Fatih Ahmet ÇELİK Dr. Öğr. Üyesi Mehmet AKYÜZ
<b>Dizgi / Typographic</b>	Dr. Öğr. Üyesi Ökkeş ÖZTÜRK

**Danışma Kurulu / Advisory Board**

Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ	Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık F.
Prof. Dr. Hakan ÇOBAN	Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık F.
Prof. Dr. Hüseyin Yılmaz ARUNTAŞ	Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi
Doç. Dr. Murat AYGÜN	Bitlis Eren Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi
Doç. Dr. Ayşe Dilek ÖZŞAHİN KİREÇCİ	Bitlis Eren Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi
Doç. Dr. Zeynep AYGÜN	Bitlis Eren Üniversitesi Teknik Bilimler MYO
Dr. Öğr. Üyesi Ali ÇAKMAK	Bitlis Eren Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi
Dr. Öğr. Üyesi Dilara BAŞAT DERELİ	Bitlis Eren Üniversitesi Tatvan MYO
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim KOÇ	Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık F.
Dr. Öğr. Üyesi Serhat Berat EFE	Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık F.
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Şamil ARGUN	Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık F.

**Hakem Kurulu / Reviewer Board**

Prof. Dr. Adnan AYHANCI	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Prof. Dr. Ercan TÜRKKAN	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Prof. Dr. Fehiman ÇİNER	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi
Prof. Dr. Hakan ÇOBAN	Bitlis Eren Üniversitesi
Prof. Dr. Halit YAZICI	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Hüseyin Yılmaz ARUNTAŞ	Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. İlker Bekir TOPÇU	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Prof. Dr. İsmail BOZTOSUN	Akdeniz Üniversitesi
Prof. Dr. Keziban ORBAY	Amasya Üniversitesi
Prof. Dr. Osman YALDIZ	Akdeniz Üniversitesi
Prof. Dr. Sahriye SÖNMEZ	Akdeniz Üniversitesi
Prof. Dr. Sevgi ÖZDEMİR KART	Pamukkale Üniversitesi
Prof. Dr. Seyfettin ÇAKMAK	Süleyman Demirel Üniversitesi
Prof. Dr. Suat EKİN	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Prof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Prof. Dr. Yavuz ALTIN	Fırat Üniversitesi
Doç. Dr. Abdullah AKBULUT	Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Doç. Dr. Ali Kaya GÜR	Fırat Üniversitesi
Doç. Dr. Burcu ERKMEN	Yıldız Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Dursun IRK	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Doç. Dr. Erdem HIZAL	İstanbul Üniversitesi
Doç. Dr. Gökhan AYDIN	Süleyman Demirel Üniversitesi
Doç. Dr. Hilal ÖMERCİOĞLU	Akdeniz Üniversitesi
Doç. Dr. İsmail KIYAK	Marmara Üniversitesi
Doç. Dr. Mesud KAHRİMAN	Süleyman Demirel Üniversitesi
Doç. Dr. Murat Yavuz SOLMAZ	Fırat Üniversitesi
Doç. Dr. Musa Mutlu CAN	İstanbul Üniversitesi
Doç. Dr. Nurettin Cenk TURGAY	İstanbul Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Önder CANBOLAT	Uludağ Üniversitesi
Prof. Dr. Özcan KALENDERLİ	İstanbul Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Özlem KORKUT	Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. Selim ÖNCÜ	Karabük Üniversitesi
Doç. Dr. Sevilay ÇETİN	Pamukkale Üniversitesi
Doç. Dr. Sevim Beyza ÖZTÜRK SARIKAYA	Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Seydi Battal Gazi KARAKOÇ	Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi
Doç. Dr. Seyfettin Sinan GÜLTEKİN	Selçuk Üniversitesi
Doç. Dr. Temel TÜRKER	Karadeniz Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Tülay YILDIZ	Fırat Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Aykut TOPDEMİR	Fırat Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül DEMİR YETİŞ	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Barış ÖZYER	Atatürk Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Behçet KOCAMAN	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Çağlar YALÇINKAYA	Dokuz Eylül Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Gökhan GÖKDERE	Fırat Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Halil YETGİN	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Hayriye Esra AKYÜZ	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Hülya DURMAZ BEKMEZCİ	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Kamil VARINCA	Adıyaman Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin DENİZ	Batman Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Musa ÇIBUK	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÖZEN	Harran Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Nizamettin TURAN	Siirt Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Nursen AZİZOĞLU	Balıkesir Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Pınar ÇAM	Sinop Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Salih SÖZER	Akdeniz Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Simge ÖZTUNÇ	Celal Bayar Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Sinan TOKLU	Düzce Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Songül ÇETİK YILDIZ	Mardin Artuklu Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Tamer ERYİĞİT	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Taner GÖKTAŞ	İnönü Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ümit BUDAK	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Yakup ŞAHİN	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Yusuf SERT	Bozok Üniversitesi
Arş. Gör. Dr. Abdullah GENÇ	Süleyman Demirel Üniversitesi
Arş. Gör. Dr. Mahmut AYKAÇ	Gaziantep Üniversitesi
Öğr. Gör. Kubilay DEMİR	Bitlis Eren Üniversitesi

## Dergi Hakkında / About Journal

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, mühendislik ve temel bilimler alanlarındaki gelişmeleri ve yenilikleri takip etmek, meslek kuruluşlarının, araştırmacıların ve bireylerin ulusal ve uluslararası gelişmelerine katkıda bulunmak ve bu alanlarda elektronik bir kaynak oluşturmak amacıyla yayımlanmaktadır. Derginin yazım dili Türkçe veya İngilizcedir. Fen Bilimleri Dergisi, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü yayını olup, 2012 yılından bu yana ücretsiz ve açık erişimli olarak yayın hayatına devam etmektedir. Mühendislik ve temel bilimlerin bilgi tabanına ve teknolojik gelişmelere ışık tutması amacıyla bu alanlarda yapılmış deneysel ve teorik ilerlemeleri konu alan özgün araştırma makalelerine, derlemelere ve teknik notlara yer verilmektedir. Dergiye gönderilen çalışmaların benzerlik oranı %25'i geçmemelidir. Yazım kurallarına uymayan makaleler, hakemlere gönderilmeden önce düzeltilmek üzere yazara geri gönderilir. Bu nedenle, derginin yazım kuralları dikkate alınmalıdır. Ayrıca, editörlerden yazarlara iletilen düzeltmelere veya taleplere 15 gün içerisinde cevap verilmediği takdirde ilgili makaleler reddedilir. Makaleler şekiller ve tablolar dâhil 20 sayfayı geçmemelidir. Dergiye yayın için gönderilen makaleler en az iki hakem tarafından değerlendirilir. Yazarlardan hakem önerisi talep edilmemektedir. Makalelerin dergide yayımlanabilmesi için hakemler tarafından olumlu görüş bildirilmesi gerekmektedir. Dergi Editör Kurulu, hakem raporlarını (*iki hakemin değerlendirmeleri geldikten sonra*) dikkate alarak makalelerin yayımlanmak üzere kabul edilip edilmemesine karar verir. Fen Bilimleri Dergisi, yılda iki defa (*Haziran, Aralık*) yayımlanmaktadır. **Dergimiz Tübitak-Ulakbim Mühendislik ve Temel Bilimler Veri Tabanı Dergi Listesinde taranmaktadır.**

**Araştırma Makaleleri (Mühendislik) / Research Articles (Engineering)**

1. **Elazığ İli Tıbbi Atık Yönetim Sisteminin Değerlendirilmesi ve Mali Sürdürülebilirlik** 1-10  
*Evaluation of Medical Waste Management System in Elazığ City and Financial Sustainability*  
N. Nacar Koçer, M. Gözegir
2. **Farklı Ham Sığır Gübresi/Mezbaha Atıkları Karışım Oranlarının Biyogaz Üretimi Üzerindeki Etkisinin Araştırılması** 11-21  
*Investigation of the Effect of Different Cattle Manure/Slaughterhouse Waste Mixture Ratios on Biogas Production*  
H. Şenol, E.A. Elibol, Ü. Açıklı, A. Yalçın
3. **TIG Yöntemi ile Ostenitik Paslanmaz Çelik Yüzeyine Kaplanan Stellite 6+FeMo Tabakasının Mikroyapı ve Sertlik Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi** 22-31  
*Investigation of Microstructure and Hardness Properties of Stellite 6+FeMo Layer Which is Coated on Austenitic Stainless Steel Surface Using the TIG Method*  
H. Turhan, N.Y. Çolak
4. **Mikro Şerit Dizi Anten için Besleme Ağı Tasarımı ve Uygulanması** 32-38  
*Feed Network Design and Application for Micro strip Antenna Arrays*  
G. Satılmış, F. Güneş
5. **Buğday Agro-Ekosistemlerinde Pestisitlerin ve Odun Sirkesinin Kültür Bitkisindeki Arthropodlara Etkileri Üzerine Bir Araştırma** 39-45  
*A Research on the Effects of Wood Vinegar and Pesticides on Arthropods Living on Cultivated Plants in Wheat Agroecosystems*  
İ. Koç, E.N. Yardım
6. **Ahlat İçerisinde Yer Alan Tarihi Yığma Minarenin Yapısal Analizi** 46-56  
*Structural Analysis of Historical Masonry Minaret in Ahlat*  
E. Işık, B. Antep
7. **NaCl-NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>-Zn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O Dörtlü Sisteminin 333.15K'de Katı-Sıvı Faz Dengelerinin İncelenmesi** 57-62  
*Measurement of Solid Liquid Phase Equilibria For The Quaternary System NaCl-NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>-Zn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O at 333.15K*  
S. Demirci, V. Adıgüzel, Ö. Şahin
8. **Atık Çelik Lif Takviyeli Pomza İçeren Reaktif Pudra Betonun Rijit Kaplama İmalatında Kullanımı** 63-71  
*Usability of Waste Steel Fiber-Reinforced Reactive Powder Concrete Containing Pumice in Rigid Pavement Construction*  
A. Bakış
9. **Tek Atlamalı Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Yeni Bir Hızlı Ağa Katılım Algoritması** 72-83  
*A New Fast Network Joining Algorithm for Single-Hop Wireless Sensor Networks*  
M. Çıbuk

10. **Examination of  $^{11}\text{Be}+d$  Reaction with Different Nuclear Potentials** 84-89  
*Farklı Nükleer Potansiyeller ile  $^{11}\text{Be}+d$  Reaksiyonunun İncelenmesi*  
M. Aygün
11. **Evaluation of Inhibition Effects of Some Cardiovascular Therapeutics on Human Erythrocyte Carbonic Anhydrase Isoenzymes** 90-97  
*İnsan Eritrosit Karbonik Anhidraz İzoenzimleri Üzerine Bazı Kardiyovasküler Terapötiklerin İnhibisyon Etkilerinin İncelenmesi*  
N. Kılınç, Z. Alım, B. Şengül, M.M. İşgör, Ş. Beydemir
12. **Momentlerin Sayısal Hesabı** 98-104  
*Numerical Calculation of Moments*  
S. Dündar
13. **Çizgili İshakkuşu *Otus brucei* (Hume 1872) Peletlerindeki Küçük Memeli Hayvan Kalıntıları** 105-112  
*Small Mammal Remains in Pallid Scops Owl *Otus brucei* (Hume 1872) Pellets*  
A. Kaya, S. Seçkin, M. Koçkaya, I.C. Musaoğlu, Y.Coşkun
14. **Ratlarda Siklofosfamid Nedenli Kardiyotoksisite Üzerine Borik Asitin Koruyucu Etkileri** 113-118  
*The Prevention Effects Boric Acid on Cyclophosphamide induced Cardiotoxicity in Rats*  
M. Cengiz
15. **Some Theorems on Compactness and Completeness** 119-124  
*Kompaktlık ve Tamlık Üzerine Bazı Teoremler*  
U. Kaya
16. **Öklid 3-Uzayında Hasimoto Yüzeylerinin Paralel Yüzeyleri** 125-132  
*Parallel Surfaces of Hasimoto Surfaces in Euclidean 3-Space*  
A. Çakmak
17. **Travelling Wave Solutions for the Long–Short–Wave Interaction System Using the Unified Method** 133-143  
*Unified Yöntem Kullanılarak Uzun-Kısa-Dalga Etkileşimi Sisteminin Hareketli Dalga Çözümlerinin Elde Edilmesi*  
Ş. Akçağıl
18. **Pressure Effects on the Structural Evolution of Monatomic Metallic Liquid Hafnium** 144-158  
*Mono-atomik Metalik Sıvı Hafniyumun Yapısal Gelişimi Üzerine Basınç Etkileri*  
S. Şengül, M. Çeltik
19. **Vibration Dynamics of  $\text{H}+\text{F}_2$  Reactive Scattering** 159-167  
 *$\text{H}+\text{F}_2$  Reaktif Saçılmanın Titreşim Dinamikleri*  
E. Karabulut

---

**Derleme Makaleleri (Mühendislik) / Review Articles (Engineering)**

---

20. **Hücre Dışı Polimerik Maddeler** 168-179  
*Extracellular Polymeric Substances*  
E. Gürtekin, S. Bulak, E. Taşkan

---

**Derleme Makaleleri (Temel Bilimler) / Review Articles (Basic Sciences)**

---

21. **Bitlis İlindeki Kaba Yem Üretim Potansiyelinin Hayvan Varlığına Göre Yeterliliğinin Belirlenmesi** 180-185  
*Determination of Roughage Production Potential for Farm Animals in Bitlis Province*  
E. Bıçakçı, S. Açıkbaş
-

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Elazığ İli Tıbbi Atık Yönetim Sisteminin Değerlendirilmesi ve Mali Sürdürülebilirlik**

Nilüfer NACAR KOÇER<sup>1</sup>, Meltem GÖZEGİR<sup>2\*</sup>  
*Fırat Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Elazığ*

---

### **Öz**

Nüfus artışı ve sanayileşme ile birlikte hasta sayısı, hastane sayısı ve ilaç kullanımı artmakta buna paralel olarak da tıbbi atıkların miktarı hızlı bir şekilde artarak çevre sorunu haline gelmektedir. Tıbbî atıklar, evsel atıklardan ayrı toplanması ve uygun şekilde giderilmesi gereken özel atıklardır. Ülkemizde tıbbî atıklar, 25.01.2017 tarih ve 29959 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiş olan “Tıbbî Atıkların Kontrolü Yönetmeliği” hükümleri çerçevesinde yönetilmektedir.

Yapılan bu çalışmada; Elazığ İli’nde toplanan ve sterilize edilen tıbbi atıkların zamansal değişimleri incelenerek, kişi başına üretilen tıbbî atık miktarları hesaplanmış ve uygulanan yönetim sisteminin değerlendirmesi yapılmıştır. Buna göre; 2016 yılı için Elazığ İli’nde oluşan tıbbî atık miktarı 0,68 kg/gün/yatak ve 0,74 kg/gün/yatak tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Elazığ İli, Sterilizasyon, Tıbbi Atık, Nüfus.

---

## **Evaluation of Medical Waste Management System in Elazığ City and Financial Sustainability**

### **Abstract**

Along with population growth and industrialization, the number of patients, the number of hospitals and the use of medicines are increasing, and the amount of medical wastes increases rapidly and becomes an environmental problem. Medical wastes are to be collected in different ways according as household wastes, and eliminated with specifically designed procedures. The medical wastes in our country have been managed according to the “Regulation of Medical Wastes” enacted and administrated in the Official Bulletin 29959 on January 25, 2017.

In this study, the temporal changes of medical wastes collected and sterilized in Elazığ province were examined and the amount of medical waste generated per person was calculated and the applied management system was evaluated. According to this; The amount of medical waste generated in Elazığ Province for the year 2016 was 0.68 kg / day / bed and 0.74 kg / day / bed.

**Keywords:** Elazığ City, Medical Waste, Sterilization, Population.

---

### **1. Giriş**

Türkiye’de son yıllarda değişen insan aktiviteleri ve yaşam tarzları farklı tür atıkların büyük miktarlarda oluşmasına neden olmaktadır.

Atıklar ekosistemdeki tüm canlıların yaşamlarını tehdit ettiği gibi aynı zamanda suda, havada ve toprakta kalıcı özellik göstererek ekosistemdeki dengeyi bozabilen atıklardır [1]. Dünyada ve ülkemizde tüm atık miktarlarında olduğu gibi tıbbi atık miktarında da sürekli artış meydana gelmektedir. Tıbbi atıkların taşıdığı hastalık yapıcı mikroorganizmalar doğrudan bulaşabildikleri gibi su kaynaklarına da kontamine olmaları nedeniyle halk sağlığında önemli sorunlar meydana getirmekte ve ülkemiz için de

---

\*Sorumlu yazar: [mltmgozegir@gmail.com](mailto:mltmgozegir@gmail.com)

Geliş Tarihi: 30/11/2017 Kabul Tarihi: 22/02/2018



ciddi problemlere neden olmaktadır. Bu problemlerin doğal çevresel ortamlarda kısa ve uzun vadede meydana getirdiği etkilerinden dolayı konu üzerinde titizlikle durulmasını gerekmektedir.

Bu tür atıklar zararlı ve tehlikeli atık sınıfına girmekte ve bu atıkların üretiminden, taşıma, depolama ve bertarafına kadar olan süreçlerde özel önlemler alınarak bertaraf edilmesi gerekmektedir [2]. Sağlık kurumlarında oluşan tıbbi atıkların üretildikleri yerlerde toplanması, taşınması, geçici depolanarak bertaraf edilmesi ile ilgili esasları düzenleyen Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği 25/01/2017 tarihli ve 29959 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelikte tıbbi atıkların bertaraf edilme yöntemleri yeniden düzenlenerek bu atıklar için alternatif bertaraf teknolojileri hakkında düzenlemeler yapılmıştır. Bu düzenlemeye göre; enfeksiyon yapıcı atıklar ile kesici-delici atıklar sınıfına giren tıbbi atıklar yakılarak, sterilizasyon işlemi uygulanarak veya düzenli depolanarak zararsız hale getirilmektedir. Bu bertaraf yöntemleri tek uygulanabildiği gibi birkaçı aynı anda uygulanabilir. Zararsız hale getirilen atıklar, 26/03/2010 tarihli ve 27533 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelikte belirtildiği gibi düzenli depolama sahalarında bertaraf edilmesi gereklidir [3].

### 1.1. Tıbbi Atıkların Tanımı ve Tıbbi Atık Üreten Sağlık Kuruluşları

Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’ne göre; kesici delici atıklar, patolojik atıklar ve enfeksiyon yapıcı atıkların tümü tıbbi atık olarak ifade edilmektedir [3]. Faaliyetleri sonucu atık oluşumuna sebep olan sağlık kurumları büyük, orta ve küçük olmak üzere üç ana başlık altında toplanabilmektedir. Bu tıbbi atık üreten sağlık kuruluşları Tablo 1.1’de verilmiştir.

**Tablo 1.1.**Tıbbi Atık Üreten Sağlık Kuruluşları [4]

<b>BÜYÜK MİKTARDA ATIK ÜRETİLEN SAĞLIK KURULUŞLARI</b>	<b>ORTA MİKTARDA ATIK ÜRETİLEN SAĞLIK KURULUŞLARI</b>	<b>KÜÇÜK MİKTARDA ATIK ÜRETİLEN SAĞLIK KURULUŞLARI</b>
<p><b>1.</b> Üniversite Hastaneleri ve Poliklinikleri,</p> <p><b>2.</b> Genel Amaçlı Hastaneler ve Poliklinikleri,</p> <p><b>3.</b> Kadın-Doğum Hastaneleri ve Poliklinikleri,</p> <p><b>4.</b> Askeri Hastaneler ve Poliklinikleri,</p>	<p><b>1.</b> Sağlık Merkezleri, Tıp Merkezleri, Dispanserler,</p> <p><b>2.</b> Ayakta Tedavi Yapan Merkezler,</p> <p><b>3.</b> Otopsi Merkezleri ve Morglar</p> <p><b>4.</b> Hayvanlar Üzerinde Araştırma ve Deney Gerçekleştiren Kuruluşlar,</p> <p><b>5.</b> Bakımevleri ve Huzurevleri,</p> <p><b>6.</b> Biyomedikal Şirketler ve Tıbbi Laboratuvarlar,</p> <p><b>7.</b> Hayvan Hastaneleri,</p> <p><b>8.</b> Kan Bankaları ve Transfüzyon Merkezleri,</p> <p><b>9.</b> İlk Yardım ve Acil Yardım Merkezleri,</p> <p><b>10.</b> Diyaliz Merkezleri,</p> <p><b>11.</b> Rehabilitasyon Merkezleri,</p> <p><b>12.</b> Biyoteknoloji Enstitüleri ve Laboratuvarları ,</p> <p><b>13.</b> Tıbbi Araştırma Merkezleri.</p>	<p><b>1.</b> Sağlık Hizmeti Verilen Diğer Birimler (Doktor Muayenehaneleri, ve Ağız Sağlığı Dış Muayenehaneleri ve Benzerleri),</p> <p><b>2.</b> Veteriner Muayenehaneleri,</p> <p><b>3.</b> Akapunktur Merkezleri,</p> <p><b>4.</b> Fizik Tedavi Yapan Üniteler,</p> <p><b>5.</b> Evde Yapılan Tedavi ve Hemşire Hizmetleri,</p> <p><b>6.</b> Güzellik, Dövme Merkezleri ve Kulak Delme Birimleri,</p> <p><b>7.</b> Eczaneler,</p> <p><b>8.</b> Ambulans Hizmetleri Veren Birimler,</p>

## 1.2. Tıbbi Atık Türleri

Sağlık kuruluşlarında meydana gelen tıbbi atıkların tümü hastane atıkları olarak tanımlanmakta ve çevre kirliliğine neden olan etkenlerin başında gelmektedir. Bu tür atıklar hastalar, hastane çalışanları ve toplum sağlığı açısından önemli risk oluşturmaktadır [5]. Hastane atıkları kendi içerisinde kategorilere ayrılmıştır. Bu sınıflandırma aşağıdaki gibi yapılmaktadır [3, 4, 6, 7,8].

**Enfeksiyöz Atık:** Enfeksiyon yapıcı etkenleri taşıdığı bilinen kan ve kan ürünleri olmak üzere her türlü insan dokuları, vücut sıvıları ile organları, otopsi materyali, anatomik parçalar, veterinerlik gibi hizmetlerinden kaynaklanan atıklardır.

**Patolojik Atık :** Cerrahi müdahale, anatomi, otopsi veya patolojik çalışmalar sonucu ortaya çıkan organlar, dokular, vücut sıvıları, vücut parçaları vb. gibi atıklardır.

**Kesici Delici Atıklar :** Enjektörler, tıbbi girişim iğneleri, bıçak, bisturi, cerrahi iğneler, serum seti iğneleri, kırık cam, ampul, lam-lamel, kırılmış cam tüp, biyopsi iğneleri, ve petri kapları gibi atıkların tümünü içerir.

**Farmasötik Atıklar :** Kullanım süresi dolmuş, ambalajı bozulmuş, ve kontamine olmuş ilaçlar, serumlar, aşılarda ve farmasötik ürünler ve bunların artıklarından oluşmaktadır.

**Genotoksik Atıklar :** Hücre DNA'sı üzerinde değişikliğe neden olan, kanser tedavisinde kullanılan ürünler ve radyoaktif madde içeren atıkları içermektedir. Çok tehlikeli atıklardır ve kanserojenik özellik taşımaktadır.

**Kimyasal Atıklar :** Ünitelerde teşhis, tedavi gibi tıbbi alanlarda kullanılan ve çeşitli etkiler sonucu çevre ve insan sağlığı açısından zararlı olma özelliği gösteren tehlikeli ve tehlikesiz türleri olan kimyasal maddelerden oluşan katı, sıvı veya gaz olan atıklardır.

**Ağır Metal İçeren Atıklar :** Sağlık birimlerinde tedavi, teşhis veya deneysel araştırmalar sonucu tıbbi alandaki çalışmalarda kullanılan alet ve ekipmanların ihtiva ettiği kadmiyum, cıva ve kurşun içeren atıklardır.

**Basınçlı Kaplar :** Ünitelerde tanı, tedavi veya deney yapılan araştırma merkezlerinde kullanılan gazları içinde bulunduran tüp gibi kapları içermektedir.

**Radyoaktif Atıklar :** Radyoterapi ve laboratuvar çalışmalarından kullanılmayan akışkanlar; temas etmiş cam eşyalar vb gibi atıkları içermektedir.

## 1.3. Tıbbi Atık Kompozisyonu ve Tıbbi Atık Üretim Miktarı

Tıbbi atıklar insan sağlığı açısından büyük tehlike oluşturmakla birlikte bu atıkların bir kısmı da tehlikeli değildir. Dünya Sağlık Teşkilatı'nın tıbbi atık kompozisyonu verilerine göre; %15'ini patolojik ve enfekte atıklar, %80'nini evsel nitelikli genel atıklar, %1'ini kesici-delici atıklar, %3'ünü kimyasal ve farmasötik atıklar, %1'ini de piller, radyoaktif atıklar, basınçlı kaplar, kırık termometreler ve kullanılmış özel atıklar oluşturmaktadır [9].

Hastanelerde oluşan tıbbi atık miktarı ülkelerin gelişmişlik düzeyiyle paralellik göstermektedir. Tablo 1.2.'de ulusal gelir düzeyine göre oluşan tıbbi atık miktarları gösterilmiştir. Gelir düzeylerinin artmasıyla atık miktarının da arttığı görülmektedir [10]. Hastanelerdeki atık miktarları, kurumların atık yönetim sistemleri, hastanelerin özellikleri ve çeşitleri, kullanılan medikal malzemelerin yeniden kullanım oranları ve kurumlardaki günlük tedavi edilen hasta sayısı gibi değişik parametrelere bağlı olarak değişmektedir [11].

**Tablo 1.2.** Ulusal Gelir Düzeyine Göre Tıbbi Atık Üretimi Miktarları [12]

ULUSAL GELİR DÜZEYİ SINIFLANDIRMASI	YILLIK ATIK ÜRETİMİ, kg kişi <sup>-1</sup>
<b>YÜKSEK GELİRLİ ÜLKELERE AİT ATIKLAR</b>	
• Tüm tıbbi atıklar	1.1 – 12. 0
• Tehlikeli tıbbi atıklar	0.4 – 5. 5
<b>ORTA GELİRLİ ÜLKELERE AİT ATIKLAR</b>	
• Tüm tıbbi atıklar	0.8 – 6. 0
• Tehlikeli tıbbi atıklar	0.3 – 0. 4
<b>DÜŞÜK GELİRLİ ÜLKELERE AİT ATIKLAR</b>	
• Tüm tıbbi atıklar	0.5 – 3. 0

#### 1.4. Tıbbi Atık Yönetimi

Sağlık birimlerinde oluşan tıbbi atıkların yönetimi, tıbbi atıkların oluşumundan bertarafına kadar geçen süreci kapsamaktadır. Sağlık birimlerinde tıbbi atık yönetiminin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için Tıbbi Atık Yönetim Stratejilerinin uygulanması gereklidir [13].

Atık yönetim stratejisinde temel amaç, insanların sağlığı ve çevreye zarar vermeden atıkların ekonomik olarak toplanması, ayrılması, tekrar kullanılması, geri dönüştürülmesi ve miktarlarının azaltılarak güvenli bir şekilde bertaraf edilmesini içermektedir [14]. İnsan ve çevre sağlığı açısından bakıldığında; insanların atık üretme konusunda hassas davranması, atık yönetim çalışmalarını uygulaması ve atık yönetimine katılım oranlarının artırılmasının sağlanması ile oluşabilecek riskler azaltılabilir [15].

Tıbbi atıklar enfeksiyon riski taşıdıklarından bu atıklardan kaynaklanabilecek tehlikelerde uygulanacak optimum atık yönetimi ile tehlikeli atık miktarı azaltılmalıdır. Günümüzde tıbbi atık üreten ülkelerin büyük bir kısmı atık yönetiminde en ekonomik yöntemleri tercih etmektedir [16].

#### 1.5. Tıbbi Atıkların Bertaraf Yöntemleri

Tıbbi atıkların giderilmesindeki amaç, atıkların tehlike oluşturmayan maddelere dönüştürülerek çevre ve insan sağlığını korumaktır. Tıbbi atıklar için en çok kullanılan bertaraf yöntemleri; düzenli depolama, yakma, kimyasal dezenfeksiyon, otoklavlama, mikrodalga ve ışınlama teknolojisi, enkapsülasyon ve sterilizasyondur [6].

### 2. Materyal ve Metot

#### 2.1. Elazığ Tıbbî Atık Yönetim Sistemi

Elazığ İli'nde uygulanan Tıbbî Atık Yönetim Sistemi, belediye sınırları içerisinde bulunan tüm devlet hastaneleri, özel hastaneler, diyaliz merkezleri, aile sağlığı merkezleri, laboratuvarlar ve ilçe belediyelerinden kaynaklanan tüm tıbbî atıkların bertarafını içermektedir. Elazığ İli Belediye sınırları içerisinde kalan ve ilçe belediyelerinden kaynaklanan tıbbi atıklar, Tıbbî Atıkların Kontrolü Yönetmeliği kapsamı içerisinde tıbbi atıklar sağlık riski açısından insan ve çevre sağlığına zarar vermeden ayrı toplanması, taşınması ve işletmede olan tıbbî atık sterilizasyon tesisinde sterilize edildikten sonra katı atık depolama alanına aktarılarak bertaraf edilmesini amaçlamaktadır. Elazığ İli'nde devlet hastaneleri, özel hastaneler, diyaliz merkezleri, aile sağlığı merkezleri ve laboratuvarlardan kaynaklanan yıllara göre toplam tıbbi atık miktarları ve nüfusa göre kişi başına düşen tıbbi atık miktarı Tablo 2.1.'de verilmiştir.

**Tablo 2.1.** Elazığ İli'nde Yıllara Göre Nüfusa Bağlı Tıbbi Atık Miktarı [17, 18]

Yıllar	Elazığ İli Nüfusu (kişi)	Tıbbi Atık Miktarı (ton)	Tıbbi Atık Miktarı (ton/kişi)
2009	550.667	450	0.82
2010	552.646	425	0.77
2011	558.556	430	0.77
2012	562.703	376	0.67
2013	568.239	396	0.70
2014	568.753	511	0.90
2015	574.304	590	1.03
2016	578.789	720	1.24

Elazığ İli nüfusu ve oluşan tıbbi atık miktarları düşünüldüğünde; Tablo 2.1'de görüldüğü gibi yıllara göre paralel bir artış gözlenmektedir. Elazığ İli nüfusu 2009 yılında 550.667 iken 2016 yılında 578.789'a yükselmiş ve buna bağlı olarak kişi başına düşen tıbbi atık miktarı 2009 yılında 0,82 iken 2016 yılında 1,24 ton/kişi'ye ulaşmıştır. Tablo 2.1.'den de görüldüğü gibi nüfus 2009 yılından 2016 yılına kadar %5,11 artış gösterirken kişi başına düşen atık miktarı %51,2'lik bir artış göstermiştir. Bu da yıl itibariyle hastalıkların ve hastaneye gidiş oranının arttığını göstermektedir.

## 2.2. Etkin Yönetim Sisteminin Uygulanması

Etkin yönetim sisteminin uygulanmasındaki amaç; oluşan tıbbi atıkların kaynaklarından bertarafına kadar olan süreç içerisinde kayıt ve kontrol altında tutulmasını sağlamaktır. Bu amaç çerçevesinde Elazığ İli sınırları içerisinde bulunan toplam 12 sağlık kuruluşundan lisanslı araçlar ile toplanan tıbbi atıklar sterilizasyon ünitesinde sterilize edildikten sonra bertaraf alanına aktarılmaktadır. Elazığ sınırları içerisindeki il ve ilçelerden kaynaklanan tıbbi atık miktarları Tablo 2.2.'de verilmiştir [18, 19]. Buna göre; 2016 yılı için bu sağlık kuruluşlarının toplam yatak kapasitesi yaklaşık 2.823 olup, toplamda yaklaşık aylık 57,4 ton tıbbi atık toplanmaktadır. Bu sağlık kuruluşlarına ilave olarak aile sağlığı merkezleri, laboratuvarlardan ve diğer kuruluşlardan gelen atıklar da eklendiğinde ortalama yaklaşık 60 ton civarında tıbbi atık toplandığı görülmektedir. En fazla tıbbi atık üreten sağlık kuruluşları Özel Doğu Anadolu Hastanesi, Palu ve Maden Devlet Hastaneleri, Özel Medicalpark Hastanesi, Karakoçan İlçe Devlet Hastanesi ve Elazığ Fırat Üniversitesi Hastanesi'dir. Elazığ Fırat Üniversitesi Hastanesi en fazla tıbbi atık miktarına sahip olmasına rağmen yataklardaki doluluk oranına bağlı kişi başına düşen atık miktarı düşmektedir. Elazığ İli Tıbbî Atık yönetim sisteminin etkin uygulanabilmesi için oluşan atık miktarının bilinmesi gerekmektedir.

**Tablo 2.2.** Elazığ İli'nde Bulunan Hastanelerden Kaynaklanan Tıbbi Atık Miktarları [18, 19]

SIRA	HASTANE ADI	YATAK SAYISI (adet)	ORTALAMA TIBBİ ATIK MİKTARI (ton ay <sup>-1</sup> )	TIBBİ ATIK MİKTARI (kg yatak. gün <sup>-1</sup> )
1	Elazığ Fırat Üniversitesi Hastanesiden	880	24.5	0,93
2	Elazığ Eğitim ve Araştırma Hast.	539	11.1	0,69
3	Elazığ Ruh Sağlığı Hastanesi	510	1.2	0,08
4	Elazığ Harput Devlet Hastanesi	317	3	0,32
5	Özel Medicalpark Hastanesi	198	7	1,18
6	Elazığ Deri ve Zührevi Hastanesi	125	1	0,27
7	Özel Doğu Anadolu Hastanesi	75	4	1,78
8	Özel Hayat Hastanesi	54	1.5	0,93
9	Kovancılar İlçe Devlet Hastanesi	40	1.1	0,92
10	Karakoçan İlçe Devlet Hastanesi	35	1	0,95
11	Maden İlçe Devlet Hastanesi	25	1	1,30
12	Palu İlçe Devlet Hastanesi	25	1	1,30
<b>T O P L A M</b>		2.823	57,4	0,68

Elazığ İli'nde toplanan tıbbi atıklar, 2012 yılında faaliyete geçen sterilizasyon tesisinde sterilize edildikten sonra katı atık düzenli depolama sahasına aktarılmaktadır. Kurulan sterilizasyon tesisi 2.000 ton yıl<sup>-1</sup> kapasitelidir. Elazığ İli sınırları içerisindeki tüm sağlık kuruluşlarından oluşan tıbbi atıklar özel tıbbi atık taşıma araçları ile toplanarak, sterilizasyon tesisinde sterilize edilmek üzere taşınmaktadır. Sterilizasyon tesisine getirilen tıbbi atıklar +4°C'nin altında soğutulmuş geçici atık depolarında biriktirmektedir. Sterilizasyon tesisi hem Elazığ ili hem de çevre illerin tıbbi atıklarını sterilize edebilecek kapasiteye sahiptir [18, 20].

Tesiste biriktirilen atıklar el değmeden otoklava boşaltılmakta ve 200-250 kg civarındaki atık otoklavda her döngüde 1-1,5 saat işlem görmektedir. Sistem 138°C sıcaklık ve 3,8 bar basınç altında çalışmaktadır. Sistemdeki sterilizasyon kontrolü; tıbbi atıklar akredite laboratuvara gönderilerek yapılmaktadır. Tüm bu işlem el değmeden tam otomatik otomasyonla Şekil 2.2.'de görüldüğü gibi uygulanmaktadır.



Şekil 2.2. Elazığ İli Sterilizasyon Tesisi [18, 20]

Elazığ İli'nde 2016 yılı içinde toplanan tıbbi atıklar yaklaşık haftada 15 ton civarındadır. Düzenli olarak toplanacak atık miktarı yılda yaklaşık 680-720 ton civarındadır. Sterilizasyon işlemi sonucunda çıkan steril olmuş atıklar katı atık düzenli depolama sahasında depolanmaktadır [18].

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Mali Sürdürülebilirlik

Yönetim sisteminin en etkin göstergelerinden birisi atık bertarafı için gerekli olan finans kaynağının sürekliliğinin sağlanmasıdır. Süreklilik sağlanmak için gerekli mali kaynak tıbbi atık üreticileridir. Üreticilerin üretmiş oldukları tıbbi atık miktarına göre, ödemek zorunda oldukları bir bedel bulunmaktadır. Uygulanacak yönetim sistemi ve yapılacak eğitim çalışmaları ile sağlık kurumlarının üretmiş oldukları tıbbi atıkların tıbbî atık özelliğinde olmayan atıklarla karışması önlenerek, atık miktarının azaltılması sağlanmakta ve ödenmesi gereken atık bedelinde de azalma olmaktadır.

Elazığ İl Mahalli Çevre Kurulu tarafından belirlenen tıbbi atık sterilizasyon bedeli 2015 yılında kg başına 2.40 TL (KDV hariç)'dir. Tıbbi atık sterilizasyon bedeli 2016 yılı için kg başına 2.60 TL (KDV hariç) ve 2017 yılı için de 2.70 TL (KDV hariç) olarak belirlenmiştir [18]. Elazığ da 2016 yılı aylık ortalama tıbbi atık miktarı ve ortalama sterilizasyon bedeli Tablo 3.1.'de hesaplanarak verilmiştir.

Tablo 3.1. Elazığ İli 2016 Yılı Aylık Sterilizasyon Bedeli [18]

AYLAR	ORTALAMA TIBBİ ATIK MİKTARI, Ton	ORTALAMA STERİLİZASYON BEDELİ, TL (KDV HARIÇ)
Ocak	59.99	155.984
Şubat	62.84	163.379
Mart	61.10	158.870
Nisan	58.12	151.109
Mayıs	62.20	161.720
Haziran	58.04	150.896

Temmuz	58.90	153.140
Ağustos	58.12	151.109
Eylül	57.53	149.583
Ekim	60.83	158.145
Kasım	62.35	162.120
Aralık	61.92	160.989
<b>TOPLAM</b>	<b>721.64</b>	<b>1.877.044</b>

Elazığ İli sterilizasyon tesisinde 2016 yılı için 1 kg tıbbi atığın sterilizasyon bedeli 2,60 TL (KDV hariç) olarak belirlendiği göz önüne alınır; sterilizasyon ünitesinde 2016 yılında ortalama 722 ton tıbbi atık sterilize edilmiş ve Tablo 3.1.'de görüldüğü gibi sterilizasyon bedeli de yıllık 1.877.044 TL + KDV olarak hesaplanmıştır.

Ortalama tıbbi atık miktarına bağlı olarak en fazla atık Şubat ayında 62,84 ton, en az tıbbi atık ise Eylül ayında 57,53 ton toplanarak sterilize edilmiştir. Bu verilere göre kişi başına düşen tıbbi atık miktarı Şubat ayında 0,74 kg gün.yatak<sup>-1</sup>, Eylül ayında da 0,68 kg gün.yatak<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Ülkemizde tıbbi atık uygulamalarının başarılı bir şekilde yürütülebilmesi için tıbbi atıklara ait düzenlenmiş olan yönetmelik hükümleri uygulanmaktadır. Bu çerçevede mevcut şartlar göz önünde bulundurularak, tıbbi atık sorumlularının yetki ve görevleri detaylı bir şekilde belirlenerek, tıbbi atıklarla ilgili sorumlu firma personeli ve kurumlar için yeterlik belgesi ya da sertifika alma zorunluluğu getirilmelidir. Yapılacak eğitimler, sadece tıbbi atıklar için değil, çevre üzerinde olumsuz etkileri olan diğer atıklar için de uygulanmalı ve oluşturabileceği riskler konusunda halk arasında farkındalık oluşturulması sağlanmalıdır.

Yapılan çalışmada; Elazığ İli'nde tıbbi atıklarla ilgili tespit edilen araştırma verileri doğrultusunda, envanter çalışması yapılarak, uygulanmakta olan durum ortaya konulmuştur. Tıbbi atık yönetimi konusunda hem toplum hem de sağlık kuruluşlarında çalışan sorumlu tıbbi atık çalışanları için sürekli olarak bilinçlendirme çalışmaları yapılarak, eğitim programları düzenlenmelidir. Elazığ'da hastanelerde yapılan çalışmalar sırasında, sağlık kuruluşlarında üretilen tıbbi atık miktarlarının kurum yetkililerince yeterince bilinmediği, tıbbi atıkların yönetimi ve giderilmesi konularında yönetmelikte belirtilen koşulların asgari şartlarda gerçekleştirilmesine çalışıldığı dikkat çekmektedir. Tıbbi atıkların yönetmelik hükümleri çerçevesinde toplanmaması sonucunda tıbbi atık personelinin değişik sağlık problemleri ile karşı karşıya kalacağı unutulmamalıdır. Yetkili personel tarafından; toplama ve taşıma işleminin düzenli ve güvenilir bir şekilde gerçekleştirilmesi, tıbbi atıklar için metal ve radyoaktivite ölçümlerinin sürekli yapılması; on-line izleme yapabilen bilgisayar programları ile atıkların ünitelerde tartımının yapılması, barkotlama işleminin uygulanması, atıkların kaynaktan itibaren geçtiği süreçlerin takip edilerek gerçekleştirilmesi gereklidir.

## Kaynaklar

1. Henry J.G., Heinke G.W. 1996. *Environmental Science and Engineering*. Second Edition, 778 pp, Prentice Hall, Inc., New Jersey, ABD.
2. Baylan A. 2009. Tıbbi Atıkların Bertarafı Üzerine Çalışma Edirne Örneği. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
3. Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği. 2017. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 29959 sayılı Resmî Gazete, 25 Ocak 2017.
4. Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği. 2005. Çevre ve Orman Bakanlığı, 25883 sayılı Resmî Gazete.
5. Rahman S., Açık Y., Gülbayrak C., Erhan D., Nazlıer K., Deveci S.E. 2009. Sağlık Kuruluşlarının Tıbbi Atık Toplama, Depolama ve Bertaraf Etme Yöntemleri, Fırat Sağlık Hizmetleri Dergisi, Cilt:4, Sayı:11.
6. Prüss A.-Giroult, E.-Rushbook, P. 1999. Safe Management of Wastes from Health-care Activities. Geneva: World Health Organization: 2-8.
7. WHO. 1999. Safe Management of Wastes from Health-Care Activities, Ceneve.
8. WHO. 2000. Suggested Guiding Principles and Practices for Sound Management of Hazardous Hospital Waste, New Delhi.
9. WHO. 2000. MDI/EIP Marketing and Dissemination, Wastes from Health Care Activities, Genova.
10. EPA. 1990. Operation and Maintenance of Hospital Medical Waste Incinerator, EPA/625/689/024, Çevre Koruma Ajansı, Ohio.
11. Dündar E. 2010. Hastane Atıklarının Yönetiminde Geri Kazanılabılır Atık Miktarlarının Tesbiti ve Ekonomik Değeri Ankara Örneği. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
12. AB Komisyonu. 1995. Ulusal Gelir Düzeyine Göre Tıbbi Atık Üretimi.
13. Esmen C., Varınca K.B., Şengil A.S. 2008. Tıbbi Atık Yönetiminde Yeni Bir Model Örneği, ÇESKO 2008.
14. Varınca K.B., Esmen C., Gönüllü M.T. 2009. Bursa İli Tıbbî Atık Yönetim Sistemi Performans Değerlendirmesi, TÜRKAY 2009, Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu, YTÜ, 15-17 Haziran 2009, İstanbul.
15. Özerol İ.H. 2005. Tıbbi Atık Stratejileri Nelerdir? EN/ISO Normları Nelerdir? Avrupa’da Birlik? ABD’nin Yaklaşımı? Ülkemizde Durum?, İnönü Üniversitesi Tıp Fakültesi, Mikrobiyoloji ve Klinik Mikrobiyoloji Anabilim Dalı, Malatya.
16. Kuhling J.G. 2002. Hastane Atıkları, Dünya Katı Atık Çevre Kongresi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
17. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). 2016. Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) Veritabanı, <http://tuikapp.tuik.gov.tr/adnksdagitapp/adnks.zul>.
18. Elazığ Belediyesi. 2017. Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü, Tıbbi Atık Sterilizasyon Birimi.



19. [www.tdms.saglik.gov.tr](http://www.tdms.saglik.gov.tr)

20. ERA Çevre Teknolojileri. <http://www.eracevre.com/projeler/biten-projeler/elazig-tibbi-atik-sterilizasyon-tesis>.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Farklı Ham Sığır Gübresi/Mezbaha Atıkları Karışım Oranlarının Biyogaz Üretimi Üzerindeki Etkisinin Araştırılması**

Halil ŞENOL<sup>1\*</sup>, Emre Aşkın ELİBOL<sup>2</sup>, Ünsal AÇIKEL<sup>3</sup>, Ali YALÇIN<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup>Giresun Üniversitesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü, Giresun

<sup>2</sup>Giresun Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Giresun

<sup>3</sup>Cumhuriyet Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Sivas

<sup>4</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Isparta

---

### **Öz**

Yapılan çalışmada organik atık olan mezbaha atıkları ve sığır gübresi karışımlarından anaerobik fermantasyon ile biyogaz üretilmiştir. Mezbaha atıkları olarak sığır mezbahası atıkları kullanılmıştır. Bu atıklardan kalın bağırsak alınmıştır. Sığır gübresi olarak bütün proseslerde taze sığır gübresi kullanılmıştır. Taze sığır gübresinin kullanılmasının sebebi ise sığır atığında anaerobik mezofilik bakterilerin mevcut aktif durumda olmasıdır. Deneyler, 40 °C 'de, 500 ml'lik kesikli olarak çalıştırılan nuçe erleninde gerçekleştirilmiştir. Anaerobik fermantasyon işlemlerinden önce, taze sığır gübresi ve mezbaha atıklarının kuru madde ve uçucu organik madde miktarı tayini yapılmıştır. Biyogaz üretimi; sadece sığır atığından, mezbaha atıklarından ve hem sığır hem de mezbaha atıkları karışımlarından üretilmiştir. Anaerobik fermantasyonda gerçekleşen mezbaha atıkları/sığır gübresi karışım oranları 1:0, 1:1, 2:1, 1:2, 0:1 olarak belirlenmiştir. Deneyler 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. En fazla biyogaz üretimi 353 ml/g<sub>toplam katı madde</sub> olarak 2:1 karışım oranları olan reaktörde ölçülmüştür. Metan oranı ise hacimsel olarak % 59 olarak belirlenmiştir. Aynı reaktörde ise toplam KOİ giderimi % 48,45 olarak bulunmuştur. Yapılan bu çalışma sonucunda sığır gübresi ve mezbaha atıklarının iyi bir karışım olabileceği deneysel olarak ispatlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Biyogaz, Mezbaha Atıkları, Sığır Gübresi.

---

## **Investigation of the Effect of Different Cattle Manure / Slaughterhouse Waste Mixture Ratios on Biogas Production**

---

### **Abstract**

In the study, anaerobic fermentation and biogas were produced from slaughterhouse waste and cattle fertilizer mixture which is organic waste. Slaughterhouse wastes were used as cattle slaughterhouse wastes. A large intestine was used as slaughterhouse waste and fresh cattle manure was used in all processes as cattle manure. The reason for the use of fresh cattle manure is that the anaerobic mesophilic bacteria are presently active in the cattle manure.

Experiments were carried out at a batch reactor of 500 ml. The working temperature was chosen to be 40 °C. Prior to the anaerobic fermentation process, the amounts of dry matter and volatile organic matter were determined for fresh cattle manure and slaughterhouse waste. Biogas production is produced exclusively from cattle wastes, slaughterhouse wastes, and mixtures of both cattle manure and slaughterhouse waste. Slaughterhouse waste / cattle manure mixture rates in anaerobic fermentation were determined as 1: 0, 1: 1, 2: 1, 1: 2, 0: 1. The experiments were carried out in 3 recurrence. The maximum biogas production was measured in the reactor with a mixture ratio of 2: 1 as 353 ml / g VS. The methane content was measured as 59 % by volume. In the same reactor, total

---

\* Sorumlu yazar: [halilsenol1990@hotmail.com](mailto:halilsenol1990@hotmail.com)

Geliş Tarihi: 04/12/2017 Kabul Tarihi: 06/03/2018

Bu çalışma CÜBAP tarafından M-665 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

COD removal was found to 48,45 %. As a result of this study, it has been experimentally proven that cattle manure and slaughterhouse waste may be a good mixture.

**Keywords:** Biogas, Slaughterhouse Waste, Cattle Manure.

## 1. Giriş

Günümüzde enerji ihtiyacı, sanayileşmeyle birlikte doğru orantılı olarak artmaktadır. Bunun sonucunda dünyada artan nüfusla beraber enerji açığı oluşmaktadır. Bu sebeple, tüm Dünya'da enerji ihtiyaçlarını karşılamak için yeni enerji kaynakları aranmaktadır. Aynı şekilde, motorlu taşıtlarda da enerji kaynağı petrol ürünleridir. Petrol kaynaklarındaki olumsuzluklar, alternatif yakıtların kullanımını bir anlamda zorunlu hale getirmektedir [1]. Özellikle büyük yerleşim yerlerinde, havaya bırakılan kirletici gazlar, ısınma için tüketilen gazlardan daha fazladır. Bu nedenle, motorlu araçlardan kaynaklanan hava kirliliği, çevre sorunu haline gelmiştir [2]. Günlük hayatımızda kullanılan yakıtların oluşturduğu egzoz gazları çevreye zarar vermekte ve zararlı gazların emisyon değerlerini artırmaktadır. Bu durumda yenilenebilir enerjilerin kullanımının artırılması alınabilecek tedbirlerden biridir [3]. Bu nedenlerden dolayı fosil kökenli yakıtların yerini alabilecek alternatif enerji yakıtlarına ihtiyaç vardır [4].

Dünyamız enerji ihtiyacının ortalama; %33,1'ini petrol, %30,3 'ünü kömür, %23,7 'sini doğal gaz ve % 5 'ini nükleer enerji olmak üzere toplamda yaklaşık olarak % 92 'sini, tükenmekte olan enerji kaynaklarından sağlamaktadır. Toplam enerji ihtiyacının yaklaşık % 8 'i yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır [5]. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biride biyogazdır.

### 1.1.Biyogaz Üretimi

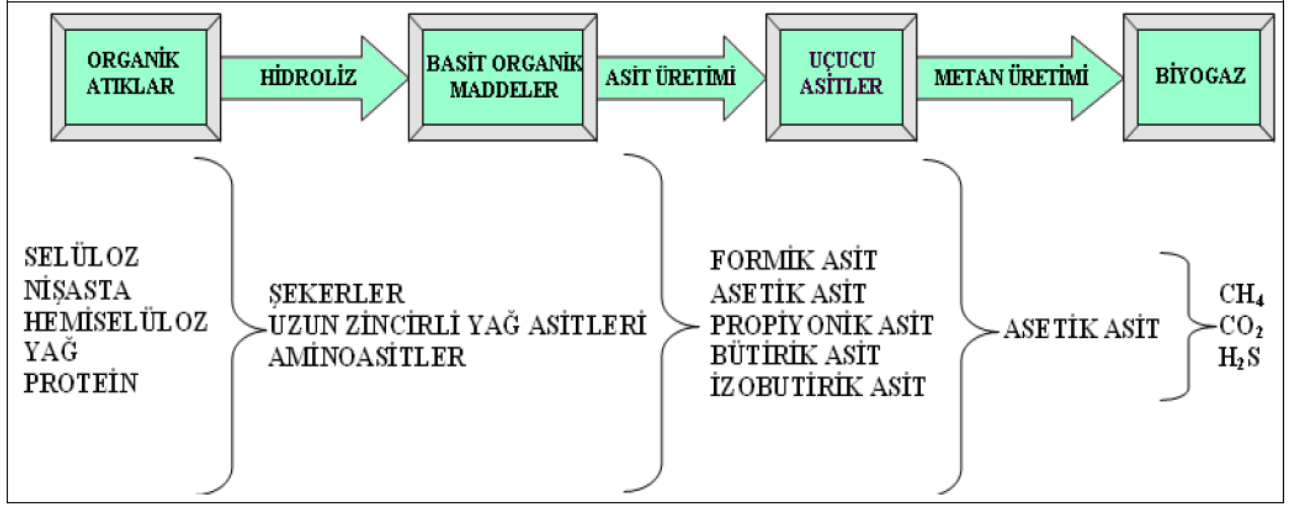
Biyogaz, biyokütlenin işlenmesi sonucunda elde edilen yanıcı bir gazdır. Biyogaz, yanıcı diğer gazlardan (örneğin doğalgaz) farklı olarak sadece hayvansal veya bitkisel, yani organik hammaddelerden elde edilmektedir. Biyolojik atıklar, gıda sanayii kaynaklı organik atıklar, organik evsel atıklar, mısır veya şeker pancarı gibi enerji bitkileri ile hayvan üretim sonucu oluşan hayvansal dışkıları biyogaz tesislerinde substrat olarak kullanılabilir. Biyogaz organik atıkların belirli oranlarda su ile karıştırılmaları sonucu oksijensiz ortamda (anaerobik fermentasyon) oluşabilen bir gazdır. Biyogazın içeriğinde yaklaşık olarak % 50-80 metan (CH<sub>4</sub>), %20-50 karbondioksit (CO<sub>2</sub>) % 0,1-1 oranında azot (N<sub>2</sub>) , % 0,01-0,2 oranında oksijen (O<sub>2</sub>) ve 10-4000 ppm oranında hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S) bulunmaktadır. Biyogazın yanıcılık özelliği doğal gazın yerini tutan metan gazından kaynaklanmaktadır [5].

Biyogaz anaerobik (oksijensiz) ortamda, sabit bir sıcaklık altında organik maddelerin farklı mikroorganizma grupları tarafından parçalanmasıyla üretilen bir gaz karışımıdır. Biyogazın doğal oluşumu biyojeokimyasal karbon döngüsünün önemli bir parçasıdır. Metan üreten bakteri familyası (metanojenler) organik maddeyi parçalayarak çevreye ayrılmış ürünler oluşturan mikroorganizmalar zincirinin son halkasından meydana gelmektedir. Bu süreçte yenilenebilir bir enerji olan biyogaz oluşmaktadır. Mikrobiyal faaliyetler nedeniyle doğaya her yıl 500-800 milyon ton metan salınır ve dışarı verilen metanın yaklaşık %90 'ı biyokütlenin ayrışmasından elde edilir, kalan kısmı ise fosil kökenli kaynaklardan oluşur [6].

Organik maddelerin fermentasyonunun biyokimyasal döngüsü aşağıdaki Şekil 1 'de safhalar halinde gösterilmiştir. Bu safhaların ilki hidroliz, ikincisi asit üretimi ve üçüncüsü de metan üretimidir. Birinci safhada yüksek moleküllü organik bileşikler birtakım hücre dışı enzimlerle hidrolize uğrayarak daha küçük molekül ağırlıklı organik bileşiklere dönüşürler. Asit üretimi safhasında düşük molekül ağırlığına dönüşen organik bileşikler asit bakterileri tarafından uçucu yağ asitlerine ve asetik aside dönüştürülür. Üçüncü safhada ise asetik asidin ayrışmasıyla ve CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub> senteziyle metan üretimi gerçekleşir [7].

Bu çalışmada biyogaz üretimi mezbaha atıkları ve sığır gübresi karışımlarından yapılmıştır. Afazeli, H., vd., (2014) de yaptıkları bir çalışmada tavuk mezbahası atıklarından biyogaz üretim potansiyeli vurgulanmıştır. Mezbaha atıklarının iyi bir biyogaz kaynağı olabileceği belirtilmiştir [8]. Benzer şekilde Moukakis, I., vd., (2018) yaptıkları bir çalışmada mezbaha yan ürünlerinin biyogaz üretimindeki önemi vurgulanmıştır. Bu çalışmada mide içinde bulunan taze sıvı ve işkembe sıvısı kullanılmıştır [9]. Yine benzer şekilde Ware ve Power (2016) tarafından yapılan bir çalışmada sığır mezbahası atıklarından biyogaz üretilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucuna göre toplam biyogaz miktarının, ülkenin elektrik

ihtiyacı giderimi için anlamlı derecede olduğu ve biyogaz üretimi için mezbaha atıklarının kullanımının göz ardı edilmemesi vurgulanmıştır [10].

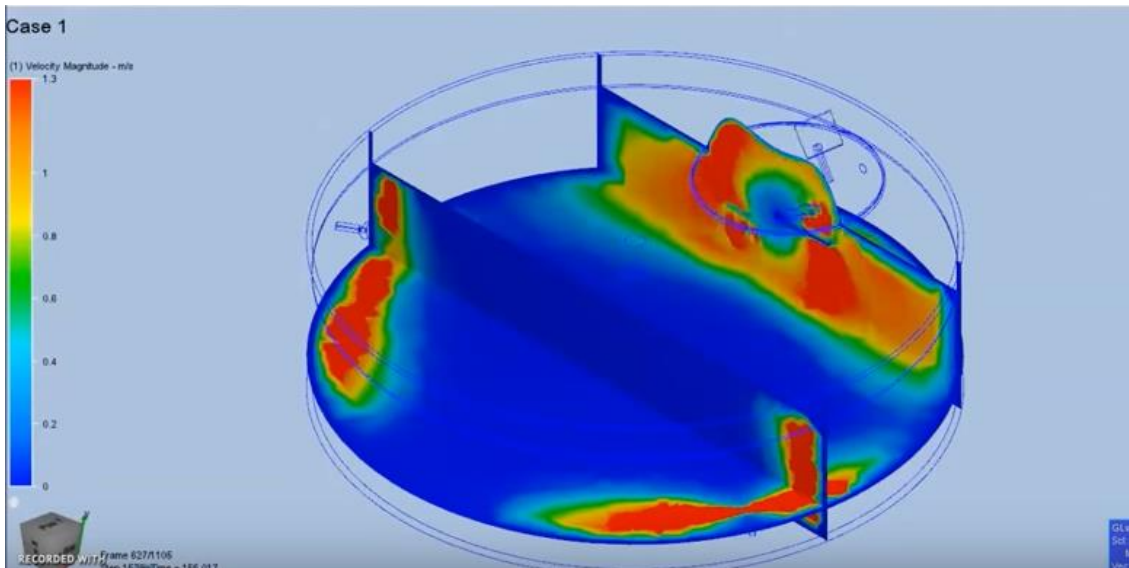


Şekil 1. Biyogaz üretiminin biyokimyasal şekli

## 1.2. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD)

Computational fluid dynamics (CFD) olarak bilinen, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımları ilk olarak 1960'lı yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde, CFD yazılımları, tasarım sürecinin kısaltılması ve üretim maliyetinin azaltılması bakımından yoğun şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca, tasarım sonrası imal edilen prototipler üzerinde, çok sayıda deney yapılması ve yine çok sayıda güvenlik önlemleri alınması, özellikle büyük sistemlerde çok zor ve maliyetli bir işlemdir. Bu çalışma ile ilgili olarak CFD analizi tanımlanacak olursa; akış ve ısı transferi açısından problemin analitik olarak çözülmesi mümkün değildir. Bu nedenle, reaktör içindeki akış davranışı ve ısı transferi incelenirken hazır CFD paket programı kullanılmıştır [11].

Jalilnejad ve Amani (2017) yaptıkları bir çalışmada adsorpsiyon kolonunda yapılan biyogaz adsorplama işlemleri sayesinde CFD programı kullanarak sıcaklığın etkisini 3 boyutlu olarak gözlemlemiştir. Aynı şekilde buna benzer bir çalışmayı Xuan J. vd., (2009) yapmıştır [12,13]. Fakat ısı kayıplarının incelendiği çalışmalar yok denecek kadar azdır. Ancak maliyeti en aza indirmenin ön önemli yollarından biride, ısı kayıplarının en aza indirilmesi gerçeğidir.



Şekil 2. CFD programının biyogaz reaktöründeki karıştırıcı etkisinin görsel olarak tanımlanması [14].

Yukarıdaki şekilde, bir çalışmada, biyoreaktörün içerisine yerleştirilmiş karıştırıcının reaktör içindeki akış davranışına etkisi simüle edilmiştir. Hız dağılımı incelendiğinde, biyoreaktörün orta kısımlarında akışkan hızının düşük olduğu (karıştırıcı etkisinin az olduğu), karıştırıcı çarklarına yaklaşan kısımda ise akışkan hızının arttığı (karıştırıcının en etkili olduğu kısım) görülmektedir. Bu nedenle özellikle büyük kapasiteli tesislerde karıştırıcı çarklarının ayarlanmasında veya aynı şekilde optimum ısıtıcının ve ısı kayıplarının da buna benzer şekilde incelenmesi reaktör için optimum verimlilik ve minimum maliyet sağlamaktadır [14].

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Taze Sığır Gübresi ve Mezbaha Atıklarının Kuru Madde Analizleri

Toplanan numunelerin her birinden hassas terazide 5 gram tartılarak, etüvde 105 °C 'de içerisinde nem kalmayacak şekilde 24 saat kurutulmuştur. Kurutma işlemi porselen krozede yapılmıştır. Öncelikle porselen kroze etüvde 105 °C 'de 1 saat boyunca içerisinde hiç nem kalmayacak şekilde kurutulup darası alınmıştır. Kurutulan bu numuneler tekrar tartılarak kuru madde oranı belirlenmiştir. Daha sonra bu tartımı alınmış kuru numunelerin her biri ayrı ayrı porselen krozeye konularak kül fırında 600 °C 'de 2,5-3 saat bekletilmiştir. Bu şekilde 600 °C de bütün organik maddeler yanarak uçtuğundan dolayı geriye kalan kül gravimetrik olarak tartılarak uçucu organik madde miktarı %ağırlık olarak belirlenmiştir [15,16].

### 2.2. Anaerobik fermantasyon işlemleri

Kuru madde optimizasyon deneyleri için deney sistemi kurulmuş olup, numuneler; 1:0, 1:1, 2:1, 1:2, 0:1 oranında karıştırılmıştır. Toplamda her biri üç tekerrürlü olmak üzere, toplam kuru madde oranı %10 olacak şekilde 500 ml'lik 15 adet nuçe erlenlerine biyogaz oluşumu için deney sistemi kurulumu yapılmıştır. Nuçe erlenlerinin çıkış borusuna göre hortum ve bu hortumun diğer ucuna da 0,5 litrelik gaz toplama torbaları eklenerek ardından nuçe erlenleri alüminyum folyo ile kaplanmıştır. Nuçe erlenlerinin bütün deneylerde %80 'i (400 ml) substrat ve su karışımıyla doldurulup ve %20 'si boş bırakılmıştır. Sistemde olası bir gaz kaçağının olmaması için hortumlarının giriş ve çıkışı bantlanmıştır. Oksijensiz fermantasyon düzeneği bu şekilde kurulduktan ve reaktörlerin içerisi kuru madde oranına göre ayarlandıktan sonra her bir numuneye aş (taze sığır gübresi) belirli şartlarda eklenmiştir. Oksijensiz karanlık fermantasyon işlemi için her bir reaktörün pH ölçümü yapılmış ve ardından eğer pH biyogaz oluşumunda metan bakterilerinin üremesi için gerekli şartlar olan 6,6-7,6 değerinde değilse pH bu aralıktaki gelene kadar hazırlanan 8 M NaOH ve 8 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> tamponları ile ayarlanmıştır. Isıtma işlemi dış ortam sıcaklığı olarak 40 °C olarak seçilmiştir. Deneyler üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Isıtma işlemi alttan ısıtılan sabit karıştırılmalı ısıtıcılar yardımıyla yapılmıştır. Yaklaşık 6 saatte bir 3 dakika reaktörlerin manuel olarak karıştırılması sağlanmıştır. Biyogaz üretimi gaz oluşumu durana kadar devam etmiştir. Sonuç olarak, kuru maddenin gaz oluşum kapasitesi ml biyogaz/g<sub>Uçucu katı</sub> olarak belirlenmiştir ve zaman-metan üretimi grafiği oluşturulmuştur. Metanojen bakterilerin ışığa duyarlı olmasından dolayı, biyogaz üretim aşamasında reaktörlerin her biri alüminyum folyo ile sarılarak reaktörlerin ışık geçirgenliği yok edilmiştir [17]. Gerekli fermantasyon 65 gün sürmüştür. 65. gün anaerobik süreç durduğundan biyogaz miktarı ve içeriği % hacimsel olarak tayin edilmiştir.

### 2.3. KOİ Tayinleri

KOİ, evsel ve endüstriyel atık suların kirlilik derecesini belirlemede kullanılan önemli bir parametredir ve kimyasal oksidasyonda maddenin biyolojik olarak ayrışıp ayrışmadığına ve ayrışma hızına bakılmaksızın bütün organik maddelerin oksitlenebilme kapasitesini temsil eder. Kimyasal oksijen ihtiyacı çevre kirlenmesinde en çok kullanılan parametrelerdendir. Atık suların bünyesindeki organik maddelerin miktarının, kimyasal oksidasyonları için gerekli oksijen miktarı cinsinden belirlenebilmesi ile elde edilebilen bir metottur. Yöntem birkaç istisna dışında tüm organik maddelerin, kuvvetli oksitleyicilerle asit ortamlarda oksitlenebilecekleri esasına dayanmaktadır [18]. Anaerobik fermantasyondaki bütün KOİ tayinleri APHA standart metotlara göre yapılmıştır [15].

### 3. Bulgular ve Tartışma

Anaerobik fermantasyona başlamadan önce sığır gübresi atığına birtakım analizler yapılmıştır. Bu analizler aşağıdaki Tablo 1 'de gösterilmektedir.

**Tablo 1:** Sığır gübresi atığına uygulanan birtakım analiz sonuçları

Parametreler	Anaerobik	Anaerobik
	Fermantasyondan Önceki Değerler	Fermantasyondan Sonraki Değerler
% nem	89,12	88,23
% toplam kuru madde	10,72	9,65
pH	7,25	7,61
% Uçucu katı maddem miktarı	8,57	8,01

Yukarıdaki Tablo 1 'de sadece sığır gübresinin anaerobik fermantasyona başlamadan önce nem tayini, toplam kuru madde tayini, pH ölçümü ve uçucu organik madde miktarı tayini yapılmıştır.

**Tablo 2:** Mezbaha atıklarına uygulanan birtakım analiz sonuçları

Parametreler	Anaerobik	Anaerobik
	Fermantasyondan Önceki Değerler	Fermantasyondan Sonraki Değerler
% Nem	87,05	86,56
% Toplam kuru madde	12,62	9,61
pH	7,75	7,58
Kül (% KM)	14,71	15,28
% Uçucu Kuru Madde Miktarı(% KM)	9,67	8,00
C/N	15,28	28,52

Yukarıdaki tablo 2 'de sadece mezbaha atıklarının anaerobik fermantasyona başlamadan önce nem tayini, toplam kuru madde tayini, pH ölçümü ve uçucu organik madde miktarı tayini yapılmıştır.

Bu sonuçlara göre anaerobik fermantasyon sonrasında organik madde miktarının ve uçucu organik madde miktarının payında azalma gözlemlenmiştir. Ayrıca aynı mezbaha atıklarındaki pH artmış ve sığır gübresi fermantasyonunda pH ise azalmıştır. Bununla birlikte aynı şekilde toplam nem içeriği de azalmıştır.

#### 3.1. Anaerobik proses boyunca CFD analizlerinin uygulanması

Reaktör içindeki sıcaklık dağılımı ve hız (akım) çizgileri çıkarılarak gözlemlenmiştir. Isıtılan reaktörde, ısı kayıpları belirlenerek ısıtma derecesi görsel olarak incelenmiştir. Bu bölümde su banyosunda

kullanılacak olan su seviyesinin küçük 500 ml'lik nuçe erlenlerinin 400 ml'sine kadar doldurularak alt tabakadan düz bir plaka ile ısıtma sağlanmıştır. Bu nedenle, reaktördeki ısı ihtiyacı karşılanırken, su banyosunda ısıtma etkilerinin hesaplanmasına yönelik gerekli olan sıcaklık dağılımları incelenmiştir ve ısı aktarımının şekli belirlenmiştir.

Nuçe erleni içinde 400 ml'lik içerisinde %10 katı madde içeren gübre su karışımı bulunmaktadır. Cam reaktörün yüzeyleri adyabatik olarak kabul edilmiştir. Nuçe erleninin boş kalan kısmı durgun havadan oluşmaktadır. Problem silindirik koordinatlarda iki boyutlu olarak incelenmiştir. Nuçe erleninin çıkış boynu atmosfer basıncına açıktır. Nuçe erleninin alt kısmında sabit sıcaklık sınır şartı 40 °C (313 °K) tanımlanmıştır. Doğal konveksiyon koşulunda, enerji denklemi çözülerek erlen içindeki gübre hacminin sıcaklık dağılımı elde edilmiştir. Doğal konveksiyon koşulunda, Boussinesq modeli esas alınmıştır. Problemi çözerken kullanılan korunum denklemleri (süreklilik, momentum, enerji) sırasıyla aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(ru)}{\partial r} + \frac{\partial v}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial r} + v \frac{\partial u}{\partial z} = -\beta g(T - T_{\infty}) - \frac{1}{\rho_{\infty}} \frac{\partial}{\partial r} (\rho - \rho_{\infty}) + \nu \left( \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (ru) \right) + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

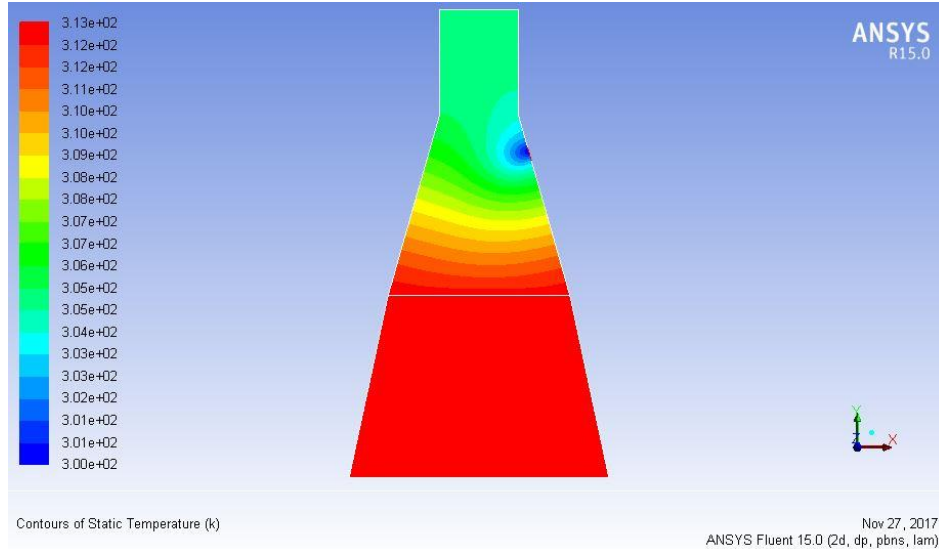
$$u \frac{\partial v}{\partial r} + v \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_{\infty}} \frac{\partial}{\partial z} (\rho - \rho_{\infty}) + \nu \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial v}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial r} + v \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

Burada:

r ve z yönleri; u, r-yönündeki hızı; v, z-yönündeki hızı;  $\nu$ , kinematik viskoziteyi;  $\alpha$ , ısı yayılım katsayısını;  $\rho$ , yoğunluğu;  $\beta$ , ısıl genleşme katsayısını ifade etmektedir.

Verilen parametre ve korunum denklemlerine göre simülasyonlar yapılmıştır. Bu denklemler yukarıda (1), (2), (3) ve (4) olacak şekilde ifade edilmiştir. Elde edilen sıcaklık dağılımı aşağıdaki şekil 3 'de gösterilmektedir.



Şekil 3: Anaerobik reaktörün sıcaklık dağılımının 2 boyutlu gözlemlenmesi

Sıcaklık dağılımı incelendiğinde, gübre-hava ara yüzeyinin 1,2 cm üzerinden itibaren ( $y=8,2$  cm) ısı kayıpları oluşmaya başladı ve biyoreaktör üst kısmı ile çıkış boynunda 300-309 °K arasında sıcaklık dağılım skalasının mevcut olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, biyoreaktör içindeki gübre hacminde ısı kaybı yaşanmamakta ancak, sabit sıcaklık sınır şartı yerine sabit ısı akısı koşulunda daha homojen bir dağılım elde edilebilir.

### 3.2. Anaerobik Prosesler Boyunca Oluşan Gaz Hacimlerinin Belirlenmesi

Gaz torbasından küçük bir pompa ile alınan gaz numuneleri biyogaz analiz cihazından geçirilerek biyogaz içeriği belirlenmiştir.

**Tablo 3:** Organik atıkların %hacimsel gaz içerikleri

Mezbaha Atıkları/Sığır Gübresi	CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	N <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> S (ppm)
1:0	58.2	41.3	0,050	0,26	303
1:1	55.3	44.2	0,075	0,29	305
1:2	59.4	40.0	0,089	0,38	362
2:1	57.6	41.5	0,079	0,55	309
0:1	56.9	42.3	0,064	0,62	298

Yukarıdaki tablo 3 incelendiğinde en yüksek metan içeriği yine en yüksek gaz içeriğine sahip 1:2 oranındaki reaktörden sağlanmıştır.

### 3.3. Oluşan Gaz Hacimleri

Tablo 4’de görüldüğü gibi, belirlenen oranlarda karıştırılan sığır gübresi/mezbaha atıkları karışımlarının biyogaz miktarları ve metan miktarları verilmiştir. Yine metan üretim hızı en fazla 203,3 ml/g<sub>uçucu katı</sub> olarak belirlenmiştir.

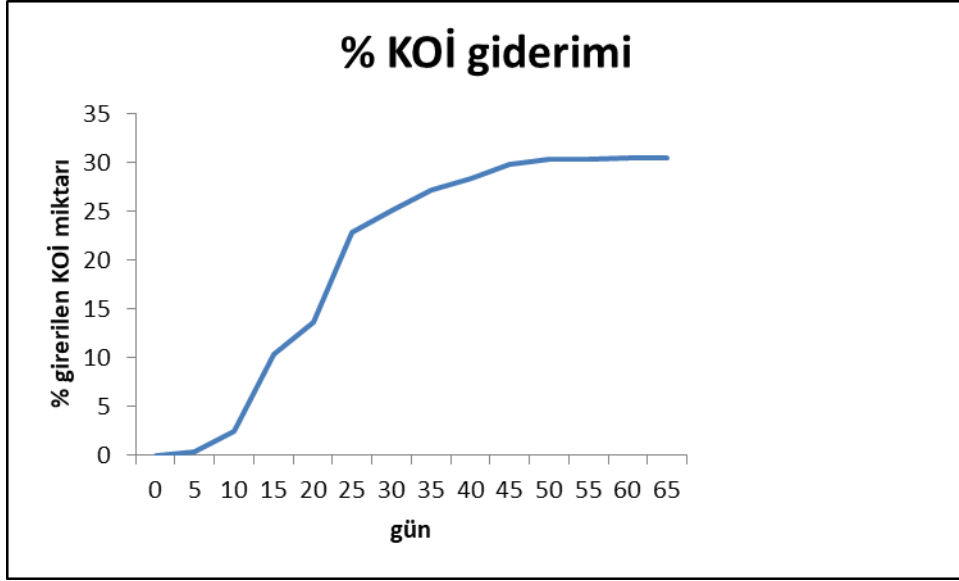
**Tablo 4:** Organik atıkların biyogaz ve metan verimleri

Mezbaha Atıkları/Sığır Gübresi	Biyogaz oluşum kapasitesi (ml/g <sub>uçucu katı</sub> )	CH <sub>4</sub> oluşum kapasitesi (ml/g <sub>uçucu katı</sub> )
0:1	250	145,5
1:1	322	178,0
1:2	302	179,4
2:1	353	203,3
1:0	278	158,1

### 3.4. KOİ Analizi Sonuçları

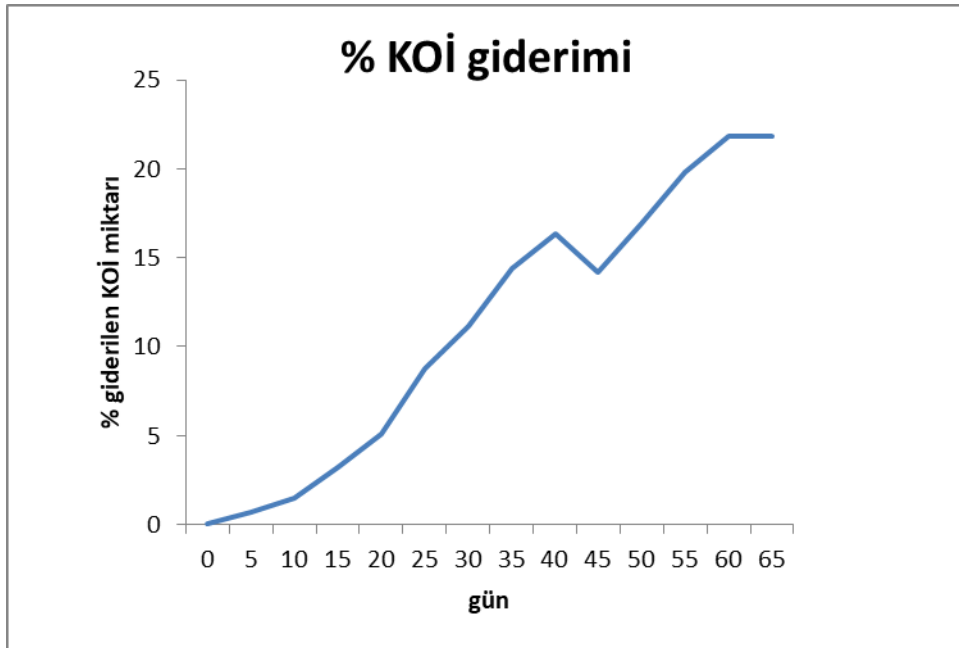
Deneylerde KOİ analizleri 1:0, 0:1 ve en yüksek verimi sağlayan 1:2 oranlarını içeren reaktörler için yapılmış ve sonuçlar grafik 1, grafik 2 ve grafik 3’de gösterilmiştir. KOİ analizleri nuçe erleninin çıkış kısmından küçük bir enjeksiyon şırıngası sokularak reaktörün içerisinde bulunan sulu karışımdan 1 gram örnek alınarak yapılmıştır.





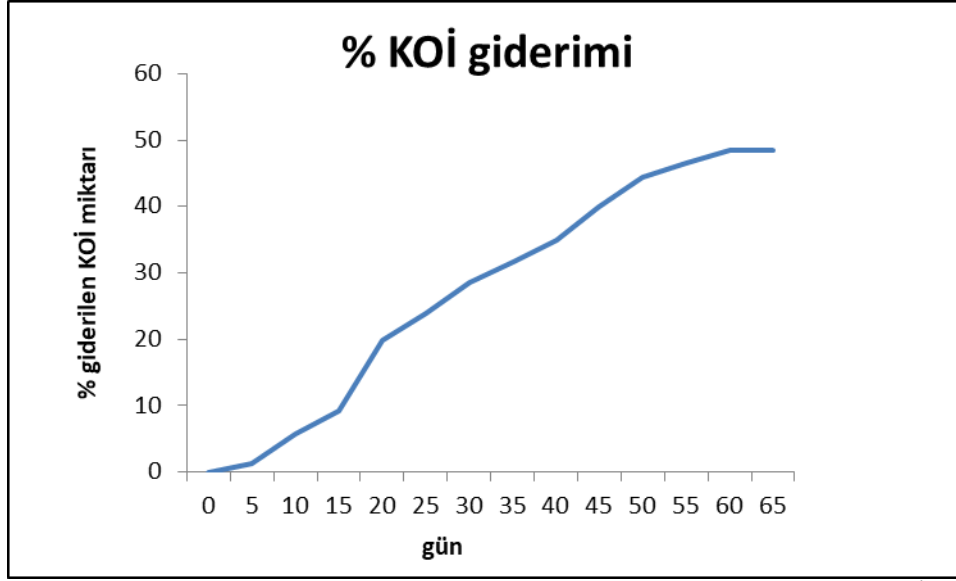
**Grafik 1.** Sığır Atığının Anaerobik Fermantasyondaki % KOİ Giderimi

Yukarıdaki grafik 1 anaerobik reaktörde %10 katı madde içeren ve 1:0 oranında karıştırılan organik sığır gübresi için yapılan analizlerden elde edilmiştir. Anaerobik fermantasyon süresi 65 gün sürmüş ve toplam KOİ giderimi ise %30,54 olmuştur.



**Grafik 2.** Mezbaha Atığının Anaerobik Fermantasyondaki % KOİ Giderimi

Yukarıdaki grafik 2, anaerobik reaktörde %10 katı madde içeren ve 0:1 oranında karıştırılan organik mezbaha atığı için yapılan analizlerden elde edilmiştir. Anaerobik fermantasyon süresi 65 gün sürmüş ve toplam KOİ giderimi ise % 21,82 olmuştur. Anaerobik proseslerde biyogaz üretiminin verimli olabilmesi için toplam giderilen KOİ 'nin en az %30 olması gerekmektedir. Bu sonuçlar tek başına mezbaha atıkları için anaerobik proseslerin KOİ giderimi açısından verimsiz olduğunu göstermektedir.



**Grafik 3.** Sığır Atığının ve mezbaha atıklarının 1:2 oranında karıştırılan reaktördeki % KOİ Giderimi

Yukarıdaki grafik 3, %10 katı madde içeren ve 1:2 oranında karıştırılan organik sığır gübresi ve mezbaha atığı için yapılan analizlerden elde edilmiştir. Anaerobik fermantasyon süresi 65 gün sürmüştür ve toplam KOİ giderimi ise %48,45 olmuştur.

Mouzakis vd., mezbaha atıklarından biyogaz üretim çalışmalarında üretilen metan miktarı gram uçucu katı başına 815, 787 ve 759 ml olarak bulunmuştur. Bu değerler bizim çalışmada bulunan değerlerin yaklaşık 2,3 katı civarındadır. Fakat Mouzakis vd. mezbaha atıklarına anaerobik fermantasyon uygularken termal önileme uygulamışlardır. [9] Biyogaz teknolojilerinde kullanılan önilemler verimi artırmaya rağmen maliyetli olduğundan yaygınlaşmadığı aşikardır [19].

Rodríguez-Abalde vd., yaptıkları çalışmada domuz gübresi ve mezbaha atıklarından biyogaz üretimi gerçekleştirilmiştir. En yüksek metan üretimi ise gram uçucu katı başına 640 ml metan üretimi gerçekleştirilmiştir. Fakat bu üretim kesikli reaktörde değil, sürekli karıştırılmalı tank reaktörde gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak üretim denemelerinde toplam üretim süresi 490 gün ve alıkonma süresi ise 21-33 gün olarak belirlenmiştir [20].

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu araştırmada, organik atıklar olan sığır gübresi ve mezbaha atıklarından biyogaz üretimi yapılmıştır. Anaerobik fermantasyonda birden fazla organik atıkların beraber değerlendirilmesi işleme kofermantasyon denilmektedir. Bu projede ise mezbaha atıkları ile sığır gübresinin kofermantasyonu anaerobik süreç boyunca incelenmiştir. Anaerobik fermantasyonda tek organik atıkla çalışılırken biyogaz veriminin düşük olduğu bilinmektedir. Bu sonuç çalışmamızda da kanıtlanmıştır. Mezbaha atıklarının tek başına biyogaz üretimi 250 ml/g<sub>uçucu katı</sub> iken sığır gübresinin tek başına %10 katı madde içeren biyogaz üretimi 278 ml/g<sub>uçucu katı</sub> 'dır. Bununla birlikte, bu iki organik atıkla anaerobik süreç incelendiğinde en ideal mezbaha atığı/sığır gübresi karışım oranı 2:1 olarak bulunmuştur ve karışımın biyogaz üretim verimi 353 ml/g<sub>uçucu katı</sub> olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlardan elde edilen verilere göre, mezbaha atıkları ve sığır gübresi ile biyogaz üretimi yapılırken, en ideal karışım oranının 2:1 olduğu tespit edilmiştir.

## Kaynaklar

1. Tüter B. 2007. Alternatif Yakıtların Dizel Motorlarda Kullanımı Teknik Ve Ekonomik Analizi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, İstanbul.
2. Demir İ., Öztürk İ. 1989. Havasız Çamur Yataklı Reaktörlerin Kinetik Modellenmesi, 5. Çevre Bilimleri ve Teknolojisi Kongresi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
3. Jorach R., Enderle C., Decker R. 1997. Development of low-NOx truck hydrogen engine with high specific power output, Int. J. of Hydrogen Energy, 22 (4): 423-427.
4. Batmaz İ. 2007. Buji ateşlemeli motorlarda yakıtta hidrojen ilavesinin motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi, Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, 22: 1-6.
5. Koçar G., Eryaşar A., Ersöz Ö., Arıcı Ş., Durmuş A. 2010. *Biyogaz teknolojileri*, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir.
6. Öztürk M. 2005. *Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi*. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
7. Kossmann W., Pönitz U. 1999. Biogas Digest, "Biogas Basics Volume I, Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT)", GATE in Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GmbH, Eschborn, Federal Republic of Germany.
8. Afazeli H., Jafari A., Rafiee S., Mohsen Nosrati M. 2014. An investigation of biogas production potential from livestock and slaughterhouse wastes, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 34 (2014): 380-386.
9. Moukakis I., Pelleri F., M. Gidaracos E. 2018. Slaughterhouse by-products treatment using anaerobic digestion, Waste Management, 71: 652-662.
10. Ware A., Power N. 2016. Biogas from cattle slaughterhouse waste: Energy recovery towards an energy self-sufficient industry in Ireland, Renewable Energy, 97: 541-549.
11. Elibol E.A. 2017. Gözenekli Düz Bir Yüzeğe Çarpan Jetin Sayısal Olarak İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, Ankara.
12. Xuan J., Michael K.H., Leung D., Dennis Y.C., Leung, A., Meng N. 2009. Integrating chemical kinetics with CFD modeling for autothermal reforming of biogas, International journal of hydrogen energy, 34: 9076-9086.
13. Jalilnejad K., Amani J. 2017. CFD modeling of formaldehyde biodegradation in an immobilized cell bioreactor with disc-shaped Kishiris support, Biochemical Engineering Journal, 122: 47-59.
14. Biogas Fermenter mixing -CFD simulation. <https://www.youtube.com/watch?v=aTwcvMksaTc>. (Erişim Tarihi: 11.01.2018).
15. Standard Methods for the examination of water and wastewater, 21st Edition, APHA, AWWA, WEF 2540 G, 2005.
16. Jingqing Y., Dong L., Yongming S., Guohui W., Zhenhong Y., Feng Z., Yao W. 2013. Improved biogas production from rice straw by co-digestion with kitchen and pig manure, Waste Management, 33: 2653-2658.
17. Jingqing Y., Dong L., Yongming S., Guohui W., Zhenhong Y., Feng Z., Yao W. 2013. Improved biogas production from rice straw by co-digestion with kitchen and pig manure, Waste Management, 33: 2653-2658.
18. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ). <http://cevre.beun.edu.tr/dersnotu/cevrekimyasi2/koitayini.pdf>. (Erişim Tarihi: 11.01.2018).
19. J. Patinvoh R., Osadolor O., Chandolias Ilona K., Horváth S., J. Taherzadeh M. 2017. Innovative pretreatment strategies for biogas production, Bioresource Technology, 224: 13-24.

20. Rodríguez-Abalde A., Flotats X., Fernández B. 2017. Optimization of the anaerobic co-digestion of pasteurized slaughterhouse waste, pig slurry and glycerine, *Waste Management*, 61: 521-528.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **TIG Yöntemi ile Östenitik Paslanmaz Çelik Yüzeyine Kaplanan Stellite 6+FeMo Tabakasının Mikroyapı ve Sertlik Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi**

Hüseyin TURHAN<sup>1</sup>, Niyazi Yılmaz ÇOLAK<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi Teknoloji Fak. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Böl., Elazığ

<sup>2</sup>Bitlis Eren Üniversitesi Teknik Bilimler MYO., Bitlis

---

### **Öz**

Bu çalışmada, AISI 304 östenitik paslanmaz çelik yüzeyi Tungsten Inert Gas (TIG) kaynak yöntemi kullanılarak Stellite 6+FeMo alaşımı ile kaplanmıştır. Kaplanan tabakanın mikro yapısı, optik mikroskop (OM), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenip yoğun enerjili X ışını analizi (EDS) ile analiz edilmiştir. Ayrıca numunelerin sertlik dağılımları mikro ve makro sertlik ölçümleri ile değerlendirilmiştir. Optik mikroskop ve mikroyapı incelemeleri neticesinde, kaplama tabakası ile alt tabakanın birbirlerine bağlandığı, kaplamada FeMo tozu ilavesine bağlı olarak sertlik değerlerinin arttığı ve tane sınırlarında ince taneli dentritik yapıların meydana geldiği tespit edilmiştir. Yüzey kaplama işlemi ile altlık metale göre daha sert ve dolayısıyla dış etkilere karşı daha mukavemetli bir yüzey tabakası elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** AISI 304, Stellite 6, FeMo, TIG, Yüzey Kaplama.

