

# Balıkesir Üniversitesi FBE Dergisi

ISSN : 1301-7985  
e-ISSN : 2536-5142

Balıkesir Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Cilt:26 Sayı:1 Ocak 2024

JOURNAL OF BALIKESIR UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Volume : 26 Number : 1 January 2024

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ | Cilt : 26 Sayı : 1 Ocak 2024

Balıkesir  
Üniversitesi  
FBE  
Dergisi



Yazışma Adresi:  
BAUN FBE Dergisi, Balıkesir Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü, 10145 Çağış / Balıkesir  
Telefon : (266) 612 10 77

<http://fbed.balikesir.edu.tr>  
[fbedergi@balikesir.edu.tr](mailto:fbedergi@balikesir.edu.tr)

Balıkesir  
Üniversitesi  
FBE  
Dergisi

[fbedergi@balikesir.edu.tr](mailto:fbedergi@balikesir.edu.tr)



BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

Cilt 26 Sayı 1 Ocak 2024

ISSN 1301-7985  
eISSN 2536-5142



Journal of Balıkesir University  
Institute of Science and Technology

Volume 26 Number 1 January 2024

ISSN 1301-7985  
eISSN 2536-5142

# BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

CİLT: 26 SAYI: 1

Ocak 2024

ISSN 1301-7985  
eISSN 2536-5142

Sahibi Balıkesir Üniversitesi Adına

Prof. Dr. Yücel OĞURLU  
Balıkesir Üniversitesi Rektörü

## Editör Kurulu

Doç. Dr. Dilek TÜRKER	Balıkesir Üniversitesi
Doç. Dr. Alaaddin TOKTAŞ	Balıkesir Üniversitesi
Doç. Dr. Sümeyye AYDOĞAN TÜRKÖĞLU	Balıkesir Üniversitesi
Prof. Dr. Hüseyin KÜÇÜKÖZER	Balıkesir Üniversitesi
Doç. Dr. Fırat EVİRGEN	Balıkesir Üniversitesi
Doç. Dr. Nuray GEDİK	Balıkesir Üniversitesi

## Alan Editörleri

Doç. Dr. Kaan TÜRKER	Balıkesir Üniversitesi
----------------------	------------------------

## Danışma & Yayın Kurulu

Prof. Dr. Murat Erhan BALCI	Balıkesir Üniversitesi
Prof. Dr. Ali ORAL	Balıkesir Üniversitesi
Prof. Dr. Sezai TÜRKEL	Bursa Uludağ Üniversitesi
Prof. Dr. Vildan UYLAŞER	Bursa Uludağ Üniversitesi
Prof. Dr. Tülin GÜNDÜZ	Bursa Uludağ Üniversitesi
Prof. Dr. Kemal YÜRÜMEZOĞLU	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Emel İRTEM	Doğuş Üniversitesi
Prof. Dr. Kemal Sami KORKMAZ	Ege Üniversitesi
Prof. Dr. Cihan ÖZGÜR	İzmir Demokrasi Üniversitesi
Prof. Dr. Serdar KALE	İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
Prof. Dr. Nazmi POLAT	Ondokuz Mayıs Üniversitesi

---

Prof. Dr. Derya BOSTANCI

Ordu Üniversitesi

Prof. Dr. Raşan İLİKÇİ SAĞKAN

Uşak Üniversitesi

Doç. Dr. Sema ÇARIKÇI

İzmir Demokrasi Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Meltem ALPER

Dokuz Eylül Üniversitesi

---

---

**Sekretarya**

Burcu Efe DAŞKAN

Balıkesir Üniversitesi

---

**Mizanpaj&Yayın Editörü**

Arş. Gör. Serhad ONAT

Balıkesir Üniversitesi

---

---

**Yazışma Adresi:** Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çağış Yerleşkesi  
10145, Balıkesir

Tel: (0266) 612 10 77 Faks: (0266) 612 10 78

Elektronik Posta: fbedergi@balikesir.edu.tr

İnternet Adresi: <http://fbed.balikesir.edu.tr>

---

### **AMAÇ VE KAPSAM**

Balıkesir Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Dergisinin amacı; Fen bilimleri, Mühendislik bilimleri ve Fen-Matematik Eğitimi alanlarında yapılan özgün araştırma makaleleri, kısa makaleleri, derlemeleri bu alanlarda saygın akademik bir kaynak oluşturmak amacıyla yayımlamaktır.