---

## **Investigation of Microstructure and Hardness Properties of Stellite 6+FeMo Layer Which is Coated on Austenitic Stainless Steel Surface Using the TIG Method**

---

### **Abstract**

In this study, AISI 304 austenitic stainless steel surface is coated with Stellite 6+FeMo alloy using Tungsten Inert Gas (TIG) welding method. The microstructure of the coated layer was examined by optical microscopy (OM) and scanning electron microscopy (SEM), and it was analyzed using the intense energetic X-ray analysis (EDS). In addition, the hardness distributions of the samples were evaluated by micro and macro hardness measurements. As a result of optical microscope and microstructure analyses, it was determined that hardness values increased and fine-grained dendritic structures were observed at grain boundaries due to the addition of FeMo powder to the coating layer and the lower layer to which the coating layer and the lower layer were bonded. As a result of the surface coating process, a surface layer which is harder than the base metal and therefore more resistant to external influences has been obtained.

**Keywords:** AISI 304, Stellite 6, FeMo, TIG, Surface Coating.

---

### **1. Giriş**

Yüzey mühendisliği, malzemelerin yüzey özelliklerini geliştirmek için özellikle; sürtünmenin olduğu makina parçalarında meydana gelen aşınma problemlerini azaltmak, metal parçaların ve takımların yüzeylerinde üstün mekanik özellikler ve fonksiyonellik elde etmek amacı ile yapılan yüzey işlemlerini ve sert kaplama yöntemlerini kapsar[1]. Yüzey kaplama, kaynak yöntemleri kullanılarak altlık metalinden farklı kimyasal bileşim ve özellikteki metal veya metal alaşımlarının yeni bir yüzey tabakası oluşturmak amacı ile altlık metal yüzeyine kaplanması işlemidir. Yüzey kaplama işlemi darbe, aşınma, yıpranma, erozyon ve oyulmayı azaltmak ve yüzey özelliklerini geliştirmek için orijinal parçalara uygulandığı gibi hasar gören parçaların tamiri içinde uygulanır [2]. Farklı metal altlıklar üzerine yapılan

---

\*Sorumlu yazar: [nycolak@beu.edu.tr](mailto:nycolak@beu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 16/02/2018 Kabul Tarihi: 06/03/2018

kaplamalar, son yıllarda petrokimya, otomotiv ve uzay teknolojisi alanlarında etkin olarak kullanılmaktadır [3].

GTA yöntemi ile yüzey modifikasyonu işleminde, çeşitli tozlar kullanılarak istenilen bileşim ve oranlarda, alt tabakadan farklı özelliklere sahip bir kaplama tabakası oluşturulur. Ergime, altlık malzemesi ve kaplama malzemesinde aynı anda oluşur ve hızlı katılaşma ile kaplama katı ve altlık metal metalurjik olarak birleşir. Yöntemde genel olarak hızlı bir katılaşma görülmektedir. Hızlı katılaşma sonucu sert karbür fazlarını içeren ince taneli mikroyapılar meydana gelir ve bu yapılar yüzeyde sertlik, aşınma direnci vb. özelliklerde gelişmelere neden olur. İyi kaynak özellikleri, ark bölgesinin bir soy gazla korunması gibi özellikleri nedeniyle, GTA yöntemi aşınma uygulamalarında ve sertlik istenen durumlarda mikroyapı özelliklerinin değiştirilmesinde kullanılmaktadır [4,5].

Östenitik çeliklerin aşınma dirençlerinin yükseltilebilmesi matriste sert karbürlerin homojen bir şekilde dağılmasıyla mümkündür. Bu çelik türleri, yer altı çalışmalarında kullanılan teçhizatlar, greyderler, öğütücü değirmen astarları gibi ileri derecede aşınmaya maruz kalabilen yerlerde kullanılırlar [6]. Östenitik paslanmaz çelikler korozyon dirençleri sebebi ile nemli ortamlarda tercih eden bir malzemedir. Östenitik paslanmaz çeliklerin alaşımındaki krom (Cr) ve molibden (Mo) miktarındaki artış ile agresif çözeltilere karşı korozyon direncinin arttırılmasını sağlamaktadır. Östenitik paslanmaz çeliklerde bileşimdeki molibden ve krom miktarının artışına paralel olarak çukurcuk ve aralık korozyonlarına karşı dirençleri de artmaktadır [7].

Kobalt esaslı alaşımlar aşınma uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Hareketli makine parçalarında yüzeylerin aşınmaya karşı dirençli olması istenilir. Bu sebeple yapılan araştırmalar, aşınmaya karşı daha dirençli olan kobalt esaslı alaşımların geliştirilmesine neden olmuştur. Kobalt esaslı sert kaplama alaşımları "Stellite'ler" olarak bilinir. Stellite alaşımlarının kullanımı, hamur ve kâğıt işleme, petrol ve gaz işleme, ilaçlar, kimyasal işleme gibi çeşitli endüstriyel sektörlere yayılmış ve stellite alaşımlarının geliştirilmesi ihtiyacı artmıştır. Kobalt esaslı stellite alaşımları sert dolgu malzemesi olarak kullanılmakla birlikte yüksek sıcaklık, yüksek basınç ve yüksek aşınma direnç ide göstermektedir. Farklı stellite alaşımları arasında endüstride en yaygın kullanılan stellite 6 alaşımının yaklaşık bileşimi Co- 28Cr-4.5W-1.1C (% Ağırlık) dur [8-9].

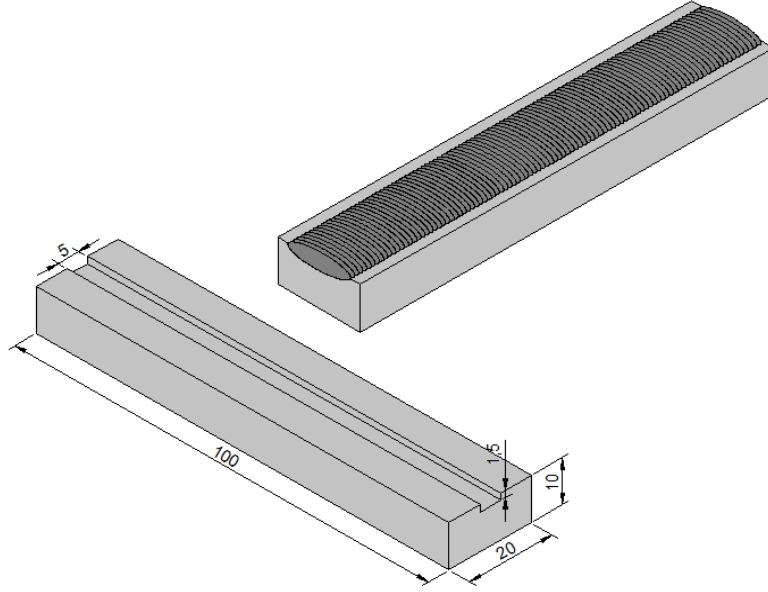
Stellite 6, karbürler alaşıma güç katarken kromun korozyon direnci sağladığı, kullanışlı bir sertleştirici alaşımdır. Alaşımda Molibden (Mo) ve tungsten (W) katı eriyik sertleştirilmesi sağlarken Kobalt (Co) metaller arası fazların oluşması ile çökeltme sertleştirilmesi yoluyla Stellite 6' nın mukavemetine katkıda bulunurlar. Stellite kaplamalar paslanmaz çelikler üzerine metal ark (MMA), tungsten inert gaz (TIG) ve oksii-asetilen, lazer gibi değişik kaynak teknikleri kullanılarak yapılmaktadır [10-11-12]. Shin ve ark.[13], kobalt esaslı Stellite alaşımında molibden miktarının mikroyapı özellikleri ve aşınma davranışı üzerine etkisini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada molibden miktarındaki artış ile M23C6 ve M6C karbürleri kromca zengin M7C3 karbürlerinin yerinde oluşmuş ve M23C6 tip karbürleri ise serbest halde bulunan molibden dendritleri arası alanda görülmüştür. Kromca zengin karbürler dendritler arası alanda azalır iken, M6C tipi karbürlerin bu kısımda arttığını tespit etmişlerdir. Kuzucu ve ark.[14], Stellite 6 alaşımına ağırlıkça %6 Mo ilavesi ile kromca zengin karbür fazının interdendritik bölgelerde tabakalardan taneli şekle dönüştüğünü ve karbürlerin M7C3'den M23C6'ya dönüştüğünü bildirmişlerdir.

Günümüzde, metal yüzeylerinin kullanım alanlarına bağlı olarak maruz kaldıkları korozyon, yorulma, sürtünme ve aşınmalara karşı dirençli olması istenir, bu sebep ile yüzey kaplama araştırmalarına duyulan ihtiyaç her geçen gün daha da artmaktadır [15]. Bilindiği gibi, kobalt bazlı alaşım Stellite 6' nın nominal kimyasal bileşimi; kobalt, krom ve tungsten gibi elementlerden oluşmuştur. Stellite 6 alaşımı na FeMo katkısının kaplama özellikleri üzerine etkisi bu çalışmanın odak noktası olmuştur. Stellite 6+FeMo alaşımıyla önemli bir endüstriyel malzeme olarak kullanılan AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin yüzeyi TIG kaynak yöntemi kullanılarak kaplama işlemi yapılmış ve yüzeyde oluşturulan kaplama tabakasının mikroyapı ve sertliği üzerine FeMo'nin etkileri araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Yapılan çalışmada, kimyasal bileşimleri Tablo 1'de verilen; altlık malzemesi AISI 304 östenitik paslanmaz çelik, kaplama malzemesi olarak Stellite 6 süper alaşımı ve tane boyutu 50 µm olan FeMo

toz kullanılmıştır. Altlık malzemesi AISI 304 östenitik paslanmaz çelik plaka 100\*20\*10 mm ölçülerinde kesilmiş ve Şekil 1’de görüldüğü gibi 1,5 mm derinlikte ve 5 mm genişlikte kanallar açılmıştır.

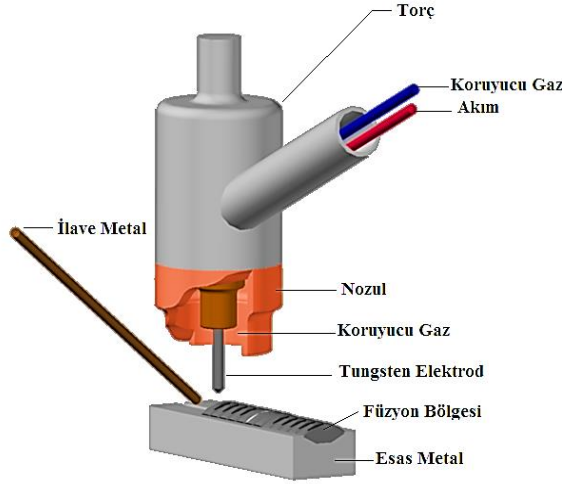


**Şekil 1.** Kaplama alt malzemesi boyutları

Kaplama tabakası için; kullanılan Stellite 6 alaşımı ağırlıkça %20 FeMo toz ile alkol yardımıyla sıvanmış ve belli süre ısıtılıp oluşturulan yeni alaşımdan alkol buharlaştırılmıştır. Şekil 2’de şematik resmi verilen TIG kaynak yöntemi ile belirlenen işlem parametrelerinde AISI 304 yüzeyine kaplanmıştır. Kaplama işleminde kullanılan parametreler Tablo 3’te verilmiştir. Stellite 6+FeMo alaşım malzemesi, AISI 304 östenitik paslanmaz çelik yüzeyine 140A akım şiddetinde ve koruyucu argon gaz atmosferinde kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 1.** AISI 304 ve Stellite-6 alaşımı ve FeMo kimyasal bileşimi(% Ağırlık).

Malzeme	Fe	C	Cr	Ni	Si	Mn	Co	W	S	P	Mo
<b>AISI 304</b>	82.6	0.04	16.02	0.22	0.44	0.61	-	-	-	-	-
<b>Stellite-6</b>	2.50	1.44	30.46	2.92	-	-	34.15	15.71	-	-	-
<b>FeMo</b>	Bal	-	-	-	0,5	-	-	-	0,03	0,03	80



Şekil 2. TIG yöntemiyle yapılan kaplama işleminin şematik görünümü.

Tablo 3. Yüzey kaplama işlemi üretim parametreleri.

Numune No	FeMo + Stellite 6
FeMo Toz Miktarı	1.408
İlave tel çapı	3.2
İlave tel	Stellite-6
Kaplama Boyu	100
Akım (A)	140
Volt	25
Isı Girdisi (J)	20.208
Elektrod	%2 toryumlu tungsten elektrod
Koruyucu Gaz	% 99.9 Saf Argon
Gaz Akış(lt/dak.)	12
Elektrod (mm)	2.4

Enerji girdisi  $Q = U.I.60/(V.1000)$  formülü ile hesaplanmıştır.

Kaplanan parçadan kesilerek çıkarılan numuneler standart metalografik işlemler ile hazırlanmış ve 5 ml  $HNO_3$  + 5 ml  $C_2H_4O_2$  + 20 ml  $HCl$  + 5 ml  $H_2O$  çözeltide 12 V ve 20 sn süre ile elektrolitik olarak dağlanmıştır. Mikroyapı analizleri; optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dağılımlı spektograf (EDS) ile incelenmiştir. Mikro sertlik ölçümleri, 200 gr yük altında 10 sn. süre ve 0.1 mm aralıkla Vickers (HV) sertlik değerinde ölçülmüştür. Makro sertlik ölçümleri ise 40 gr yük altında 0.5 mm aralıkla Vickers sertlik değeri cinsinden ölçülmüştür.

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

#### 3.1. Makroyapı

Numuneye ait makroyüzey fotoğrafı Şekil 3'te verilmiştir. Makroyüzey fotoğrafı incelendiğinde; kaplama tabakasının hatlarının düzenli bir görünüme sahip olduğu, ergimenin kaplama hattı boyunca yeterince iyi gerçekleştiği, kaplama tabakasında hızlı soğumaya bağlı herhangi bir gözenek, çatlak ve kaynak kusuru oluşmadığı, dikiş yapısının düzgün bir krater yapısında olduğu tespit edilmiştir.

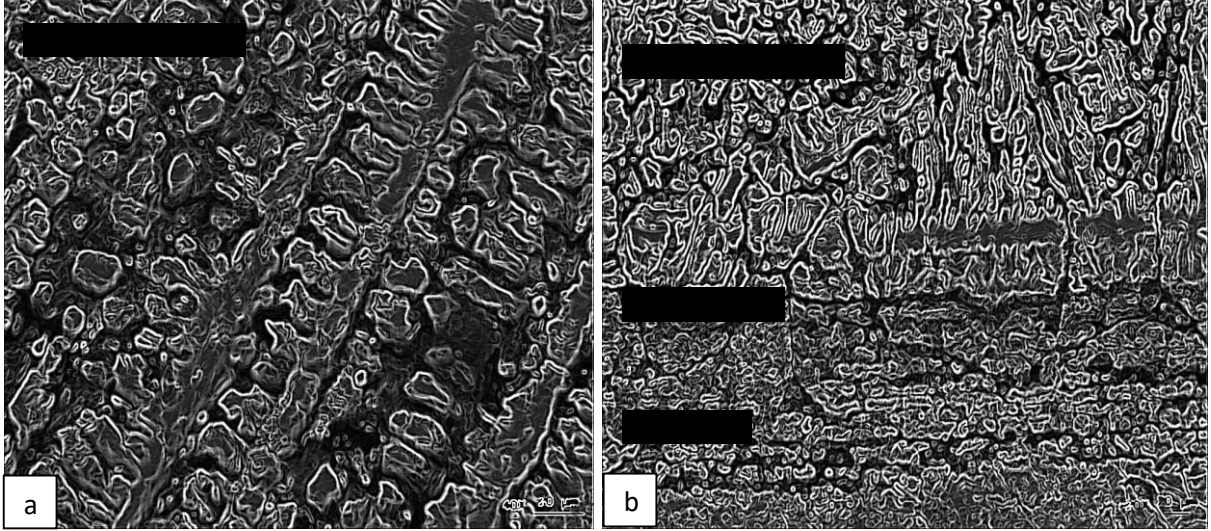


Şekil 3. Numuneye ait makroyüzey görüntüsü.

#### 3.2. Mikroyapı

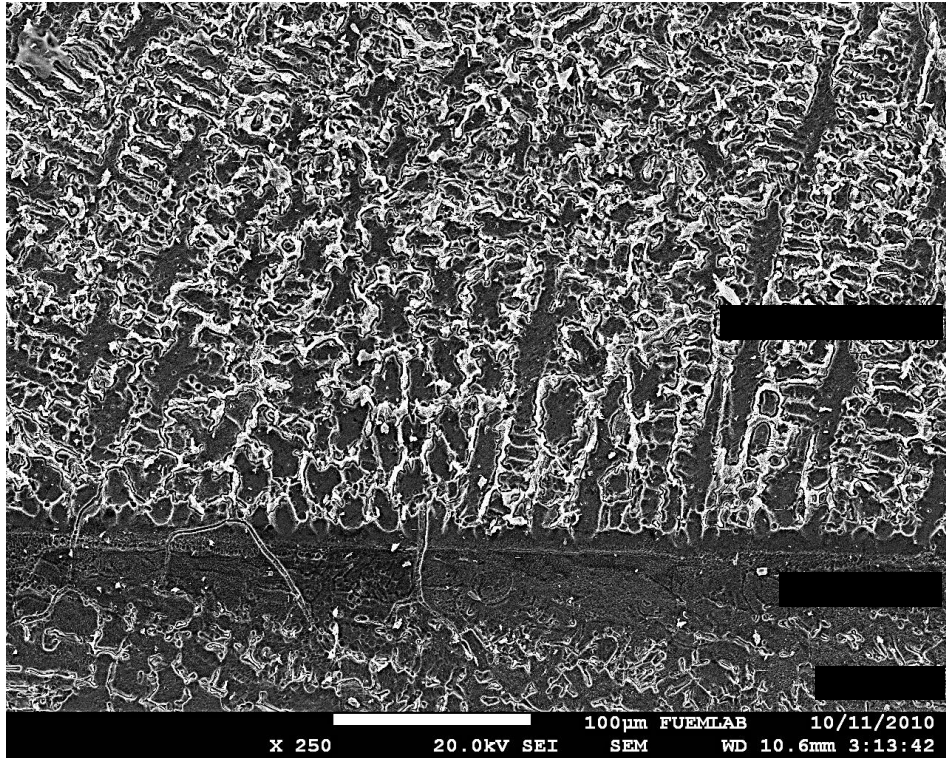
Stellite 6 + FeMo alaşım malzemesi alaşım malzemesi ile kaplanan numuneden alınan yüzey ve arayüzey optik mikroskop görüntüleri Şekil 4a-4b'de verilmiştir. TIG işlemi sonrasında kaplama tabakasının maksimum yüksekliğinin ortada olduğu kenar bölgelerinde ise kaplama kalınlığının incelendiği görülmüştür. Bunun sebebini enerji yoğunluğunun elektrot ucuna dik olan doğrultuda daha yoğun şekilde meydana gelmesiyle açıklamak mümkündür.



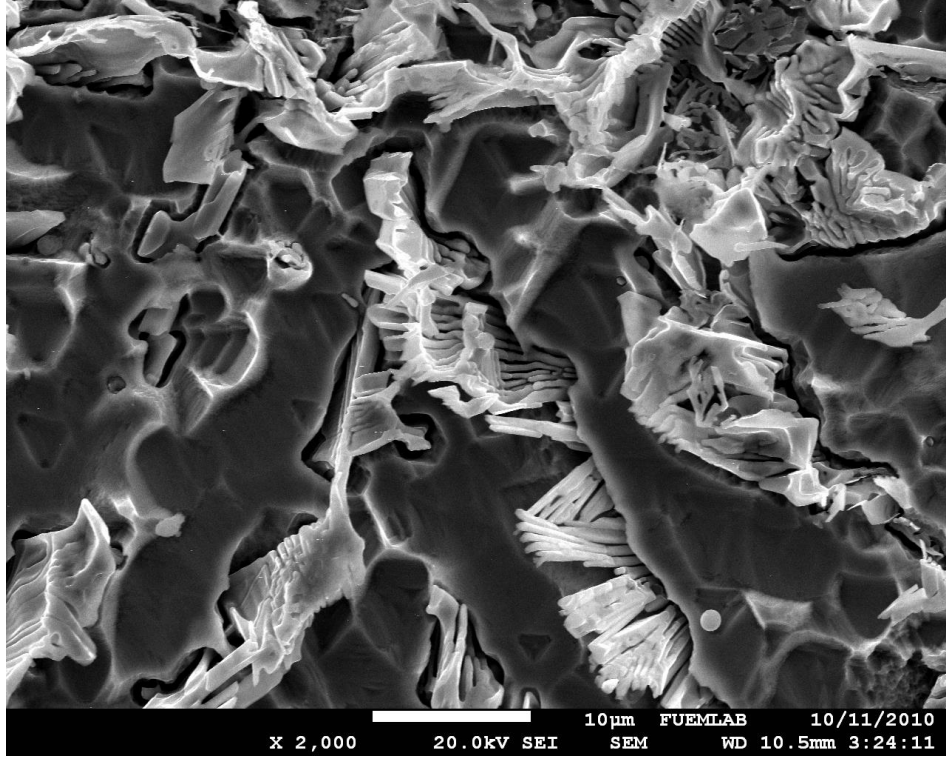


Şekil 4. Numuneye ait optik yüzey fotoğrafları a) Kaplama tabakası b) Kaplama-altlık metali ara geçiş bölgesi

Stellite 6+FeMo kaplama tozu kullanılarak GTA yöntemi ile yüzey modifikasyonu işlemine tabi tutulan numunenin yüzey modifikasyonu işleminden sonra kaplama yüzeyinden farklı büyütmelerde alınan SEM mikroyapı fotoğrafları Şekil 5-6'da sırasıyla verilmiştir. Kaplama esnasında oluşan ısı tesiri neticesinde, ana malzemeden kaplama tabakasına, kaplama tabakasından da ana malzemeye difüzyonla geçişler Şekil 5'te görülmektedir. İlave metalin miktarının az oluşu nedeniyle, birim ağırlığa isabet eden enerji miktarı artmış, kaplama katında ergime ve çözünme daha üst düzeyde gerçekleşmiştir. Dendritlerin birincil kolları oluşumlarını tam olarak sağlarken, kaplama ana metalin soğuk olması, dendritlerin ikincil kollarının belirgin bir şekilde oluşumlarını engellemiş ve hızlı soğuma sonucunda tabakalar arasında metal atomları geçişi sınırlı kalmıştır. Bu kaplamada ara tabaka belirgin bir şekilde seçilebilmektedir. Diğer yandan da ara geçiş bölgesi sınırları da belirginliğini kaybetmiş, dendrit kolları çoğalmış ve kalınlaşmıştır.



Şekil 5. Kaplama Tabakası ve Geçiş bölgesi SEM fotoğrafı (X250).



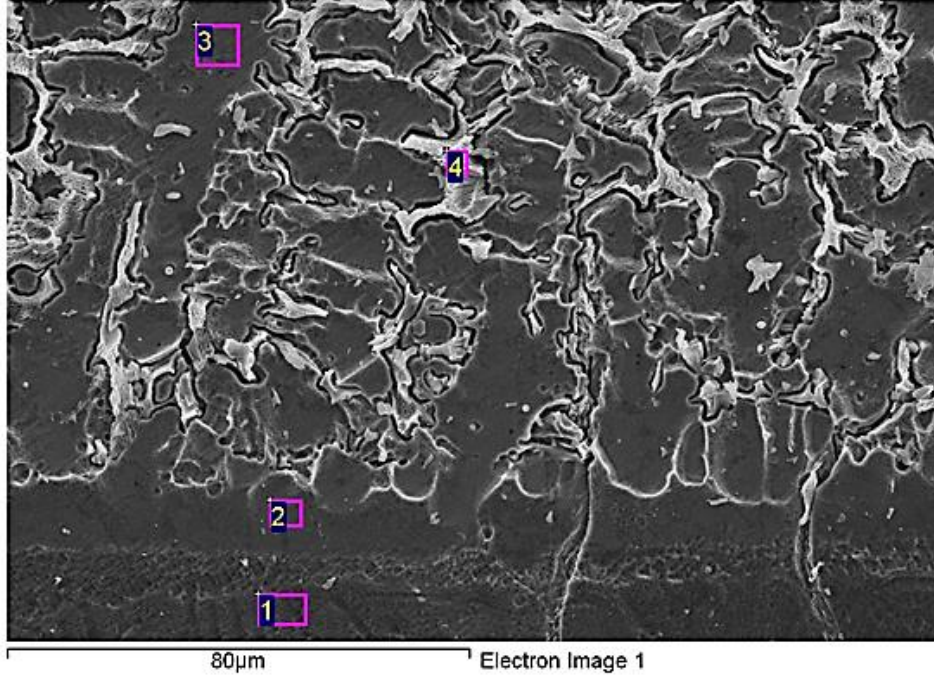
Şekil 6. Kaplama Tabakası SEM fotoğrafı (X2000).

### 3.3. EDS Analizi

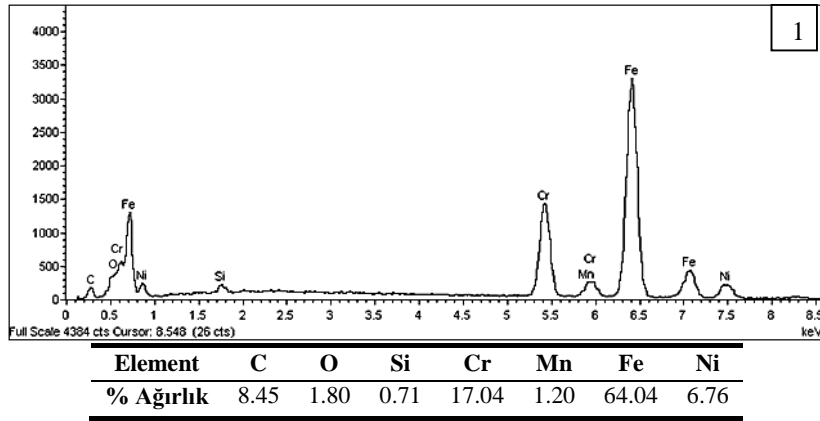
Numuneye ait EDS analiz noktalarını gösterir SEM fotoğrafı Şekil 7’de verilmiştir. EDS analizleri için kaplama katı üzerinde dört farklı nokta seçilmiş ve noktaların matris ve karbürlere denk gelmesi istenmiştir. Deney numunesine ait EDS analiz grafiği ve analiz sonuçları Şekil 8-11’de verilmiştir. EDS analizleri değerlendirildiğinde 1 no’lu bölge altlık malzemesi üzerinden seçilmiş olup altlık malzeme içeriği olan C, Si, Cr, Mn, Fe, Ni, elementlerinin varlığı tespit edilmiştir. 2 no’lu bölge ara geçiş bölgesi üzerinden seçilmiş olup bu kısımda altlık malzemesi içeriği C, Si, Cr, Mn, Fe, Ni ve ana kaplama alaşımının içeriği olan Co ve takviye malzemesi olarak kullanılan Mo’nin varlığı tespit edilmiştir. 3 no’lu bölge kaplama katından dendritler arası bölge üzerinden seçilmiş olup C, Si, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Mo ve W tespit edilmiştir. Bu bölgede Mn ve Si altlık malzeme içeriği olduğundan altlık malzemesinden takviye malzemesine geçişler olmuş ve ana kaplama alaşımının içeriği olan Cr, Fe, Co ve W dendritler arası bölgeyi oluşturmuştur. 4 no’lu bölge kaplama katından dendrit üzerinden seçilmiş olup C, Si, Cr, Fe, Co, Ni, Mo, W varlığı tespit edilmiştir.

Bu bölgede takviye olarak kullanılan Mo’ nin dendritler üzerinde yoğunlaşarak difüze olduğu tespit edilmiştir. Stellite 6 alaşımı mikro yapısında kobaltça zengin dendrit kollarında W ve Cr karbürler ihtiva eder. Stellite 6 alaşımında, Cr, M7C3 ve M23C6 karbürlerin oluşmasıyla birlikte, oksidasyon, aşınma direnci ve mukavemet sağlar. Stellite alaşımlarının güçlendirilmesi için, refrakter elementler (tungsten veya molibden) ile katı eriyik sertleşmesine ve karbür çöktürmesine katkıda bulunurlar [16-17].

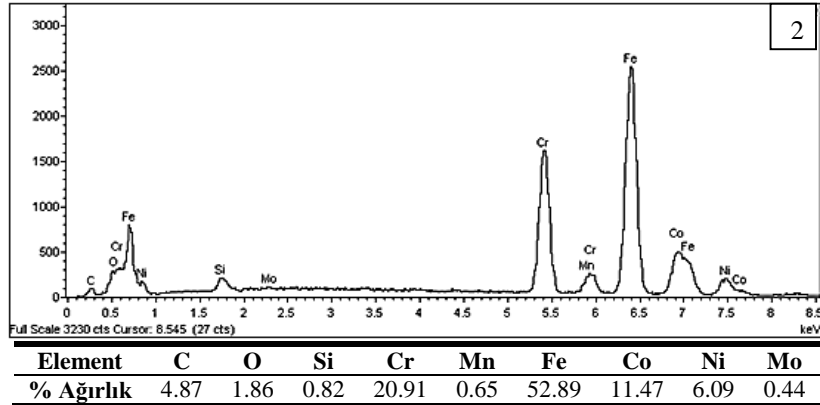
Kobalt esaslı alaşımların mikroyapılarında matris içine çökelmiş karbürlerin yanı sıra, intermetalik bileşikler de bulunabilir. Bu intermetalik bileşiklerin kararlılığı alaşımın bileşimine bağlıdır. Örneğin; %20 Cr’lu Co-Cr-Ni sisteminde 1200°C’nin üstünde intermetalik sigma fazı kararlı olmasına rağmen, % 30 Cr’ lu Co-Cr-Mo sisteminde bu faz ancak yüksek Mo içerikleri için düşük sıcaklıklarda kararlı olmaktadır. Bu da Mo’ nin Ni’e kıyasla sigma fazını daha düşük sıcaklıklarda kararlı hale getirdiğini göstermektedir [18]. Dendritler daha yakın incelendiğinde (Şekil 7), dendrit kollarının kromca zengin krom karbürlerden, dendrit kolları arasında kalan noktaların da demirce zengin karbürlerden oluştuğu belirlenmiştir. Bu mikroyapı fotoğraflarından da görüleceği gibi yapının Fe ve Cr’ca zengin dendritlerden oluştuğu görülmektedir.



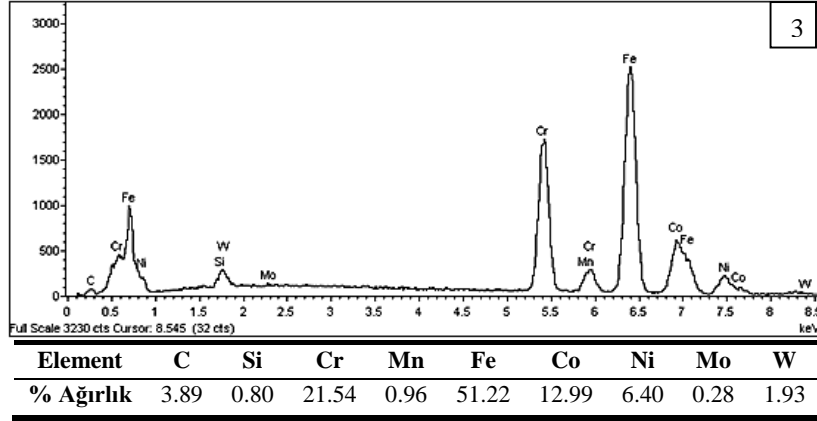
Şekil 7. EDS analiz bölgelerini gösteren SEM fotoğrafı.



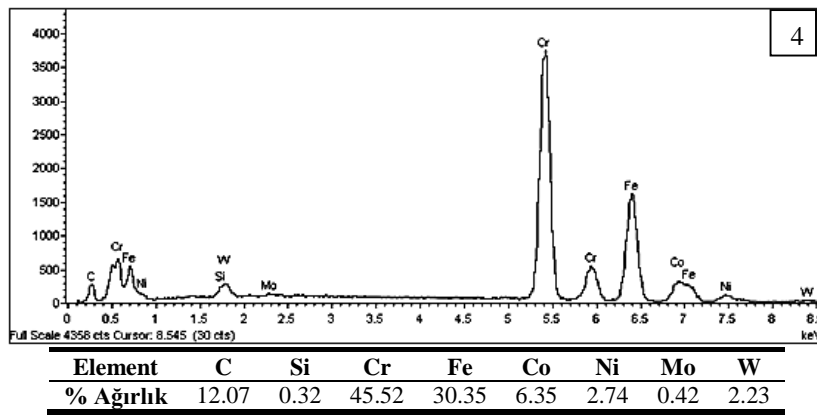
Şekil 8. 1 no'lu bölgeye ait EDS analiz grafiği ve EDS analiz sonuçları.



Şekil 9. 2 no'lu bölgeye ait EDS analiz grafiği ve EDS analiz sonuçları.



Şekil 10. 3 no'lu bölgeye ait EDS analiz grafiği ve EDS analiz sonuçları.



Şekil 11. 4 no'lu bölgeye ait EDS analiz grafiği ve EDS analiz sonuçları.

### 3.4. Makro ve Mikrosertlik

Tablo 4'de Stellite 6+FeMo ile kaplı numuneden alınan makro sertlik değerleri verilmiştir. Numuneye ait makro sertlik değerleri incelendiğinde ortalama sertlik değerlerinin 135 HV olduğu görülmüştür. Sertlik değerleri irdelendiğinde, Stellite 6 alaşımına ilave edilen FeMo sertlik değerlerinde artışa neden olmuştur. Kaplama katının hızlı soğuması ve ara yüzeye doğru yaklaştıkça yavaşlaması kaplama tabakasında ilk ve ani soğuyan uç kısımlarının sertliğini artırmıştır. Hızlı soğuma sonucu karbür miktarın da artış olmuş ve paralelinde sertlik değerleri de etkilenecek artmaktadır.

**Tablo 4.** Makrosertlik değerleri

Numune	Makro Sertlik	
	Stellite 6	Stellite 6+FeMo
	85	145
	90	135
	90	125
	80	110

Şekil 12'de mikrosertlik ölçüm sonuçları verilmiştir. Mikrosertlik değerleri incelendiğinde en yüksek sertlik 866 HV ölçülmüştür. Stellite 6 süper alaşımına FeMo ilavesi ile kaplama katında mikrosertlik değerleri artmıştır. Sertlik değerlerinin kaplama katmanına yaklaştıkça yükseldiği, geçiş bölgesinden itibaren yükselerek maksimum seviyelere ulaşmış ve hızlı bir düşüş göstererek altlık malzemenin sertlik değerine ulaşmıştır. Sertlik ölçümlerinde altlık malzemesinden kaplama katına yaklaştıkça difüzyon etkisi ve artan sert bileşiklerin oranına bağlı olarak sertlik değerleri hızlı yükselmiş ve geçiş bölgesinden kaplama tabakasının içerisinde de sertlik değerlerinin artmaya devam ettiği tespit edilmiştir. En yüksek



## Kaynaklar

1. Saklakoğlu İ.E., Saklakoğlu N. 2004. Plazma Ortamına İyon Aşılama Yöntemi Genel Prensipleri ve Uygulama Alanları, Mühendis ve Makina Dergisi, Ocak Sayısı, 528.
2. Karataş M., Turhan H. 2012. Ostenitik Paslanmaz Çelik Yüzeyine GTA Yöntemiyle Alaşımlanan FeW+Stellite 6 Tabakasının Mikroyapı ve Sertlik Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Fırat University Journal of Engineering, 24 (2): 169-177.
3. Hidouci A., Pelletier J.M., Ducoin F., Dezert D., El Guerjouma R. 2000. Microstructural and mechanical characteristics of laser coatings, Surface and Coatings Technology, 123 (1): 17-23.
4. Çolak N.Y., Turhan H. 2016. AISI 304 Ostenitik Paslanmaz Çelik Yüzeyinin FeB+Stellite 6 Alaşımı Kullanılarak Yüzey Modifikasyonunun İncelenmesi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 13 (1): 17-30
5. Korkut M.H., Yılmaz O., Buytoz S. 2002. Effect of aging on the Microstructure and Toughness of the İnterface Zone of a Gas Tungsten Arc (GTA) Synthesized Fe–Cr–Si–Mo–C Coated Low Carbon Steel, Surface and Coatings Technology, 157 (1): 5-13.
6. Güleç S., Aran A. 1987. Demir Dışı Metaller Malzeme Bilgisi, TÜBİTAK Yayını, 2: 123-235.
7. Kaluç E., Tülbentçi K. 1995. Paslanmaz Çelikler ve Kaynaklanabilirliği, Seminer Notları, Kocaeli Üniversitesi Kaynak Teknolojisi Araştırma, Eğitim ve Uygulama Merkezi, Kocaeli, 7-178.
8. Frenk A., Kurz W. 1994. Microstructural effects on the sliding wear resistance of a cobalt-based alloy, Wear, 174 (1-2): 81-91.
9. Malayoglu U., Neville A., Lovelock H. 2005. Assessing the Kinetics and Mechanisms of Corrosion of Cast and HIPed Stellite 6 in Aqueous Saline Environments, Corrosion science, 47 (8): 1911-1931.
10. Tiziani A., Giordano L., Matteazzi P., Badan B. 1987. Laser Stellite Coatings on Austenitic Stainless Steels, Materials Science and Engineering, 88: 171-175.
11. Jeshvaghani R.A., Shamanian M., Jaberzadeh M. 2011. Enhancement of Wear Resistance of Ductile Iron Surface Alloyed by Stellite 6, Materials & Design, 32 (4): 2028-2033.
12. Singh R., Kumar D., Mishra S.K., Tiwari S.K. 2014. Laser cladding of Stellite 6 on Stainless Steel to Enhance Solid Particle Erosion and Cavitation Resistance, Surface and Coatings Technology, 251: 87-97.
13. Shin J.C., Doh J.M., Yoon J.K., Lee D.Y., Kim, J.S. 2003. Effect of Molybdenum on the Microstructure and Wear Resistance of Cobalt-Base Stellite hardfacing Alloys, Surface and Coatings Technology, 166 (2-3): 117-126.
14. Kuzucu V., Ceylan M., Celik H., Aksoy I. 1997. Microstructure and Phase Analyses of Stellite 6 Plus 6 wt.% Mo Alloy, Journal of Materials Processing Technology, 69 (1-3): 257-263.
15. Karataş M., Turhan H. 2011. The İnterface Surface Coating Using FeTi+Stellite 6 alloy of AISI 304 Austenitic Stainless Steel Surface, e-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences, 2A0070, 6 (4): 48-59
16. Farnia A., Ghaini F.M., Rao J.C., Ocelik V., De Hosson J.T.M. 2012. Effect of Ta on the Microstructure and Hardness of Stellite 6 Coating Deposited by Low Power Pulse Laser Treatments, Surface and Coatings Technology, 213: 278-284.
17. Radu I., Li D.Y. 2007. The Wear Performance of Yttrium-Modified Stellite 712 at Elevated Temperatures, Tribology International, 40 (2): 254-265.
18. Çelik H., Osman A., Çimenoglu H., Kayalı E.S. 1995. Stellite 6 Alaşımının Yüksek Sıcaklıktaki Aşınma Davranışına Silisyumun Etkisi, TMMOB Metalurji Müh. Odası, 8. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, 286-291.
19. Çelik H. 1991. Kaynak Edilebilen Kobalt ve Demir Esaslı Alaşımların Yüksek Sıcaklıklardaki Aşınma Davranışları, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Mikro Şerit Dizi Anten için Besleme Ağı Tasarımı ve Uygulanması

Gökhan SATILMIŞ<sup>1\*</sup>, Filiz GÜNEŞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Muş Alparslan Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Muş  
<sup>2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul

---

### Öz

Bu çalışmada Ku alt frekans bandında mikro şerit dizi anten için eş genlikli ve eş faz olacak şekilde bir besleme ağı yapısı ortaya konmuştur. Besleme ağı 8x4 toplam 32 elemanı besleyecek şekilde paralel besleme ağı kullanılarak tasarlanmıştır. Paralel besleme ağı her bir birim antene eş faz sağlaması ve anten dizisinin ışınım paterninde geniş taraflı öne gelecek şekilde ışınım yapması sağlanmıştır. Besleme ağı yapısı yaklaşık 1 desibellik bir uyumsuzlukla her bir antene güç paylaşımı sağlamayı başarmıştır. Besleme ağının gerçek performansını sağlamak için anten dizisiyle birleştirilmesi gerekmektedir. Bunun için açıklık kuplaj ile beslenen mikro şerit birim anten en uygun kazanç, yan lob seviyesi, bant genişliği ve empedans uyumu olacak şekilde tasarlanmıştır. Tasarımlanan besleme ağı yapısı 32 elemanlı birim anten dizisiyle birleştirilmiştir. Sonuç olarak besleme ağı ve anten dizisi birleştirilmesiyle sistemin bant genişliği, kazancı ve giriş uyumsuzluk değeri istenilen seviyeye gelmiştir. Besleme ağı ve anten dizisinin 3 boyutlu olarak alttan ve üstten gösterimi verilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Mikro Şerit Dizi Anten, Besleme Ağı, Seri ve Paralel Besleme, Açıklık Kuplaj

---

## Feed Network Design and Application for Micro strip Antenna Arrays

### Abstract

In this paper, a feed network which feeds antenna arrays with equal phase and magnitude operating lower Ku frequency band is presented. The feed network is designed in parallel for feeding 32 unit antenna, so the radiation of antenna array is broadside. Equal power is delivered to the antennas with a 1 dB mismatch. The feed network is joined with micro strip antenna arrays in order to estimate the real performance and unit antenna is designed to be fed by aperture coupling method. As a conclusion, antenna gain, bandwidth and input impedance mismatch requirements are met and antenna arrays, feed network are depicted in 3D view.

**Keywords:** Micro strip Antenna Arrays, Feed Network, Series and Parallel Feeding, Aperture Coupling

---

### 1. Giriş

Bu makalede mikro şerit dizi anten tasarımı için besleme ağı yapıları incelenmiştir. Besleme ağı, mikro şerit dizi anten tasarımı gerçekleştirildikten sonra tasarıma eklenir. Mikro şerit dizi anten yapısını daha iyi açıklamak adına birim eleman olan mikro şerit anten incelenmelidir. Kısaca mikro şerit antenlerin avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz[1]:

- Düşük görüntülü yapılara sahip olduğu için aerodinamik yapıyı bozmazlar.
- Düzlemsel veya düzlemsel olmayan yüzeylere yerleştirilebilir.
- Modern devre baskı teknolojisiyle ucuz olarak üretilebilir.
- Çok amaçlı olarak giriş empedansı, polarizasyonu, tınlama frekansı ve ışınım paterni elde edilebilir.
- Mikrodalga tümleşik devre tasarımına uyumludur.

Benzer şekilde dezavantajlarında şu şekilde sıralayabiliriz:

- İletkenlik ve dielektrik kayıpları açısından düşük verimliliğe sahiptir.

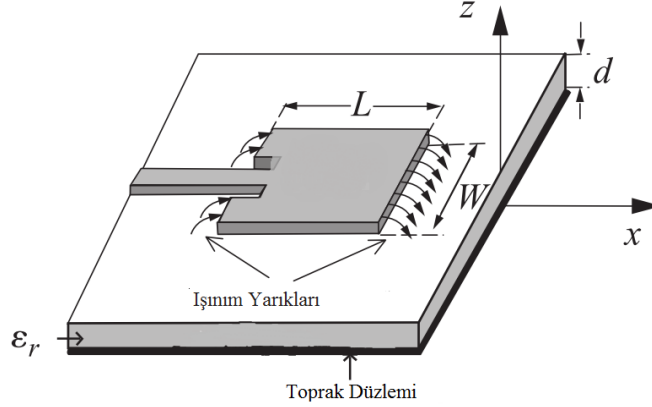
---

\*Sorumlu yazar: [gokhan.satilmis@gmail.com](mailto:gokhan.satilmis@gmail.com)

Geliş Tarihi: 06/12/2017 Kabul Tarihi: 28/05/2018

- Düşük güç kapasitesine sahiptir.
- Genel olarak dar bantta ışınım yaparlar.

Birim anten olarak nitelendirilen mikro şerit anten yapısı Şekil 1’de gösterilmiştir ve 3 farklı şekilde beslenebilir.



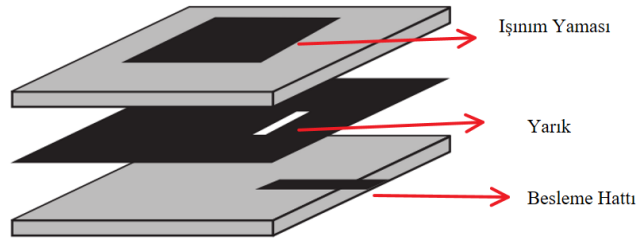
Şekil 1 Mikro şerit birim anten[1]

Besleme yöntemleri mikro şerit besleme, kuplaj yoluyla besleme, koaksiyel besleme, substratla birleştirilmiş dalga kılavuzuyla besleme[2] ve proksimiti kuplajdır. Doğal olarak dar bant yapıya sahip mikro şerit antenlerin frekans bandını artırmak için yığın yapılar kullanılır. Örnek olarak toprak düzlemiyle ışınım yarıkları arasında köpük doldurulabilir. Açıklık kuplaj besleme yöntemi ile antenler beslenerek geniş bantlı ve yüksek kazançlı anten dizileri gerçekleştirilebilir.[3]

## 2. Mikro Şerit Anten Besleme Yöntemleri

Bahsedilen besleme yöntemleri arasında açıklık kuplaj yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem üretim açısından en zor olmasına rağmen modellemek açısından diğerlerine göre daha kolay ve istenmeyen ışınım daha azdır. Açıklık kuplaj yöntemi iki substratın toprak düzlemiyle ayrılması ile gerçekleşir. Alt tarafta mikro şerit besleme ağı bulunur ve bu sayede besleme tarafından gelen enerji toprak düzlemindeki yarıklar vasıtasıyla ışınım yapan yama kısmına iletilir. Bu mekanizma besleme hattını ve anten kısmını ayrı şekilde optimizasyon yapılmasına olanak sağlar. Genel olarak, yüksek dielektrik katsayısına sahip substratı alt katmanda, kalın ve düşük dielektrik katsayısına sahip substratı ise üst kısım için seçilir. Toprak düzlemi iki substratı birbirinden izole ettiği için girişimleri ve istenmeyen ışınımları minimize eder.

Anten giriş empedansı ile besleme hattı arasındaki empedans uyumlaştırma genel olarak besleme hattının genişliğini ve yarık uzunluğu en uygun şekilde sokarak elde edilir. Şekil 2 de açıklık kuplaj beslemeli birim anten gösterilmiştir.



Şekil 2. 3 Boyutlu Açıklık Kuplaj Besleme Gösterimi[3]

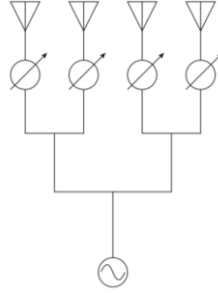
## 3. Besleme ağı yöntemleri

Besleme hattından kaynaklanan ışınımlar ne tür besleme yöntemi kullanılırsa kullanılsın anten performansını etkiler. Örnek olarak çapraz kutuplaşma ve yan lob seviye değerleri verilebilir. Bu tür ışınımları önlemek ve performansı artırmak için besleme ağı ve ışınım yapan yama birbirinden izole edilmelidir. Anten dizileri paralel, seri ve hibrit olarak beslenebilir ve her bir besleme yönteminin özellikleri farklıdır. Bunun için uygulama özelinde besleme ağı yöntemi seçilmelidir.



### 3.1.Paralel Besleme

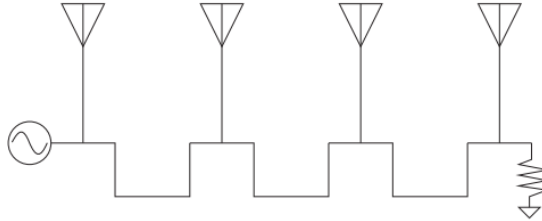
Paralel besleme güç bölücü devre olarak da düşünülebilir. Genellikle tapered hatlar veya çeyrek dalga empedans dönüştürücüleri vasıtasıyla tasarlanabilir. Bu besleme yönteminde tasarımcı her bir antenin besleme genliği ve fazı üzerinde diğerlerine göre daha fazla kontrol sahibidir. 1x4 elemanlı bir anten dizisi için paralel besleme yöntemi gerçekleştirilmiştir[4]. 4x4 elemanlı anten dizisi için de paralel besleme yöntemi kullanılmıştır[5]. Çok ışın demetli antenler, faz kaydırmalı dizi antenler ve şekillendirilmiş ışın demetli anten uygulamaları için bu yöntem kullanılabilir.



Şekil 3. Paralel Besleme

### 3.2.Seri Besleme

Bu tip besleme sabit huzme istenilen anten dizileri veya taramayı frekans değişimi ile gerçekleştiren anten dizileri için kullanılabilir. 1x4 dizilimine sahip dar bantlı uygulamalar için anten ve besleme ağı yapısı optimize edilmiştir[6]. Bu besleme yöntemindeki en kritik nokta besleme hattında gerçekleştirdiğimiz bir değişim diğer antenlerin performansını etkilemesidir.



Şekil 4. Seri Besleme

### 4. 32 Elemanlı Besleme Ağı Tasarımı Ve Anten Dizisiyle Beslenmesi

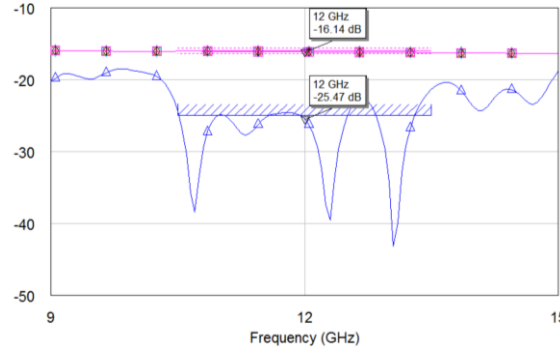
Seri ve paralel besleme ağlarının birlikte kullanılarak oluşturulan 8x10 dizilimine sahip dizi anten yapısı gerçekleştirilmiştir [7]. 32 Elemanlı bir besleme ağında her bir birim antene eş faz ve eş genlik iletilecek şekilde iletilmesi için paralel besleme uygun olacaktır. Çizilen devrede toplam 33 adet port vardır. Bu portlardan  $|S_{11}|$ 'in genliği giriş yansıma kaybı olarak nitelendirilir ve genel olarak -10 Desibel (dB) değerinden daha küçük olması beklenir. Diğer 32 adet porta gelen sinyalin genliği;

$$|S_{x1}|, x = 2,3,4 \dots 32$$

Şeklinde gösterilebilir. Bu S parametrelerinin değerlerini eş güç paylaşımı varsayarak aşağıdaki denklemden elde edebiliriz.

$$10 \log(1/32) = -15.06 \text{ dB}$$

Şekil 5'deki grafikte gösterildiği gibi giriş yansıma kaybının -10 (dB) değerinin istenilen frekans bandı boyunca sağlandığı gözükülmektedir. Benzer olarak diğer portlara iletilen sinyalinde yaklaşık olarak 1 (dB)'lik bir uyumsuzlukla eşit olarak iletilmesi başarılmıştır.

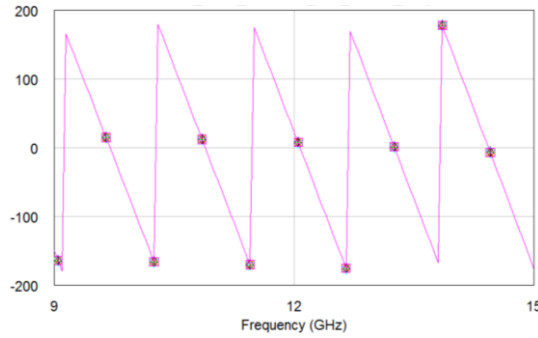


**Şekil 5.** 33 Portlu Devrenin S Parametrelerinin Genliği

Bir diğer amaçsa her birim antene eş faz iletilecek şekilde bir besleme tasarımıdır. Eş faz ve eş genliği sağlamak için paralel yapılı bir besleme ağı tasarlanmıştır. Kısaca her bir antene iletilen sinyalin açısının eş olabilmesi için;

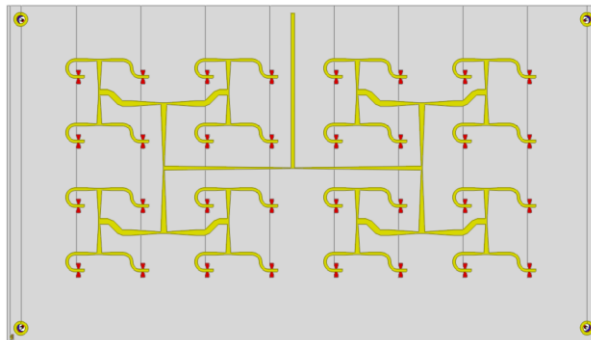
$$\text{Angle}(|S_{21}|) = \text{Angle}(|S_{x1}|), \quad x = 2,3,4 \dots 32$$

Yukarıdaki şart sağlanmalıdır. Bu eşitliğin sağlandığı Şekil 6'deki grafikte gözükmemektedir. Tasarım olarak geniş tarafı öne gelecek şekilde ışınma amaçlandığı için her bir antene eş faz gitmesi önemlidir. Eş faz iletmediği takdirde dizi antenin ana lobu bir yöne doğru eğilebilir ve bu da haberleşmenin performansını direkt olarak etkiler.

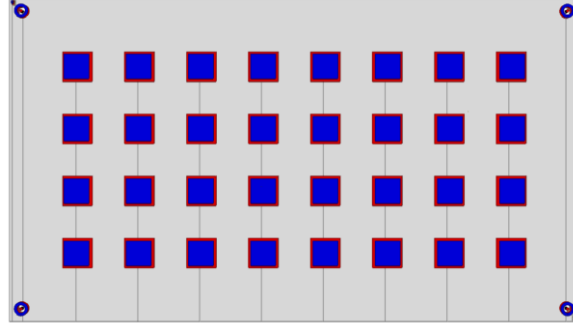


**Şekil 6.** 33 Portlu Devrenin S Parametrelerinin Açısı

Yatay ekseninde 4 ve dikey ekseninde 8 tane olmak üzere anten dizisinin alttan ve üstten görünüşleri Şekil 7 ve 8 de gösterilmiştir.

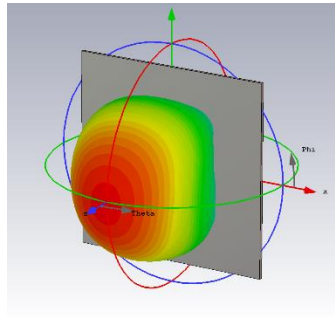


**Şekil 7.** 3 Boyutlu Besleme Ağının Altan Görünüşü

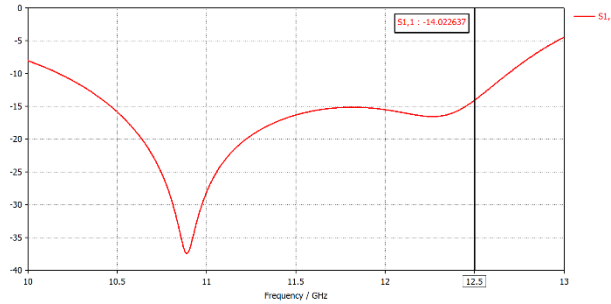


Şekil 8. 3 Boyutlu Besleme Ağı ve Anten Dizisinin Üstten Görünüşü

Yatay ekseninde 4 ve dikey ekseninde 8 tane olmak üzere anten dizisinin alttan ve üstten görünüşleri şekil 7 ve 8 de gösterilmiştir.

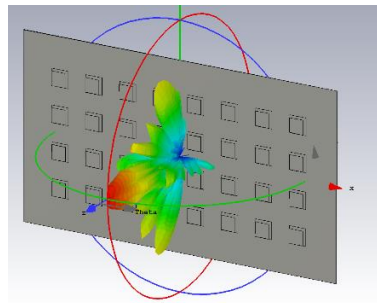


Şekil 9. Birim Antenin Işıma Paterni



Şekil 10. Birim Antenin S Parametresi

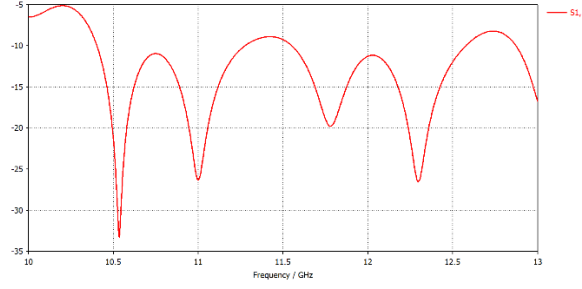
Şekil 9 ve Şekil 10 tasarımı gerçekleştirilmiş birim antenin yönlendiriciliği 9.5 dBi'dır. Birim antenin giriş portundan görülen geri dönüş kaybı istenilen frekans bandında -10dB değerinin altında tutulmuştur.



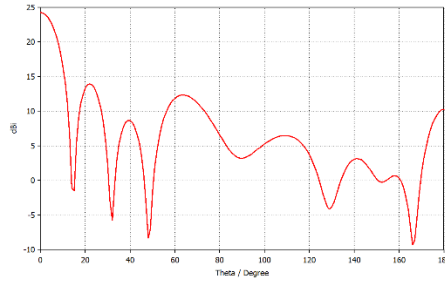
Şekil 11. Antenin Işıma Paternin Anten Geometrisi Üstünde Gösterimi

Birim antenden oluşturulmuş anten dizisinin ışımada Şekil 11'de gösterilmiştir ve yönlendiriciliği 24.3 dBi değerindedir. Yine aynı şekilde dizi antenin besleme ağıyla birleştirilmiş durumdaki giriş

kapısındaki geri dönüş kaybı şekilde 10'da gösterilmiştir. Şekil 13'de Kartezyen koordinat sisteminde antenin yönlendiriciliği, ana lobun açısı ve yan lob seviyesi gösterilmiştir. Yan lob seviyesi -10.3 dB seviyesindedir.



Şekil 12. Toplam Dizinin S11 Parametresi



Şekil 13. Dizi Anten Kazancının Kartezyen Koordinatlarda Gösterimi

Dizi anten yapısının merkez frekansı 12.8 GHz olacak şekilde kazancı 24.3 dBi ve yan lob seviyesi -10.3 dB olacak şekilde elde edilmiştir.

#### 4.Sonuç

Bu çalışmada mikro şerit dizi anten besleme ağı tasarımı düşük dielektrik sabiti ve ince bir substrat kullanılarak tasarlanmıştır. Besleme ağı yapısının S parametrelerinden sadece antene iletilen sinyalin genliği ve fazı ile ilgili bilgi vermektedir. Bundan dolayı besleme ağı yapısının dizi antenle birleştirip toplam olarak benzetim yapmanın gerekli olduğunu kararına varılmıştır. Bu yüzden dizi anten yapısı oluşturularak besleme ağıyla birleştirilmiştir. Bu sayede tasarlanan besleme ağının gerçek performansının gösterilmesi amaçlanmıştır. Besleme ağından kaynaklanan ışınım tipik olarak sistemin performansını düşüren bir etkidir. Diğer etki ise pürüzsüzlük faktörüdür. Pürüzsüzlük etkisi analitik olarak hesaplanıp, substratın içine bir değişken olarak atanmıştır. Hâlbuki besleme ağından kaynaklanan ışınım analitik olarak bir ifadesi yoktur. Bu etki toplam dizi antenin ışınım diyagramında kendini göstermiştir.

Mikro şerit hatlardan kaynaklanan dielektrik ve rezistif kayıplar besleme ağı yapısının performansını düşürmüştür. Buna rağmen toplan dizi anten yönlendiriciliği istenilen seviyede çıkmıştır. İleriki çalışmalarda daha ince substrat kullanılarak ve daha düşük dielektrik sabitli substrat kullanılarak besleme ağı yapısını tekrar gözden geçirilebilir. Mikro şerit hat kullanılarak tasarlanan besleme ağıyla belli bir anten sayısından sonra kayıp miktarı artmaktadır. Eğer dizi anten sayısını daha fazla artırmak isteniyorsa bunun için daha düşük kayba sahip bir iletim hattı seçmenin daha doğru olacağı düşünülmektedir.

## Kaynaklar

1. Balanis C.A. 2005. *Antenna theory: analysis and design*. 3rd ed, John Wiley, Hoboken, NJ. xvii, 1117 p, 783-875 pages
2. Mikulasek T., et al. 2016. Design of aperture-coupled micro strip patch antenna array fed by SIW for 60 GHz band, *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 10 (3): 288-292.
3. Carr J.J., Hippisley G. 2012. *Practical antenna handbook*. Fifth edition. ed., McGraw-Hill/TAB Electronics, New York, NY. xvi, 767 p, 149-175 pages.
4. İpekoğlu Y., Yücedağ O.M., Saraydemir S., Kocer H. 2015. Micro strip Patch Antenna Array Design for C-Band Electromagnetic Fence Applications, 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO), 355-358.
5. Reynalda T., Munir A., Bharata E. 2011. Characterization of 4x4 high gain micro strip array antenna for 3.3GHz WiMAX application, 6th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications (TSSA).
6. Ahmad, G. 2008. Design, Optimization and Development of X-band Micro Strip Patch Antenna Array for High Gain, Low Side Lobes and Impedance Matching, Second International Conference on Electrical Engineering.
7. Liu Y., et al. 2015. A Multi Beam Dual-Band Orthogonal Linearly Polarized Antenna Array for Satellite Communication on the Move, *International Journal of Antennas and Propagation*, 2015: 1-8.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Buğday Agro-Ekosistemlerinde Pestisitlerin ve Odun Sirkesinin Kültür Bitkisindeki Arthropodlara Etkileri Üzerine Bir Araştırma**

İbrahim KOÇ<sup>1\*</sup>, Erdal Necip YARDIM<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bitlis

<sup>2</sup>Bitlis Eren Üniversitesi Rektörlüğü, Bitlis

---

### **Öz**

Bu çalışma, buğday agro-ekosisteminde bitki koruma amaçlı kullanılan pestisitlerin ve odun sirkesi'nin, kültür bitkisi üzerindeki arthropodlara etkisini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Araştırma; Muş ili ekolojik şartlarında, 2014-2015 ve 2015-2016 üretim sezonlarında kışlık buğday tarlasında Tesadüf Blokları Deneme Desenine göre dört tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Denemede yapılan ilaç uygulamaları; sırt pülverizatörü yardımı ile BERCE Alparslan Tarım İşletmesi'nin hastalık, zararlı ve yabancı otlarla mücadelede kullandığı pestisitler ve uygulama takvimi takip edilerek yapılmıştır. Çalışmada;

1) pestisit uygulaması,  
2) pestisit uygulamasına tekabül eden %0.5 - %1 - %2 - %3 - %4 ve %5 mL odun sirkesi uygulamaları ve  
3) herhangi bir ilaç (pestisit ve odun sirkesi) uygulamasının yapılmadığı kontrol uygulaması şeklinde yapılmıştır. Kontrole göre, yapılan uygulamaların (pestisit ve odun sirkesi) kültür bitkisi üzerindeki ortalama arthropod sayısını etkilediği ve yapılan Basit Uyum Analizleri sonucunda söz konusu uygulamalar ile dikkate alınan özellikler arasında genel olarak anlamlı ilişkilerin bulunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, 2014-2015'e göre 2015-2016'da kültür bitkisi üzerindeki arthropodların sayıca daha çok olduğu bulunmuştur. Sonuç olarak; odun sirkesinin, biyopestisit ile repellent (kovucu) etkilerinin tespiti için kontrollü şartlarda ve farklı dozlarda denemesinin faydalı olabileceği düşünülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Agro-Ekosistem, Arthropodlar, Biyopestisitler, Buğday, Odun Sirkesi.

---

## **A Research on the Effects of Wood Vinegar and Pesticides on Arthropods Living on Cultivated Plants in Wheat Agroecosystems**

### **Abstract**

The aim of this study is to investigate the effect of pesticides which are used in wheat agroecosystem for plant protection and wood vinegar on arthropods living on cultivated plants. The investigation has been performed in same wintery wheat field according to Randomized Block Design with 4 replications in Muş province's ecological conditions in 2014-2015 and 2015-2016 growing seasons. Pesticides in the treatments were applied for disease, pests and weeds based on a calendar determined by BERCE Alparslan Agriculture Administration. The treatments in the study were;

1) pesticide application,  
2) 0,5%, 1% mL, 2% mL, 3% mL, 4% mL, 5% mL wood vinegar corresponding to pesticide applications and  
3) control application where no pesticide and wood vinegar used. Compared to the control, the applications (pesticides and wood vinegar) had an effect on the average number of arthropods on the cultivated plants and as a result of the Simple Correspondence Analysis Method, there were generally meaningful relations between the applications and the features considered. Moreover, the number of arthropods on the cultivated plants in 2015-2016 was found to be higher than those in 2014-2015. As a result; we believe it may be useful to try the wood

---

\*Sorumlu yazar: [ibrahimkoc47@gmail.com](mailto:ibrahimkoc47@gmail.com)

Geliş Tarihi: 10/05/2018 Kabul Tarihi: 29/05/2018

**Not:** Bu çalışma "2017 Imeset Conference Bitlis" uluslararası konferansta sözlü olarak sunulmuştur.

vinegar under controlled conditions and often with in different doses to determine its repellent and bio-pesticides effects.

**Keywords:** Agroecosystem, Arthropods, Bio-pesticides, Wheat, Wood Vinegar.

## 1. Giriş

Tarımsal mücadelede, pestisitlerin başarı sağlaması oldukça sevindirici olmakla birlikte bu maddelerin bilimsel denetimden yoksun, gelişi güzel ve aşırı dozda kullanılmaları sonucunda, yararlı canlılar ile çevrenin diğer unsurları olumsuz etkilenmektedir [1]. Tarımsal uygulamaların başlıca amacı; ekolojik dengeleri bozmadan birim alandan kaliteli ve bol ürün elde etmektir [2]. Bitki korumada, kullanılan sentetik pestisitlerin yoğun kullanımından ötürü oluşan problemler çeşitli alternatif yöntemlerin ve doğal pestisitlerin aranmasını zorunlu hale getirmiştir [3]. Doğal pestisitlerden olan biyopestisitler; hayvanlar, bitkiler, bakteriler ve çeşitli mineraller gibi birçok doğal maddeden elde edilebilmektedir [4]. Karbonizasyon işlemlerinin bir yan ürünü olarak üretilen odun sirkesi (OS), yapılan arkeolojik çalışmalarda bitki koruma amaçlı olarak Neanderthal zamanında kullanıldığı bulunmuştur [5]. OS'un %80-90'ı su ve %10-20'sinin ana kısmı asetik asit olmakla birlikte 200'den fazla organik birleşikten oluşmuştur [6]. OS; asetik asit ile birlikte organik asitler, fenolik, alkan, alkol ve ester ana bileşiklerinden meydana gelmiştir [7]. Bambudan elde edilen OS, termit ve böcek kontrolünde uygulanabilmektedir [8].

OS'un, su ve topraktaki hedef olmayan organizmalara karşı toksik ya da hafif toksik olduğu ifade edilmiştir [9].

Bu çalışma, buğdayda bitki koruma amaçlı kullanılan bazı pestisitlerin ve odun sirkesinin, kültür bitkisi üzerindeki arthropodlara etkilerini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Deneme alanı; Muş il merkezine yaklaşık 12 km mesafede bulunan BERCE Alparslan Tarım İşletmesine ait Krasunia odeska kışlık buğday tarlasında (14. Parsel, 1276 m yükseklik, 38°47'33.0"N 41°32'45.0"E koordinat) yürütülmüştür. Denemenin yapıldığı bölgedeki, son on yıl (uzun yıllar ortalaması), 1. yıl (2014-2015) ile 2. yılın (2015-2016) toplam yağış, ortalama sıcaklık ve ortalama nispi nem değerleri Tablo 1'de verilmiştir [10].

**Tablo 1.** Muş ili uzun yıllar ortalaması, 2014-15 ve 2015-16 yılları vejetasyon dönemine ait bazı iklim verileri

Yağış (mm)			Ortalama Sıcaklık (C <sup>0</sup> )			Nispi Nem (%)		
2014-15	2015-16	UYO	2014-15	2015-16	UYO	2014-15	2015-16	UYO
740.4	790.1	740.5	11.55	11.48	10.62	55.02	54.00	60.79

Bu çalışmada kullanılan OS; Broyler tavuk yetiştiriciliği atığından, gazlaştırma makinesi ile biyokömür ve OS ürünlerini geliştiren bir firmadan temin edilmiştir [11]. 2014-2015 üretim sezonu için; 26 Mayıs'ta, pestisit uygulanan parsellere: Herbisit Weed killer D (etken madde: 2,4-D Acid Dimethylamin, 100 mL/da, Koruma) ile fungusit Duett super (etken madde: 84 g/L Epoxiconazole ve 250 g/L Fenpropimorph, 100 mL/da, Basf), OS uygulanan parsellere; %0.5, %1, %2, %3, %4 ve %5 mL OS ve kontrol grubu parsellerine ise sadece su uygulanmıştır. 2015-2016 üretim sezonu için; pestisit uygulanan parsellere 24 Nisan'da fungusit İnut (etken madde: 160 g/L Prothioconazole+300 g/L Spiroxamine, EC, 100 mL/da, Bayer), 30 Nisan'da herbisit Harmony platinum (etken madde: %37.5 Thifensulfuron methyl+%37.5 Tribenuron methyl, DF, 2 g/da, Bayer), 8 Mayıs'ta herbisit Attribut süper

WG 20 (etken madde: %6.75 Propoxy carbazon-sodium+%4.5 Mesos ulfuron-methyl, WG, 20 g/da, Bayer) ile Biopower (100 ml/da, Bayer) karıştırılarak, 6 Haziran'da ise fungusit Duett super (etken madde: 84 g/l Epoxiconazole ve 250 g/l Fenpropimorph, 100 ml/da, Basf), belirtilen tarihlerde OS uygulanan parsellere; %0.5, %1, %2, %3, %4 ve %5 mL OS ve kontrol grubu parsellerine ise sadece su uygulanmıştır.

## 2.2. Metot

Deneme alanı; 2014-2015 ve 2015-2016 üretim sezonlarında, Tesadüf Blokları Deneme Desenine göre ve dört tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Her bir parsel 25m<sup>2</sup> (5x5m) büyüklüğünde olup bloklar ve parseller arasında en az 2 m mesafe bırakılmıştır [12]. İlaç uygulamaları; sırt pülverizatörü yardımı ile BERCE Alparslan Tarım İşletmesinin buğdayda kullandığı pestisitler ve uygulama takvimi takip edilerek yapılmıştır. Çalışmada şu muameleler kullanılmıştır:

1) pestisit uygulaması; buğdayda görülen hastalık ile yabancı otlara ve gerektiğinde zararlılara karşı kullanılan ilaçlar uygulanmıştır.

2) pestisit uygulamasına tekabül eden %0.5 - %1 - %2 - %3 - %4 - %5 mL OS ve

3) herhangi bir ilaç (pestisit ve OS) uygulamasının yapılmadığı kontrol uygulaması şeklinde yapılmıştır.

Genel anlamda, yapılan ilaç uygulamalarının kültür bitkisi üzerindeki arthropodlara (Carabidae, Coccinellidae, Formicidae, Gryllidae, Aphididae, Apidae, Araneae gibi) olan etkisinin tespiti için; her ilaçlamadan sonra ve diğer zamanlarda (haftalık olarak) her parselden rastgele seçilen 10 bitkideki arthropod bulunma durumuna bakılarak arthropod bulaşıklı bitki olarak (Şekil 1) kaydedilmiştir.



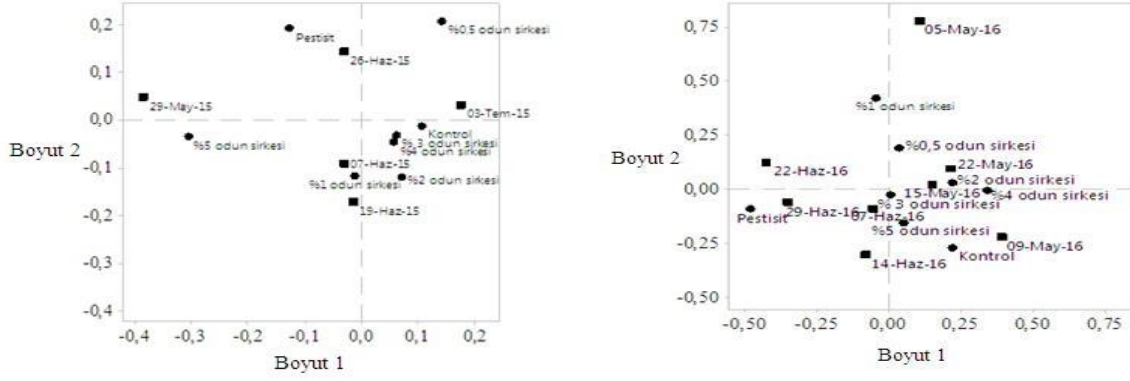
Şekil 1. Arthropod bulaşıklı bitkilere örnek

2014-2015 üretim sezonunda: 29 Mayıs, 7 Haziran, 19 Haziran, 26 Haziran ve 3 Temmuz'da olmak üzere 5 defa; 2015-2016 üretim sezonunda: 05 Mayıs, 09 Mayıs, 15 Mayıs, 22 Mayıs, 07 Haziran, 14 Haziran, 22 Haziran ve 29 Haziran'da olmak üzere toplamda 8 defa arthropod bulaşıklı bitki sayımı yapılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen verilerin istatistik analizlerinde; Basit Uyum Analizi Tekniğinden (Simple Correspondence) yararlanılmış olup, analizler Minitab (Ver. 17) istatistik paket programında yapılmıştır [13].

## 3. Bulgular ve Tartışma

26 Haziran 2015 örnekleme pestisit uygulaması ile, 7 ve 19 Haziran 2015 örneklemleri %1 mL OS uygulaması ile, kontrol - %3 - %4 ve %2 mL OS uygulamaları ise kendi aralarında ilişkili olduğu görülmüştür (Şekil 2 ve Tablo 2).





**Şekil 2.** Arthropod bulaşıklı bitki sayısı bakımından, 2014-2015 yılı (sol) ve 2015-2016 (sağ) uygulama ve örneklem tarihleri arasındaki ilişkiler için basit uyum analizi grafiği

Kültür bitkisinde bulunan arthropodlar; 2014-2015 üretim sezonunda en az %0.5 mL OS’de (16.4) olup en çok kontrolde (21), 2015-2016 üretim sezonunda en az %0.5 mL OS’de (10.37) olup en çok pestisitte (30.6), ortalama olarak ise en az %0.5 mL OS’de (13.23) olup en çok pestisitte (24) tespit edilmiştir (Şekil 3).

**Tablo 2.** Arthropod bulaşıklı bitki sayısı bakımından 2015 yılı uygulama ve örneklem tarihleri arasındaki ilişkiler için basit uyum analizi tablosu

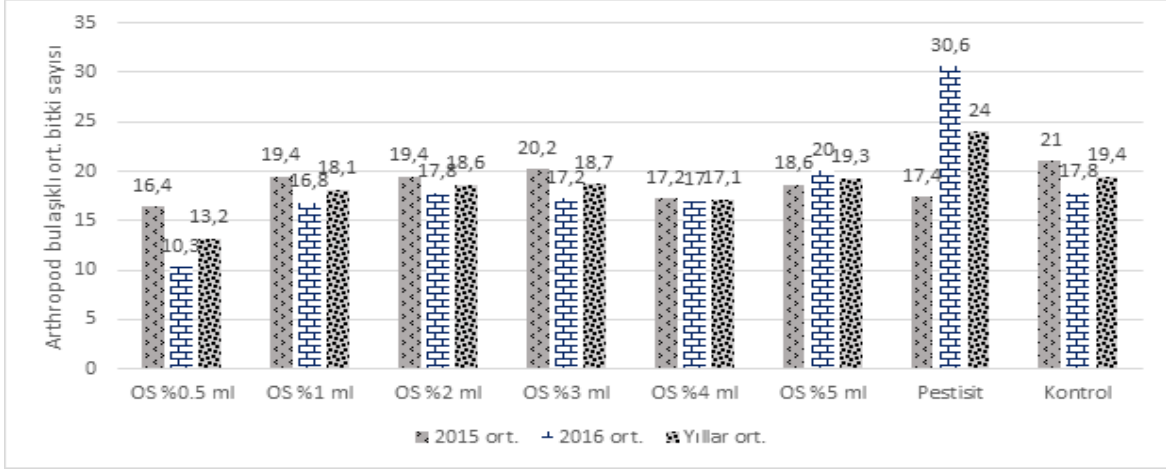
Axis	Inertia	Proportion	Cumulative	Histogram
1	0.0189	0.5528	0.5528	*****
2	0.0131	0.3842	<b>0.9371</b>	*****
3	0.0016	0.0469	0.9840	**
4	0.0005	0.0160	1.000	
<b>Total</b>	<b>0.0341</b>			

29 Haziran 2016 örnekleme pestisit uygulaması ile, 15 ve 22 Mayıs 2018 örneklemleri %2 mL OS ile, 9 Mayıs örnekleme kontrol ile ilişkili olup 5 Mayıs ve 22 Haziran 2016 örneklemlerinin hiçbir uygulama ile ilişkisinin olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 2 ve Tablo 3).

**Tablo 3.** Arthropod bulaşıklı bitki sayısı bakımından 2016 yılı uygulama ve örneklem tarihleri arasındaki ilişkiler için basit uyum analizi tablosu

Axis	Inertia	Proportion	Cumulative	Histogram
1	0.0704	0.5310	0.5310	*****
2	0.0367	0.2766	<b>0.8076</b>	*****
3	0.0155	0.1172	0.9248	*****
4	0.0077	0.0582	0.9830	***
5	0.0012	0.0090	0.9920	
6	0.0010	0.0074	0.9994	
7	0.0001	0.0006	1.0000	
<b>Total</b>	<b>0.1327</b>			

2014-2015 üretim sezonuna göre (149.6), 2015-2016 üretim sezonunda (147.57) arthropod bulaşıklı bitki sayısı ortalamasının nispi derecede daha az olduğu bulunmuştur.



Şekil 3. 2014-2015 ve 2015-2016 üretim sezonları için, yapılan uygulamaya göre arthropod bulaşıklı ortalama bitki sayısı

26 Haziran 2015 örnekleminin pestisit ile, 7 ve 19 Haziran 2015 örneklemlerinin %1 mL OS ile çok sayıda arthropod bulaşıklı bitki bulunmakla ilişkili olduğu farz edilmektedir. 2014-2015 üretim sezonundaki kontrol - %3 - 4 ve 2 mL OS uygulamalarının ise yapılan uygulamalardan benzer şekilde etkilenmekle ilişkili olduğu düşünülmektedir (Şekil 2). 29 Haziran 2016 örnekleminin pestisit uygulaması ile en çok sayıda arthropod bulaşıklı bitki bulunmakla ilişkili olduğu düşünülmektedir. 15 ve 22 Mayıs 2016 örneklemlerinin %2 mL OS uygulaması ile en çok sayıda arthropod bulaşıklı bitki sayısı artmakla ilişkili olduğu öngörülmektedir. 9 Mayıs 2016 örnekleminin kontrol uygulaması ile en çok sayıda arthropod bulaşıklı bitki bulunmakla ilişkili olduğu farz edilmektedir. 5 Mayıs ve 22 Haziran 2016 örneklemlerinin homojen olmayan dağılımlardan dolayı hiçbir uygulama ile ilişkisinin olmadığı öngörülmektedir (Şekil 2). 2014-2015'e (149.6) göre, 2015-2016'da (147.57) arthropod bulaşıklı bitki sayısı ortalamasının daha az olması, 2015-2016'da daha çok ilaçlama yapılmasından ve kullanılan ilaçların predatör arthropodları öldürmesinden ya da kovucu etki göstermesinden dolayı özellikle afit popülasyonlarının artmasından ötürü olabileceği düşünülmektedir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçların, benzer çalışmalar [6;8;13;14;15;16;17] ile örtüştüğü tespit edilmiştir. Elde edilen bulguların dalgalanmalar göstermesi durumu, stabil olmayan iklim koşulları ve ilaç uygulamalarının yabancı ot ile bitki gelişimi üzerindeki etkilerinin dolaylı olarak arthropodları etkilemesinden kaynaklanabileceği öngörülmektedir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Gerek pestisit ve gerekse odun sirkesi uygulamalarının, kültür bitkisi üzerinde bulunan arthropodlar üzerinde direkt veya dolaylı bir şekilde etkili olduğu tespit edilmiştir. Daha çok kâr ve verim elde etmeye odaklanmanın yanında biyolojik çeşitliliğe müdahale etmeden, toprağı destekleyici, çevreye ve özellikle doğal düşmanlara zarar vermeyen ürünlere yönelmemiz, yerkürenin korunması ve sürekliliğinin sağlanması için hayati önem arz etmektedir. Bu bağlamda örnek teşkil eden odun sirkesi'nin insektisit veya kovucu özelliğinin tespiti için farklı doz, ortam (laboratuvar, sera ile tarla) ve sıklıklarda arthropodlar üzerinde denenmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.

## Kaynaklar

1. Dığrak M., Kaçar N., Sönmez A. 1999. Pomarsol, Mitikol, Rubigan Ve Platoon'un Toprak Mikroflorası Üzerine Etkileri, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 23 (5): 1071-1077.
2. Topal S. 2011. Allelokimyasalların Herbisit Etkileri, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 25: 23-26.
3. Erdoğan P., Toros S. 2005. *Melia azaderach* L. (Meliaceae) Ekstraktlarının Patates Böceđi [*Leptinotarsa decemlineata* Say (Col.:Chrysomelidae)] Larvalarının Gelişimi Üzerine Etkisi, Bitki Koruma Bülteni, 45 (1-4): 99-118.
4. Yarsan E., Çevik A. 2007. Vektör Mücadelesinde Biyopestisitler, Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi, 64 (1): 61-70.
5. Tiilikkala K., Fagernäs L., Tiilikkala J. 2010. History and Use of Wood Pyrolysis Liquids as Biocide and Plant Protection Product, The Open Agriculture Journal, 4 (1): 111-118.
6. Kim D.H., Seo H.E., Lee S., Lee K. 2008. Effects of Wood Vinegar Mixed with Insecticides on the Mortalities of *Nilaparvata lugens* and *Laodelphax striatellus* (Homoptera: Delphacidae), Animal Cells and Systems, 12 (1): 47-52.
7. Jothityangkoon D., Koolachart R., Wanapat S., Wongkaew S., Jogloy S. 2008. Using Wood Vinegar in Enhancing Peanut Yield and in Controlling the Contamination of Aflatoxin Producing Fungus, International Crop Science, 4: 253-253.
8. Inoue S., Hata T., Imamura Y., Meier D. 2000. Components and Anti-Fungal Efficiency of Wood Vinegar Liquor Prepared Under Different Carbonization Conditions, Wood Research: Bulletin of the Wood Research Institute Kyoto University, 87: 34-36.
9. Hagner M. 2013. Potential of the Slow Pyrolysis Products Birch Tar Oil, Wood Vinegar and Biochar in Sustainable Plant Protection - Pesticidal Effects, Soil Improvement and Environmental Risks. Department of Environmental Sciences Faculty of Biological and Environmental Sciences University of Helsinki, Thesis, Finland.
10. Anonim, 2016a. Muş Meteoroloji İl Müdürlüğü Kayıtları. <https://www.mgm.gov.tr/kurumsal/istasyonlarimiz.aspx?ssirala=al&m=mus>. (Erişim tarihi: 05.11.2016).
11. Namlı A., Akça M.O., Turgay E.B., Soba M.R. 2014. Odun Sirkesinin Tarımsal Kullanım Potansiyelinin Araştırılması, Toprak Su Dergisi, 3 (1): 44-52.
12. Winer B.J., Brown D.R., Michels K.M. 1971. *Statistical Principles in Experimental Design*, Vol. 2. McGraw-Hill, New York.
13. Chalermnan Y., Peerapan S. 2009. Wood Vinegar: By-Product From Rural Charcoal Kiln And Its Role In Plant Protection, Asian Journal of Food and Agro-Industry, 189-195.
14. Rimaz V., Valizadegan O. 2013. Toxicity of Agricultural Adjuvant Cytogate Oil and the Insecticide Pymetrozine to the Cabbage Aphid, *Brevicoryne brassicae* L. (Homoptera: Aphididae) and its Parasitoid, *Diaeretiella rapae* M. (Hymenoptera: Aphidiidae), Egyptian Journal of Biological Pest Control, 23 (2): 221-225.
15. Gültekin Ü., Jepton P.C. 1991. The Toxicity of Aphicide Residues to Beneficial Invertebrates in Cereal Crops, Annals of Applied Biology, 118 ( 3): 493-502.

16. Özmen M. 2009. Yonca Hortumluböceği [*Hypera postica* Gyllenhal (*Coleoptera: Curculionidae*)]'ne Karşı Değişik Dönemlerde Yapılan İlaçlamaların Yonca (*Medicago Sativa L.*)'da Zararlı, Doğal Düşman ve Verim Üzerine Etkileri. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisan tezi, Van.
17. Evans S.C., Shaw E.M., Rypstra A.L. 2010. Exposure to a Glyphosate-Based Herbicide Affects Agrobiont Predatory Arthropod Behaviour and Long-Term Survival, *Ecotoxicology*, 19 (7): 12491257.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Ahlat İlçesinde Yer Alan Tarihi Yığma Minarenin Yapısal Analizi

Ercan IŞIK<sup>1\*</sup>, Barış ANTEP<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis

<sup>2</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis

---

### Öz

Vangölü Havzası içerisinde yer alan Ahlat tarihi bir şehirdir. Bölgede değişik medeniyetler tarafından inşa edilmiş birçok tarihi yapı bulunmaktadır. Ahlat ilçesinde yer alan tarihi eserlerin yapısal analizlerin yapılması ile geçmiş dönemlere ait yapı teknolojileri hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir. Bu tür eserlerin geçmiş ve gelecek arasında bir köprü görevi göreceğinden, günümüzde bu tür çalışmaların ayrı bir önemi bulunmaktadır. Bu çalışmada 1584 yılında inşa edilen Kadı Mahmut Cami'sine ait yığma tarzda inşa edilen cami minaresi dikkate alınmıştır. Minare kesme Ahlat taşından yapılmıştır. 2.75mx2.75m boyutlarında kare plan üzerine kurulan minarenin gövdesi 2m çapında silindirik bir yapıya sahiptir. Minarenin toplam yüksekliği 25.10m'dir. Yerinde yapılan ölçümler sonucu elde edilen değerler yardımı ile minarenin üç boyutlu modeli yazılım programında oluşturulmuştur. Oluşturulan model sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Farklı yükleme durumlarına göre yapının deprem davranışı belirlenmeye çalışılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Ahlat, Deprem Davranışı, Minare, Yapısal, Yığma.

---

## Structural Analysis of Historical Masonry Minaret in Ahlat

---

### Abstract

Ahlat is a historical town in Lake Van Basin. There are numerous historical structures in the region built by many civilizations that lived in the region. It is possible to have information about the construction techniques of the previous periods via making the structural analysis of the historical monuments in Ahlat. Due to having a function as a bridge between the past and the future, these kinds of studies have a special importance today. The minaret of Kadı Mahmut Mosque, built in masonry style in 1528, has been taken into consideration in this study. The minaret was built from Ahlat stone. The minaret's body built on a square plan with dimensions of 2.75mx2.75m which has a cylindrical structure with a diameter of 2m. The total height of minaret is 25.10m. A three-dimensional model of the minaret was created with the help of on-site measurements. The generated model has been analysed by finite element method. It has been tried to determine earthquake behaviour of minaret according to different loading situations.

**Keywords:**Ahlat, Seismic Behaviour, Minaret, Structural, Masonry.

---

### 1. Giriş

İnsanlık tarihinin başlangıcından günümüze kadar binlerce yıllık uygarlık tarihi içinde insanın doğrudan veya doğa ile birlikte yarattığı değerler, bugün "kültürel ve doğal miras" olarak adlandırılmaktadır. Bu değerlerin korunması, çağımızda insanlığın ortak sorunudur ve üzerinde önemle durulması gereken bir konudur [1].

Kültür mirasının korunması ve geleceğe güvenle devredilmesi 21. yüzyılın önemli mühendislik araştırma ve uygulama konularının başında gelmektedir. Bu önemli konu mühendislik, mimarlık, sanat tarihi ve arkeoloji gibi bilim alanlarıyla ortak bir paydada buluştuğundan, son yıllarda oldukça önem kazanan disiplinler arası çalışma gruplarının da ilgisini çekmektedir [2].

Tarihsel mirasımızın bir sonraki nesillere aktarılabilmesi adına tarihi yapılar ile ilgili çalışmalar günümüzde önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle minareler ile ilgili çalışmalarda bulunmaktadır [3-7].

---

\*Sorumlu yazar: [eisik@beu.edu.tr](mailto:eisik@beu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 17/04/2018 Kabul Tarihi: 29/05/2018

Ülkemizin tarihi dokusunun bozulmaması anlamında tarihi yapıların yeri çok önemlidir. Bu açıdan bu tür yapılara ait özelliklerin bilinmesi tarihi ve kültürel mirasın korunması açısından önemlidir. Tarihi ve kültürel varlıklarımızın korunması ve yaşatılması bağlamında tarihi yapıların (cami, köprü, kümbet, medrese vb.) özelliklerinin sistematik bir şekilde veri tabanına aktarılarak izlenmesi önem arz etmektedir [2].

Tarihi eserler, geçmiş ile geleceği kuvvetle bağlayan paha biçilemez kültür varlıklarımızdır. Aynı zamanda, tarihi yapılar toplumların mühendislik birikimleri, sanat anlayışları ve ekonomik durumlarının da bir göstergesidir. Van Gölü havzası tarihsel süreç içerisinde Hurri, Urartu, Med, Pers, Sasanî, Selçuklu ve Osmanlı medeniyeti gibi birçok medeniyete ev sahipliği yapmıştır. Havza çok eski bir yerleşim alanı olmasından dolayı birçok uygarlığın geride bıraktığı tarihi yapı ve kültürel değerleri günümüze kadar taşımıştır. Havzada çok eski dönemlerde inşa edilen, yenileme çalışmaları yapılarak halen kullanılmakta olan birçok tarihi yapı mevcuttur. Bu havzada yer alan ve birçok medeniyete beşiklik etmiş merkezlerden biri Ahlat İlçesidir [8].

Birçok medeniyete beşiklik eden Ahlat ilçesinde türlü medeniyetlere ait çok sayıda tarihi yapı bulunmaktadır. Tarihi yapıların asırlar boyunca ayakta durması bu yapıların yapımında kullanılan malzeme özellikleri, yapım teknolojileri ile doğrudan ilgilidir. Bu bağlamda bu tür yapıların yapısal analizleri önemli bir mühendislik faaliyetidir. Tarihi yapılar ile ilgili özelliklerin arşivlenmesi ve istenildiğinde bu bilgilere kolaylıkla ulaşılabilmesi yerel yönetimler, ilgili kamu kurum ve kuruluşları ile turizm açısından önem arz etmektedir. Yerli yada yabancı turistlerin uğrak yeri olarak tarihi eser ve ören yerlerinde rehber olmadan yapılan gezintiler tarihi yapılara erişim noktasında çok fazla yarar sağlamamaktadır. Bu tür yapılara ait bilgilerin elektronik bir ortama taşınması bu bağlamda önemli bir yere sahiptir.

Yapıların depreme karşı dayanıklılığının araştırılması, yapıların deprem güvenliğinin ve güvenliğine etki eden parametrelerin belirlenmesi ve incelenmesi son yıllarda önemini arttırmıştır. Bu nedenlerle, yapıların deprem davranışlarının ve güvenliklerinin belirlenmesi deprem mühendisliğinin en temel çalışma alanlarından biridir. Tecrübe edilen depremlerin neticeleri göz önünde bulundurulacak olursa, yapılarda ağır hasar ve yıkımların gelişmişlik düzeyine bağlı olarak oldukça fazla olduğu gözlemlenebilir. Ancak, bu hasar ve yıkımların oluşumunda pay sahibi olan parametrelerin ayırt edilmesi ve ayrı ayrı irdelenmesi önemlidir. Bu nedenle yapıların deprem etkileri altındaki davranışları incelenirken yapıların depreme karşı dayanıklılığına etki edecek faktörlerin bilinmesi ayrı bir önem kazanmaktadır.

Çalışmada Ahlat İlçesinde bulunan önemli tarihi camilerden biri olan Kadı Mahmut Cami'sine ait cami minaresi dikkate alınmıştır. Çalışmada öncelikle minarenin yapısal özellikleri ve tarihçesinden bahsedilmiştir. Sonraki aşamada bu minarede oluşan yapısal bozulma ve hasarlara değinilerek çözüm önerileri sunulmuştur. Kadı Mahmut Cami'sine ait yığma tarzda inşa edilen minare için sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapısal modelleme yapılmıştır. Oluşturulan model için farklı yükleme durumları için yazılım programında yer alan farklı eksenlerde oluşan gerilmeler hesaplanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Kadı Mahmut Camii, ilçe merkezinin güneyinde bulunan Kale mahallesinde yer almaktadır. Anadolu'daki tek Osmanlı kalesinin surları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1). Kale içinde, İskender Paşa camiiinin karşısındadır. Kitabesinde yer alan bilgilere göre H.922 (M.1584) tarihinde Kadı Mahmut tarafından yapıldığı görülmektedir. Vakıflar Genel Müdürlüğünce 1982-1983 yıllarında onarım ve restorasyonu yapılan camiinin, yapılışı sade olup, Osmanlı Mimari tarzı hakimdir [9]. 2007 yılında Vakıflar Genel Müdürlüğü tarafından onarılmıştır. Bütünüyle 17.48mx13.39m ebadında bir plan üzerine inşa edilmiştir. Sadece ibadet mekanı ise 13.39mx13.39m'lik bir kare alana sahiptir. Kuzey cephede duvarların uzantısı olan ante duvarları ile bu duvarlar arasına yerleştirilen iki sütun ile üç bölüme ayrılmış olan son cemaat yeri üç kubbeyle örtülmüştür. Anta duvarlarında bulunan pencere açıklıkları sağır nişler halinde bırakılmıştır. Doğu ve batı cephelerinde sivri kemer alınlıklı üçer penceresi bulunan caminin beden duvarları 4.34m kotunda taş silmeyle nihayetlenmekte ve meyilli bir saçak pahi ile daha içeriden sekiz kenarlı kasnak başlamaktadır. 8.04m kotunda ise kasnak silmeleri yer almaktadır. Kubbe kasnağının aralarda birer kenarı boş bırakılmak suretiyle dört kenarına sivri kemerli dört pencere açılmış bulunmaktadır [9].

Caminin ön tarafında bir şadırvan bulunmaktadır. Günümüzde hem aktif olarak kullanması hem de yakın zamanda onarım görmesi yapının tarihi dokusunu korumuştur. Caminin taşıyıcı sistem elemanlarında herhangi bir hasara rastlanmamıştır. Yöre halkının bilinçsizce camii etrafına adak ve isimlerin yazılması tahribata yol açmıştır. Özellikle camii civarında bulunan bahçelerin sulama işlemi gerçekleştirilirken fazla suyun bırakılması sonucu camii bahçesi tahribata uğramış olup cami temeli su etkisine maruz kalmıştır. Minareyi camiyi oluşturan Ahlat taşı volkanik bir faaliyeti sonucu oluştuğundan sertlik açısından yumuşak bir malzemedir. Bunun sonucu olarak, zaman içerisinde doğal sebeplerle tahribatlar olmaktadır. Camiyi meydana getiren taşlarda oynama görünmezken minareyi meydana getiren taşlarda yer değiştirmeler söz konusudur. Ayrıca, cami yakın zamanda onarım gördüğünden çok fazla yapısal hasar oluşmamıştır.



Şekil 1. Kadı Mahmut Camii

Cami ve minarenin yapımında kesme Ahlat taşı kullanılmıştır. Bitlis ili Ahlat ilçesinde önemli miktarda rezerve sahip, yöresel ismiyle Ahlat taşı olarak bilinen ignimbritler, geçmişte bölgede bulunan Nemrut kraterinin patlamasıyla oluşan volkanik lavların bölgeye yayılıp soğumasıyla meydana gelen proklastik kayalardır. Piroklastik bir kaya türü olan ignimbirit, hafif ve kolay işlenebilir olmasından dolayı sıklıkla tercih edilen yapıtaşlarından biridir. Çok eski zamanlardan beri özellikle Ahlat bölgesi Selçuklu mimarisinde yoğun bir şekilde kullanılan ignimbritler (Ahlattaşı), günümüzde de bölge insanı tarafından kullanılmaya devam etmektedir [10].

Çalışmada dikkate alınan yapı Kale mahallesinin güneyinde, Osmanlı Kalesi'nde dış surları içerisinde yer alan Kadı Mahmut camisinin minaresidir. Bu minarenin boyutları 2.75x2.75m olup kare temel üzerine kurulmuştur. Gövdesi silindirik bir şekle sahip olup gövde çapı 2m'dir. Minarenin toplam yüksekliği 25.10m'dir. Bu minareye ait görseller ve camiye ait kitabe Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Çalışmaya konu olan minare ve kitabesi

Minare, camilerde namaz zamanının geldiğini duyurmak için ezan okunan kule şeklinde inşa edilen yüksek ve ince yapılardır. Farklı malzemeler kullanılarak inşa edilme özelliklerine sahiptir. Tarihi süreçte yığma yapı olarak taş vd. malzemelerden inşa edilirken günümüzde beton, betonarme ve çelik malzemeler kullanarak da inşa edilmektedirler. Genel olarak minareler kürsü, pabuç, gövde, şerefe, petek, külâh ve alemden oluşmaktadır. Kadı Mahmut Camii'ne ait minarede alem bulunmamaktadır.

İçinde bulunan sarmal şeklindeki merdivenler kullanılarak şerefe kısmına çıkılabilmektedir. Şerefe sayıları değişiklik gösterebilmektedir. Şerefe minarenin gövde kısmından sonra gelen ezan okunan yer olarak bilinmektedir. İncelenen minareyi oluşturan kısımlar Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. İncelenen minareye ait kısımlar

Günümüzün modern mühendislik yapılarının hesap ve tasarımı için veri aktarımını kolaylaştıran, sonuçların entegre bir şekilde uygulama projelerine aktarılmasını sağlayan bir çok bilgisayar programı geliştirilmiştir. Ancak günümüze kadar varlığını sürdürmüş tarihi yapılar genellikle türbe, kümbet, camii, saray, köprü ve kale gibi kendi devirlerinin prestij yapıları olduğundan, taşıyıcı sistemlerinin şekil ve biçimleri günümüzün modern mühendislik yapılarından farklılık göstermektedir. Bu nedenle, tarihi yapıların yapısal çözümlemesi için en uygun hesap yöntemi sonlu elemanlar analizidir. Tarihi binaların sonlu elemanlar yöntemiyle hesabının en önemli aşaması sayısal modellemedir. Sayısal modelleme, farklı malzemelerden üretilmiş ve değişken kesit geometrisine sahip taşıyıcı sistem elemanlarının mekaniğin temel kurallarına göre doğru ve uyumlu bir şekilde matematiksel terimlere dönüştürülmesi olarak tanımlanabilir. Çalışmada öncelikle minarenin genel durumu ile ilgili yapısal analizler ile ilgili bilgiler verilecektir.

Sonlu elemanlar ile oluşturulan yapı modelleri, deneysel alternatife göre uygun maliyetli çözümler sağlayan analizler yapmaya çok elverişlidir. Ancak sonlu elemanlar yöntemlerinde malzeme için yapısal modellere ve yapının sürekliliğine bağlı olarak sonuçlar daha gerçekçi olarak elde edilmektedir. Yığma yapılarda sonlu eleman ile sayısal modelleme oldukça çok hesaplamalı bir işlemi gerektirmektedir [11].

Yığma yapılar için Türk Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) [12] ve literatürde önerilen değerler dikkate alınarak seçilen tüm yapılar için malzeme değerleri elde edilmiştir. Çalışmada dikkate alınan tüm yapılarda Ahlat Taşı kullanılan tek malzeme olarak kabul edilmiştir. Ahlat taşına ait Elastisite modülü (E) ve birim hacim ağırlık ( $\gamma$ ) değerleri tüm yapılarda tek bir değer olarak alınmıştır. Kullanılan malzemeye ait özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Yığma yapıların modelleme yöntemlerinden biri makro modellemedir. Bu modelleme yönteminde yığma yapıyı meydana getiren yapı elemanları ile harç arasında bir ayırım yapılmamaktadır. Yapı elemanı kompozit olarak kabul edilmektedir. Dolayısıyla yığma yapıyı meydana getiren yapı malzemesi ile harcın ortak özelliğini yansıtan eşdeğer bir malzeme modeli kullanılabilir [13]. Bu çalışmada da minare modeli oluşturulurken makro modelleme kullanılmıştır. Minarede kullanılan Ahlat taşı ve bunları birbirine bağlayan harç tek bir malzeme olarak kabul edilmiştir.

Tablo 1. Malzeme özellikleri

Malzeme cinsi	Elastisite Modülü (kN/m <sup>2</sup> )	Özgül Ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )	Birim Hacim Ağırlık (t/m <sup>3</sup> )	Poison Oranı
Ahlat Taşı	5000000	24	2.45	0.2





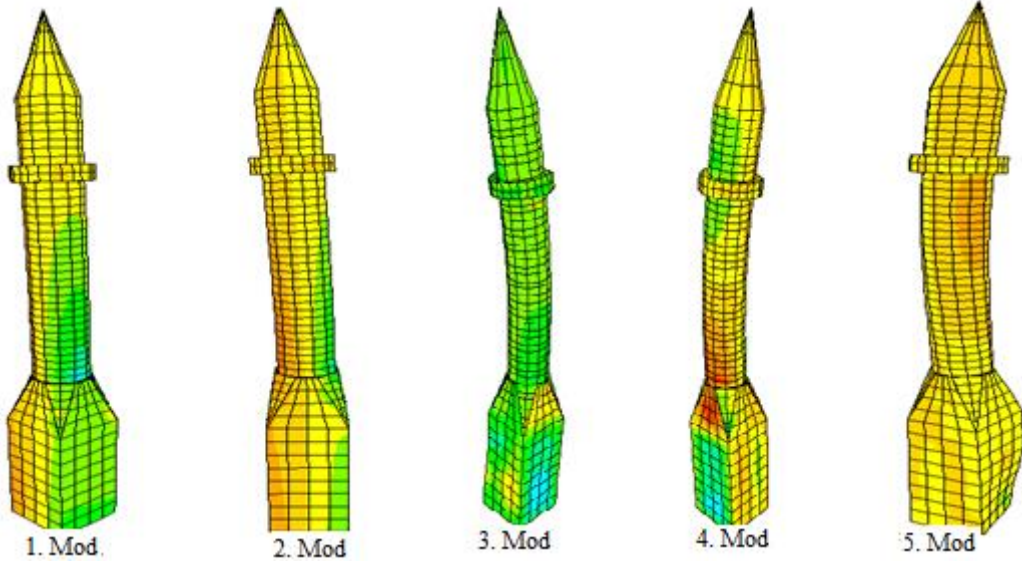
### 3. Bulgular ve Tartışma

Modal analiz yapının serbest titreşim periyotlarının, frekans değerlerinin, kütle katılım oranlarının ve mod şekillerin belirlenmesini sağlayan dinamik analiz yöntemidir [13]. Minarenin dinamik özelliklerinin belirlenmesi için öncelikli olarak modal analizleri yapılmıştır. Hazırlanan sonlu eleman modeli toplam 835 adet düğüm noktası ve 769 adet SHELL eleman ile oluşturulmuştur Modal analizler yapılarak çalışmaya konu olan minarenin dinamik özellikleri belirlenmiştir. Modal analizler gerçekleştirilirken yapıda oluşan ilk 18 mod dikkate alınmıştır. Oluşturulan modelde X ve Y doğrultularına kütle katılım oranlarının %80'in üzerinde olan modlar dikkate alınmıştır. Dolayısıyla daha fazla mod alınmasının fazla bir etkisi olmadığı görülmüştür. Modelin modal analiz sonuçlarına göre etkin modları, doğal titreşim periyotları ile kütle katılım oranları Tablo 2'de gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Minare modelinin etkin kütle katılım oranları ile beraber modal analiz sonuçları

Mod	Periyot	U <sub>x</sub>	U <sub>y</sub>	ΣU <sub>x</sub>	ΣU <sub>y</sub>	ΣU <sub>z</sub>	R <sub>x</sub>	R <sub>y</sub>	ΣR <sub>x</sub>	ΣR <sub>y</sub>	ΣR <sub>z</sub>
1	0.639285	0.47344	0.0296	0.47344	0.0296	0	0.04705	0.75358	0.04705	0.75358	0
2	0.626364	0.02976	0.47705	0.50319	0.50665	0	0.74962	0.04683	0.79667	0.80041	0
3	0.147086	0.01907	0.27321	0.52227	0.77986	0	0.02386	0.00168	0.82052	0.80209	0.02072
4	0.137687	0.22991	0.01606	0.75218	0.79592	0.00059	0.00094	0.0136	0.82146	0.81569	0.02072
5	0.088074	0	0.00061	0.75224	0.79653	0.00059	0.005	0.00036	0.82647	0.81605	0.55437
6	0.067064	0.0052	0.07376	0.75744	0.87029	0.00077	0.0366	0.00257	0.86307	0.81862	0.58971
7	0.062404	0.0752	0.0049	0.83263	0.87519	0.0747	0.00171	0.02674	0.86478	0.84536	0.58971
8	0.060164	0.01211	0.00119	0.84475	0.87638	0.7295	0.00036	0.00312	0.86514	0.84849	0.58972
9	0.043065	0.00022	0.0021	0.84497	0.87848	0.7295	0.01107	0.00085	0.87621	0.84934	0.659
10	0.035621	0.05063	0.0035	0.89559	0.88198	0.72958	0.00304	0.04364	0.87925	0.89298	0.65902
11	0.034636	0.00199	0.03235	0.89758	0.91434	0.72958	0.02661	0.00173	0.90586	0.89472	0.81925
12	0.031487	0	0	0.89758	0.91434	0.72959	0	0	0.90587	0.89473	0.81971
13	0.030279	0	0.00158	0.89766	0.91592	0.72959	0.00083	0	0.9067	0.89478	0.86149
14	0.027043	0.00151	0.02063	0.89917	0.93655	0.7296	0.01942	0.00146	0.92612	0.89624	0.86706
15	0.025426	0.02912	0.0024	0.92829	0.93896	0.73008	0.00197	0.02358	0.92809	0.91981	0.86707
16	0.023902	0.00382	0	0.93211	0.93903	0.73147	0	0.00242	0.92813	0.92223	0.86707
17	0.021673	0.00013	0.00007	0.93225	0.93904	0.88274	0	0.00022	0.92815	0.92245	0.86707
18	0.021285	0	0.00017	0.93226	0.93921	0.88284	0.00118	0	0.92932	0.92254	0.88002

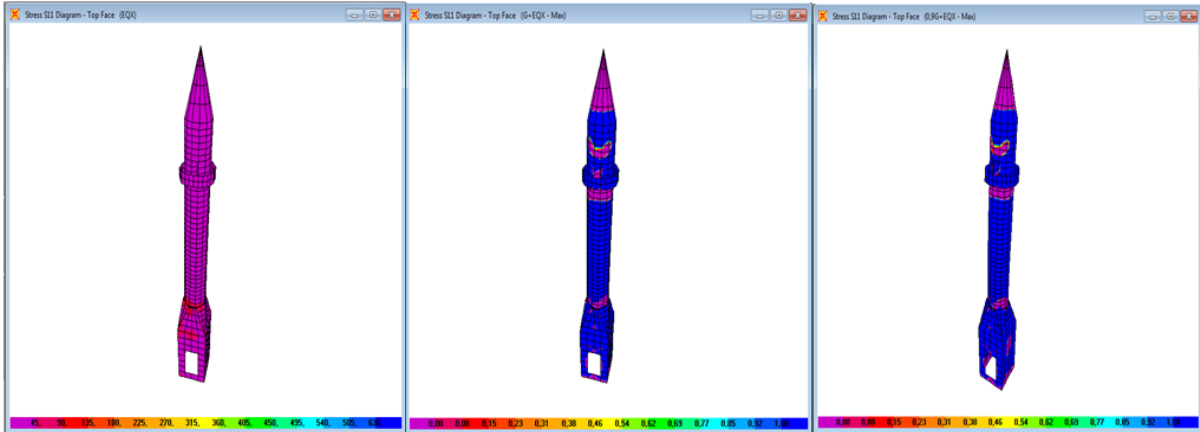
Kadı Mahmut Cami minaresinin yazılım programında analiz gerçekleştirilirken elde edilen mod şekilleri de Şekil 7'de gösterilmiştir. Burulmanın gerçekleştiği ilk 5. mod dikkate alınmıştır.



Şekil 7. Minare modeli için elde edilen mod şekilleri ve periyot değerleri

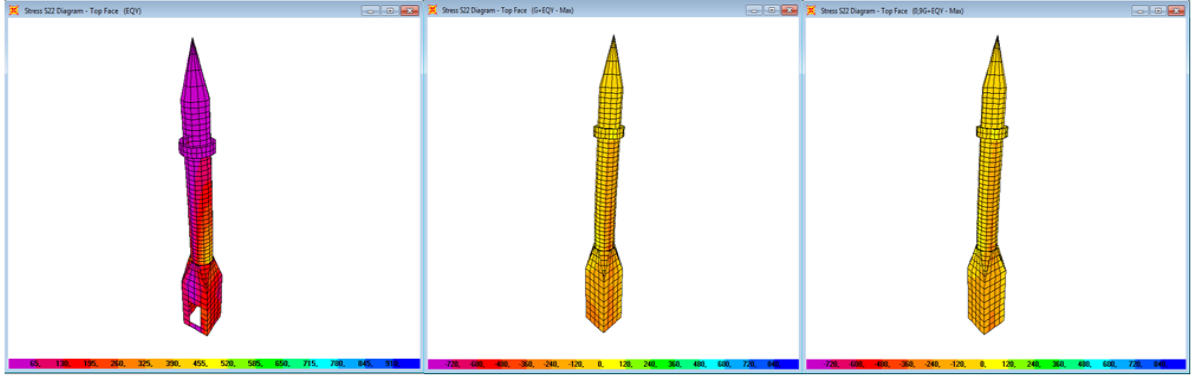
Gerilme hesaplamaları için sabit, hareketli ve deprem yükleri dikkate alınmıştır. Sabit yük hesaplaması malzeme özelliklerine göre yazılım programı tarafından yapılmıştır. Minare için herhangi bir hareketli yük değeri bulunmadığından bu değer sıfır olarak alınmıştır. Deprem yükleri için tanımlanan spektrumdan faydalanılmıştır. Deprem yükü için  $EQ_x$  ve  $EQ_y$  olmak üzere iki doğrultuda yük tanımlaması yapılmıştır. Bu değerler kullanılarak farklı yük kombinasyonları için hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Yazılım programında yer alan X doğrultusundaki düşey gerilme değerleri olan S11 için farklı yükleme durumlarına göre elde edilen gerilme diyagramları Şekil 8’de gösterilmiştir.



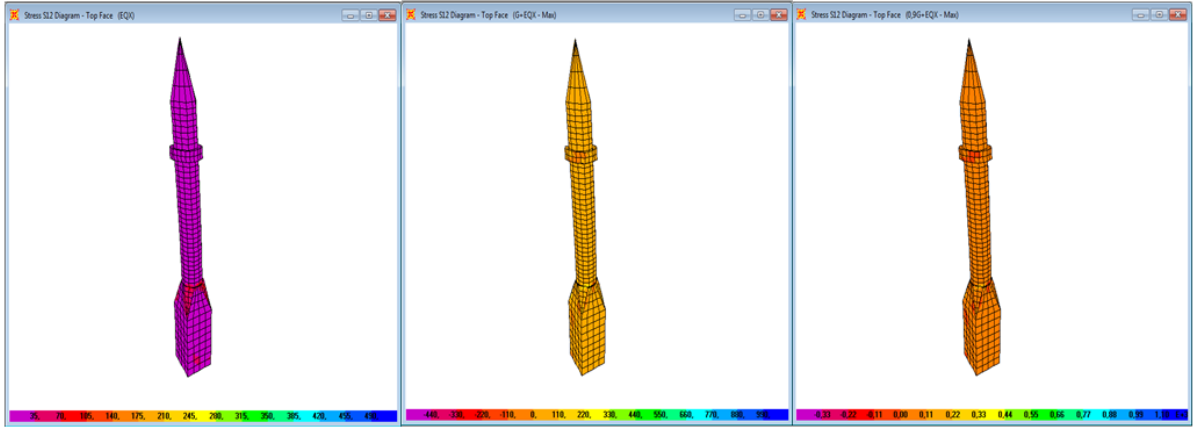
Şekil 8. Farklı yüklemelerden oluşan S11 gerilme değerleri

Yazılım programında yer alan Y doğrultusundaki düşey gerilme değerleri olan S22 için farklı yükleme durumlarına göre elde edilen gerilme diyagramları Şekil 9’da gösterilmiştir.



Şekil 9. Farklı yüklemelerden oluşan S22 gerilme değerleri

Yazılım programında yer alan X-Y doğrultusundaki kayma gerilme değerleri olan S12 için farklı yüklenme durumlarına göre elde edilen gerilme diyagramları Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. Farklı yüklemelerden dolayı oluşan S12 gerilme değerleri

Analiz sonuçlarından elde edilen maksimum çekme gerilme değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Deprem etkisi altında görülen maksimum çekme gerilmeleri

Yükleme türü	S11 (MPa)	S22(MPa)
G+QE <sub>x</sub>	0.986	0.630
G+QE <sub>y</sub>	1.216	0.793
0.9G+ QE <sub>x</sub>	0.915	0.584
0.9G+ QE <sub>y</sub>	1.146	0.747
G+ QE <sub>x</sub> + 0.3 QE <sub>y</sub>	1.075	0.685
G+ 0.3QE <sub>x</sub> +QE <sub>y</sub>	1.232	0.799

Analiz sonuçlarından elde edilen maksimum basınç gerilme değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 4.** Deprem etkisi altında görülen maksimum basınç gerilmeleri

Yükleme türü	S11 (MPa)	S22(MPa)
G+QE <sub>x</sub>	1.714	1.777
G+QE <sub>y</sub>	2.837	1.915
0.9G+ QE <sub>x</sub>	1.557	1.684
0.9G+ QE <sub>y</sub>	2.680	1.815
G+ QE <sub>x</sub> + 0.3 QE <sub>y</sub>	1.937	1.710
G+ 0.3QE <sub>x</sub> +QE <sub>y</sub>	2.723	1.847

Analiz sonuçlarından elde edilen maksimum kayma gerilme değerleri Tablo 5’de verilmiştir.

**Tablo 5.** Deprem etkisi altında görülen maksimum kayma gerilmeleri

Yükleme türü	S12 (MPa)
G+QE <sub>x</sub>	1.002
G+QE <sub>y</sub>	1.339
0.9G+ QE <sub>x</sub>	0.926
0.9G+ QE <sub>y</sub>	1.263
G+ QE <sub>x</sub> + 0.3 QE <sub>y</sub>	1.102
G+ 0.3QE <sub>x</sub> +QE <sub>y</sub>	1.338

Ahlat taşı için basınç dayanımı belirlenirken Şimşek ve Erdal (2004) [16] tarafından yapılan çalışmada farklı durumlardaki farklı renkteki Ahlat taşı için elde edilen basınç dayanımlarının ortalaması alınmıştır. Bu değer 11.16MPa olarak hesaplanmıştır. Yığma tarzda inşa edilen taş duvarlar için güvenlik kayma gerilmesi Denklem (1) ile hesaplanabilmektedir. Burada  $\sigma$  malzemenin basınç dayanımını göstermektedir. Yukarıda 11.16 MPa olarak hesaplanan basınç dayanımı değeri, Denklem (1)’de yerine konarak güvenli kayma gerilmesi değeri 5.68MPa olarak hesaplanmıştır.

$$\tau_{em} = 0.10 + 0.5\sigma \quad (\text{MPa}) \quad (1)$$

Minare duvarında kullanılan Ahlat taşı, Nemrut volkanizmasının ürünü olduğundan, püskürük taşlar sınıfında değerlendirilmiştir. Püskürük taşlar için eğilmede minimum çekme dayanımı 8MPa olarak alınabilmektedir [17].

Analizlerden elde edilen maksimum basınç, kayma ve çekme gerilmelerinin, Ahlat taşının basınç, kayma ve çekme dayanımları olan, sırasıyla, 11.16, 5.68 ve 8 MPa değerlerinden küçük olması, bu gerilmelerin yapı tarafından güvenli bir şekilde karşılandığını göstermektedir. Bu sonuç da, yapının süreç içerisinde ayakta kalması ile uyum göstermektedir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Zaman içerisinde doğal koşullar altında yapıyı meydana getiren taşlarda kütle kayıpları, aşınma ve kopmalar meydana gelmiştir. Ayrıca zaman içerisinde bu taşlarda liken oluşumları taşlara ayrıca zarar vermiştir. Yer yer su etkilerinden dolayı bazı kısımlarda rutubet etkileri oluşmuştur. Meydana gelen bu

zararları düzeltebilmek ve yapının bundan sonraki süreçte fazla zarar görmemesi ve korunması ile ilgili çalışmalar yetkili kurumlar tarafından devam etmektedir.

Bu çalışmada Ahlat ilçesinde yer alan ve yığma bir şekilde inşa edilen Kadı Mahmut Cami'sine ait minarenin deprem davranışının belirlenmesi ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. Ayrık olarak inşa edilen minare için katı elemanlar kullanılarak sonlu eleman modeli geliştirilmiştir. Oluşturulan sonlu eleman modeli için yazılım programında yer alan S11, S22 ve S12 gerilmeleri hesaplanmıştır. Ayrıca minareye ait mod şekilleri ve periyot değerleri elde edilmiştir. Çalışmaya konu olan ve yığma tarzda inşa edilen minare hakkında bilgiler verilmiştir. Yerinde yapılan incelemeler sonucu oluşan tahribatlar ve hasarlar hakkında bilgiler verilmiştir.

Kadı Mahmut Cami'sine ait minare için kullanılan farklı yük kombinasyonları dikkate alındığında en büyük basınç gerilme değerinin 2.723MPa; en büyük kayma gerilmesi 1.339MPa ve en büyük çekme gerilmesinin 1.232MPa olduğu belirlenmiştir. Minarede oluşan en büyük gerilmeler minaredeki geçiş bölgeleri olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu değerlerin yapı tarafından karşılanabileceği sonucu ortaya çıkmaktadır. Minare için birinci mod hareketinde kaideye göre gövde ve petek elemanlarının etkisi daha büyüktür. Hasarın oluşabileceği riskli yerler minareyi meydana getiren bölümler arası birleşim elemanları olacaktır. Bu noktalarda en kesit değişmektedir. Kaide elemanın daha rijit bir yapıya sahip olması bu noktada hasarın daha az olmasına sebep olmaktadır. Dolayısıyla öncelikle hasarın bekleneceği yerler geçiş bölgeleri olacaktır.

Ahlat taşının dayanımının düşük olması ve yumuşak süngersi özelliği nedeniyle aşınma ile tahribatın fazla olması, bu durumu ısı farklılıkları donun nemli ortamların etkilediği, parçalanmalara kopmalara yol açtığı bilinmektedir. Özellikle soğuk dönemlerde çevrimsel olarak etkili olan donma-çözülme, yöredeki yapı taşlarının bozulmasındaki en önemli etkenlerden bir tanesidir. Bu da minare için bir risk oluşturmaktadır. Dolayısıyla minarenin ana ögesi olan Ahlat taşının doğal süreçten dolayı zaman içerisinde özellik kaybı ve tahribatları yapının taşıyıcılık özelliğini etkileyebilecektir.

Minare zaman içerisinde ilgili kamu kurum ve kuruluşları tarafından izlenerek gerekli işlemlerin yapılması sonucu özgünlüğünü korumuştur. Bu işlemlerin süreklilik arz etmesi yapı için önemlidir.

Tarihi yapılar yapım sürecinde herhangi bir mühendislik hizmeti almamalarına rağmen günümüzdeki yapılara nispet yapar gibi ayakta durmaktadırlar. Zaman içerisinde oluşan hasarlara zamanında ve özgünlüğünü koruyacak şekilde yapılacak müdahaleler tarihsel mirasımızın bir sonraki nesillere aktarılması adına önemlidir. Bu eserler geçmiş ile geleceği birbirine bağlayan en önemli unsurlardır. Tarihi yapılara yapılacak müdahalelerde yapı ile ilgili tüm özelliklerin eksiksiz ve tam olarak bilinmesi yapılacak müdahalelere anlam katacaktır.

## **Teşekkür**

Bu çalışma ikinci yazarın devam eden yüksek lisans tezinin bir bölümünden türetilmiştir.

## **Kaynaklar**

1. Aköz F. Yüzer N. 2009. Tarihi Yapılarda Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesinde Uygulanan Yöntemler, IMO- 1, İnşaat Mühendisliği Eğitimi Sempozyumu, Turkey.
2. Işık M.F., Işık E., Bülbül M.A., Karaşin İ.B. 2017. QR Code Application for Geometric Location and Information of Historical Structures, In International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET 2017), Turkey.
3. Erdil B., Tapan M., Akkaya İ., Korkut F. 2018. Effects of Structural Parameters on Seismic Behaviour of Historical Masonry Minaret, Periodica Polytechnica-Civil Engineering, 62 (1): 148-161.
4. Uğurlu M.A., Günaslan S.E., Karaşin AH. 2017. Modelling and Structural Analysis of the Four-legged Minaret, DUMF Journal of Engineering, 8 (2): 413-421.
5. Çaktı E., Saygılı Ö., Görk S., Zengin E., Oliveira C.S., Lemos J.V. 2013. Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii Minaresinin Deprem Davranışı, Vakıf Restorasyon Yıllığı, 6: 34-40.

6. Doğanğün A., Sezen H., Tuluk Ö.İ., Livaoğlu R. Acar R. 2007. Traditional Turkish Masonry Monumental Structures and Their Earthquake Response, *International Journal of Architectural Heritage*, 1 (3): 251-271.
7. Muvafik M. 2014. Field Investigation and Seismic Analysis of a Historical Brick Masonry Minaret Damaged During the Van Earthquakes in 2011, *Earthquakes and Structures*, 6 (5): 457-472.
8. Işık E., Aydın M.C. Ülker M. 2016. Performance Evaluation of a Historical Tomb and Seismicity of the Region. Bitlis Eren University, *Journal of Science and Technology*, 6 (2): 59-65.
9. Kültür Portalı. 2017. <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/bitlis/kulturenvanteri/kadi-mahmut-cam> (Erişim tarihi: 15.09.2017).
10. Bakış A., Işık E., Hattatoğlu F., Akıllı A. 2014. Jeolojik Miras Nitelikli Ahlat Taşının İnşaat Sektöründe Kullanımı, III.Uluslararası Ahlat-Avrasya Bilim. Kültür ve Sanat Sempozyumu, Bitlis.
11. Giordano A., Mele E., De Luca A. 2002. Modelling of Historical Masonry Structures: Comparison of Different Approaches Through a Case Study, *Engineering Structures*, 24 (8): 1057-1069.
12. Turkish Earthquake Code (TEC). 2007. Turkish Earthquake Code-Specification for Structures to be Built in Disaster Areas, Turkey.
13. Mutlu Ö., Şahin A. 2016. Investigating the Effect of Modeling Approaches on Earthquake Behavior of Historical Masonry Minarets-Bursa Grand Mosque Case Study, *Sigma*, 7 (2): 123-136.
14. Dabanlı Ö. 2008. Tarihi Yığma Yapıların Deprem Performansının Belirlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
15. SAP 2000 V14.0.0 Software. Structural Analysis Program.
16. Şimşek O., Erdal M. 2004. Investigation of Some Mechanical and Physical Properties of the Ahlat Stone (Ignimbrite), *Gazi University Journal of Science*, 17 (4): 71-78.
17. Kuruşcu A.O. 2012. Yığma Duvar ve Temellerde Doğrusal Olmayan Modelleme. YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.

*Araştırma Makalesi / Research Article*

## **NaCl-NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>-Zn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O Dörtlü Sisteminin 333.15K'de Katı-Sıvı Faz Dengelerinin İncelenmesi**

Sevilay DEMİRCİ<sup>1\*</sup>, Vedat ADIGÜZEL<sup>1</sup>, Ömer ŞAHİN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kafkas Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Kars

<sup>2</sup>Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Siirt

### **Öz**

Katı-sıvı faz dengeleri yardımıyla ayrılmak istenilen kimyasal, hiçbir reaksiyon ve katkı olmadan sadece çözünürlüğün bileşimle değişimiyle kolayca elde edilebilir. NaCl-NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>-Zn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O dörtlü sisteminin katı-sıvı faz dengeleri 333.15K'de izotermal çözünürlük metoduna göre yapılmıştır. Bu tuzların doymuş çözeltideki çözünürlük verileri tespit edilmiştir. Bu dörtlü sistemin NaCl, NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O ve Zn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O'den oluşan üç kristallenme alanlı, tek ötonik noktalı basit ötonik tipli olduğu bulunmuştur. Çalışılan bu dörtlü sistemin ötonik noktasının bileşimi %6.79 Zn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, % 43.13 NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>,%6.71 NaCl ve %43.37 H<sub>2</sub>O olarak tespit edilmiştir. Ayrıca ötonik noktanın 100 mol tuz bileşimi 5.44 mol Zn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, 76.62 mol NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub> ve 17.94 mol NaCl olarak hesaplanmıştır. Zn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>'in kristallenme alanı en geniştir, aynı zamanda çözünürlüğü en düşük olandır ve kristalizasyonla kolayca ayrılabilir.

**Anahtar kelimeler:** Katı Sıvı Faz Dengeleri, Sodyumhipofosfit, Çinkohipofosfit, Dörtlü Sistem.

## **Measurement of Solid Liquid Phase Equilibria For The Quaternary System NaCl-NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>- Zn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O at 333.15K**

### **Abstract**

With the aid of solids-liquid phase equilibria, the desired chemical can be obtained simply by changing the solubility of the compound without any reaction or addition. Solid-liquid phase equilibria in the NaCl-NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>-Zn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O quaternary system at 333.15K were measured by isothermal solution saturation method. The solubilities of this salts in the saturated solution were determined. This quaternary system belongs to simple invariant type, which consist one invariant point and three crystallization area corresponding to NaCl, NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O and Zn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O. Invariant point composition of this quaternary system were found as %6.79 Zn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, % 43.13 NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>,%6.71 NaCl ve %43.37 H<sub>2</sub>O. Furthermore, the 100 mole salt composition of the invariant point was calculated as 5.44 mole Zn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, 76.62 mole NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub> and 17.94 mole NaCl. The area of crystallization region of Zn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O is the largest, which indicates that the solubility of Zn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> in this quaternary system is the lowest and more easily to separate by crystallization.

**Keywords:** Solid-liquid Equilibria, Natrium Hypophosphite, Zinc Hypophosphite, Quaternary System.

### **1. Giriş**

Faz diyagramları tuz endüstrisinde, yeşil kimya uygulamalarında geri dönüşüm ve atık bertaraf sistemlerinde atıkların geri kazanımında, laboratuarda ise değerli kimyasalların daha az reaksiyon basamağına sahip ve ekonomik sentezinde geniş kullanım alanına sahip bir yöntemdir [1-3]. Faz diyagramlarının ilk olarak W. Gibbs tarafından ortaya atılan grafik ve hesap yöntemlerine dayalı denge şartlarının belirlenmesi ve uygulanmasında kullanılmaya başlanmıştır [1]. Faz diyagramları tuz endüstrisinde, kurulan üçlü sistemlerle silvinitten ve karnalitten KCl üretiminde, NaNO<sub>3</sub>-NaSO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O üçlü sistemi yardımıyla NaNO<sub>3</sub> üretiminde, çeşitli üçlü sistemler kullanılarak solvay yöntemiyle soda üretiminde ve yine sodyum boratların üretiminde yaygın olarak kullanılan bir üretim yöntemidir [1,4].

\*Sorumlu yazar: [incesevilay@gmail.com](mailto:incesevilay@gmail.com)

Geliş Tarihi: 12/04/2018 Kabul Tarihi: 05/06/2018



Günümüzde fizikokimyasal analiz yöntemi kullanılarak karasularında araştırma yapan özel enstitüler bile kurulmuştur Çin’de bulunan Qinghai Institute Of Salt Lakes Chinese Academy Of Science örnek olarak verilebilir [5].

Bilindiği gibi anorganik kimyada bazı elementlerin bazı kimyasal bileşiklerinin elde edilişi çok basamaktır ve bundan dolayı da pahalı olduklarından kullanım alanları pek gelişmemiştir. Hipofosfitler de böyle bileşiklerdendir. Suda hidroksitleri çözünmeyen bileşiklerden hipofosfit tuzlarının eldesi çok basamaklı olduğundan hem pahalı hem de zordur. Fizikokimyasal özellikler kullanılarak bahsi geçen hipofosfit tuzlarının eldesi daha kolay ve ekonomiktir [6,7]. Genel olarak hipofosfit tuzları indirgen olarak kimyasal reaksiyonlarda, yangın söndürmede, mekanik ve elektriksel uygulamalarda, elektrokimyada, korozyon önlemede, hayvan besin takviyesinde, adsorbsiyon uygulamalarında, ilaç sanayide, toprak iyileştirmede yaygın olarak kullanılmaktadır [8-15].

Erge ve arkadaşları fizikokimyasal analiz yöntemiyle hipofosfit ve klor iyonlarını içeren baryum ve sodyum tuzlarına ait 273.15K’de üçlü ve dördü sistemlerin faz dengelerini araştırmışlardır [16].

273.15K’de yapılan başka bir çalışmada Adıgüzel ve arkadaşları  $\text{NaH}_2\text{PO}_2$ ,  $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$ ,  $\text{ZnCl}_2$  ve  $\text{NaCl}$  tuzlarına ait üçlü ve dördü sistemleri incelemişlerdir [17].

Tan ve çalışma grubu  $\text{Ca}$ ,  $\text{Na/Cl}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_2//\text{H}_2\text{O}$  dördü sistemini ve alt sistemlerini 298.15K’de çalışmışlardır [18].

2016 yılında ise hipofosfitlerle ilgili Cao ve arkadaşları 323.15K’de kalsiyum ve sodyum hipofosfitlere ait [10], Gao ve diğerleri magnezyum ve sodyum hipofosfitlere ait [12] ve çalışma grubumuz çinko ve sodyum hipofosfitlere ait üçlü sistemleri [19] araştırmışlardır.

$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 + \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$  ve  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 + \text{NaH}_2\text{PO}_2 + \text{H}_2\text{O}$  sistemleri 273.15K’de araştırılıp faz dengeleri oluşturulmuştur [11].

$\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 + \text{NaH}_2\text{PO}_2 + \text{H}_2\text{O}$  ve  $\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 + \text{MgCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$  üçlü sistemlerinin 323.15K’de çözünürlük değişimleri çalışılmıştır [13].

## 2. Materyal ve Metot

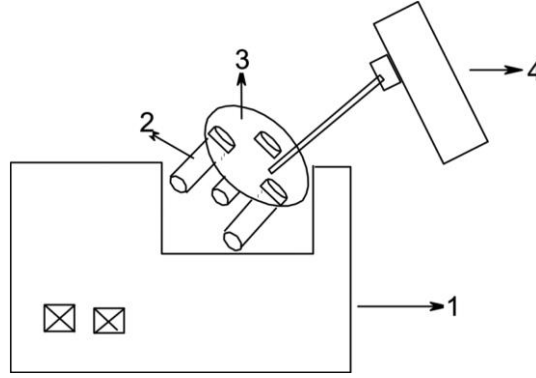
Bu çalışmada stabil sıcaklık sağlamak için Polyscience marka (accuracy:±0.05 K) ısıtmalı soğutmalı sirkülatör, titrasyon deneyleri için 50 mL’lik Hirschmann Solarus marka (accuracy: 0.2%) otomatik büret kullanılmıştır. Ayrıca deneylerde kullanılan kimyasal maddelerin kaynağı ve saflık dereceleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Deneyler kullanılan kimyasalların kaynağı ve saflığı

Kullanılan Kimyasal	Kaynağı	Saflığı
NaCl	Merck	0.99
$\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Merck	0.99
$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Merck	0.98
HCl	Riedel-de Haen	0.37
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	Merck	0.98
$\text{K}_2\text{CrO}_4$	Merck	0.98
$\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Riedel-de Haen	0.98

Yapılan çalışmada ikili, üçlü ve dördü sistemlerin ihtiva ettikleri tuzların bileşimlerinin değişmediği denge hali olan ötonik noktaların tespiti amaçlanmaktadır.

NaCl-NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O, NaCl-Zn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O, Zn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>-NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O üçlü sistemlerinin ötonik nokta bileşimlerine göre hesaplanan çözeltiler 333,15 K'de izole tüplere yerleştirildi ve artan miktarlarda sırasıyla Zn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub> ve NaCl tuzları tüplere ilave edildi. Bütün tüpler 333,15 K'de stabil hale getirilmiş ısıtmalı soğutmalı sirkülatöre yerleştirilip bir gün süreyle karıştırıldı. Faz ayrımı net olarak görülünceye kadar bekletildi. Daha sonra bütün tüplerden sıvı ve katı faz numuneleri alınarak tuz bileşimleri analitik titrasyon yöntemleriyle incelendi. Aynı işlemler bütün tüplerde her üç tuzun doygun çözelti bileşimine ait ötonik noktaya kadar devam edildi (Şekil 1).



Şekil 1. Deney düzeneği (1:sirkülatör, 2:izole deney tüpü, 3: disk, 4: mekanik karıştırıcı)

Elde edilen titrasyon deney verilerine göre oluşturulan % tuz bileşimleri, her tuza ait molekül ağırlığına bölünerek mol sayıları tespit edilmiştir. Toplam mol sayısı 100 mol tuz kabul edilerek, 100 mol tuz bileşimine denk gelen mol sayıları hesaplandıktan sonra grafik çizilerek yorumlanmıştır.

Katı ve sıvı fazın tuz bileşimleri, Zn<sup>+2</sup>, Cl<sup>-</sup> ve H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub><sup>-</sup> iyonu analizlerine göre incelenip hesaplanmıştır.

Cl iyonu miktarı Mohr yöntemiyle tespit edilmiştir [20].

H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub> iyonu miktarı ise asidik ortamda CuCl<sub>2</sub> varlığında 0,025 M ferroin çözeltisi indikatör olarak ilave edilerek 0,1N K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> çözeltisi ile titre edilerek tespit edilmiştir [21].

Zn iyonu miktarı ise EDTA ile kompleksometrik olarak tespit edilmiştir [20].

Na iyon konsantrasyonu ise toplam tuz bileşimine göre hesaplanmıştır.

Katı fazın kimyasal bileşimi Şreynemahers'in "kalıntı" yöntemine göre hesaplanmıştır [21].

### 3. Bulgular ve Tartışma

DeneySEL verilere göre hesaplanmıştır;

- NaCl- NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>- H<sub>2</sub>O üçlü sisteminin ötonik noktasına ait bileşim olan % 47.94 NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>, % 6.54 NaCl ve %45.52 H<sub>2</sub>O, üzerine artan miktarda üçüncü tuz olan Zn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> eklenerek,
- NaCl- Zn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O üçlü sisteminin ötonik noktasına ait bileşim olan % 42.6 Zn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, % 23.34 NaCl ve % 34.06 H<sub>2</sub>O, [22] üzerine artan miktarda üçüncü tuz olan NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub> eklenerek,
- Zn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>- NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>- H<sub>2</sub>O üçlü sisteminin ötonik noktasına ait bileşim olan % 37.94 NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>, % 7.05 Zn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> ve % 55.01 H<sub>2</sub>O, [23] üzerine artan miktarda üçüncü tuz olan NaCl eklenerek,

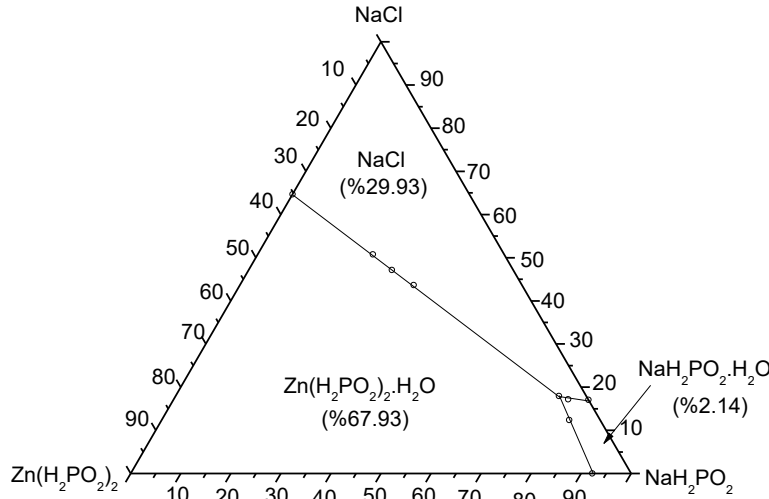
Her üç tuzun birlikte en çok çözünürlüğü olan ötonik nokta bileşimi % 6.79 Zn(H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, % 43.13 NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>, % 6.71 NaCl ve % 43.37 H<sub>2</sub>O olarak bulundu (Tablo 2).

Toplamda 11 test noktası çalışılmış, 3., 8. ve 11. noktalarda ötonik noktaya varılmıştır. Sistemin katı fazında NaCl ve  $\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  ve  $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  tuzlarının varlığı tespit edilmiştir. (Şekil 2, Tablo 2)

**Tablo 2:** NaCl- $\text{NaH}_2\text{PO}_2$ -  $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$ - $\text{H}_2\text{O}$  dörtlü sisteminin 333.15K'de çözünürlük değerleri

No	Sıvı Faz (% kütle)				100 mol Tuz Bileşimi			Katı Faz Kimyasal Bileşimi
	$\text{NaH}_2\text{PO}_2$	NaCl	$\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$	$\text{H}_2\text{O}$	$\text{NaH}_2\text{PO}_2$	NaCl	$\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$	
1	47.94	6.54	0	45.52	82.96	17.04	0	$\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$
2	44.84	6.30	5.09	43.77	78.82	17.20	3.98	$\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$
<b>3E*</b>	<b>43.13</b>	<b>6.71</b>	<b>6.79</b>	<b>43.37</b>	<b>76.62</b>	<b>17.94</b>	<b>5.44</b>	$\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{NaCl} + \text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
4	0	23.34	42.6	34.06	0	64.68	35.32	$\text{NaCl} + \text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
5	13.88	17.95	25.03	43.14	23.01	50.76	26.23	$\text{NaCl} + \text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
6	14.42	15.77	27.13	42.68	28.62	47.12	24.26	$\text{NaCl} + \text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
7	20.20	16.7	24.47	38.63	34.73	43.66	21.61	$\text{NaCl} + \text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
<b>8E*</b>	<b>43.13</b>	<b>6.71</b>	<b>6.79</b>	<b>43.37</b>	<b>76.62</b>	<b>17.94</b>	<b>5.44</b>	$\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{NaCl} + \text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
9	37.94	0	7.05	55.01	92.28	0	7.72	$\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
10	40.6	4.1	6.85	48.45	81.43	12.38	6.19	$\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
<b>11E*</b>	<b>43.13</b>	<b>6.71</b>	<b>6.79</b>	<b>43.37</b>	<b>76.62</b>	<b>17.94</b>	<b>5.44</b>	$\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{NaCl} + \text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

\*E: Ötonik nokta



**Şekil 2.** NaCl- $\text{NaH}_2\text{PO}_2$ -  $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$ - $\text{H}_2\text{O}$  dörtlü sisteminin 333.15K'de faz dengeleri ve çökelme alanları

#### 4. Sonuç ve Öneriler

333.15K'de yapılan NaCl- $\text{NaH}_2\text{PO}_2$ - $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$ - $\text{H}_2\text{O}$  sisteminin faz dengeleri izotermal çözünürlük metoduna göre araştırılmıştır. Her üç tuzun birlikte en çok çözüldüğü ötonik nokta değerleri tespit edilmiştir. Buna göre ötonik noktanın kütlece bileşimleri %43.13  $\text{NaH}_2\text{PO}_2$ , %6.71 NaCl, %6.79  $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$  ve % 43.37  $\text{H}_2\text{O}$  olarak tespit edilmiştir. Bu bileşimin katı fazında NaCl,  $\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  ve  $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  tuzları bulunmuştur. Katı fazda herhangi bir ikili tuza rastlanmamıştır. Şekil 2'de görüldüğü gibi en çok kristallenme alanına sahip olan aynı zamanda en az çözünen,  $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$  tuzudur. En az kristallenme alanına sahip ve aynı zamanda en çok çözünen,  $\text{NaH}_2\text{PO}_2$  tuzudur. Şekil 2'deki kristallenme alanları hesaplandığında toplam alanının %67.93'ünü  $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$ , %29.93'ünü NaCl ve %2.14'ünü  $\text{NaH}_2\text{PO}_2$  oluşturmaktadır. Dörtlü sistemlerin çözünürlük verilerine bakıldığında  $\text{NaH}_2\text{PO}_2$  çözünürlüğünün üçüncü tuz olan  $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$  eklenmesiyle azaldığı, NaCl eklenmesiyle ise arttığı gözlemlenmiştir. NaCl tuzunun çözünürlüğünün ise dörtlü sistemde  $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$  eklenmesiyle hemen hemen değişmediği,  $\text{NaH}_2\text{PO}_2$  eklenmesiyle azaldığı tespit edilmiştir. Son olarak  $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$

çözünürlüğü ortama  $\text{NaH}_2\text{PO}_2$  ilavesiyle ters orantılı olarak azaldığı,  $\text{NaCl}$  ilavesiyle ise arttığı sonucuna varılmıştır.

Bu üç tuzu ihtiva eden sulu bir çözeltiden, ortama ekonomik ve kolay temin edilebilen bir tuz olan  $\text{NaCl}$  ilavesiyle  $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$  ayrılması sağlanabilir.

Fizikokimyasal analiz yöntemi; sentezi zor olan kimyasalların eldesi, çevresel geri dönüşüm ve cevher hazırlama alanlarında hem ekonomik hem de basit proselerle geniş bir kullanım imkânı sunmaktadır.

## Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafında 114Z651 nolu projeye desteklenmiştir.

## Kaynaklar

1. Civelekoğlu H. 1987. *İnorganik teknolojiler*. İTÜ Maden Fakültesi ofset Atölyesi, 307s. İstanbul.
2. Olcay A. 1998. *Kimyasal Teknolojiler*. Gazi Kitabevi, 310s. Ankara.
3. Mastai Y. 2012. *Advances In Crystallization Processes*. InTech, 656s. Rijeka.
4. Lu B.L., Zhang M.J. 1994. Study on phase-diagram of the  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$   $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  system at 100-degrees C the fundamental of utilization of  $\text{NaHCO}_3$  mother liquid of natural soda brines by ammoniation carbonation process, *Acta Chimica Sinica*, 52 (7): 634-638.
5. <http://english.isl.cas.cn/>. (Erişim tarihi: 23/03/2018).
6. Alisoğlu V. 2002. Analyse Physico-chimique du Systeme Quaternaire  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mn}^{2+}$   $\text{Cl}^-$ ,  $(\text{H}_2\text{PO}_2)^-$   $/\text{H}_2\text{O}$ , *Comptes Rendus Chimie*, 5: 547-549.
7. Demirci S., Adıgüzel V., Şahin Ö. 2016. How  $\text{ZnCl}_2$  And  $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$  are separated by using solid-liquid phase equilibria?, International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences, April 21-22, Afyonkarahisar, Turkey.
8. Wu W., Lv S., Liu X., Qu H., Zhang H., Xu J. 2014. Using TG-FTIR and TG-MS to study thermal degradation of metal hypophosphites, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 118: 1569-1575.
9. Suekkhayad A., Noisong P. 2017. Danvirutai C., Synthesis, thermodynamic and kinetic studies of the formation of  $\text{LiMnPO}_4$  from a new  $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2\text{-H}_2\text{O}$  precursor, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 129: 123-134.
10. Cao H., Zhou H., Bai X., Ma R., Tan L., Wang J. 2016. (Solid + liquid) phase equilibria of  $(\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 + \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O})$  and  $(\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 + \text{NaH}_2\text{PO}_2 + \text{H}_2\text{O})$  ternary systems at  $T = 323.15$  K, *Journal of Chemical Thermodynamics* 93: 255-260.
11. Yin J., Shi X., Zhou H., Tang J., Dai Y., Bai X. 2017. Solid-Liquid Phase Equilibria of  $(\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 + \text{H}_2\text{O})$ ,  $(\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 + \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O})$ , and  $(\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 + \text{NaH}_2\text{PO}_2 + \text{H}_2\text{O})$  Systems, *Journal of Chemical and Engineering Data*, 62: 744-751.
12. Gao S., Shi X., Yin J., Wan Z., Zhou H., Li G. 2016. Solid-liquid phase equilibria of  $(\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 + \text{H}_2\text{O})$ ,  $(\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 + \text{NaH}_2\text{PO}_2 + \text{H}_2\text{O})$  and  $(\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 + \text{MgCl}_2 + \text{H}_2\text{O})$  systems, *Fluid Phase Equilibria* 411: 7-12.
13. Shi X., Yin J., Zhou H., Gu X., Dai Y., Tang J. 2017. Solid-Liquid Phase Equilibria of  $(\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 + \text{NaH}_2\text{PO}_2 + \text{H}_2\text{O})$  and  $(\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 + \text{MgCl}_2 + \text{H}_2\text{O})$  Systems at 323.15 K, *Journal of Chemical and Engineering Data*, 62: 1011-1017.

14. Deya M.C., Blustein G., Romagnoli R. 2009. Zinc hypophosphite: a suitable additive for anticorrosive paints to promote pigments synergism, *Journal of Coatings Technology and Research*, 6 (3): 369-376.
15. Zeng Y., Yi J., Wang H., Zhou G., Liu S. 2005. Theoretical study of  $\text{H}_2\text{PO}_2^-$  adsorption on Ni(III) and Cu(III) surfaces, *Journal of Molecular Structure*, 724: 81-86.
16. Erge H., Adıgüzel V., Alisoglu V. 2013. Study of the solubility in Na–Ba–Cl– $\text{H}_2\text{O}$ , Na–Ba– $\text{H}_2\text{PO}_2^-$ – $\text{H}_2\text{O}$ , Na–Cl– $\text{H}_2\text{PO}_2^-$ – $\text{H}_2\text{O}$ , and Ba–Cl– $\text{H}_2\text{PO}_2^-$ – $\text{H}_2\text{O}$  ternaries, and in  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ba}^{2+}/\text{Cl}^-$ ,  $(\text{H}_2\text{PO}_2^-)/\text{H}_2\text{O}$  reciprocal quaternary system at 0 °C, *Fluid Phase Equilibria*, 344: 13-18.
17. Adıgüzel V., Erge H., Alisoglu V., Necefoglu H. 2014. Study of the solubility, viscosity and density in  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Zn}^{2+}/\text{Cl}^-$ – $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}^+$ – $\text{Zn}^{2+}$ – $(\text{H}_2\text{PO}_2^-)$ – $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-/(\text{H}_2\text{PO}_2^-)$ – $\text{H}_2\text{O}$ , and  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-/(\text{H}_2\text{PO}_2^-)$ – $\text{H}_2\text{O}$  ternary systems, and in  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Zn}^{2+}/\text{Cl}^-$ ,  $(\text{H}_2\text{PO}_2^-)/\text{H}_2\text{O}$  reciprocal quaternary system at 273.15 K, *Journal of Chemical Thermodynamics*, 75: 35-44.
18. Tan L.N., Wang J.M., Zhou H., et al. 2015. Solid–liquid phase equilibria of  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$ – $\text{CaCl}_2$ – $\text{H}_2\text{O}$  and  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$ – $\text{NaH}_2\text{PO}_2$ – $\text{H}_2\text{O}$  ternary systems at 298.15 K, *Fluid Phase Equilibria*, 388: 66-70.
19. Demirci S., Adıgüzel V., Şahin Ö. 2016. The Solubilities and Physicochemical Properties of  $\text{NaH}_2\text{PO}_2$ – $\text{NaCl}$ – $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaH}_2\text{PO}_2$ – $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$ – $\text{H}_2\text{O}$ , and  $\text{NaCl}$ – $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$ – $\text{H}_2\text{O}$  Ternary Systems and in  $\text{NaH}_2\text{PO}_2$ – $\text{NaCl}$ – $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$ – $\text{H}_2\text{O}$  Quaternary System at 298.15 K, *Journal of Chemical and Engineering Data*, 61 (7): 2292-2298.
20. Gündüz T. 1999. *Kantitatif Analiz Laboratuvar Kitabı*. Gazi Kitabevi, 312s. Ankara.
21. Alişoğlu V. 1973. Potasyum ve Manganın Bromür ve Sülfatlarını İhtiva Eden Karşılıklı Su-Tuz Sisteminin Fizikokimyasal Araştırılması. Doktora Tezi, 167s, Bakü.
22. Adıgüzel V., Demirci S., Şahin Ö., İzgi M.S. 2017. Solid-Liquid Equilibria (SLE) of Ternary System  $\text{NaCl}+\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2+\text{H}_2\text{O}$  at  $T=(313.15$  and  $333.15$  K), *International Conference on Application in Chemistry and Chemical Engineering*, October 11-15, Sarajevo.
23. Demirci S., Adıgüzel V., Şahin Ö., İzgi M.S. 2017. Solubility Behavior of  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Zn}^{2+}/\text{H}_2\text{PO}_2^-/\text{H}_2\text{O}$  Ternary System At Different Temperatures , *International Conference on Application in Chemistry and Chemical Engineering*, October 11-15, Sarajevo.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Atık Çelik Lif Takviyeli Pomza İçeren Reaktif Pudra Betonun Rijit Kaplama İmalatında Kullanımı**

Abdulrezzak BAKIŞ\*

*Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis*

---

### **Öz**

Günümüzde beton yol kaplamaları, çoğunlukla C30/37 betonu gibi normal dayanımlı betonlarla inşa edilmektedir. Bu çalışmada, rijit kaplama inşasında C30/37 betonu yerine, atık çelik lif takviyeli pomza içeren reaktif pudra betonun (P-RPB) kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada, C30/37 betonu, kontrol karışımı olarak seçilmiştir. Bu çalışmada yeni bir beton olan P-RPB betonu üretilmiştir. Çalışmada C30/37 betona, 28 gün 20°C standart su kürü uygulanmıştır. P-RPB' ye ise, 28 gün 20°C standart su kürü ve kombine kür olmak üzere 2 farklı kür uygulanmıştır. Çalışma sonucunda; standart su kürü sonrası, C30/37 beton basınç dayanımı 41,8 MPa, eğilme dayanımı 5,0 MPa bulunmuştur. P-RPB'nin 28 gün 20°C standart su kürü sonrası basınç dayanımı 71,2 MPa, eğilme dayanımı 8,2 MPa bulunmuştur. Kombine kür sonrası P-RPB'nin basınç dayanımı 105,2MPa, eğilme dayanımı 12,5 MPa bulunmuştur. Çalışma sonuçları, P-RPB betonun rijit üstyapı inşasında beton kaplama olarak kullanılabilirliğini göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Rijit Üstyapı, Pomza, Reaktif Pudra Beton, Kombine Kür, Atık Lifli Beton.

---

## **Usability of Waste Steel Fiber-Reinforced Reactive Powder Concrete Containing Pumice in Rigid Pavement Construction**

### **Abstract**

Today concrete pavements are mostly constructed by normal resistant concretes such as C30/37. In this study the usability of waste steel fiber-reinforced reactive powder concrete containing pumice (P-RPC) instead of C30/37 in rigid pavement construction, was researched. In the study C30/37 concrete was chosen as control mixture. P-RPC concrete was produced in this study as a new concrete. In the study, 20°C standard water cure was applied to C30/37 concrete for 28 days. Whereas, two different cures as 20°C standard water cure for 28 days and combined cure were applied to P-RPC. As a result of study after standard water cure C30/37 concrete compressive strength was found as 41.8 MPa and flexural strength was found as 5.0 MPa. After 28 days 20°C standard water cure of P-RPC was found as 71.2 MPa and flexural strength was found as 8.2 MPa. After combined cure compression strength of P-RPC was found as 105.2 MPa and flexural strength was found as 12.5 MPa. The study results showed the usability of P-RPC as concrete pavement in rigid superstructure construction.

**Keywords:** Rigid Superstructure, Pumice, Reactive Powder Concrete, Combined Cure, Waste Steel Fiber.

---

### **1. Giriş**

Karayolu üstyapıları rijit ve esnek üst yapılar olmak üzere iki grupta ele alınmaktadır [1]. Rijit üstyapı, sıkıştırılmış zemin üzerine alttemel tabakası yapılarak, bu alttemelin üzerine beton dökülerek oluşturulur. İlk beton yollar ABD'de yapılmıştır [2]. Trafığe açılan bir karayolunda tek şeritten gün boyunca geçen ticari araç miktarının 5000'in üzerinde olması durumunda, karayolu üstyapısının rijit olması koşulunu şart koymaktadır [3]. Sürekli artış eğilimi gösteren ağır ticari araç sayıları dikkate alınarak yakın bir zamanda rijit üstyapı inşaatlarına geçileceği düşünülmektedir [4]. Ülkemizde beton kaplamalı yollar deneme amaçlı Afyon ilinde yapılmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Ayrıca terminallerde, otopark alanlarında, şehir içi yol ve benzeri yerlerde beton kaplamaların yapımı hız

---

\*Sorumlu yazar: [abakis@beu.edu.tr](mailto:abakis@beu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 13/04/2018 Kabul Tarihi: 13/06/2018

kazanmıştır. Beton yollar, asfalt kaplama yollara göre bakım giderleri düşük ve daha uzun hizmet ömrü nedeniyle ekonomik çözümler sunabilir. Esnek üstyapı yapımında, bitümün ısıtılma evresinde çevre kirliliği oluşabilmektedir. Ayrıca bitümün zaman içerisinde oksitlenmeden dolayı, asfaltta yaşlanma denilen olumsuz bir değişim meydana gelmektedir. Bundan dolayı, esnek üstyapılarda kullanılan asfalt kaplamalar sürekli bakım ve onarım gerektirirler. Rijit üstyapı beton yol kaplamasında asfalt yaşlanması gibi bir problem yoktur. Bu sebepten dolayı rijit üstyapı beton yol kaplamalarının, esnek üstyapı asfalt kaplamalarına kıyasla daha iyi bir performans gösterdiği söylenebilir. Ülkemizde beton yolların geliştirilmesiyle, ithal edilen ve ülke ekonomisine ciddi zarar veren asfalt kaplama bağlayıcısı olan bitümün kullanımı azalmış olacaktır. Bu şekilde, asfalt temininde dışa bağımlılık azalacak, çimento gibi yerli malzemelerden üretilen yeni tip beton yol kaplamaları üretilecektir. Bunun sonucunda yol yapımında asfalt malzemesinin kullanılmamasından dolayı, ülke ekonomisine önemli bir katkı sağlanmış olacaktır. Beton kaplamalı rijit üstyapıların planlama aşamasındaki asıl amaç, rijit üstyapı kalınlık ve inşaa aşamasında kullanılacak malzeme karakteristiklerinin belirlenmesidir [5]. Çimento içerikli malzemeler ile yüksek mekanik performans kazanılması amacıyla, beton üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların sonucunda, yüksek performanslı betonlar ortaya çıkmıştır [6, 7, 8, 9]. Bu tip betonlardan birisi de reaktif pudra betondur (RPB). RPB'lar yüksek basınç ve eğilme dayanımına sahiptir. RPB karışımı içerisinde çimento, silis dumanı, kuvars kumu, kuvars tozu, çelik lif, su ve süper akışkanlaştırıcı bulunmaktadır. RPB'nin basınç ve eğilme dayanımları ısıtılmış küllerle artırılabilir. Bu çalışmada kuvars agregası yerine pomza agregası kullanılmıştır. Çalışmada, RPB'da kullanılan çelik lifler yerine atık çelik lifler kullanılmıştır. Oluşturulan yeni tip betona, Atık çelik lif takviyeli pomza agregalı Reaktif pudra beton (P-RPB) ismi verilmiştir.

P-RPB betonda su/bağlayıcı miktarı 0,15 olarak alınmıştır. Betonda su/bağlayıcı oranının azaltılması, betonun stabilitesini artırmaktadır [4, 7, 10, 11, 12].

Pomza, volkanik hareketler sonucu şekillenen ağırlık olarak hafif, gözenekli magmatik bir kayaç türüdür [13]. Ülkemizde yüksek rezervde pomza yataklarının olduğu bilinmektedir. Dünya genelinde tespit edilen pomza kaynakları yaklaşık  $18 \times 10^9 \text{ m}^3$ 'dür. Pomza kaynaklarının bulunduğu ülkelerin başında ABD, Türkiye ve İtalya gelmektedir [14]. Pomza agregası, beton üretim sektöründe sınırlı olarak yalıtım amaçlı kullanılmakta, ancak agreganın basınç dayanımı çok düşük olduğundan yapının taşıyıcı kısımlarında yapı betonu olarak kullanılmamaktadır. P-RPB betonu pomzadan üretilmiş olup, kalıba kendiliğinden yerleşme özelliğine sahiptir. P-RPB beton üretiminde, basınç ve eğilme dayanımını etkileyen faktörlerden birisi ısıtılmış küllerdir.

Reaktif pudra betonuna uygulanan ısıtılmış işlemin amacı, betonun iç yapısında değişiklikler oluşturarak daha yüksek dayanım değerlerinin kısa sürede elde etmesini sağlamaktır. Betona uygulanan ısıtılmış küllerden birisi kombine kürdür. Kombine kür, oluşturulan bir beton numunesine birkaç farklı kürün ara verilmeden ardı sıra uygulanmasıdır. Yüksek dayanımlı betonların aşırı gevrek davranış gösterdiği ve aniden kırılabildiği bilinmektedir. P-RPB beton üretiminde, betonun ani gevrek kırılmasını önlemek amacıyla, oluşturulan beton karışımı içerisine sanayi atığı çelik teller katılmıştır.

P-RPB karışımında Portland çimentosu, ince pomza agregası, pomza tozu, silis dumanı, atık çelik lifler, süper akışkanlaştırıcı ve su bulunmaktadır. P-RPB betonunda su/bağlayıcı oranı düşük tutularak, betonun basınç ve eğilme dayanımı artırılmıştır. Bu çalışmada, P-RPB beton üretiminde CEM I 42,5 R türü çimento kullanılmıştır. Beton agregası olarak karışımda pomza kullanılmıştır. Pomza agregası kuvars agregasına kıyasla daha ucuz bir malzemedir. İri pomza agregasının içerisinde, beton dayanımını olumsuz yönde etkileyen, birbirinden bağımsız birçok gözenek mevcuttur. Bu gözeneklerden dolayı taşıyıcı beton üretiminde kullanımı sınırlı kalmıştır. Bu çalışmada pomza agregası öğütüldüğünden, içerisindeki gözenek miktarı oldukça azaltılmıştır. Bu durum beton dayanımını olumlu yönde etkilemiştir. Lifli beton üretiminde, çelik lifler beton üretim maliyetini artırmaktadır. Sanayi atığı çelik tellerin beton üretiminde kullanılmasıyla beton üretim maliyeti düşürülebilir. Bu çalışmada, yol kaplama betonuna alternatif olarak, P-RPB'nin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada; geleneksel beton kaplamayı ifade eden C30/37 normal dayanımlı betonu, kontrol karışımı olarak seçilmiştir. Bu çalışmada, beton yol kaplama inşaa için, P-RPB beton üretiminde, sanayi atığı çelik lifler kullanılarak, farklı bir çalışma yapılmıştır. Atık çelik lifler Bitlis Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi'nin makine atölyesinden temin edilmiştir. Çalışmada hazırlanan P-RPB karışımı içerisine, atölyedeki CNC torna tezgâhlarındaki çalışma sonrası ortaya çıkan atık çelik lifler katılmıştır.

## 2. Malzeme ve Yöntem

### 2.1. Malzeme

Çalışma aşamasında üretilen bütün betonlarda, bağlayıcı olarak TS EN 197-1 standardına uygun CEM I 42,5 R türü çimento kullanılmıştır. Çimentonun, kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir [15].

**Tablo 1.** Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

Özellikler	Değer
SiO <sub>2</sub> (%)	18,70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	5,35
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	3,26
CaO (%)	63,69
MgO (%)	1,53
SO <sub>3</sub> (%)	2,69
K <sub>2</sub> O (%)	0,75
Na <sub>2</sub> O (%)	0,44
Cl (%)	0,02
Kızdırma Kaybı (%)	3,57
Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	3,19
Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	3770
Priz Başı (dakika)	167
Priz Sonu (dakika)	213
Basınç Dayanımı 2 Gün (MPa)	26,33
Basınç Dayanımı 28 Gün (MPa)	56,49

P-RPB beton üretiminde kum agregası olarak 0,15-0,6 mm dane çaplı pomza kumu kullanılmıştır. Üretimde, pomza agrega tanelerinin arasını doldurarak düşük boşluk oluşturmak amacıyla, P-RPB beton karışımında, pomzanın öğütülmesiyle elde edilen 0-0,045 mm dane çaplı pomza tozu kullanılmıştır. Pomza kumu ve pudrasının görünümü Şekil 1’ de gösterilmektedir.



**Şekil 1.** P-RPB beton üretiminde kullanılan pomzanın pudra haline getirilmiş görünümü

Çalışmada kullanılan pomza agregasının kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 2’de görülmektedir [16, 17].

**Tablo 2.** Pomza agregası kimyasal ve fiziksel özellikleri

Özellikler	Değer
SiO <sub>2</sub> (%)	71



Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	13
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	2,6
CaO (%)	0,8
MgO (%)	0,7
SO <sub>3</sub> (%)	0,61
K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O (%)	9,11
Kızdırma Kaybı (%)	2,18
Özgül Ağırlık(g/cm <sup>3</sup> )	2,07
Sertlik (MOHS)	5,43
Porozite (%)	43
Su Emme (%)	29

Çalışmada kullanılan sanayi atığı çelik teller, yaklaşık 0 ila 1 mm çapında ve 0 ila 10 mm uzunluktadır. Ortalama lif çapı 0,5 mm alınmıştır. Ortalama lif uzunluğu 5 mm alınmıştır. Atık lif takviyeli P-RPB üretiminde kullanılan sanayi atığı çelik lifler Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.P-RPB beton üretiminde kullanılan sanayi atığı çelik teller

Atık çelik liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 3’te gösterilmektedir.

**Tablo3.**Çelik lif fiziksel ve mekanik özellikleri

Lif Tipi	Çap (mm)	Boy (mm)	Narinlik	Çekme Dayanımı (MPa)	Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )
Çelik Lif	0,50	5	10	>350	7,40

Kontrol numunesi (C30/37)beton üretimi için, karışımda kırmataş kireçtaşı agregası ve beton karışım suyu olarak Bitlis şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

## 2.2. Yöntem

Kontrol betonu üretiminde karışım ağırlıkları Tablo 4’te gösterilmiştir.

**Tablo 4.**Kontrol betonu(C30/37) karışım ağırlıkları

Malzeme	Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )
Portland Çimentosu	450
0-4 mm	800
4-8 mm	390
8-16 mm	560
Su	200
Toplam	2400

Tüm beton numuneleri, basınç deneyi için 150×150×150 mm, eğilme deneyi için ise 100×100×400 mm boyutunda oluşturulmuştur. Beton numunelere, kalıptan alındıktan sonra 28 gün 20°C standart kür havuzundaki su içerisinde alınmıştır. Kür havuzundan çıkarıldıktan sonra numunelere basınç-eğilme testleri yapılmıştır. P-RPB beton üretimlerinde, reaktif pudra beton karışım oranları

dikkate alınmıştır. Reaktif pudra betonda, karışımdaki Portland çimentosu miktarı göz önüne alınarak, karışım içerisindeki çimento harici malzemeler ağırlıkça oranlandırılmaktadır.

Reaktif pudra beton karışım hesaplamasında ulusal veya ülke dışı herhangi bir standart bulunmamaktadır. Reaktif pudra beton üretimlerinde farklı karışım teorileri kullanılmıştır. Karışım tasarımlarında, Mooney süspansiyon viskozite modeli oluşturulmuştur [4, 18, 19]. Mooney süspansiyon viskozite modeli dikkate alınarak meydana gelen karışım verilerinden, çoğunlukla kullanılan karışım oranları birimsel olarak Tablo 5'te gösterilmiştir [20, 21].

**Tablo 5.** Reaktif pudra betonların karışım miktarları

Malzeme	RPB200				RPB800	
	Lifsiz	Lifli	Lifli	Lifli	Silis Agregası	Çelik Agregalar
Çimento	1	1	1	1	1	1
Silis Dumanı	0,25	0,23	0,25	0,23	0,23	0,23
Kuvars Kum (150-600 µm)	1,1	1,1	1,1	1,1	0,5	-
Kuvars Pudrası (d <sub>50</sub> = 10 µm)	-	0,39	-	0,39	0,39	0,39
Süper akışkanlaştırıcı	0,016	0,019	0,016	0,019	0,019	0,019
Çelik Tel (L=12 mm)	-	-	0,175	0,175	-	-
Çelik Tel (L = 3 mm)	-	-	-	-	0,63	0,63
Çelik Agregası (< 800 µm)	-	-	-	-	-	1,49
Su	0,15	0,17	0,17	0,19	0,19	0,19

Tablo 5'te verilen karışım oranları dikkate alınarak oluşturulan P-RPB beton numunelerin su/bağlayıcı miktarı 0,15 ve silis dumanı/çimento miktarı 0,23 olarak alınmıştır. Tablo 5'te verilen RPB karışım oranları göz önüne alınarak, P-RPB üretiminde süper akışkanlaştırıcı miktarı, çimento miktarının 0,019 katı alınarak metreküp başına 15 kg olarak karışım içerisine katılmıştır. P-RPB betonu karışım miktarları Tablo 6'da görülmektedir.

**Tablo 6.** P-RPB betonu karışım ağırlıkları

Malzeme	Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )
Portland Çimento	773
Silis Dumanı	178
Pomza Kumu (0,15-0,6 mm)	850
Pomza Tozu (0-0,045 mm)	302
Süper akışkanlaştırıcı	15
Endüstri atığı çelik tel	135
Su	147
Toplam	2400

Kombine kürler için, literatür araştırmalarında herhangi bir standardın olmadığı görülmüştür. Bakış vd (2015) yılı çalışmalarında, oluşturdukları betona 9 farklı tipte kombine kür uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, maksimum basınç ve eğilme dayanımı veren kombine kür şeklinin, 7 gün 20°C standart su kürü, ardı sıra 2 gün 90°C sıcak su kürü ve son olarak ardı sıra 2 gün 180°C etüv kürü şeklinde uygulanan kombine kür olduğu belirtilmiştir [4, 8]. P-RPB beton üretiminde priz süresince herhangi bir sıkıştırma basıncı uygulanmamıştır. Kalıptan çıkartılan numunelere, 20°C standart su kürü ve kombine kür şeklinde 2 farklı kür tipi uygulanmıştır. Kombine kürde, 7 gün 20°C standart su kürü, ardından 2 gün 90°C sıcak su kürü ve hemen ardından 2 gün 180°C etüv kürü şeklinde kombine kür uygulanmıştır. Kür sonrası tüm numunelere basınç-eğilme deneyleri yapılmıştır. Basınç deneyleri TS EN 12390-3: 2010, eğilme deneyleri TS EN 12390-5: 2010 standartları göz önüne alınarak yapılmıştır [22, 23].

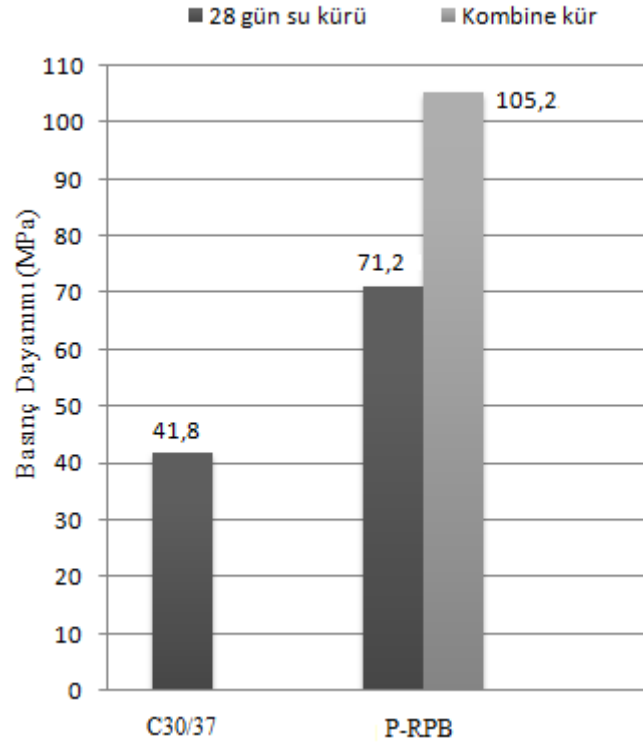
### 3. Bulgular ve Tartışma

Tüm tip betonların basınç-eğilme deney sonuçları Tablo 7'de verilmiştir.

**Tablo 7.** Basınç-eğilme deney sonuçları

Beton Tipi	Basınç Dayanımı(MPa)		Eğilme Dayanımı (MPa)	
	20°C-28 gün	Kombine	20°C-28 gün	Kombine
	Su Kürü	Kür	Su Kürü	Kür
Kontrol Betonu (C30/37)	41,8	-	5,0	-
P-RPB Betonu	71,2	105,2	8,2	12,5

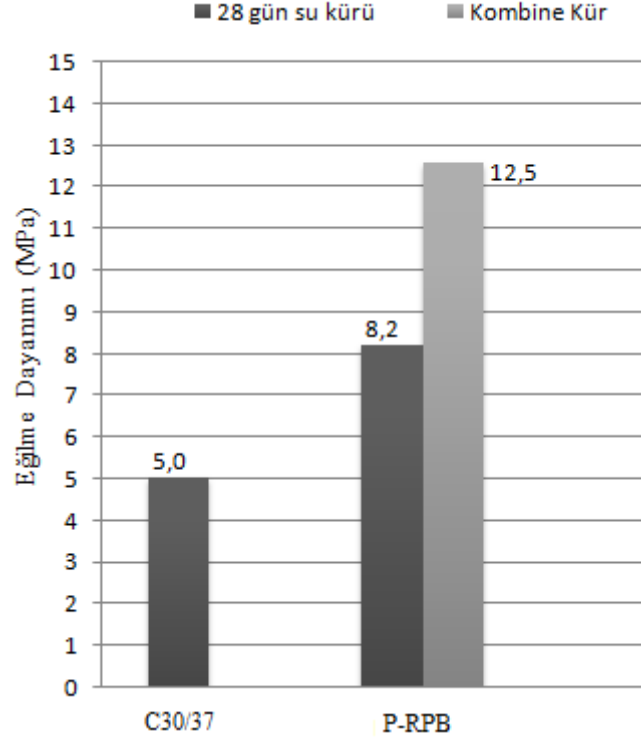
Tüm numunelerin basınç dayanımları Şekil 3’te grafiksel olarak gösterilmektedir.



**Şekil 3.** Kür sonrası betonların basınç dayanımı

P-RPB beton basınç dayanımının kontrol betonu (C30/37) basınç dayanımından su kürü altında %70,33, kombine kür altında %151,67 yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 3). Bu durum, P-RPB betonun rijit yol kaplama inşasında kullanılabilirliğini ifade etmektedir.

P-RPB beton eğilme dayanımının kontrol betonu (C30/37) eğilme dayanımından su kürü altında %64, kombine kür altında %150 yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 4). Kaplama betonu için; minimum basınç dayanımının 28 MPa, minimum eğilme dayanımının 4,5 MPa olması gerektiğinden [3], Tablo 7, Şekil 3 ve Şekil 4’te P-RPB betonun rijit yol kaplaması olarak uygun şartları sağladığı söylenebilir.



Şekil 4. Kür sonrası betonların eğilme dayanımı

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, geleneksel yol kaplama betonuna alternatif olarak, sanayi atığı çelik lifli pomza içeren reaktif pudra betonun (P-RPB) kullanılabilirliği araştırılmıştır. Pomza agregası aşırı gözenekli bir malzeme olduğundan basınç ve eğilme dayanımı düşüktür. Bu çalışmada pomza agregası, Reaktif pudra beton üretim yöntemine göre öğütülerek boşluk miktarı azaltılmıştır. Ülkemiz pomza rezervi bakımından zengin olmasına rağmen, içerisindeki yüksek miktarda gözeneklerden dolayı basınç ve eğilme dayanımı düşük olduğundan, inşaat sektöründe kullanım alanı sınırlıdır. Bu çalışma ile pomza içeren reaktif pudra beton üretimiyle, pomzanın inşaat sektöründe yaygın olarak kullanımı sağlanabilir. Beton karışımında lif kullanımının yapılarada stabilite, süneklik, beton dayanımı ve çatlak oluşumunu azaltmada katkı sağladığı bilinmektedir. Beton üretiminde lif olarak, polipropilen, cam, çelik ve diğer malzemeler kullanılabilir. Beton üretiminde çelik lifler, yük altında oluşan enerjiyi sönmleme ve yüksek aderans nedeniyle, özellikle beton dayanımının artırılması ve çatlak oluşumunu azaltmada önemli katkı sağlamaktadır. Bu nedenle çalışmada P-RPB üretiminde atık çelik lif kullanılmıştır. Atık çelik liflerin, beton üretiminde lif maliyetini önemli ölçüde azaltabileceği göz ardı edilmemelidir.

Bakış vd (2015) yılı çalışmalarında, standart su kürü yanında, beton 9 farklı kombine kür tipi uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, kombine kür sonrası beton basınç ve eğilme dayanımının standart su kürüne kıyasla daha yüksek olduğu belirtilmiştir [4, 8]. Bu çalışmada oluşturulan P-RPB numunelere standart su kürü yanında kombine kür de uygulanmıştır. Kombine kür sonrası beton basınç ve eğilme dayanımında artış görülmüştür.

Yüksek mukavemetli betonlar ile imal edilecek rijit kaplamaların asfalt kaplamalara kıyasla daha uzun ömürlü olduğu bilinmektedir. Her ne kadar rijit kaplamaların asfalt kaplamalara nazaran ilk yatırım maliyetinin yüksek olduğu fikri yaygın olsa da, uzun vadede rijit kaplamaların bakım/onarım maliyetlerinin daha düşük olduğu göz önünde tutularak daha ekonomik olabileceği söylenebilir. Daha önceki çalışmalarda, sanayi atığı liflerin P-RPB beton üretiminde kullanılmasıyla ilgili bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmada, beton yol kaplaması için P-RPB beton oluşturularak, yeni bir çalışma yapılmıştır. Bu deneysel çalışmada aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur:

P-RPB betonun su/bağlayıcı oranı 0,15'dir. Kaplama betonu için mevzuatlarda maksimum su/bağlayıcı miktarının 0,40 ile 0,45 arası olması gerektiğinden [3], üretilen yeni P-RPB betonu rijit yol kaplaması olarak kullanılabilir. P-RPB betonun 28 gün 20°C standart su kürü sonrası basınç dayanımı

71,2 MPa, eğilme dayanımı 8,2 MPa olarak bulunmuştur. P-RPB betonun kombine kür sonrası basınç dayanımı 105,2 MPa, eğilme dayanımı 12,5 MPa olarak elde edilmiştir. Kaplama betonu için mevzuatlarda minimum basınç mukavemetinin 28 MPa, minimum eğilme dayanımının 4,5 MPa olması gerektiğinden [3], P-RPB betonu rijit yol kaplaması olarak kullanılabilir. P-RPB'nin beton yol şartname değerlerini sağladığı Tablo 8' de görülmektedir.

**Tablo 8.**P-RPB ile şartname değerlerinin karşılaştırılması

Su/Bağlayıcı	Basınç Dayanımı(MPa)		Eğilme Dayanımı (MPa)	
	Su Kürü	Kombine Kür	Su Kürü	Kombine Kür
Şartname Değeri	0,45	28	4,5	4,5
P-RPB Betonu	0,15	71,2	8,2	12,5

### Teşekkür

Çalışmalarında destek çıkan başta Bitlis Eren Üniversitesi Rektörlüğü'ne, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu müdürü Dr. Öğr. Üyesi Faruk ORAL'a ve Van Gölü Yapı Kalite Kontrol Ltd. Şti' ye teşekkürlerimi sunarım.

### Kaynaklar

1. Açar E., Öztaş G., Süttaş İ. 1998. *Beton Yollar*, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
2. Arslan M. 2007. Beton Yol Kaplamalarında Alternatif Beton ve Yapım Yöntemi Araştırmaları. Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, Ankara.
3. Tunç A. 2007. *Yol Malzemeleri ve Uygulamaları*, 2. Baskı, Nobel Yayın Dağıtım.
4. Bakış A. 2015. Rijit Yol Üstyapı İnşasında Reaktif Pudra Betonun (RPB) Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
5. Bayrak O.Ü. 2007. Rijit Üstyapı Tasarımına Yeni Bir Yaklaşım. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
6. Aitcin P. C. 2000. Cements of Yesterday and Today Concrete of Tomorrow. *Cement and Concrete Research*, 30: 1349-1359.
7. Taşdemir M.A., Bayramov F., Kocatürk N., Yerlikaya M. 2004. Betonun Performansa Göre Tasarımında Yeni Gelişmeler, Beton 2004 Kongresi Bildiriler, İstanbul.
8. Hattatoglu F., Bakis A. 2017. Usability of ignimbrite powder in reactive powder concrete road pavement. *Road Materials and Pavement Design*, 18(6): 1448-1459.
9. Türkmenoğlu Z.F., Kılıç A.M., Depci T. 2015. Van Yöresi Pomzası ile Üretilmiş Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30: 105-116.
10. Roux N., Andrade C., Sanjuan M.A. 1996. Experimental Study of Durability of Reactive Powder Concretes. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 8: 899-1561.
11. Yalçınkaya Ç., Yazıcı H. 2011. Agregâ Hacminin Reaktif Pudra Betonunun Mekanik ve Büzülme Özelliklerine Etkileri, THBB Beton 2011 kongresi, İstanbul, 150-159.
12. Tam C.M., Vivian W.Y., Tam K.M. 2012. Assessing Drying Shrinkage and Water Permeability of Reactive Powder Concrete Produced in Hong Kong. *Construction and Building Materials*, 26 (1): 79-89.
13. Karaman M.E., Kibici Y. 2008. *Temel Jeoloji Prensipleri*, Belen Yayıncılık ve Matbaacılık, Ankara.