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, bilimsel ve hakemli bir dergi olup 1999 yılından bu yana yılda iki kez (ocak ve temmuz aylarında) düzenli olarak yayımlanmaktadır. Derginin yazım dili Türkçe ve İngilizcedir.

---

### **YAYIM İZİNİ**

Bireysel kullanım dışında, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi'nde yayımlanan makaleler ve bu makalelerde yer alan şekiller ve tablolar yazılı izin olmaksızın çoğaltılamaz. Bilimsel makalelerde akademik usullere uygun atıf yapılmak sureti ile alıntı yapılabilir.

---

### **YAZILARIN BİLİMSEL VE HUKUKİ SORUMLULUĞU**

Yayımlanan yazıların bilimsel ve hukuki sorumluluğu yazarlarına aittir. Editör, Yardımcı Editörler ve Yayın Kurulu üyeleri dergideki hatalardan veya kullanımından kaynaklanan sonuçlardan dolayı sorumluluk kabul etmez.

---

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makalesi / Research Article

**TUCBS Veri standartları kullanılarak su kaynakları yönetimi değerlendirilmesi**

Assessment of water resources management using TUCBS Data Standards

1-18

**Bilge BİNGÜL, Elvan BENGİ, Zeynep TUTKAL, Alper ALTUNSOY, Talha AKSOY**

**Hayvancılık işletmelerinde atmosferik amonyak gazının AERMOD ile modellenmesi**

Modeling of atmospheric ammonia gas from livestock farms with AERMOD

19-28

**Atilla MUTLU**

**Sheffer stroke branching of BCK-algebras**

BCK-cebirlerinin Sheffer stroke dallanması

29-40

**Tuğçe KATICAN**

**Yonga levha endüstrisi atık sularının kimyasal ön arıtımı ve yanıt yüzey yöntemi ile optimizasyonu**

Chemical pretreatment of particle board industry wastewater and optimization by response surface method

41-52

**Yeliz SÜZEN, Ahmet GÜNAY**

**Design of system model and program for estimation of annual PV energy production: a comparative study**

Yıllık PV enerji üretiminin tahmini için sistem modeli ve programın tasarımı: karşılaştırmalı bir çalışma

53-72

**Mehmet Fatih BEYOĞLU, Metin DEMİRTAŞ**

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makalesi / Research Article

**Analysis of fractional random ordinary differential equations by Adomian Decomposition Method**

Kesir mertebeden rastgele adi diferansiyel denklemlerin Adomian Ayrıştırma Yöntemi ile analizi

**Mehmet MERDAN, Nihal ATASOY**

**Mimari tasarım eğitiminde 21. yüzyıldaki değişimin bibliyometrik analiz yöntemi üzerinden incelenmesi**

Investigation of the change in the 21st century in architectural design education through the bibliometric analysis method

**Derya DEMİRCAN, Serkan PALABIYIK**

**The stability of Jordan  $k$ -\*-derivations on  $\Gamma$ -Banach algebras by fixed point method**

Jordan  $k$ -\*-türevlerinin  $\Gamma$ -Banach cebirlerinde sabit nokta yöntemiyle stabilitesi

**Berna ARSLAN**

**Modelling and optimization of copper removal from water using carbon nanotubes with RSM and ANN**

Karbon nanotüpler kullanılarak sulardan bakır gideriminin YYY ve YSA ile modelleme ve optimizasyonu

**Elif CALGAN, Elif ÖZMETİN**

**Edremit Körfez Bölgesi (Balıkesir, Türkiye) zeytin bahçelerindeki kabuklubit (Hemiptera:**

**Sternorrhyncha: Coccoomorpha) türleri**

Scale insect species (Hemiptera: Sternorrhyncha: Coccoomorpha) in olive orchards of Edremit Bay Region (Balıkesir, Turkey)