14. Dinçer İ., Orhan A., Çoban S. 2015. *Fizibilite Raporu*, Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi, Nevşehir.
15. Çimsa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. 2017. <http://www.cimsa.com.tr> (Erişim Tarihi: 03.04.2017)
16. TOKYAP İnşaat Limited Şti. 2017. <http://www.pomza.net> (Erişim Tarihi: 10.04.2017)
17. Efe T. 2011. Edremit Travertenleri ve Van Gölü Kuzeyinde Yüzeyleyen Pomzaların Çimento Sektöründe Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 147s, Van.
18. İpek M. 2009. Reaktif Pudra Betonların Mekanik Davranışına Katılma Süresince Uygulanan Sıkıştırma Basıncının Etkileri. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
19. Larrard F., Sedran T. 1994. Optimization of Ultra-High-Performance Concrete by the Use of a Packing Model. *Cement and Concrete Research*, 24 (6): 997-1009.
20. Richard P., Cheyrezy M. 1995. Composition of Reactive Powder Concretes. *Cement and Concrete Research*, 25: 1501-1511.
21. Bakış A., Işık E., El A.A., Ülker M. 2017. A Study on the Mixture Ratio of Pumice Powder Concrete on the Concrete Pavement and the Construction of Building. *IOSRJournal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 14(3): 83-90.
22. TS EN 12390-3. 2010. *Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney umunelerinin Basınç Dayanımının Tayini*, TSE, Ankara.
23. TS EN 12390-5. 2010. *Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini*, TSE, Ankara.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Tek Atlamalı Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Yeni Bir Hızlı Ağa Katılım Algoritması**

Musa ÇIBUK<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği, Bitlis

---

### **Öz**

Kablosuz Algılayıcı Ağlar'da, algılayıcı düğümlerin veri iletmeye başlayabilmeleri için öncelikle bir ağa katılmaları gerekir. Ağa katılmada yavaş kalınması, özellikle gerçek zamanlı uygulamalarda sorunlara yol açar. Diğer taraftan, eğer bir düğüm ağa katılmak için çok aceleci davranırsa, çarpışmalara, ağ performansının düşmesine ve toplam enerji tüketiminin artmasına neden olacaktır. Dolayısıyla Kablosuz Algılayıcı Ağlar için algılayıcı düğümün ağa bağlanma sürecinin çabuk ve etkili olması çok önemlidir.

Bu çalışmada, Tek Atlamalı Kablosuz Algılayıcı Ağlar için ortam erişim katmanında, hızlı ve efektif bir ağa katılım algoritması (FNJ) önerilmiştir. Önerilen algoritmanın kavramsal yapısı ve çalışma mantığı açıklanarak başarımleri ortaya konulmuştur. Daha sonra önerilen algoritmanın benzetimi yapılarak elde edilen bulgular, benzer diğer çalışmalar ile kıyaslanmış ve algoritmanın başarımleri test edilmiştir. Sonuç olarak yapılan kıyaslamalarda önerilen algoritmanın kayda değer başarımleri sergilediği görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Kablosuz Algılayıcı Ağlar, Ağa Katılım, Algoritma, Benzetim

---

## **A New Fast Network Joining Algorithm for Single-Hop Wireless Sensor Networks**

### **Abstract**

In Wireless Sensor networks, firstly, sensor nodes must be joined in a network before they can begin transmitting data. Slow network joining, especially in real-time applications, leads to major problems. On the other hand, if a node is too hasty to join the network, it will cause collisions, decrease the performance of the network, and increase total energy consumption. Therefore, it is very important for the Wireless Sensor Networks that the sensor node's network join process is quick and effective.

In this study, a fast and effective network joining algorithm (FNJ) was proposed in the media access layer for single-hop wireless sensor networks. The proposed algorithm's conceptual structure and operational logic were explained and performance criteria were introduced. The results obtained by simulation of the proposed algorithm were compared with other similar studies and the performance of the algorithm was tested. As a result, comparisons show that the proposed algorithm performs remarkably well.

**Keywords:** Wireless Sensor Networks, Joining Network, Algorithm, Simulation

---

---

\*Sorumlu yazar: [mcibuk@beu.edu.tr](mailto:mcibuk@beu.edu.tr)

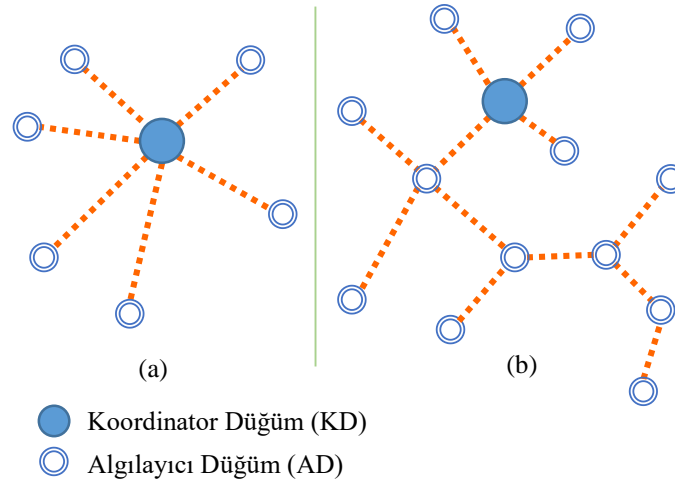
Geliş Tarihi: 03/05/2018 Kabul Tarihi: 29/06/2018

## 1. Giriş

Teknolojide son yıllarda meydana gelen hızlı gelişmeler sonucunda, fiziksel olay ve nicelikleri gözlemlemek amacıyla, bilgi toplama, işleme ve işlediği bilgiyi başka yerlere iletebilme kabiliyetlerine sahip ve algılayıcı olarak adlandırılan çok küçük boyutlu cihazlar ortaya çıkmıştır. Algılayıcılar ve bunların oluşturdukları ağlar, günümüz bilim dünyasında çok hızlı gelişen ve üzerinde en çok araştırma yapılan konulardan biri haline gelmiştir [1].

Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA) çok sayıda algılayıcı düğümün (AD) bir araya gelerek oluşturdukları bir veri toplama ekosistemidir. Bu ağlar çevresel [2] ve askeri uygulamalar [3, 4] başta olmak üzere günümüzde pek çok alanda [5–9] kendine yer edinmiş ve hızla yaygınlaşmaktadır. Bu yaygınlaşma ile birlikte nitelikli veri toplama işlemleri için düğüm sayılarında ciddi derecede artışlar gözlemlenmektedir [10]. Günümüzde yüzlerce ve hatta binlerce düğümden oluşmuş ağlara rastlamak mümkündür. Düğüm sayılarındaki artış, ağdaki çarpışmaları ve enerji tüketimindeki artışı da beraberinde getirmektedir. Bu ağlardaki en büyük enerji tüketimi safhalarından biri de ağa katılım yani organizasyon safhasıdır. Bu aşamada özellikle düğümler ağdaki koordinatörlere bağlanmak ve kendilerini ağa dâhil etmek için bir çaba içerisine girerler. Ağdan verimli sonuç alınabilmesi için KAA'ları oluşturan düğümlerin hızlı ve efektif bir şekilde ağa katılıp verileri aktarmaya başlaması çok önemlidir.

KAA'larda bağlantı durumuna göre veri aktarımı genellikle Şekil 1'de gösterildiği üzere tek atlamalı veya çok atlamalı olmak üzere iki şekilde olur.



**Şekil 1.** Bağlantı Durumuna Göre KAA'lar: a) Tek Atlamalı KAA, b) Çok Atlamalı KAA

Tek atlamalı KAA'larda ağdaki tüm düğümler, koordinatör düğüm (KD)'e doğrudan bağlanmaya çalışırlar. Bu tip senaryolarda ağdaki düğüm sayısı arttıkça KD'nin iş yükü ve harcadığı enerji dramatik olarak artmaktadır. Bu da KD'nin yavaşlamasına ve ağa katılmalarda gecikmelere neden olacaktır. KD'deki ağa katılmaları kontrol eden algoritma çok hızlı cevap veren bir yapıya sahip olmalıdır ki ağ hızlı bir şekilde organize olabilsin. Aynı zamanda AD'lerin ağa katılım aşamasında takip edeceği metodun da çok iyi analiz edilmesi gerekmektedir[11].

Çok atlamalı KAA'larda ise AD'ler, doğrudan KD'ye erişemediklerinden, ağa katılma ve veri gönderme işlerini başka düğümler aracılığıyla yaparlar. Bu aşamada genellikle röle mekanizmaları kullanılır [12–15]. Bu tip yapılarda, ağdaki KD'ler daha az enerji harcayarak organizasyonu sağlar. Ancak AD'ler üzerinde fazladan bir iş yükü oluşur.

Tüm bunların ışığında, özellikle çok düğümlü KAA'larda ağa katılım algoritmalarının, ağ performansını doğrudan etkileyen faktörlerden biri olarak karşımıza çıktığı görülmektedir. KAA'lar ile ilgili olarak literatüre bakıldığında, genellikle düğümlerin enerji verimliliği [16–19] ve elde edilen verilerin merkeze uygun yollardan yönlendirilerek iletilmesi [20, 21] konularının daha çok ele alındığı görülmektedir. Yine literatürdeki çalışmaların önemli bir çoğunluğu ağırlıklı olarak "Ağ Ömrünü



Uzatma (Network Lifetime Maximization)” konuları üzerine yoğunlaşmaktadır[22]. Oysaki günümüzde, daha çok KAA’lar üzerinden gerçek zamanlı veri iletim uygulamalarına doğru bir eğilimin [23, 24] olduğu görülmektedir. Gerçek zamanlı veri iletimi gerektiren KAA uygulamalarında; özellikle düğümlerin çok hızlı bir şekilde ağa katılma ve kopmadan ağda veri aktarımını devam ettirme konuları önemlidir. Bu tür özellikler gürbüz bir katılım algoritması sağlanabilir. Böylece KAA’nın başarımı ve esnekliği artırılabilir.

## 2. Materyal ve Metot

Araştırmacılar geliştirdikleri yöntem ve çalışmalarını test edebilmek için öncelikli olarak daha pratik ve kolay ulaşılabilir olması nedeni ile benzetim araçlarından faydalanırlar. KAA’lar için yapılan geliştirme ve çalışmalarda da pek çok bilim insanı ağ benzetim araçlarını kullanmaktadır [25, 26]. Böylece fiziksel olarak gerçekleştirmesi ve geliştirilmesi uzun ve maliyetli olan süreçler azaltılmış olur. Ağ benzetim araçları, görsel veya gerçek zamanlı izleme özelliklerinden ziyade dağıtılmış protokol veya bazı özel algoritmaların geçerliliğine ya da performansına önem vermektedir. Geliştirilen ağ benzetim araçlarının önemi ve kalitesi, ağ ortamlarında yaygın olarak kullanılan algoritma ve protokolleri desteklemesine bağlıdır [27].

Bu çalışmada KAA’lar için hızlı ve esnek bir ağa katılma algoritması geliştirilmiş ve benzetimi yapılmıştır. Benzetim ortamı olarak Riverbed (Opnet) Modeller [28] programı kullanılmıştır. Opnet, bir ağ ortamı üzerinde tasarım, modelleme, performans analizi ve trafik izleme gibi birçok işlemi çok ayrıntılı olarak yapabilen bir programdır. Program araştırmacıların kendi geliştirdikleri ağ protokollerini test etme olanaklarına da sahiptir.

Makale boyunca kullanılan semboller, teknik kısaltmalar ve anlamları Tablo 1’de sunulmuştur.

**Tablo 1.** Çalışmada kullanılan sembol ve kısaltmalar

Kısaltma	Anlamı
<i>KAA</i>	Kablosuz Algılayıcı Ağ
<i>KD</i>	Koordinatör Düğüm
<i>AD</i>	Algılayıcı Düğüm
<i>LPL</i>	Düşük Güçte Dinleme
<i>P<sub>sch</sub></i>	Zamanlama Paketi
<i>P<sub>ctrl</sub></i>	Kontrol Paketi
<i>t<sub>rl</sub></i>	Dinleme Rastgele Bekleme Süresi (sn)
<i>t<sub>rs</sub></i>	Gönderme Rastgele Bekleme Süresi (sn)
<i>W<sub>t</sub></i>	Bekleme Süresi (sn)
<i>W<sub>sch</sub></i>	Zamanlama Paketi Bekleme Süresi (sn)
<i>Ch<sub>ctrl</sub></i>	Kontrol Kanalı
<i>Ch<sub>sch</sub></i>	Zamanlama Kanalı
<i>BW<sub>chctrl</sub></i>	Kontrol Kanalı Bantgenişliği (bps)
<i>NS</i>	Tahsis Alamama Sayacı
<i>NS<sub>max</sub></i>	Tahsis Alamama Sayacı Eşik Değeri
<i>NS<sub>trhs</sub></i>	Tahsis Alamama Eşik Süresi (sn)
<i>N</i>	Ağa katılmak isteyen Düğüm Sayısı
<i>N<sub>max</sub></i>	Maksimum Düğüm Sayısı
<i>C</i>	Çarpışma Sayısı
<i>t<sub>sctrl</sub></i>	Kontrol Paketi Gönderme Süresi (sn)
<i>S<sub>sctrl</sub></i>	Kontrol Paketi Uzunluğu (bit)
<i>R<sub>ncc</sub></i>	Düğüm Başına Düşen Çarpışma Miktarı
<i>t<sub>join</sub></i>	Katılım Fazı Süresi (sn)
<i>t<sub>start</sub></i>	Katılım Fazı Başlangıç Zamanı (sn)
<i>t<sub>jlst</sub></i>	En son düğümün Ağa Katılma Zamanı (sn)
<i>V<sub>nj</sub></i>	Düğüm Katılım Hızı (nps)
<i>P<sub>j</sub></i>	Katılım Fazında Harcanan Toplam Güç (W)

Makalenin bundan sonraki kısımlarında önce geliştirilen katılım algoritmasından bahsedilmiştir. Daha sonra geliştirilen algoritma ile ilgili temel kavramsal ifadeler ve başarımlar kriterleri



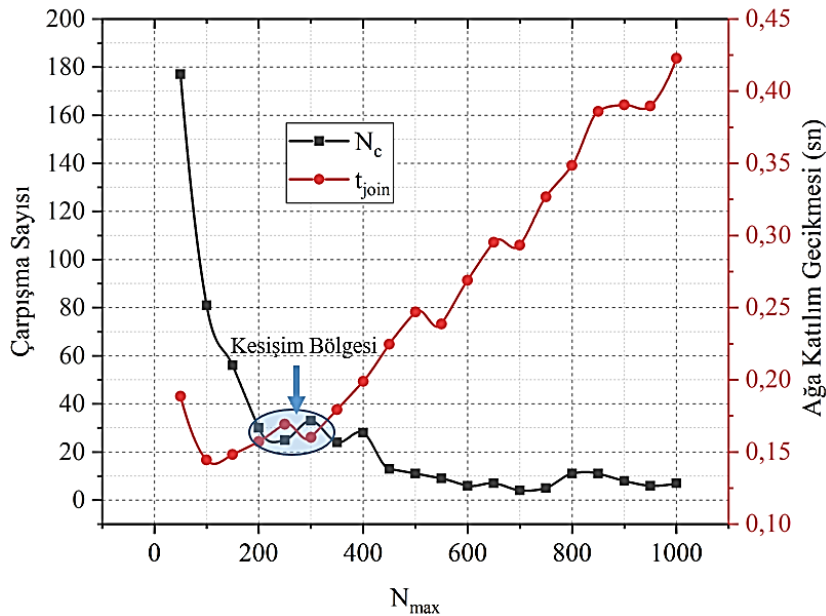
kontrol paketini ( $P_{ctrl}$ ) hazırlar. Paketi göndermeden önce tekrar bir ortam dinlemesi yaparak, ortamın müsait olup olmadığına bakarlar. Eğer ortam müsait ise yine rastgele bir süre ( $t_{rs}$ ) bekleyerek istek paketini kontrol kanalından ( $Ch_{ctrl}$ ) gönderirler. Eğer ortam müsait değil ise AD, bekleme ( $W_i$ ) süresinin  $W_{sch}$  eşik değerini aşıp aşmadığını kontrol eder. Bu süre de aşılmış ise AD LPL durumuna geri döner. Kontrol paketini ( $P_{ctrl}$ ) gönderen AD artık zamanlama kanalını ( $Ch_{sch}$ ) dinlemeye başlar ve kendisine bir zamanlama paketi ( $P_{sch}$ ) gelmesini bekler. Gelen her uygun olmayan zamanlama paketi için tahsis alamama sayacı (NS) bir artırır. NS sayacı maksimum değeri ( $NS_{max}$ ) aştığında bu sefer tahsis alamama eşiği ( $NS_{trsh}$ ) kontrol edilir. Bu eşik değer de aşılmış ise LPL durumuna, aşılmamış ise katılım sürecini yeniden başlatmak üzere ortam dinlemesine geçilir. Eğer bir zamanlama paketi gelmiş ve düğüm bu paket içerisinde kendine tahsis edilen kanal bilgisini elde etmiş ise artık ağa katılmış ve ağa katılım fazı başarı ile tamamlanmış olur.

Algoritma CSMA-CA[29] mantığıyla hareket etmektedir ve çarpışmalardan kaçınma temeline dayanmaktadır. Bu bağlamda algoritmadaki  $t_{rl}$  ve  $t_{rs}$  sürelerinin rastgeleselliği algoritmanın başarımında önemli rol oynamaktadır. Bu süreler saniye cinsinden olup hesaplanmasında aşağıdaki denklem 1 ve 2 de verilen formüller kullanılmıştır.

$$t_{rl} = rnd_{uni}(N_{max}) * t_{sctrl} \quad (1)$$

$$t_{rs} = rnd_{exp}\left(\frac{t_{sctrl}}{100}\right) \quad (2)$$

Denklem 1'deki  $N_{max}$  değeri ağdaki olası maksimum düğüm sayısını ifade etmektedir. Bu değer büyüdükçe rastgele üretilen sayıların çakışma ihtimali düşmekle beraber düğümlerin ağa katılmalarındaki bekleme sürelerini uzatmakta bu da düğümlerin ağa hızlı bir şekilde katılmalarını olumsuz etkilemektedir.  $N_{max}$  değerinin çok küçük olması ise düğümlerin daha girişken bir şekilde ağa katılma çabalarını artırmaktadır. Bu da erişim çarpışmalarının artmasına ve ağın genel performansının düşmesine neden olmaktadır. Dolayısı ile bu değer, ağın performansı göz önünde bulundurularak uygun bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Optimal  $N_{max}$  değerinin tespiti için değişen  $N_{max}$  değerlerine karşılık, ağdaki çarpışma sayısı ve AD'lerin ağa katılma süreleri üst üste bindirilerek kesişim noktaları bulunmalıdır.



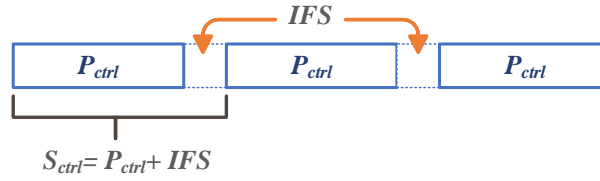
Şekil 3.  $N_{max}$  değerinin çarpışmalar ve düğümlerin ağa katılma gecikmeleri üzerine etkisi

Şekil 3'te bu çalışmada önerilen ağa katılma algoritmasını kullanan,  $N = 200$  düğümlü bir senaryo için değişen  $N_{max}$  değerlerine karşılık, ağa katılım fazında meydana gelen çarpışma ve düğümlerin ağa katılma gecikmesi gösterilmektedir. Buradaki ağa katılma gecikmesi ifadesi tüm AD'lerin ağa katılması için geçen süreyi, diğer bir deyişle katılım fazı süresini ( $t_{join}$ ) ifade eder.  $N_{max}$  için en uygun değerler bölgesi Şekil 3'te gösterildiği üzere eğrilerin kesişim bölgesidir.  $N_{max}$  değerinin 215, 266 ve 320 değerleri için eğriler kesişmektedir. Buradan hareketle  $N_{max}$  değeri, bu çalışmada, orta kesişme noktası olan  $266 = 1.33N$  olarak seçilmiş ve  $N_{max}$  bağımlı tüm hesaplamalar buna göre yapılmıştır.

Denklem 1'deki  $rnd_{uni}()$  fonksiyonu homojen dağılımlı, denklem 2'deki  $rnd_{exp}()$  fonksiyonu ise üstel dağılımlı rastgele sayı üretici fonksiyonlarıdır.  $t_{sctrl}$  ifadesi bir kontrol paketi ( $P_{ctrl}$ ) gönderilmesi için gerekli zamanı saniye cinsinden ifade eder.  $t_{sctrl}$ 'nin hesaplanmasında ise aşağıda verilen denklem 3 kullanılır.

$$t_{sctrl} = \frac{S_{ctrl}}{BW_{chctrl}} \quad (3)$$

Denklem 3'teki  $BW_{chctrl}$  ifadesi kontrol kanalının ( $Ch_{ctrl}$ ) bps cinsinden bant genişliğini ve  $S_{ctrl}$  ifadesi ise bir kontrol paketinin ( $P_{ctrl}$ ) gönderilmesi için gerekli süreyi bit cinsinden ifade etmektedir.  $S_{ctrl}$  ifadesi Şekil 4'te gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.



Şekil 4. Kontrol Paketleri Gönderim Süresi

## 2.2. Başarım Kriterleri

Bu çalışmada önerilen algoritmanın başarımının analiz edilebilmesi ve diğer çalışmalar ile kıyaslanabilmesi için aşağıdaki kriterler ortaya konmuş ve bu kriterlere göre analizler yapılmıştır;

### Katılım Fazı Süresi ( $t_{join}$ ) :

Bu kriter, saniye cinsinden, senaryodaki ilk düğümün ağa katılma anından en son düğüm ağa katılana kadar geçen süredir. Özellikle gürbüz ve esnek bir KAA'da bu sürenin kısa olması ağın hızlı bir şekilde veri aktarmaya başlamasında belirleyici bir bilgidir. Kıyaslamalarda bu sürenin düşük olması başarımın bu kriter açısından daha iyi olduğu anlamına gelir. Bu değer  $t_{start}$  katılım fazının başlama anı ve  $t_{last}$  en son düğümün ağa katıldığı anı göstermek üzere denklem 4'te gösterildiği gibi belirlenir.

$$t_{join} = t_{last} - t_{start} \quad (4)$$

### Çarpışma Sayısı (C) :

Bu kriter, katılım fazı süresi ( $t_{join}$ ) boyunca ağda meydana gelen tüm çarpışmaların toplamı olarak ifade edilir. Çarpışmaların minimum hatta hiç olmaması istenir. Dolayısı ile bu değer küçük olması kıyaslamalarda başarım açısından daha iyi olarak değerlendirilir.

**Düğüm Katılım Hızı ( $V_{nj}$ ) :**

Bir KAA'da katılım fazında saniyede kaç düğümün ağa dâhil edilebildiğini gösteren değer olup birimi nps (node per second) olarak ifade edilir. Bu değer yüksek olması demek ağa katılım algoritmasının kısa sürede çok daha fazla düğümü ağa katabileceği anlamına gelir. Bu değer ağdaki toplam düğüm sayısı  $N$  katılım fazı süresi  $t_{join}$  olmak üzere denklem 5'te gösterildiği gibi hesaplanır.

$$V_{nj} = \frac{t_{join}}{N} \quad (5)$$

**Katılım Gücü ( $P_j$ ) :**

KAA'lardaki en önemli başarımlar kriterlerinden biri de harcanan güçtür. Çünkü doğaları gereği KAA'lardaki KD ve AD'lerin enerjisi sınırlıdır. Önerilen algoritma için harcanan güç miktarları bu anlamda belirleyici bir başarımlar kriteri olacaktır. Katılım gücü, katılım fazı süresi boyunca her bir düğüm tarafından ağa katılım için harcanan güçlerin toplamı olarak ifade edilir ve denklem 6'da gösterildiği gibi hesaplanır.

$$P_j = \sum_{i=1}^N P_j(i) \quad (6)$$

**2.3. Benzetim Çalışması**

Bu çalışmada önerilen ağa katılma algoritmasının Riverbed (Opnet) Modeller ortamında benzetimi yapılmıştır. AD sayıları daha önceki çalışmalarla karşılaştırılması ve düğüm sayısındaki artışa karşın ağın benzetim ortamında göstereceği performansın ölçülebilir olması açısından 25, 50, 100, 200, 250, 400, 500, 600, 750, 800, 1000, 1250 ve 1500 olarak seçilmiştir. Düğümler her senaryo için alana rastgele dağıtılmıştır. Tüm senaryolarda sadece bir koordinatör düğüm (KD) kullanılmış olup tüm senaryolarda aynı noktaya yerleştirilmiştir. Benzetim çalışması, bu makalede önerilen ağa katılma algoritması dikkate alınarak, özellikle düğümlerin ağa katılma fazına yoğunlaşmıştır. Çalışmadaki temel amaç düğümlerin hızlı bir şekilde ağa dâhil olup bir daha kopmamak üzere veri aktarımına başlaması olduğundan dolayı benzetim süresi tüm düğümlerin ağa dâhil olduğunun gösterilebileceği bir süre ile sınırlandırılmıştır. Düğüm sayıları dışında tüm senaryolar özdeş olup benzetim çalışmasında kullanılan ortam parametreleri Tablo 2 gösterildiği gibidir.

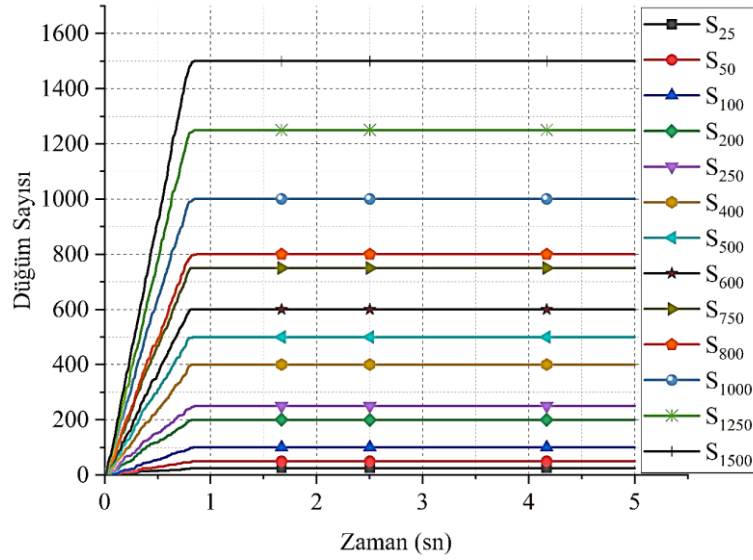
**Tablo 2.** Önerilen algoritma için benzetim ortamı parametreleri

Parametre	Parametre Değeri
Ortam Modeli	Free Space
Ortam Veri Tipi	USGS DEM
Ortam Ölçüleri	(100m x 100m) Kare
Düğüm Yerleşimi	Rastgele
Kontrol Paketi Boyutu ( $S_{ctrl}$ )	32+7 = 39 bit
Radyo Bantgenişliği ( $BW_{ctrl}$ )	99 kHz
Sinyal Kapsama Alanı ( $r$ )	150 m
Radyo Gücü ( $P_{tx}$ )	27 mW
Modülasyon Türü	qam64_ber_snr
Benzetim Süresi	5 sn
Max. Düğüm Sayısı ( $N_{max}$ )	2000
$NS_{max}$	2
$NS_{trsh}$	0.033 sn

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada önerilen FNJ algoritmasının farklı düğüm sayılarındaki ağ senaryoları ( $S_{25}$ ,  $S_{50}$ ,  $S_{100}$ ,  $S_{200}$ ,  $S_{250}$ ,  $S_{400}$ ,  $S_{500}$ ,  $S_{600}$ ,  $S_{750}$ ,  $S_{800}$ ,  $S_{1000}$ ,  $S_{1250}$ ,  $S_{1500}$ ) için ayrı ayrı benzetimleri yapılmıştır. Yapılan benzetimler sonucunda elde edilen değerler MDF algoritması [11] ile karşılaştırılarak önerilen FNJ algoritmasının performans gelişimi ortaya konmuştur.

Benzetim sonuçları sırayla incelenecek olursa, ilk olarak düğüm sayılarına göre ağa katılım gecikmesi grafiği sonuçları Şekil 5'te gösterildiği gibidir.



Şekil 5. Düğüm sayılarına göre ağa katılım gecikmesi

Şekil 5'te gösterildiği üzere, tüm senaryolar için düğümler 1 saniyenin altında bir sürede ağa katılmaktadırlar. Ağa dâhil olan AD'ler benzetim boyunca ağdan kopmadan işlemlerine devam etmektedirler. Tüm senaryolarda ağa katılım sabit bir ivme ile gerçekleşmiştir. Bu da önerilen algoritmanın düğüm sayısından bağımsız olarak dengeli bir ivme ile çalıştığını göstermektedir. Düğümlerin senaryolara göre ağa katılım durumları ve çarpışma sayıları Tablo 3'de gösterilmiştir.

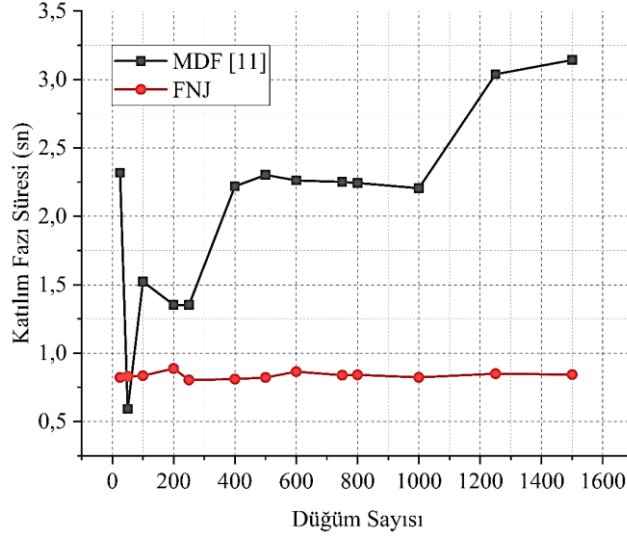
Tablo 3. Düğümlerin senaryolara göre ağa katılım durumları ve çarpışma sayıları

Senaryo	Düğüm Sayısı ( $N$ )	Katılım Fazı Süresi ( $t_{join}$ )	Çarpışma Sayısı ( $C$ )
$S_{25}$	25	0.822	0
$S_{50}$	50	0.829	0
$S_{100}$	100	0.835	2
$S_{200}$	200	0.87	5
$S_{250}$	250	0.804	13
$S_{400}$	400	0.81	20
$S_{500}$	500	0.822	52
$S_{600}$	600	0.864	31
$S_{750}$	750	0.839	53
$S_{800}$	800	0.841	73
$S_{1000}$	1000	0.823	82
$S_{1250}$	1250	0.85	151
$S_{1500}$	1500	0.843	249

Tablo 3 incelendiğinde, tüm senaryolarda katılım fazı sürelerinin birbirine çok yakın değerler olduğu görülmektedir. Bu durum önerilen algoritmadaki stabil davranış ile açıklanabilir. Ancak düğüm sayısı arttıkça ağdaki çarpışmalarında arttığı gözlemlenmektedir. En yoğun çarpışmanın olduğu  $S_{1500}$  senaryosunda dahi düğüm başına ortalama 0.166 gibi bir çarpışma değeri düşmektedir. 1500 düğümlü

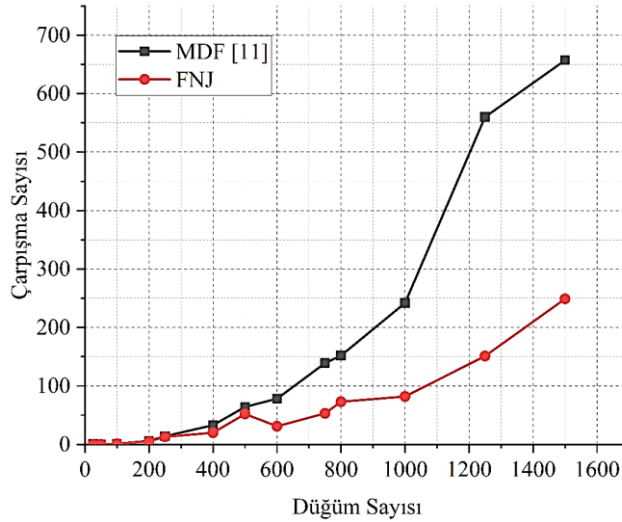
bir ağ düşünüldüğünde bu oranın gayet iyi bir değer olduğu söylenebilir. Tüm senaryolar dikkate alındığında ortalama katılım fazı süresi 0.8348 sn olmaktadır.

Düğüm sayısına bağlı olarak katılım fazı sürelerindeki değişimlerin diğer çalışmalarla karşılaştırması Şekil 6'da gösterildiği gibidir.



Şekil 6. Düğüm sayısına bağlı olarak Katılım Fazı Sürelerindeki değişimlerin karşılaştırması

Şekil 6'da görüldüğü üzere önerilen algoritmanın katılım fazı süreleri MDF'ye göre çok daha düşüktür. Bu da önerilen FNJ algoritmasının öncekine göre tüm düğümleri çok daha kısa sürede ağa kattığını göstermektedir. MDF çalışmasında bir düğümün ortalama ağa katılma süresi 0.012182 sn iken önerilen FNJ algoritması ile bu süre ortalama 0,005748 sn olarak gerçekleşmiştir. Böylece bu anlamda önerilen çalışma ile %52.82 daha iyi bir başarımla elde edilmiştir.

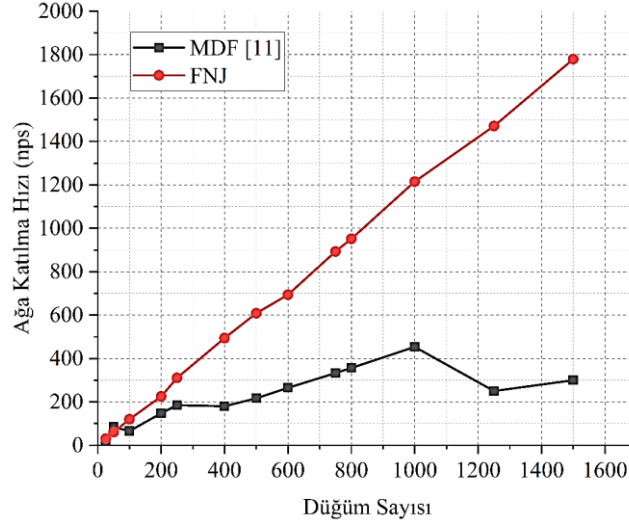


Şekil 7. Katılım fazında meydana gelen toplam çarpışmaların karşılaştırması

Katılım fazında meydana gelen toplam çarpışmaların karşılaştırması ise Şekil 7'de sunulmuştur. Şekil 7'de gösterildiği üzere önerilen FNJ algoritması ile çarpışma sayılarında, MDF'ye kıyasla önemli düşüşler elde edilmiştir. 500 düğümlü senaryoya kadar her iki çalışma da benzer performans sergilerken 500 düğümün sonra MDF'deki çarpışma miktarlarında ciddi artışlar söz konusudur. Öte yandan önerilen FNJ algoritmasının çarpışma sayılarında çok daha düşük ivmeli bir artış olmuştur. Düğüm sayıları arttıkça çalışmalar arasındaki farkın gittikçe açıldığı bariz bir şekilde görülmektedir. MDF çalışmasında tüm senaryolar toplamında düğüm başına düşen çarpışma miktarı 0.262222 iken önerilen

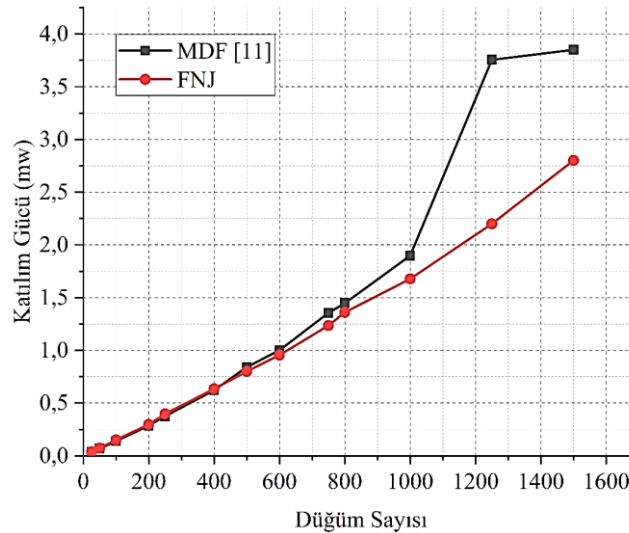
algoritma ile bu değer 0.098451 olarak gerçekleşmiştir. Böylece önerilen FNJ algoritması ile MDF çalışmasına göre çarpışmalar %62.46 oranında azaltarak daha iyi bir başarımlar elde edilmiştir.

Ağa katılan düğümlerin sayısına bağlı olarak düğümlerin ağa katılma hızları, MDF ve önerilen FNJ algoritması için Şekil 8’de gösterildiği gibidir.



Şekil 8. Ağa katılma hızlarının karşılaştırılması

Şekil 8’de gösterildiği üzere önerilen algoritma, MDF’ye göre daha iyi bir başarımlar sergilemiştir. Düğüm sayısı arttıkça MDF’nin başarımlarını sınırlı kalmakla beraber en büyük başarımlarını 1000 düğümlü senaryoda göstermiştir. MDF’nin başarımlarının sınırlı kalması Şekil 7’deki çarpışma grafiği dikkate alındığında anlamlı olmaktadır. Öte yandan bu çalışmada önerilen FNJ algoritması, düğüm sayısının artışına paralel bir başarımlar sergilemektedir. Ağa katılım hızı kararlı bir artış göstermektedir. MDF çalışmasında tüm senaryolar toplamında ortalama hız 245.27 nps iken bu değer önerilen FNJ algoritması ile 681.39 nps olarak gerçekleşmiştir. Böylece önerilen FNJ algoritması ile MDF çalışmasına göre ağa katılım hızı %277.81 oranında artırılarak daha iyi bir başarımlar elde edilmiştir.



Şekil 9. Ağa katılma fazında düğümlerce harcanan toplam güç miktarları

Son olarak KD ve AD’lerin ağa katılma fazında harcadıkları toplam güçlerin MDF ve FNJ algoritmaları için karşılaştırması Şekil 9’da gösterilmiştir. Her iki çalışmada da başlangıçta harcanan güç miktarları birbirine çok yakın iken, 500 düğümlü senaryodan itibaren MDF’nin güç harcama değerlerinde FNJ’ye göre artışlar olduğu görülmektedir. Özellikle 1000 düğümlü senaryodan itibaren



eğriler arasındaki fark ciddi oranda artmaktadır. Enerji harcama konusunun KAA'ların ömrü açısından çok önemli bir parametre olduğu düşünülürse FNJ algoritmasının bu konuda MDF'ye göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Tüm senaryolar toplamında düğüm başına düşen ortalama harcanan güç miktarı  $2.11 \mu\text{W}$  iken bu değer FNJ algoritması için  $1.7 \mu\text{W}$ 'dir. Sonuç olarak bu çalışmada önerilen FNJ algoritması ile MDF'ye göre %19.5'lik bir başarımlık elde edilmiştir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, tek atlamalı KAA'lar için AD'lerin hızlı ve etkili bir şekilde ağa katılmalarını sağlamak üzere, yeni bir ağa katılma algoritması (FNJ) geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma ile düğümlerin hızlı bir şekilde ağa katılarak ağda kalmaları, kopma durumlarında ise yeniden hızlı bir şekilde ağa bağlanmaları amaçlanmıştır. Geliştirilen algoritmanın Opnet Modeler ortamında farklı düğüm yoğunluklarında benzetim çalışması yapılmış ve elde edilen bulgular MDF ağa katılım algoritması ile kıyaslanmıştır.

Elde edilen bulgular ışığında, bu çalışmada önerilen FNJ algoritmasının MDF algoritmasına kıyasla katılım fazı sürelerinde %52.82, çarpışmaları azaltma açısından %62.46, düğümlerin ağa katılma hızında %277.81 ve son olarak KD ve AD'lerin ağa katılma fazında harcadıkları toplam güç değerlerinde de %19.5 daha başarılı olduğu görülmüştür.

Geliştirilen algoritmanın özellikle çok yüksek düğüm sayılarında bile stabil davranması ve 1500 düğümü 1 saniyenin altında ağa dâhil edebilmesi yönüyle dikkate değerdir. Tüm bunların yanında harcanan güç miktarları ve çarpışma değerlerinde de olumlu yönde iyileştirmeler söz konusudur. Sadece tek atlamalı KAA'lar için uygun olması ve  $N_{max}$  parametresine sıkı bağımlılığı, algoritmanın dezavantajları olarak görülebilir.

Gelecek çalışmalarda, geliştirilen FNJ algoritmasının Mobil KAA'lar için optimize edilmesi ve performans iyileştirmeleri hedeflenmektedir. Ayrıca bu algoritmanın KAA'ların özel bir durumu olan Doğrusal KAA'lara uygulanması düşünülmektedir.

#### Kaynaklar

1. Ata O., Uçar E., Balık H.H. 2011. Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Kullanılan Teknoloji ve Protokoller Üzerine Bir inceleme, İstanbul Aydın Üniversitesi Derg, 3(12):51–68.
2. Mao X., Miao X., He Y., Li X-Y., Liu Y. 2012. CitySee: Urban CO2 monitoring with sensors, 2012 Proceedings IEEE INFOCOM (IEEE), pp 1611–1619.
3. Winkler M., Tuchs K., Hughes K., Barclay G. 2008. Theoretical and practical aspects of military wireless sensor networks, J Telecommun Inf Technol, 2:37–45.
4. Hussain M.A., Khan P., Kwak kyung Sup. 2009. WSN Research Activities for Military Application, Adv Commun Technol 2009 ICACT 2009 11th Int Conf, 01:271–274.
5. Khan P., Hussain M.A., Kwak K.S. 2009. Medical Applications of Wireless Body Area Networks, Int J Digit Content Technol its Appl, 3(3):185–193.
6. Aktağ F., Çeken C., Erkan K., Yıldırım M. 2011. Kablosuz Algılayıcı Ağlar Kullanılarak Birinci Dereceden Ölü Zamanlı Bir Sistemin Denetimi, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), pp 251–256, Elazığ.
7. Cibuk M., Balık H.H. 2011. A novel solution approach and protocol design for bio-telemetry applications, Adv Eng Softw, 42(7):513–528.
8. Dilay Y., Soy H., Bayrak M. 2012. Hassas Tarımda Kablosuz Algılayıcı Ağların Kullanımı ve Uygulama Alanlarının İncelenmesi, Iğdır Üniversitesi Fen Bilim Enstitüsü Derg, 2(2):21–26.
9. Türker G.F., Tarımer İ. 2011. Türkiye'de Kablosuz Algılayıcı Ağlar ile Yapılan Teknolojik Uygulamalar Üzerine Bir İnceleme, Akademik Bilişim'11 - XIII. Akademik Bilişim Konferansı, pp 75–81, Malatya.
10. Ökdem S., Karaboğa D. 2007. Kablosuz Algılayıcı Ağlarında Yönlendirme Teknikleri, Akademik Bilişim'07 - IX. Akademik Bilişim Konferansı, pp 409–415.

11. Çıbuk M., Arı D., Çınar H. 2016. A New Multi-Channel Algorithm Of Join The Network For Single Hop Multi-Node Sensor Networks, International Engineering, Science and Education Conference - INESEC 2016, pp 1–3, Diyarbakır.
12. Çıbuk M., Arı D., Ağgün F. 2017. Network Joining Algorithm with a New Relay Mechanism for Vehicle Networks, International Advanced Technologies Symposium (IATS17), pp 3451–3458, Elazığ.
13. Arı D., Çıbuk M., Ağgün F. 2017. Effect of Relay-Priority Mechanism on Multi-hop Wireless Sensor Networks, Bitlis Eren Univ J Sci Technol, 7(2):145–153.
14. Souissi M., Meddeb A. 2017. Modelling of clustering with relay nodes in wireless sensor networks. 2017 IEEE 7th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC) (IEEE), pp 1–6.
15. Djenouri D., Bagaa M. 2017. Energy-Aware Constrained Relay Node Deployment for Sustainable Wireless Sensor Networks, IEEE Trans Sustain Comput, 2(1):30–42.
16. Anchora L., Capone A., Mighali V., Patrono L., Simone F. 2014. A novel MAC scheduler to minimize the energy consumption in a Wireless Sensor Network, Ad Hoc Networks, 16:88–104.
17. Jha M.K., Pandey A.K., Pal D., Mohan A. 2011. An energy-efficient multi-layer MAC (ML-MAC) protocol for wireless sensor networks, AEU - Int J Electron Commun, 65(3):209–216.
18. Vullers R., Schaijk R., Visser H., Penders J., Hoof C. 2010. Energy Harvesting for Autonomous Wireless Sensor Networks, IEEE Solid-State Circuits Mag, 2(2):29–38.
19. Xie L., et al. 2015. Multi-Node Wireless Energy Charging in Sensor Networks, IEEE/ACM Trans Netw, 23(2):437–450.
20. Huang X., Zhai H., Fang Y. 2008. Robust Cooperative Routing Protocol in Mobile Wireless Sensor Networks, IEEE Transactions on Wireless Communications, 5278–5285.
21. Tang H., Cao J., Sun C., Lu K. 2013. REA-MAC: A low latency routing-enhanced asynchronous duty-cycle MAC protocol for wireless sensor networks, J Cent South Univ, 20(3):678–687.
22. Yetgin H., Cheung K.T.K., El-Hajjar M., Hanzo L. 2017. A Survey of Network Lifetime Maximization Techniques in Wireless Sensor Networks, IEEE Commun Surv Tutor, 19(2):828–854.
23. Shukeri N.M., Rahim M.A.A., Wan T-C. 2016. Empirical testing of prototype real-time multi-hop MAC for Wireless Sensor Networks. 2016 6th IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE) (IEEE), pp 10–15.
24. Ngo-Quynh T., Tran-Quang V., Nguyen-Trung Q. 2016. A low-latency communication protocol for target tracking in wireless sensor networks, EURASIP J Wirel Commun Netw, 2016 (1): 33.
25. Li X., Peng M., Cai J., Yi C., Zhang H. 2016. OPNET-based modeling and simulation of mobile Zigbee sensor networks. Peer-to-Peer Netw Appl, 9 (2): 414–423.
26. Biswas S. 2017. Simulation Model of Beacon Enabled 802.15.4 Networks with OPNET Modeler, 2017 International Electrical Engineering Congress (IEECON) (IEEE), pp 1–4.
27. Gürtürk U., Daş R. 2017. A Review of Network Simulation and Modeling Tools, Afyon Kocatepe Univ J Sci Eng, 17 (2): 516–536.
28. Riverbed. 2018. OPNET Technologies – Network Simulator. Available at: <https://www.riverbed.com/gb/products/steelcentral/opnet.html> (Erişim Tarihi: 02.05.2018).
29. Wikipedia.org. 2018. Carrier-sense multiple access with collision avoidance (CSMA/CA). Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Carrier-sense\\_multiple\\_access\\_with\\_collision\\_avoidance](https://en.wikipedia.org/wiki/Carrier-sense_multiple_access_with_collision_avoidance) (Erişim Tarihi: 02.05.2018).

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Examination of $^{11}\text{Be}+d$ Reaction with Different Nuclear Potentials

Murat AYGÜN<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Bitlis Eren University, Department of Physics, Bitlis, 13000, Turkey

---

### Abstract

In this study, we aim to see the efficiency of various nuclear potentials in explaining the elastic scattering angular distribution of  $^{11}\text{Be}+d$  system at 295.9 MeV. We investigate twelve different nuclear potentials which consist of Gaussian-Gaussian (G-G), Exponential-Exponential (E-E), Yukawa-Yukawa (Y-Y), Woods Saxon-Woods Saxon (WS-WS), Woods Saxon Squared-Woods Saxon Squared ( $\text{WS}^2\text{-WS}^2$ ), Gaussian-Yukawa (G-Y), Yukawa-Gaussian (Y-G), Gaussian-Woods Saxon (G-WS), Woods Saxon-Gaussian (WS-G), Gaussian-Woods Saxon Squared (G- $\text{WS}^2$ ), Woods Saxon Squared-Gaussian ( $\text{WS}^2\text{-G}$ ) and Exponential-Gaussian (E-G) potentials. Our results are compared with the literature results as well as the experimental data. Thus, the similarities and differences of the nuclear potentials evaluated with this study are displayed.

**Keywords:** Nuclear Potential, Optical Model, Elastic Scattering.

---

## Farklı Nükleer Potansiyeller ile $^{11}\text{Be}+d$ Reaksiyonunun İncelenmesi

---

### Öz

Bu çalışmada, 295.9 MeV'de  $^{11}\text{Be}+d$  sisteminin elastik saçılma açılma dağılımını açıklamada çeşitli nükleer potansiyellerin etkinliğini görmeği amaçlıyoruz. Gaussian-Gaussian (G-G), Exponential-Exponential (E-E), Yukawa-Yukawa (Y-Y), Woods Saxon-Woods Saxon (WS-WS), Woods Saxon Squared-Woods Saxon Squared ( $\text{WS}^2\text{-WS}^2$ ), Gaussian-Yukawa (G-Y), Yukawa-Gaussian (Y-G), Gaussian-Woods Saxon (G-WS), Woods Saxon-Gaussian (WS-G), Gaussian-Woods Saxon Squared (G- $\text{WS}^2$ ), Woods Saxon Squared-Gaussian ( $\text{WS}^2\text{-G}$ ) ve Exponential-Gaussian (E-G) potansiyellerinden oluşan on iki farklı nükleer potansiyeli inceliyoruz. Sonuçlarımız deneysel datanın yanı sıra literatür sonuçlarıyla karşılaştırılıyor. Böylece, bu çalışmayla değerlendirilen nükleer potansiyellerin benzerlikleri ve farklılıkları gösteriliyor.

**Anahtar kelimeler:** Nükleer Potansiyel, Optik Model, Elastik Saçılma.

---

### 1. Introduction

The elastic scattering data of  $^{11}\text{Be}+d$  reaction at  $E_{\text{Lab}} = 295.9$  MeV has been measured for the first time by Chen et al. [1]. They have applied optical potentials and an extended version of the Continuum Discretized Coupled-Channels (XCDCC) formalism in order to analyze the experimental data. Then, four-body continuum effect on  $^{11}\text{Be}+d$  scattering has been investigated with a new reaction model, a four-body extension of the Continuum Discretized Coupled Channel (CDCC) model [2]. We think that it is important to examine the effects of phenomenological nuclear potentials on the elastic scattering of  $^{11}\text{Be}+d$  reaction.

In this work, we investigate twelve different nuclear potentials which consist of Gaussian-Gaussian (G-G), Exponential-Exponential (E-E), Yukawa-Yukawa (Y-Y), Woods Saxon-Woods Saxon (WS-WS), Woods Saxon Squared-Woods Saxon Squared ( $\text{WS}^2\text{-WS}^2$ ), Gaussian-Yukawa (G-Y), Yukawa-Gaussian (Y-G), Gaussian-Woods Saxon (G-WS), Woods Saxon-Gaussian (WS-G), Gaussian-Woods Saxon Squared (G- $\text{WS}^2$ ), Woods Saxon Squared-Gaussian ( $\text{WS}^2\text{-G}$ ) and Exponential-Gaussian (E-G) potentials. We compare all the theoretical results with both the literature and the experimental data.

---

\*Sorumlu yazar: [maygun@beu.edu.tr](mailto:maygun@beu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 10/12/2017 Kabul Tarihi: 19/01/2018

## 2. Theoretical Formalism

In our work, to see the state of being feasible of different nuclear potentials in obtaining the elastic scattering angular distributions, the optical model is used. In this context, the total potential is assumed as

$$V_{total}(r) = V_N(r) + V_C(r) \quad (1)$$

where  $V_N$  is nuclear potential and  $V_C$  is Coulomb potential.

### 2.1. Gaussian-Gaussian (G-G) Potential

Firstly, we assume Gaussian-Gaussian (G-G) potential given by [3,4]

$$V_N^{G-G}(r) = -V_1 \exp\left[-\left(\frac{r-R_{v1}}{a_{v1}}\right)^2\right] - V_2 \exp\left[-\left(\frac{r-R_{v2}}{a_{v2}}\right)^2\right] \quad (2)$$

where  $R_i = r_i(A_P^{1/3} + A_T^{1/3})$ ,  $i=v1, v2$ , and  $A_P$  and  $A_T$  are mass numbers of projectile and target nuclei, respectively.

### 2.2. Exponential-Exponential (E-E) Potential

Secondly, we handle Exponential-Exponential (E-E) potential parametrized by [3,4]

$$V_N^{E-E}(r) = -V_1 \exp\left[-\left(\frac{r-R_{v1}}{a_{v1}}\right)\right] - V_2 \exp\left[-\left(\frac{r-R_{v2}}{a_{v2}}\right)\right]. \quad (3)$$

### 2.3. Yukawa-Yukawa (Y-Y) Potential

Thirdly, the real and imaginary potentials are considered as Yukawa-Yukawa (Y-Y) potential presented by [3,4]

$$V_N^{Y-Y}(r) = -V_1 \frac{\exp\left[-\left(\frac{r-R_{v1}}{a_{v1}}\right)\right]}{r} - V_2 \frac{\exp\left[-\left(\frac{r-R_{v2}}{a_{v2}}\right)\right]}{r}. \quad (4)$$

### 2.4. Woods Saxon-Woods Saxon (WS-WS) Potential

Another nuclear potential is Woods Saxon-Woods Saxon (WS-WS) potential shown by [3,4]

$$V_N^{WS-WS}(r) = -\frac{V_1}{1+\exp\left(\frac{r-R_{v1}}{a_{v1}}\right)} - \frac{V_2}{1+\exp\left(\frac{r-R_{v2}}{a_{v2}}\right)}. \quad (5)$$

### 2.5. Woods Saxon Squared-Woods Saxon Squared (WS<sup>2</sup>-WS<sup>2</sup>) Potential

Woods Saxon Squared-Woods Saxon Squared (WS<sup>2</sup>-WS<sup>2</sup>) potential is formulated by [3,4]

$$V_N^{WS^2-WS^2}(r) = -\frac{V_1}{\left[1+\exp\left(-\left(\frac{r-R_{v1}}{a_{v1}}\right)\right)\right]^2} - \frac{V_2}{\left[1+\exp\left(-\left(\frac{r-R_{v2}}{a_{v2}}\right)\right)\right]^2}. \quad (6)$$

## 2.6. Gaussian-Yukawa (G-Y) Potential

Here, Gaussian-Yukawa potential (G-Y) is evaluated as [3,4]

$$V_N^{G-Y}(r) = -V_1 \exp\left[-\left(\frac{r-R_{v1}}{a_{v1}}\right)^2\right] - V_2 \frac{\exp\left[-\left(\frac{r-R_{v2}}{a_{v2}}\right)\right]}{r}. \quad (7)$$

## 2.7. Yukawa-Gaussian (Y-G) Potential

Yukawa-Gaussian potential (Y-G) is shown by [3]

$$V_N^{Y-G}(r) = -V_1 \frac{\exp\left[-\left(\frac{r-R_{v1}}{a_{v1}}\right)\right]}{r} - V_2 \exp\left[-\left(\frac{r-R_{v2}}{a_{v2}}\right)^2\right]. \quad (8)$$

## 2.8. Gaussian-Woods Saxon (G-WS) Potential

Gaussian-Woods Saxon (G-WS) potential is taken as [3,4]

$$V_N^{G-WS}(r) = -V_1 \exp\left[-\left(\frac{r-R_{v1}}{a_{v1}}\right)^2\right] - \frac{V_2}{1+\exp\left(\frac{r-R_{v2}}{a_{v2}}\right)}. \quad (9)$$

## 2.9. Woods Saxon-Gaussian (WS-G) Potential

Woods Saxon-Gaussian (WS-G) nuclear potential is displayed in the following form [3]

$$V_N^{WS-G}(r) = -\frac{V_1}{1+\exp\left(\frac{r-R_{v1}}{a_{v1}}\right)} - V_2 \exp\left[-\left(\frac{r-R_{v2}}{a_{v2}}\right)^2\right]. \quad (10)$$

## 2.10. Gaussian-Woods Saxon Squared (G-WS<sup>2</sup>) Potential

Here, Gaussian-Woods Saxon Squared (G-WS<sup>2</sup>) potential is thought as [3]

$$V_N^{G-WS^2}(r) = -V_1 \exp\left[-\left(\frac{r-R_{v1}}{a_{v1}}\right)^2\right] - \frac{V_2}{\left[1+\exp\left(-\left(\frac{r-R_{v2}}{a_{v2}}\right)\right)\right]^2}. \quad (11)$$

## 2.11. Woods Saxon Squared-Gaussian (WS<sup>2</sup>-G) Potential

Another potential is Woods Saxon Squared-Gaussian (WS<sup>2</sup>-G) potential shown by [3]

$$V_N^{WS^2-G}(r) = -\frac{V_1}{\left[1+\exp\left(-\left(\frac{r-R_{v1}}{a_{v1}}\right)\right)\right]^2} - V_2 \exp\left[-\left(\frac{r-R_{v2}}{a_{v2}}\right)^2\right]. \quad (12)$$

## 2.12. Exponential-Gaussian (E-G) Potential

Finally, Exponential-Gaussian (E-G) potential is parametrized by [3]

$$V_N^{E-G}(r) = -V_1 \exp\left[-\left(\frac{r-R_{v1}}{a_{v1}}\right)\right] - V_2 \exp\left[-\left(\frac{r-R_{v2}}{a_{v2}}\right)^2\right]. \quad (13)$$

## 3. Results and Discussion

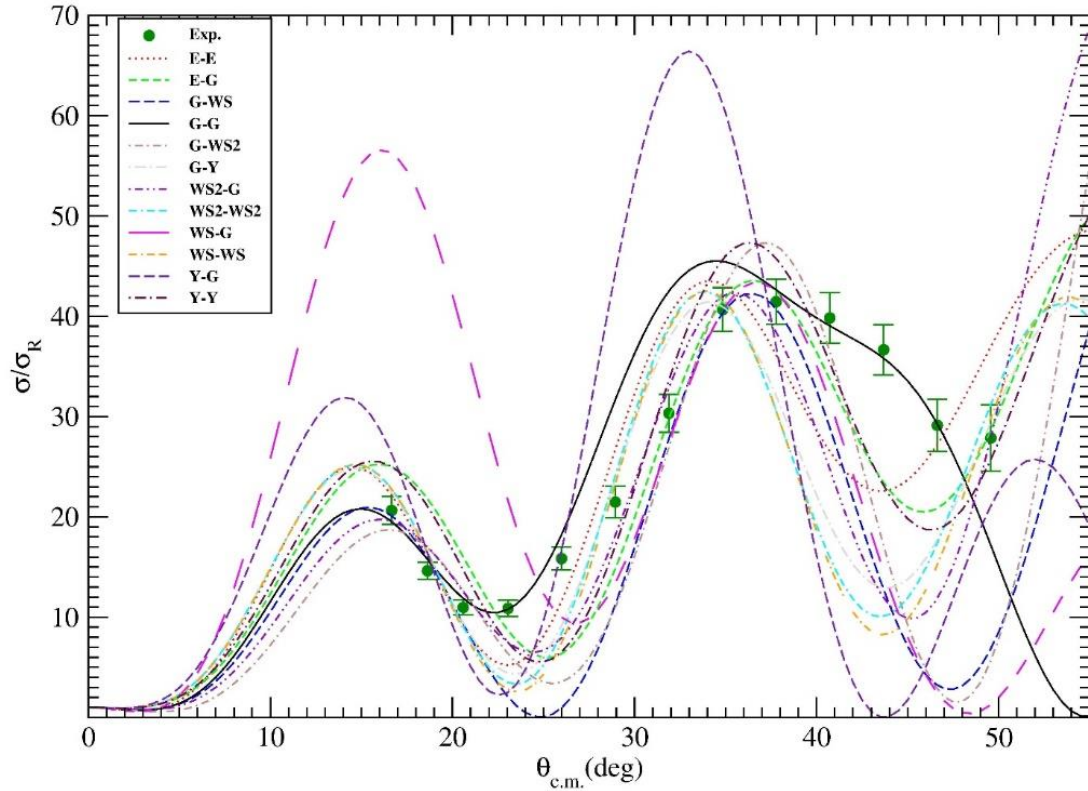
The elastic scattering angular distributions of  $^{11}\text{Be}+d$  reaction at  $E_{\text{Lab}}=295.9$  MeV have been obtained by using G-G, E-E, Y-Y, WS-WS,  $\text{WS}^2\text{-WS}^2$ , G-Y, Y-G, G-WS, WS-G, G- $\text{WS}^2$ ,  $\text{WS}^2\text{-G}$ , and E-G nuclear potentials. Each of the parameters of the nuclear potentials has been listed in Table 1. In addition, the cross sections obtained from the nuclear potential calculations have been given in Table 1.

**Table 1.** The optical model parameters and cross-sections obtained for G-G, E-E, Y-Y, WS-WS,  $\text{WS}^2\text{-WS}^2$ , G-Y, Y-G, G-WS, WS-G, G- $\text{WS}^2$ ,  $\text{WS}^2\text{-G}$ , and E-G nuclear potentials of  $^{11}\text{Be}+d$  reaction investigated by using the optical model

Potential	$V_1$ (MeV)	$r_{v1}$ (fm)	$a_{v1}$ (fm)	$V_2$ (MeV)	$r_{v2}$ (fm)	$a_{v2}$ (fm)	$\sigma_R$ (mb)
G-G	22.8	0.849	0.588	14.0	1.402	0.51	747.9
E-E	19.0	1.20	0.60	10.0	0.950	0.50	780.9
Y-Y	12.0	0.95	0.50	16.0	1.400	0.40	686.7
WS-WS	20.0	0.95	0.50	33.0	1.300	0.30	812.8
$\text{WS}^2\text{-WS}^2$	20.0	1.00	0.50	35.0	1.400	0.45	809.3
G-Y	15.0	0.95	0.50	43.5	1.350	0.50	807.7
Y-G	10.0	1.30	0.50	24.0	1.350	0.50	812.8
G-WS	20.0	1.05	0.50	13.0	1.195	0.50	719.5
WS-G	20.0	1.18	0.68	11.0	1.195	0.50	540.5
G- $\text{WS}^2$	17.0	1.09	0.50	13.0	1.160	0.50	505.6
$\text{WS}^2\text{-G}$	6.50	1.40	0.35	23.0	1.160	0.50	639.4
E-G	10.6	1.00	0.30	40.0	1.130	0.52	619.0

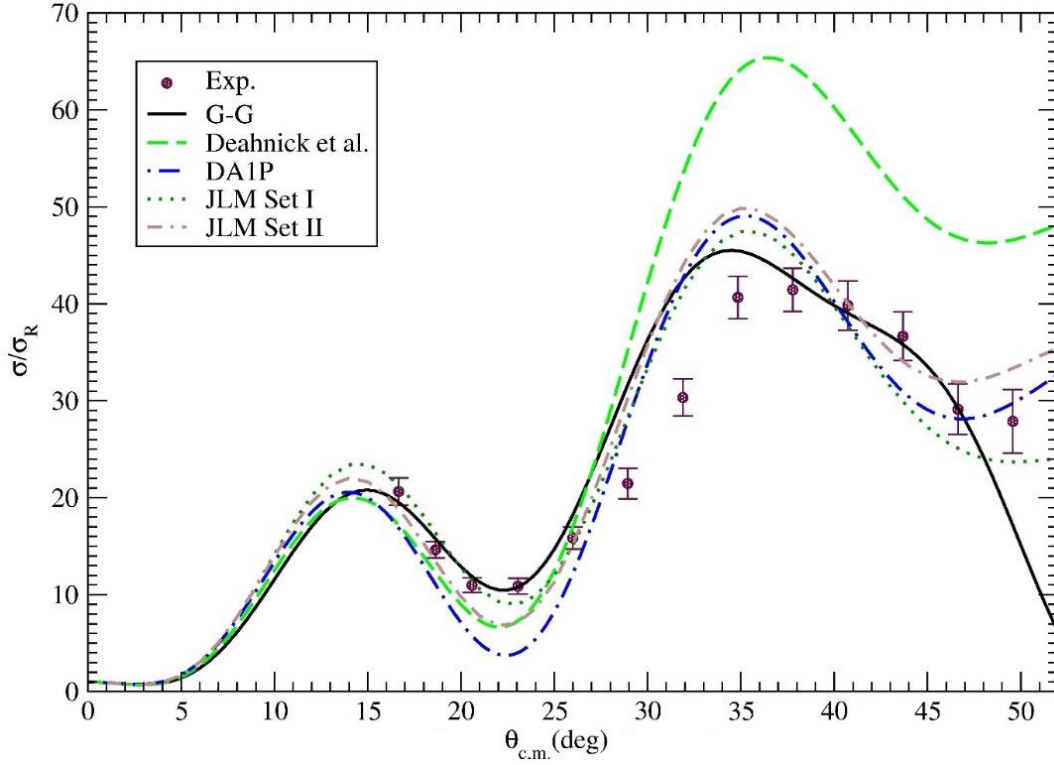
Figure 1 shows the elastic scattering results obtained from the theoretical calculations of twelve nuclear potentials as compared with the experimental data. In this respect, different situations depending on the structures of the analyzed potentials have been observed. It has been seen that the real part of G-Y potential plays an important role on theoretical results and Y potential is very effective in the calculations compared to G potential. Similar changes to G-Y potential calculations have been observed for Y-Y, WS-WS and  $\text{WS}^2\text{-WS}^2$  potential calculations. The changes in the parameters of the imaginary potential have been found to have a significant effect on the theoretical results.

On the other hand, we have observed a different situation in the theoretical calculations of G-G, E-E, G-WS, WS-G, G- $\text{WS}^2$ ,  $\text{WS}^2\text{-G}$  and Y-G potentials compared to other potential calculations. We have noticed that not only the imaginary potential but also the real potential are very effective on the theoretical calculations. In this context, the variation of real potential parameters have changed significantly the theoretical results. We have observed that the amplitude values for the calculations of Y-G potential are higher than the other potentials. In addition, we have seen that the G-G potential results are much better than the results of other potentials when compared the theoretical results of all the potentials.



**Figure 1.** The elastic scattering angular distributions of  $^{11}\text{Be}+d$  reaction at  $E_{\text{Lab}}=295.9$  MeV by using G-G, E-E, Y-Y, WS-WS,  $\text{WS}^2\text{-WS}^2$ , G-Y, Y-G, G-WS, WS-G,  $\text{G-WS}^2$ ,  $\text{WS}^2\text{-G}$ , and E-G nuclear potentials in comparison with the experimental data. The circles show the experimental data, which have been taken from [1]

Also, we have aimed to make a comparative study in order to see the effectiveness of our work. For this purpose, we have used the results of G-G nuclear potential which have given better results with the experimental data than the other nuclear potentials evaluated in our study. In Fig. 2, we have compared our results with the theoretical results obtained by using optical potentials and the XCDCC formalism by Chen et al. [1]. It can be clearly seen that G-G results obtained with this work are better than the other theoretical results. At small angles, G-G results are in very good agreement with data. Whereas both our results and literature miss the middle angles of the experimental data. On the other hand, at forward angles, our results are in well agreement with the data in comparison with the literature results.



**Figure 2.** Comparison of G-G and literature results for the elastic scattering angular distribution of  $^{11}\text{Be}+d$  reaction at  $E_{\text{Lab}}=295.9$  MeV

#### 4. Summary

In the present study, we have examined the effect of nuclear potentials on the elastic scattering data of  $^{11}\text{Be}+d$  reaction at  $E_{\text{Lab}} = 295.9$  MeV. For this, we have considered twelve different nuclear potentials and have applied in obtaining the elastic cross section of  $^{11}\text{Be}+d$  reaction. We have observed that the theoretical results are sensitive to the shapes of the nuclear potentials used in the calculations. We have noticed that G-G potential is in better agreement with the experimental in comparison with the other potentials. Then, we have compared our results with the literature. We have observed that G-G results are better than the literature results.

#### Acknowledgments

Author would like to thank J. L. Lou for providing the experimental data and the theoretical results.

#### References

1. Chen J., et al. 2016. Elastic Scattering and Breakup of  $^{11}\text{Be}$  on Deuterons at 26.9A MeV, Phys. Rev. C, 94: 064620.
2. Descouvemont P. 2017. Four-body Continuum Effects in  $^{11}\text{Be}+d$  Scattering, Phys. Lett. B, 772: 14.
3. Thompson, I.J. 2011. Fresco Version 2.9, <http://www.fresco.org.uk>
4. Aygün, M. 2017. A Theoretical Analysis of Quasi-elastic Scattering of  $^7\text{Li}$  by  $^{120}\text{Sn}$  using Various Nuclear Potentials, Journal of Nuclear Sciences, 4: 1-6.



---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Evaluation of Inhibition Effects of Some Cardiovascular Therapeutics on Human Erythrocyte Carbonic Anhydrase Isoenzymes**

Namık KILINÇ<sup>1\*</sup>, Zuhâl ALİM<sup>2</sup>, Bülent ŞENGÜL<sup>3</sup>, Mehmet Mustafa İŞGÖR<sup>4</sup>, Şükrü BEYDEMİR<sup>5</sup>

<sup>1</sup>*Iğdır University, Vocational School of Health Service, Department of Medical Services and Techniques, Iğdir, Turkey*

<sup>2</sup>*Ahi Evran University, Faculty of Science and Arts, Department of Chemistry, Kirsehir, Turkey*

<sup>3</sup>*Bayburt University, Vocational School of Health Service, Department of Health Care Service, Bayburt, Turkey*

<sup>4</sup>*Mustafa Kemal University, Faculty of Veterinary Sciences, Department of Biochemistry, Hatay, Turkey*

<sup>5</sup>*Anadolu University, Faculty of Pharmacy, Department of Biochemistry, Eskisehir, Turkey*

---

### **Abstract**

Carbonic anhydrase enzyme plays a vital role in metabolic events such as acid-base regulation and respiration. In our research, it is tried to determine the inhibitory influences of the cardiovascular therapeutics esmolol hydrochloride, amiodarone hydrochloride and lidocaine hydrochloride on human erythrocytes carbonic anhydrases (hCA I and II). In accordance with this purpose, carbonic anhydrase isoenzymes were purified from human erythrocytes by using affinity chromatography method. Enzyme purity was checked by SDS-PAGE electrophoresis method. After the carbonic anhydrase enzymes were purified, the inhibitory affects of cardiovascular therapeutics on these enzymes, using esterase activity, which is the method of measuring *in vitro* activity, were examined. The three cardiovascular therapeutics dose-dependently decreased activity of hCAs. IC<sub>50</sub> values of amiodarone hydrochloride, esmolol hydrochloride and lidocaine hydrochloride were found to be, respectively, 0.91 mM, 5 mM, 5.8 mM for hCA-I and 0.41 mM, 3.5 mM, and 6.36 mM for hCA-II. Our results proved that, under *in vitro* conditions, cardiovascular therapeutics significantly inhibit human CA-I and II activities. So, irregular use of these medicines may cause serious adverse effects in terms of human health.

**Keywords:** Carbonic Anhydrase, Cardiovascular Therapeutics, Enzyme Inhibition.

---

## **İnsan Eritrosit Karbonik Anhidraz İzoenzimleri Üzerine Bazı Kardiyovasküler Terapötiklerin İnhibisyon Etkilerinin İncelenmesi**

### **Öz**

Karbonik anhidraz enzimi, asit-baz düzenlemesi ve solunum gibi metabolik olaylarda hayati rol oynar. Bu çalışmada, bazı kardiyovasküler terapötiklerin (esmolol hidroklorür, amiodaron hidroklorür, lidokain hidroklorür) insan eritrositleri karbonik anhidraz I ve II izoenzimleri (hCA-I ve hCA-II) aktiviteleri üzerine inhibisyon etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, insan eritrositlerinden afinite kromatografisi yardımıyla karbonik anhidraz izoenzimleri (CA-I ve CA-II) saflaştırıldı. Enzim saflıkları SDS-PAGE ile kontrol edildi. Saflaştırmadan sonra, kardiyovasküler terapötiklerin hCA-I ve hCA-II aktivitesi üzerindeki inhibitör etkileri, *in vitro* olarak esteraz yöntemi kullanılarak farklı ilaç konsantrasyonlarında belirlendi. Üç kardiyovasküler terapötik doza bağımlı olarak enzim aktivitelerini azalttı. Amiodaron hidroklorür, esmolol hidroklorür ve lidokain hidroklorür'ün IC<sub>50</sub> değerleri hCA-I için sırasıyla 0.91 mM, 5 mM, 5.8 mM olarak, hCA-II için sırasıyla 0.41 mM, 3.5 mM, 6.36 mM olarak bulundu. Bulgularımız, kardiyovasküler terapötiklerin *in vitro* koşullarda hCA-I ve hCA-II aktivitesini önemli ölçüde inhibe ettiğini göstermektedir. Bu nedenle, bu ilaçların kontrolsüz kullanımı insan sağlığı için ciddi yan etkilere neden olabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Enzim İnhibisyonu, Karbonik Anhidraz, Kardiyovasküler Terapötikler.

---

\*Sorumlu yazar: [namik.kilinc@igdir.edu.tr](mailto:namik.kilinc@igdir.edu.tr)

Geliş Tarihi: 22/10./2017 Kabul Tarihi: 25/01/2018

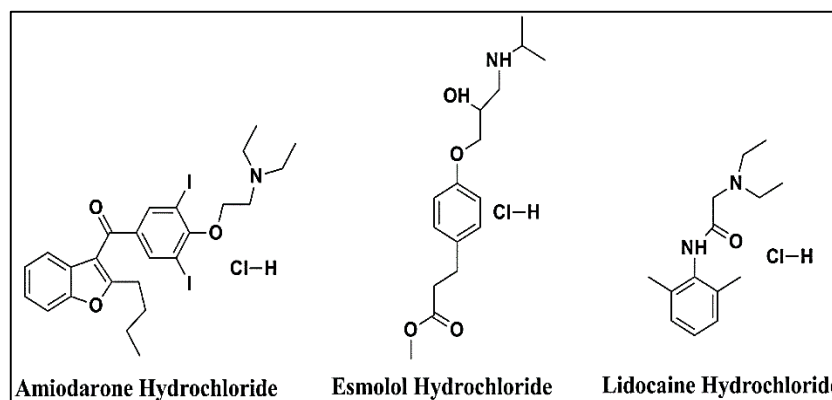
## 1. Introduction

Carbonic anhydrases (EC 4.2.1.1) are one of the most critical enzymes of the biological compositions and this enzyme contains a zinc metal ion in its active center. CAs catalyze the interconversion of CO<sub>2</sub> to bicarbonate (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ion. In addition to, carbonic anhydrase involved in very different physiological procedures like pH and carbon dioxide homeostasis, biosynthetic reactions (such as lipogenesis, ureagenesis, and gluconeogenesis) and pathological processes like tumor growth and calcification [1,2].

Sixteen isoenzymes of carbonic anhydrase has been detected up to now in animal kingdom. These isoenzymes indicate a difference in terms of their catalytic activity, subcellular localization and sensitivity to varied classes of activators and inhibitors [3]. CA-I and CA-II are cytosolic isozymes and they are abundant amounts of erythrocytes. The most important function of these isoenzymes is in the respiration by catalyzing the metabolism product, the CO<sub>2</sub> molecule, the reaction of HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> in the tissue capillaries, and the conversion of HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> into CO<sub>2</sub> in the pulmonary capillaries. CA II isoenzyme is the most studied isoenzyme which has the highest turnover number in CAs [4]. CA-II plays a role in primer transport of sodium to the eye and it helps to regulate the intraocular pressure [5]. In addition to its physiological functions, the literature also mentions that CA-II is associated with cancer. CA-II isoenzymes are responsible for regulating the pH balance between the cancer cells and the microenvironment. [6]. In vitro cell culture, which resembles the conditions of cancer cell microenvironment, has been shown to increase CA-II expression in endothelial cells [7]. Yoshira and colleagues as shown in their research that CA-II is expressed in endothelial tumor vasculature of lung, renal, esophageal, and melanoma cancers [8]. It is also reported by Parkkila *et al.* that CA-II can be used as a biomarker in gastrointestinal stromal tumors [9]. Due to all these functions, CAs are vital in metabolism and it is very important to know the inhibitors of carbonic anhydrase isoenzymes for biomedical applications.

In this research, it is examined the in vitro inhibitory affects of cardiovascular therapeutics esmolol hydrochloride, amiodarone hydrochloride and lidocaine hydrochloride on the activities of human erythrocyte carbonic anhydrases. Esmolol hydrochloride is a cardioselective agent that blocks the β<sub>1</sub> adrenergic receptor. It's commonly used in the treatment of ventricular and supraventricular arrhythmias, which are frequently used in emergencies [10]. Amiodarone hydrochloride is an antiarrhythmic drug. It has been used in treating of diverse irregular heartbeats [11]. Lidocaine hydrochloride exerts an antiarrhythmic effect. It has been used to treat ventricular tachycardia. In addition to, it can be used for nerve blocks [12].

Consequently, carbonic anhydrases (CA-I and II) were purified in one-step from human erythrocytes and studied in vitro inhibitory effects of esmolol hydrochloride, amiodarone hydrochloride, lidocaine hydrochloride (Figure 1) on these important isoenzymes. It has been found that hCA I and II enzyme activities are reduced at very low concentrations of the above mentioned medicines.



**Figure 1.** Cardiovascular therapeutics' molecular structures used in this research

## **2. Materials and Methods**

Para-aminobenzene sulfonamide and L-tyrosine were provided by E. Merck (Merck KGaA, Darmstadt, Germany). Protein assay reagents, electrophoresis chemicals and activated with CNBr Sepharose 4B were provided by Sigma- Aldrich Co. All other chemicals used in our study were provided from Sigma-Aldrich or Merck companies. Esmolol hydrochloride, amiodarone hydrochloride, lidocaine hydrochloride were purchased from a local pharmacy.

### **2.1. Enzyme activity method of carbonic anhydrase**

The measurement of the activity of the carbonic anhydrase isoenzymes can be tested in two different in vitro methods:

#### Hydratase activity method

The hydratase activity based on the computation of physiological activity of the carbonic anhydrase enzyme is one of the measurement methods of the carbonic anhydrase enzyme activity. As Wilbur and Anderson reported the hydratase activity method was performed [13]. The hydratase activity values were computed as the enzyme unit (EU) using the  $(t_0 - t_c) / t_c$  equation. ( $t_0$ = the time change in pH of the non-enzymatic reaction,  $t_c$ = the time change in pH of the enzymatic reaction.) We used this activity measurement method during all the purification procedures.

#### Esterase activity method

The esterase activity based on the monitoring of the absorbance differences on the conversion between 4-nitrophenyl acetate and the 4-nitrophenolate ion was used to measure the in vitro activity of carbonic anhydrase enzyme [14].

### **2.2. Purification of human erythrocyte carbonic anhydrase isozymes through affinity chromatography**

The purification procedures of the CAI and CAII isozymes were performed by the Sepharose-4B L-tyrosine sulfanilamide affinity chromatography column as in our previous work [15].

### **2.3. Determination of Protein**

The amount of protein in all purification procedures were detected using a spectrophotometer at 595 nm wavelength as stated in the Bradford procedure where bovine serum albumin protein was used as a standard protein [16].

### **2.4. SDS–polyacrylamide gel electrophoresis**

The purity of the isoenzymes was checked using the SDS-PAGE procedure using gels prepared in two different acrylamide concentrations, 3% to running gel and 8% to stacking gel, as reported by Laemmli [17].

### **2.5. In Vitro inhibition studies**

The activities of Carbonic anhydrases were carried out spectrophotometric method which by monitoring the absorbance changes at 348 nm wavelength. Enzyme inhibition studies utilized esterase activity procedure. 4-nitrophenyl acetate (NPA) was used as the substrate for the carbonic anhydrase enzyme in this method. The inhibition efficacy of amiodarone hydrochloride, esmolol hydrochloride, lidocaine hydrochloride on the activity of pure carbonic anhydrases from human erythrocyte were studied. These studies were carried out by testing three times in five different drug compounds concentrations.

Percentage of enzyme activity values versus drug concentration graphics was plotted and IC<sub>50</sub> values were computed from these curves.

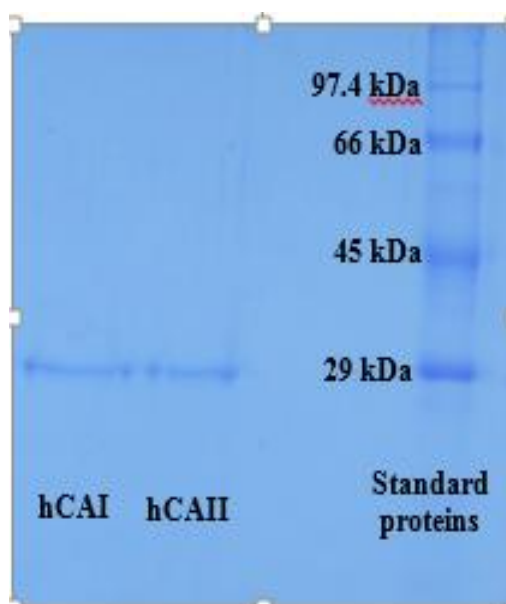
### 3. Results

The carbonic anhydrases (hCA I and hCA II) were purified from human erythrocytes. hCA-I and hCA-II isozymes were purified with a yield of 39.5% and 49.5% and specific activity of 441.1 and 4411.7 EU mg<sup>-1</sup>, respectively using affinity gel chromatography which is a chromatographic method based on selective absorption. The whole purification was about 59.9-fold for hCA-I and 599.4-fold for hCA-II. (Table 1).

**Table 1.** Human erythrocytes carbonic anhydrases (CA-I and CA-II) purification results

Purification Steps	Activity (EU/ml)	Total Volume (ml)	Protein (mg ml <sup>-1</sup> )	Total Protein (mg)	Total Activity (EU)	Specific Activity (EU mg <sup>-1</sup> )	Yield (%)	Purification factor
Hemolysate	200	50	27.16	1 358	10 000	7.36	100	1
hCA-I	470	8.40	1.065	8.95	3 948	441.1	39.5	59.9
hCA-II	825	6	0.187	1.122	4950	4 411.7	49.5	599.4

Using affinity chromatography each purified isoenzyme gave a single band in SDS-PAGE (Figure 2).



**Figure 2.** The results of purified erythrocyte hCA-I and hCA-II with SDS-PAGE

Inhibition studies were performed with this purified enzyme. The inhibitory affects of certain cardiovascular therapeutics (amiodarone hydrochloride, esmolol hydrochloride, lidocaine hydrochloride) on these *in vitro* enzyme activities were assayed and IC<sub>50</sub> values were calculated using activity%-[inhibitor] graphics (Figure 3 and Figure 4).

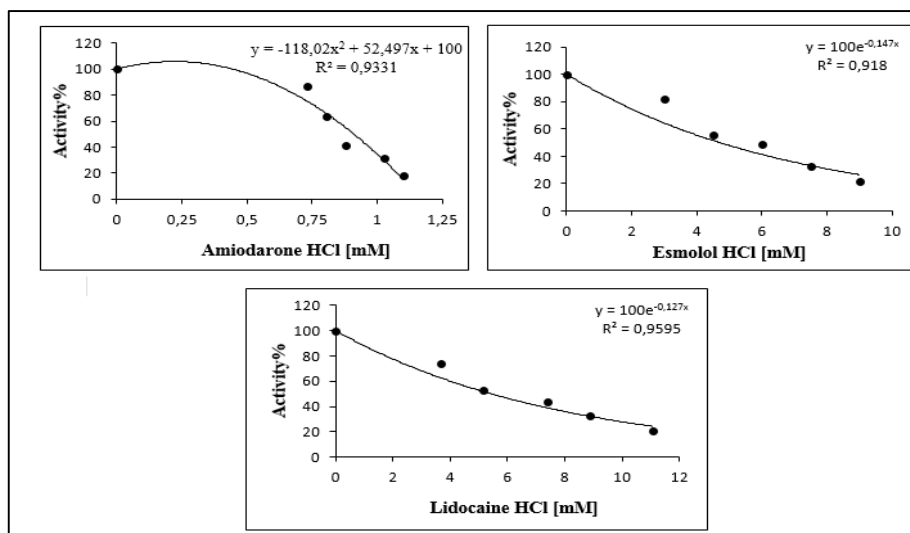


Figure 3 Graphics of activity% versus drug concentration for hCA-I at different drug concentrations.

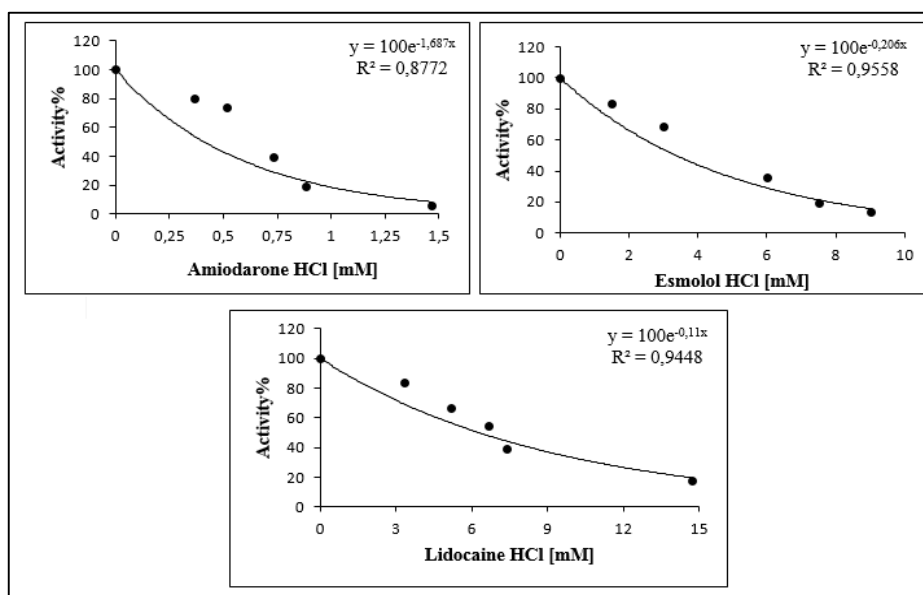


Figure 4. Graphics of activity% versus drug concentration for hCA-II at different drug concentrations

IC<sub>50</sub> values of amiodarone hydrochloride, esmolol hydrochloride and lidocaine hydrochloride for hCA-I were determined as 0.91 mM, 5 mM, 5.8 mM, respectively. IC<sub>50</sub> values of amiodarone hydrochloride, esmolol hydrochloride and lidocaine hydrochloride for hCA-II were determined as 0.41 mM, 3.5 mM, 6.36 mM, respectively (Table 2).

Table 2. IC<sub>50</sub> values for amiodarone hydrochloride, esmolol hydrochloride and lidocaine hydrochloride.

Cardiovascular Therapeutics	Esterase Activity of	Esterase Activity of
	hCA-I	hCA-II
	IC <sub>50</sub>	IC <sub>50</sub>
Amiodarone Hydrochloride	0.91 mM	0.41 mM
Esmolol Hydrochloride	5 mM	3.5 mM
Lidocaine Hydrochloride	5.8 mM	6.36 mM

#### 4. Discussion and Conclusion

The importance of CA inhibitors in the treatment and diagnosis of diseases has been revealed as a result of inhibition studies on CA enzyme for the treatment of glaucoma disease. In these studies, besides clarification of catalytic mechanisms of CA enzyme, the distribution of this enzyme to tissues and the vital functions in these tissues are understood. As a result of, the synthesis of inhibitors and activators of the CA enzyme has been accelerated. Up to now, various inhibitors of CAs have been synthesized and some of them have been used as a drug in the treatment of different diseases like cancer, glaucoma, epilepsy and other neurological illness [18].

Various studies have now been carried out on the basis of many of the diseases in which the activities of some proteins increase and the activities of these proteins have to be selectively stopped by certain chemical substances. On the other hand, it is crucial to investigate the side effects of drugs used in the treatment of many diseases. Because drugs and chemical substances show their effects on metabolism through enzymes. That is, they stop or enhance the activity of a particular enzyme. Therefore, knowing these effects of molecules is very important for drug design studies [18,19,20].

In presented research, it was objected to define the inhibitory effects of some cardiovascular therapeutics on carbonic anhydrase I and II isoenzymes which purified from human erythrocytes. In accordance with this purpose, hCA-I and hCA-II enzymes were purified by using Sepharose-4B-L tyrosine-sulfanilamide affinity gel chromatography. hCA-I and hCA-II isozymes were purified with yield of 39.5% and 49.5% and specific activity of 441.1 and 4411.7 EU mg<sup>-1</sup>, respectively using affinity gel chromatography which is a chromatographic method based on selective absorption. The aggregate purification values were approximately 59.9-fold for hCA-I and 599.4-fold for hCA-II. Additionally, purities of the isoenzymes were controlled using SDS-PAGE. Purified hCA-I and hCA-II isoenzymes showed a single band at 29 kDa on the SDS-PAGE gel (Figure 1). Afterwards all purification steps, the *in vitro* inhibitory effects of cardiovascular therapeutics (Amiodarone hydrochloride, esmolol hydrochloride, lidocaine hydrochloride) on hCAs activities were designated at different drug concentrations using the esterase method. One of the reactions that do not occur in the physiological environment is esterase activity, which is catalyzed by the Carbonic Anhydrase enzyme. The esterase activity method basis for the hydrolysis of p-nitrophenyl acetate by carbonic anhydrase enzyme. The formed p-nitrophenol is ascertained spectrophotometrically by light absorption at 340 nm. [14].

Thus, amiodarone hydrochloride, esmolol hydrochloride, and lidocaine hydrochloride showed inhibitory influences on esterase activities of hCA-I and hCA-II. The inhibition values of the enzymes are designated by calculating IC<sub>50</sub>. In our presented study, IC<sub>50</sub> values of amiodarone hydrochloride, esmolol hydrochloride and lidocaine hydrochloride from drug compounds concentration versus activity% regression analysis graphics showed millimolar levels for hCA-I and hCA-II isozymes. IC<sub>50</sub> values of amiodarone hydrochloride, esmolol hydrochloride and lidocaine hydrochloride for hCA-I were determined as 0.91 mM, 5 mM, 5.8 mM, respectively. IC<sub>50</sub> values of amiodarone hydrochloride, esmolol hydrochloride and lidocaine hydrochloride for hCA-II were determined as 0.41 mM, 3.5 mM, 6.36 mM, respectively. It is clear from these results that each of these three drugs is an effective inhibitor of the human CA isoenzymes. Nevertheless, amiodarone hydrochloride was show more efficient inhibition effect on each carbonic anhydrase isoenzymes compared with esmolol hydrochloride and lidocaine hydrochloride. In our previous study, tenoxicam, fluorometholone acetate and dexamethasone, which are anti-inflammatory agents, effectively inhibited carbonic anhydrase I and II enzymes. In the mentioned study, IC<sub>50</sub> values of tenoxicam, fluorometholone acetate, and dexamethasone were found to be for the CA I enzyme 0.198, 2.18 and 11.7 µM, and for the CA II enzyme 0.11, 17.5 and 14 µM, respectively [15]. In another study, the inhibitory effects of ceftriaxone sodium, imipenem, and ornidazole drugs on the CA-I and CA-II isoenzymes purified from human erythrocytes were investigated and the IC<sub>50</sub> values for CA-I were found to be 1.9, 0.0081 and 0.318 mM and 2.542, 0.0258 and 0.343 mM for CA-II, respectively [3]. It is clear from these results, besides the drug compounds mentioned

above, amiodarone hydrochloride, esmolol hydrochloride, and lidocaine hydrochloride compounds are also quite effective CA-I and CA-II inhibitors.

Consequently, the hCA-I and hCA-II isozymes that isolated from human erythrocytes were purified in a single step with a very high specific activity. Amiodarone hydrochloride, esmolol hydrochloride, and lidocaine hydrochloride indicated inhibitory influences on these enzyme activities at quite low concentrations. Unlike esmolol hydrochloride and lidocaine hydrochloride, amiodarone hydrochloride showed a very strong inhibitory effect. The Inhibition of some enzymes that occur in tissues can lead to many disorders. Because of carbonic anhydrase role in vital metabolic events such as acid-base regulation and respiration, the inhibitory affect on the hCA-I and hCA-II activity of these cardiovascular therapeutics can cause harmful consequences for human health.

## References

1. Supuran C.T. 2008. Carbonic Anhydrases: Novel Therapeutic Applications for Inhibitors and Activators, *Nature Reviews Drug Discovery*, 7(2): 168-181.
2. Temperini C., Innocenti A., Scozzafava A., Parkkila S., Supuran C.T. 2010. The Coumarin-binding Site in Carbonic Anhydrase Accommodates Structurally Diverse Inhibitors: The Antiepileptic Lacosamide As an Example and Lead Molecule for Novel Classes of Carbonic Anhydrase Inhibitors, *Journal of Medicinal Chemistry*, 53(2): 850-854.
3. Ekinçi D., Beydemir S., Alım Z. 2007. Some Drugs Inhibit In Vitro Hydratase and Esterase Activities of Human Carbonic Anhydrase-I and II, *Pharmacological Reports*, 59(5): 580-587.
4. Ekinçi D., Al-Rashida M., Abbas G., Senturk M., Supuran C.T. 2012. Chromone Containing Sulfonamides as Potent Carbonic Anhydrase Inhibitors, *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 27(5): 744-747.
5. Ridderstrale Y., Wistrand P.J., William F.B. 1994. Membrane-associated CA Activity in The Eye of The CA II-Deficient Mouse, *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 35(5): 2577-2584.
6. Parkkila S., Rajaniemi H., Parkkila A.K., Kivela J., Waheed A., Pastoreková S., Pastorek J., Sly W.S. 2000. Carbonic Anhydrase Inhibitor Suppresses Invasion of Renal Cancer Cells In-Vitro, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(5): 2220-2224.
7. Hynninen P., Parkkila S., Huhtala H., Pastorekova S., Pastorek J., Waheed A., Sly W.S., Tomas E. 2012. Carbonic Anhydrase Isozymes II, IX, And XII in Uterine Tumors, *APMIS*, 120(2): 117-129.
8. Yoshiura K., Nakaoka T., Nishishita T., Sato K., Yamamoto A., Shimada S., Saida T., Kawakami Y., Takahashi T.A., Fukuda H., Imajoh-Ohmi S., Oyaizu N., Yamashita N. 2005. Carbonic Anhydrase II is a Tumor Vessel Endothelium-associated Antigen Targeted by Dendritic Cell Therapy, *Clinical Cancer Research*, 11(22): 8201-8207.
9. Parkkila S., Lasota J., Fletcher J.A., Ou W.B., Kivelä A.J., Nuorva K., Parkkila A., Ollikainen J., Sly W.S., Waheed A., Pastorekova S., Pastorek J., Isola J., Miettinen M. 2010. Carbonic Anhydrase II. A Novel Biomarker for Gastrointestinal Stromal Tumors, *Modern Pathology*, 23 (5): 743-50.
10. Desmond J., Steven S., Edward M. 1993. Esmolol Hydrochloride, Sodium Nitroprusside, and Isoflurane Differ in Their Ability to Alter Peripheral Sympathetic Responses, *Anesthesia & Analgesia*, 77(2): 281-290.
11. Swan J.H., Chisholm A.W. 1976. Control of Recurrent Supraventricular Tachycardia with Amiodarone Hydrochloride, *Canadian Medical Association Journal*, 114(1): 43-44.
12. Claffey E., Reader A., Nusstein J., Beck M., Weaver J. 2004. Anesthetic Efficacy of Articaine for Inferior Alveolar Nerve Blocks in Patients with Irreversible Pulpitis, *Journal of Endodontics*, 30 (8): 568-571.

13. Wilbur K.M., Anderson N.G. 1948. Electrometric and Colorimetric Determination of Carbonic Anhydrase, *Journal of Biological Chemistry*, 176 (1): 147-154.
14. Verpoorte J.A., Mehta S., Edsall J.T. 1967. Esterase Activities of Human Carbonic Anhydrases B And C, *Journal of Biological Chemistry*, 242(18): 4221-4229.
15. Alım Z., Kilinc N., Isgor M.M., Sengul B., Beydemir S. 2015. Some Anti-inflammatory Agents Inhibit Esterase Activities of Human Carbonic Anhydrase Isoforms I and II: An In Vitro Study, *Chemical Biology & Drug Design*, 86 (4): 857-863.
16. Bradford M.M. 1976. A Rapid and Sensitive Method for The Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing The Principle of Protein-dye Binding, *Analytical Biochemistry*, 72(1-2): 248-251.
17. Laemmli U.K. 1970. Cleavage of Structural Proteins During The Assembly of The Head of Bacteriophage T4, *Nature*, 227(5259): 680-685.
18. Alım Z., Beydemir S. 2016. Some Anticancer Agents Act on Human Serum Paraoxonase-1 to Reduce Its Activity, *Chemical Biology & Drug Design*, 88(2): 188-196.
19. Sen E., Alım Z., Duran H., İsgör M.M., Beydemir S., Kasımogulları R., Ok S. 2013. Inhibitory Effect of Novel Pyrazole Carboxamide Derivatives on Human Carbonic Anhydrase Enzyme, *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 28(2): 328-336.
20. Ekinci D., Beydemir S. 2009. Effect of Some Analgesics on Paraoxonase-1 Purified from Human Serum, *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 24(4): 1034-1039.



---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Momentlerin Sayısal Hesabı

Samim DÜNDAR<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir.

---

### Öz

Sheppard's düzeltmeleri günümüzde halen kullanılmakta olan iyi bir düzeltme prosedürüdür. Bu prosedür genellikle ele alınan ana dağılımın sürekli olduğu durumlarda söz konusudur. Bu prosedürde gruplama, verileri toplama esnasında denetleme ve kategorilere ayırmayı içerir, dolayısıyla sadece sürekli değişkenleri içermez. Verilerin gruplanması yuvarlama hatalarına sebep olur. Yuvarlama hataları da elde edilen sonuçlarda sapmaya neden olur. Sayısal olarak belirlenmiş bir dağılıştan momentler hesaplandığı zaman, dağılıştan elde edilen veriler gruplanmış ise gerçekte momentlerin hesaplanmasında, frekansların aralıkların orta noktalarında yoğunlaştığı varsayımı yapılmaktadır. Doğal olarak bu varsayımın doğurduğu bir takım hatalar da oluşmaktadır. Bu çalışmanın amacı belirli koşullar altında bu yaklaşımın neden olduğu hataları düzeltmektir.

**Anahtar kelimeler:** Momentler, Euler-Maclaurin Formülü, Sheppard Düzeltmesi, Pearson Tip I Dağılışı.

---

## Numerical Calculation of Moments

---

### Abstract

A good correction procedure is given by Sheppard's corrections that are nowadays still employed. Sheppard's corrections are usually referred to continuous parent distribution. But grouping includes also censoring or splitting data into categories during collection or publication, and so it does not only involve continuous variables. The grouping of the data cause rounding errors. Rounding errors cause biases in the result obtained. When moments are calculated from a numerically specified distribution which grouped, there is present a certain amount of approximations owing to the fact that the frequencies are assumed to be concentrated at the mid-points of intervals. Naturally, there are some mistakes that arises from assumptions. The purpose of this work is to correct for this effect under certain conditions.

**Keywords:** Moments, Euler-Maclaurin Formula, Sheppard's Corrections, Pearson Type I Distribution.

---

### 1. Giriş

Sayısal yöntemler analitik çözümlerden farklı olarak belli bir hata payı içerirler. Bunun yanı sıra giriş verisi de bir miktar hatalı olabilir. Bazı reel sayıların ondalık sistemde sonsuz sayıda basamakla ifade edilmesi gerekir. Bir reel sayının virgülden sonra belirli sayıda basamağı gösterilebildiğinden, geriye kalan basamaklar atıldığında bir miktar yuvarlama hatası oluşur. Bu tür hatalar birikerek büyüebilmekte ve sonucu önemli ölçüde etkilemektedir[1,2,4]. Çalışmanın ikinci kısımda yuvarlama hatası ve Sheppard düzeltmesi tanıtılmıştır.

Momentler bir dağılışın parametrelerini tanımlayan, dağılışı belirleyen ve dağılışın özelliklerini ölçmek için kullanılan yararlı sabitlerdir. Sayısal olarak belirlenmiş bir dağılıştan momentler, veriler gruplandırılarak da hesaplanabilir. Gruplanmış dağılımın  $n$ .ci momentini  $\bar{\mu}_n$  ile gösterilirse, sürekli ana kütle dağılımının ham momentini  $\bar{\mu}_n$  yardımıyla bulunabilir[3].

Geçmişte matematiksel istatistik alanında çalışan birçok araştırmacı, momentlerin sayısal hesabına yönelik, yukarıdaki varsayımına dayanan pek çok çalışma yapmıştır. Schneeweiss ve Komlos, bir regresyon doğrusunun ya da bir şans değişkeninin varyansını hesaplamak için gerçek veriler yerine

---

\*Sorumlu yazar: [samim.dundar@ege.edu.tr](mailto:samim.dundar@ege.edu.tr)

Geliş Tarihi: 29/11/2017 Kabul Tarihi: 07/02/2018

yuvarlanmış veriler kullanıldığında sonuçların sapmalı olacağını, bununla birlikte şans değişkeninin dağılımı üzerine uygun yumuşatma (smoothness) koşulları altında Sheppard düzeltmesi kullanarak, sapmaları yüksek hassasiyetle düzeltilebileceğini göstermiştir[1]. Heitjan, gruplanmış veriler için istatistiksel yöntemlerin gelişimini, özellikle ana sonuçlar ve bunların yorumlanması üzerine odaklanarak incelemiştir[2]. Schneeweiss, Komlos ve Ahmad, momentleri ve regresyon katsayılarını tahmin etmek için yuvarlanmış veriler kullanıldığında, yuvarlamanın etkilerini Sheppard'ın düzeltme formülü tarafından yaklaşık olarak düzeltilebildiğini, bu yaklaşımların geçerli olduğu koşulları ve yuvarlamadan kaynaklanan etkinlik kaybını araştırmıştır[4]. Nardo, Sheppard düzeltmesi için oldukça basit kapalı yapıdaki bir formülü, klasik umbral calculus kullanarak tanımlamıştır. Bu sembolik metodun kullanılmasıyla, kesikli dağılımlar için daha genel kapalı formda bir formül elde etmiş ve çok değişkenli dağılımlar için genellemesini yapmıştır[5]. Withers ve Nadarajah, artıkların sıfır ortalamaya sahip ve bilinmeyen bir dağılımdan geldiği varsayımı altında, doğrusal regresyon modeli kurmuş, bağımlı değişkenin yuvarlanmış değerlerini kullanan en küçük kareler tahminlerinin hala sapmasız olduğunu, dağılımın momentlerin ve kümülanlarının Sheppard düzeltmelerini kullanarak tahmin edilebileceğini göstermiştir[6]. Vardeman, tamsayı yuvarlama etkilerini anlamak için "Niceleme Gürültüsü Modeli" (Quantization Noise Model) adı verilen bir model kurmuş, Sheppard düzeltmesinin önemli kısıtlamalarını kullanarak modelden düzeltme ile model arasında gerçek bir bağlantı olup, olmadığını belirlemek için modelin zayıf bir biçiminin basit sürümlerini kullanılmasını önermiştir[7].

Gruplanmış verilerde frekansların, aralıkların orta noktalarında yoğunlaştığı varsayımında oluşan hataları düzeltmek amacıyla, Euler-Maclaurin toplam formülünden yararlanılarak ana kütle momentleri gruplanmış frekanslardan elde edilen momentler cinsinden elde edilecektir. Sayısal olarak elde edilen momentlere ham momentler adı verilir [3,5]. Çalışmanın dördüncü kısmında Pearson Tip I dağılımının ham momentleri, tam momentleri ve düzeltilmiş momentleri hesaplanacak ve karşılaştırılması yapılacaktır.

## 2. Yuvarlama Hatası ve Sheppard Düzeltmesi

Gruplanmış verilere ilişkin literatür, farklı araştırma alanlarını kapsar[4-7]. Gruplanmış frekans dağılımı ile hesaplanan momentlere, ana kütle dağılımının momentlerine ilk yaklaşım olarak bakılır, fakat bu momentler gruplama nedeniyle oluşan hatalardan etkilenir. Bunun nedeni momentlerin hesaplanmasında frekansların aralıkların orta noktalarında yoğunlaştığı varsayımdır. Bu varsayım nedeniyle oluşan etkileri düzeltmek için yapılan çalışmalar, istatistikte Sheppard düzeltmeleri olarak bilinir [1-3].

Gruplama düzeltmesi ya da Sheppard denklemi, olasılık yoğunluk fonksiyonu her iki uçta  $x$ -eksenine asimptot olduğunda, kalan terimi sıfıra giden Euler-Maclaurin toplam formülünü kullanarak ortaya çıkan iki terimden oluşan bir toplamdır. İlk terim grup aralığının uzunluğuna bağlıdır. İkincisi ise konumum bir periyodik fonksiyondur. Bernoulli sayıları, gruplanmış verilerin moment düzeltmeleri için önemlidir. Sürekli durum için, integralleri uygun Bernoulli polinomları vasıtasıyla temsil etmek gerekir.

## 3. Gruplandırılmış Veriler İçin Düzeltme

$f(x)$ ,  $a \leq x \leq b$  aralığında sürekli bir fonksiyonu olsun.  $a \leq x \leq b$  aralığını her birinin uzunluğu  $h$  olan  $n$  tane alt aralığa bölelim.  $j$ .ci alt aralıktaki frekans,

$$x_j = a + \left(j - \frac{1}{2}\right)h$$

noktasında merkezlendiği kabul edilerek,

$$f_j = \int_{-h/2}^{h/2} f(x_j + t) dt \quad (3.1)$$

ile tanımlanır[3]. Gruplanmış frekanslardan hesaplanan momentler  $\bar{\mu}'$  ile gösterilirse,

$$\bar{\mu}'_r = \sum_{j=1}^N x_j^r \int_{-h/2}^{h/2} f(x_j + t) dt \quad (3.2)$$

ile hesaplanır[3].

2m.ci mertebeden türevlenebilir,  $y(x)$  fonksiyonu için Euler-Maclaurin formülünün bir versiyonu aşağıdaki gibidir[3,8].

$$\frac{1}{h} \int_a^b y(x) dx = \sum_{k=1}^n y(a + (k - \frac{1}{2})h) - \sum_{k=1}^m \frac{h^{2k-1}}{(2k)!} B_{2k}(\frac{1}{2}) \{y^{(2k-1)}(b) - y^{(2k-1)}(a)\} - S_{2m} \quad (3.3)$$

Eşitlik(3.3)'de  $y^{(r)}(x)$ ,  $y(x)$  fonksiyonunun  $r$ .ci türevini,  $B_{2k}(1/2)$ ,  $2k$ .cı Bernoulli polinomunun  $1/2$ 'deki değerini göstermektedir[3,8]. Aynı zamanda,

$$S_{2m} = \frac{n h^{2m}}{(2m)!} b_{2m}(\frac{1}{2}) y^{(2m)}(a + nh\theta), \quad (0 < \theta < 1) \quad (3.4)$$

olup, Euler-Maclaurin formülünün kalan terimidir. Şimdi,

$$y(x) = x^r \int_{-h/2}^{h/2} f(x + t) dt$$

fonksiyonunu eşitlik(3.3)'deki Euler-Maclaurin formülünde yerine yazalım, aralığın uç noktalarında  $y(x)$  fonksiyonun ilk  $2m-3$  türevini sıfır olduğunu kabul edelim, bu durumda eşitlik(3.4)'deki  $S_{2m}$  ihmal edilebilir[3,8]. Yani,

$$\frac{1}{h} \int_a^b x^r \left( \int_{-h/2}^{h/2} f(x + t) dt \right) dx = \frac{1}{h} \int_a^b \int_{-h/2}^{h/2} x^r f(x + t) dt dx = \bar{\mu}'_r$$

olur, son integralde  $x + t = u$  dönüşümü yapılırsa,

$$\bar{\mu}'_r = \frac{1}{h} \int_a^b \int_{-h/2}^{h/2} (u - t)^r f(u) dt du$$

$$\bar{\mu}'_r = \frac{1}{h} \int_a^b \frac{(u + \frac{h}{2})^{r+1} - (u - \frac{h}{2})^{r+1}}{r+1} f(u) du \quad (3.5)$$

elde edilir. Eşitlik(3.5)'de integral işareti altındaki  $(u + h/2)^{r+1}$  ve  $(u - h/2)^{r+1}$  ifadelerinin Binom formülünden yararlanarak açılımları yapılır ve farkları oluşturulursa,

$$\left(u + \frac{h}{2}\right)^{r+1} - \left(u - \frac{h}{2}\right)^{r+1} = \binom{r+1}{1} u^r h + \binom{r+1}{3} u^{r-2} \frac{h^3}{4} + \binom{r+1}{5} u^{r-4} \frac{h^5}{16} + \dots$$

buradan,

$$\frac{\left(u + \frac{h}{2}\right)^{r+1} - \left(u - \frac{h}{2}\right)^{r+1}}{h} = \binom{r+1}{1} u^r + \binom{r+1}{3} u^{r-2} \frac{h^2}{4} + \binom{r+1}{5} u^{r-4} \frac{h^4}{16} + \dots$$

olup, (3.5)'de yerine yazılırsa,

$$\begin{aligned} \bar{\mu}'_r &= \int_a^b \frac{1}{r+1} \left\{ \binom{r+1}{1} u^r + \binom{r+1}{3} u^{r-2} \frac{h^2}{4} + \binom{r+1}{5} u^{r-4} \frac{h^4}{16} + \dots \right\} f(u) du \\ \bar{\mu}'_r &= \frac{1}{r+1} \left\{ \binom{r+1}{1} \int_a^b u^r f(u) du + \binom{r+1}{3} \left(\frac{h}{2}\right)^2 \int_a^b u^{r-2} f(u) du + \binom{r+1}{5} \left(\frac{h}{2}\right)^4 \int_a^b u^{r-4} f(u) du + \dots \right\} \\ \bar{\mu}'_r &= \frac{1}{r+1} \left\{ \binom{r+1}{1} \mu'_r + \binom{r+1}{3} \mu'_{r-2} \left(\frac{h}{2}\right)^2 + \binom{r+1}{5} \mu'_{r-4} \left(\frac{h}{2}\right)^4 + \dots \right\} \end{aligned} \tag{3.6}$$

bulunur. (3.6) eşitliğinde sırasıyla  $r = 1, 2, 3, \dots$  verilirse, gruplanmış verilerden elde edilen momentler ana kütle momentleri cinsinden,

$$\left. \begin{aligned} \bar{\mu}'_1 &= \mu'_1 \\ \bar{\mu}'_2 &= \mu'_2 + \frac{h^2}{12} \\ \bar{\mu}'_3 &= \mu'_3 + \frac{h^2}{4} \mu'_1 \\ \bar{\mu}'_4 &= \mu'_4 + \frac{h^2}{2} \mu'_2 + \frac{1}{80} h^4 \\ \bar{\mu}'_5 &= \mu'_5 + \frac{5}{6} h^2 \mu'_3 + \frac{1}{16} h^4 \mu'_1 \\ &\vdots \end{aligned} \right\} \tag{3.7}$$

bulunur. Eşitlik(3.7)'deki ana kütle momentleri, gruplanmış verilerden elde edilen momentler cinsinden,

$$\left. \begin{aligned} \mu'_1 &= b_0 \bar{\mu}'_1 \\ \mu'_2 &= b_0 \bar{\mu}'_2 - \frac{1}{2} b_2 h^2 \\ \mu'_3 &= b_0 \bar{\mu}'_3 - \frac{3}{2} b_2 h^2 \bar{\mu}'_1 - \frac{3}{4} b_3 h^3 \\ \mu'_4 &= b_0 \bar{\mu}'_4 - 3 b_2 h^2 \bar{\mu}'_2 - 3 b_3 h^3 \bar{\mu}'_1 - \frac{7}{8} b_4 h^4 \\ \mu'_5 &= b_0 \bar{\mu}'_5 - 5 b_2 h^2 \bar{\mu}'_3 - \frac{35}{8} b_4 h^4 \bar{\mu}'_1 - \frac{15}{16} b_5 h^5 \\ &\vdots \end{aligned} \right\} \tag{3.8}$$

olarak yazılıp, Eşitlik(3.8)deki momentler genelleştirilirse,

$$\mu'_r = \sum_{k=0}^r \binom{r}{k} (2^{1-k} - 1) b_k h^k \bar{\mu}'_{r-k} \tag{3.9}$$

elde edilir. Eşitlik(3.8) ve Eşitlik(3.9)'daki  $b_k$  katsayıları Bernoulli sayılarıdır.

#### 4. Uygulama

-1,4692 ile 20,72739 arasında türetilmiş 500 veri, Pearson Tip I dağılımı [10] ve

$$\left. \begin{aligned} \gamma_1 &= \frac{\mu_3}{\sigma^3}, \beta_2 = \frac{\mu_4}{\sigma^4}, \beta_1 = \gamma_1^2, \delta = \frac{2\beta_2 - 3\beta_1 - 6}{\beta_2 + 3}, D = \beta_1 - 4\delta(\delta + 2), r_1 = \frac{-\gamma_1 + \sqrt{D}}{2\delta} \\ r_2 &= \frac{-\gamma_1 - \sqrt{D}}{2\delta}, m_1 = \frac{\gamma_1}{\sqrt{D}} \left(\frac{1+\delta}{\delta}\right) - \left(\frac{1+2\delta}{\delta}\right), m_2 = -\frac{\gamma_1}{\sqrt{D}} \left(\frac{1+\delta}{\delta}\right) - \left(\frac{1+2\delta}{\delta}\right) \end{aligned} \right\} \tag{4.1}$$

eşitlik(4.1)'deki [9] formüller kullanılarak,

$r_1 = -1,4692, r_2 = 20,72739$  olmak üzere,

$\hat{\gamma}_1 = 1,224581$  (çarpıklık),  $\hat{\beta}_2 = 4,9952$  (basıklık),

$m_1 = 0,949485, m_2 = 26,50321$

olarak hesaplanır.

Bu dağılım önce,

$$z = \frac{x-\mu}{\sigma}$$

dönüşümü ile standart hale, sonra da,

$$t = \frac{z-r_1}{r_2-r_1}$$

dönüşümü kullanılarak,

$$f(t) = \frac{1}{\beta(m_1+1, m_2+1)} t^{m_1} (1-t)^{m_2}, \quad (0 \leq t \leq 1) \quad (4.2)$$

biçiminde Beta dağılımına dönüştürülmüştür[9].  $0 \leq t \leq 1$  aralığı  $h = 0,05$  alınarak, yirmi tane alt aralığa bölünmüş ve bu alt aralıkların her birinde integraller hesaplanarak teorik frekanslar bulunmuştur. Buradan elde edilen sonuçlar Tablo 1’de gösterilmektedir.

**Tablo 1.** Beta dağılışından hesaplanan teorik frekanslar

Aralığın Merkezi	Frekans
0,025	0,4360440889
0,075	0,3668780926
0,125	0,1419995863
0,175	0,0420475961
0,225	0,0103804957
0,275	0,0021871461
0,325	0,0003941992
0,375	0,0000602509
0,425	0,0000076792
0,475	0,0000007962
0,525	0,0000000648
0,575	0,0000000039
0,625	0,0000000001
0,675	0,0000000000
0,725	0,0000000000
0,775	0,0000000000
0,825	0,0000000000
0,875	0,0000000000
0,925	0,0000000000
0,975	0,0000000000
Toplam	1,0000000000

Sonra üçüncü bölümde elde edilen eşitlik(3.5) yardımıyla, integraller hesaplanarak ham momentler bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar Tablo2’de ikinci sütunda görülmektedir. Hesapladığımız ham momentleri kullanarak, eşitlik(3.9) yardımıyla, düzeltilmiş momentler hesaplanmıştır. Bulunan düzeltilmiş momentler yine Tablo2’de dördüncü sütunda, karşılaştırma yapılabilmesi için de tam momentler Tablo2’de üçüncü sütunda görülmektedir.

**Tablo 2.** Ham mometlerden elde edilen, tam momentler ve düzeltilmiş momentler.

Moment	Ham Moment	Tam Moment	Düzeltilmiş
$\mu'_1$	0,066190377450	0,06619037750	0,06619037745
$\mu'_2$	0,006619191789	0,00641084559	0,00641085845
$\mu'_3$	0,000846372770	0,00080500378	0,00084223577
$\mu'_4$	0,000130865890	0,00012277421	0,00012277419
$\mu'_5$	0,000023538059	0,00002183511	0,00002183501
$\mu'_6$	0,000004795597	0,00000440438	0,00000440473
$\mu'_7$	0,000001085331	0,00000098758	0,0000009833
$\mu'_8$	0,000000268831	0,00000024246	0,00000022686
$\mu'_9$	0,000000072030	0,00000006441	0,00000006445
$\mu'_{10}$	0,000000020687	0,00000001834	0,00000001878
$\mu'_{11}$	0,000000006319	0,00000000555	0,00000000545
$\mu'_{12}$	0,000000002040	0,00000000177	0,00000000178
$\mu'_{13}$	0,000000000692	0,00000000059	0,00000000058
$\mu'_{14}$	0,000000000245	0,00000000021	0,00000000020
$\mu'_{15}$	0,000000000091	0,00000000007	0,00000000006
$\mu'_{16}$	0,000000000035	0,00000000002	0,00000000003
$\mu'_{17}$	0,000000000013	0,00000000001	0,00000000011
$\mu'_{18}$	0,000000000005	0,00000000000	0,00000000002
$\mu'_{19}$	0,000000000002	0,00000000000	0,00000000000
$\mu'_{20}$	0,000000000001	0,00000000000	0,00000000000

## 5. Sonuç ve Öneriler

Gruplanmış verilerden, uygun dağılışı kullanılarak integral yardımıyla hesaplanan ham momentler ile tam momentler karşılaştırıldığında aralarında az da olsa fark olduğu, fakat düzeltilmiş momentlerin, tam momentlere daha yakın olduğu görülmektedir.

## Kaynaklar

1. Schneeweiss H., Komlos J. 2009. Probabilistic Rounding and Sheppard's Correction. *Statistical Methodology*, 6 (6): 577-593.
2. Heitjan D.F. 1989. Inference From Grouped Continuous Data: A Review. *Statistical Science*, 4 (2): 164-179.
3. Stuart A., Ord J.K. 1987. *Kendall's Advanced Theory of Statistics*, Vol:1, Charles Griffin, London.
4. Schneeweiss H., Komlos J., Ahmad A.S. 2010. Symmetric and Asymmetric Rounding:A Review and Some New Results. *Asia Adv. Stat. Anal*, (94): 247-271.

5. Nardo E.D. 2010. A New Approach to Sheppard's Corrections. *Mathematical Methods of Statistics*, 19 (2): 151-162.
6. Withers C.S., Nadarajah S. 2011. Unbiased Estimates For Linear Regression With Roundoff Error. *Probability and Mathematical Statistics*, 31 (2): 177-182.
7. Vardeman S.B. 2005. Sheppard's Correction for Variances and the "Quantization Noise Model". *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 54 (5): 2117-2119.
8. Kincaid D., Cheney W. 1991. *Numerical Analysis Mathematics of Scientific Computing*. Brooks-Cole Publishing Comp. California.
9. Miller D.W. 1995. *Fitting Frequency Distributions Philosophy & Practice, Part:2 (Continuous Distributions)*. Book Resource, New York.
10. Şehirlioğlu A.K., Dündar S. 2014. *Pearson Dağılım Ailesi*. Ege Üniversitesi Basımevi, Bornova, İzmir.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Çizgili İshakkuşu *Otus brucei* (Hume 1872) Peletlerindeki Küçük Memeli Hayvan Kalıntıları**

Alaettin KAYA<sup>1</sup>, Seven SEÇKİN<sup>2</sup>, Mustafa KOÇKAYA<sup>3</sup>, Işıl COŞKUN MUSAOĞLU<sup>4</sup>,  
Yüksel COŞKUN<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Dicle Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü, Diyarbakır

<sup>2</sup> Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Bölümü, Diyarbakır

<sup>3</sup> Cumhuriyet Üniversitesi Veteriner Fakültesi Temel Bilimler, Sivas

<sup>4</sup> Şanlıurfa Birecik Devlet Hastanesi, Şanlıurfa

---

### **Öz**

Güneydoğu Anadolu, Şanlıurfa Birecik'ten toplanmış, Çizgili İshakkuşu (*Otus brucei*)'na ait 26 pelet içerisinde 31 memeli hayvan kalıntısı incelenmiştir. İki memeli ordosuna ait beş türe (*Soricomorpha: Crocidura suaveolens*, ve *Rodentia: Microtus guentheri*, *Mus sp.*, *Meriones tristrami*, *Cricetulus migratorius*) ait kalıntılar tespit edilmiştir. Her pelette ortalama 1,85 memeli hayvan kalıntısı bulunmuştur. Pelet içinde tespit edilen memeli kalıntılarını % 87,1 oranında kemirgenler oluştururken %12,9'unu böcekçil memeli kalıntıları meydana getirmektedir. Ev faresi *Mus sp.* ve *Cricetulus migratorius*'un, kalıntılar içerisinde aynı oranda %29,03 ile en bol bulunan türler oldukları tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** *Otus brucei*, Rodentia, Memeliler, Çizgili İshakkuşu, Pelet, Türkiye.

---

## **Small Mammal Remains in Pallid Scops Owl *Otus brucei* (Hume 1872) Pellets**

### **Abstract**

Pellets, regurgitated by the Pallid Scops Owl (*Otus brucei*), were collected from Şanlıurfa-Birecik in southeastern Anatolia. In 26 pellets analyses yielded remains of 31 individuals, representing two mammalian order (*Soricomorpha: Crocidura suaveolens*, and *Rodentia: Microtus guentheri*, *Mus sp.*, *Meriones tristrami*, *Cricetulus migratorius*). The number of prey items per one pellet ranged from 1-3 individuals (Average 1.85 skull). Rodens constituted 87,1% of its diet, while *Soricomorpha* constituted 12.9%. The House Mouse *Mus sp.*, and *Cricetulus migratorius*, were the most abundant prey items, representing 29.03% of the total number of recovered prey items.

**Keywords:** *Otus brucei*, Rodentia, Mammals, Pallid Scops Owl, Pellets, Turkey.

---

### **1. Giriş**

Çizgili İshakkuşu, (*Otus brucei*), baykuşgiller familyasına ait küçük kulaklı bir baykuş türüdür. İshak kuşuna görünüşte benzer olup vücudunun arka tarafında şeritler ve daha az karmaşık renkte tüyler görülür [1]. Gövdesi açık gri, yüzü daha açık renklidir. Alt tarafındaki çizgiler daha kalın ve düzenlidir (Şekil 1). *Otus brucei* Ortadoğu (Türkiye'nin güneyi, Mısır, Suriye, Irak, Ürdün, Arabistan'ın doğusu)'dan Afganistan, Pakistan, Orta Asya ve Hindistan'a kadar uzanan bölgede parçalı dağılım gösterir [2]. Bu baykuş türünün Türkiye'deki bilinen dağılımı Aşağı Fırat'la sınırlı, yarı çöl alanlardır [1, 3].

---

\* Sorumlu yazar: [yukselc@dicle.edu.tr](mailto:yukselc@dicle.edu.tr)

Geliş Tarihi: 14/02/2018 Kabul Tarihi: 23/03/2018





**Şekil 1.** Şanlıurfa- Birecik Söğütlü Parkta tüneyen bir Çizgili İshakkuşu (*Otus brupei*) (Foto. A. Kaya, 2016)

Baykuşlar besinlerini (küçük memeli hayvanlar, böcekler, kuşlar, vb.) ya bütün olarak ya da iri parçalar halinde yutarlar. Yuttukları bu besinlerin içerisindeki kafatası, diş, kemik, tüy ve post gibi sindirilemeyen kısımları tünedikleri alanlara kusarak çıkarırlar. Çoğunlukla gri renkli olan bu kusmuk topları pelet olarak isimlendirilir (Şekil 2).

Baykuş peleti analiz çalışmaları, bir bölgedeki küçük memeli hayvan faunasının tespitinde (türler zarar vermeden ve tuzakla yakalamaya gerek kalmadan) ve baykuşların besin tercihlerinin belirlenmesinde kullanılan hızlı, ucuz ve kolay bir yöntemdir. Pek çok ülkede, bir bölgede yaşayan memeli hayvan türlerinin ve yoğunluklarının belirlenmesinde ve bölgenin ekolojik özellikleri hakkında fikir edinmede bu yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır [4-7].

Son yıllarda benzer baykuş peleti analiz çalışmaları yoğun olarak Türkiye’de de yapılmaktadır [8-11]. Steiner ve Vauk [12] Beyşehir Gölü çevresinden; Seçkin ve Coşkun [13-14] Diyarbakır’dan; Turan [15] ve Bulut ve ark. [16] Ankara- Beytepe’den; Hızal [17] Konya- Karapınar’dan; Göçer [18] Denizli’den; Kaya ve Coşkun [19] Erzurum’dan ve Selçuk ve ark [20] Amasya’dan *Asio otus* (Kulaklı Orman Baykuşu); Hoppe [21] Antakya-Samandağ; Seçkin ve ark [22] Diyarbakır çevresinden *Tyto alba* (Peçeli Baykuş); Morgan [23] Bitlis’ten ve Seçkin ve ark. [24] Diyarbakır Bismil’den *Bubo bubo* (Puhu) ile Kaya ve Coşkun [25] Nevşehir’den *Athene noctua* (Kukumav), *Tyto alba* ve *Bubo bubo* türlerinin peletlerini inceleyerek yöredeki küçük memeli hayvan türlerine ait kalıntılar tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada Çizgili İshakkuşu (*Otus brucei*) peletlerinin analizi ile Şanlıurfa-Birecik'te bu türün beslenmesinde önem arz eden memeli türleri belirlenmeye çalışılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Çizgili İshakkuşu (*Otus brucei*)'nun 26 pelet örneği, Şanlıurfa İl Çevre ve Orman Müdürlüğü Birecik Fidanlık Mühendisliği (Orman Tarım İşleri Müdürlüğü) içindeki ağaç diplerinden toplanmıştır. Peletlerin toplandığı alanda, kısa boylu çalılık araziler, küçük ağaçların meydana getirdiği çamlık alan, fidan yetiştirilen bölgeler ve büyük boylu servi ağaçları bulunmaktadır.

Ornitologlar [3] Türkiye'nin güneyinde, Suriye ve Irak'ın kuzeyinde, Özbekistan ve Kuzey Afganistan'da *Otus brucei obsoletus* alttürünün dağılışı gösterdiğini belirtmektedirler. Dolayısıyla Şanlıurfa-Birecik'te toplanmış olan peletlerin bu alttüre ait olabilecekleri söylenebilir.

Peletler 2007 yılının Nisan ayında toplanmış olup Dicle Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümünde korunmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Şanlıurfa- Birecik Çizgili İshakkuşu (*Otus brucei*) peletleri.

Pelet içerikleri Obuch [26]; Amr ve ark., [6]'nın kullandıkları yöntemlere uygun olarak incelenmiştir. Alkol içerisinde birkaç dakika sterilize edilen peletler su içine alınarak yumuşaması sağlanmış ve pelet içerisindeki kalıntıların iğne ve pens yardımı ile tasnifleri yapılarak (kafatası, alt çene ve diğer kemikler) analiz için ayrı kutulara alınmıştır. Kalıntıların teşhisi için çeşitli tür tayin anahtarları kullanılmıştır [27-35].

### 3. Bulgular ve Tartışma

Çizgili İshakkuşu (*Otus brucei*)'na ait ve ortalama 1,8 gram ağırlığında olan peletlerin kapsamının büyük çoğunluğunu % 64,58 oran ile küçük memeli hayvan; diğer % 32,42'lik kısmı ise kuş ve böcek kalıntıları oluşturmaktadır. Toplanan peletler içinde küçük kuş türlerine ait kalıntıların da yüksek oranda mevcut olduğu görülmüştür.

*Otus brucei*'nin tünediği ağaçlar altında toplanan 26 pelet içerisinde 31 memeli hayvan kalıntısı tanımlanmıştır. Genel olarak her pelette bir veya iki, sadece bir pelette de üç (ortalama 1,85) küçük memeli hayvan kalıntısına rastlanmıştır. Peletlerden on dört tanesinde bir; on tanesinde iki; bir tanesinde üç adet hayvan kalıntısı (1 adet *Mus sp.*, 2 adet *Cricetulus migratorius*) bulunmuştur. İki memeli ordosundan beş türe (*Soricomorpha* (Böcekçil): *Crocidura suaveolens*, ve *Rodentia* (kemirgen) : *Microtus guentheri*, *Mus sp.*, *Meriones tristrami*, *Cricetulus migratorius*) ait kalıntılar tespit edilmiştir (Tablo 1).

Memelilerin büyük kısmını, % 87,09 oranı ile *Rodentia* türleri ve % 12,9 oranında *Soricomorpha* ordosundan *Crocidura suaveolens* türü oluşturmaktadır. *Rodentia* türlerini oluşturan familyalar *Cricetidae*, *Microtidae* ve *Muridae* 'dir. *Mus sp.* ve *Cricetulus migratorius* türleri pelet kalıntıları içinde % 29,03 oranları ile eşit yoğunlukta bulunmuştur. *Microtus guentheri* % 22,58 oran ile en çok rastlanan üçüncü türdür. *Meriones tristrami* türü ise % 6,45 oranında tespit edilmiştir (Tablo 1).

Baykuş peletlerinin büyük kısmını genel olarak küçük memeli hayvanların kalıntıları meydana getirmektedir [4, 6, 13,14, 26]. Bate [4] her pelette genel olarak bir veya iki ve bir pelette maksimum yedi küçük memeli hayvan kalıntısı tespit etmiştir. Diyarbakır'dan *Asio otus* peletlerinde, her pelette genel olarak bir veya iki; bir pelette maksimum dört memeli hayvan kalıntısı bulunmuştur [13-14]. Yine Diyarbakır'dan *Tyto alba* peletlerinde genel olarak 1-3 hayvan kalıntısı tespit edilmiş ve bir pelette maksimum yedi memeli hayvan kalıntısına rastlanmıştır [22]. Bu çalışmada ise *Otus brucei*'nin her pelette genel olarak 1-2 hayvan ( ortalama 1.85) kalıntısı tespit edilmiş ve bir pelette maksimum üç memeli hayvan kalıntısına rastlanmıştır.

Seçkin ve Coşkun [13-14] *Asio otus* peletlerinde 8 küçük memeli hayvan türü (*Crocidura suaveolens*, *Microtus guentheri*, *Microtus sp.*, *Cricetus cricetus*, *Nannospalax ehrenbergi*, *Mus musculus*, *Meriones tristrami* ve *Rattus rattus*) tespit etmişler ve *Microtus guentheri*'nin en fazla orana (%71,3) sahip olduğunu kaydetmişlerdir. Seçkin ve ark., [22] aynı alandan alınan *Tyto alba* peletlerinde ise *Crocidura suaveolens*, *Microtus guentheri*, *Mus sp.*, *Meriones tristrami*, *Rattus sp.* kalıntıları bulunduğunu ve *Mus sp.* kalıntıları en yüksek oranda (%71,7); *Microtus guentheri* türü ise %7,5 oranıyla çok daha az yoğunlukta olduğunu tespit etmişlerdir. Şanlıurfa-Birecik'ten alınan *Otus brucei*'nin pelet örneklerinde *Mus sp.* ve *Cricetulus migratorius* türlerinin en fazla yoğunluğa sahip olduğu ve küçük kuş mevcudiyetinin de önemsenecek miktarda olduğu görülmüştür.

Dov ve Kiat [36] İsrail'den *Otus brucei* peletleri içerisinde sadece genç bir *Mus musculus* memeli türü bulunduğunu, besinlerinin çoğunu böceklerin (çekişirge, cırcır böcekleri, kın kanatlılar ve örümcekler) oluşturduğunu ifade etmişlerdir. Şanlıurfa- Birecik'te *Mus sp.* %29.03 oranı ile en yüksek oranda rastlanan türdür.

Selçuk ve ark. [20] Amasya'da Uzun kulaklı orman baykuşu, *Asio otus*'un besininin büyük çoğunluğunu *Microtus*'ların oluşturduğunu ifade etmişlerdir. *Otus brucei* peletler içinde *Microtus guentheri* (%22,58) oranı ile en çok rastlanan üçüncü tür (Tablo 1) olduğu görülmektedir.

**Tablo 1.** Şanlıurfa Birecik'ten toplanmış, Çizgili İshakkuşu (*Otus brucei*) peletlerinde belirlenen memeli türleri oranı (%) ve literatürde yer alan diğer baykuş türleri ile karşılaştırılması. \* Toplam pelet içerisindeki oranı

		Baykuş Türleri									
		<i>Otus brucei</i>	<i>Asio otus</i>						<i>Tyto alba</i>	<i>Bubo bubo</i>	
		Literatür /Lokalite	<b>Bu Çalışma</b> Şanlıurfa Birecik	Turan * [15] Ankara Beytepe	Kaya ve Coşkun [19] Erzurum	Hızal [17] Konya Karapınar	Bulut ve ark [16] Beytepe Ankara	Kaya ve Coşkun [25] Nevşehir	Selçuk ve ark [20] Amasya	Seçkin ve ark [22] Diyarbakır Kampüs	Seçkin ve ark [24] Diyarbakır Bismil
Memeli Türleri	Rodentia	<i>Mus sp.</i>	29.03	-	-	4.21	10.8	2.44	9.6	71.67	-
		<i>Cricetulus migratorius</i>	29.03	-	1.48	2.52	0.9	0.81	1.5	-	1.1
		<i>Microtus guentheri</i>	22.58	44.4	68.47	83.95	43.7	46.75	-	7.51	24.2
		<i>Meriones tristrami</i>	6.45	-	-	4.68	-	7.32	2.8	9.56	7.7
	Soricomorpha	<i>Crocidura suaveolens</i>	12.90	3.7	-	0.04	2.8	0.41	-	10.92	13.2

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Orta Anadolu'nun çeşitli bölgelerinde, Uzun Kulaklı Orman Baykuşu (*Asio otus*)'na ait pelet analizlerinde böcekçil memeli türü *Crocidura suaveolens* kalıntı oranlarının düşük olmasına karşılık, Güneydoğu Anadolu Bölgesin'de *Tyto alba* (Diyarbakır-Kampüs), *Bubo bubo* (Diyarbakır-Bismil) ve *Otus brucei* (Şanlıurfa-Birecik)'te yüksek oranda gözlenmesi bu türün Güneydoğu Anadolu'da bol bulunduğuna işaret etmektedir. Ayrıca bu türe Erzurum ve Amasya'da yapılan çalışmalarda rastlanmamıştır (Tablo 1).

*Meriones tristrami*'nin pelet çalışması yapılan bütün bölgelerde çıkmış olması; *Asio otus*, *Bubo bubo* *Tyto alba* ve *Otus brucei* peletleri içerisinde yaklaşık eşit yoğunlukta ve düşük oranda bulunmasına rağmen bu türün Türkiye'nin bütün bölgelerinde bulunduğunu ve baykuşların temel besinleri arasında olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, Şanlıurfa Birecik'te dağılışı gösteren *Otus brucei* (Çizgili İshakkuşu) besinlerini çoğunlukla küçük memeli türleri oluşturmakta olup, peletleri içerisinde diğer baykuş türlerine nazaran daha az sayıda memeli kalıntısı bulunmaktadır. *Cricetulus migratorius*'un peletler içerisinde yüksek oranda çıkması bu türün Birecik'te yoğun olarak bulunduğunu göstermektedir.

Ülkemizde *Otus brucei*'nin beslenme alışkanlıkları üzerine yapılmış çalışma bulunmadığından bu baykuş türünün beslenme, üreme, koruma tedbirleri ve biyolojileri üzerine yapılacak çalışmalar yararlı olacaktır.

#### Teşekkür

Bu çalışma Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir (DÜAPK-05-FF-58 nolu Proje).

#### Kaynaklar

1. Heinzel H., Fitter R., Parslow J. 1995. *Türkiye ve Avrupa'nın Kuşları*. Türkiye Doğal Hayatı Koruma Derneği, 384s, İstanbul.
2. BirdLife International. 2016. *Otus brucei*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T22688631A93203300. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22688631A93203300.en>. (Erişim tarihi: 05.02. 2018).
3. Avibase- the world bird database. <https://avibase.bsc-eoc.org/avibase.jsp>. (Erişim tarihi:09. 02. 2018)
4. Bate D. M. A. 1945. Note on small mammals from the Lebanon Mountains, Syria. -Annals and Magazine of Natural History Serie, 11., xii: 141-158.
5. Obuch J., Benda P. 1996. Contribution to the feeding ecology of *Strix aluco* and *Bubo bubo* (Aves: Strigiformes) in southwestern Bulgaria. Acta Societas Zoologicae Bohemicae, 60: 43 - 49.
6. Amr Z. S., Al-Melhim W. N., Yousef A. 1997. Mammals remains from pellets of the Eagle owl, from Azraq Nature Reserve. Jordan. Zoology in the Middle East, 14: 5-10.
7. Obuch J.,Kristin A. 2004. Prey composition of the little owl *Athene noctua* in an arid zone (Egypt, Syria, Iran), Folia Zoologica, 53 (1): 65-79.
8. Kasperek M. 1985. Die Sultanssümpfe. Naturgeschichte eines Vogelparadieses in Anatolien. Heidelberg, 156s.
9. Kasperek M. 1988. Bafasee: Natur und Geschichte in der türkischgen Ägäis. Heidelberg, 176s.

10. Kock D. 1990. Notes on mammals (Insectivora, Rodentia) taken by the Tawny Owl in NW Turkey. *Zoology in the Middle East*, 4: 5-9.
11. Nadachowski A., Smielowski, J., Rzebikkowalska, B., Daoud A. 1990. Mammals from the Near East in Polish collection. *Acta Zoologica Cracoviensia*, 33(6): 91-120.
12. Steiner H. M., Vauk G. 1966. Säugetiere aus dem Beyşehir-Gebiet (Konya, Kleinasien). *Zoologische Anzeiger*, 176: 97-102.
13. Seçkin S., Coşkun Y. 2005. Small mammals in the diet of the Long-eared Owl from Diyarbakır, Turkey. *Zoology in the Middle East*, 35: 102-103.
14. Seçkin S., Coşkun Y. 2006. Mammalian remains in the pellets of the Long-eared Owls in Diyarbakır province. *Turkish Journal of Zoology* 30: 271-278.
15. Turan, L., 2005. Winter Diet of a Long-Eared Owl Population in Ankara, Beytepe. *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry*, Volume 34: 69-76.
16. Bulut Ş., Akbaba B., Ayaş Z. 2012. Analysis of mammal remains from owl pellets (*Asio otus*), in a suburban area in Beytepe, Ankara. *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry*, 40, 233-237.
17. Hızal E. 2013. Diet of the Long-eared Owl, *Asio otus*, in Central Anatolia (Aves: Strigidae). *Zoology in the Middle East*, 59: 118-122.
18. Göçer E. 2016. Diet of a nesting pair of Long-eared Owls, *Asio otus*, in an urban environment in southwestern Turkey (Aves: Strigidae). *Zoology in the Middle East*, 62: 1-4.
19. Kaya A., Coşkun Y. 2017. Erzurum'dan Toplanan Kulaklı Orman Baykuşu (*Asio otus*) Peletlerinde Memeli Hayvan Türleri. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 6(1): 47-50.
20. Selçuk A.Y., Bankoğlu K., Kefelioğlu H. 2017. Comparison of Winter Diet of Long-eared Owls *Asio otus* (L., 1758) and Short-eared Owls *Asio flammeus* (Pontoppidan, 1763) (Aves: Strigidae) in Northern Turkey. *Acta Zoologica Bulgarica*, 69 (3): 345-348.
21. Hoppe N. 1986. Pellet contents of the Barn Owl, near Samandağ, Turkey. *Zoology in the Middle East*, 1: 29-31.
22. Seçkin S., Coşkun Y., Yürümez G. 2006. Diyarbakır çevresindeki peçeli baykuş (*Tyto alba*) peletlerindeki memeli hayvan kalıntılarının dağılımı. 18. Ulusal Biyoloji Kongresi, pp 300, 26-30 Haziran, Kuşadası/Aydın.
23. Morgan D. 1983. An analysis of some Eagle Owl pellets from Turkey. *Sandgrouse*, 5: 105-106.
24. Seçkin S., Kaya A., Coşkun Y. 2012. Başaklı Köyü (Diyarbakır-Bismil) Civarında Yaşayan Puhu (*Bubo bubo*)'ların Peletlerindeki Küçük Memelilerin Dağılımı. *Cumhuriyet Üniv. Fen Bilimleri Dergisi*, Vol. 33 (1): 34-42.
25. Kaya A., Coşkun Y. 2014. Nevşehir'de Baykuş Peletlerindeki Memeli Hayvan Kalıntılarının Dağılımı. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3 (1): 39-44.
26. Obuch J. 2001. Dormice in the diet of owls in the Middle East. *Trakya University Journal of Scientific Research*, Ser. B, 2:145-150.
27. Ellerman J. R. 1940. Key to the Rodents of South West Asia. *Proceedings of the Zoological Society of London*, 118: 785-792.
28. Ellerman J. R. 1941. The families and genera of living rodents. Vol. 2. Family: Muridae. *British Museum Natural History*, 690s, London.
29. Ognev S.I. 1947. *Mammals of the USSR and adjacent countries*, Rodents. Vol.5. 809s. IPST, Jerusalem.
30. Osborn D. J. 1962. Microtinae from Turkey. *Rodents of the subfamily Microtinae from Turkey*, *Journal Mammalogy*, 43: 515-529.

31. Vinogradov B.S., Argiropulo A.I. 1968. *Fauna of the USSR. Mammals*. “Key to rodents” Zoological Institute of the Academy of Science of the U.S.S.R. New series No: 29, IPST, 1968 241s, Jerusalem.
32. Osborn D. J., Helmy I. 1980. *Fieldiana Zoology - The Contemporary Land Mammals of Egypt (Including Sinai)*. Field Museum of Natural History: 253 - 273 pp.
33. Corbet G. B., 1978. *The Mammals of the Palaearctic Region, A Taxonomic Review*, British Museum (Natural History) Cornell University Press, London and Ithaca.
34. Kryštufek B., Vohralik V., 2001. *Mammals of Turkey and Cyprus*. Order Insectivora (Introduction, Checklist, Insectivora). Knjiznica Annales Majora, 141 p. Ljubliana.
35. Kryštufek B., Vohralik V. 2009. *Mammals of Turkey and Cyprus*. Rodentia II: Cricetinae, Muridae, Spalacidae, Calomyscidae, Capromyidae, Hystricidae, Castoridae. Knjižnica Annales Majora, Koper 140s.
36. Dov A.B., Kiat Y. 2016. Breeding Pallid Scops Owls in Rift valley, Israel, in spring 2015. *Dutch Birding* 38: 146-158,

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Ratlarda Siklofosfamid Nedenli Kardiyotoksosite Üzerine Borik Asitin Koruyucu Etkileri**

Mustafa CENGİZ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>*Siirt Üniversitesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi, Siirt*

---

### **Öz**

Bir eser element olan Bor'un türevi olan Borik asit (BA), antioksidan özellikleri ve antioksidan savunma sistemi güçlendirici özellikleri ile bilinen bir bileşiktir. Bu deneysel çalışma, sıçanlarda BA'nın siklofosfamid (CP) nedenli akut kalp toksisitesi üzerindeki koruyucu etkilerini araştırmayı amaçlamaktadır. Bu amaçla erkek sıçanlar, her grupta 6 hayvan olacak şekilde 4 gruba ayrılmıştır (kontrol, CP (200 mg/kg) grubu, BA (200 mg/kg) grubu ve BA+ CP grubu). Deney sonunda histolojik ve biyokimyasal değerlendirmeler için ketamin/ksilazin anestezisi altında hayvanların doku ve kan örnekleri toplanmıştır. Tek doz SF verilen grupta, kreatin kinaz (CK-MB), laktat dehidrojenez (LDH) ve miyokardtaki hüresel boyuttaki değişimlerin bir işareti olarak kabul edilen iskemi modifiye albümin (IMA) gibi kardiyak biyokimyasal belirteçlerin anlamlı olarak arttığı görülmüştür. Diğer taraftan, BA ile ön koruma yapılan BA+CP grubunda CK-MB, LDH ve IMA düzeyleri anlamlı düzeyde azalmıştır. Bulgularımız, BA tedavisinin sıçanlar üzerindeki SF nedenli toksik etkileri başarılı bir şekilde azalttığını göstermiştir. Sonuçlarımız, BA ön tedavisinin kemoterapi protokollerinde ilaç nedenli toksisiteyi azaltmada yararlı olabileceği fikrini güçlendirmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Siklofosfamid, Kardiyo Toksisitesi, Borik Asit, Kardiyoprotektif, IMA.

---

## **The Prevention Effects Boric Acid on Cyclophosphamide induced Cardiotoxicity in Rats**

---

### **Abstract**

Boric acid (BA), a derivative of the trace element boron, is a compound known for its antioxidant properties and antioxidant defense system constituent properties. The present study aims to investigate the protective effects of BA on acute cardiotoxicity of Cyclophosphamide (CP) in experimental rats. With these aims, rats were randomly divided into 4 groups of 6 animals in each (control, CP group, BA group and BA plus CP group). Tissue and blood samples of the animals were collected for morphological and biochemical evaluations. In group given CP, cardiac biochemical markers such as creatine kinase (CK-MB), lactate dehydrogenase (LDH) and ischemia modified albumin (IMA), which is regarded as a sign of structural change, levels were significantly increased. On the other hand, CK-MB, LDH and IMA levels decreased in group given BA before CP administration. Our results suggest that B treatment for the toxin administration successfully altered the toxic effects on the rats. In conclusion, BA treatment before CP intoxication might protect heart tissues against CP-induced toxicity.

**Keywords:** Cyclophosphamide, Cardio Toxicity, Boric Acid, Cardioprotectivity, IMA.

---

### **1. Giriş**

Siklofosfamid (CP), 50 yılı aşkın bir süredir geniş spektrumlu klinik kullanımları olan katı tümörler ve lenfomalar dahil neoplastik hastalıkların, romatoid artrit ve sistemik lupus eritematosus gibi neoplastik olmayan hastalıkların tedavisinde yaygın olarak kullanılan bir sitotoksik alkilleyici ajandır [1]. Ancak, kalp, testis ve idrar kesesi gibi organlarda toksisiteye sebebiyet vermesi, CP'nin klinik kullanımını kısıtlayan bir faktördür [2].

---

\*Sorumlu yazar: [m.cengiz@siirt.edu.tr](mailto:m.cengiz@siirt.edu.tr)

Geliş Tarihi: 15/04/2018 Kabul Tarihi: 07/05/2018



Sitotoksik bir ilaç olan CP, karaciğerde hidrosillenerek metabolitleri olan fosforamid mustard (phosphoramid mustard=PAM=FAM) ve akroleine (acrolein=ACR) dönüşmektedir. CP'nin antineoplastik etkileri PAM ile ilişkilidir. PAM'ın DNA'ya bağlanarak hücre bölünmesini baskılayıp CP'nin bağışıklık baskılayıcı ve antitümör etkilerine aracı olduğu düşünülmektedir. CP'nin toksik etkisinin ise aktif metaboliti olan ACR ile ilgili olduğu sanılmaktadır. ACR, doku antioksidan (AO) savunma sistemine müdahale ederek yüksek oranda serbest radikal oluşumuna yol açmaktadır [3]. Oksidatif stres, serbest oksijen radikali (SOR) miktarındaki artışla seyreden bir durumdur ve bu artış zarlarda lipid peroksidasyonuna neden olmaktadır [4]. SOR'ların inflamatuvar süreç içerisinde aşırı üretimi oksidatif strese neden olur ve bu da hücre ve DNA hasarlanması, protein denatürasyonu ve zar lipidlerinin peroksidasyonunu da içeren mekanizmalar yoluyla nekroza yol açmaktadır [2]. Memeli kalp dokusu hücrelerinde yapılan bir çalışmada CP terapisi boyunca SOR' un aşırı üretiminin lipid peroksidasyonu yaptığı ve oluşan membran hasarının miyokardiyal membranın bütünlüğünü bozduğu ve fonksiyon bozukluğuna neden olduğu rapor edilmiştir [5]. Shanholtz [6] yaptığı çalışmada, yüksek doz CP uygulamasının ölümcül kardiyotoksikiteye neden olabileceğini vurgulamıştır. Başka bir çalışmada, CP'nin kardiyotoksik etkilerinin, doza bağlı kardiyak hasar, morfolojik olarak belirlenen nekroz, kanama ve akabinde gelişen fibrozis olduğu belirtilmiştir [7]. BA, kanser ve inflamatuvar hastalık tedavilerinde yara iyileşmesi, oksidatif stresin önlenmesi, ağır metallerin toksik etkilerinin azaltılması ve düzenlenmesinde kullanılan antioksidan ve anti-inflamatuvar özelliklere sahip bir eser element türevi olan bir bileşiktir. [8-10]. Bu çalışmada CP nedenli oksidatif stres ve kalp hasarı üzerine BA'nın olası kardiyoprotektif etkisi bir sıçan modelinde ilk kez test edilmiştir.

## **2. Materyal ve Metot**

### **2.1. Kimyasal maddeler ve gruplar**

% 99 oranında saf BA ve CP (25 mg/500ml) ticari şirketten (Sigma-Aldrich, Darmstadt, Almanya) satın alınmıştır. BA ve CP i.p. olarak uygulanmıştır. Bu çalışmada 180-240 gr ağırlığında 24 adet Sprague Dawley erkek sıçan kullanılmıştır. Sıçanlar, pelet ve musluk suyu ile beslendikleri kontrollü laboratuvar koşullarında tutulmuştur. Deney hayvanları rastgele her biri 6 sıçan içeren 4 gruba ayrılmıştır. Otomatik kontrol edilen odalarda, % 45 ± 50 oranında nem, 22 ± 2 °C sıcaklıkta, gün ışığında ve karanlıkta 12/12 saat tutulmuştur. Bu çalışmada izlenen tüm hayvan prosedürleri Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Hayvan Refahı Komitesi (648-1/2018 sayılı Etik Kurul) tarafından onaylanmıştır. BA ve CP saf su içinde çözülmüştür. Kontrol grubu hayvanlarına, 6 gün boyunca 0.5 mL salin verildi. Sadece CP verilen grupta, hayvanlara 6 gün boyunca her gün 0.5 mL salin, deneyin dördüncü gününde CP (200 mg / kg) uygulanmıştır [11]. BA grubuna ait hayvanlar 6 gün boyunca her gün BA (200 mg / kg) almıştır. BA + CP grubuna ait hayvanlara, deneyin ilk 3 günü sadece BA uygulanmış olup deneyin 4. günü BA+SF birlikte uygulanmıştır. Deneyin 5. ve 6. günü sadece BA uygulanmıştır. Deneyin 7. gününde, tüm deney gruplarındaki hayvanlar, kan ve kalp dokularını değerlendirmek üzere anestezi edilmiştir [12].

### **2.2. Serum Örneklerinin Hazırlanması ve Biyokimyasal Analiz**

#### **2.2.1. Kardiyak Enzimlerin Değerlendirilmesi**

Laktat dehidrogenaz (LDH) ve kreatin kinaz-MB'nin (CK-MB) serum aktiviteleri, üreticinin talimatlarına göre, bir otoanalizörde ticari kitler (Sigma-Aldrich) kullanılarak analiz edilmiştir. (HITACHI-917, Wiesbaden, Almanya).

#### **2.2.2. İskemi-Modifiye Albüminin Ölçümü (IMA)**

Serumda IMA ölçümü Bar-Or ve ark., [13] tanımladığı yöntemle göre spektrofotometrik olarak yapılmıştır.

### **2.3. Histolojik analiz**

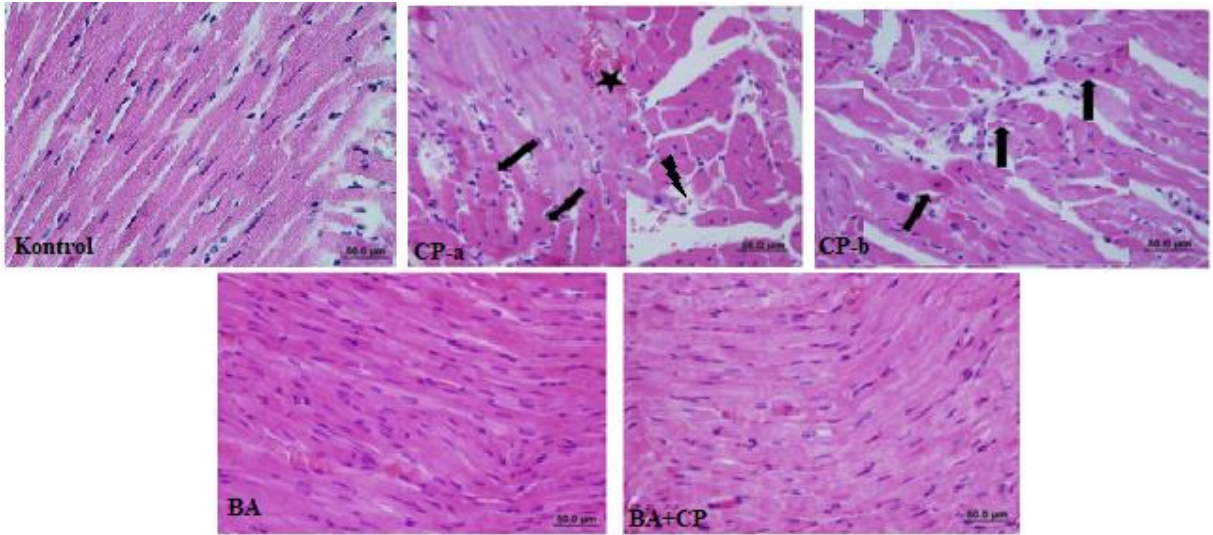
Kalp dokusu, % 10 formaldehit çözeltisi ile tespit edilmiştir. Rutin histolojik doku takibinden sonra alınan 5.0 µm kalınlığında kesitler Hematoksilin-Eozin (H&E) ile boyanarak histopatolojik değerlendirmeler için preparat haline getirilmiştir.

#### 2.4. İstatistiksel analiz

Veri analizleri SPSS 20.0 ve Sigma Stat yazılım paketleri ile yapılmıştır. Bağımsız ölçümler ve normal dağılımlı sürekli veriler One Way Anova ile analiz edilmiştir. Anormal dağılım gösteren skorlara Kruskal-Wallis testi uygulanmıştır. Deney grupları arasında gözlenen farklar  $p < 0,001$  ise anlamlı kabul edilmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

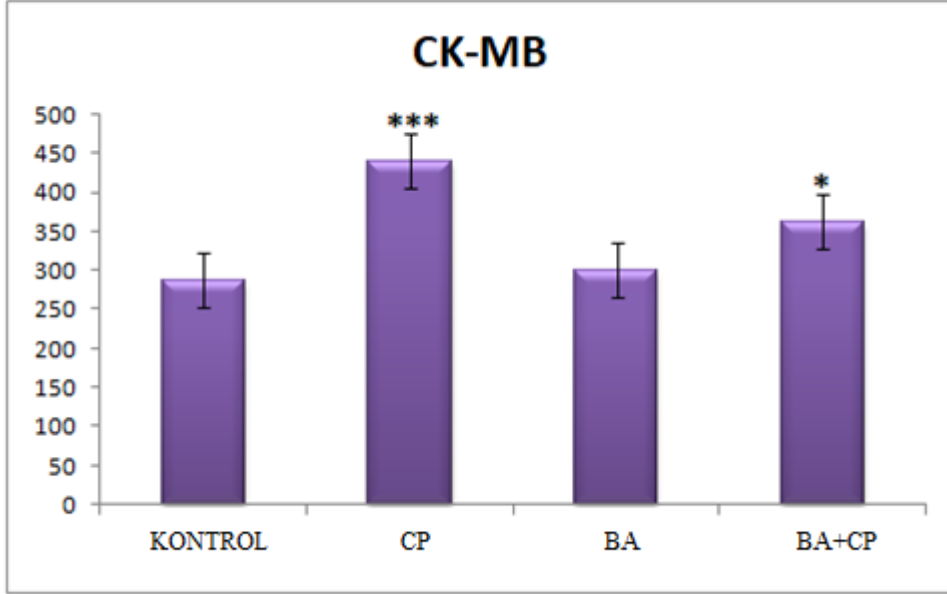
Bu çalışma, SF nedenli kalp hasar gelişiminin antioksidan özelliği bilinen BA tarafından önlenip önlenmediğini araştırmıştır. Histopatolojik bulgular Şekil 1’de gösterilmiştir. Şekil 1 incelendiğinde, kontrol ve sadece 200 mg/kg BA verilen gruplarda tek çekirdekli, şekil olarak oval yapıya sahip normal kalp dokusu görülmüştür. Sadece CP verilen hayvanlarda, kardiyak kas hücrelerinde eozinofilik boyanma, hücrel ödem, yoğun kromatine bağlı olarak çekirdeğin küçülmesi, koyu boyanma ve çekirdek sınırlarında düzensizlik gözlenmiştir. Ayrıca, küçük çaplı kanamalar ve ödem bölgeleri nedeniyle kardiyomiyositlerin ayrılması tespit edilmiştir. CP uygulamasından önce BA ile ön koruma yapılan deney grubuna ait kalp dokusu kesitleri incelendiğinde kontrole oldukça benzer olduğu saptanmıştır. Çalışmada elde ettiğimiz histopatolojik bulgulara benzer olarak, Çetik ve ark., [1] çalışmalarında CP(150 mg/kg) verilen deney gruplarına ait kalp dokusunda, hücre stoplazmalarında boyanma özelliklerinde değişimler, çekirdeklerinde daha koyu renk ve büzülmeler, kas hücrelerinin arasında kanamalar, küçük iltihabi hücre odakları, kas liflerinde birbirinden ayrılmalar olduğunu göstermişlerdir. Bir başka çalışmada ise 200 mg/kg CP verilen sıçanlarda, miyokarda hemorajik odaklar, miyokardiyal liflerde bozulma ve hiyalinleşme olduğu gösterilmiştir [14]. Çalışmamızın histolojik bulguları araştırmacılar tarafından ileri sürülen bulgular ile paralellik göstermektedir.



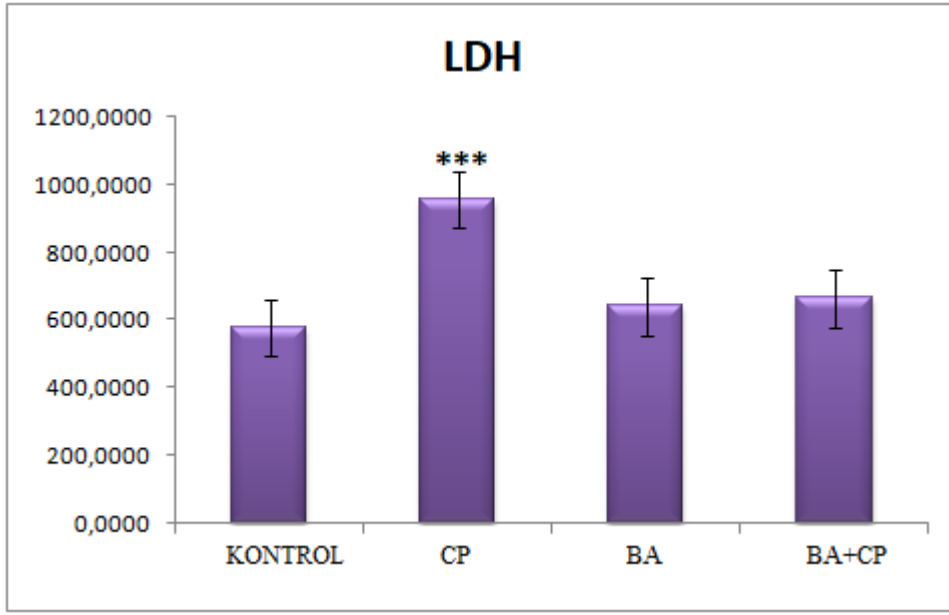
**Şekil 1.** Normal histolojisi olan kalp dokularında H+E boyama (Kontrol ve BA grubu), ödem, koyu ve küçülmüş çekirdekler (oklar) nedeniyle birbirinden ayrılmış koyu eozinofilik sitoplazmalı, hemoraji (asteriks), hücrel ödem (şimşek) ve anormal bazofilik lekeli kardiyak kas hücrelerinin küçük bir odak noktası; (CP-a ve CP-b) ve kalp dokusunun normal histolojik yapısına sahip görüntüsü (BA+ CP).

Diğer taraftan biyokimyasal değerlendirmemizde, kalp kası hasarının spesifik göstergeleri olan serum CK-MB, LDH ve IMA düzeylerinin, 200 mg/kg CP verilen deney grubunda önemli oranda arttığı belirlenmiştir (Şekil 2,3 ve 4). Bu durum kalp dokusunun CP varlığında hasarlandığını göstermektedir. CP ile birlikte verilen 200 mg/kg BA'nın, CK-MB düzeyini kontrol düzeyine yaklaştırarak iyileşme yaptığı saptanmıştır. Bulgularımızla uyumlu olarak, yapılan klinik bir çalışmada, CP kemoterapisinin

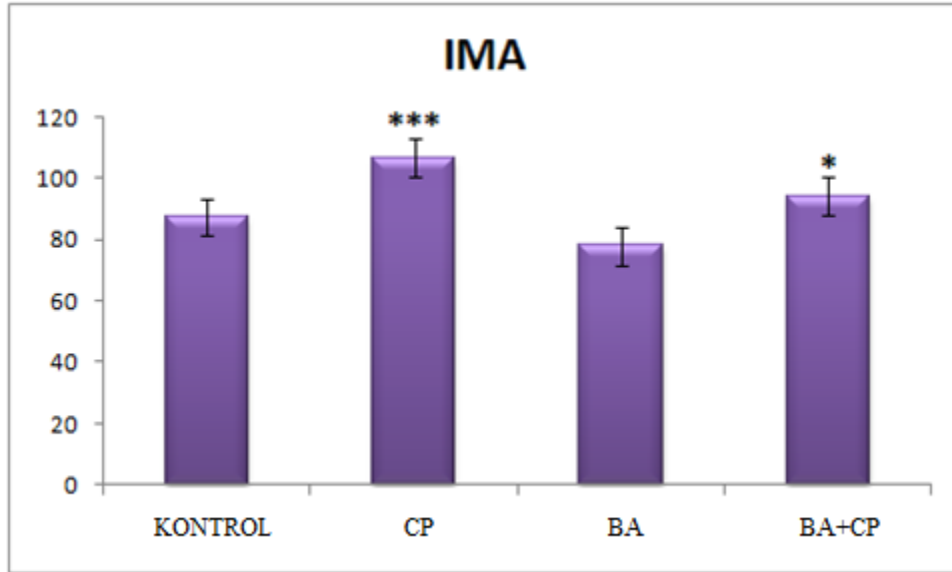
kardiyak hasarın belirleyicisi olan CK-MB'yi arttırdığı bildirilmiştir. Yousif [4], sıçanlarda yaptığı deneysel bir çalışmada, 200 mg/kg CP'nin kalp dokusunda oksidatif stres ile birlikte CK-MB ve LDH seviyelerinde artışa ve miyokardiyal disfonksiyona neden olduğunu rapor etmiştir. Yine bir çalışmada, Mythili ve ark., [15] sıçanlarda CP'nin kalp dokusunda serum LDH ve CK-MB düzeyini arttırdığını, akut kalp yetmezliği ve histopatolojik lezyonların görüldüğünü vurgulamışlardır. Buna karşılık çalışmamızda BA+CP verilen grupta CK-MB, LDH ve IMA düzeyleri sadece CP verilen gruba göre önemli oranda azalma göstermiştir ( $p < 0.05$ ).



**Şekil 2.** Deney gruplarının CK-MB (U/L) değerleri bakımından kontrol grubuna göre ortalama değerlerinin istatistiksel karşılaştırması. \*\*\*;  $p < 0.001$  ileri derecede anlamlı fark, \*;  $p < 0.05$  anlamlı fark



**Şekil 3.** Deneysel gruplarının LDH (U/L) değerleri bakımından kontrol grubuna göre ortalama değerlerinin istatistiksel karşılaştırması. \*\*\*,  $p < 0.001$  ileri derecede anlamlı fark, \* $p < 0.05$  anlamlı fark



**Şekil 4.** Deneysel gruplarının IMA (ABSU: absorbanz ünitesi) değerleri bakımından kontrol grubuna göre ortalama değerlerinin istatistiksel karşılaştırması. \*\*\*,  $p < 0.001$  ileri derecede anlamlı fark, \* $p < 0.05$  anlamlı fark

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Çalışmamızda gözlenen doku hasarı, CP metabolitlerinin neden olduğu membran hasarı ile ilgili olduğunu göstermektedir. Nitekim, bu patolojik değişiklikler hasar markırlarının seviyelerinde meydana gelen değişimler ile de uyumludur. CP ile birlikte uyguladığımız BA'nın bu doku hasarı ve nekroz gibi anormal patolojik bulguları azalttığı ve kalp dokusunu oksidatif hasara karşı koruduğunu göstermektedir. Çalışmamızın bulguları CP nedenli doku hasarı, antioksidan ve membranı stabilize edici

özellik gösteren BA ile korunabileceğini göstermektedir. Ancak bu konuda özellikle kullanılan doz yönünden daha detaylı çalışmalar yapılmalı ve yeni in-vivo yöntemler de denenmelidir.

## Kaynaklar

1. Cetik S. 2014. Sıçanlarda Siklofosfamid Nedenli Kardiyotoksistede Oksidatif Stres ve Kalp Hasarına Karşı Karvakrol'ün Koruyucu Etkisi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 3s, Eskişehir.
2. Nagi M., Al-Shabanah O., Hafez M., Sayed-Ahmed M. 2010. Thymoquinone Supplementation Attenuates Cyclophosphamide-induced Cardio toxicity in Rats. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*, 25 (3): 135-42.
3. Kawabata T.T., Chapman M.Y., Kim D.H., Stevens W.D., Holsapple M.P. 1990. Mechanism of in vitro Immunosuppression by Hepatocyte Generated Cyclophosphamide Metabolites and 4-Hydroxycyclophosphamide, *Biochemical Pharmacology*, 40 (5): 927-935.
4. Yousif A. 2010. Attenuates Cyclophosphamide-induced Oxidative Apoptosis, p53 and Bax Signal Expression in Rat Cardiac Tissues. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 3 (5): 308-316.
5. Janero D.R., Hreniuk, D., Sharif, H.M. 1991. Hydrogen peroxide-induced oxidative stress to the mammalian heart-muscle cell (cardiomyocyte): Lethal peroxidative membrane injury. *Journal of Cellular Physiology*, 149 (3): 347-364.
6. Shanholtz C.2001. Acute life-threatening toxicity of cancer treatment. *Critical Care Clinics*, 17 (3): 483-502.
7. Ludeman S.M. 1999. The chemistry of the metabolites of cyclophosphamide. *Current Pharmaceutical Design*, 5 (8): 627-643.
8. Henderson K., Stella S.L., Kobylewski S., Eckhert C.D. 2009. Receptor activated Ca<sup>(2+)</sup> release is inhibited by boric acid in prostate cancer cells. *PLoS One*, 4 (6): e6009.
9. Ustundag A., Behm C., Follmann W., Duydu Y., Degen G.H. 2014. Protective effect of boric acid on lead- and cadmium-induced genotoxicity in V79 cells. *Archives of Toxicology*, 88 (6): 1281-1289.
10. Sogut I., Oglakci A., Kartkaya K., Ol K.K., Sogut M.S., Kanbak G., Inal M.E. 2015. Effect of boric acid on oxidative stress in rats with fetal alcohol syndrome. *Experimental and Therapeutic Medicine*, 9 (3): 1023-1027.
11. Goudarzia M., Khodayara MJ., Tabatabaeib S.M.T.H., Ghaznavic H.F.I., Mehrzadi S. 2017. Pretreatment with melatonin protects against cyclophosphamide-induced oxidative stress and renal damage in mice. *Fundamental & Clinical Pharmacology*, 625-635.
12. Cengiz M. 2018. Hematoprotective effect of boron on cyclophosphamide toxicity in rats. *Cellular and Molecular Biology*, 64 (5): 62-65.
13. Bar-Or D., Lau E., Winkler J.V. 2000. A novel assay for cobalt-albumin binding and its potential as a marker for myocardial ischemia - a preliminary report. *Journal of Emergency Medicine*, 19: 311-315.
14. Tarek M.K., Motawi Nermin A.H., Sadik A.R. 2010. Cytoprotective effects of DL-alpha-lipoic acid or squalene on cyclophosphamide-induced oxidative injury: An experimental study on rat myocardium, Testicles and urinary bladder. *Food and Chemical Toxicology*, 48 (8-9): 2326-2336.
15. Mythili Y., Sudharsan P,T., Selvakumar E., Varalakshmi P. 2004. Protective effect of DL- $\alpha$ -lipoic acid on cyclophosphamide induced oxidative cardiac injury. *Chemico-Biological Interactions*, 151 (1): 13-19.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Some Theorems on Compactness and Completeness

Ufuk KAYA\*

*Bitlis Eren University, Department of Mathematics, Bitlis*

---

### Abstract

In this work, we prove the validity of the converses of some theorems about compactness and completeness. After we give some required basic definitions and theorems, we define monolimit property for sequences and nets, convergent subsequences property for first countable Hausdorff space, convergent subnets property for general Hausdorff space, and also, we show that those properties are equivalent to compactness and sequential compactness. On the other hand, we prove that a metric space is complete iff every totally bounded subset of it is relatively compact. Finally, we give some examples from some abstract spaces and normed spaces for application.

**Keywords:** Topology, Compactness, Completeness, Sequence, Net, Convergence.

---

## Kompaktlık ve Tamlık Üzerine Bazı Teoremler

---

### Öz

Bu çalışmada, kompaktlık ve tamlık konularındaki bazı teoremlerin terslerinin de doğru olduğunu ispatlayacağız. Çalışma için bize gerekli olan temel tanım ve teoremlere değindikten sonra, diziler ve ağlar için tek limit özelliği, birinci sayılabilir Hausdorff uzaylar için yakınsak alt diziler özelliği, genel Hausdorff uzaylar için ise yakınsak alt ağlar özelliğini tanımlayacağız ve bu özelliklerin kompaktlığa ve dizisel kompaktlığa denk olduğunu göstereceğiz. Bunu yanı sıra, bir metrik uzayın tam olması için bir gerek ve yeter koşulun o metrik uzaydaki tamamen sınırlı her alt kümenin rölatif kompakt olması olduğunu ispatlayacağız. Son olarak ispatladığımız teoremlerin uygulaması için bazı soyut uzaylardan ve bazı normlu uzaylardan örnekler vereceğiz.

**Anahtar kelimeler:** Topoloji, Kompaktlık, Tamlık, Diziler, Ağlar, Yakınsaklık.

---

### 1. Introduction

In topology, some theorems were proved as necessity or sufficiency. However, the converses of them have not been studied yet, especially on compactness and completeness. For example, if every convergent subsequence of a sequence in a sequentially compact space has the same limit, then the original sequence is convergent, see [3]. In this paper, we consider this theorem and we named this property as monolimit property. Also, we define monolimit property for nets in topological spaces and prove that it is necessary and sufficient for sequential compactness.

In the next section, we emphasize on completeness. We know that totally boundedness implies relative compactness in a complete metric space, see [1]. We show that converse of this fact is valid, i.e. a metric space  $X$  is complete iff every totally bounded subset of that space is relatively compact.

Finally, we give some examples as application for theorems that we prove.

### 2. Preliminaries

In this section, we give some required definitions and theorems.

A topology  $\mathcal{F}$  over a nonempty set  $Y$  is a collection of some subsets of  $Y$  satisfying 3 condition:

1) Emptyset and  $Y$  is in  $\mathcal{F}$ , 2) Any union of subcollection of  $\mathcal{F}$  is in  $\mathcal{F}$ , 2) Any intersection of two sets

---

\*Sorumlu yazar: [mat-ufuk@hotmail.com](mailto:mat-ufuk@hotmail.com)

Geliş Tarihi: 18/04/2018 Kabul Tarihi: 23/05/2018

of  $\mathcal{F}$  is in  $\mathcal{F}$ . If a collection  $\mathcal{F}$  is a topology on  $Y$ ,  $(Y, \mathcal{F})$  is said to be a topological space. The sets of  $\mathcal{F}$  is called opens [2].

Let  $\mathcal{F}$  be a topology on  $Y$ ,  $a \in O$  and  $O \in \mathcal{F}$ . Then,  $O$  is said to be a neighborhood of  $a$  [2].

$(Y, \mathcal{F})$  is called a Hausdorff topological space if there exist two disjoint neighborhood of any distinct point  $a$  and  $b$  in  $Y$  [2].

$(Y, \mathcal{F})$  is said to be a first countable topological space if there exists countable collection of neighborhoods of any point  $a$  such that every neighborhood of  $a$  includes a member of that countable collection [3].

Let  $Y$  be a set and  $d: Y \times Y \rightarrow \mathbb{R}$  be a function that satisfies following 3 conditions: 1)  $d(a, b) = 0 \Leftrightarrow a = b$ , 2)  $d(a, b) = d(b, a)$ , 3)  $d(a, b) \leq d(a, c) + d(c, b)$ . Then  $d$  is called a metric on  $Y$  and The pair  $(Y, d)$  is called a metric space [1].

Let  $(Y, d)$  be a metric space,  $a \in Y$  and  $\varepsilon > 0$ . Then, the set  $U_\varepsilon(a) = \{t \in Y | d(t, a) < \varepsilon\}$  is said to be an open ball with center  $x$  and radius  $\varepsilon$  [1].

Let  $(Y, d)$  be a metric space and  $A \subset Y$ . Then  $A$  is called an open set provided there exists a positive number  $\varepsilon_a$  satisfying the inclusion  $U_{\varepsilon_a}(a) \subset A$  for each  $a \in A$  [1].

All the open sets of a metric space form a topology. In this case, the topological space generated by given metric is said to be a metrizable space [1].

A metrizable space is both Hausdorff and first countable [2].

Let  $Y$  be a set. Then the metric defined by

$$\rho(a, b) = \begin{cases} 0, & a = b, \\ 1, & a \neq b \end{cases}$$

is called the discrete metric on  $Y$  [1].

The topology generated by that metric is the power set  $\mathcal{P}(Y)$  and it is called the discrete topology on  $Y$  [2].

A function defined on  $\mathbb{N}$  to  $Y$  is called a sequence, where  $Y$  is a metric or topological space. A sequence is denoted by  $(a_n)$  [1].

A sequence  $(a_n)$  is called convergent to a point  $a$  in a metric space  $(Y, d)$  provided that for each  $\varepsilon > 0$ , there exists a natural number  $n_\varepsilon$  such that  $d(a_n, a) < \varepsilon$  for every  $n > n_\varepsilon$  [1].

A sequence  $(a_n)$  is called a Cauchy sequence in a metric space  $(Y, d)$  provided that for each  $\varepsilon > 0$ , there exists a natural number  $n_\varepsilon$  such that  $d(a_n, a_m) < \varepsilon$  for every  $n, m > n_\varepsilon$  [1].

In a metric space, any convergent sequence is a Cauchy sequence [1].

A complete space is a metric space that every Cauchy sequence in it is convergent [1].

A topological space is called a compact space if every open cover contains a finite subcover [2].

A topological space is called a sequentially compact space if every sequence contains a convergent subsequence [2].

Let  $(Y, d)$  be a metric space,  $\varepsilon > 0$  and  $a, a_2, \dots, a_n \in Y$ . Then, the finite collection  $\{U_\varepsilon(a_1), U_\varepsilon(a_2), \dots, U_\varepsilon(a_n)\}$  is called an  $\varepsilon$ -net provided  $Y \subset \bigcup_{k=1}^n U_\varepsilon(a_k)$ .  $(Y, d)$  is called totally bounded if it has  $\varepsilon$ -net for every  $\varepsilon > 0$  [1].

Let  $(Y, \mathcal{F})$  be a topological space and  $A \subset Y$ .  $A$  is called a relatively compact set if  $\overline{A}$  is compact [1].

Let  $D$  be a set and  $\leq$  be a relation on  $D$ . Then,  $D$  is said to be a directed set if the relation  $\leq$  satisfies following 3 conditions: 1)  $\mu \leq \mu$  for each  $\mu \in D$ , 2)  $\mu_1 \leq \mu_2$  and  $\mu_2 \leq \mu_3 \Rightarrow \mu_1 \leq \mu_3$ , 3) for each  $\mu_1$  and  $\mu_2$ , there exists  $\mu \in D$  satisfying  $\mu_1 \leq \mu$  and  $\mu_2 \leq \mu$  [2].

A net is a function defined on a directed set to a topological space and it is denoted by  $(x_\mu)_{\mu \in D}$  [2].