139-148

**Gonca VATANSEVER SAKİN**

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makalesi / Research Article

**Eti Maden Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğünde bulunan 7 tesise ait enerji izleme otomasyonu sisteminin Plc ve Scada ile tasarımı**

Designing the energy monitoring automation with PLC and Scada of 7 facilities in Eti Maden Bigadic Boron Operations Directorate 149-162

**Mehmet Fatih VANLI, Davut AKDAŞ**

**Analysis of RC circuits with the help of LabVIEW and data acquisition card for physics laboratory course**

A study on comparison of convex and non-convex penalized regression methods 163-179

**Murat GENÇ**

**Some new properties on  $N$  semigroups**

$N$  yarıgrubu üzerinde bazı yeni özellikler 180-187

**Nurten URLU OZALAN**

**Fejér means in variable exponent Lebesgue spaces on the real axis**

Reel ekseninde değişken üslü Lebesgue uzaylarda Fejér ortalamalar 188-195

**Ebru ALTIPARMAK1, Ali GUVEN**

**Kenar eklemenin indirgenmiş ikinci Zagreb indeks ve hyper-Zagreb indeks üzerine etkisi**

Effect of edge addition on reduced second Zagreb Index and hyper-Zagreb Index 196-202

**Aysun YURTTAS GUNES**



İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makalesi / Research Article

**AISI 1040 Çeliğinde yapısal yapışma bağı dayanımının statik ve dinamik zorlama şartları altında incelenmesi**

Static and dynamic analysis of structural adhesion bond in AISI 1040 steel 203-214

**Yaprak Nisa OĞUZ, Mustafa Burak GEDİKLİ, Gülcan TOKTAŞ, Ali ORAL**

***Evsel katt atıklardan elektrik üretimi: Bursa örneği***

Electricity generation from municipal solid waste: Bursa case 215-225

**Samet ÖZTÜRK, Harun SEYMENLER, Anıl AKGÜL, Yusuf UCA**

**Coding theory for  $h(x)$ -Fibonacci polynomials**

$h(x)$ -Fibonacci polinomları için kodlama teorisi 226-236

**Öznur ÖZTUNÇ KAYMAK**

**DC Raylı sistem trafo merkezlerinde geçici olayların analizi ve PLL tabanlı dinamik voltaj düzenleyici uygulaması**

Analysis of transient events in DC rail system substations and application of PLL based dynamic voltage regulator 237-248

**Mehmet Taciddin AKÇAY, Aysel ERSOY**

**Molecular phylogenetic analysis of the taxa belonging to the genus *Carlina* L.(Asteraceae) in Turkey**

Türkiye'deki *Carlina* L. (Asteraceae) cinsine ait taksonların moleküler filogenetik analizi 249-259

**Berna SANON**

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makalesi / Research Article

**How design decisions change fall from heights in reinforced concrete structures?**

Betonarme yapılarda tasarım kararları yüksekten düşmeyi nasıl etkiler? 260-271

**Kemal Dirgen TÖZER, Gürkan Emre GÜRCANLI, Tahir ÇELİK, Özge AKBOĞA KALE**

**Bases of fixed point subalgebras on nilpotent Leibniz algebras**

Nilpotent Leibniz cebirlerinde sabit nokta altcebirlerinin bazları 272-278

**Zeynep ÖZKURT**

**Optimization of ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from Ziziphus jujube Mill. leaves using response surface methodology**

Direct supply processes in local governments and BuildingInformation Modeling (BIM) Integration model proposal in local governments 279-292

Modeling (BIM) Integration model proposal in local governments

**Elif SAVAŞ**

**Mide kanserine karşı geliştirilen aşı formülasyonunun immünostimülan ve sitotoksik etkilerinin incelenmesi**

Investigation of immunostimulant and cytotoxic effects of vaccine formulation developed against gastric cancer 293-304