A net  $(x_\mu)_{\mu \in D}$  is said to be convergent to a point  $a$  in a topological space  $(Y, \mathcal{F})$  if for every  $O \in \mathcal{F}$  with  $a \in O$ , there exists  $\mu_O \in D$  such that  $x_\mu \in O$  for each  $\mu \geq \mu_O$  [2].

Let  $D$  and  $E$  be two directed sets;  $(x_\lambda)_{\lambda \in D}$  and  $(y_\mu)_{\mu \in E}$  be two nets in a topological space  $(Y, \mathcal{F})$ . Then,  $(y_\mu)_{\mu \in E}$  is called a subnet of the net  $(x_\lambda)_{\lambda \in D}$  if there exists a function  $\varphi$  from  $E$  to  $D$ , such that  $y_\mu = x_{\varphi(\mu)}$  for each  $\mu \in E$  and for each  $\lambda \in D$ , there exists  $\mu \in E$  with the property  $p \geq \mu \Rightarrow \varphi(p) \geq \lambda$  [2].

### 3. Convergent Subnets Property

We define, in this section, the concept of convergent subnets property and prove that it is equivalent to compactness. For this, first, we define the concept of convergent subsequences property, and then, we define the concept of convergent subnets property.

#### 3.1. Convergent Subsequences Property in A First Countable Topological Space

**Definition 1.** Let  $(a_n)$  be a sequence in a first countable, Hausdorff space  $(Y, \mathcal{F})$ . Then we state that  $(a_n)$  has monolimit property if every convergent subsequence of it has the same limit.

**Definition 2.** We state that a first countable, Hausdorff space  $(Y, \mathcal{F})$  has convergent subsequences property provided that every sequence with the monolimit property is convergent in  $Y$ .

**Remark 1.** It is obvious that if a sequence has the monolimit property and contains at least one convergent subsequence converging to a point  $a$  in a space with the convergent subsequences property, then the original sequence converges to the same point  $a$ .

**Remark 2.** If a sequence does not contain a convergent subsequence, then it has monolimit property. Otherwise, we must find at least two subsequences of it converging two distinct points. So, a sequence not containing convergent subsequence has the monolimit property.

**Example 1.** Given a finite set  $Y$  equipped with a Hausdorff topology. One can easily see that the unique Hausdorff topology on a finite set is the discrete topology  $\mathcal{P}(Y)$ . We now show that this space has convergent subsequences property. Let  $(a_n)$  be a sequence in  $Y$  with monolimit property. We prove that it is convergent. Since  $Y$  is finite, there exists a subsequence  $(a_{k_n})$  of  $(a_n)$  and there exists a point  $a$  in  $Y$  such that  $a_{k_n} = a$  for every  $n \in \mathbb{N}$ . On the other hand, if a point  $b$  in  $Y$  satisfies  $a_{m_n} = b$  for a subsequence  $(a_{m_n})$ , then  $a = b$  because  $(a_n)$  has the monolimit property. Consequently, we have proven that the sequence  $(a_n)$  is eventually equal to the point  $a$ . Then, it is convergent to that point.

Conversely, we consider the discrete topology on a set  $Y$  with the convergent subsequences property. We now prove that  $Y$  is finite. Assume the contrary. Let  $Y$  be an infinite set. Then, there exists an infinite sequence  $(a_n)$  satisfying the condition  $n_1 \neq n_2 \Rightarrow a_{n_1} \neq a_{n_2}$ . It is well known that a sequence is convergent iff it is eventually equal to a point in the discrete topology on a set. So, the infinite sequence  $(a_n)$  has no convergent subsequence. By this fact, it has monolimit property. However, it does not converge a point. It is a contradiction. Then,  $Y$  must be a finite set.

**Theorem 1.** In order that a first countable, Hausdorff space  $(Y, \mathcal{F})$  be compact, it is necessary and sufficient that it has convergent subsequences property.

**Proof.** For the necessity, see [3]. We only prove the sufficiency. Assume that this space has the convergent subsequences property. We show that it is compact. In a first countable space, compactness and sequential compactness are equivalent, see [3]. Then, we show that this space is sequentially compact by contradiction. Assume that  $(Y, \mathcal{F})$  has the convergent subsequences property but is not sequentially compact. Then, there exists a sequence in  $Y$  with no convergent subsequence. So, it has monolimit property. By the hypothesis, it must be convergent. It is a contradiction. Consequently, the space  $(Y, \mathcal{F})$  is sequentially compact, i.e., it is compact.

With the above theorem, we have the following corollary.

**Corollary 1.** For a first countable, Hausdorff space  $(Y, \mathcal{F})$  the following propositions are equivalent:

1.  $Y$  is compact,
2.  $Y$  is sequentially compact,
3.  $Y$  is both totally bounded and complete (if  $Y$  is a metric space),
4.  $Y$  has the convergent subsequences property.



**Remark 3.** In Example 1, we have proven that a set equipped with the discrete topology has the convergent subsequences property if and only if it is finite. It is well known that a set equipped with the discrete topology is compact if and only if it is finite. Corollary 1 supports this fact.

### 3.2. Convergent Subnets Property in an Arbitrary Topological Space

In a space not satisfying first countability, sequences are not sufficient for some characterizations. For example, sequential compactness does not require compactness. That's why we will define convergent subsequences property by using nets. We will call this feature convergent subnets property later. First, we define monolimit property for nets.

**Definition 3.** Let  $D$  be a directed set and  $(x_\mu)_{\mu \in D}$  be a net in a Hausdorff space  $(Y, \mathcal{F})$ . Then we state that  $(x_\mu)_{\mu \in D}$  has monolimit property if every convergent subnet of it has the same limit.

**Definition 4.** We state that a Hausdorff space  $(Y, \mathcal{F})$  has convergent subnets property provided that every net with the monolimit property is convergent in  $Y$ .

**Remark 4.** Remark 1 and Remark 2 is valid if we use the word “net” instead of “sequence”.

**Theorem 2.** In order that a Hausdorff space  $(Y, \mathcal{F})$  be compact, it is necessary and sufficient that it has convergent subnets property.

The above theorem can be proven by using nets instead of sequences similar to proof of Theorem 1 (for the equivalency of 1 and 2 in the following corollary, see [2]).

**Corollary 1.** For a Hausdorff space  $(Y, \mathcal{F})$ , the following propositions are equivalent:

1.  $Y$  is compact,
2. Every net in  $Y$  contains a convergent subnet,
3.  $Y$  has the convergent subnets property.

### 4. A Criterion for Completeness of a Metric Space

Completeness of a metric space is that every Cauchy sequence is convergent in that space. In this section, we give another criterion for completeness via compactness. Indeed, we give a relation between completeness and compactness. In a complete metric space, every totally bounded subset is relatively compact. We show that this requirement is sufficient for completeness.

**Theorem 3.** A metric space  $(Y, d)$  is complete if and only if every totally bounded subset of it is relatively compact.

**Proof.** For the necessity, see [1]. We prove the sufficiency. Assume that every totally bounded subset of  $Y$  is relatively compact. Given a Cauchy sequence  $(a_n)$  in  $Y$  and  $\varepsilon > 0$ . Then, there exists a natural number  $n_\varepsilon$  such that  $d(a_n, a_m) < \varepsilon$  for every  $n, m > n_\varepsilon$ . This implies that the ball  $U_\varepsilon(a_{n_\varepsilon+1})$  contains the set  $\{a_{n_\varepsilon+1}, a_{n_\varepsilon+2}, a_{n_\varepsilon+3}, \dots\}$ . So, the  $\varepsilon$ -net  $\bigcup_{k=1}^{n_\varepsilon+1} U_\varepsilon(a_k)$  contains all the points of the sequence  $(a_n)$ . This shows us that the set  $S$  of all the terms of the sequence  $(a_n)$  is a totally bounded set in  $Y$ . By the hypothesis,  $S$  is relatively compact i.e., the closure  $\bar{S}$  is compact. The sequence  $(a_n)$  is a Cauchy sequence in the compact set  $\bar{S}$  and we know that every compact set is complete. Then,  $(a_n)$  is convergent in  $\bar{S} \subset Y$ . This ends the proof.

**Example 2.** The rationals  $\mathbb{Q}$  is not a complete space because the subset of all the rational between 0 and 1 is totally bounded but is not relatively compact.

**Example 3.** The space  $(0,1)$  is not complete. This is why the set  $(0,1)$  is totally bounded but the closure is itself and it is not compact.

**Example 4.** Let  $Y$  be nonempty set with discrete metric. Given a totally bounded subset  $S$ . Then, the 1-net of it must be finite and contains  $S$ . This shows us that any totally bounded subset of  $Y$  must be finite. On the other hand, every finite set in a metric space is compact, so is relatively compact. Consequently, any set equipped with discrete metric is complete, by Theorem 3.

**Example 5.** Let  $Y$  be all the polynomials on  $[0,1]$  with uniform metric

$$d(f, g) = \max_{x \in [0,1]} |f(x) - g(x)|$$

and  $S$  be the subset of  $Y$  defined as follows

$$S = \left\{ \sum_{k=0}^n \frac{x^k}{k!} \mid n \in \mathbb{N} \right\}.$$

Given  $\varepsilon > 0$ . Since the series

$$\sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!}$$

is convergent, then there exists an integer  $n_\varepsilon$  such that

$$\sum_{k=n_\varepsilon+1}^n \frac{1}{k!} < \varepsilon$$

for each  $n > n_\varepsilon$ . So, we have

$$d\left(\sum_{k=0}^n \frac{x^k}{k!}, \sum_{k=0}^{n_\varepsilon} \frac{x^k}{k!}\right) = \max_{x \in [0,1]} \left| \sum_{k=0}^n \frac{x^k}{k!} - \sum_{k=0}^{n_\varepsilon} \frac{x^k}{k!} \right| = \max_{x \in [0,1]} \sum_{k=n_\varepsilon+1}^n \frac{x^k}{k!} = \sum_{k=n_\varepsilon+1}^n \frac{1}{k!} < \varepsilon$$

Thus, the set

$$\bigcup_{m=1}^{n_\varepsilon} U_\varepsilon\left(\sum_{k=0}^m \frac{x^k}{k!}\right)$$

is an  $\varepsilon$ -net of the set  $S$ . This proves that  $S$  is totally bounded in  $Y$ . On the other hand,  $S$  is also a sequence in  $\bar{S}$  and  $\bar{S}$  must be included in the space  $Y$ . We now show that the sequence doesn't contain a convergent subsequence in  $\bar{S}$ . Assume the contrary. Let a subsequence of  $S$  converge a function  $f$  in  $\bar{S}$  and we denote that subsequence by

$$S^* = \left\{ \sum_{k=0}^{m_n} \frac{x^k}{k!} \mid n \in \mathbb{N} \right\}.$$

Note that  $f$  must be a polynomial because  $f \in \bar{S} \subset Y$ . Since  $S^*$  is convergent to  $f$  in the sense of  $d$ , it is uniformly convergent. Then we can exchange limit and derivative:

$$f'(x) = \frac{d}{dx} \left( \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=0}^{m_n} \frac{x^k}{k!} \right) = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=0}^{m_n} \frac{d}{dx} \left( \frac{x^k}{k!} \right) = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^{m_n} \frac{x^{k-1}}{(k-1)!} = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=0}^{m_n-1} \frac{x^k}{k!} = f(x)$$

Then, the function  $f$  must be a solution the differential equation  $y' = y$ . So, there exists a constant  $c \in \mathbb{R}$  such that  $f(x) = ce^x$ . Since  $f$  is a polynomial, then  $c$  must be 0, i.e.,  $f(x) = 0$ . However, a positive series never converges to 0. The last shows us  $S$  doesn't contain a convergent subsequence, and so,  $\bar{S}$  is not compact i.e,  $S$  is not relatively compact. Consequently,  $S$  is a totally bounded set that is not relatively compact in  $Y$ . By Theorem 3,  $Y$  is not a complete metric space.

## References

1. Giles J.R. 1987. *Introduction to the Analysis of Metric Spaces*, Cambridge Univ. Press, 257p. Cambridge.
2. Kelley J.L. 1955. *General Topology*, Van Nosrand, 298p. Princeton.
3. Kuratowski K. 1966. *Topology I*, Academic Press, 560p. Warsaw.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Öklid 3-Uzayında Hasimoto Yüzeylerinin Paralel Yüzeyleri

Ali ÇAKMAK<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Matematik Bölümü, Bitlis

---

### Öz

Bu çalışmada, ilk olarak Hasimoto yüzeyler ve paralel yüzeyler tanıtılmıştır. İkinci olarak, Hasimoto yüzeyler ve paralel yüzeylerle ilgili temel tanım ve teoremler verilmiştir. Bundan sonra, elde edilen paralel yüzeylerin birinci ve ikinci temel form katsayıları hesaplanmıştır. Böylece, Gauss ve ortalama eğrilikler bulunmuştur ve asıl yüzey ve paralelinin eğrilikleri arasındaki ilişkiler verilmiştir. Ayrıca, bu eğrilikleri kullanarak, bazı diferansiyel geometrik sonuçlar verilmiştir ve Hasimoto yüzeyi ve paralel yüzeyinin parametre eğrilerinin hangi şart altında geodezik, asimptotik veya eğrilik çizgisi olma durumları tartışılmıştır. Son olarak, eğer Hasimoto yüzeyini üreten eğri bir düzlem eğrisi ise o zaman paralel eğrinin eğriliği hesaplanmıştır. Bir örnek verilmiştir ve elde edilen eğriler Mathematica yardımıyla çizilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Hasimoto Yüzeyler, Paralel Yüzeyler, Gauss Eğriliği, Ortalama Eğrilik.

---

## Parallel Surfaces of Hasimoto Surfaces in Euclidean 3-Space

### Abstract

In this study, firstly Hasimoto surfaces and parallel surfaces are introduced. Secondly, basic definitions and theorems about Hasimoto surfaces and parallel surfaces are given. After that, the coefficients of the first and second fundamental forms of the obtained parallel surfaces are calculated. Thus, Gaussian and mean curvatures are found and the relations between the curvatures of the original surface and its parallel are given. In addition, using these curvatures, some differential geometric results are given and it is discussed that the parameter curves of Hasimoto surface and its parallel surface are geodesic, asymptotic or line of curvature under which condition. Finally, if the curve producing the Hashimoto surface is a plane curve, then curvature of the parallel curve is calculated. An example is given and the obtained curves are drawn with the help of Mathematica.

**Keywords:** Hasimoto Surfaces, Parallel Surfaces, Gaussian Curvature, Mean Curvature.

---

### 1. Giriş

3-boyutlu Öklid uzayda bazı yüzeyler integrallenebilir denklemler vasıtasıyla tanımlanabilir. Bu yüzey tiplerine örnek olarak verilebilecek yüzeylerden biri de Hasimoto yüzeyleridir. Bu yüzeyler, regüler bir  $x$  uzay eğrisinin duman halka denklemi ya da lokalize indüksiyon denklemi (LIE) olarak bilinen

$$x_t(s,t) = x_s \times x_{ss} = \kappa(s,t)b \quad (1)$$

denklemine göre zamanla evirilerek elde edilir. Burada  $x = x(s,t)$ , eğri üzerindeki bir nokta için konum vektörü,  $t$  zaman,  $s$  eğrinin yay uzunluk parametresi,  $\kappa$  eğrinin eğriliği,  $b$  eğrinin binormalı ve alt indisler verilen değişkenlere göre türevleri göstermektedir. 1972 de Hasimoto hareketli bir uzay eğrisi olarak ele alınan bu devinim denkleminin non-linear Schrödinger (NLS) denkleminin dönüştürülebileceğini gösterdi [1]. Bundan dolayı yüzey NLS ya da Hasimoto yüzeyi olarak tanımlanır. Uzay eğrilerinin devinimi, hiperyüzeylerin hareketi ve düzlem eğrilerinin devinimi birçok yazar tarafından çalışılmıştır [2-5]. Vassilioulan ve Lisle, uzay eğrileri için varlık ve teklik teoremini

---

\*Sorumlu yazar: [alicakmak@yahoo.com](mailto:alicakmak@yahoo.com)

Geliş Tarihi: 30/04/2018 Kabul Tarihi: 01 /06 /2018

kullanarak, Serret-Frenet denklemlerinin integrasyonu ile Hasimoto yüzeylerini yapılandırmıştır [6]. Abdel-All ve Hussien, bu yöntemden farklı olarak, yüzeylerin temel teoremi ve Gauss-Weingarten denklemlerinin nümerik integrasyonu ile Hasimoto yüzeylerini temel form katsayıları ile yeniden yapılandırmıştır [7]. Erdoğan ve Özdemir, Hasimoto yüzeylerini Minkowski 3-uzayda ele aldılar. Üç durumda bu yüzeylerin geometrik özelliklerini inceleyip, Gauss ve ortalama eğriliklerini buldular. Ayrıca, Minkowski 3-uzayda Hasimoto yüzeylerinin parametre eğrilerini karakterize ettiler [8].

Diğer yandan, bir yüzeyin yüzey normali boyunca sabit bir mesafede yeniden konumlandırılmasıyla elde edilen paralel yüzey kavramı da diferensiyel geometri de oldukça fazla ele alınan ve incelenen konulardan birisidir [9-13].

Bu çalışma da Hasimoto yüzeylerinin paralel yüzeyleri elde edilerek, asıl yüzey ile paraleli arasında ki çeşitli geometrik sonuçlar verilecektir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu bölümde, Hasimoto yüzeyler ve paralel yüzeyler hakkında temel tanım ve teoremler verilecektir.

### 2.1. Hasimoto Yüzeyler

Daha önce duman halka denklemi olarak verilen

$$x_t = x_s \times x_{ss} \quad (2)$$

denkleminin bir çözümü  $x = x(s,t)$  olarak ele alınabilir. Eğer  $x(s,0)$  yay uzunluğu ile parametrelendirilirse, her  $t$  için  $x = x(s,t)$  olur. Bu durumda eğer her  $t$  için, binormal vektör alanı ile ele alınan ve (2) denklemini sağlayan hareketli uzay eğrisi  $x = x(s,t)$ , bir Hasimoto yüzeyi üretir [8].

Hasimoto yüzeyleri için sırasıyla  $s$  ve  $t$  parametrelerine göre Frenet çatı alanlarının elemanları arasındaki ilişki aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilir:

$$\begin{aligned} t_s &= \kappa n, \\ n_s &= -\kappa t + \tau b, \\ b_s &= -\tau n \end{aligned} \quad (3)$$

ve

$$\begin{aligned} t_t &= -\kappa \tau n + \kappa_s b, \\ n_t &= \kappa \tau t + \frac{\kappa_{ss} - \kappa \tau^2}{\kappa} b, \\ b_t &= -\kappa_s t - \frac{\kappa_{ss} - \kappa \tau^2}{\kappa} n \end{aligned} \quad (4)$$

Burada,  $s$  eğrinin yay uzunluk parametresi,  $\{t, n, b\}$  Frenet çatısı ve  $\kappa$  eğrinin eğriliği,  $\tau$  ise eğrinin burulmasıdır. Eğrilik ve burulma fonksiyonları arasındaki ilişki ise

$$\begin{aligned} \kappa_t &= -2\kappa_s - \kappa \tau_s, \\ \tau_t &= \kappa \kappa_s - 2\tau \tau_s + \left( \frac{\kappa_{ss}}{\kappa} \right)_s \end{aligned} \quad (5)$$

denklemleri ile verilir [7]. (5) denkleminin çözümü ile  $c_1, c_2, c_3$  herhangi reel sabitler olmak üzere,

$$\begin{aligned}\kappa &= 2c_1 \operatorname{sech}(c_2 t + c_1 s + c_3), \\ \tau &= -\frac{c_2}{2c_1}\end{aligned}\quad (6)$$

denklemleri olarak elde edilir [7].

$x = x(s, t)$  Hasimoto yüzeyi için  $x_s = t$  ve  $x_t = \kappa b$  yüzeye teğet vektörlerdir. Buradan hareketle birinci temel form katsayıları

$$E = 1, F = 0, G = \kappa^2 \quad (7)$$

biçiminde hesaplanarak,

$$I = ds^2 + \kappa^2 dt^2 \quad (8)$$

yazılabilir [7]. Yüzeyin birim normal vektör alanı;  $n$  eğrinin birim normal vektörü olmak üzere,

$$N = \frac{x_s \times x_t}{|x_s \times x_t|} = -n \quad (9)$$

olur. Ayrıca, ikinci temel form katsayıları

$$e = -\kappa, f = \kappa\tau, g = \kappa_{ss} - \kappa\tau^2 \quad (10)$$

olduğundan

$$II = -\kappa ds^2 + 2\kappa\tau ds dt + (\kappa_{ss} - \kappa\tau^2) dt^2 \quad (11)$$

olur [7]. Böylece, Hasimoto yüzeyinin Gauss ve ortalama eğriliği sırasıyla,

$$K = -\frac{\kappa_{ss}}{\kappa} \quad (12)$$

$$H = \frac{1}{2\kappa^2} (\kappa_{ss} - \kappa^3 - \kappa\tau^2) \quad (13)$$

olarak elde edilir [7].

## 2.2. Paralel Yüzeyler

**Tanım 2.1.**  $X_1$  ve  $X_2$ , 3-boyutlu Öklid uzayında iki yüzey ve  $X_1$  in birim normal vektör alanı  $n$  olsun.  $r$  sabit bir sayı olmak üzere,

$$f: X_1 \rightarrow X_2, f(P) = P + r n_p \quad (14)$$

olarak tanımlanan bir  $f$  fonksiyonu varsa  $X_1$  ve  $X_2$  yüzeylerine paralel yüzeyler denir [9].  $X$  yüzeyi verildiğinde,

$$X^r = \{P + r n_p : P \in M, r \in \mathbb{R} \text{ ve } r = sbt\}$$

eşitliği ile verilen  $X^r$  kümesi  $X$  e paralel bir yüzeydir [14].

**Teorem 2.1.**  $E^3$  de bir  $X$  yüzeyinin paralel yüzeyi  $X^r$  olsun.  $P \in X$  noktasında  $X$  nin Gauss ve ortalama eğrilikleri, sırasıyla,  $K$  ve  $H$ ,  $f(P) \in X^r$  noktasında  $X^r$  nin Gauss ve ortalama eğrilikleri de  $K^r$  ve  $H^r$  olsun. Bu durumda,

$$K^r = \frac{K}{1 - rH + r^2K} \quad (15)$$

$$H^r = \frac{H - 2rK}{1 - rH + r^2K} \quad (16)$$

dır [14-15].

**Önerme 2.1.**  $\alpha: I \rightarrow E^3$  regüler bir düzlem eğrisi ve paraleli  $\alpha^r$  olsun.  $\alpha$  nın eğriliği  $\kappa$  ve  $1 - r\kappa \neq 0$  olmak üzere, paralel eğrilerin eğrilikleri arasında;

$$\kappa^r = \frac{\kappa}{|1 - r\kappa|} \quad (17)$$

bağıntısı vardır [15].

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde öncelikle Hasimoto yüzeyinin paralel yüzeyini elde edelim. Bunun için paralel yüzey tanımı gereği,  $N$  yüzey normali olmak üzere,

$$x^r(s, t) = x(s, t) + rN \quad (18)$$

yazılabilir. Elde edilen bu paralel yüzeyin Gauss ve ortalama eğrilikleri arsında ki bağıntı için aşağıdaki teoremi yazabiliriz:

**Teorem 3.1.**  $x = x(s, t)$  bir Hasimoto yüzey ve paraleli  $x^r(s, t)$  olsun. Buna göre, paralel yüzeyin Gauss ve ortalama eğriliği sırasıyla  $K^r$  ve  $H^r$  ile gösterilmek üzere;

$$K^r = -\frac{\kappa\kappa_{ss}}{\kappa^2 - r\kappa_{ss} + r\kappa^3 + r\kappa(\tau^2 - r\kappa_{ss})} \quad (19)$$

ve

$$H^r = \frac{\kappa_{ss} - \kappa(\kappa^2 + \tau^2) + 2r\kappa\kappa_{ss}}{2(\kappa^2 - r\kappa_{ss} + r\kappa^3 + r\kappa(\tau^2 - r\kappa_{ss}))} \quad (20)$$

olur. Burada,  $\kappa$ ; Hasimoto yüzeyini üreten eğrinin eğriliğidir.

**İspat:** Paralel yüzeylerin Gauss ve ortalama eğrilikleri arasında ki ilişki Teorem 2.1 de verilmişti. Buna göre Hasimoto yüzeyinin (12) ve (13) denklemlerinde verilen Gauss ve ortalama eğrilikleri (15) ve (16) denklemlerinde yerlerine yazılırsa, kolaylıkla (19) ve (20) denklemleri elde edilir.

**Sonuç 3.1.** Bilindiği gibi bir yüzeyin Gauss eğriliği sıfır ise yüzey açılabilir. O halde, Hasimoto yüzeyinin açılabilir olması için gerek ve yeter şart paralelinin açılabilir olmasıdır. Yani,  $\kappa_{ss} = 0$  olmalıdır.

**Sonuç 3.2.** Bilindiği gibi bir yüzeyin ortalama eğriliği sıfır ise yüzey minimaldir. O halde, Hasimoto yüzeyinin minimal olması için gerek ve yeter şart  $\kappa_{ss} = \kappa(\kappa^2 + \tau^2)$  olmasıdır. Bu durumda paralel yüzeyin minimal olması için gerek ve yeter şart  $\kappa_{ss} = \frac{\kappa(\kappa^2 + \tau^2)}{1 + 2r\kappa}$  olmasıdır.

**Sonuç 3.3.** Eğer bir yüzeyin Gauss ve ortalama eğrilikleri için  $s$  ve  $t$  parametrelerine göre kısmi türevler arasında  $K_s H_t - K_t H_s = 0$  eşitliği varsa yüzeye Weingarten yüzey denir. O halde, Hasimoto yüzeyi için (12) ve (13) denklemlerinde kısmi türevler alınarak, bu sonuç kolaylıkla görülebilir. Benzer şekilde (19) ve (20) denklemlerinde  $s$  ve  $t$  parametrelerine göre kısmi türevler alınıp gerekli işlemler yapıldığında Hasimoto yüzeyinin paralelinin de Weingarten yüzey olduğu görülür.

**Sonuç 3.4.** Hasimoto yüzeyinin Gauss ve ortalama eğriliklerinin verildiği (12) ve (13) denklemleri oranlanırsa;

$$\frac{K}{H} = \frac{-\frac{\kappa_{ss}}{\kappa}}{\frac{1}{2\kappa^2}(\kappa_{ss} - \kappa^3 - \kappa\tau^2)} = -\frac{2\kappa\kappa_{ss}}{\kappa_{ss} - \kappa(\kappa^2 + \tau^2)} \quad (21)$$

denklemleri elde edilir. Eğer (21) denklemleri sabit ise yüzey Lineer Weingarten yüzey olur. Benzer şekilde, (19) ve (20) denklemleri oranlanırsa;

$$\frac{K'}{H'} = -\frac{2\kappa\kappa_{ss}}{\kappa_{ss} - \kappa(\kappa^2 + \tau^2) + 2r\kappa\kappa_{ss}} \quad (22)$$

elde edilir. Bu ifade de eğer sabit olursa, paralel yüzey de Lineer Weingarten yüzey olur. (21) ve (22) denklemlerinden denilebilir ki; Hasimoto yüzeyinin  $K$  ve  $H$  oranının sabit olması için gerek ve yeter şart  $K'$  ve  $H'$  oranının sabit olmasıdır.

Şimdi  $x = x(s, t)$  yüzeyinin parametre eğrilerinin hangi durumlarda geodezik, asimptotik ve eğrilik çizgisi olduğunu göstereyim. Bunun için (3) denklemlerinden

$$x_{ss} = t_s = \kappa n \quad (23)$$

ve yüzey normalinin  $N = -n$  olduğu göz önüne alınırsa, yüzeyin  $s$ -parametre eğrileri geodezik olur. Diğer taraftan, (1) denkleminde  $t$  ye göre türev alınırsa,

$$x_{tt} = (\kappa b)_t = \kappa_t b + \kappa \left( -\kappa_s t - \frac{\kappa_{ss} - \kappa\tau^2}{\kappa} n \right) \quad (24)$$

elde edilir. Bu durumda  $\kappa_t = 0$  olması durumunda yüzeyin  $t$ -parametre eğrileri geodezik olur. Sonuç olarak,  $t$ -parametre eğrilerinin geodezik olması için  $\kappa_t = 0$  olması gerek ve yeterlidir.

**Teorem 3.2.**  $x' = x'(s, t)$  yüzeyi  $x = x(s, t)$  ile verilen Hasimoto yüzeyinin paralel yüzeyi olmak üzere,  $s$ -parametre eğrilerinin geodezik olması için gerek ve yeter şart paralelinin de geodezik olmasıdır.



**İspat:**  $x = x(s, t)$  yüzeyinin paralel yüzeyi daha önce (18) denklemi ile belirtilmişti.  $s$  ye göre kısmi türevler alınırsa,

$$\begin{aligned} x'_s &= x_s + rN_s = (1 + r\kappa)t - r\tau b \\ x'_{ss} &= r\kappa_s t + (\kappa + r\kappa^2 + r\tau^2)n - r\tau_s b \end{aligned} \quad (25)$$

elde edilir. Burada  $x'_{ss}$  in yüzey normaline paralel olması için  $\kappa_s = \tau_s = 0$  olmalıdır. Bu durumda  $s$  – parametre eğrileri paralel yüzeyde geodezik olur.

$x = x(s, t)$  Hasimoto yüzeyinin  $s$  – parametre eğrilerinin asimptotik olması için (23) denklemi ve yüzey normalinin  $N = -n$  olduğu göz önüne alınırsa,  $\kappa = 0$  seçilmesi durumunda yüzeyin  $s$  – parametre eğrileri asimptotik olur. Diğer taraftan, (24) denkleminde,  $n$  nin katsayısı sifıra eşitlenirse  $t$  – parametre eğrileri,  $\kappa_{ss} - \kappa\tau^2 = 0$  için asimptotik olacaktır.

**Sonuç 3.5.**  $x = x(s, t)$  Hasimoto yüzeyinin  $s$  – parametre eğrileri asimptotik ise  $t$  – parametre eğrileri de asimptotik olur.

**Teorem 3.3.**  $x' = x'(s, t)$  yüzeyi  $x = x(s, t)$  ile verilen Hasimoto yüzeyinin paralel yüzeyi olmak üzere,  $s$  – parametre eğrilerinin paralelinin asimptotik olması için gerek ve yeter şart ya  $\kappa = \tau = 0$  ya da  $r = -\frac{\kappa}{\kappa^2 + \tau^2} = \text{sabit}$  olmasıdır.

**İspat:** Asıl yüzeyin asimptotik olma şartına benzer şekilde,  $x' = x'(s, t)$  paralel yüzeyinin,  $x'_{ss}$  türev ifadesi olan (25) denklemde normalin katsayısı sifıra eşitlenirse  $s$  – parametre eğrilerinin asimptotik olma şartı

$$\kappa + r\kappa^2 + r\tau^2 = 0$$

olarak elde edilir. Bu durumda  $r$  sıfırdan farklı bir sabit olduğundan ya  $\kappa = \tau = 0$  ya da  $r = -\frac{\kappa}{\kappa^2 + \tau^2}$  olur. Bu da ispatı tamamlar.

Bilindiği gibi bir yüzeyin parametre eğrileri, eğrilik çizgisi ise  $F = f = 0$  olur. O halde  $x = x(s, t)$  Hasimoto yüzeyinin parametre eğrilerinin eğrilik çizgisi olması için (7) ve (10) denklemlerinden  $F = f = \kappa\tau = 0$  olması gerekir.

Şimdi de Hasimoto yüzeyini üreten eğrinin düzlem eğrisi olması durumunda paralelini veren teoremi ifade edelim:

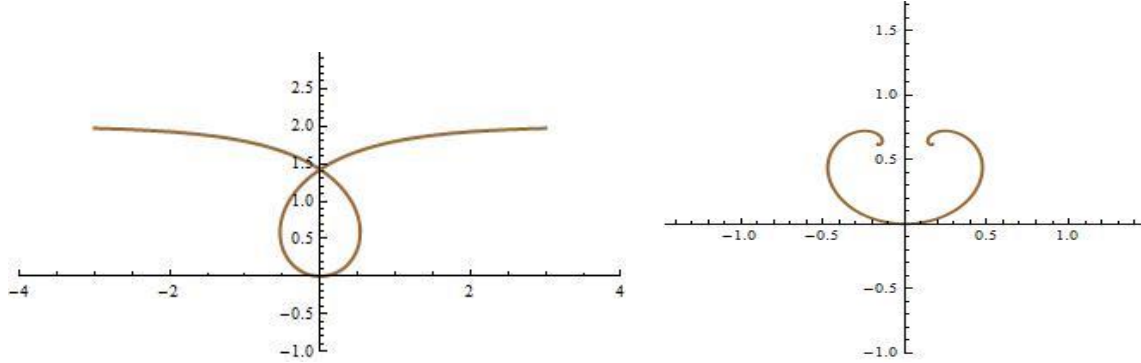
**Teorem 3.4.** Hasimoto yüzeyini üreten eğrinin düzlem eğrisi olması durumunda eğrinin eğriliği  $\kappa = 2c_1 \operatorname{sech}(c_2 t + c_1 s + c_3)$  ise paralelinin eğriliği;

$$\kappa' = \frac{2c_1 \operatorname{sech}(c_1 s + c_2 t + c_3)}{|1 - 2rc_1 \operatorname{sech}(c_1 s + c_2 t + c_3)|} \quad (26)$$

olur.

**İspat:** Hasimoto yüzeyini üreten eğrinin eğriliği (6) denklemlerinde verilmişti. Eğri düzlem eğrisi olduğundan  $\tau = 0$  olur. Ayrıca, Önerme 2.1 de (17) denklemi ile bir düzlem eğrisinin paraleli verilmişti. Bu durumda, (6) denklemi (17) denklemine yerine yazılırsa kolaylıkla (26) denklemi elde edilir.

**Örnek 3.1.** Hasimoto yüzeyini üreten eğrinin eğriliklerini  $c_1=1, c_2=0, c_3=0$  için  $\kappa=2\text{sech}(s), \tau=0$  olarak alırsak, paralelinin eğriliği  $\kappa^r = \frac{2\text{sech}(s)}{|1-2r\text{sech}(s)|}$  olarak elde edilir.  $r=1$  için bu eğrilere ait grafikler aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 1.  $r=1$  için Hasimoto yüzeyini üreten eğri ve paraleli

#### 4. Sonuç ve Öneriler

3-boyutlu Öklid uzayda Hasimoto yüzeyinin paraleli elde edilerek, paralel yüzeyin Gauss ve ortalama eğrilikleri, asıl yüzeyin eğrilikleri cinsinden (19) ve (20) denklemleri olarak hesaplanmıştır. Buradan, aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Hasimoto yüzeyi açılabilir ise paraleli de açılabilir (  $\kappa_{ss} = 0$  ).
- Hasimoto yüzeyi ve paralelinin minimal olma şartları sırasıyla  $\kappa_{ss} = \kappa(\kappa^2 + \tau^2)$  ve  $\kappa_{ss} = \frac{\kappa(\kappa^2 + \tau^2)}{1 + 2r\kappa}$  dir.
- Hasimoto yüzeyi ve paraleli Weingarten yüzeydir.
- Hasimoto yüzeyi için  $\frac{K}{H}$  sabit ise paralelinde de  $\frac{K^r}{H^r}$  sabit olup, Lineer Weingarten olurlar.

Daha sonra, Hasimoto yüzeyinin  $s$  ve  $t$  – parametre eğrilerinin geodezik, asimptotik ve eğrilik çizgisi olma durumları incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Hasimoto yüzeyinde  $s$  – parametre eğrileri geodezik ise paralelinde de geodeziktir.
- Hasimoto yüzeyinde  $s$  – parametre eğrilerinin asimptotik olması için  $\kappa = 0$  olmalıdır. Diğer taraftan, paralelinde asimptotik olması için ya  $\kappa = \tau = 0$  ya da  $r$  sıfırdan farklı bir sabit olmak üzere  $r = -\frac{\kappa}{\kappa^2 + \tau^2}$  olması gerekir.

Son olarak, Hasimoto yüzeyini üreten eğrinin düzlem eğrisi olması durumunda bu eğrinin paralelinin eğriliği (26) denklemi olarak elde edilmiştir.

Elde edilen bütün bulguların, 3-boyutlu Minkowski uzayda yeniden hesaplanması önerilebilir.

#### Kaynaklar

1. Hasimoto H. 1972. A Soliton on a vortex filament, J. Fluid Mech. 51: 477-485.
2. Abdel-All N. H, Abdel-Razek M. A, Abdel-Aziz H. S, Khali A. A. 2011. Geometry of evolving plane curves problem via lie group analysis, Studies in Mathematical Scinces, 2: 51-62.

3. Abdel-All N. H, Hamad M. A. A, Abdel-Razek M. A, Khalil A. A. 2011. Computation of Some Geometric Properties for New Nonlinear PDE Models, *Applied Mathematics*, 2 (6): 666-675.
4. Abdel-All N H, Al-Dossary M. T. 2011. Motion of hyper surfaces, *Assiut univ. Journal of Math. and Computer Science* 40 (1): 91-104.
5. Abdel-All N. H, Mohamed S. G, Al-Dossary M. T. 2014. Evolution of generalized space curve as a function of its local geometry, *Applied Mathematics*, 5 (15): 2381-2392.
6. Vassiliou Ian P. J, Lisle G. 2000. *Geometric approaches to differential equations*. Cambridge University Press.
7. Abdel-All N. H, Hussien R. A, Youssef T. 2012. Hasimoto Surfaces. *Life Science Journal*, 9(3): 556-560.
8. Erdoğan M, Özdemir M. 2014. Geometry of Hasimoto Surfaces in Minkowski 3-Space. *Math. Phys. Anal. Geom*, 17: 169-181.
9. Craig, T. 1883. Note on parallel surfaces, *Journal für die Reine und Angewandte Mathematik (Crelle's journal)*, 94: 162–170.
10. Patriciu, A. M. 2010. On some  $H_3$  -helicoidal surfaces and their parallel surfaces at a certain distance in 3-dimensional Minkowski space. *Annals of the University of Craiova, Maths. and Compt. Science Series*, 37 (4): 93-98.
11. Ünlütürk Y, Özüsağlam E. 2013. On Parallel Surfaces in Minkowski 3-space. *Twms J. App. Eng. Math.* 3(2): 214-222.
12. Tarakçı Ö, Kızıltuğ S, Yaylı Y. 2013. On the curves lying on parallel surfaces in the Euclidean 3-space  $E^3$ . *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, 5(3): 26-35.
13. Kızıltuğ S. 2017. Bertrand and Mannheim Partner-curves on Parallel Surfaces. *Boletim da Sociedade Paranaense de Matemática*, 35 (2): 159-169.
14. Hacısalihoğlu H. H. 1983. *Diferensiyel Geometri*, İnönü Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Yayınları, Ankara.
15. Gray A. 1998. *Modern differential geometry of curves and surfaces with Mathematica*, Crc Press, USA.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Travelling Wave Solutions for the Long–Short–Wave Interaction System Using the Unified Method**

Şamil AKÇAĞIL\*

*Bilecik Şeyh Edebali University, Vocational School of Pazaryeri, Bilecik*

---

### **Abstract**

The Long-Short-Wave interaction system plays a significant role between low frequency long waves and high frequency short waves. Besides being an important complex model it is also related with several physical phenomenon such as, gravity and water waves, plasma and bio-physics, nonlinear optic. This system was handled by many researchers and solutions of this system were obtained by using different methods. In this paper, new travelling wave solutions for the Long-short-wave interaction system are formally derived by using different method namely the unified method. The obtained solutions can be considered as improved version of the previous solutions. This study also shows the efficiency of the unified method. Mathematica and Maple facilitates the tedious algebraic calculations.

**Keywords:** Travelling Wave Solution, Long-Short-Wave Interaction System, The Unified Method.

---

## **Unified Yöntem Kullanılarak Uzun-Kısa-Dalga Etkileşimi Sisteminin Hareketli Dalga Çözümlerinin Elde Edilmesi**

---

### **Öz**

Uzun Kısa Dalga etkileşimi sistemi, düşük frekanslı uzun dalgalar ve yüksek frekanslı kısa dalgalar arasında önemli bir rol oynar. Önemli bir kompleks model olmasının yanı sıra, yerçekimi ve su dalgaları, plazma ve biyofizik, doğrusal olmayan optik gibi çeşitli fiziksel olgularla da ilgilidir. Bu sistem birçok araştırmacı tarafından ele alınmış ve sistemin farklı yöntemler kullanılarak bir çok çözümü elde edilmiştir. Bu çalışmada, uzun kısa dalga etkileşim sisteminin yeni hareketli dalga çözümleri, unified yöntem adı verilen yöntemle elde edilecektir. Elde edilen çözümler önceki çözümlerin geliştirilmiş versiyonu olarak düşünülebilir. Bu çalışma aynı zamanda unified yöntemin etkinliğini de göstermektedir. Uzun cebirsel işlemler için Maple ve Mathematica kullanılacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Hareketli Dalga Çözüm, Uzun-Kısa-Dalga Etkileşimi Sistemi, Unified Yöntem.

---

### **1. Introduction**

Let  $\psi(x, t)$  is a complex variable function and  $v(x, t)$  is a real variable function. The long–short–wave interaction system (LSWIS) is given by

$$\begin{aligned} i\psi_t + \psi_{xx} - \psi v &= 0 \\ v_t + v_x + (|\psi^2|)_x &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

In this system of equations,  $x$  represents the spatial coordinate and  $t$  represents time. The interaction between short and long waves is expressed by this system. Wang *et al* have considered LSWIS and obtained various periodic wave solutions expressed by Jacobi elliptic function of the system in terms of the F-expansion method [1]. The periodic and solitary wave solutions of the system were obtained using the first integral method [2]. Sirendaerji constructed the infinite number of exact traveling wave solutions of the LSWIS via an extended tanh–function method [3].

---

\*Sorumlu yazar: [samilakcagil@hotmail.com](mailto:samilakcagil@hotmail.com)

Geliş Tarihi: 18/04/2018 Kabul Tarihi: 05/06/2018

Previously, conventional methods such as Laplace and Fourier transforms were used to solve partial differential equations. These transformations have made the solutions easier because they have transformed the differential equations into algebraic equations. Using these integral transformations, however, involved many complex algebraic operation. In the recent years, with the production of powerful computers, it has become easier to solve these mixed algebraic operations. As a result, it allowed a major step in the current calculation methods and led to the discovery of powerful solution methods. One of these methods was the tanh-coth method. In the last years, based on this method, many researchers have introduced another modification of this method and put it into practice. For more information, we refer the readers to [4-9] and the references therein.

In an our previous work [10], we have compared main hyperbolic methods in the literature and introduced a new method namely "the unified method" that can be used instead of all of them. We have also proved that this method gives all of the solutions obtained by all of them.

In this work, the LSWIS has been considered and obtained new solutions by using the unificd method. Even more, all of the solutions obtained using different methods have been handled in only one method.

## 2. Despription of the Unified Method

The unified method can be summarized as follows:

(i) First, consider a nonlinear partial differential equation (NPDE)

$$P(u, u_t, u_x, u_{xt}, u_{tt}, u_{xx}, \dots) = 0. \tag{2}$$

(ii) To find the travelling wave solutions of (2), use the wave variable  $\xi = x - ct$  so that

$$u(x, t) = U(\xi). \tag{3}$$

(iii) Using (3) changes PDE (2) to an ODE.

$$Q(U, cU', U', cU'', c^2U'', U'', \dots) = 0. \tag{4}$$

(iv) If necessary one integrates (4) as many times as possible. Adhering to the boundary conditions

$$U(\xi) \rightarrow 0, \frac{d^n U(\xi)}{d\xi^n} \rightarrow 0 \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \text{ for } \xi \rightarrow \mp\infty$$

the integration constants should all be set zero.

(v) Suppose the solution of (2) can be expressed by a polynomial in  $\varphi$  as follows:

$$u(\xi) = a_0 + \sum_{i=1}^M (a_i \varphi^i + b_i \varphi^{-i}) \tag{5}$$

where  $\varphi = \varphi(\xi)$  satisfies the equation

$$\varphi'(\xi) = \varphi^2(\xi) + \alpha, \tag{6}$$

where  $\varphi' = \frac{d\varphi}{d\xi}$  and  $a_i, b_i$  and  $\alpha$  are constants.  $M$  is a positive integer in most cases. If  $M$  is not an integer, this problem can be solved by using a transformation formula. The general solution of (6) as follows:

**Family 1.** When  $\alpha < 0$ ,

$$\varphi(\xi) = \begin{cases} \frac{\sqrt{-(A^2+B^2)\alpha-A\sqrt{-b}}\cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi+\xi_0))}{A\sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi+\xi_0))+B} \\ \frac{-\sqrt{-(A^2+B^2)\alpha-A\sqrt{-\alpha}}\cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi+\xi_0))}{A\sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi+\xi_0))+B} \\ \sqrt{-\alpha} + \frac{-2A\sqrt{-\alpha}}{A+\cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi+\xi_0))-\sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi+\xi_0))} \\ -\sqrt{-\alpha} + \frac{2A\sqrt{-\alpha}}{A+\cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi+\xi_0))+\sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi+\xi_0))} \end{cases} \quad (7)$$

**Family 2.** When  $\alpha > 0$ ,

$$\varphi(\xi) = \begin{cases} \frac{\sqrt{(A^2-B^2)\alpha-A\sqrt{\alpha}}\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))}{A\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))+B} \\ \frac{-\sqrt{(A^2-B^2)\alpha-A\sqrt{b}}\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))}{A\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))+B} \\ i\sqrt{\alpha} + \frac{-2Ai\sqrt{\alpha}}{A+\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))-\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))} \\ -i\sqrt{\alpha} + \frac{2Ai\sqrt{\alpha}}{A+\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))+\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))} \end{cases} \quad (8)$$

**Family 3.** When  $\alpha = 0$ ,

$$\varphi(\xi) = -\frac{1}{\xi+\xi_0} \quad (9)$$

where  $A$  and  $B$  are two real arbitrary constants,  $\xi_0$  is an arbitrary constant and  $i = \sqrt{-1}$ .

(vi) To determine the parameter  $M$ , the linear terms of highest order with the highest-order nonlinear terms in (4) are balanced.

(vii) When  $M$  determined, using (5) and (6) into (4) one gets a polynomial of  $\varphi$ . All the coefficients of powers of  $\varphi$  in the resulting equation must be zero. This yields a set of algebraic equations for  $a_i, b_i, c$  and  $\alpha$ .

(viii) Solving the equation system and using (5), one obtains an analytic solution in a closed form of (2) depending on the value of  $\alpha$ .

### 3. Travelling Wave Solutions of the LSWIS

Using the following transformation to (1)

$$\begin{aligned} \psi(x, t) &= e^{i\theta} U(\xi), v(x, t) = V(\xi) \\ \theta &= mx + nt, \xi = x - ct \end{aligned} \quad (10)$$

where  $m$  and  $n$  are real constants,  $u(x, t)$  and  $v(x, t)$  are real functions. If we substitute (10) into (1) then we get  $c = 2m$ . The equation system (1) turns into a system of ODE as follows:

$$U'' - (n + m^2)U - UV = 0 \quad (11)$$

$$(2m - 1)V' - 2UV' = 0. \quad (12)$$

If one integrates (12) and considers the constant of integration to be zero, then finds

$$V = \frac{U^2}{2m-1}. \tag{13}$$

Setting (13) into (11), we get only one ODE in the following form:

$$U'' - (n + m^2)U - \frac{1}{2m-1}U^3 = 0. \tag{14}$$

Balancing  $U''$  with  $U^3$  in (14) gives  $M = 1$ . Using the finite expansion

$$u(\xi) = a_0 + \sum_{i=1}^1 (a_i \varphi^i + b_i \varphi^{-i})$$

the solutions of (14) must be in the form

$$u(\xi) = a_0 + a_1 \varphi + b_1 \varphi^{-1}. \tag{15}$$

If we substitute (15) into (14) the collect the coefficients of each power of  $\varphi$  we get a system of equations. Solving this system for  $a_0, a_1, b_1$  and  $c$ , we obtain following four sets of solutions:

**Set 1:**

$$a_0 = 0, \quad a_1 = \pm\sqrt{-2 + 4m}, \quad b_1 = 0, \quad c = \pm 2\sqrt{-n + 2\alpha}$$

**Set 2:**

$$a_0 = 0, \quad a_1 = 0, \quad b_1 = \pm\sqrt{-2 + 4m} \alpha, \quad c = \pm 2\sqrt{-n + 2\alpha}$$

**Set 3:**

$$a_0 = 0, \quad a_1 = \pm\sqrt{-2 + 4m} \alpha, \quad b_1 = \pm\sqrt{-2 + 4m}, \quad c = \pm 2\sqrt{-n - 4\alpha}$$

**Set 4:**

$$a_0 = 0, \quad a_1 = \pm\sqrt{-2 + 4m}, \quad b_1 = \mp\sqrt{-2 + 4m} \alpha, \quad c = \pm 2\sqrt{-n + 8\alpha}$$

These four sets give the solutions respectively:

$$\psi_1 = \pm\sqrt{-2 + 4m} e^{i\theta} \left( \frac{\sqrt{(A^2 - B^2)\alpha} - A\sqrt{\alpha} \cos(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0))}{A \sin(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right)$$

$$v_1 = 2e^{2i\theta} \left( \frac{\sqrt{(A^2 - B^2)\alpha} - A\sqrt{\alpha} \cos(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0))}{A \sin(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right)^2$$

$$\psi_2 = \pm\sqrt{-2 + 4m} e^{i\theta} \left( \frac{-\sqrt{(A^2 - B^2)\alpha} - A\sqrt{\alpha} \cos(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0))}{A \sin(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right)$$

$$v_2 = 2e^{2i\theta} \left( \frac{-\sqrt{(A^2 - B^2)\alpha} - A\sqrt{\alpha} \cos(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0))}{A \sin(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right)^2$$

$$\psi_3 = \pm\sqrt{-2 + 4m} e^{i\theta} \left( i\sqrt{\alpha} + \frac{-2Ai\sqrt{\alpha}}{A + \cos(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0)) - i \sin(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0))} \right)$$

$$v_3 = 2e^{2i\theta} \left( i\sqrt{\alpha} + \frac{-2Ai\sqrt{\alpha}}{A + \cos(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0)) - i\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0))} \right)^2$$

$$\psi_4 = \pm\sqrt{-2 + 4m}e^{i\theta} \left( -i\sqrt{\alpha} + \frac{2Ai\sqrt{\alpha}}{A + \cos(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0)) + \sin(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0))} \right)$$

$$v_4 = 2e^{2i\theta} \left( -i\sqrt{\alpha} + \frac{2Ai\sqrt{\alpha}}{A + \cos(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0)) + \sin(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0))} \right)^2$$

$$\psi_5 = \pm\sqrt{-2 + 4m} \alpha e^{i\theta} \left( \frac{\sqrt{(A^2 - B^2)\alpha - A\sqrt{\alpha}\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0))}}{A\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right)^{-1}$$

$$v_5 = 2\alpha^2 e^{2i\theta} \left( \frac{\sqrt{(A^2 - B^2)\alpha - A\sqrt{\alpha}\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0))}}{A\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right)^{-2}$$

$$\psi_6 = \pm\sqrt{-2 + 4m} \alpha e^{i\theta} \left( \frac{-\sqrt{(A^2 - B^2)\alpha - A\sqrt{\alpha}\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0))}}{A\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right)^{-1}$$

$$v_6 = 2\alpha^2 e^{2i\theta} \left( \frac{-\sqrt{(A^2 - B^2)\alpha - A\sqrt{\alpha}\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0))}}{A\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right)^{-2}$$

$$\psi_7 = \pm\sqrt{-2 + 4m} \alpha e^{i\theta} \left( i\sqrt{\alpha} + \frac{-2Ai\sqrt{\alpha}}{A + \cos(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0)) - i\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0))} \right)^{-1}$$

$$v_7 = 2\alpha^2 e^{2i\theta} \left( i\sqrt{\alpha} + \frac{-2Ai\sqrt{\alpha}}{A + \cos(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0)) - i\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0))} \right)^{-2}$$

$$\psi_8 = \pm\sqrt{-2 + 4m} \alpha e^{i\theta} \left( -i\sqrt{\alpha} + \frac{2Ai\sqrt{\alpha}}{A + \cos(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0)) + \sin(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0))} \right)^{-1}$$

$$v_8 = 2\alpha^2 e^{2i\theta} \left( -i\sqrt{\alpha} + \frac{2Ai\sqrt{\alpha}}{A + \cos(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0)) + \sin(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0))} \right)^{-2}$$

where  $\xi = x - ct$ ,  $c = \pm 2\sqrt{-n + 2\alpha}$ ,  $\alpha > 0$ ,  $A$  and  $B$  are two real constants;

$$\psi_9 = \pm\sqrt{-n + 4m} e^{i\theta} \left[ \left( \frac{\sqrt{(A^2 - B^2)\alpha - A\sqrt{\alpha}\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0))}}{A\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right) + \alpha \left( \frac{\sqrt{(A^2 - B^2)\alpha - A\sqrt{\alpha}\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0))}}{A\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right)^{-1} \right]$$

$$v_9 = \frac{-n + 4m}{2m - 1} e^{2i\theta} \left[ \left( \frac{\sqrt{(A^2 - B^2)\alpha - A\sqrt{\alpha}\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0))}}{A\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right) + \alpha \left( \frac{\sqrt{(A^2 - B^2)\alpha - A\sqrt{\alpha}\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0))}}{A\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right)^{-1} \right]^2$$

$$\psi_{10} = \pm\sqrt{-n + 4m} e^{i\theta} \left[ \left( \frac{-\sqrt{(A^2 - B^2)\alpha - A\sqrt{\alpha}\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0))}}{A\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right) + \alpha \left( \frac{-\sqrt{(A^2 - B^2)\alpha - A\sqrt{\alpha}\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0))}}{A\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right)^{-1} \right]$$

$$v_{10} = \frac{-n + 4m}{2m - 1} e^{2i\theta} \left[ \left( \frac{-\sqrt{(A^2 - B^2)\alpha - A\sqrt{\alpha}\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0))}}{A\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right) + \alpha \left( \frac{-\sqrt{(A^2 - B^2)\alpha - A\sqrt{\alpha}\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0))}}{A\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right)^{-1} \right]^2$$

$$\psi_{11} = \pm\sqrt{-n + 4m} e^{i\theta} \left[ \left( i\sqrt{\alpha} + \frac{-2Ai\sqrt{\alpha}}{A + \cos(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0)) - i\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0))} \right) + \alpha \left( i\sqrt{\alpha} + \frac{-2Ai\sqrt{\alpha}}{A + \cos(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0)) - i\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0))} \right)^{-1} \right]$$

$$v_{11} = \frac{-n + 4m}{2m - 1} e^{2i\theta} \left[ \left( i\sqrt{\alpha} + \frac{-2Ai\sqrt{\alpha}}{A + \cos(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0)) - i\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0))} \right) + \alpha \left( i\sqrt{\alpha} + \frac{-2Ai\sqrt{\alpha}}{A + \cos(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0)) - i\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi + \xi_0))} \right)^{-1} \right]^2$$



$$\psi_{12} = \pm\sqrt{-n+4m} e^{i\theta} \left[ \left( \frac{-i\sqrt{\alpha} + \frac{2Ai\sqrt{\alpha}}{A+\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))+i\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))}}{\right)} + \alpha \left( \frac{-i\sqrt{\alpha} + \frac{2Ai\sqrt{\alpha}}{A+\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))+i\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))}}{\right)}^{-1} \right]$$

$$v_{12} = \frac{-n+4m}{2m-1} e^{2i\theta} \left[ \left( \frac{-i\sqrt{\alpha} + \frac{2Ai\sqrt{\alpha}}{A+\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))+i\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))}}{\right)} + \alpha \left( \frac{-i\sqrt{\alpha} + \frac{2Ai\sqrt{\alpha}}{A+\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))+i\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))}}{\right)}^{-1} \right]^2$$

where  $\xi = x - ct, c = \pm 2\sqrt{-n-4\alpha}, \alpha > 0, A$  and  $B$  are two real constants;

$$\psi_{13} = \pm\sqrt{-2+4m} e^{i\theta} \left[ \left( \frac{\sqrt{(A^2-B^2)\alpha-A\sqrt{\alpha}\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))}}{A\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))+B} \right) \mp \alpha \left( \frac{\sqrt{(A^2-B^2)\alpha-A\sqrt{\alpha}\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))}}{A\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))+B} \right)^{-1} \right]$$

$$v_{13} = 2e^{2i\theta} \left[ \left( \frac{\sqrt{(A^2-B^2)\alpha-A\sqrt{\alpha}\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))}}{A\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))+B} \right) \mp \alpha \left( \frac{\sqrt{(A^2-B^2)\alpha-A\sqrt{\alpha}\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))}}{A\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))+B} \right)^{-1} \right]^2$$

$$\psi_{14} = \pm\sqrt{-2+4m} e^{i\theta} \left[ \left( \frac{-\sqrt{(A^2-B^2)\alpha-A\sqrt{\alpha}\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))}}{A\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))+B} \right) \mp \alpha \left( \frac{-\sqrt{(A^2-B^2)\alpha-A\sqrt{\alpha}\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))}}{A\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))+B} \right)^{-1} \right]$$

$$v_{14} = 2e^{2i\theta} \left[ \left( \frac{-\sqrt{(A^2-B^2)\alpha-A\sqrt{\alpha}\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))}}{A\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))+B} \right) \mp \alpha \left( \frac{-\sqrt{(A^2-B^2)\alpha-A\sqrt{\alpha}\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))}}{A\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))+B} \right)^{-1} \right]^2$$

$$\psi_{15} = \pm\sqrt{-2+4m} e^{i\theta} \left[ \left( \frac{i\sqrt{\alpha} + \frac{-2Ai\sqrt{\alpha}}{A+\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))-i\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))}}{\right)} \mp \alpha \left( \frac{i\sqrt{\alpha} + \frac{-2Ai\sqrt{\alpha}}{A+\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))-i\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))}}{\right)}^{-1} \right]$$

$$v_{15} = 2e^{2i\theta} \left[ \left( \frac{i\sqrt{\alpha} + \frac{-2Ai\sqrt{\alpha}}{A+\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))-i\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))}}{\right)} \mp \alpha \left( \frac{i\sqrt{\alpha} + \frac{-2Ai\sqrt{\alpha}}{A+\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))-i\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))}}{\right)}^{-1} \right]^2$$

$$\psi_{16} = \pm\sqrt{-2+4m} e^{i\theta} \left[ \left( \frac{-i\sqrt{\alpha} + \frac{2Ai\sqrt{\alpha}}{A+\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))+i\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))}}{\right)} \mp \alpha \left( \frac{-i\sqrt{\alpha} + \frac{2Ai\sqrt{\alpha}}{A+\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))+i\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))}}{\right)}^{-1} \right]$$

$$v_{16} = 2e^{2i\theta} \left[ \left( \frac{-i\sqrt{\alpha} + \frac{2Ai\sqrt{\alpha}}{A+\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))+i\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))}}{\right)} \mp \alpha \left( \frac{-i\sqrt{\alpha} + \frac{2Ai\sqrt{\alpha}}{A+\cos(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))+i\sin(2\sqrt{\alpha}(\xi+\xi_0))}}{\right)}^{-1} \right]^2$$

where  $\xi = x - ct, c = \pm 2\sqrt{-n+8\alpha}, \alpha > 0, A$  and  $B$  are two real constants;

$$\psi_{17} = \pm\sqrt{-2+4m} e^{i\theta} \left( \frac{\sqrt{-(A^2+B^2)\alpha-A\sqrt{-\alpha}\cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi+\xi_0))}}{A\sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi+\xi_0))+B} \right)$$

$$v_{17} = 2e^{2i\theta} \left( \frac{\sqrt{-(A^2+B^2)\alpha-A\sqrt{-\alpha}\cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi+\xi_0))}}{A\sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi+\xi_0))+B} \right)^2$$

$$\psi_{18} = \pm\sqrt{-2+4m} e^{i\theta} \left( \frac{-\sqrt{-(A^2+B^2)\alpha-A\sqrt{-\alpha}\cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi+\xi_0))}}{A\sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi+\xi_0))+B} \right)$$

$$v_{18} = 2e^{2i\theta} \left( \frac{-\sqrt{-(A^2+B^2)\alpha-A\sqrt{-\alpha}\cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi+\xi_0))}}{A\sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi+\xi_0))+B} \right)^2$$

$$\psi_{19} = \pm\sqrt{-2 + 4m} e^{i\theta} \left( \sqrt{-\alpha} + \frac{-2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) - \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))} \right)$$

$$v_{19} = 2e^{2i\theta} \left( \sqrt{-\alpha} + \frac{-2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) - \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))} \right)^2$$

$$\psi_{20} = \pm\sqrt{-2 + 4m} e^{i\theta} \left( -\sqrt{-\alpha} + \frac{2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))} \right)$$

$$v_{20} = 2e^{2i\theta} \left( -\sqrt{-\alpha} + \frac{2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))} \right)^2$$

$$\psi_{21} = \pm\sqrt{-2 + 4m} \alpha e^{i\theta} \left( \frac{\sqrt{-(A^2+B^2)\alpha - A\sqrt{-\alpha}\cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}}{\text{Asinh}(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right)^{-1}$$

$$v_{21} = 2\alpha^2 e^{2i\theta} \left( \frac{\sqrt{-(A^2+B^2)\alpha - A\sqrt{-\alpha}\cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}}{\text{Asinh}(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right)^{-2}$$

$$\psi_{22} = \pm\sqrt{-2 + 4m} \alpha e^{i\theta} \left( \frac{-\sqrt{-(A^2+B^2)\alpha - A\sqrt{-\alpha}\cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}}{\text{Asinh}(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right)^{-1}$$

$$v_{22} = 2\alpha^2 e^{2i\theta} \left( \frac{-\sqrt{-(A^2+B^2)\alpha - A\sqrt{-\alpha}\cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}}{\text{Asinh}(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right)^{-2}$$

$$\psi_{23} = \pm\sqrt{-2 + 4m} \alpha e^{i\theta} \left( \sqrt{-\alpha} + \frac{-2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) - \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))} \right)^{-1}$$

$$v_{23} = 2\alpha^2 e^{2i\theta} \left( \sqrt{-\alpha} + \frac{-2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) - \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))} \right)^{-2}$$

$$\psi_{24} = \pm\sqrt{-2 + 4m} \alpha e^{i\theta} \left( -\sqrt{-\alpha} + \frac{2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))} \right)^{-1}$$

$$v_{24} = 2\alpha^2 e^{2i\theta} \left( -\sqrt{-\alpha} + \frac{2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))} \right)^{-2}$$

where  $\xi = x - ct$ ,  $c = \pm 2\sqrt{-n + 2\alpha}$ ,  $\alpha < 0$ ,  $A$  and  $B$  are two real constants;

$$\psi_{25} = \pm\sqrt{-n + 4m} e^{i\theta} \left[ \left( \frac{\sqrt{-(A^2+B^2)\alpha - A\sqrt{-\alpha}\cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}}{\text{Asinh}(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right) + \alpha \left( \frac{\sqrt{-(A^2+B^2)\alpha - A\sqrt{-\alpha}\cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}}{\text{Asinh}(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right)^{-1} \right]$$

$$v_{25} = \frac{-n + 4m}{2m - 1} e^{2i\theta} \left[ \left( \frac{\sqrt{-(A^2+B^2)\alpha - A\sqrt{-\alpha}\cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}}{\text{Asinh}(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right) + b \left( \frac{\sqrt{-(A^2+B^2)\alpha - A\sqrt{-\alpha}\cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}}{\text{Asinh}(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right)^{-1} \right]^2$$

$$\psi_{26} = \pm\sqrt{-n + 4m} e^{i\theta} \left[ \left( \frac{-\sqrt{-(A^2+B^2)\alpha - A\sqrt{-\alpha}\cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}}{\text{Asinh}(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right) + \alpha \left( \frac{-\sqrt{-(A^2+B^2)\alpha - A\sqrt{-\alpha}\cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}}{\text{Asinh}(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right)^{-1} \right]$$

$$v_{26} = \frac{-q + 4p}{2p - 1} e^{2i\theta} \left[ \left( \frac{-\sqrt{-(A^2+B^2)\alpha - A\sqrt{-\alpha}\cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}}{\text{Asinh}(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right) + \alpha \left( \frac{-\sqrt{-(A^2+B^2)\alpha - A\sqrt{-\alpha}\cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}}{\text{Asinh}(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right)^{-1} \right]^2$$

$$\psi_{27} = \pm\sqrt{-n + 4m} e^{i\theta} \left[ \left( \sqrt{-\alpha} + \frac{-2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) - \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))} \right) + \alpha \left( \sqrt{-\alpha} + \frac{-2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) - \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))} \right)^{-1} \right]$$

$$v_{27} = \frac{-n + 4m}{2m - 1} e^{2i\theta} \left[ \left( \frac{\sqrt{-\alpha} + \frac{-2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) - \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}}{\sqrt{-\alpha} + \frac{-2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) - \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}} \right)^{-1} \right]^2$$

$$\psi_{28} = \sqrt{-n + 4m} e^{i\theta} \left[ \left( \frac{-\sqrt{-\alpha} + \frac{2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}}{-\sqrt{-\alpha} + \frac{2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}} \right)^{-1} \right]$$

$$v_{28} = \frac{-n + 4m}{2m - 1} e^{2i\theta} \left[ \left( \frac{-\sqrt{-\alpha} + \frac{2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}}{-\sqrt{-\alpha} + \frac{2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}} \right)^{-1} \right]^2$$

where  $\xi = x - ct, c = \pm 2\sqrt{-n - 4\alpha}, \alpha < 0, A$  and  $B$  are two real constants;

$$\psi_{29} = \pm\sqrt{-2 + 4m} e^{i\theta} \left[ \left( \frac{\sqrt{-(A^2+B^2)\alpha - A\sqrt{-\alpha}\cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}}{A\sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right) \mp \alpha \left( \frac{\sqrt{-(A^2+B^2)\alpha - A\sqrt{-\alpha}\cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}}{A\sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right)^{-1} \right]$$

$$v_{29} = 2e^{2i\theta} \left[ \left( \frac{\sqrt{-(A^2+B^2)\alpha - A\sqrt{-\alpha}\cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}}{A\sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right) \mp \alpha \left( \frac{\sqrt{-(A^2+B^2)\alpha - A\sqrt{-\alpha}\cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}}{A\sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right)^{-1} \right]^2$$

$$\psi_{30} = \pm\sqrt{-2 + 4m} e^{i\theta} \left[ \left( \frac{-\sqrt{-(A^2+B^2)\alpha - A\sqrt{-\alpha}\cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}}{A\sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right) \mp \alpha \left( \frac{-\sqrt{-(A^2+B^2)\alpha - A\sqrt{-\alpha}\cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}}{A\sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right)^{-1} \right]$$

$$v_{30} = 2e^{2i\theta} \left[ \left( \frac{-\sqrt{-(A^2+B^2)\alpha - A\sqrt{-\alpha}\cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}}{A\sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right) \mp \alpha \left( \frac{-\sqrt{-(A^2+B^2)\alpha - A\sqrt{-\alpha}\cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}}{A\sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + B} \right)^{-1} \right]^2$$

$$\psi_{31} = \pm\sqrt{-2 + 4m} e^{i\theta} \left[ \left( \frac{\sqrt{-\alpha} + \frac{-2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) - \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}}{\sqrt{-\alpha} + \frac{-2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) - \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}} \right) \mp \alpha \left( \frac{\sqrt{-\alpha} + \frac{-2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) - \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}}{\sqrt{-\alpha} + \frac{-2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) - \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}} \right)^{-1} \right]$$

$$v_{31} = 2e^{2i\theta} \left[ \left( \frac{\sqrt{-\alpha} + \frac{-2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) - \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}}{\sqrt{-\alpha} + \frac{-2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) - \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}} \right) \mp \alpha \left( \frac{\sqrt{-\alpha} + \frac{-2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) - \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}}{\sqrt{-\alpha} + \frac{-2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) - \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}} \right)^{-1} \right]^2$$

$$\psi_{32} = \pm\sqrt{-2 + 4m} e^{i\theta} \left[ \left( \frac{-\sqrt{-\alpha} + \frac{2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}}{-\sqrt{-\alpha} + \frac{2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}} \right) \mp \alpha \left( \frac{-\sqrt{-\alpha} + \frac{2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}}{-\sqrt{-\alpha} + \frac{2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}} \right)^{-1} \right]$$

$$v_{32} = 2e^{2i\theta} \left[ \left( \frac{-\sqrt{-\alpha} + \frac{2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}}{-\sqrt{-\alpha} + \frac{2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}} \right) \mp \alpha \left( \frac{-\sqrt{-\alpha} + \frac{2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}}{-\sqrt{-\alpha} + \frac{2A\sqrt{-\alpha}}{A + \cosh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0)) + \sinh(2\sqrt{-\alpha}(\xi + \xi_0))}} \right)^{-1} \right]^2$$

where  $\xi = x - ct, c = \pm 2\sqrt{-n + 8\alpha}, \alpha < 0, A$  and  $B$  are two real constants.

#### 4. Graphical Presentations of Some Travelling Wave Solutions

In this section, we demonstrate the graphical descriptions of some solutions in figures 1-4 with the aid of Mathematica.

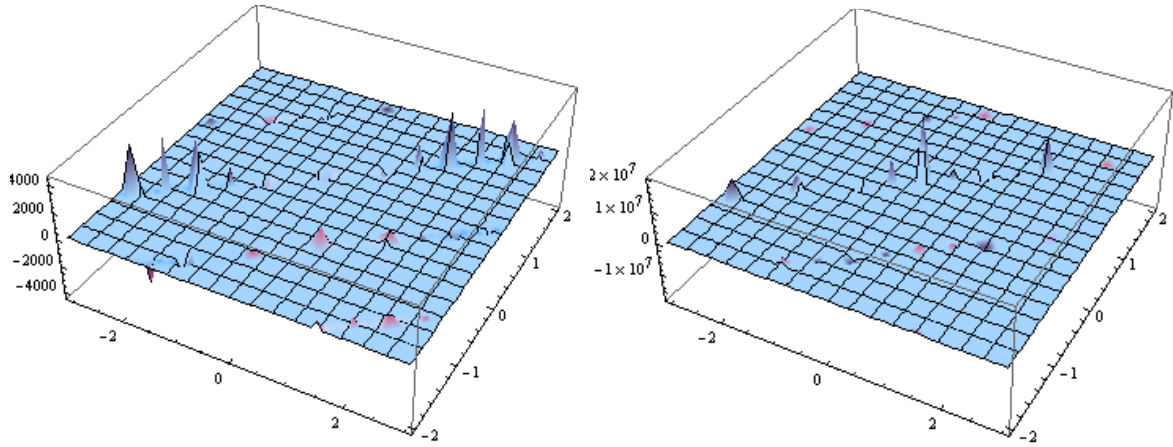


Fig.1. Travelling wave solutions  $Re(\psi_1)$  and  $Re(v_1)$ , where  $\alpha = A = B = m = n = 1$  and  $c = 2$ .

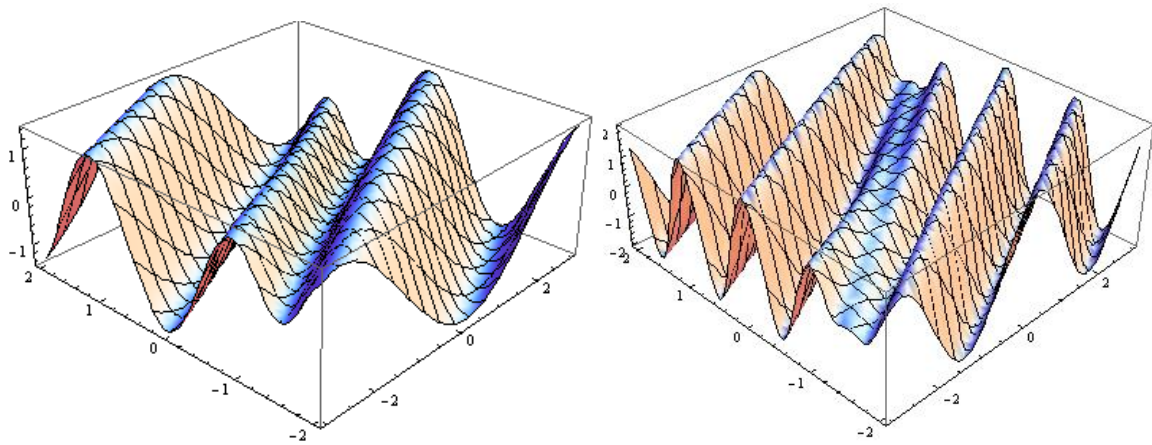


Fig.2. Travelling wave solutions  $Re(\psi_{17})$  and  $Re(v_{17})$ , where  $\alpha = -1, A = m = 1, B = 0, n = -3$  and  $c = 2$ .

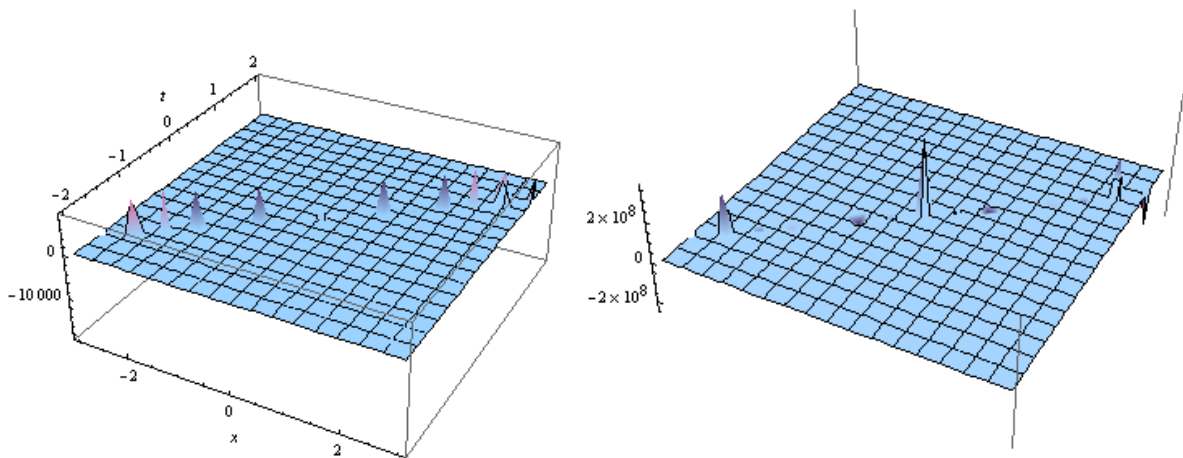
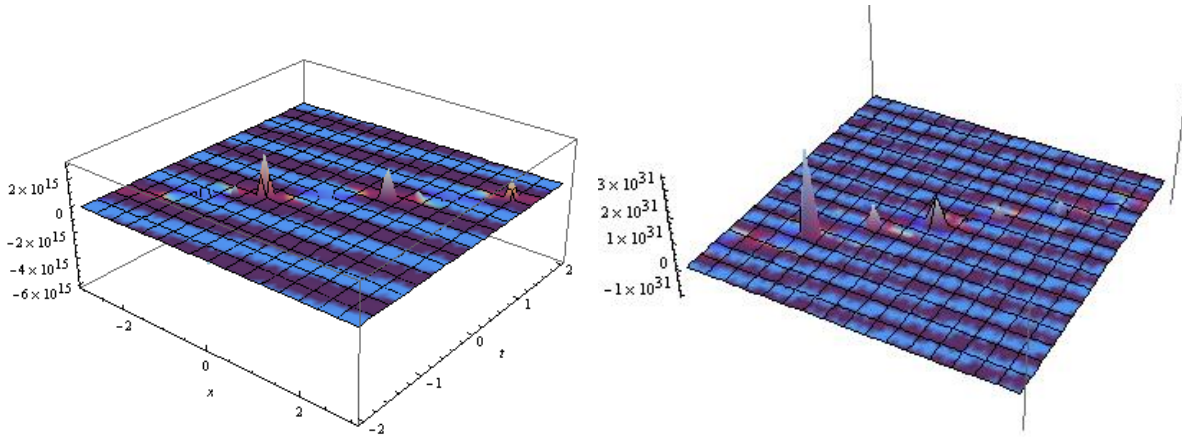


Fig.3. Travelling wave solutions  $Re(\psi_{25})$  and  $Re(v_{25})$ , where  $\alpha = -1, A = m = 1, B = 0, n = 3$  and  $c = 2$ .



**Fig.4.** Travelling wave solutions  $Re(\psi_{32})$  and  $Re(v_{32})$ , where  $\alpha = -1, A = m = 1, n = -9$  and  $c = 2$ .

## 5. Conclusion

The long–short–wave interaction system has been discussed in previous studies and some solutions of this equation system have been obtained by using different methods. In this work, in addition to these solutions, abundant new travelling wave solutions have been obtained via the unified method in straightforward, concise, and elegant manner. Mathematica and Maple facilitates the tedious algebraic calculations.

## Acknowledgements

The author would like to thank the referees for their comments and discussions.

## References

1. Wang, M. L., Wang, Y. M., Zhang, J. L. 2003. The periodic wave solutions for two systems of nonlinear wave equations. Chin. Phys., 12: 1341.
2. Bekir, A., Ünsal, Ö. 2012. Periodic and solitary wave solutions of coupled nonlinear wave equations using the first integral method, Phys. Scr., 85: 065003.
3. Sirendaorji. 2017. Constructing infinite number of exact travelling wave solutions of nonlinear evolution equations via an extended tanh-function method, International Journal of Nonlinear Science, 24: 161–168.
4. Huibin, L., Kelin, W. 1990. Exact solutions for some coupled nonlinear equations II, Journal of Physics A: Mathematical and General, 23: 4197-4105.
5. Malfliet, W., Hereman, W. 1996. The tanh method. I: Exact solutions of nonlinear evolution and wave equations, Phys. Scr., 54: 563-568.
6. Fan, E.G. 2000. Extended tanh-function method and its applications to nonlinear equations, Phys Lett. A, 277: 212-218.
7. El-Wakil, S. A. , El-Labany, S. K. , Zahran, M. A., Sabry, R. 2005. Modified extended tanh-function method and its applications to nonlinear equations, Appl. Math. Comput., 161: 403-412.
8. Khuri, S. A. 2004. A complex tanh-function method applied to nonlinear equations of Schrödinger type, Chaos, Solitons and Fractals, 20: 1037-1040.

9. Wang, M., Li, X., Zhang, J. 2008. The (G'/G)-expansion method and travelling wave solutions of nonlinear evolution equations in mathematical physics, *Physics Letters A*, 372: 417-423.
10. Gözükızı, Ö. F., Akçağıl, Ş., Aydemir, T. 2016. Unification of all hyperbolic tangent function methods, *Open Phys.*, 1: 524-541.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Pressure Effects on the Structural Evolution of Monatomic Metallic Liquid Hafnium

Sedat ŞENGÜL<sup>1</sup> and Murat ÇELTEK<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Trakya University, Faculty of Science, Edirne, Turkey

<sup>2</sup>Trakya University, Faculty of Education, Edirne, Turkey

---

### Abstract

Structural evolution of monatomic metallic liquid hafnium under high pressures of 0-50 GPa has been investigated by molecular dynamics (MD) simulations using the tight-binding (TB) many body potentials during rapidly solidified processes. The structural evolution and glass formation (GF) process have been analyzed by using pair distribution functions (PDF), Wendt-Abraham ( $R^{WA}$ ) parameter, Honeycutt-Andersen (HA) and Voronoi tessellation (VT) methods. When the system has been cooled with a cooling rate of  $2 \times 10^{13} \text{ Ks}^{-1}$ , the glassy states are obtained for  $P \leq 40$  GPa pressures and the crystalline phase is obtained at  $P = 50$  GPa pressure. The number of face-centered cubic (fcc) and hexagonal close-packed (hcp) (fcc + hcp) type bonded pairs increase dramatically, while the number of perfect icosahedra, distorted icosahedra and body-centered cubic (bcc) type bonded pairs decreases with increasing of pressure. This is an indication that the solidification process of the system begins with nucleation in the liquid and that nucleation growth with increasing pressure continues to develop. The results show that the variation of local atomic bonded pairs is of great importance to understand the glass formation and crystallization process. However, it has been observed that the applied high pressure (HP) weakened icosahedral order and increased the fraction of other clusters in glassy hafnium at low temperatures. Furthermore, it has been observed that all glass transition temperatures ( $T_g$ ), main bond types and main base clusters change with increasing pressure.

**Keywords:** Metallic Glasses, Glass Forming Ability, Molecular Dynamics Simulation, Pair Analysis, Pressure Effect, Hafnium.

---

## Mono-atomik Metalik Sıvı Hafniyumun Yapısal Gelişimi Üzerine Basınç Etkileri

---

### Öz

Mono-atomik metalik sıvı hafniyumun 0-50 GPa yüksek basınçları altındaki yapısal değişimi, hızlı katılaştırma süreci sırasında sıkı-bağlı çok cisim potansiyeli kullanılarak moleküler dinamik benzetimleri ile araştırılmıştır. Yapısal gelişim ve cam oluşum süreçleri çiftler dağılım fonksiyonları (PDF), Wendt-Abraham parametresi ( $R^{WA}$ ), Honeycutt-Andersen (HA) ve Voronoi tessellation (VT) metotları kullanılarak analiz edilmiştir. Sistem  $2 \times 10^{13} \text{ Ks}^{-1}$ 'lik bir soğutma oranı ile soğutulduğunda,  $P \leq 40$  GPa olan basınçlar için camsı yapı ve  $P = 50$  GPa basıncında da kristal faz elde edildi. Basıncın artmasıyla, yüzey merkezli kübik (fcc) ve altıgen sıkı paketlenmiş (hcp) (fcc + hcp) tipi bağlı çiftlerin sayısı çarpıcı bir şekilde artarken, mükemmel icosahedra, bozuk icosahedra ve cisim merkezli kübik (bcc) tipi bağlı çiftlerin sayısı azalmıştır. Bu, sistemin katılma sürecinin sıvıda çekirdeklenme ile başladığını ve artan basınçla çekirdeklenmenin gelişmeye devam ettiğini gösterir. Sonuçlar, yerel atomik bağlı çiftlerin varyasyonunun, cam oluşumu ve kristalleşme sürecinin anlaşılması açısından büyük önem taşıdığını göstermektedir. Bununla birlikte, uygulanan yüksek basıncın icosahedral düzeni zayıflattığı ve düşük sıcaklıklarda camsı hafniyumdaki diğer kümelerin sayısını arttırdığı gözlenmiştir. Ayrıca, cam geçiş sıcaklıklarının ( $T_g$ ), ana bağlı tiplerin ve ana temel kümelerinin artan basınçla değiştiği gözlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Metalik Camlar, Cam Şekillendirme Yeteneği, Moleküler Dinamik Simülasyon, Çift Analizi, Basınç Etkisi, Hafniyum.

---

\*Sorumlu Yazar: [mceltek@trakya.edu.tr](mailto:mceltek@trakya.edu.tr)

Geliş Tarihi: 19/04/2018. Kabul Tarihi: 06/06/2018

## 1. Introduction

It is difficult to characterize liquid structures because they do not have a long atomic order. Within a few Å, the short-range atomic order (SRO) can be captured with analysis method, such as PDF [1]. Understanding the local structure of stable and supercooled melt systems are very important to understand crystallization process and glass formation from the melt as well as the properties of the liquid itself [2]. In the last four decades, researchers have been able to successfully obtain bulk metallic glasses (BMG) by applying rapid quenching methods to multi-component melts containing three or more elements[3–5]. On the other hand, although obtaining BMGs from binary alloys is limited, obtaining BMG from pure metals requires more effort[6, 7]. Recently, Zhong et al.[8] successfully have obtained monatomic metallic glasses (MG) by quenching metals such as liquid tantalum and vanadium at an unprecedentedly high quenching rate of  $10^{14}$  Ks<sup>-1</sup> with an experimental approach. It is well known that it is almost impossible to directly measure and observe the motion of atoms and atomic clusters in experiments. These difficulties and adversities overcome with molecular dynamics (MD) simulation as an alternative approach to study the dynamics of supercooling on the atomic scale[9, 10]. Together with the developing technology and the HP techniques, today the pressure for the condensed phases has become an important variable such as temperature[6]. In the past years, microstructural changes on these systems have been successfully explained by applying HP to many monatomic metals using MD simulation method[11–18]. The world is experiencing a digital revolution, and this revolution continues to progress rapidly from day to day. Today, leading companies, such as Intel and IBM, have begun using hafnium microchips to make their transistors faster and reduce leakage rates, rather than silicon microchips. Hafnium and its alloys have a high neutron absorption cross-section of  $105 \times 10^{-28}$  m<sup>2</sup> and are therefore used as neutron poisons in the control rods of nuclear reactors [19]. Hafnium is used to make binary compounds which are very good refractory materials. These materials have the capacity to endure high temperatures and high levels of pressure. Because of these unique properties, they are used in aerospace and similar fields. In addition, the hafnium is used by the computer industry to create smaller and smaller microchips that work much more efficiently with less energy. In order to ensure safe service of these materials, it is necessary to understand the characteristics such as the development of displacement cascades and the formation of vacancy under irradiation [19]. It is very difficult to make *in-situ* observation because this process is very short and the service condition of reactors is formidable[20]. A numerical method such as MD simulation is used as an alternative method to understand the effects of irradiation of materials [20–22]. Although the hafnium element has similar properties to the Ti and Zr elements, the high-pressure experimental studies on hafnium are fewer than others. First, Bakanova et al. [23] have shown that there are two phase transitions in hafnium at different pressures and temperatures. Ming et al. [24] observed no any transitions up to 39.5 GPa in their pressure experiments on hafnium. Later, Xia et al.[25] showed that two-phase transition occur at high pressures by compressing hafnium in a diamond anvil cell using energy dispersive X-ray diffraction technique. Although in recent years there have been studies of HP polymorphism in this element, the local structure of the melt under HP has not yet been fully understood[26]. Based on our current knowledge, there is no MD simulation study of the effects of HP on the local atomic structure of the system during the cooling of the hafnium element. Thus, in this work, we have examined how the structural development of hafnium is changes under pressure and with temperature, and the results obtained are given in the following sections.

## 2. Simulation Methods

To study the effect of pressure on hafnium during rapidly solidified processes, the classical MD code DL\_POLY 2.0 was used [27]. The cooling run was performed in the NPT ensemble (constant number of particles, pressure and temperature) with the given pressure. The simulation cell was a cubic box with periodic boundary conditions applied in three directions and contains 8664 atoms that were initially arranged in an ideal hcp structure. The simulation was started at 3500 K, which is well above the experimental melting temperature  $T_m=2504$  K [28] of hafnium, under 0 GPa. Firstly, the system in liquid state was equilibrated at 3500 K for 2,000,000 steps under the NPT ensemble for at least 2 ns, the system quenched with cooling rate of  $2 \times 10^{13}$  Ks<sup>-1</sup> from 3500 K to 300 K with an increment of 100 K was subjected to different external hydrostatic pressures ( $P = 0, 5, 10, 20, 30, 40,$  and  $50$  GPa). Structural evolution of liquid hafnium under the different pressures was investigated by MD simulations using TB



potentials [29] during cooling process. Based on TB model, the total energy of a single atom can be divided into two parts:

$$E_C^i = \sum_i (E_R^i + E_B^i) \quad (1)$$

One is the repulsive potential:

$$E_R^i = \sum_j A \exp \left[ -p \left( \frac{r_{ij}}{r_0} - 1 \right) \right] \quad (2)$$

The other is the attractive potential to bind atoms together:

$$E_B^i = \left\{ \sum_j \xi^2 \exp \left[ -2q \left( \frac{r_{ij}}{r_0} - 1 \right) \right] \right\}^{1/2} \quad (3)$$

where  $r_{ij}$  represents the distance between atoms  $i$  and  $j$ ; and  $r_0$  is the first-neighbor distance.  $A$ ,  $p$ ,  $\zeta$ , and  $q$  are model parameters connected with the physical properties of the elements. More details for the potential parameters can be found in Ref.[30–34]. TB many body potential parameters for hafnium used in our simulations have been taken as  $A=0.1323$  eV,  $\xi=2.1516$  eV,  $p=10.557$ ,  $q=1.961$  and  $r_0=3.14\text{\AA}$  as given in Ref. [35].

### 3. Results and Discussions

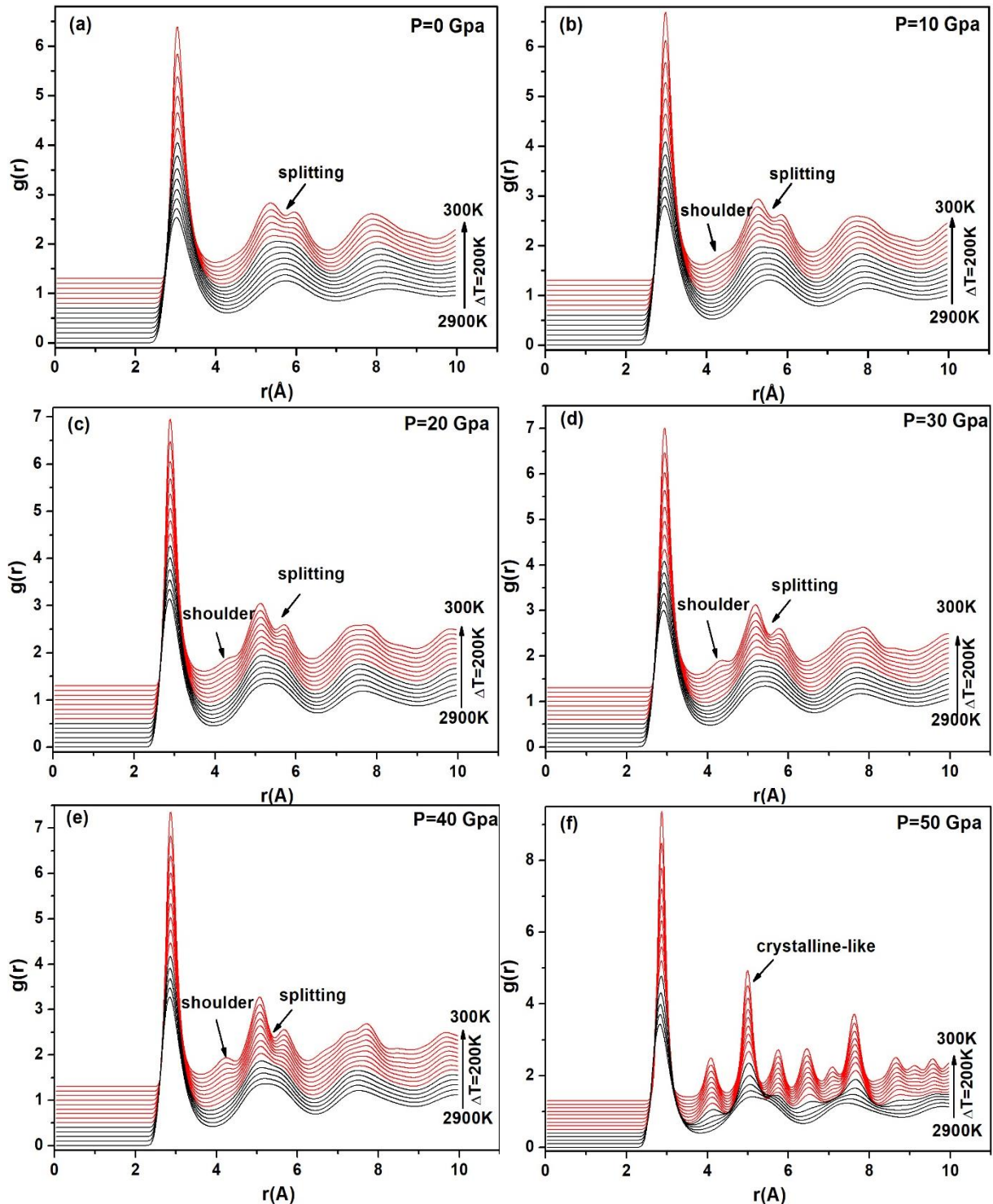
#### 3.1. Pair Distribution Function (PDF)

The PDF,  $g(r)$  showing the probability of finding another atom at a distance  $r$  from an origin atom. It is often used to characterize the structural properties of liquids and noncrystalline solids, and the total PDF is defined as:

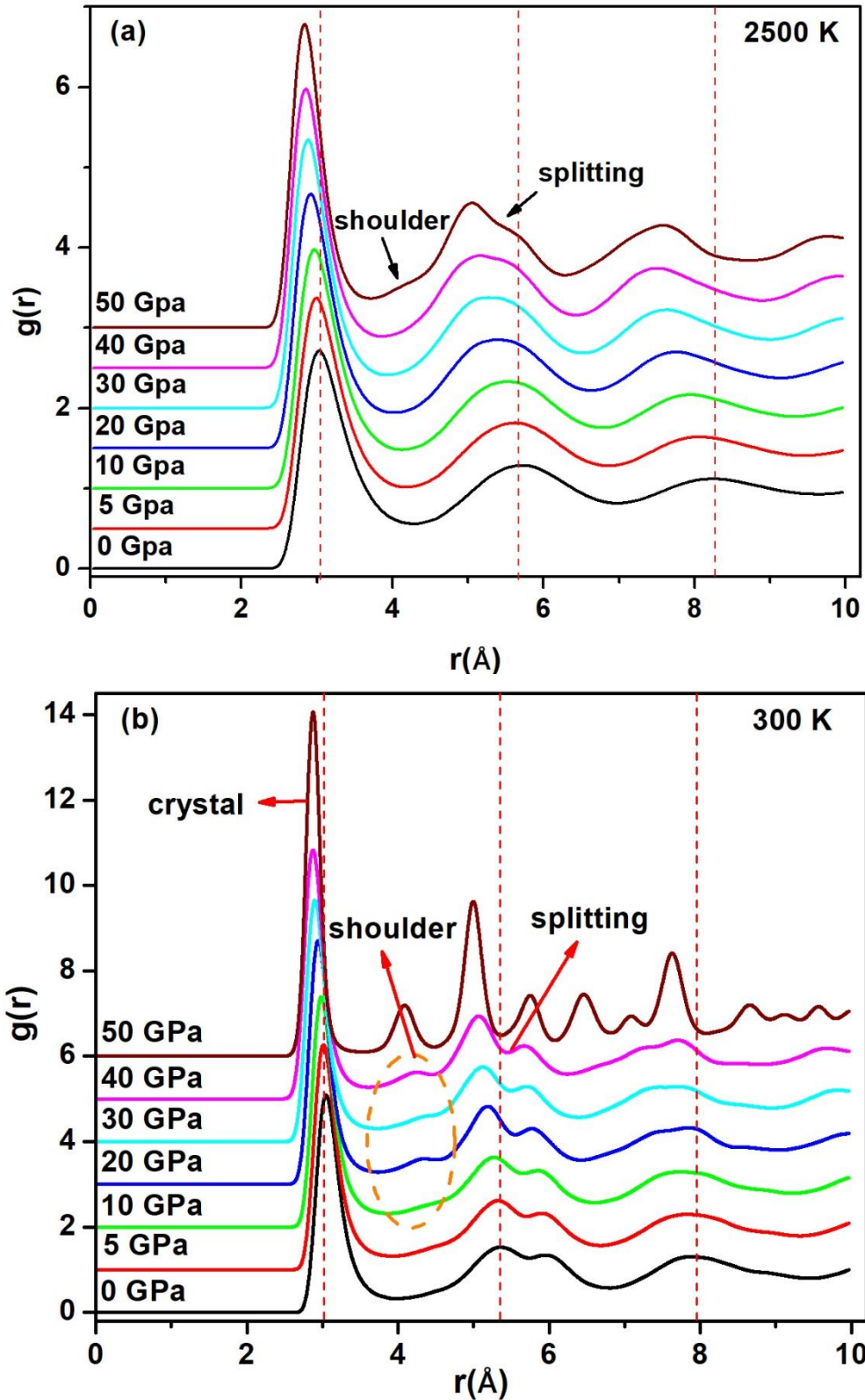
$$g(r) = \frac{V}{4\pi r^2 N^2} \left\langle \sum_i \sum_{i \neq j} \delta(r - r_{ij}) \right\rangle \quad (4)$$

where  $N$  is the number of atoms in the system. Figures 1(a)-1(f) display the temperature-dependent evolution of the PDFs obtained under 0-50 GPa. For the model system, the PDF curves at high temperatures carry characteristic liquid properties under all pressures. That is, the first peaks of PDF curves are salient and the second one is smooth. A splitting can also be seen in the second peaks of the PDF curves of the system cooled under 0 GPa pressure at about 1300 K, which is known as a characteristic feature of amorphous systems[34, 36]. These splitting become more pronounced with decreasing temperature. When the system is cooled with pressures of 10 GPa and 30 GPa, it usually behaves similarly to 0 GPa. Unlike 0 GPa, at lower temperatures, a shoulder begins to form on the left side of the second maximum peak of the PDF curves, indicating that the glassy structure is not fully stabilized. These shoulders become more pronounced with increasing of the pressure. This case is also an indication that the number of crystalline clusters in the system is beginning to increase. The solidification process of the metals begins with nucleation in the liquid, and then develops with nucleus growth[37]. In order to obtain glassy hafnium under a high pressure, the melt hafnium has to be cooled at a high cooling rate. When the pressure is increased to a value as high as 50 GPa, it can be seen that the system transforms from the liquid to the crystalline structure during rapid cooling. In other words, when the crystallization started, the order degree of the system increased, and finally a crystalline structure has appeared obviously. Figures 2(a) and 2(b) show the PDF results obtained under different pressures at 2500 K and at 300 K, respectively. PDF curves obtained at 2500 K under pressures of 0-40 GPa exhibit peaks belonging to liquid structures. When the system cooled under the pressures of 10-40 GPa, with decreasing temperature, a splitting at the second peak of the PDF curve and a shoulder between the first and second peaks of the PDF begin to appear, indicating that the system has undergone significant changes in its microstructure. Finally, at 300 K, when the pressure is increased step-by-step from 0 to 40 GPa, it appears that the system still has a glassy structure, while the shoulder that forms with increasing pressure becomes even more pronounced. These results mean that with the increase in

pressure, the distance between the atoms within the system decreases, the order degree of glassy hafnium decreases, and the crystal nucleation in the system continues to increase. It can be seen clearly in Figure 1(f) that PDFs obtained at 50 GPa, which is the highest pressure applied in this study, are different from the others. In the PDF curves obtained at this pressure, a sharper and more pronounced new peak appears at the position of the shoulders formed in the other pressures, indicating that this system is crystallized.



**Figure 1.** (Color online) The temperature-dependent changes of PDFs under the pressures of 0-50 GPa for monatomic hafnium.



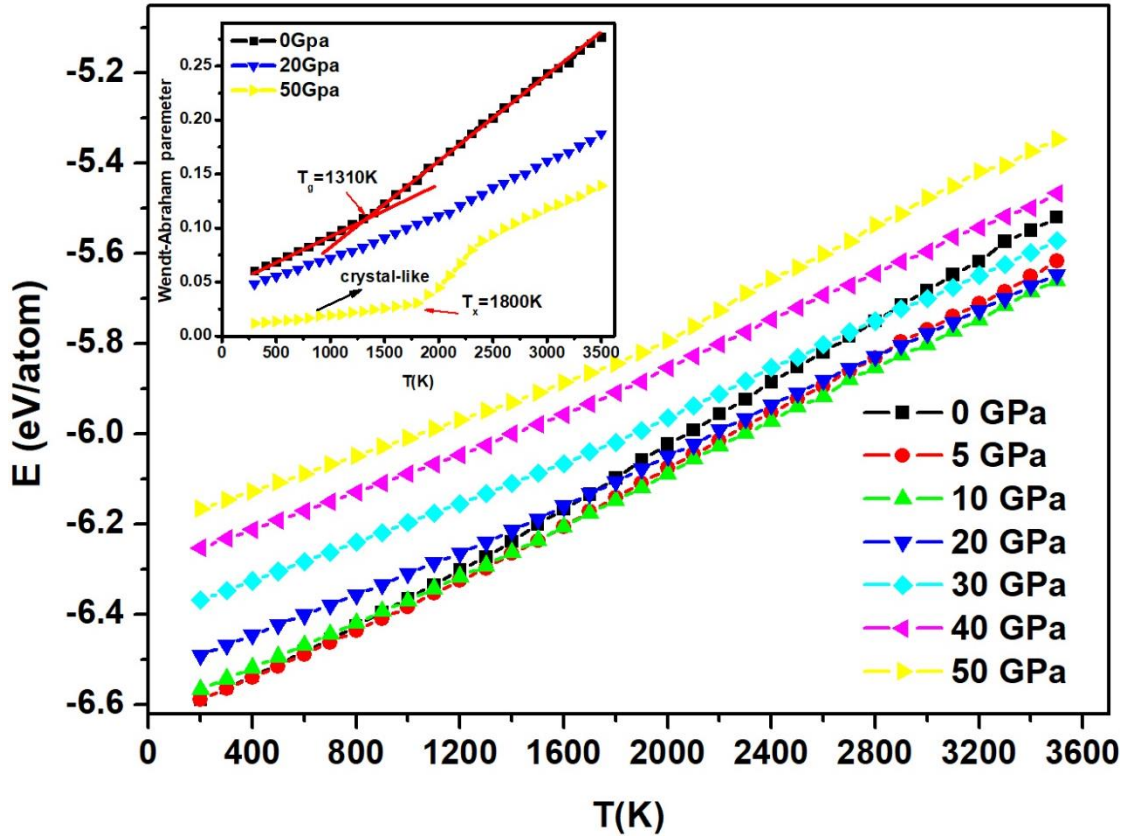
**Figure 2.** PDFs of the metallic liquids during isobaric pressure of 0-50 GPa, (a) at 2500 K, and (b) at 300 K.

The first and second maximum heights of  $g(r)$  increase with increasing pressure and the corresponding 1st and 2nd  $r_{\max}$ (Å) positions shift towards smaller  $r$  values, as shown in Figures 2 (a) and 2(b). These sharp increases in the peaks of the PDFs along with the increased pressure show that the SRO in the system is strengthening and that the crystal nucleation continues to increase and finally the system is

crystalline. In addition, inward shifts in the first and second peaks of the PDF mean that higher pressures suppress the distance between atoms. It is clear that HP makes the distance between atoms shorter and the ordering degree in liquid, amorphous and crystal hafnium stronger.

### 3.2. Glass formation

It is very important to determine the  $T_g$  correctly, because  $T_g$  is probably one of the most important properties of amorphous systems and also determines the processing and working temperature range of the material. Before analyzing the microstructures of the system, we analyzed the evolution of the total energy ( $E$ ) per atom as a function of temperature ( $T$ ) during cooling, as shown in Figure 3.



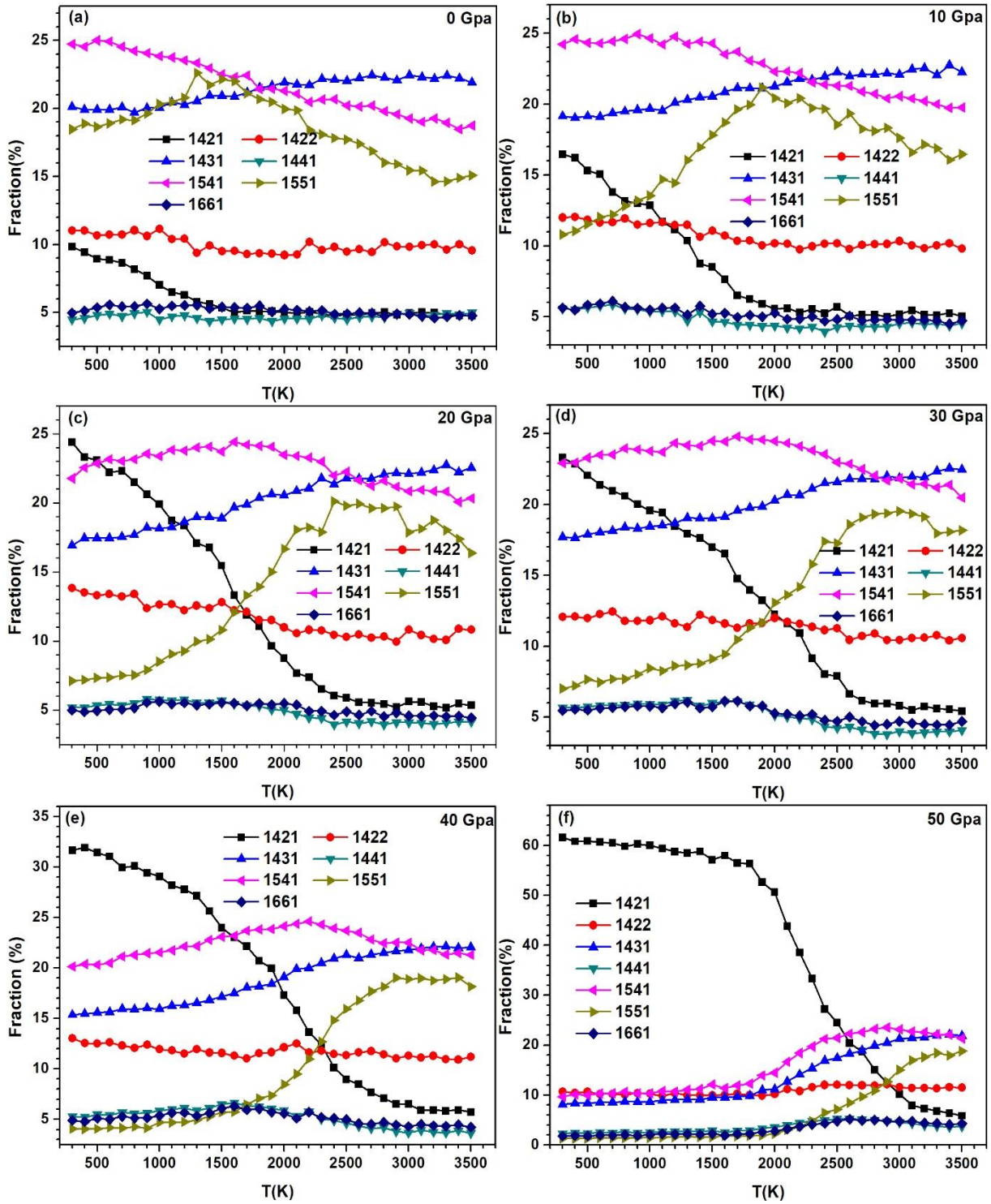
**Figure 3.** (Color online) Temperature dependence of total energy per atom of the liquid hafnium system under the pressures of 0-50 GPa. The inset shows the variation curves of  $R^{WA}$  parameters according to temperature under the pressures of 0, 20 and 50 GPa.

At pressures below 50 GPa, a sharp change in the energy curves cannot be observed, a slight change between 2400 K and 1800 K at 50 GPa is observed, indicating the first order phase transition, such as crystallization. This phase transition can be seen in more detail than the temperature-dependent variation of the Wendt-Abraham (WA) parameter, as shown in the inset of Figure 3. Different methods have been used to evaluate the  $T_g$  of glass systems in MD simulations. In our study, we used the WA parameter ( $R^{WA} = g_{min}/g_{max}$ ), which is commonly preferred to better determine  $T_g$ . Where  $g_{min}$  and  $g_{max}$  show the first minimum and maximum values of the PDFs, respectively. It can be clearly seen that the  $R^{WA}$  values obtained under different pressures decrease with decreasing temperature.  $R^{WA}$  curves have two lines with different slopes for pressure values of 0 GPa and 20 GPa. There is a change in slope between low and high temperatures. With increasing pressure, the slopes of the  $R^{WA}$  curves towards lower temperatures are similar but the slope towards higher temperatures continues to decrease. We observed a sudden and sharp decline in the  $R^{WA}$  curve of the system cooled under 50 GPa pressure between 2300 K and 1800 K, which is an indication of the transition from liquid phase to solid phase. We have taken the final point of sudden decline as the crystallization temperature value (nearly  $T_x = 1800$  K). As can be seen in the inset of Figure 3, at high and low temperatures, the  $R^{WA}$  curves have two different slopes,

and the linear lines are plotted on data sets with different slopes, and the intersection of these linear lines is determined as  $T_g$ . For 0, 5, 10, 20, 30, and 40 GPa, the evaluated  $T_g$  values are 1310 K, 1340 K, 1375 K, 1422 K, 1506 K and 1590 K, respectively. We have observed a systematic relationship between pressure and  $T_g$ . In other words,  $T_g$  has increased with increased pressure.

### 3.3. Honeycutt-Andersen (HA) Bond-Type Index Method

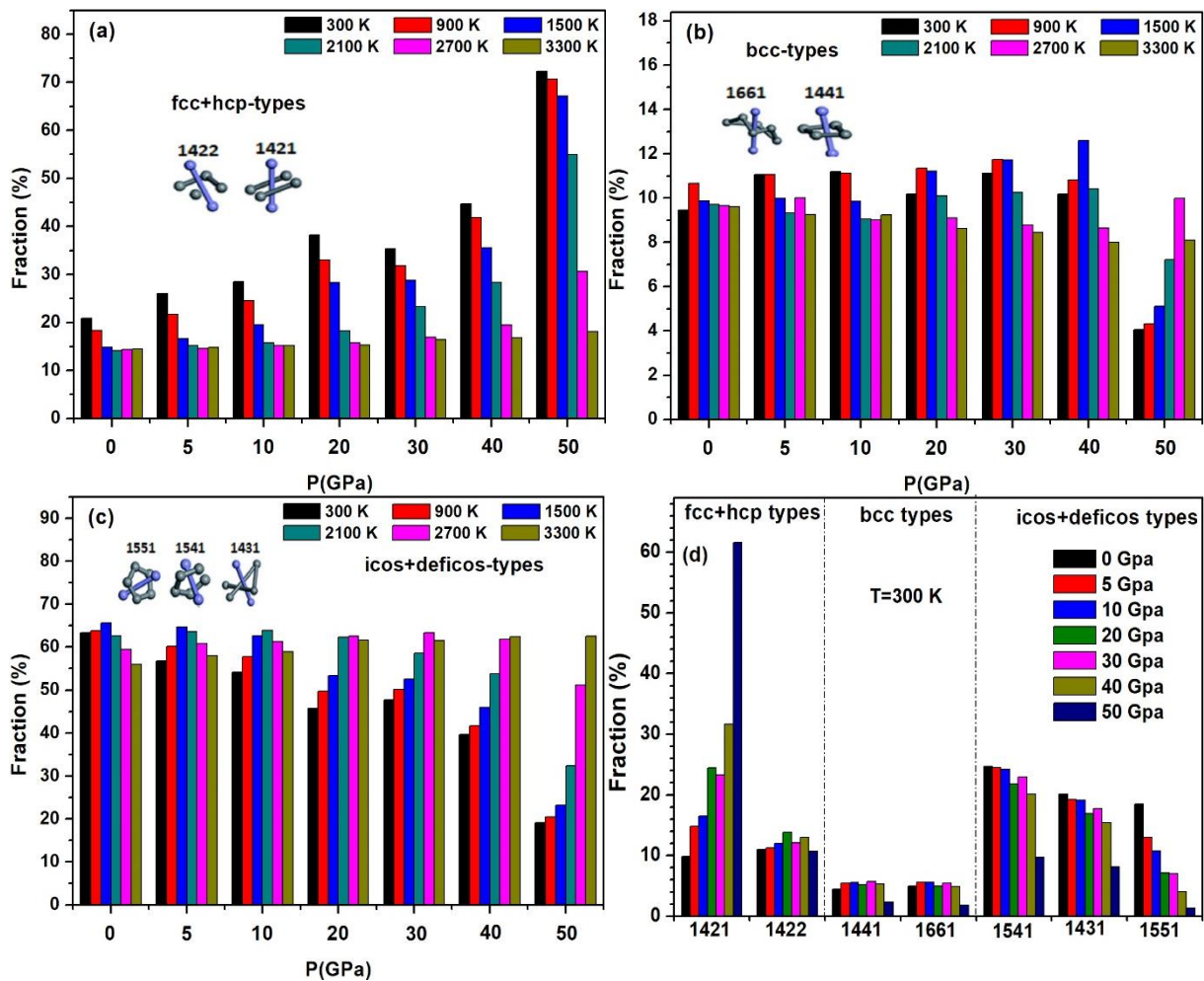
Although PDF gives a general definition of the crystallization process only from the liquid to the crystal structure, it does not accurately describe the structural changes and structure of the atomic clusters. Alternative methods are available to define the microscopic local structure and the SRO of structures by using Honeycutt-Andersen (HA) index [38] and Voronoi tessellation (VT) methods [39]. From these methods, the HA index consists of 4 integers such as  $ijkl$ . If the distance between the atom pair is less than  $r$ , which corresponds to the first minimum value of  $g(r)$ , then the first integer  $i$  is 1 when the atom pairs are bonded in the root pair, otherwise  $i$  is 2. The second integer  $j$  is the common-neighbor number of the considered pair. The third integer  $k$  is the number of bonds among the shared neighbors. The fourth integer  $l$  is used to distinguish structures that have the same first three indices but which have different geometries (eg, 1421 and 1422). According to these definitions, the index 1551 characterizes a part of the perfect icosahedra (icos) local ordering, while the indices 1541 and 1432 characterize the defect icosahedra (deficos) ordering. The 1421 index represents the fcc ordering and the 1422 index represents hcp ordering, while the 1661 and 1441 indexes represent the bcc ordering. Refs[30, 40] can be used for more detailed information. Figures 4(a)-4(f) show the statistical results of several prevalent HA indices under different pressures during the rapid cooling process of liquid hafnium. The results of the rapidly cooled system under zero pressure ( $P=0$  GPa) show that at all temperatures, the icos (1551) and deficos (1431 and 1541) bonded pairs are dominant, as in Figure 4(a). Overall, the SRO of the system under zero pressure is increasing with decreasing temperature, which is consistent with the PDF results discussed above. At the same time, the icosahedral ordering is the major part of the local structures in the system at all times. The distribution of 1541 bonded pairs increase from 18.74% at 3500 K to 24.72% at 300 K during cooling process, while the distribution of 1431 bonded pairs changes slightly from 21.91% at 3500 K to 20.13% at 300 K. The one of the most important changes due to decrease temperature, the fraction of icos (1551) types increases from 15.08% at 3500K to 22.61% at 1300K, while the fraction of 1551 bonded pairs drops to 18.47% at 300 K the starting from 1300 K. However, the fraction of 1422- and 1421-type pairs appear to be insensitive to temperature between 3500 K and 1300 K, while the fraction of 1422 and 1421 bonded pairs begins to increase significantly at temperatures below 1300 K. This is an indication that the system has significant changes in its microstructure and that crystal-like clusters have begun to increase. On the other hand, the fraction of the bcc-like 1441 and 1661 bonded pairs is almost unchanged or changes very little as temperature drops. The results of 10 GPa are similar to the results at 0 GPa, but the number of 1421 bond-type increased remarkably, while the number of 1551 bond-type decreases sharply with the decrease of temperature. When the pressure is increased from 20 GPa to 40 GPa, the number of 1541 bond- pairs increases at first and then decreases with the increasing of the pressure and the decreasing of the temperature. The fraction of 1421 bond-type belonging to the fcc structure under 50 GPa pressure increased very fast from 5.84% at 3500 K to 61.59% at 300 K. On the other hand, the fraction of all other bond-types decreases as temperature drops. From these results, it can be clearly seen that the system has transitioned from liquid to crystal structure under the pressure of 50 GPa. The sum of icosahedra types icos+deficos 1551, 1431 and 1541, fcc+hcp types 1422 and 1421, and BCC types 1441 and 1661 are shown as a function of the temperature in Figures 5(a), 5(b) and 5(c). The fcc+hcp types of bond pairs increase dramatically, whereas the icos+deficos and BCC types of bond pairs decrease with the decreasing of the temperature. On the other hand, the number of fcc+hcp crystal clusters become even more pronounced both with increasing pressure and decreasing temperature. This is consistent with occurring a shoulder after the 1st minimum of the PDF curves discussed in the above section. As seen in Figure 5 (c), this decline is offset by an increase in icos + deficos types. According to this, it can be said that some of fcc + hcp crystal clusters transformed to icos + deficos type clusters at around 30 GPa. This explains why the left shoulder in the PDF is less obvious (please see Figure 2).



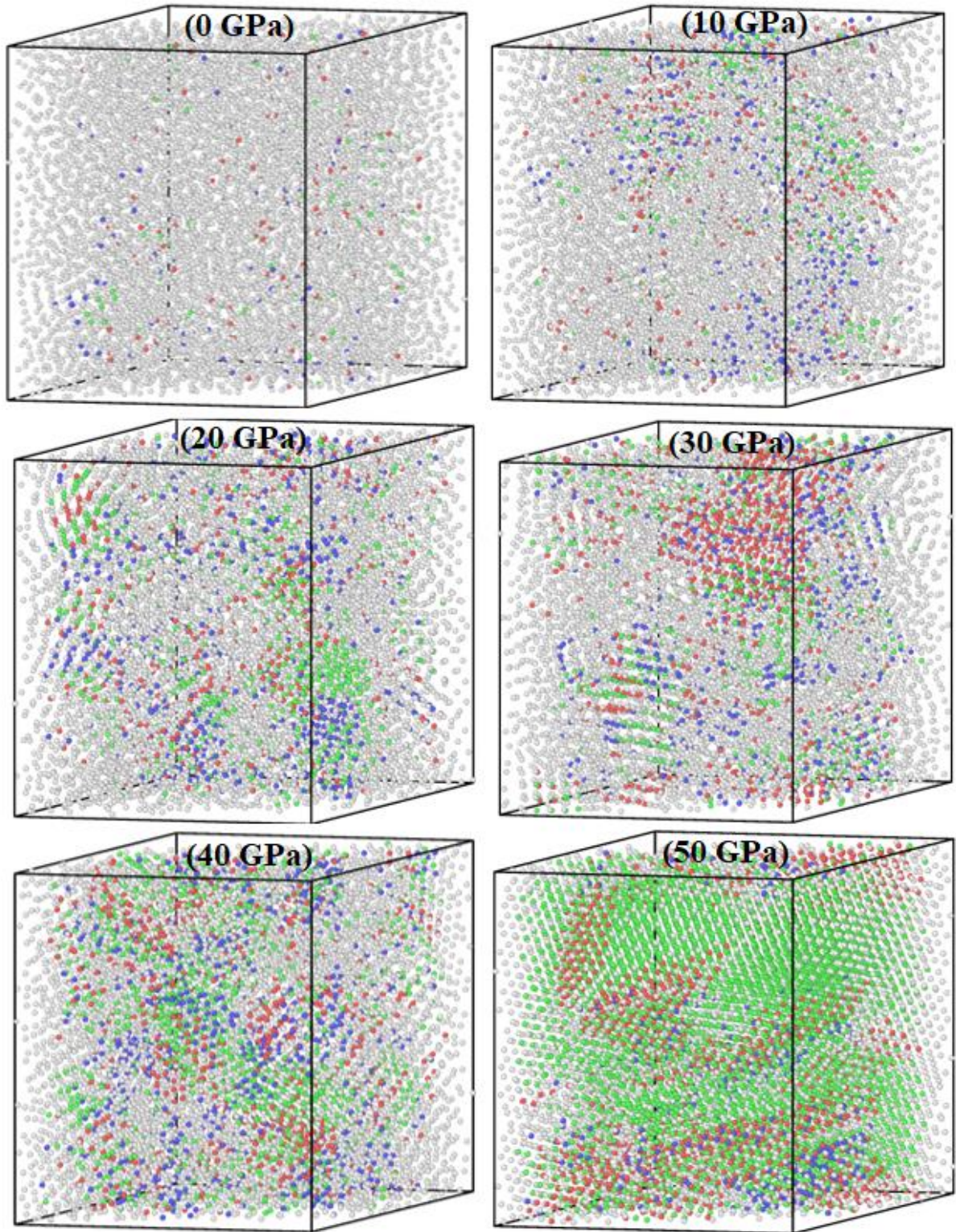
**Figure 4.** (Color online) Temperature dependent fraction of common HA indices obtained under the pressures of 0-50 GPa for monatomic hafnium.

The sudden and sharp increase in the fcc+hcp type clusters of the system cooled under 50 GPa pressure shows that the system undergoes from liquid to fcc+hcp crystalline structure. From MD simulation results, it can be seen that the increased pressure causes the increase of the fraction of the crystalline clusters together with the decrease of the fraction of the icosahedral clusters in the system and the high pressure causes the clusters in the system to transform from the icosahedral to the crystalline structure. Furthermore, the high pressure strengthens the ordering degree in the liquid system, which is consistent with the fact that the first peaks of the PDF curves are more coordinated under pressure. Figure 5(d) represents the distribution of the various bonded pairs (1421, 1422, 1441, 1661, 1431, 1541, and 1551)

formed at 300 K under different pressures ranging from 0 GPa to 50 GPa. It can be seen that the icos (1551) or deficos (1431 and 1541) structures in the system dominate at 20 GPa and lower pressures. The fraction of fcc+hcp types (1421+1422) of bond-pairs increases remarkably with pressure, while the fraction of icos+deficos types (1551+1431+1541) of bond-pairs decreases. Moreover, it can be observed that the 1441 and 1661 (bcc-like type) bond pairs also exist, and are the most abundant next to the icos+deficos types and fcc+hcp types. The most interesting of these is that as the pressure increases, the fraction of the fcc-like (1421) bond pairs increases from 9.84% at 0 GPa to 62.59% at 50 GPa, while the fraction of the perfect (1551) bond pairs decreases from 18.47% at 0 GPa to 1.29% at 50 GPa. This case can be explained as a transition of system from liquid to crystal structure at high pressure ( $P = 50$  GPa). The glassy hafnium formed under high pressures has a weakened icosahedral order, enhanced fcc+hcp crystalline type order and therefore has a lower thermal stability. Figure 6 illustrates the evolution of crystal-like clusters in the system under different pressures at 300K. The snapshot of the simulation box's has been rendered with the OVITO software [41]. It can be clearly seen that the pressure has a significant influence on the formation and evolution of microstructures, especially the relations of relative percentage of the main bond-types in the system.



**Figure 5.** (Color online) The relative number of bonded pairs in bulk hafnium under different pressure as a function of temperature. (a) fcc+hcp, (b) bcc, and (c) icos+deficos types and (d) the distribution and variation of various bonded pairs under different pressures at 300 K.

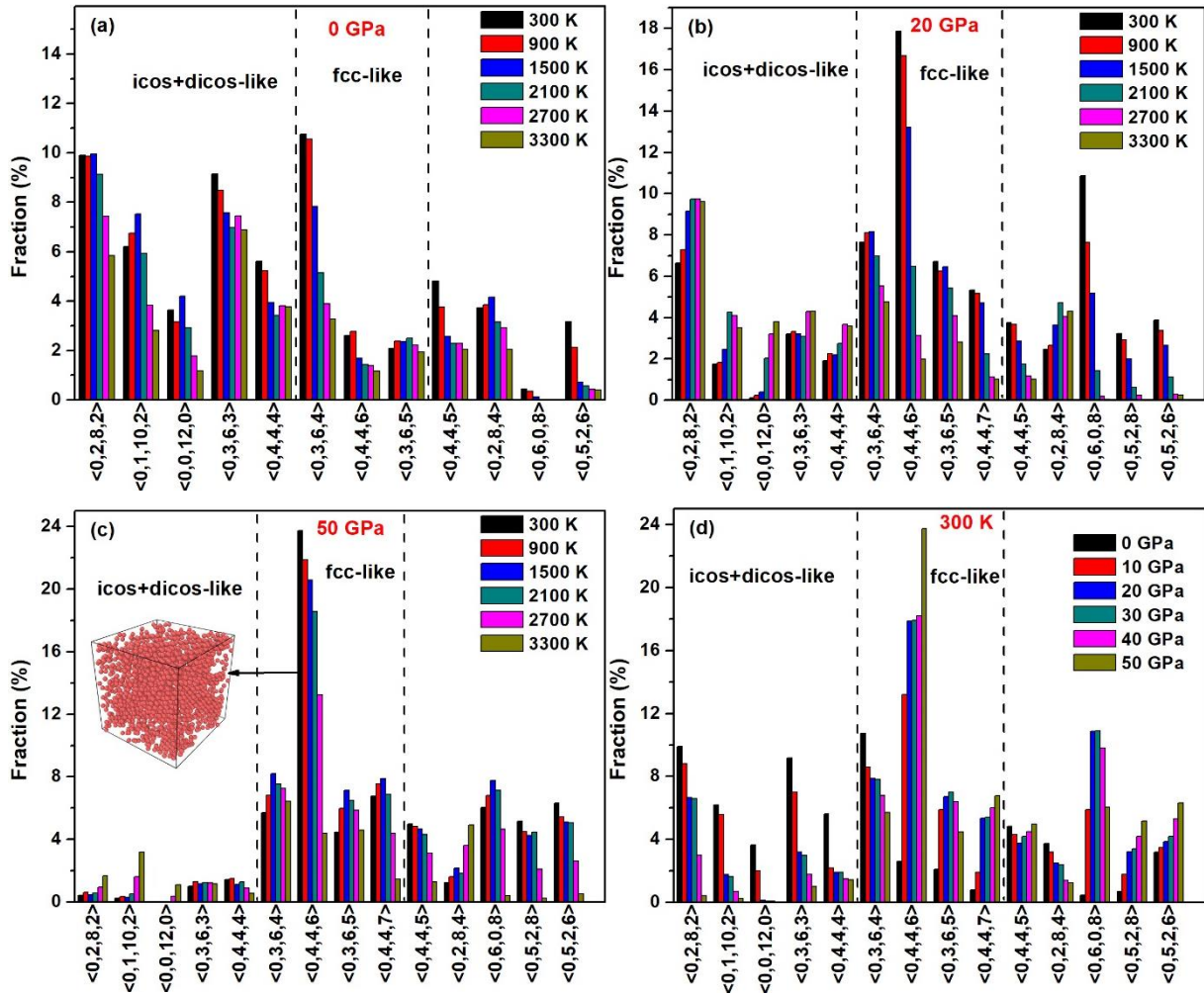


**Figure 6.** The evolution of crystalline-like clusters under the pressures of 0-50 GPa at 300 K. Green, brown, blue and grey atoms represent fcc-like, hcp-like, bcc-like and other-like atoms, respectively.



### 3.4. Voronoi Tessellation (VT) Analysis

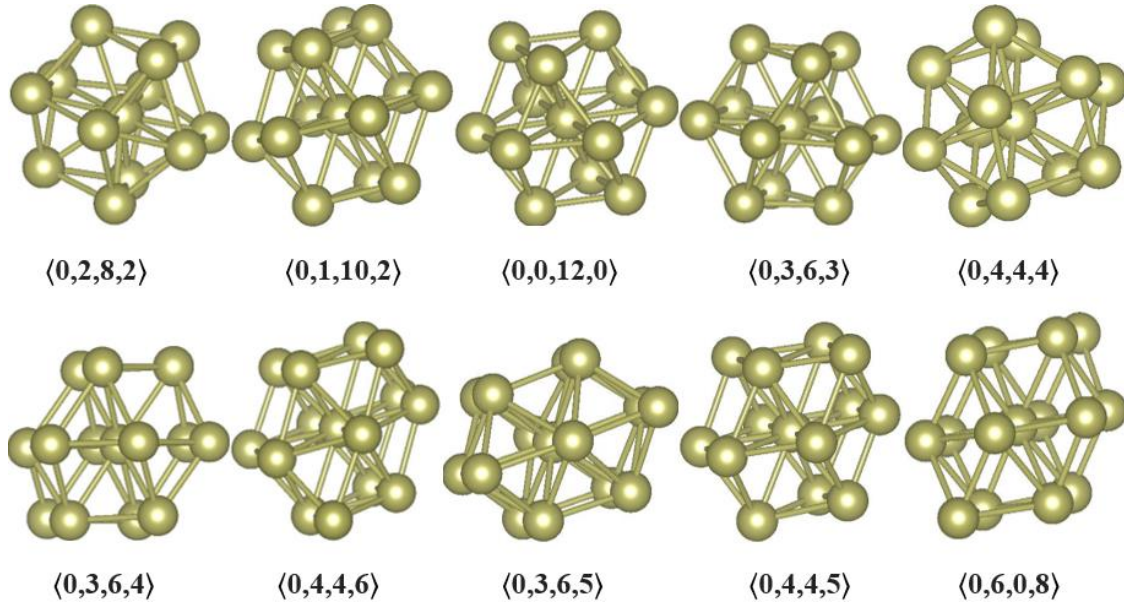
We used the Voronoi tessellation (VT) method to clearly define the structure of the clusters, which according to HA analysis provides a more complete geometrical construction of a central atom to its neighboring atoms. Voronoi polyhedral index is expressed as  $\langle n_3, n_4, n_5, \dots, n_i, \dots \rangle$ , where  $n_i$  donates the number of  $i$ -edged faces of the Voronoi polyhedrons (VPs). According to Voronoi analysis, the first group is the Voronoi indices of the perfect polyhedron (icos)  $\langle 0,0,12,0 \rangle$ , and the distorted polyhedron (dicos)  $\langle 0,2,8,2 \rangle$ ,  $\langle 0,1,10,2 \rangle$ ,  $\langle 0,3,6,3 \rangle$ , and  $\langle 0,4,4,4 \rangle$ [42]. The second group is the Voronoi indices of the distorted fcc polyhedrons  $\langle 0,3,6,4 \rangle$ ,  $\langle 0,3,6,5 \rangle$ ,  $\langle 0,4,4,6 \rangle$ , and  $\langle 0,4,4,7 \rangle$ [43]. The last group represents the other most common polyhedrons, which  $\langle 0,6,0,8 \rangle$  and  $\langle 0,2,8,4 \rangle$  polyhedrons correspond to bcc-like clusters[44–46]. Figures 7 (a) - 7(d) show the dominant types of VPs in the system under different pressures, and the inset shows the 3D distribution of atoms with VP  $\langle 0,4,4,6 \rangle$  in MD simulation cell at 50 GPa.



**Figure 7.** The results of VT analysis for monatomic hafnium at different temperatures under (a) 0, (b) 20, and (c) 50 GPa, (d) the pressure dependent change of dominant VPs at 300K. The inset illustrates the distribution of  $\langle 0,4,4,6 \rangle$  polyhedron under the pressure of 50 GPa at 300 K.

In the system cooled under 0 GPa, fcc and icos SRO play an important role according to Voronoi index analysis, as seen in Figure 7(a). The distribution of icos + dicos-like and fcc-like polyhedrons tends to increase with decreasing temperature, which is consistent with the results of the above-mentioned HA. When the pressure is increased to 20 GPa, the fraction of icos + dicos-like clusters decreases with the decreasing temperature, whereas the fraction of fcc-like clusters increases significantly. It can be clearly seen that the fraction of VPs changes with pressure, indicating the significant changes in local atomic structures among the systems under different pressures although the PDFs obtained between 0 GPa and 40 GPa exhibit amorphous-like behavior. Finally, at 50 GPa, the distribution of the icos + dicos type

polyhedrons in the system drops rapidly, while the distribution of the fcc-like polyhedrons increases markedly, indicating that the system is a structural transition from an amorphous-like structure to a crystal-like structure. These results are consistent with results of the PDF and the HA analysis aforementioned above. Furthermore, during the rapid solidification of the monatomic metallic liquid hafnium, it appears that there exists a competition of the clusters among icos clusters, defective fcc clusters, and defective bcc clusters. In the present case, it has been observed that the number of fcc-type base clusters increased with the increase in pressure. Figure 8 shows some of the clusters common in systems cooled under different pressures, which have been drawn using VESTA software[47].



**Figure 8.** Representative atomic clusters of the most common for monatomic hafnium

#### 4. Conclusion

Structural evolution of monatomic metallic liquid hafnium cooled with cooling rate of  $2 \times 10^{13} \text{ Ks}^{-1}$  under different pressures is investigated by TB-MD simulations. When the system cooled under the pressures of 10-40 GPa, with decreasing temperature, a splitting at the second peak of the PDF curve and a shoulder between the first and second peaks of the PDF begin to appear, indicating that the system has undergone significant changes in its microstructure. In the PDF curves obtained under the pressure of 50 GPa, a sharper and more pronounced new peak appears at the position of the shoulders formed in the other pressures, indicating that this system is crystallized. These results mean that with the increase in pressure, the distance between the atoms within the system decreases, the order degree of glassy hafnium decreases, and the crystal nucleation in the system continues to increase. The results show that the  $T_g$  is increased almost linearly with the increasing pressure as expected. The fraction of fcc+hcp-like (1421+1422) bond-pairs increases remarkably with pressure, while the fraction of icos+deficos-like (1551+1431+1541) bond-pairs decreases. Especially the distribution of the fcc-like 1421 bond pairs increases (the distribution of icos-like 1551 bond pairs decreases) from ~10% (~18.2%) in glass hafnium formed under 0 GPa to ~31.8% (~4%) in glass formed under 40 GPa at 300 K. In the system cooled under pressure of 0 GPa, fcc and icos SRO play an important role according to Voronoi index analysis. When the pressure is increased from 0 GPa to 50 GPa, the fraction of icos + deficos-like clusters decreases with the decreasing temperature, whereas the fraction of fcc-like clusters increases significantly. It has been seen that the HP produces an effect in favor of the liquid-to-crystalline transition during the rapid cooling of the monatomic liquid hafnium. However, the applied HP weakens the icosahedral order and increases the fraction of other clusters in glassy hafnium at low temperatures. As a result, the pressure, especially on the main clusters in the system, has a significant influence on the glass formation and evolution of microstructures.

## References

- 1 . Chupas P. J., Chapman K. W., Lee P. L. 2007. Applications of an amorphous silicon-based area detector for high-resolution , high-sensitivity and fast time-resolved pair distribution function measurements, *Journal of Applied Crystallography*, 40: 463-470.
- 2 . Li R., Wang L., Li L., Yu T., Zhao H., Karena W., Wang Y., Rivers M. L., Chupas P. J., Mao H. 2017. Local structure of liquid gallium under pressure, *Scientific Reports*, 1-7.
- 3 . Inoue A. 2000. Stabilization of metallic supercooled liquid and bulk amorphous alloys, *Acta Materialia*, 48 (1): 279-306.
- 4 . Johnson W. L. 1999. Bulk Glass-Forming Metallic Alloys: Science and Technology, *MRS Bulletin*, 24: 42-56.
- 5 . Duan G., Xu D., Zhang Q., Zhang G., Cagin T., Johnson W. L., Goddard W. A. 2005. Molecular dynamics study of the binary Cu<sub>46</sub>Zr<sub>54</sub> metallic glass motivated by experiments: Glass formation and atomic-level structure, *Physical Review B*, 71 (22): 224208.
- 6 . Qi L., Dong L. F., Zhang S. L., Ma M. Z., Jing Q., Li G., Liu R. P. 2008. Cluster evolution in the rapid cooling process of Cu-Ag melts under high pressure: Molecular-dynamics simulation, *Computational Materials Science*, 43 (4): 732-735.
- 7 . Bhat M. H., Molinero V., Soignard E., Solomon V. C., Sastry S., Yarger J. L., Angell C. A. 2007. Vitrification of a monatomic metallic liquid, *Nature*, 448: 787.
- 8 . Zhong L., Wang J., Sheng H., Zhang Z., Mao S. X. 2014. Formation of monatomic metallic glasses through ultrafast liquid quenching., *Nature*, 512 (7513): 177-80.
- 9 . Ercolessi F., Andreoni W., Tosatti E. 1991. Melting of small gold particles: Mechanism and size effects, *Physical Review Letters*, 66 (7): 911-914.
- 10 . Qin J., Gu T., Yang L. 2009. Structural and dynamical properties of Fe<sub>78</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub> alloy during rapid quenching by first principles molecular dynamic simulation, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 355 (48-49): 2333-2338.
- 11 . Jiang D., Wen D., Tian Z., Liu R. 2016. Glass formation and cluster evolution in the rapidly solidified monatomic metallic liquid Ta under high pressure, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 463: 174-181.
- 12 . Liu J., Zhao J. Z., Hu Z. Q. 2006. Pressure effect on the formation and the thermal stability of glassy Cu, *Computational Materials Science*, 37 (3): 234-238.
- 13 . Zhang Y., Wang L., Wang W., Liu X., Tian X., Zhang P. 2004. Pressure effect on the structural transition of liquid Au, *Physics Letters A*, 320: 452-458.
- 14 . Mo J., Liu H., Zhang Y., Wang M., Zhang L., Liu B., Yang W. 2017. Effects of pressure on structure and mechanical property in monatomic metallic glass, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 464: 1-4.
- 15 . Qi L., Feng S., Xu N., Jing Q., Li G., Liu R. 2015. Pressure-induced Structures and Structural Evolution in Iron, *Materials Research*, 18: 78-82.
- 16 . Celik F. A., Kazanc S., Yildiz A. K., Ozgen S. 2008. Pressure effect on the structural properties of amorphous Ag during isothermal annealing, *Intermetallics*, 16 (6): 793-800.

- 17 . Celtek M., Canan C., Domekeli U., Sengul S. 2017. Effect of pressure on microstructure evolution of bulk liquid hafnium during rapid solidification: a classical molecular dynamics simulation study, In International Scientific Conference “UNITECH 2017” -Gabrovo (pp. 230-235). Bulgaria.
- 18 . Wen D., Deng Y., Liu J., Tian Z., Peng P. 2017. Effect of high pressure on the formation and evolution of clusters during the rapid solidification of zirconium melts, Computational Materials Science, 140: 275-283.
- 19 . Lin D., Wang Y., Shang S., Lu Z., Liu Z., Hui X. 2013. A new many-body potential with the second-moment approximation of tight-binding scheme for Hafnium, Science China: Physics, Mechanics and Astronomy, 56 (11): 2071-2080.
- 20 . Phythian W. J., Stoller R. E., Foreman A. J. E., Calder A. F., Bacon D. J. 1995. A comparison of displacement cascades in copper and iron by molecular dynamics and its application to microstructural evolution, Journal of Nuclear Materials, 223 (3): 245-261.
- 21 . Foreman A. J. E., Phythian W. J., English C. A. 1992. The molecular dynamics simulation of irradiation damage cascades in copper using a many-body potential, Philosophical Magazine A, 66 (5): 671-695.
- 22 . Shim J. H., Lee H. J., Wirth B. D. 2006. Molecular dynamics simulation of primary irradiation defect formation in Fe-10%Cr alloy, Journal of Nuclear Materials, 351 (1-3): 56-64.
- 23 . Bakanova A. A., Dudoladov I. P., Sutulov Y. N. 1969. Electron transitions in Hf, Eu and Yb at high pressures, Fizika Tverdogo Tela, 11: 1881.
- 24 . Ming L., Manghnani M. H., Katahara K. W. 1981. Investigation of  $\alpha \rightarrow \omega$  transformation in the Zr-Hf system to 42 GPa, Journal of Applied Physics, 52 (3): 1332-1335.
- 25 . Xia H., Parthasarathy G., Luo H., Vohra Y. K., Ruoff A. L. 1990. Crystal structures of group IVA metals at ultrahigh pressures, Physical Review B, 42 (10): 6736-6738.
- 26 . Pandey K. K., Gyanchandani J., Somayazulu M., Dey G. K., Surinder Sharma M., Sikka S. K. 2014. Reinvestigation of high pressure polymorphism in Hafnium metal, Journal of Applied Physics, 115: 233513.
- 27 . Smith W., Forester T. R. 1996. DL\_POLY\_2.0: A general-purpose parallel molecular dynamics simulation package, Journal of Molecular Graphics, 14 (3): 136-141.
- 28 . Kittel C. 1986. Introduction to Solid State Physics. New York: John Wiley Sons Inc.
- 29 . Cleri F., Rosato V. 1993. Tight-binding potentials for transition metals and alloys, Physical Review B, 48 (1): 22-33.
- 30 . Celtek M., Sengul S., Domekeli U., Canan C. 2016. Molecular dynamics study of structure and glass forming ability of Zr70Pd30 alloy, The European Physical Journal B, 89 (3): 1-6.
- 31 . Dalgic S. S., Celtek M. 2011. Glass forming ability and crystallization of CuTi intermetallic alloy by molecular dynamics simulation. Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, 13: 1563-1569.
- 32 . Sengul S., Celtek M., Domekeli U. 2017. Molecular dynamics simulations of glass formation and atomic structures in Zr60Cu20Fe20 ternary bulk metallic alloy, Vacuum, 136: 20-27.
- 33 . Celtek M., Sengul S., Domekeli U. 2017. Glass formation and structural properties of Zr50Cu50-xAlx bulk metallic glasses investigated by molecular dynamics simulations, Intermetallics, 84: 62-73.

- 34 . Celtek M., Sengul S. 2018. The characterisation of atomic structure and glass-forming ability of the Zr–Cu–Co metallic glasses studied by molecular dynamics simulations, *Philosophical Magazine*, 98 (9): 783-802.
- 35 . Li J. H., Kong L. T., Liu B. X. 2004. Structural transition and glass-forming ability of the Ni–Hf system studied by molecular dynamics simulation, *Journal of Materials Research*, 19 (12): 3547-3555.
- 36 . Caprion D., Schober H. R. 2003. Computer simulation of liquid and amorphous selenium, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 326: 369-373.
- 37 . Wang L., Peng C., Wang Y., Zhang Y. 2006. Relating nucleation to dynamical and structural heterogeneity in supercooled liquid metal, *Physics Letters A*, 350: 69-74.
- 38 . Honeycutt J. D., Andersen H. C. 1987. Molecular Dynamics Study of Melting and Freezing of Small Lennard- Jones Clusters, *Journal of Physical Chemistry*, 91 (24): 4950-4963.
- 39 . Voronoi G. 1908. New Parametric Applications Concerning the Theory of Quadratic Forms - Second Announcement, *J. Reine Angew. Math.*, 134: 198-287.
- 40 . Kazanc S. 2006. Molecular dynamics study of pressure effect on glass formation and the crystallization in liquid CuNi alloy, *Computational Materials Science*, 38 (2): 405-409
- 41 . Stukowski A. 2010. Visualization and analysis of atomistic simulation data with OVITO-the Open Visualization Tool, *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*, 18 (1): 15012.
- 42 . Finney J. L. 1970. Random packings and the structure of simple liquids I.The geometry of random close packing, *Proc.Roy. Soc. Lond. A*, 319: 479-493.
- 43 . Rein ten Wolde P., Ruiz-Montero M. J., Frenkel D. 1996. Numerical calculation of the rate of crystal nucleation in a Lennard-Jones system at moderate undercooling, *The Journal of Chemical Physics*, 104 (24): 9932-9947.
- 44 . Cape J., Finney J., Woodcock L. V. 1981. An analysis of crystallization by homogeneous nucleation in a 4000-atom soft-sphere model, *The Journal of Chemical Physics*, 75 (5): 2366-2373.
- 45 . Yamamoto R., Doyama M. 1979. The polyhedron and cavity analyses of a structural model of amorphous iron, *Journal of Physics F: Metal Physics*, 9 (4): 617.
- 46 . Tanaka M. 1986. Statistics of Voronoi Polyhedra in Rapidly Quenched Monatomic Liquids I. Changes During Rapid-Quenching Process, *Journal of the Physical Society of Japan*, 55 (9): 3108-3116.
- 47 . Momma K., Izumi F. 2011. VESTA 3 for three-dimensional visualization of crystal, volumetric and morphology data, *Journal of Applied Crystallography*, 44 (6): 1272-1276.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Vibration Dynamics of H+F<sub>2</sub> Reactive Scattering

Ezman KARABULUT<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Bitlis Eren University, Vocational School of Health Services, Bitlis

---

### Abstract

In this paper the vibration distributions of H+F<sub>2</sub> reaction on the ground electronic state, which are important for chemical laser, have been examined. The HF molecule formed by this reaction has been examined depending on the initial and final vibration states in particular collision energies. The results have been obtained using time dependent quantum mechanical Real Wave Packet (RWP) method on Potential Energy Surface (PES), which can be given more realistic values in the strong interaction region. The state to state reaction distributions have been calculated to be able to compare with both experimental results at the collision energy of 0.105 eV and Quasi-Classical Trajectories (QCT) results depended on LEPS potential at the collision energies of 0.494 eV and 0.086 eV. Also in this study, the obtained rate constants have been compared by theoretical and experimental values in the literature and are found to be in good agreement with each other.

**Keywords:** Reaction Dynamics, HF Laser, Reaction Rate Constant, Probability.

---

## H+F<sub>2</sub> Reaktif Saçılmanın Titreşim Dinamikleri

### Öz

Bu çalışmada kimyasal lazerler için önemli olan, taban elektronik durum üzerinde H+F<sub>2</sub> reaksiyonunun titreşim dağılımları incelenmiştir. Reaksiyonla oluşan HF molekülü, belli çarpışma enerjilerinde, başlangıç ve son kuantum durumlarına bağlı olarak incelenmiştir. Sonuçlar, güçlü etkileşme bölgesinde daha gerçekçi değerleri verebilen potansiyel enerji yüzeyi üzerinde zamana bağlı kuantum mekaniksel Reel Dalga Paketi (RWP) kullanılarak elde edildi. Bir durumdan diğerine reaksiyon dağılımları, 0,105 eV luk deneysel sonuçlar ve 0,494 ve 0,086 eV luk Yarı Klasik İz metodu (QCT) sonuçları ile kıyaslayabilmek için hesaplandı. Ayrıca bu çalışmada, elde edilen hız sabitleri literatürde bulunan deneysel ve teorik değerlerle karşılaştırıldı ve birbirleri ile iyi uyumda oldukları belirlendi.

**Anahtar kelimeler:** Reaksiyon Dinamiği, HF Lazerler, Reaksiyon Hız Sabiti, İhtimaliyet.

---

### 1. Introduction

The quantum mechanical methods including to three dimensional the electronic and rovibrotional motions of molecular systems have showed parallel developments together with experimental studies [1]. To get the quantities such as cross sections and rate constants that can be also determined experimentally, it is necessary to detect their electronic energies in all possible configurations of the relevant atoms duration the reaction [2]. But, it is difficult to get exact results for some molecular systems, and it can, thus, cause differences between experimental and theoretical results.

In chemical reactions, especially atom-diatom interactions, the behaviors of unstable structures that occur during the reaction provide important information described by transition state theory. In transition states, the energy transfer through population inversion for specific reactions provides the formation of chemical lasers and natural lasers in the upper atmosphere [3, 4]. For example, on considering HF chemical lasers, the reactions such as F+H<sub>2</sub> → HF+H, H+F<sub>2</sub> → HF+F and F+HF → HF+F are most likely atom-diatom reactions in the production of HF molecule [5, 6]. The H+F<sub>2</sub> → HF+F

---

\* Sorumlu yazar: [ezman.fizik@gmail.com](mailto:ezman.fizik@gmail.com)

Geliş Tarihi: 16/04/2018 Kabul Tarihi: 29/06/2018

reaction investigated in this study is an important reaction for HF<sub>2</sub> and FHF radical systems which is relevant in development of H<sub>2</sub>F<sub>2</sub> lasers. Besides, the reactions involving heavy halogen elements and non-metals like F, Cl and Br which tend to react have been worked as both experimental and theoretical [7,8].

The analysis of experimental results for the nascent molecule has been examined under different energy conditions which are limited at electronically ground state but vibrationally excited state. This process is done by means of the infrared Chemiluminescence emitted from product molecule and declares the ro-vibrational distributions of product molecules, including the subjects of molecular dynamic associated with potential energy surfaces [9]. First experimental study on this reaction has been carried out by Jonathan using Measured Relaxation technique [10]. Later, Polanyi et al. [11] have verified these results using Arrested Relaxation method. Besides, this reaction has also been worked using Chemiluminescence Mapping and Fast Flow techniques [12].

Since title reaction has a rather high exothermic value, it plays an important role on the product quantum states. This study represents to the distributions of the product vibrational quantum state for the specific vibration and collision energies of reagent molecule at total angular momentum J=0 value. The calculations have been done using RWP method and these results have been compared with experimental data obtained by means of Chemiluminescence Mapping and Measured Relaxation techniques that are available in the literature.

The article continues as the follow: In section 2, the relevant theoretical and experimental methods are briefly outlined. In the latter section, the obtained results are compared with previous theoretical and experiment results.

## 2. Experimental and Theoretical Perspective

IR Chemiluminescence systems measure to the light emitted from the molecular structure formed through a chemical reaction under certain initial conditions. The vibration and rotation motions of the nascent molecular structure are tracked by the detector of laser-induced fluorescence spectroscopy and the reaction rate constants are obtained with discharge-flow and flash photolysis techniques [12, 13].

Theoretically, the information about the distributions of the product quantum state is obtained by the wave functions exceeding to the strong interaction region on the PES. In this case, the wave packet is analyzed by means of the final vibration and rotation quantum states on the analysis line which is an asymptotic distance. So, time dependent coefficients are obtained as

$$C_{v_0 j_0 K_0, v j K}^J(t) = \int \varphi_{v j}(r, \theta) \psi_{v_0 j_0 K_0, v j K}^J(R = R_\infty, r, \theta, t) dr d\theta \quad (1)$$

The time-to-energy Fourier Transform of these coefficients gives to the energy dependent amplitudes,  $A_{v_0 j_0 K_0, v j K}^J(E)$ . Thus, scattering matrix elements are written in terms of the energy dependent amplitudes

$$S_{v_0 j_0 K_0, v j K}^J(E) = \frac{a_s^2}{(1 - E_s^2)^{1/2}} \left( \frac{k_f k_i}{\mu_{A-B} \mu_{B-C}} \right)^{1/2} e^{i k_f R_\infty} \frac{2 A_{v_0 j_0 K_0, v j K}^J(E)}{g(-k_i)} \quad (2)$$

Where  $k_i$  and  $k_f$ , respectively, are the components of the wave vector related with reactant and product channels.  $\mu_{AB-C}$  and  $\mu_{A-BC}$  are the reduced masses in the product and reactant channels, respectively.  $a_s$  is the energy scale parameter on the Chebyshev polynomials and  $g(-k_i)$  is the components of the initial wave packets with  $-k_i \hbar$  momentum. Finally, the absolute square of this scattering matrix gives to the reaction probabilities

$$P_{v_0 j_0 K_0 \rightarrow v j K}^J(E) = \left| S_{v_0 j_0 K_0 \rightarrow v j K}^J(E) \right|^2 \quad (3)$$

The sum of over the all product vibration and rotation states of reaction probabilities creates total reaction probabilities.

$$P_{v_0 j_0 K_0}^{JK}(E) = \sum_v \sum_j P_{v_0 j_0 K_0 \rightarrow v j K}^J(E) \quad (4)$$

For any initial quantum state, total reaction cross sections are obtained summing over all possible total angular momentum

$$\sigma_{v_0 j_0 K_0}(E) = \frac{\pi}{(2j_0 + 1)k^2} \sum_J (2J + 1) P_{v_0 j_0 K_0}^{JK}(E) \quad (5)$$

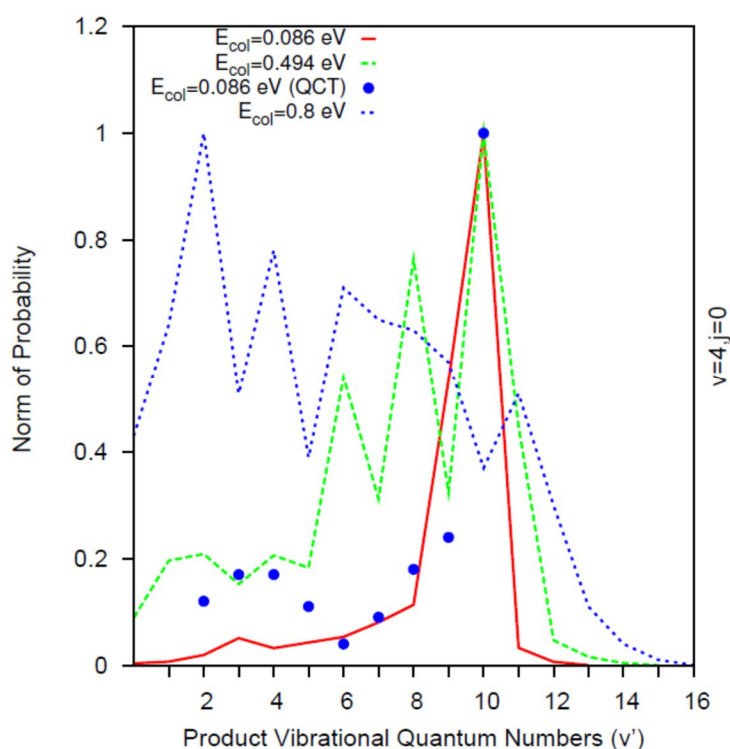
So, reaction rate constants are found as

$$k_{v_0 j_0}(T) = \frac{f}{k_B T} \left( \frac{8}{\pi \mu_{Rk_B T}} \right)^{1/2} \int_0^\infty \sigma_{v_0 j_0}(E) e^{-E/k_B T} E dE \quad (6)$$

Here,  $k_B$  is the Boltzmann constant and  $f$  is electronic degenerate factor [14].

### 3. Results and Comments

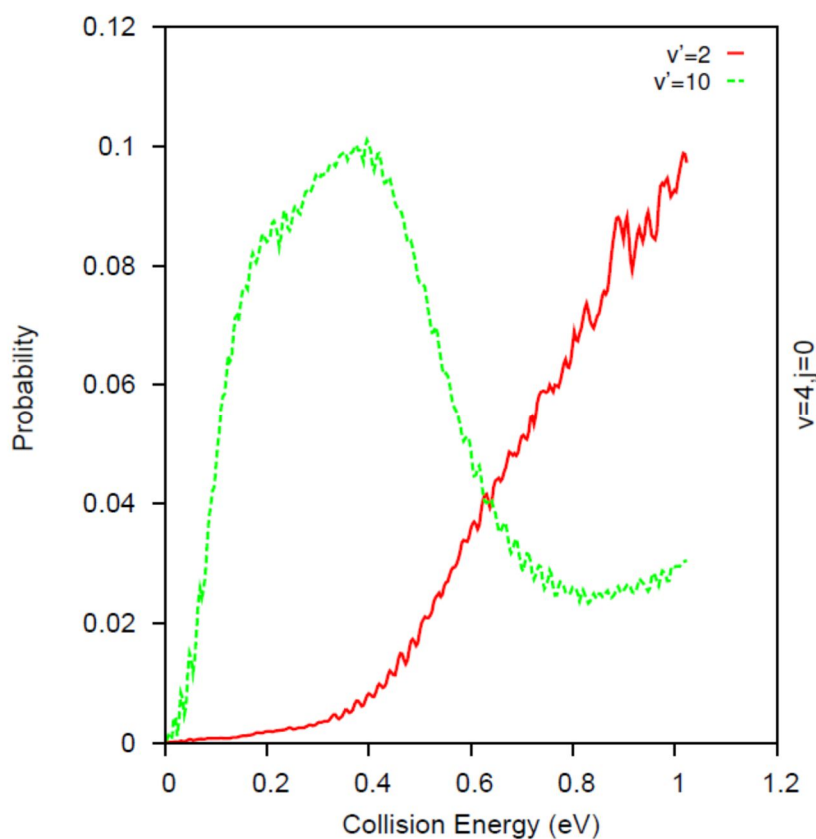
The title reaction has an exothermic value of  $-4.43 \text{ eV}$  and the barrier energy in the reactant channel is  $0.135 \text{ eV}$  with reference to the zero point energy of reactants. Although the PES has a quite high exothermic value, potential energy wells formed by the relevant molecular structures on the reaction path have a shallow surface, which prevents the formation of resonance structures in reaction probabilities. The more information about the PES of title reaction is in detail found in Ref. 22.



**Figure 1.** The norm probabilities of  $\text{H}+\text{F}_2 (v=4, j=0) \rightarrow \text{HF} + \text{F}$  reaction for specific collision energies



Figure 1 displays the reaction probabilities normalized to the maximum, summed over all rotation quantum states of the nascent HF molecule for  $v=4$  and  $j=0$  quantum states of  $F_2$  molecule. These norms, calculated in the particular energies, have been compared with the normalized probabilities calculated using QCT method on the LEPS potential at collision energy  $0.086 \text{ eV}$  by J. C. Polanyi and coworkers [15]. As shown by Figure 1,  $v'=6, 7, 8$  and  $10$  quantum states of the product molecule in the QCT calculations have been seen to be in good agreement with the present results. The similar behaviors have also been exhibited at lower quantum states ( $v'=2, 3$  and  $4$ ). When the higher energy regions are considered, the resonance structures of probabilities for the relevant product quantum state have been increased in good agreement with collision energy. The maximum population in the collision energies of  $0.086$  and  $0.494 \text{ eV}$  have been seen at  $v'=10$  quantum state, but the one in the higher energies have been at  $v'=2$  vibration quantum state. Also, the needed product vibrational quantum numbers have increased with increasing energy.

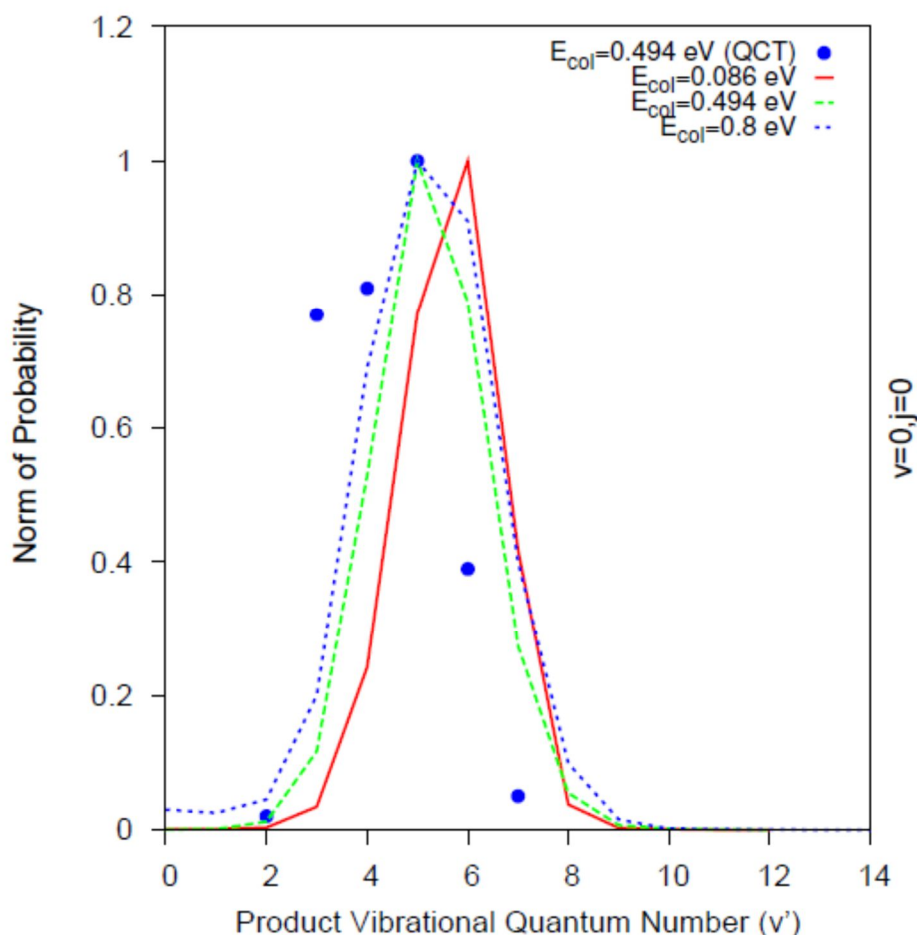


**Figure 2.** The reaction probabilities for the  $v'=2$  and  $10$  quantum values of the product molecule

The dependent of product vibrational quantum numbers on collision energy for the same initial quantum states has been seen in Figure 2 in detail. As shown from Figure 2, the distributions of reaction probabilities up to collision energy of about  $0.6 \text{ eV}$  have shown the maximum probability at  $v'=10$  vibration quantum state while the reactivity in the values which are higher than this energy is stronger at  $v'=2$  quantum state (No other quantum states needed to be showed).

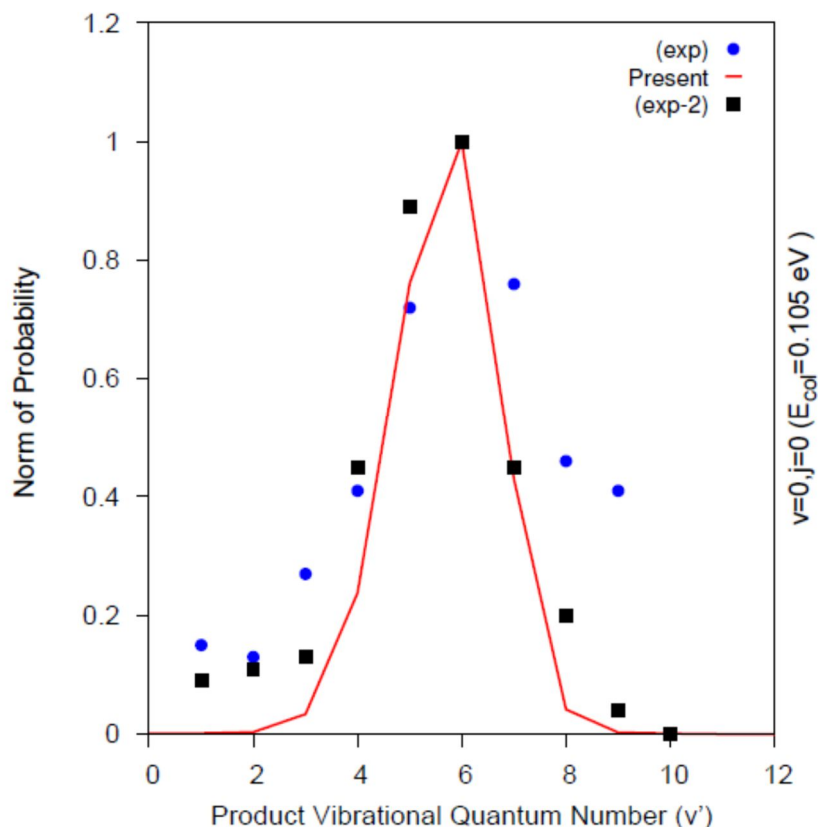
Figure 3 shows the same energy situations as in Figure 1 but  $v=0$  and  $j=0$  quantum state of the reagent molecule. The calculations are compared with Polanyi's [15] results obtained via QCT method. These distributions in the different energies have showed the similar behaviors. When compared to Figure 1, the vibration quantum state of the reagent molecule for this reaction plays an effective role on the reactivity. The results of QCT and RWP methods have a good accordance with maximum population ( $v'=5$ ). But most of the other values have significant deviations. When Figure 3 compared with Figure

1 in the energy range from 0 to 1 eV, the maximum distributions for the  $v=4$  state of the reagent molecule are in  $v'=2$  for high energies and  $v'=10$  values for low energies while the maximums for the  $v=0$  quantum state are in  $v'=5$  value for high energies and  $v'=6$  value for low energies. That is, the reactivity with the increase of vibration quantum number of the reagent molecule spread out a broader product quantum range.



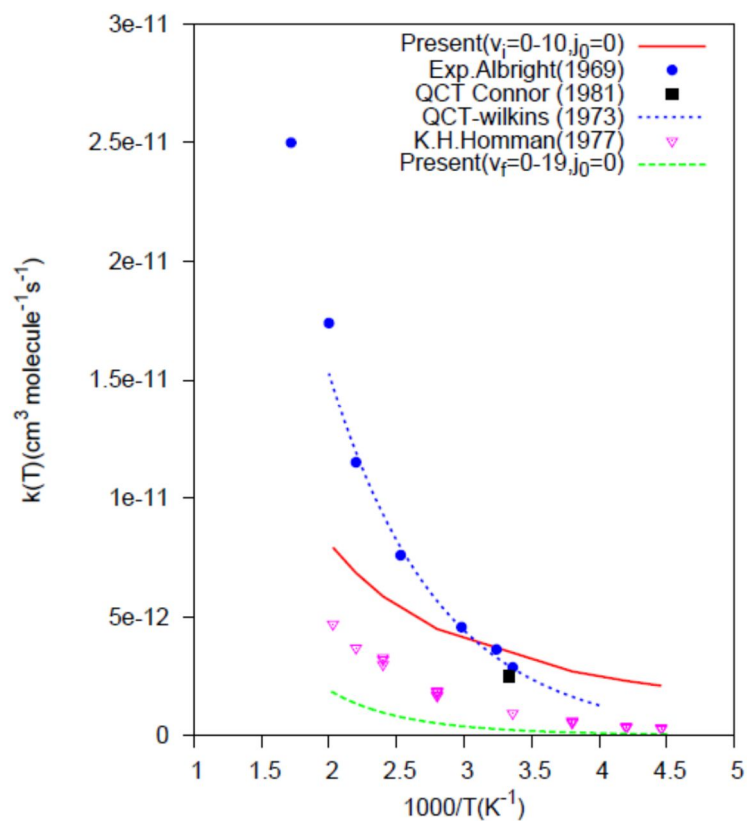
**Figure 3.** The product vibration quantum distributions of  $H+F_2(v=0,j=0) \rightarrow HF(v')+F$  reaction

Figure 4 shows the norm probabilities of the vibration quantum distributions of the product molecule in the collision energy of 0.105 eV for the ground energy state of reagent molecule and compares present results with two experimental results in the literature. The results of Chemiluminescence Mapping Pressured Pulse technique used by D. C. Tardy et al [16] (shown as 'exp' in the figure) and of Measured Relaxation method used by N. Jonathan et al [17] (shown as 'exp-2' in the figure) have been compared with the present calculations. The present results are found to be in a better fit with that of N. Jonathan, in especially low-amplitude regions of the peak. The experimental results examined in this figure can be only calculated for the results that are greater than  $v'=1$  value. In the RWP method, it gives the result for  $v'=0$  value, but since this value has very small scale it has not seen in the graph. As is also seen in Figure 3, the maximum population in the low energies reveals at  $v'=6$  quantum state. These experimental results occur by transformation of emission intensities to population densities via Einstein coefficients. Thus, the causing of the differences between the experimental results is the efficiency of radiation obtained by these coefficients.



**Figure 4.** The product vibration quantum state distributions of  $\text{H}+\text{F}_2(v=0,j=0) \rightarrow \text{HF}(v')+\text{F}$  reaction at collision energy of  $0.105 \text{ eV}$

Figure 5 gives the reaction rate constants on the temperature, ranging from 1 to 1000 K. On the experimental side, the results of R. G. Albright et al [18] and K. H. Homman et al [19] and the results of Connor et al [20] and Wilkins et al [21] used QCT method on the LEPS potential for theoretical perspective have been used for comparison with the present results including to the all vibration quantum states (from 0 to 10) of the reagent molecule (shown with "i" subscript) and the all vibration quantum states (from 0 to 19) of the product molecule (shown "f" subscript). For this reaction, the work some of us [22] has published has shown the  $v=0$  quantum state of the reagent molecule to obtain the reaction rate constants. The results including the only  $v=0$  quantum state are averagely 5 times less than that of Homman while the present results are about a quarter of that of Homman. This case has showed that the initial vibration quantum numbers have an important effect on the reactivity. The present results are averagely in good agreement with that of Homman which is more reliable than other results [23] in the considered temperature range, but are in a reasonable value with the results of Albright and the other theoretical at room temperature. Also the contribution of the vibrational quantum states of the product molecule is more efficient than that of the reactant molecule and gives more consistent results with Homman's results.



**Figure 5.** The reaction rate constants versus  $(1/T)$

#### 4. Conclusions

The behaviors of reaction probabilities and resonance structures occurred in state-to-state probabilities of title reaction have effectively depended on the initial vibrational quantum number rather than the collision energy. This dependence has also been understood from the reaction rate constants. When compared the present results with QCT results, they are much closer to experimental values. This case has showed to be more realistic of the PES used in the present work. State-to-state reaction probabilities for title reaction together with the used PES should be re-calculated by using Coriolis Coupling method to see the effect of total angular momentum.

#### 5. Acknowledgements

The authors are grateful to Prof. G. G. Balint- Kurti for his guidance and to the Scientific and Technological Research Council of Turkey for TR-Grid facilities.

## References

1. Morari C. 2001. *Zeitabhängige Untersuchungen zu reaktiven Streuprozessen*, der Universität Siegen, der Naturwissenschaften, Siegen, 1.
2. Connor J.N.L. 1981. Isotope Effect and Chemical Reaction Dynamics of Muonium in the Gas Phase, *Hyperfine Interactions*, 8 :423-434.
3. Davis S.J., Oakes D.B., Read M.E., Gelb A.H. 2002. Atomic Fluorine Source for Chemical Lasers, Physical Sciences Inc., 20 New England Business Center, Andover, MA, USA 01810-1077.
4. Polanyi J.C. 1987. Some Concepts in Reaction Dynamics, *Science*, 236: 680-690.
5. Bittererova M., Biskupic S., Lischka H., Jakubetz W. 2000. The Barrier Topography of the H+F<sub>2</sub> Potential Energy Surface, *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2: 513-521.
6. Han J., Heaven M.C., Manke II G.C. 2002. Hydrogen Atom Reaction with Molecular Halogens: The Rate Constants for H+F<sub>2</sub> and H+Cl<sub>2</sub> at 298 °K, *Journal of Physical Chemistry A*, 106: 8417-8421.
7. Preub R., Peyerimhoff S.D., Buenker R.J. 1977. Structure and Stability of the HFF and FHF Radicals, *Journal of Molecular Structure*, 40: 117-126.
8. Tanaka T., Takayanagi T. 2010. Quantum Reactive Scattering Calculations of H+F<sub>2</sub> and Mu+F<sub>2</sub> Reaction on a new *ab initio* Potential Energy Surface, *Chemical Physics Letters*, 496: 248-253.
9. Sayos R., Gonzalez M., Aguilar A. 1990. Classical Dynamics of the O(3P)+CS(X1T+)+CO(X1T+)+ S(3P) Reaction on the Ground Triplet Potential Energy Surface, *Chemical Physics*, 141: 401-415.
10. Jonathan N., Melliar-Smith C.M., Slater D.H. 1970. Initial Vibrational Energy Level Populations Resulting from the Reaction H+F<sub>2</sub> as Studied by Infrared Chemiluminescence, *Journal of Chemical Physics*, 53: 4396.
11. Polanyi J.C., Sloan J.J. 1972. Energy Distribution among Reaction Products VII. H+F<sub>2</sub>, *Journal of Chemical Physics* 57:4988.
12. Gimenez X., Lucas J.M., Aguilar A., Lagana A. 1993. Calculated versus Measured Vibrational State Specific Reactivity of H+F<sub>2</sub>, *Journal of Physical Chemistry*, 97: 8578-8582.
13. Jorji M., Honvault P. 2009. State-to-state quantum dynamical study of the N+OH → NO+H, *Journal of Physical Chemistry A*, 113: 2316-2322.
14. Lin S.Y., Guo H. 2004. Quantum Integral Cross-Section and Rate Constant of the O(<sup>1</sup>D) +H<sub>2</sub> →OH+H Reaction on a New Potential Energy Surface, *Chemical Physics Letters*, 385: 193-197.
15. Polanyi J.C, Schreiber J.L., Sloan J.J. 1975. Distribution of Reaction Products (theory). XI. H+F<sub>2</sub>, *Chemical Physics*, 9: 403.
16. Tardy D.C., Feezel L.L. 1988. Chemiluminescence mapping: pressure-pulse results for H(D) + F<sub>2</sub> → HF(DF) + F, *Chemical Physics*, 119: 89.
17. Jonathan N., Okuda S., Timlin D. 1972. Initial vibrational energy distributions determined by infrared chemiluminescence, *Molecular Physics*, 24: 1143.
18. Albright R.G., Dodonov A.F., Lavrovskaya G.K., Morosov I.I., Tal'roze V.L. 1969. Mass-Spectrometric Determination of Rate Constants for H-Atom Reactions with Cl<sub>2</sub> and F<sub>2</sub>, *The Journal of Chemical Physics*, 50: 8.
19. Homman K.H., Schweinfurth H., Warnatz J. 1977. Rate Measurements for the Reaction of H-Atoms with F<sub>2</sub>, *Physical Chemistry*, 81: 724-728.

20. Gimenez X., Lucas J.M., Aguilar A., Lagana A. 1993. Calculated versus measured vibrational state specific reactivity of hydrogen atom + fluorine, *Journal of Physical Chemistry*, 97: 8578-8582.
21. Cohen N., Bott J.F. 1976. *The Aerospace Corporation El Segundo*, Los Angeles Calif. 90245, SAMSO-TR-76-82.
22. Gogtas F., Karabulut E., Tanaka T., Takayanagi T., Tutuk R. 2012. Real wave packet and flux analysis studies of the  $H + F_2 \rightarrow HF + F$  Reaction, *International Journal of Quantum Chemistry*, 112: 2348-2354.
23. Cohen N., Westberg K.R. 1983. Chemical Kinetics Data Sheets for High-Temperature Chemical Reaction, *Journal of Physical Chemistry References Data*, 12: 531.

---

*Derleme Makalesi / Review Article*

---

## Hücre Dışı Polimerik Maddeler

Engin GÜRTEKİN<sup>1\*</sup>, Selman BULAK<sup>1</sup>, Ergin TAŞKAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, ELAZIĞ

---

### Öz

Hücre dışı polimerik maddeler (HPM), mikroorganizmalar tarafından salgılanan, hücre parçalanmasından üretilen yüksek moleküler ağırlıklı kompleks bir polimer karışımından ve atıksudan adsorbe edilen organik maddelerden oluşmaktadır. HPM'nin başlıca bileşenleri (karbonhidratlar, proteinler, humik maddeler ve nükleik asitler) ve karakteristikleri (adsorpsiyon, biyolojik parçalanabilirlik ve hidrofilitik/hidrofobiklik) mikrobiyal agregaların özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. HPM, çok kompleks özelliklere sahip olduğundan biyolojik atıksu arıtma tesislerindeki rollerini tam olarak anlamak için çok çalışma yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada; HPM'nin bileşenleri ve dağılımı, HPM'nin karakteristikleri, HPM üretimine etki eden faktörler, HPM ekstraksiyonu, HPM analiz yöntemleri, mikrobiyal agregalarda HPM'nin rolü başlıkları altında HPM ayrıntılı olarak verilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Hücre Dışı Polimerik Maddeler (HPM), Çamur, Atıksu, Adsorpsiyon, Hidrofilitik/Hidrofobiklik.

---

## Extracellular Polymeric Substances

---

### Abstract

Extracellular polymeric substances (EPS) are a complex high-molecular-weight mixture of polymers excreted by microorganisms, produced from cell lysis and adsorbed organic matter from wastewater. Their characteristics (e.g., adsorption abilities, biodegradability and hydrophilicity/hydrophobicity) and the contents of the main components (e.g., carbohydrates, proteins, humic substances and nucleic acids) in EPS are found to crucially affect the properties of microbial aggregates. However, as EPS are very complex, much work is still required to fully understand their precise roles in the biological treatment process. A review concerning the composition and distribution, characterization, factors influencing production, extraction of EPS, analysis methods of EPS and role of EPS in microbial aggregates is given in this paper.

**Keywords:** Extracellular Polymeric Substances (EPS), Sludge, Wastewater, Adsorption, Hydrophilicity/Hydrophobicity.

---

### 1. Giriş

Hücre dışı polimerik maddeler (HPM); başlıca mikroorganizmaların yüksek moleküler ağırlıklı salgılarından, hücre parçalanması ürünlerinden ve makromoleküllerin hidrolizinden meydana gelmektedir. HPM'nin yapısına atıksuda bulunan bazı organik maddeler de adsorbe olmaktadır [1,2]. HPM'nin başlıca bileşenleri; karbonhidrat, protein, yağ, nükleik asit ve çeşitli heteropolimerlerdir [3]. HPM; bileşenlerinden dolayı, adsorpsiyon, biyolojik parçalanabilirlik ve hidrofilitik/hidrofobik özellikler göstermektedir [4]. HPM'nin temel fonksiyonları; bakteri hücrelerinin agregasyonu, yüzeylere yapışma, flok ve biyofilmlerin oluşumu, hücre-hücre birleşmesi, biyofilmlerin yapısal elemanları, hücreler için koruyucu bariyer ve hücrelerin kurumasını minimize etmek için su tutma, hücre dışı organik bileşenlerin sorpsiyonu, inorganik iyonların sorpsiyonu, enzimatik aktiviteler ve enzimlerle polisakaritlerin etkileşimidir [5].

---

\* Sorumlu yazar: [egurtekin@firat.edu.tr](mailto:egurtekin@firat.edu.tr)

Geliş Tarihi: 12/10/2017 Kabul Tarihi: 18/01/2018

Hücre dışında mevcut olan HPM formları; bağlı HPM (kılıflar, kapsül polimerler, yoğun jeller, gevşek bağlı polimerler ve tutunmuş organik materyaller) ve çözülmüş HPM (çözülmüş makromoleküller, kolloidler ve salgılar) olarak ikiye ayrılabilir [1]. Bağlı HPM, hücrelerle sıkı bir biçimde bağlı iken, çözülmüş HPM hücrelerle zayıf olarak bağlıdır. Genel olarak, bu iki HPM tipi birbirinden santrifüj yardımıyla ayrılabilir. Çözülmüş HPM sıvının üstünde kalırken, bağlı HPM mikrobiyal pelletler oluştururlar. Çözülmüş HPM ve hücreler arasındaki bağ çok zayıf olmasına rağmen, önceki çalışmalar çözülmüş HPM'nin mikrobiyal aktivite ve çamurun yüzeysel karakteristiklerine önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir [6]. Bağlı HPM'nin yapısı genel olarak iki tabakalı olarak gösterilmektedir (Şekil 1) [1]. İç tabaka, belirli bir şekle sahip olan sıkı bağlı HPM (SB-HPM)'den ibarettir ve hücre yüzeyine sıkı ve sabit olarak bağlıdır. Dış tabaka, dağılabilir salgı tabakası biçiminde olan gevşek bağlı HPM (GB-HPM)'den ibarettir. Mikrobiyal agregalarda GB-HPM muhtevası SB-HPM muhtevasından daha az olmakla birlikte, mikrobiyal agregaların karakteristiklerine belirgin etkileri bulunmaktadır [7].

Biyolojik atıksu arıtma sistemlerinde mikroorganizmaların çoğu çamur flokları, biyofilmler ve granüler gibi mikrobiyal agregalar formunda mevcuttur [8]. HPM; saf kültür, aktif çamur, granüler çamur ve biyofilmlerde saptanabilmekte ve çeşitli elektron mikroskopu teknikleri kullanılarak gözlenebilmektedir. HPM; mikrobiyal agregaların özellikleri ve fonksiyonları üzerinde önemli etkileri bulunduğu için, hem biyolojik atıksu arıtımının anlaşılması hem de işletme şartlarının optimize edilerek bu tesislerin iyileştirilmesi bakımından ayrıntılı olarak çalışılması konusunda büyük bir ilgi görmektedir [8].

Bu çalışmada; HPM'nin bileşenleri ve dağılımı, HPM'nin karakteristikleri, HPM üretimine etki eden faktörler, HPM ekstraksiyonu, HPM analiz yöntemleri, mikrobiyal agregalarda HPM'nin rolü başlıkları altında HPM ayrıntılı olarak incelenmiştir.



Şekil 1. HPM yapısı [1]

## 2. Hücre Dışı Polimerik Maddelerin Bileşenleri ve Boyutsal Dağılımı

HPM'nin başlıca bileşenleri karbonhidratlar ve proteinlerdir. Hümik besi maddeleri de HPM'nin anahtar bileşenlerinden biridir ve yaklaşık olarak 20 % oranında bulunmaktadır [9,10]. Ayrıca; yağlar, nükleik asitler, üronik asitler ve bazı inorganik bileşenler de HPM muhtevasında bulunmaktadır [10,11]. HPM bileşenlerinin bulunma oranları, ekstraksiyon yöntemlerine ve çamur yapısına bağlıdır.

Çeşitli mikrobiyal agregalardan ekstrakte edilen HPM'nin muhtevası ve bileşeni heterojendir [5]. Ekstrakte edilen HPM'nin bileşenindeki farklılık; kültür, büyüme fazı, proses parametresi, biyoreaktör tipi, ekstraksiyon yöntemi ve kullanılan analitik yöntemler gibi birçok faktöre bağlıdır [1].

HPM'nin boyutsal dağılımı da heterojendir. HPM; biyofilmin başlıca yapı bileşeni olup, biyofilm derinliğindeki tabakalarda dağılmıştır ve onların miktarı biyofilm derinliği boyunca değişmektedir [12]. HPM bileşenlerinin dağılımları da heterojendir. HPM dağılımı, mikrobiyal agreganın tipine, yapısına ve kökenine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

## 3. Hücre Dışı Polimerik Maddelerin Karakteristikleri

### 3.1. Adsorpsiyon

Mikrobiyal agregalarda HPM'nin protein bileşeninde aromatikler, alifatikler ve karbonhidrat bileşeninde hidrofobik kısımlar gibi metaller ve organik maddelerin adsorpsiyonu için gerekli birçok



içerik bulunmaktadır [13]. Bu, ağır metalin bakteri hücrelerine bağlanması ve salınmasında HPM'nin mevcut rolünü göstermektedir [14,15]. HPM yapısında karboksil, fosforil, sülfidril, fenolik ve hidroksil gibi birçok fonksiyonel anyonik grubun bulunmasından dolayı ağır metallerle kompleks oluşturabilmektedir [16,17]. Karboksil ve hidroksil grupların mevcut sayılarına dayanarak, HPM'nin çok yüksek bir bağlayıcı kapasiteye sahip olduğu görülmektedir [18]. HPM'de bulunan proteinler, karbonhidratlar ve nükleik asitler ağır metallerle kompleks oluşturma kabiliyetine sahiptir [19,20]. HPM ile ağır metaller arasındaki bağlama kabiliyeti ve bağların kuvvetinin güçlü olduğu bilinmektedir ve adsorpsiyon, Langmuir ve Freundlich denklemlerine uymaktadır [20,21]. Ayrıca, çözünmüş HPM bağlı HPM'e göre ağır metallerin adsorpsiyonunda daha fazla etkilidir [22].

$Ca^{+2}$  ve  $Mg^{+2}$  gibi iki değerlikli kanyonlar ve HPM arasındaki bağlayıcılık, mikrobiyal agregasyonunun korunmasındaki temel iç moleküler çekimlerden biridir [23]. HPM, daima negatif yüklüdür ve elektrostatik çekim yoluyla pozitif yüklü organik kirleticileri bağlayabilmektedir [24]. Bunun yanında; proteinler, hümmik besin maddelerinden daha yüksek bağlayıcılık kuvveti ve kabiliyetine sahiptir.

### 3.2. Biyolojik parçanabilirlik

HPM, bakteriler tarafından karbon ve enerji kaynağı olarak da kullanılabilir. Genellikle, HPM'nin başlıca bileşenleri karbonhidratlar ve proteinler olup, biyolojik atıksu arıtma reaktörlerinde bu polimerlerin parçalanması için gerekli enzimler çokça bulunmaktadır. Aktif çamurdaki bakteriler, metabolik aktivite için diğer bakteriler tarafından salgılanan HPM'i kullanabilmektedirler [25]. Park ve Novak [26], çeşitli yöntemler kullanarak çamurdan ekstrakte edilen HPM'nin farklı biyolojik parçalanabilirliğe sahip olduğunu belirtmişlerdir. Örneğin; kanyon değiştirme reçine yöntemi kullanarak ekstrakte edilen HPM aerobik olarak parçalanabilir iken, sülfid yöntemi kullanarak ekstrakte edilen HPM anaerobik olarak parçalanabilir. HPM parçalanmasının bir sonucu olarak üretilen küçük moleküler besin maddeleri, besin yetersizliği durumunda hücre büyümesi için karbon ve enerji kaynağı olarak kullanılabilir.

### 3.3. Hidrofiliklik/hidrofobiklik

Mikrobiyal agregatlarda HPM, birçok yük grubuna (karboksil, sülfidril, fenolik ve hidroksil gruplar) ve apolar gruba (proteinlerde aromatikler, alifatikler ve karbonhidratlarda hidrofobik bölgeler) sahiptir [13]. HPM moleküllerinde bulunan hidrofilik ve hidrofobik gruplardan dolayı, HPM amfoteriktir. Bu iki grubun nispi oranı HPM'nin kompozisyonuna bağlıdır. HPM'nin hidrofiliklik/hidrofobiklikliği, mikrobiyal agregatların hidrofobikliğini ve biyoreaktörlerdeki oluşumunu önemli şekilde etkileyebilmektedir [2].

## 4. Hücre Dışı Polimerik Maddelerin Üretimine Etki Eden Faktörler

### 4.1. Büyüme fazı

HPM üretimi; büyümeye bağlı ya da bağımsız olabilmektedir [27]. Belirli şartlar altında HPM üretimi, mikrobiyal hücrelerden salgılanmanın ve tüketiminin sonucunda gerçekleşmektedir. Hücre büyümesi ve HPM üretimi arasındaki ilişki birçok çalışmada belirtilmiştir. Bununla beraber, literatürde belirtilen sonuçlar arasında az da olsa farklılıklar bulunmaktadır.

### 4.2. Karbon ve azot

HPM üretimi, besin maddesi tipine yani karbon ve azot kaynağına bağlıdır. Besin değerleri, HPM üretimi ve kompozisyonunda önemli bir etkiye sahiptir. Çamurun HPM muhtevası besin maddesi/mikroorganizma (F/M) oranıyla doğru orantılıdır [28]. Çünkü, HPM üretimi mikroorganizmaların büyümesine ve besin maddesi tüketimine bağlıdır.

HPM üretimi, C/N oranı ile de ilişkilidir. C/N oranı, mikrobiyal metabolizma üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğundan HPM üretiminde de önemli bir yere sahiptir. Gerçekte C/N oranı, HPM üretiminde karbon ve azot kaynağına göre daha kritik öneme sahiptir. Literatürde, HPM üretimi için

optimum bir C/N oranı bulunmamaktadır. Bu, karbon, azot kaynaklarının ve mikroorganizmaların farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

#### 4.3. pH

pH, HPM üretimini önemli ölçüde etkilemektedir. Bununla beraber; HPM üretimine pH'ın etkisi, farklı mikroorganizmalar, işletme şartları ve ortam kompozisyonu ile değişmektedir [29]. Genel olarak; HPM üretimi için optimal ortam pH'ı 5 ile 7 arasında değişmektedir. Çeşitli mikroorganizmalar farklı ortamlar için pH 7'de HPM üretme kabiliyetine sahiptirler [30]. HPM üreten mikroorganizmaların çoğu maksimum HPM üretimi için sabit bir pH değerine ihtiyaç duyarlar. Mikroorganizmaların bazıları ise, asidik pH değerlerinde (5.5-6.5) daha fazla HPM üretmektedirler [31]. Ortamın ekstrem pH'ı (2-3 veya 10'dan büyük değerler) HPM biyosentezini etkilemektedir [32]. pH, HPM'nin moleküler ağırlık dağılımını da etkilemektedir. Düşük miktarda nispeten yüksek moleküler ağırlıklı HPM düşük pH değerlerinde elde edilirken, yüksek miktarda nispeten düşük moleküler ağırlıklı HPM daha yüksek pH değerlerinde elde edilmektedir [29].

#### 4.4. Sıcaklık

Sıcaklık, HPM üretimini etkileyen en önemli parametrelerden biridir [5]. Mikroorganizmaların çoğunun aerobik şartlarda 25-30 °C sıcaklık aralığında daha yüksek konsantrasyonda HPM ürettiği belirtilmektedir. Buna zıt olarak, -2 °C ile 42 °C sıcaklık aralığında da HPM üretimi gözlenmiştir [5,33]. Maksimum HPM üretimi için optimum büyüme sıcaklığı, bakteri zincirine ve bakterinin doğal ortam sıcaklığına bağlıdır [5].

#### 4.5. Metal iyonları

HPM, çok değerlikli metallerle iyon köprüleri oluşturarak hücrelerle bağlandıkları için, metal konsantrasyonu HPM muhtevasını da etkileyebilmektedir. Turakhia ve Characklis [34] ile Sheng ve ark. [35],  $Ca^{2+}$  konsantrasyonunun HPM üretimine etkisinin olmadığını belirtmişlerdir. Higgins ve Novak [36], daha yüksek  $Ca^{2+}$  ve  $Mg^{2+}$  konsantrasyonlarında HPM'nin protein bileşeninin arttığını ve daha yüksek  $Na^+$  konsantrasyonlarında ise protein bileşeninin azaldığını bulmuşlardır. Çamura beslenen Fe konsantrasyonunun artmasıyla, HPM karakteristikleri ve bileşenleri de değişebilmektedir [37]. Toksik besi maddelerin konsantrasyonu kritik değer altındayken HPM üretimine etkisi daha az olmaktadır [38]. Ağır metal gibi toksik besi maddelerin varlığında, aktif çamur ve biyofilmlerdeki mikroorganizmalar zorlu çevresel şartlardan kendilerini korumak için daha fazla HPM üretmektedirler [19,39]. Ayrıca, toksik şartlar altında HPM'nin protein bileşenindeki artış diğer bileşenlere göre daha fazladır.

#### 4.6. Aerobik ve anaerobik şartlar

Aerobik ve anaerobik şartlar, HPM üretimini etkileyebilmektedir. HPM muhtevası anaerobik şartlarda azalmaktadır [40]. Aktif çamur floklarının, oksijen konsantrasyonunun sınırlayıcı ve besi maddesinin olmadığı şartlarda parçalanmaya meyilli olduğu belirtilmektedir. Böyle bir parçalanma, HPM üretiminin baskılanması veya HPM hidrolizi ile sonuçlanabilir.

### 5. Hücre Dışı Polimerik Maddelerin Ekstraksiyonu

HPM ekstraksiyonunun etkili olabilmesi için hücre parçalanması minimum olmalı ve HPM yapısı bozulmamalıdır [10]. Ekstraksiyon verimi; bir hücrenin toplam organik maddesinden ekstrakte edilen HPM'nin toplam miktarı veya toplam HPM muhtevasından ekstrakte edilen HPM'nin toplam miktarı olarak tanımlanabilir [1]. HPM ekstraksiyon verimi, kullanılan ekstraksiyon yöntemine göre önemli ölçüde değişiklik göstermektedir.

HPM ekstrakte edildiği zaman hücre parçalanması da gerçekleşmektedir. Bununla beraber, ekstraksiyon sırasında meydana gelen hücre parçalanmasının büyüklüğünü tayin etmek zordur. Bazı çalışmalarda, hücre parçalanmasının göstergesi olarak HPM'nin protein ve nükleik asit muhtevası

kullanılmıştır [41]. Fakat, HPM yapısının büyük miktarda protein ve az miktarda nükleik asit içerdiği ortaya koyulduğundan, her iki makromolekül de doğru bir gösterge değildir. Ayrıca, HPM'de nükleik asit muhtevası genellikle çok düşük olduğundan, HPM ekstraksiyonundan sonra yüksek miktarda nükleik muhtevası belli ölçüde hücre parçalanmasına işaret eder. Adenozin trifosfat ve glikoz-6-fosfat dehidrogenaz gibi hücre içi enzimler hücre için belirlenmesinde kullanılabilirler [10]. Mikroskopik yöntemlerle birlikte hücre sayımı ve canlı/ölü hücre sayımı veya boyama metotları da hücre parçalanmasını değerlendirmede kullanılmaktadır. Bu, hücre duvarının bütünlüğüne bağlıdır ve buradan hücre duvarı dağılımı hücre içi muhtevanın salımını ifade eder. Bununla beraber; bu, hücreden salınan hücre içi maddeleri tayin etmek yerine sadece hücrelerin parçalanıp parçalanmadığını tayin etmede kullanılabilir.

Tipik bir ekstraksiyon işlemindeki adımlar şöyle sıralanabilir [1]: (1) Örnek alma, depolama, yıkama ve homojen hale getirmeden ibaret bir ön arıtım. Bu adım mikrobiyal hücrelerin dağılmasını sağlar. Biyofilm ve mikrobiyal granüllerden HPM ekstraksiyonu için homojen hale getirme işlemi daima gereklidir. (2) Ön arıtım adımından sonra HPM ekstraksiyonu. (3) Analiz için saflaştırma işlemi. Bu adımların içinde ikinci adım önemlidir. HPM bileşenleri, uygun bir ekstraksiyon işlemi kullanılarak ekstrakte edilmelidir. Çözülmüş HPM için, daima santrifüjleme kullanılmaktadır, burada bağlı HPM için ise farklı ekstraksiyon yöntemleri geliştirilmekte ve yeni yöntemler de bulunmaya devam etmektedir [1]. Ekstraksiyon yöntemleri; fiziksel yöntemler, kimyasal yöntemler ve fiziksel ve kimyasal yöntemlerin kombinasyonu olarak sınıflandırılabilir. Fiziksel ekstraksiyon yöntemlerinde; hücrelerden HPM'i ayırmak ve çözümlüde çözmek için ultrason, santrifüjleme ve ısı genellikle kullanılmaktadır. Kimyasal ekstraksiyon yöntemleri; HPM'nin çözünürlüğü hızlandırmak ve HPM ile hücre arasında bağlayıcı kuvvetleri dağıtmak için kimyasal bileşiklerin ilavesini içermektedir. En iyi ekstraksiyon yöntemi, HPM bileşenlerini bir arada tutan kuvvetlerin tipine bağlıdır. HPM yapısında polimerlerin bağlayıcılığında etkili olan kuvvetler; van der Waals kuvvetleri, elektrostatik etkileşim, hidrojen bağları, hidrofobik etkileşim [42] ve bazı durumlarda glikoproteindeki disülfid bağları olarak kovalent bağlar'dır [43]. Etkin kuvvetler, HPM yapısına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle, farklı ekstraksiyon yöntemleri denenmelidir [44]. Genel olarak; fiziksel ekstraksiyon yöntemlerinin ekstraksiyon verimleri kimyasal ekstraksiyon verimlerinden daha azdır.

Çok sayıda yöntem, saf veya karışık kültürlerden HPM'i ekstrakte etmek için geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Katyon değiştirme reçinesi [10], EDTA [45] ve HCHO/NaOH [46] gibi kimyasal yöntemlerin ekstraksiyon verimleri fiziksel yöntemlerden daha yüksektir. Fakat kimyasal ilavesi, ekstraksiyon işleminde ve sonrasındaki HPM analizinde belirli problemler meydana getirmektedir. Alkali işlem, belirli ölçüde hücre parçalanmasına ve makromoleküllerin parçalanmasına neden olabilmektedir. EDTA yöntemi, yüksek ekstraksiyon verimine sahip olup düşük hücre parçalanmasına neden olmaktadır. Bununla beraber; artık EDTA, HPM ekstraksiyonunu bozabilir [47] ve daha sonra Lowry yöntemiyle protein tayininde girişime neden olabilir. EDTA ile ekstraksiyon yönteminde daima diyaliz gereklidir. HCHO/NaOH ekstraksiyon yönteminde HCHO dozajı, HPM karakteristiklerini değiştirip, karbonhidrat tayininde önemli girişimlere neden olmaktadır. Yüksek verim ve düşük hücre parçalanmasından dolayı katyon değiştirme reçinesi yöntemi, HPM ekstraksiyon yönteminde en yaygın şekilde kullanılan ekstraksiyon yöntemi olmuştur.

Bu yöntemlerden hiçbiri mikrobiyal yapıdan bütün HPM'i ekstrakte edememektedir. Katyon değiştirme reçinesi  $Ca^{2+}$  ve  $Mg^{2+}$  bağlı HPM için oldukça yüksek seçicilik özelliğine sahipken, sülfid ekstraksiyon yöntemi Fe bağlı HPM için seçicilik özelliğine sahiptir. Diğer taraftan, alkali ekstraksiyon işleminin bu iki yöntemden daha az spesifik olduğu bulunmuştur. Fakat Al bağlı HPM'i ekstrakte etmek için daha etkilidir [26]. Mikrobiyal yapıdan HPM'nin nicel ekstraksiyonu için ortak bir ekstraksiyon yöntemi bulunmamaktadır. Çamur karakteristikleri dikkate alınarak, her bir durum için farklı bir yöntem seçilmeli ve optimize edilmelidir. Birkaç HPM ekstraksiyon yöntemi karşılaştırılmalı ve en uygun yöntem dikkatli bir şekilde seçilmelidir. Bir kombine ekstraksiyon, farklı HPM kısımlarını ekstrakte etmek için gereklidir ve yüksek ekstraksiyon verimi elde etmek için ekstraksiyonların tekrarlanarak gerçekleştirilmesi daima gereklidir. Hücre parçalanması, birleşik ve tekrarlı ekstraksiyonlarda dikkatli bir şekilde değerlendirilmelidir [8].

## 6. Hücre Dışı Polimerik Maddelerin Analiz Yöntemleri

Klasik kimyasal kolorimetrik analizler, HPM'nin bileşenlerini tayin etmede kullanılabilir [48]. Genel olarak, karbonhidrat muhtevası anthrone yöntem veya fenol-sülfirik asit kullanılarak tayin edilmektedir. HPM'deki karbonhidratın tayini için iki yöntem arasında karşılaştırma yapıldığında, iki yöntemin benzer sonuçlar verdiği, fakat anthrone yönteminin varyasyon katsayısının fenol-sülfirik asit yöntemine göre daha düşük olduğu belirlenmiştir [10]. Protein muhtevası Lowry yöntem, Bradford yöntem veya toplam N muhtevası yöntemi kullanılarak tayin edilmektedir. Lowry yönteminde Bradford yöntemine göre daha fazla ürün kazanımı söz konusudur [10]. Toplam azot muhtevası daha doğru bir yöntemdir, fakat yapılan işlemler kompleksdir. Böylece, Lowry yöntem HPM karakterizasyonu çalışmalarında protein analizinde sıklıkla kullanılmaktadır. Hümik asitlerin fenolik fonksiyonel grupları Lowry çözeltileri ile reaksiyona girdiğinden, uygun düzeltmeler daima gereklidir.

Hümik besi maddeleri çok kompleksdir ve HPM'de bulunan muhtevalarını tayin etmek için birkaç yöntem mevcuttur. Frolund ve ark. [9], protein girişimini engelleyerek hümik besi maddesi muhtevasını tayin etmek için değiştirilmiş Lowry yöntemini önermişlerdir. Üronik asit muhtevası, m-hidroksidifenil sülfirik asit yöntemi kullanılarak ölçülebilmektedir [49]. DNA ve nükleik asit muhtevası; DAPI floresan yöntemi [10], UV absorbans yöntemi [45] veya difenilamin yöntemi [46] kullanılarak ölçülmektedir. UV absorbans yönteminin uygulanması kolaydır, ancak yöntemde proteinler ile girişim söz konusudur. DNA hesaplama çalışmalarında DAPI yöntemi uygundur, ancak işlemler kompleksdir. Bu nedenle, difenilamin yöntemi daha güvenilir ve yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Kompleks bileşenler; HPM şeklini, yapısını, dağılımını ve fonksiyonlarını analiz etmeyi zorlaştırmaktadır. Bununla beraber, analitik kimyadaki gelişmeler ile birlikte HPM karakterizasyonu için yeni enstrümental teknikler ortaya çıkmıştır. Bundan dolayı, HPM'nin yapısal ve fonksiyonel özellikleri ile çevresel durumu hakkında çok fazla bilgi edinilmiştir. Kromatografi, kütle spektrometresi ve onların kombinasyonu HPM bileşenlerinin nitel ve nicel analizinde kullanılabilir [11]. X-ray fotoelektron spektroskopisi [50,51], Fourier dönüşüm kızılötesi spektroskopisi [50,52], 3 boyutlu uyarılma-emisyon matris floresan spektroskopisi [53,54] ve nükleer manyetik rezonans [55,56]. gibi spektroskopi yöntemleri HPM ve mikrobiyal yapıda bulunan k-fonksiyonel grupları ve element kompozisyonunu belirlemek için kullanılabilir. HPM, büyük miktarlarda aromatik yapılar ve floresan karakteristiklere sahip çeşitli fonksiyonel grupları bulunan doymamış yağ zincirleri içermektedir. Hızlı, seçicilik özelliğine sahip ve hassas bir teknik olarak 3 boyutlu uyarılma-emisyon matris floresan spektroskopisi HPM'nin fizikokimyasal özelliklerini belirlemede faydalı bir yöntemdir. Çünkü, floresan karakteristikleri moleküllerdeki yapısal ve fonksiyonel gruplara büyük ölçüde bağlıdır. Yüksek hassasiyet, iyi seçicilik özelliğine sahip olmaları ve çamur numunelerin bozulmamasından dolayı bu spektroskopi yöntemleri HPM'nin fonksiyonel gruplarındaki değişimlerden HPM'deki adsorplanmış kirleticileri karakterize etmeye kadar geniş bir alanda kullanılabilir [50,54,55].

## 7. Mikrobiyal Agregalarda Hücre Dışı Polimerik Maddelerin Rolü

### 7.1. Flokülasyon

HPM, atıksu arıtma sistemlerinin flokülasyon proseslerinde etkin bir faktördür. HPM, mikrobiyal agregaların yapısında ve hücreler arasındaki etkileşimde yer almaktadır. Van der Waals kuvvetleri ve hidrojen bağlarına [23] ilaveten, polimer yoğunluğu [57], HPM ile iyon bağları ve elektrostatik çekimi [58] içeren hücreler arasındaki başlıca moleküler içi etkileşim, mikrobiyal agregaların stabilitesine katkı sağlamaktadır. HPM belli bir büyüklüğe kadar mikrobiyal agregaların stabilitesinde etkilidir. Çamurda daha büyük HPM muhtevası olması daha büyük çamur stabilitesiyle sonuçlanır [57].

Flokülasyonda HPM bileşenlerinin rolü de önemlidir. Protein, karbonhidrat ve nükleik asitler flokülasyonda önemli rol oynamaktadır. Wilen ve ark. [59], protein muhtevasında artış veya hümik besi maddesi muhtevasında azalma ile çamurun flokülasyon kabiliyetinin arttığını ve toplam HPM muhtevasındaki artışla azaldığını bulmuşlardır. Bu sonuçlar, mikrobiyal agregaların flokülasyonuna her bir HPM bileşeninin etkisinin kompleks olduğunu göstermektedir. HPM bileşenlerinin oranlarının mikrobiyal flokülasyonda etkisi daha fazladır [60].

Çok değerlikli katyonlar ile HPM arasındaki iyon bağları etkileşimi de mikrobiyal flokülasyonda önemli rol oynamaktadır [61,62]. Çok değerlikli katyonlar, HPM ile köprü oluşturmakta

ve böylece mikrobiyal agregalarda flokülasyon iyileşmektedir [36,63]. Aktif çamurda tek değerlikli katyonların artışı çamur karakteristiklerini ve flok yapısını bozmaktadır [64]. Aktif çamurda dağılmış hücreler  $Ca^{2+}$  ilavesiyle yeniden floküle olma eğilimi göstermektedir [65]. Aktif çamurun flokülasyon kabiliyetini iyileştirmede çok değerlikli katyonların doğrudan ilavesi faydalı bir yaklaşımdır [66].

## 7.2. Kurutma

HPM, atıksu çamurunun yoğunlaştırılması ve kurutulması proseslerinde anahtar bir faktördür [67]. Yoğunlaştırma ve kurutma proseslerinde su molekülleri ve HPM arasında iki tip bağlayıcı mekanizma bulunmaktadır: elektrostatik çekim ve hidrojen bağları. Elektrostatik bağlar, HPM'nin fonksiyonel grupları ile suyun kalıcı dipolü arasında aktiftir. Hidrojen bağları ise, HPM'nin hidroksil grupları ile su molekülleri arasında aktiftir [68]. HPM, çamur kurutmada hem olumlu hem de olumsuz etkilere sahiptir. HPM muhtevası artınca çamur kurutma kabiliyeti kötüleşmektedir ki muhtemelen HPM tarafından oluşturulan sterik kuvvet hücreler arasındaki teması engellemektedir. Buna ilave olarak; HPM'deki makromoleküller çamur floklarında fazla suyun bulunmasına ve bu floklarda ara su miktarında artışa neden olmaktadır. HPM, flok gözeneklerinden suyun sızmasını engelleyen bir stabil jel de oluşturarak çamurun kurutulma kabiliyetini bozabilmektedir. HPM uzaklaştırıldıktan sonra çamur kurutma kabiliyeti iyileşebilmektedir [68,69].

Bazı çalışmalar ise, HPM muhtevasının artmasıyla çamur kurutma kabiliyetinin iyileştiğini göstermişlerdir [70,71]. Daha yüksek HPM muhtevası durumunda, aktif çamur daha düşük bir kesme hassaslığına ve dağılma derecesine sahip olacağından iyi bir çamur kurutma yeteneğine sahip olacaktır [71]. Ayrıca, HPM'nin farklı bileşenlerinin mikrobiyal agregaların kurutma kabiliyetine değişik etkileri bulunmaktadır. Proteinler, yüksek su tutma kapasitesine sahiptirler. Böylece; HPM'deki indirgenmiş protein oranı, çamur kurutma kabiliyetini iyileştirmektedir [72]. HPM'de artan karbonhidrat muhtevası ise, çamur kurutma kabiliyetini azaltmaktadır [73].

## 7.3. Biyosorpsiyon

HPM'nin biyosorpsiyon kapasitesi protein, karbonhidrat ve yağ muhtevasından kaynaklanmaktadır. HPM, katyonlar ve biyokütle arasında güçlü çekim kuvvetlerine neden olan farklı fonksiyonel gruplara (amino, karboksil, hidroksil ve fosfat v.s.) sahiptirler [74]. HPM yapısında bulunan toplam bağlayıcı kısımlar HPM'nin biyosorpsiyon kapasitesini vermektedir. Biyosorpsiyon; fiziksel adsorpsiyon, iyon değişimi, kompleksleşme ve çökelme gibi birçok mekanizmayı içermektedir [6]. HPM'nin biyosorpsiyon etkinliği; pH, sıcaklık, HPM ile adsorblayan arasındaki etkili temas alanına, temas süresine, iyonik kuvvete ve adsorblayan konsantrasyonuna, adsorblayanın yapısına ve mikroorganizma tipine bağlıdır [22,74].

## 8. Sonuçlar

HPM, biyolojik atıksu arıtma tesislerinde mikrobiyal agregalar için çok önemlidir. Bununla beraber, mikrobiyal agregaların fonksiyonları ve karakteristiklerinde HPM'nin rolü ile ilgili halen çok bilinmeyen bulunmaktadır. HPM muhtevasının yapısını, bileşenlerini ve karakteristiklerini belirlemek HPM'nin rolünü belirlemek açısından yararlı olacaktır. HPM yapısı kompleks olduğundan, HPM üretimini birçok faktör etkilemektedir. Mikrobiyal agregalarda HPM ekstraksiyonu, HPM karakteristiklerini ve HPM'nin rolünü belirlemek için bir temel teşkil etmektedir. Modern analitik tekniklerin gelişimiyle HPM bileşenlerini tespit etmek ise mümkün olacaktır. HPM'deki her bir bileşenin kendine özel bir etkisi bulunduğundan bütüncül etkinin ne olacağını belirlemek zorlaşmaktadır. Bu nedenle, mikrobiyal agregalarda HPM bileşenlerinin rolünün tespit edilmesi için yoğun çalışmalar yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada HPM ayrıntılı olarak incelenerek, bu konuda yapılacak çalışmalara faydalı bir kaynak olması amaçlanmıştır.

## Kaynaklar

1. Nielsen P.H., Jahn A. 1999. Extraction of EPS, in *Microbial extracellular polymeric substances: characterization, structure and function*, Edited by Wingender J, Neu T.R., Flemming H.C. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 49–72.
2. Liu Y., Fang H.H.P. 2003. Influence of extracellular polymeric substances (EPS) on flocculation, settling, and dewatering of activated sludge, *Critical Reviews Environmental Science and Technology*, 33: 237–273.
3. Lazarova V., Manem J. 1995. Biofilm characterization and activity analysis in water and wastewater treatment, *Water Research*, 29: 2227–2245.
4. More T.T., Yadav J.S.S., Yan S., Tyagi R.D., Surampalli R.Y. 2014. Extracellular polymeric substances of bacteria and their potetial environmental applications, *Journal of Environmental Management*, 144: 1-25.
5. Wingender J., Neu T.R., Flemming H.C. 1999. What are bacterial extracellular polymeric substances?, in *Microbial extracellular polymeric substances: characterization structures and function*, Edited by Wingender J, Neu TR, Flemming H.C. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag., 1-18.
6. Sheng G.P., Yu H.Q. 2007. Formation of extracellular polymeric substances from acidogenic sludge in H<sub>2</sub>-producing process, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 74: 208–214.
7. Li X.Y., Yang S.F. 2007. Influence of loosely bound extracellular polymeric substances (EPS) on the flocculation, sedimentation and dewaterability of activated sludge, *Water Research*, 41: 1022–1030.
8. Sheng G.P., Yu H.Q., Li X.Y. 2006. Stability of sludge flocs under shear conditions: Roles of extracellular polymeric substances (EPS), *Biotechnology and Bioengineering*, 93: 1095–1102.
9. Frolund B., Griebe T., Nielsen P.H. 1995. Enzymatic activity in the activated-sludge floc matrix, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 43: 755–761.
10. Frolund B., Palmgren R., Keiding K., Nielsen P.H. 1996. Extraction of extracellular polymers from activated sludge using a cation exchange resin, *Water Research*, 30: 1749–1758.
11. Dignac M.F., Urbain V., Rybacki D., Bruchet A., Snidaro D., Scribe P. 1998. Chemical description of extracellular polymeric substances: implication on activated sludge floc structure, *Water Science and Technology*, 38: 45–53.
12. Zhang X.Q., Bishop P.L. 2003. Biodegradability of biofilm extracellular polymeric substances, *Chemosphere*, 50: 63–69.
13. Flemming, H.C., Leis A. 2002. *Sorption properties of biofilms*, Edited by Flemming H-C, Bitton G, Vol 5, 2958–2967.
14. Guine V., Spadini L., Sarret G., Muris M., Delolme C., Gaudet J.P., Martins J.M.F. 2006. Zinc sorption to three gram-negative bacteria: combined titration, modeling, and EXAFS study, *Environmental Science and Technology*, 40: 1806–1813.
15. Hu Z.Q., Jin J., Abruna H.D., Houston P.L., Hay A.G., Ghiorse W.C., Shuler M.L., Hidalgo G., Lion L.W. 2007. Spatial distributions of copper in microbial biofilms by scanning electrochemical microscopy, *Environmental Science and Technology*, 41, 936–941.
16. Josh R.M., Juwarkar A.A. 2009. In vivo studies to elucidate the role of extracellular polymeric substances from *Azotobacter* in immobilization of heavy metals. *Environmental Science and Technology*, 43: 5884–5889.
17. Ha J., Gelabert A., Spormann A.M., Brown G.E. 2010. Role of extracellular polymeric substances in metal ion complexation on *Shewanella oneidensis*: batch uptake, thermodynamic modeling, ATR-FTIR, and EXAFS study, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 74: 1-15.

18. Guibaud G., Tixier N., Bouju A., Baudu M. 2003. Relation between extracellular polymers composition and its ability to complex Cd, Cu and Pb, *Chemosphere*, 52: 1701-1710.
19. Priester J.H., Olson S.G., Webb S.M., Neu M.P., Hersman L.E., Holden P.A. 2006. Enhanced exopolymer production and chromium stabilization in *Pseudomonas putida* unsaturated biofilms, *Applied and Environmental Microbiology*, 72: 1988-1996.
20. Zhang D., Wang J., Pan X. 2006. Cadmium sorption by EPSs produced by anaerobic sludge under sulfate-reducing conditions, *Journal of Hazardous Materials*, 138: 589-593.
21. Moon S.H., Park C.S., Kim Y.J., Park Y.I. 2006. Biosorption isotherms of Pb (II) and Zn (II) on Pestan, an extracellular polysaccharide, of *Pestalotiopsis* sp. KCTC 8637P, *Process Biochemistry*, 41: 312-316.
22. Comte S., Guibaud G., Baudu M. 2006. Biosorption properties of extracellular polymeric substances (EPS) resulting from activated sludge according to their type: soluble or bound, *Process Biochemistry*, 41, 815-823.
23. Mayer C., Moritz R., Kirschner C., Borchard W., Maibaum R., Wingender J., Flemming H.C., 1999. The role of intermolecular interactions: studies on model systems for bacterial biofilms. *International Journal of Biological Macromolecules*, 26: 3-16.
24. Esparza-Soto M., Westerhoff P. 2003. Biosorption of humic and fulvic acids to live activated sludge biomass, *Water Research*, 37: 2301-2310.
25. Zhang X.Q., Bishop P.L. 2003. Biodegradability of biofilm extracellular polymeric substances, *Chemosphere*, 50: 63-69.
26. Park C., Novak J.T. 2007. Characterization of activated sludge exocellular polymers using several cation-associated extraction methods, *Water Research*, 41: 1679-1688.
27. Barker D.J., Stuckey D.C. 1999. A review of soluble microbial products (SMP) in wastewater treatment systems, *Water Research*, 33: 3063-3082.
28. Jang N, Ren X, Kim G, Ahn C. 2007. Characteristics of soluble microbial products and extracellular polymeric substances in the membrane bioreactor for water reuse, *Desalination*, 202: 90-98.
29. Shu C.H., Lung M.Y. 2004. Effect of pH on the production and molecular weight distribution of exopolysaccharide by *Antrodia camphorata* in batch cultures, *Process Biochemistry*, 39: 931-937.
30. Gandhi H.P., Ray R.M., Patel R.M. 1997. Exopolymer production by *Bacillus* species, *Carbohydrate Polymers*, 34: 323-327.
31. Lee J.W., Yeomans W.G., Allen A.L., Deng F., Gross R.A., Kaplan D.L. 1999. Biosynthesis of novel exopolymers by *Aureobasidium pullulans*, *Applied and Environmental Microbiology*, 65: 5265-5271.
32. Czaczyk K., Myszk K. 2007. Biosynthesis of extracellular polymeric substances (EPS) and its role in microbial biofilm formation. *Polish Journal Environmental Studies*, 16: 799-806.
33. Nichols C.M., Bowman J.P., Guezennec J. 2005. Effects of incubation temperature on growth and production of exopolysaccharides by an antarctic sea ice bacterium grown in batch culture, *Applied and Environmental Microbiology*, 71: 3519-3523.
34. Turakhia M.H., Characklis W.G. 1989. Activity of *Pseudomonas aeruginosa* in biofilms: effect of calcium, *Biotechnology and Bioengineering*, 33: 406-414.
35. Sheng G.P., Yu H.Q., Yue Z.B. 2006. Factors influencing the production of extracellular polymeric substances by *Rhodospseudomonas acidophila*, *International Biodeterioration and Biodegradation*, 58: 89-93.
36. Higgins M.J., Novak J.T. 1997. Characterization of exocellular protein and its role in bioflocculation, *Journal of Environmental Engineering*, 123: 479-485.

37. Li J.Y. 2005. Effects of Fe (III) on floc characteristics of activated sludge. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 80: 313–319.
38. Sheng G.P., Yu H.Q., Yue Z.B. 2005. Production of EPS from *Rhodopseudomonas acidophila* in the presence of toxic substances, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 69: 216–222.
39. Aquino S.F., Stuckey D.C. 2004. Soluble microbial products formation in anaerobic chemostats in the presence of toxic compounds, *Water Research*, 38: 255–266.
40. Nielsen P.H., Frolund B., Keiding K. 1996. Changes in the composition of extracellular polymeric substances in activated sludge during anaerobic storage, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 44: 823–830.
41. Brown M.J., Lester J.N. 1980. Comparison of bacterial extracellular polymer extraction methods, and *Environmental Microbiology*, 40, 107–185.
42. Christensen B.E., Characklis W.G. 1990. *Physical and chemical properties of biofilms*, Edited by Characklis, W.G., Marshall K.C. Wiley, New York, NY, 93–130.
43. Emerson D., Ghiorse W.C. 1993. Role of disulfide bonds in maintaining the structural integrity of the sheath of *Leptothrix discophora* SP-6, *Journal of Bacteriology*, 175: 7819–7827.
44. Salama Y., Chennaoui M., Sylla A., Mountadar M., Rihani M., Assobhei O. 2016. Characterization, structure, and function of extracellular polymeric substances (EPS) of microbial biofilm in biological wastewater treatment systems: a review, *Desalination and Water Treatment*, 57: 16220-16237.
45. Sheng G.P., Yu H.Q., Yu Z. 2005. Extraction of the extracellular polymeric substances from a photosynthetic bacterium *Rhodopseudomonas acidophila*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 67: 125–130.
46. Liu H., Fang H.H.P. 2002. Extraction of extracellular polymeric substances (EPS) of sludges, *Journal Biotechnology*, 95: 249–56.
47. Comte S., Guibaud G., Baudu M. 2006. Relations between extraction protocols for activated sludge extracellular polymeric substances (EPS) and EPS complexation properties. Part I. Comparison of the efficiency of eight EPS extraction methods. *Enzyme Microbiology and Technology*, 38: 237–245.
48. Raunkjaer K., Hvitved-Jacobsen T., Nielsen P.H. 1994. Measurement of pools of protein, carbohydrate and lipid in domestic wastewater. *Water Research*, 28: 251–261.
49. Blumenkrantz N., Asboe-Hansen G. 1973. New method for quantitative determination of uronic acids, *Analytical Biochemistry*, 54: 484–489.
50. Omoike A., Chorover J. 2006. Adsorption to goethite of extracellular polymeric substances from *Bacillus subtilis*, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70: 827–838.
51. Ortega-Morales B.O., Santiago-Garcia J., Chan-Bacab M., Moppert X., Miranda-Tello E., Fardeau M.L., Carrero, J., Bartolo-Perez P., Valadez-Gonzalez A., Guezennec J. 2007. Characterization of extracellular polymers synthesized by tropical intertidal biofilm bacteria, *Journal of Applied Microbiology*, 102: 254–264.
52. Sheng G.P., Yu H.Q. 2006. Relationship between the extracellular polymeric substances and surface characteristics of *Rhodopseudomonas acidophila*, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 72: 126–131.
53. Esparza-Soto M., Westerhoff P. 2001. Fluorescence spectroscopy and molecular weight distribution of extracellular polymers from full-scale activated sludge biomass, *Water Science and Technology*, 43: 87–95.
54. Sheng G.P., Yu H.Q. 2006. Characterization of extracellular polymeric substances of aerobic and anerobic sludge using 3-dimensional excitation and emission matrix fluorescence spectroscopy, *Water Research*, 40: 1233–1239.



55. Manca M.C., Lama L., Improt, R., Esposito E., Gambacorta A., Nicolaus B. 1996. Chemical composition of two exopolysaccharides from *Bacillus thermoantarcticus*, *Applied and Environmental Microbiology* 62: 3265–3269.
56. Lattner D., Flemming H.C., Mayer C. 2003. <sup>13</sup>C-NMR study of the interaction of bacterial alginate with bivalent cations, *International Journal of Biological Macromolecules*, 33: 81–88.
57. Mikkelsen L.H., Nielsen P.H. 2001. Quantification of the bond energy of bacteria attached to activated sludge floc surfaces, *Water Science and Technology*, 43: 67-75.
58. Klausen M.M., Thomsen T.R., Nielsen J.L., Mikkelsen L.H., Nielsen P.H. 2004. Variations in microcolony strength of probe-defined bacteria in activated sludge flocs, *FEMS Microbiology Ecology*, 50: 123-132.
59. Wilen B.M., Jin B., Lant P. 2003. The influence of key chemical constituents in activated sludge on surface and flocculation properties, *Water Research*, 37: 2127–2139.
60. Liao B.Q., Allen D.G., Droppo I.G., Leppard G.G., Liss S.N. 2001. Surface properties of sludge and their role in bioflocculation and settleability, *Water Research*, 35: 339–350.
61. Sobek D.C., Higgins M.J. 2002. Examination of three theories for mechanisms of cation induced bioflocculation, *Water Research*, 36: 527–538.
62. Nguyen T.P., Hankins N.P., Hilal N. 2007. A comparative study of the flocculation behaviour and final properties of synthetic and activated sludge in wastewater treatment, *Desalination*, 204: 277–295.
63. Liu X.M., Sheng G.P., Yu H.Q. 2007. DLVO approach to the flocculability of a photosynthetic H<sub>2</sub>-producing bacterium, *Rhodospseudomonas acidophila*, *Environmental Science and Technology*, 41: 4620–4625.
64. Kara F, Gürakan G.C., Sanin F.D. 2008. Monovalent cations and their influence on activated sludge floc chemistry, structure, and physical characteristics, *Biotechnology and Bioengineering*, 100, 231–239.
65. Zita A. Hermansson M. 1994. Effects of ionic-strength on bacterial adhesion and stability of flocs in a wastewater activated sludge system, *Applied and Environmental Microbiology*, 60: 3041–3048.
66. Higgins M.J., Tom L.A., Sobek D.C. 2004. Case study I: application of the divalent cation bridging theory to improve biofloc properties and industrial activated sludge system performance - direct addition of divalent cations, *Water Environment Research*, 76: 344–352.
67. Houghton J.I., Quarmby J., Stephenson T. 2001. Municipal wastewater sludge dewaterability and the presence of microbial extracellular polymer, *Water Science and Technology*, 44: 373-379.
68. Neyens E., Baeyens J., Dewil R., De heyder B. 2004. Advanced sludge treatment affects extracellular polymeric substances to improve activated sludge dewatering, *Journal of Hazardous Materials*, 106: 83-92.
69. Chen Y., Yang H., Gu G. 2001. Effect of acid and surfactant treatment on activated sludge dewatering and settling, *Water Research*, 35: 2615-2620.
70. Jin B., Wilen B.M., Lant P. 2004. Impacts of morphological, physical and chemical properties of sludge flocs on dewaterability of activated sludge, *Chemical Engineering Journal*, 98. 115-126.
71. Mikkelsen L.H., Keiding K., 2002. Physico-chemical characteristics of full scale sewage sludges with implications to dewatering. *Water Research*, 36: 2451-2462.
72. Sponza D.T. 2002. Extracellular polymer substances and physicochemical properties of flocs in steady- and unsteady-state activated sludge systems, *Process Biochemistry*, 37: 983–998.
73. Çetin S., Erdinçler A. 2004. The role of carbohydrate and protein parts of extracellular polymeric substances on the dewaterability of biological sludges, *Water Science and Technology*, 50: 49-56.

74. Solis M., Solis A., Perez H.I., Manjarrez N., Flores M. 2012. Microbial decolouration of azo dyes: a review, *Process Biochemistry*, 47: 1723-1748.

---

*Derleme Makalesi / Review Article*

---

## **Bitlis İlindeki Kaba Yem Üretim Potansiyelinin Hayvan Varlığına Göre Yeterliliğinin Belirlenmesi**

Emre BIÇAKÇI<sup>1</sup>, Semih AÇIKBAŞ<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Isparta

<sup>2</sup>Siirt Üniversitesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt

---

### **Öz**

Bu çalışmanın amacı; Bitlis ilinin kaba yem potansiyeli ve hayvansal varlığının yem ihtiyacının belirlenmesi ve bu hususta karşılaşılan sorunların giderilmesine yönelik çözümlerin sunulmasıdır. Bu doğrultuda Bitlis ilinin agro-ekolojik özellikleri, kaba yem üretimi ve hayvan varlığı incelenmiştir. Bitlis ili tarım alanları dağılımına göre; toplam arazi varlığı 857.906 hektar(ha), çayır-mera alanı 297.662 ha ve yem bitkileri ekiliş alanı 59.096 ha olup, toplam arazi varlığının % 41' ini oluşturmaktadır. Yem bitkileri ve çayır-mera alanlarından elde edilen toplam kaliteli kaba yem miktarı yaklaşık 315.081 tondur. Bitlis ili toplam hayvansal varlığı ise 61.748 baş büyükbaş ve 718.029 baş küçükbaş oluşturmaktadır. Hayvan sayılarının toplamı 272.297 Büyükbaş Hayvan Birimine (BBHB) denk gelmektedir. Yapılan bu çalışmada, Bitlis ilindeki mevcut hayvan sayısı, kaba yem üretim miktarının belirlenmesi ve kaba yem üretiminin mevcut hayvan potansiyeline yeterli olup olmadığı ortaya konulmaya çalışılmıştır. Yukarıda verilen sayısal veriler değerlendirildiğinde Bitlis ilinde kaliteli kaba yem açığının olduğu yapılan hesaplamalarla ortaya konulmuştur. Kaliteli kaba yem açığının giderilmesi için; yem bitkileri ekim alanları artırılmalı, ekim nöbeti ile yem bitkileri tarımına öncelik verilmelidir. Ayrıca yem bitkilerinin verimlerini artırmaya yönelik ve çayır ve mera alanlarında ıslah çalışmaları yapılması gereklidir.

**Anahtar kelimeler:** Bitlis, Çayır-mera, Ekim Alanı, Hayvan Varlığı, Yem Bitkileri.

---

## **Determination of Roughage Production Potential for Farm Animals in Bitlis Province**

### **Abstract**

The aim of this research is determine Bitlis province's producing power of roughage, the need for animal feed and offer solutions for the problems encountered. Accordingly, agroecological characteristics, roughage production and animal existence of Bitlis province are analyzed. According to the distribution of agricultural areas in Bitlis province; total land is 857.906 hectares, meadow-pasture area is 297.662 hectares and forage plants area is 59.096 hectares, which constitutes 41% of total land. The total amount of roughage obtained from feed crops and meadow-pasture areas is approximately 315.081 tons. The total number of farm animals in Bitlis is 61.748 bovine and 718.029 ovine. The total number of animals corresponds to 272.297 Bovine unit. In this study, number of animals, roughage production, and the feed production sufficiency for the current number of animal were examined. When the data were evaluated, it was determined that there is a lack of quality forage production for the removal of quality roughage deficit; cultivation area of feed crops should be increased, feed crop growing with crop rotation should be given priority. It is also necessary to carry out improvement activities in order to increase the yield of forage crops and in meadow and pasture areas.

**Keywords:** Bitlis, Grasslands, Cultivation Area, Animal potential, Forage Crops.

---

---

\* Sorumlu yazar: [semihacikbas@siirt.edu.tr](mailto:semihacikbas@siirt.edu.tr)

Geliş Tarihi: 10/12/2017 Kabul Tarihi: 19/02/2018

## 1. Giriş

Ülke hayvancılığımızın geliştirilmesinde çözülmesi gereken en önemli sorunlardan biri kaliteli, ucuz ve bol kaba yem ihtiyacının düzenli karşılanmasıdır [1]. Yem bitkileri, çayır ve mera (YBÇM) tarımı hayvanların ihtiyacı olan yemi en ucuz ve bol miktarda sağlayan kaynaktır. Hayvan beslemede çeşitli endüstri artıkları, küspeler, posalar ve bazı tahıl taneleri kullanılsa da, bunların miktarı YBÇM tarımından sağlanan yeme göre oldukça düşük seviyelerdedir. Yem bitkileri, çayır ve mera tarımında yüksek verim alındığı gibi, üretim de ucuza mal olmaktadır. Bu nedenle, hayvancılığı ileri gitmiş ülkelerde hayvancılık esas olarak YBÇM tarımına dayalı olarak yürütülmektedir. Özellikle ABD, Kanada, Arjantin ve Avustralya gibi geniş doğal veya kültür meralarına sahip ülkelerde çok ucuza hayvansal üretim yapılmakta olup, ihraç edilebilecek miktarda yem üretilmektedir [2]. Türkiye’de çayır mera alanları tarım alanlarının büyük bir kısmını içermektedir ve çayır mera alanları 14.6 milyon hektar ile toplam ülke alanının %18.7’lik bir kısmını oluşturmaktadır [3].

Kuru ot, yeşil yemler ve silo yemleri gibi kaba yemlerin maliyetlerinin düşük olması hayvancılık işletmelerinin karlılığını artıran önemli bir faktördür [4]. Hayvansal üretim maliyetlerinin % 70’ini yem girdilerinin oluşturması, ucuz yem kaynakları kullanımının karlılığa etkisini açıklamaya yeterlidir [5]. Bu nedenle, hayvancılık işletmelerinin kaliteli kaba yem gereksinimini karşılamak için çayır-meraların ıslahı, yem bitkisi üretim alanlarının artırılması, ucuz ve alternatif diğer kaba yem kaynaklarının hayvansal üretime kazandırılması ve kaliteli kaba yem üretim tekniklerinin üreticilere aktarılması gerekmektedir [5;6].

Hayvan beslemede kaliteli kaba yemler, ucuz bir kaynak olmasının yanı sıra, geniş getiren hayvanların rumen mikro flora ve faunasının gelişimi için gerekli protein, yağ ve selülozu içermesi, mineral ve vitaminlerce zengin olması, hayvanların performansını iyileştirmesi, beslemeye bağlı pek çok metabolik hastalığın önlenmesi ve yüksek kalitede hayvansal ürün sağlanması bakımından da önemlidir [7]. Yem bitkileri tarımı, çayır ve meraların üzerindeki aşırı otlatma baskısını hafifletecek, tahıl-nadas sistemlerinde münavebeye girerek nadas alanlarının daralmasına neden olacak ve sonuçta ülkemizdeki erozyon miktarını da azaltacaktır [6]. Tüm dünyada YBÇM tarımının bu değerli özelliklerinin bilinmesine karşılık, Yurdumuzda hayvan beslenmesi, geniş ölçüde verim güçlerini yitirmiş olan doğal çayır ve meralara, anızlara ve tahıl samanına dayanmaktadır [2]. Türkiye’de son yıllarda Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığının desteklemeleri ile yem bitkileri ekimi, üretimi ve suca zengin kaba yemlerden silaj yapımı önemli düzeyde artmıştır [8]. Buna ek olarak hayvancılığın çok olduğu Doğu Anadolu Bölgesi’nde yapılan desteklemelerin yem bitkileri alanında artarak ve çeşitlendirilerek devam ettirilmesi gereklidir [9].

Doğu Anadolu Bölgesi karasal iklim kuşağında olup, % 53.4’ü çayır ve meralardan oluşmaktadır. Ancak bu alanlardan ve ekilen yem bitkilerinden elde edilen kaba yem hayvan varlığının ihtiyacını karşılayamamaktadır. Türkiye’de ekilen yonca ve korunganın % 44.5’i, hayvan varlığının yaklaşık % 30’u Doğu Anadolu Bölgesinde bulunmaktadır [2].

Bitlis iline yakın coğrafi konumda bulunan Van ve Siirt illerinde kaba yem potansiyelinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalarda da kaliteli kaba yem açığı olduğu görülmektedir. Van ilinin kaba yem açığı % 36 düzeyindedir. Siirt ilinde ise hayvan varlığının sadece % 41’ine yetecek kaba yem mevcut olduğu görülmüştür [10;11].

Bitlis, önemli çayır-mera alanlarına sahip olmasına karşın, hayvansal üretim noktasında yeterli olduğu söylenemez. Ülkemizin birçok bölgesinde olduğu gibi Bitlis’te de çayır ve meraların bilinçsiz kullanımı, bu arazilerin verim potansiyelini düşürmekte ve oldukça yıpratmakta olup ucuz yem kaynaklarının verimsiz kullanılmasına neden olmaktadır. Ülkemiz yem bitkisi tarımında karşılaşılan başlıca problemler; mono kültür tarım, çiftçi eğitim ve yayım hizmetlerinin yetersizliği, üreticilerle arzu edilen seviyede iletişim kurulamayı ve çiftçilerin büyük bir bölümü tarafından geleneksel tarım tekniklerinin kullanımına devam edilmesidir [12]. Hayvanlarda görülen verim düşüklüğünün nedenlerinden biri olan ve bunun sonucunda insanlarımızın yeterli düzeyde hayvansal proteinle beslenememesi ile sonuçlanan kaliteli kaba yem yetersizliği, ülke tarımımızda hayvancılığımıza kaliteli yem sağlayan sektörlerinin sorunlarından kaynaklanmaktadır [13;14].

Bitlis ilinin coğrafi konumu gereği büyük bir bölümünün dağlık oluşu, iklim şartlarının karasal iklimi olması, meralarının verimlerinin istenilen düzeyde olmayışı ve bulunduğu bölge itibarıyla pazarlama, ticaret, bakım, yetiştirme, besleme vb. gibi birçok faktör hayvansal üretimi olumsuz yönde etkilemektedir. Yeterli oranda kaliteli kaba yem ile hayvanların beslenememesi de en önemli sorunların

başında gelmektedir. Bölgede yerli ırkların fazlalığı ve kültür ırklarının azlığı, eğitim seviyesinin düşük olması, bilinçsiz şekilde meraların kullanılması da hayvansal ürün elde etmede zorlukları artırmaktadır. Bu bilgilerin ışığında Bitlis ilindeki mevcut hayvan sayısı, kaba yem potansiyeli, çayır mera ve yem bitkilerinin mevcut durumu, kaliteli kaba yem durumunun yeterliliğinin belirlenmesi, sorunları ve çözüm önerileri hakkında durum analizi yapılmıştır.

## 2. Bitlis İlinin Agro-Ekolojik Özellikleri ve Arazi Varlığı

Bitlis, Doğu Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Fırat ve Yukarı Murat bölümlerinin sınırı üzerinde bir ildir. Doğuda Van Gölü ve Van ili, güneyde Siirt, batıda Muş, kuzeyde de Ağrı illeriyle çevrilmiştir. Yüzölçümü 6707 kilometrekaredir.

Bitlis ili Doğu Anadolu'nun en dağlık kısımlarından birini teşkil eder. Bitlis ilinde karasal iklim hâkimdir. Kışlar soğuk ve uzun, yazlar kısa ve sıcaktır. Önemli akarsuyu yoktur. Yalnız çevredeki dağlardan çıkıp Van Gölü'ne dökülen birçok ufak dereler vardır. Ormanlık alanlar oldukça fazla yer tutar. Bitlis, bu bakımdan Doğu Anadolu'nun birçok illerinden ileri bir durumdadır. Bütün yüzölçümünün % 11'i ormanlıktır. Tarıma elverişli topraklar bütün il yüzölçümünün % 7'si kadardır. En çok buğday ekilir. Geleneğe bağlı olarak darı ekimi de gelişmiştir. Bitlis ilinde en fazla karaman tipi koyun ve farklı ırklardan sığır yetiştirilir. Arıcılık da oldukça ileri seviyededir.

Bitlis ilinde 2016 yılı verilerine göre [15], toplam arazi varlığı 857.906 ha olup, 297.662 ha alanı çayır-mera, 261.264 ha alanı Göl, 164.756 ha alanı ormanlık ve 134.224 ha alan da tarım arazisini oluşturmaktadır. Toplam arazi varlığı içinde en fazla alanı % 34.7 ile çayır-mera alanları kaplamaktadır. Mevcut arazi varlığının % 15.6'lık kısmında tarım yapılabilmektedir. Bitlis ilinin toplam arazi varlığı ve dağılımı Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Bitlis İlinin Toplam Arazi Varlığının ve Dağılımı [16]

Toplam Arazi Varlığının Dağılımı	
Tarım alanı	134.224 ha
Çayır-Mera alanı	297.662 ha
Orman alanı	164.756 ha
Göl alanı	261.264 ha
<b>Toplam</b>	<b>857.906 ha</b>

Toplam tarım arazilerinin dağılımına göre, en fazla alanı % 82.7'lik oranıyla tarla alanları oluşturmaktadır. Sırasıyla % 10.9'u nadas alanı (14.646 ha), % 4.1'i meyve alanı (5.490 ha), % 2.2'sini de sebze alanı (3.010 ha) oluşturmaktadır. Bitlis ilinin ekilebilir tarım alanlarının dağılımı Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Bitlis İli Tarım Alanlarının Dağılımı [16]

Tarım Alanlarının Dağılımı	
Tarla alanı	111.078 ha
Meyve alanı	5.490 ha
Sebze alanı	3.010 ha
Nadas alanı	14.646 ha
<b>Toplam</b>	<b>134.224</b>

### 3. Bitlis İlindeki Büyükbaş ve Küçükbaş Hayvan Varlığı

Bitlis ilindeki büyükbaş hayvan sayısı Tablo 3’de verilmiştir. Tablo 3 incelendiğinde; 53.410 baş kültür, melez ve yerli sığır olduğunu ve 8.338 baş da Manda bulunmaktadır. İldeki büyükbaş hayvanların % 60.4’ü düşük verimli olan ırklardan oluşmaktadır.

**Tablo 3.** Bitlis İlindeki Büyükbaş Hayvan Sayısı [16]

Bitlis İlindeki Büyükbaş Hayvan Sayısı (Baş)	
Sığır (kültür)	16.107
Manda	8.338
Sığır (melez)	25.832
Sığır (yerli)	11.466
<b>Toplam</b>	<b>61.748</b>

Bitlis ili küçükbaş hayvan sayısı Tablo 4’de verilmiştir. Tablo 4 incelendiğinde, Bitlis de 430.331 baş koyun ve 287.698 baş de keçi olduğu görülmektedir. Bitlis de toplam 61.748 adet büyükbaş ve 718.029 adet küçükbaş vardır. Hayvan sayılarını tek bir sayıya dönüştürüp hesaplayabilmek ve otlatma kapasitelerinin belirlenebilmesi için Büyükbaş Hayvan Birimi (BBHB) kullanılmaktadır. Büyükbaş Hayvan Birimi; hayvan sayısının, bir büyükbaş hayvan birimi olan 500 kg canlı ağırlığına çevrilme şeklini ifade eder. Meraları değerlendiren değişik ırk ve cinslere ait hayvanların sayısını belirlemede yaşanan sıkıntıları ortadan kaldırmak için uluslararası kullanılan BBHB’ne çevirme katsayıların kullanılması hesaplamalarda kolaylıklar sağlamaktadır [17]. Bitlis ilindeki toplam 61.748 baş büyükbaş ve 718.029 baş küçükbaş BBHB’ne çevrildiğinde 272.297 Büyükbaş Hayvan Birimine denk gelmektedir.

**Tablo 4.** Bitlis İlindeki Küçükbaş Hayvan Sayısı [16]

Bitlis İlindeki Küçükbaş Hayvan Sayısı	Baş
Koyun	430.331
Keçi	287.698
<b>Toplam</b>	<b>718.029</b>

### 4. Bitlis İlindeki Kaba Yem Üretim Potansiyeli

Bitlis ilindeki kaliteli kaba yem kaynakları çayır-mera alanlarından ve tarla tarımı içerisinde yer alan yonca, korunga, silajlık mısır ve diğer yem bitkilerinden elde edilmektedir. Yem bitkilerinden ve çayır-mera alanlarının dağılımı, elde edilen kaba yem miktarı ve dekara verimini gösteren sayılar Tablo 5’de verilmiştir. Tablo 5 incelendiğinde çayır-mera alanlarının 2.976.620 dekar(da) olduğu ve bu alanlardan yaklaşık 208.363 ton kaliteli kaba yem elde edildiği düşünülmektedir. Kaliteli yem kaynağı olarak en fazla elde yem bitkisi olan yoncadan 461.315 da alandan yaklaşık 76.117 ton ürün elde edilmektedir. Korungadan 125.880 da alandan yaklaşık 13.595 ton ve mısır silajından 3.760 da alandan yaklaşık 17.006 ton kaliteli kaba yem elde edilmektedir. Kaliteli kaba yem kaynaklarından 3.567.575 da alandan toplam 315.081 ton ürün elde edilmektedir.

**Tablo 5.** Kaba Yem Kaynakları, Arazi Varlığı ve Üretim Miktarı [16]

Kaba Yem Kaynakları, Arazi Varlığı ve Üretim Miktarı			
Ürün Adı	Kaba Yem Kaynağı Alanı (da)	Üretim (ton)	Verim (kg/da)
Çayır ve Meralar (Kuru ot)	2.976.620	208.363	70
Mısır silajı	3.760	17.006	4.523
Yonca (Kuru ot)	461.315	76.117	165
Korunga (Kuru ot)	125.880	13.595	108
<b>Toplam</b>	<b>3.567.575</b>	<b>315.081</b>	

## 5. Sonuç

Bitlis ilinde BBHB cinsinden değeri 272.297 adet olup, BBHB için günlük 12.5 kg kuru ot ihtiyacı hesabıyla  $12.5 \times 272.297 = 3.403$  ton günlük kaliteli kaba yem ihtiyacı vardır. Buna bağlı olarak yıllık kaliteli kaba yem hesabı olarak  $3.403 \text{ ton} \times 365 = 1.242.355$  tondur. Bu ihtiyacın yalnızca 109.718 tonu ekilen yem bitkilerinden karşılanmaktadır. Çayır-Mera alanlarından yaklaşık olarak ortalama 70 kg/da kuru ot elde edildiği düşünülmektedir. Bu hesaba göre çayır meralardan  $2.976.620 \text{ da} \times 70 \text{ kg} = 208.363$  ton kaba yem elde edilmekte olup; bu değer yem bitkileri tarımı ile üretilen 109.718 ton ile toplandığında Bitlis ilinde elde edilen yıllık toplam kaliteli kaba yem miktarı 315.081 ton olduğu görülmektedir. Büyükbaş hayvan birimine göre yıllık toplam kaliteli kaba yem ihtiyacından (1.242.355 ton) üretilen toplam kaba yem miktarı çıkarıldığında kaliteli kaba yem açığının 927.274 ton olduğu görülmektedir. Yem açığının bir kısmı saman, tarla atıkları, otlatılan nadas alanları, kabuk, kavuzlar, kes vb. gibi kalitesiz kaba yemler ile kesif yem, arpa ve buğdaydan oluşan karışımlarla yem açığı giderilmeye çalışılmaktadır.

Kaliteli kaba yem açığının giderilmesi için nadas alanlarına ve meyve bahçelerinin altına tek yıllık yem bitkilerinin ekilmesi, çayır-mera alanlarının ıslah edilmesi, çayır-mera alanlarında amenajman ilkelerine uyulması, yem bitkileri ekiminin artırılması için üreticilerin teşvik edilmesi ve eğitilmesi adına etkinliklerin yapılması, yem bitkilerinde sertifikalı tohumluk kullanılmasına dikkat edilmeli, yem bitkileri ekimine ve alet-ekipman için devlet desteklerinin artırılması ve tarla tarımı içerisindeki yem bitkileri ekim nöbeti ile ekim oranının artırılması gibi önlemler alınması büyük önem arz etmektedir.

## Kaynaklar

1. Alçıçek A., Kiliç A., Ayhan V., Özdoğan M. 2010. Türkiye’de Kaba Yem Üretimi ve Sorunları, Türkiye Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi, Cilt:2, pp1071-1080, 11-15 Ocak 2010, Ankara.
2. Açıkgöz E., Hatipoğlu R., Altınok S., Sancak C., Tan A., Uraz D. 2005. Yem Bitkileri Üretimi ve Sorunlar, 1. Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi, pp503-518, 3-7 Ocak 2005, Ankara.
3. TÜİK, 2015. Bitkisel Üretim İstatistikleri, <https://biruni.tuik.gov.tr/bitkiselapp/bitkisel.zul>
4. Bilgen H., Alçıçek A., Sungur N., Eichhorn H., Walz O. P. 1996. Ege Bölgesi Koşullarında Bazı Silajlık Kaba Yem Bitkilerinin Hasat Teknikleri ve Yem Değeri Üzerine Araştırmalar. Hayvancılık'96 Ulusal Kongresi, Cilt 1, 781-789.
5. Serin Y., Tan M., 2001. Yem Bitkileri Kültürüne Giriş. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 206, 217s., Erzurum.
6. Yolcu H., Tan M. 2008. Ülkemiz Yem Bitkileri Tarımına Genel Bir Bakış. Tarım Bilimleri Dergisi, 14(3): 303-312.
7. Alçıçek A., Karaayvaz K. 2003. Sığır Besisinde Mısır Silajı Kullanımı. Animalia 20 (3): 18-76.
8. Eker, M. M. 2006. Türk Tarımının Dünü Bugünü ve Geleceği Hakkında Genel Değerlendirme, Tarım ve Köyşleri Bakanı 2007 Yılı Mali Bütçe Konuşması Metni.
9. Şahin K., Yılmaz İ. H., 2009. The Effects of Subsidizing Forage Production on Animal Production in Van, Turkey. Journal of Animal and Veterinary Advances, 8(3): 492-495.
10. Turan N., Altuner F. 2014. Van İlinde Kaba Yem Üretim Potansiyeli, Sorunlar ve Çözüm Önerileri. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi 1 (1): 91-97.
11. Turan N., Özyazıcı M. A., Yalçın Tantekin G. 2015. Siirt İlinde Çayır Mera Alanlarından ve Yem Bitkilerinden Elde Edilen Kaba Yem Üretim Potansiyeli. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi 2 (1) : 69-75.
12. Balabanlı C., Bıçakçı E. 2016. Yozgat Yöresinde Kaba Yem Üretim Potansiyeli Ve Hayvansal Üretim Açısından Önemi, 1. Uluslararası Bozok Sempozyumu, pp97-102. 5-7 Mayıs 2016, Yozgat.
13. Avcıoğlu R., Soya H., Açıkgöz E., Tan A. 2000. Yem bitkileri Üretimi, Türkiye Ziraat Mühendisliği V. Teknik Kongresi, 1. Cilt, pp567 585. 17-21 Ocak 2000, Ankara.
14. Alçıçek A. 2001. Süt İneklerinin Yemlenmesinde Yeni Teknikler. Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, No: 100.
15. Web-1: <http://www.nkfu.com/bitlis-ili-cografik-ozellikleri-hakkinda-bilgi/>, consulted 10 october 2017
16. Bitlis İl Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü, 2017
17. Gökkuş A., Koç A., Çomaklı B. 1995. Çayır-Mera Uygulama Kılavuzu. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 142: 49-50.



# BEU FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

## YAZIM KURALLARI

### İLK SUNUŞ FORMATI

Makaleler elektronik ortamda Word dosyası olarak sunulmalıdır. Makale, A4 kâğıda, 11 punto büyüklüğündeki Times New Roman fontuyla, tüm kenarlardan 2,5 cm boşluk bırakılarak, tek satır aralıklı olarak yazılmalıdır. Makaleler 20 sayfayı geçmeyecek şekilde yazılmalı ve online olarak <http://dergipark.gov.tr/bitlisfen> adresinden gönderilmelidir. Kör hakemlik uygulamasından dolayı makale ana dosyasında yazar bilgileri verilmemelidir. Yazar bilgileri ayrı bir dosya yüklenerek verilmelidir. Bir sayıda aynı yazara ait en fazla 2 yayın bulunabilir. **Gönderiler, araştırma ve yayın etiğine uygun olmak zorundadır.** Makaleler aşağıda verilen düzene ve kurallara göre yazılmalıdır.

Makalenin ana bölümleri Giriş, Materyal ve Metot, Bulgular ve Tartışma, Sonuç ve Kaynaklardan oluşur.

**Benzerlik Oranı:** Gönderilen makalelerin benzerlik oranı %25'i geçmemelidir. Her bir benzerlik oranı ise **%5'i** geçmemelidir.

**Makale Dili:** Türkçe veya İngilizce'dir.

**Başlık:** İçeriğe uygun, kısa ve anlaşılır olmalıdır. Türkçe ve İngilizce başlıklar Times New Roman, 14 punto, kalın (**bold**), ilk harfleri büyük ve ortalanarak yazılmalıdır.

**Yazar isimleri ve adresleri:** Başlığın altındaki yazar isimleri kısaltmasız, ilk harf büyük ve soyadı büyük harflerle, 12 punto, ortalı olarak yazılmalıdır. Yazar isimlerinden sonra virgül ve adres belirtmek için üst simge olarak rakam kullanılmalıdır (1, 2, 3, gibi). Sorumlu yazar isminde mutlaka üst simge yıldız sembolü olmalıdır

(\*). Yazarların tam adresleri isimlerinin hemen alt kısmına küçük harflerle (İlk harfler büyük), ortalı, italik ve 10 punto yazılmalı, sorumlu yazarın e-mail adresi ilk sayfanın sol alt köşesinde (\*) sembolü ile belirtilmelidir.

**Özet ve Anahtar kelimeler (Summary ve Keywords):** Makalede Türkçe ve İngilizce öz olmalı ve makale özü en az 75, en fazla 250 sözcük içerecek şekilde 10 punto olarak yazılmalıdır. Her iki özün hemen altında en az 3, en fazla 6 sözcükten oluşan Anahtar Kelimeler (Keywords) 10 punto olarak yazılmalıdır.

**Ana Metin:** Makaledeki ana başlıklar ve varsa alt başlıklar anlaşılır ve numaralı olmalıdır. Tüm ana metin başlıkları sola yanaşık, İlk harfleri büyük diğerleri küçük harflerle, 11 punto ve kalın karakter olmalıdır. Alt başlıklar 11 punto yazılmalıdır. Metin; iki yana yaslı, paragraflar arası satır boşluğu kullanılmamalı, alt başlıklardan hemen sonraki ilk paragrafta girinti olmamalıdır.

**Giriş:** Konu hakkında kısa bir literatür bilgisi vermeli, sonunda çalışmanın amacı kısaca belirtilmelidir.

**Materyal ve Metot:** Detaylı ve açıklayıcı bir biçimde verilmelidir.

**Bulgular ve Tartışma:** Bu bölümde elde edilen sonuçlara yer verilmeli, sonuçlar gerekirse şekil ve tablolarla da desteklenmelidir. Elde edilen bulgular ilgili literatürlerle karşılaştırılmalıdır.

**Sonuç ve Öneriler:** Sonuçlar gereksiz tekrarlardan kaçınılarak mutlaka yorumlanmalıdır. Sonuçların başka araştırmalarla benzerlik ve farklılıkları verilmeli, bunların olası nedenleri tartışılmalıdır.

**Teşekkür:** Gerek görüldüğü takdirde ya da proje vs. kapsamında bir çalışma ise; çalışmada yardımcıları olan kişi(ler), kurum ve kuruluşlara yardım ve desteklerinden dolayı teşekkür edilmelidir.

**Kaynaklar:** Kaynakların metin içinde gösterimi numara sırasına göre olmalıdır ([1], [2] v.b.). Makale içinde verilen her kaynak, makalenin Kaynaklar kısmında mutlaka yer almalıdır. Kaynaklar makale sonunda numara sırasına göre verilmelidir. Kaynakların makale sonundaki gösterimi aşağıdaki örneklerdeki gibi olmalıdır.

**Kaynak bir makale ise;**

1. Köksal K., Koç F. 2016. Optical Manipulation of Photo-induced Current in Spherical Semiconductor Quantum Dots by Optical Vortices, *Philosophical Magazine*, 96 (25): 2686-2695.
2. Öztürk Ö. 2017. A Different Solution Method for the Confluent Hypergeometric Equation, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7 (2): 215-224.
3. Kurşat M., Emre İ., Yılmaz Ö., Erecevit P. 2011. Antioxidant and antimicrobial activity in the seeds of *Origanum vulgare* L. subsp. *gracile* (C. Koch) Ietswaart and *Origanum acutidens* (Hand.-Mazz.) Ietswaart from Turkey, *Grasas y aceites*, 62 (4): 410-417.

**Kaynak bir kitap ise;**

1. Chapra C.S., Canale R.P. 2003. *Yazılım ve Programlama Uygulamalarıyla Mühendisler için Sayısal Yöntemler*, Literatür Yayınları, 1004s. İstanbul.
2. Demirsoy A. 1999. *Genel ve Türkiye Zoocoğrafyası "Hayvan Coğrafyası"*. Meteksan Yayınları, 965s. Ankara.

**Kitap bölümü ise;**

1. Cullen J. 1975. *Artemisia L.* in *Flora of Turkey and East Aegean Islands*, Edited by Davis PH, Vol.5, Edinburgh: Edinburgh Univ Press, 311-324.
2. Cassidy J., Elder R. 1984. Spillways of high dams, in *Developments in Hydraulic Engineering 2*, Edited by Novak P., Applied Science Publishers Ltd. Essex, UK, 153-173.

**Kaynak sempozyum ise;**

1. Akyüz M., Kırbağ S. 2012. Fatty Acid and Vitamin Composition of *Pleurotus eryngii* var. *ferulae* Grown on Various Agro-wastes, 21. Ulusal Biyoloji Kongresi, pp1168-1169, 3-7 Eylül, İzmir.
2. Tabur M.A., Uzun A., Ayvaz Y. 2004. Why is White-headed Duck Wintering in Lake Burdur (Turkey) decreasing? 1<sup>st</sup> International Eurasian Ornithology Congress 8-11 April, Abstract Book, 63s. Antalya.

**Web adresi;****İnternet kaynağın yazar ismi ve tarihi biliniyorsa;**

1. Şenel F. 2006. Kırım-Kongo Kanamalı Ateşi. <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/pdf/kene>. (Erişim Tarihi: 21.01.2007).

**Yazar ve tarih isimleri bilinmiyorsa;**

1. Biyolojik çeşitlilik 2005. Türkiye'nin Biyolojik Çeşitliliği. <http://www.bcs.gov.tr/1.4.php> (Erişim tarihi: 15.01.2007).

**Kaynak Tez ise;**

1. Kurşat M. 2010. Türkiye'de Yetişen *Artemisia L. (Asteraceae)* Taksonlarının Taksonomik Revizyonu. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 348s, Elazığ.

**Kaynak Anonim ise;**

1. Anonim, 1990. Sulak Alanların Korunması. Doğal Hayatı Koruma Derneği, 93s. İstanbul.

**Şekil ve Tablolar:** Fotoğraf, resim, çizim ve grafik gibi göstermeler şekil olarak verilmelidir. Resim, şekil ve grafikler net ve ofset baskı tekniğine uygun olmalıdır. Şekiller (Renkli ve siyah-beyaz fotoğraflar, siyah-beyaz çizimler, haritalar) metin içerisinde verilmelidir. Şekiller 16x20 cm den büyük olmamalıdır. Resim ve fotoğraflar en az 600 dpi çözünürlükte olmalıdır. Tüm tablo ve şekiller makale

boyunca sırayla numaralandırılmalı (Tablo 1., Şekil 1.), başlık ve açıklamalar içermelidir. Açıklamaların sonunda nokta veya virgöl konulmamalıdır. Tablo başlıkları tablonun üstünde, şekil başlıkları ise şekil altında ortalı ve 10 punto olmalıdır.

**Birim Sistemi:** Makalelerde kullanılan birim sistemleri SI birim sistemlerine uyumlu olmalıdır.

#### **Yayına Kabul Edilen Makalelerin Son Düzeltmelerindeki Dikkat Edilecek Hususlar**

Tüm kenar boşlukları (sağ, sol, üst ve alt) 2,5 cm ve satır aralığı tek olmalı,

- Özetler 10 punto, ana metin 11 punto olmalı,
- Makale başlıkları (Türkçe – İngilizce) 14 punto, kalın yalnızca ilk harfler büyük,
- Metin ana başlıkları 11 punto, kalın yalnız ilk harfler büyük,
- Alt başlıklar 11 punto, kalın ve sadece ilk harfi büyük olmalıdır.

# BEU JOURNAL OF SCIENCE

## Manuscript Preparation

### Format of First Submission

Manuscripts should be submitted digitally as MS Word. Files should be prepared by using A4 paper size with 2.5 cm margin from all sides, in 11 font size and Times New Roman font with single space. Manuscripts should not exceed 20 pages and should be submitted via <http://dergipark.gov.tr/bitlisfen> web site. Author informations should not be given in the main file of the article due to blind review. Author informations should be given by uploading a different file. Up to 2 publications of the same author can be found in one issue. Submissions must comply with research and publication. Manuscripts should be written according to following rules and structure.

Main sections of the article are Introduction, Material and Methods, Results and Discussion, and References. An Acknowledgement section can be included before References.

**Similarity Ratio:** The similarity rate of submitted articles should not exceed 25%. Each similarity rate should not exceed 5%.

**Manuscript Language:** Turkish or English.

**Title:** It should a concise and clear phrase describing the content of the text. Both Turkish and English titles should be centered and bold in Times New Roman with 14 font size and First Letters Should Be Capitalized.

**Author Names and Addresses:** Full names of all authors are given below the title. Surnames (Family Names) and first letters of the Given Names should be capitalized with 12 font size as centered. Author names are separated by coma. Superscript Arabic letters (<sup>1</sup>, <sup>2</sup>, <sup>3</sup>, ect.) should be used to indicate addresses. Corresponding author should be indicated with an asterisk (\*). Full addresses of the authors should be written with lower case italic letter and be centered (10 font) immediately after author names. E-mail address of the corresponding author should be given lower left corner of the first page, leading with an asterisk (\*).

**Abstract and Key Words:** All manuscript should include Turkish and English abstracts and each abstract should be written in 10 font size including at least 75 words and at most 250 words. Keywords consisting of at least 3 words and at most 6 words should be written in 10 points just under both abstracts.

**Main Text:** Titles of main sections and subsections should be comprehensible and numbered. All main section titles should be left aligned, bold, and in 11 font size with capitalized first letters. Subsection titles should be in 11 font size. The text should be justified. There should be no space between paragraphs. Paragraphs following a title should not have first-line indent.

**Introduction:** A brief summary of the subject and the current literature should be given. The aim of the study should be briefly stated at the end.

**Material and Method:** It should be given in detail and clearly.

**Results and Discussion:** The results should be presented in a comprehensible manner which may include figures and tables. Presented results should be compared with the literature.

**Conclusion:** The results should be interpreted in avoiding unnecessary repetitions. It should be stated and discussed with its possible reasons if the results comply with previous studies or not.

**Acknowledgement:** If appropriate, acknowledgements to sponsor(s) and assisting individual(s) should be given.

**References:** References should be cited in text according to order of appetences with Arabic numbers in square brackets (e.g. [1], [2], ect.). All references cited in the text should be listed in References and vice versa. Journal names should not be abbreviated in the References. References should be listed according to numeric order at the end of the article. References should be written according to following examples.

**Article:**

1. Köksal K., Koç F. 2016. Optical Manipulation of Photo-induced Current in Spherical Semiconductor Quantum Dots by Optical Vortices, *Philosophical Magazine*, 96 (25): 2686-2695.
2. Öztürk Ö. 2017. A Different Solution Method for the Confluent Hypergeometric Equation, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7 (2): 215-224.
3. Kurşat M., Emre İ., Yılmaz Ö., Erecevit P. 2011. Antioxidant and antimicrobial activity in the seeds of *Origanum vulgare* L. subsp. *gracile* (C. Koch) Ietswaart and *Origanum acutidens* (Hand.-Mazz.) Ietswaart from Turkey, *Grasas y aceites*, 62 (4): 410-417.

**Book:**

1. Chapra C.S., Canale R.P. 2003. *Yazılım ve Programlama Uygulamalarıyla Mühendisler için Sayısal Yöntemler*, Literatür Yayınları, 1004s. İstanbul.
2. Demirsoy A. 1999. *Genel ve Türkiye Zoocoğrafyası "Hayvan Coğrafyası"*. Meteksan Yayınları, 965s. Ankara.

**Book Chapter:**

1. Cullen J. 1975. *Artemisia L. in Flora of Turkey and East Aegean Islands*, Edited by Davis PH, Vol.5, Edinburgh: Edinburgh Univ Press, 311-324.
2. Cassidy J., Elder R. 1984. Spillways of high dams, in *Developments in Hydraulic Engineering 2*, Edited by Novak P., Applied Science Publishers Ltd. Essex, UK, 153-173.

**Symposium Proceeding:**

1. Akyüz M., Kırbağ S. 2012. Fatty Acid and Vitamin Composition of *Pleurotus eryngii* var. *ferulae* Grown on Various Agro-wastes, 21. Ulusal Biyoloji Kongresi, pp1168-1169, 3-7 Eylül, İzmir.
2. Tabur M.A., Uzun A., Ayvaz Y. 2004. Why is White-headed Duck Wintering in Lake Burdur (Turkey) decreasing? 1<sup>st</sup> International Eurasian Ornithology Congress 8-11 April, Abstract Book, 63s. Antalya.

**Web sites:****If the author name and date are known:**

1. Senel F. 2006. *Kirim-Kongo Kanamalı Atesi*. <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/pdf/kene>. (Access Date: 21.01.2007).

**If the author name and date are unknown:**

1. *Biyolojik çeşitlilik 2005. Türkiye'nin Biyolojik Çeşitliliği*, <http://www.bcs.gov.tr/1.4.php> (Access Date: 15.01.2007).

**Thesis:**

1. Kursat M. 2010. *Türkiye'de Yetisen Artemisia L. (Asteraceae) Taksonlarının Taksonomik Revizyonu*. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, PhD Thesis, 348s, Elazığ.

**Anonymous:**

1. Anonymous, 1990. *Sulak Alanların Korunması*. Doğal Hayatı Koruma Derneği, 93s. İstanbul.

**Figures and Tables:** Images like photos, pictures, drawings, and graphs should be given as figures. Figures should be clear and appropriate for press. All figures should be given within the text. Figures should not exceed the size of 16x20 cm. Pixel based figures should be minimum of 600 dpi. All tables and figures should be numbered (e.g. Table 1, Figure 1), and should include a title and legend. There

should be no period or comma after the legend. The titles should be centered and in 10 font size. Tables and figure titles should be placed above the table and below the figure, respectively.

**Units:** All units should be given according to SI (International System of Units).

**Final Check List For Articles Accepted For Publication**

- All margins are 2.5 cm.
- Paragraphs are single spaced.
- Article titles (Turkish and English) are bold and in 14 font size with capitalized first letters.
- Main section titles are bold and in 11 font size with capitalized first letters.
- Subsection titles are bold and in 11 font size and only the first letter of the first word is capitalized.

# BEU FEN BİLİMLERİ DERGİSİ YAYIN İLKELERİ

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, mühendislik ve temel bilimler alanlarındaki gelişmeleri ve yenilikleri takip etmek, meslek kuruluşlarının, araştırmacıların ve bireylerin ulusal ve uluslararası gelişmelerine katkıda bulunmak ve bu alanlarda elektronik bir kaynak oluşturmak amacıyla yayımlanmaktadır. Derginin yazım dili Türkçe veya İngilizcedir. Fen Bilimleri Dergisi, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü yayını olup, 2012 yılından bu yana ücretsiz ve açık erişimli olarak yayın hayatına devam etmektedir. Mühendislik ve temel bilimlerin bilgi tabanına ve teknolojik gelişmelere ışık tutması amacıyla bu alanlarda yapılmış deneysel ve teorik ilerlemeleri konu alan özgün araştırma makalelerine, derlemelere ve teknik notlara yer verilmektedir. Dergiye gönderilen çalışmaların benzerlik oranı %25'i geçmemelidir. Yazım kurallarına uymayan makaleler, hakemlere gönderilmeden önce düzeltilmek üzere yazara geri gönderilir. Bu nedenle, derginin yazım kuralları dikkate alınmalıdır. Ayrıca, editörlerden yazarlara iletilen düzeltmelere veya taleplere 15 gün içerisinde cevap verilmediği takdirde ilgili makaleler reddedilir. Makaleler şekiller ve tablolar dâhil 20 sayfayı geçmemelidir. Dergiye yayın için gönderilen makaleler en az iki hakem tarafından değerlendirilir. Yazarlardan hakem önerisi talep edilmemektedir. Makalelerin dergide yayımlanabilmesi için hakemler tarafından olumlu görüş bildirilmesi gerekmektedir. Dergi Editör Kurulu, hakem raporlarını (iki hakemin değerlendirmeleri geldikten sonra) dikkate alarak makalelerin yayımlanmak üzere kabul edilip edilmemesine karar verir. Fen Bilimleri Dergisi, yılda iki defa (Haziran, Aralık) yayımlanmaktadır. **Dergimiz Tübitak-Ulakbim Mühendislik ve Temel Bilimler Veri Tabanı Dergi Listesinde taranmaktadır.**

Dergide yayımlanacak makalelerin bilimsel etik kuralları içerisinde olması gerekmektedir. Makalede yer alan tüm yazarlar, çalışmalarının yayın haklarını Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi'ne verdiklerine dair **Telif Hakları Formu**'nu imzalamalıdır. Bu form iletilmeden yayın kabul edilse de yayımlanmayacaktır. Bütün bu bilgiler aşağıdaki DergiPark sistemi, e-posta adresi veya posta adresi ile editörlüğe gönderilmelidir. Dergide yayımlanacak makalelerin içeriğinden kaynaklanan her türlü yasal sorumluluklar ve telif haklarına ilişkin doğabilecek hukuki sorumluluklar tamamen yazarlara aittir.

## Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü

Bitlis Eren Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
13000, Merkez, Bitlis/TÜRKİYE  
E-posta : [fbe@beu.edu.tr](mailto:fbe@beu.edu.tr)  
Web : <http://dergipark.gov.tr/bitlisfen>



Makale No/Article ID: .....

**B.E.U.**  
**FEN BİLİMLERİ DERGİSİ**  
**Telif Hakkı Devir Formu / Copyright Form**

[Makale Adı / Article title]

.....  
.....  
.....

Başlıklı makalenin telif hakkından feragat etmeyi/ettiğimizi, makalenin telif hakkının Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne devredildiğini ve Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü makalenin yayımlanabilmesi konusunda yetkili kılındığını kabul eder ve imza ederiz.

Ayrıca, adı geçen makalenin tüm içeriği konusunda tüm sorumluluk yazar/yazarlara ait olup, makalenin içeriği konusunda doğabilecek sorunlardan Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü sorumlu değildir.

**Bütün yazarlar tarafından imzalanması gerekiyor:** (Sorumlu yazar/Corresponding author\*)

<u>Yazarın Adı ve Soyadı / Author Names</u>	<u>İmzası / Signature</u>	<u>Tarih / Date</u>
1 .....		
2 .....		
3 .....		
4 .....		
5 .....		

**NOT:** Eksik imza durumunda sorumluluk imzalayan yazarlara aittir. Form doldurulup imzalandıktan sonra online veya e-posta yoluyla gönderilmelidir:

Web : <http://dergipark.gov.tr/bitlisfen>

E-mail : [fbe@beu.edu.tr](mailto:fbe@beu.edu.tr)





Article ID: .....

**BEU**  
**JOURNAL OF SCIENCE**  
**Copyright Transfer Form**

We, the authors of the manuscript entitled

---

---

---

relinquish our copyrights on the manuscript in favor of BEU Graduate School of Science. Hence, we, the authors, accept and signs for this copyright transfer which includes but not limited to granting the right to publish the manuscript to the Editorial Board of BEU Journal of Science.

Nevertheless, we, the authors, retain all responsibilities regarding the manuscript. The Editorial Board of BEU Journal of Science cannot be held responsible for any conflict due to the content of the manuscript, by any means.

**All authors must sign:**

Authors' Full Names	Signature	Date
1. _____	_____	_____
2. _____	_____	_____
3. _____	_____	_____
4. _____	_____	_____
5. _____	_____	_____

(Add additional lines if needed. Corresponding author should be indicated by “\*”.)

In case of absent signature, signing authors will be responsible. Filled and signed forms should be sent online or by email.

Web : <http://dergipark.gov.tr/bitlisfen>

E-mail : [fbe@beu.edu.tr](mailto:fbe@beu.edu.tr)