Investigation of immunostimulant and cytotoxic effects of

**Yağmur HAMURCI, Murat IHLAMUR, Emrah Şefik ABAMOR**

**Investigation of antioxidant, enzyme inhibitory effects and total secondary metabolite quantification**

**of Ornithogalum nutans L. methanol**

Ornithogalum nutans L. Metanol ekstraktlarının antioksidan, enzim inhibitör Etkileri, total sekonder metabolit miktar tayininin araştırılması 305-315

**Mehmet Özgür ATAY, Gülsüm CENGAVER, Yağmur GÜZEL, Ramazan MAMMADOV**

**İÇİNDEKİLER / CONTENTS**

**Derleme Makalesi / Review Article**

- 
- Comprehensive checklist and distribution analysis of  
marine harpacticoids in Türkiye coastal waters**  
Türkiye kıyı suları denizel harpaktikoidlerinin kapsamlı kontrol  
listesi ve dağılım analizi 316-331  
**Alper KABACA**
- 
- Mikronükleus (MN) ve Comet Assay testlerinin  
farklı hayvan türlerindeki uygulamalarına örnekler**  
Examples of the applications of Micronucleus (MN) and Comet  
Assay tests in different animal species. 332-344  
**Gülşah KURUCU, Derya BOSTANCI**
-

# TUCBS Veri standartları kullanılarak su kaynakları yönetimi değerlendirilmesi

**Bilge BİNGÜL<sup>1,\*</sup>, Elvan BENGİ<sup>1</sup>, Zeynep TUTKAL<sup>1</sup>, Alper ALTUNSOY<sup>1</sup>,  
Talha AKSOY<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri  
Anabilim Dalı, Eskişehir

<sup>2</sup>Kırklareli Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Kırklareli

Geliş Tarihi (Received Date): 31.10.2022

Kabul Tarihi (Accepted Date): 25.07.2023

## Öz

*Su, canlılar için vazgeçilmez bir kaynaktır ve doğada sınırlı miktarda bulunmaktadır. Son yıllardaki hızlı nüfus artışına paralel olarak gelişen sanayi ve tarımsal faaliyetlerle birlikte su kaynaklarının aşırı kullanımı da artmıştır. Buna ek olarak, küresel iklim değişikliğinin, kuraklığın artmasına ve yüzey suları ile yeraltısularının beslenmesinde azalmaya yol açtığı gözlemlenmektedir. Tatlı suyun sınırlı olması, gerektiğinde yeterli miktarda tahsis edilememesi ya da taşkın ve sel gibi durumlarda fazla suyla karşılaşılması, su kaynaklarının doğru yönetiminin ne kadar önemli olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Bir ülkedeki su güvenliği, su kaynaklarının verimli kullanımı ve sürdürülebilirliğiyle doğrudan ilişkilidir. Bu çalışmada, su kaynakları yönetiminde önemli olan üç inceleme başlığı belirlenmiştir: yağış-akış ilişkisi analizleri, taşkın analizleri ve hidrojeolojik analizler. Araştırmanın amacı, bu analizlerde yaygın olarak kullanılan yöntemlerin belirlenmesi, temel coğrafi verilerin beklenen zamansal çözünürlüklerinin tespit edilmesi, ayrıca bu verilerin Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi (TUCBS) veri standartlarına uygunluğunun araştırılmasıdır. Çalışma sonucunda, TUCBS veri standartlarının su kaynakları yönetiminde kullanılan birçok temel veri standardını karşıladığı, ancak zamansal çözünürlük bilgisinin standartlar içerisinde yer almadığı tespit edilmiştir. Bu çalışma, su kaynakları yönetiminde veri standartlarının geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması için önemli bir adım atmayı hedefleyerek, sürdürülebilir su kaynakları yönetimi alanında önemli bir katkı sağlamayı amaçlamaktadır.*

**Anahtar kelimeler:** TUCBS, CBS, veri standartları, su kaynakları yönetimi, INSPIRE

\*Bilge BİNGÜL, bilgebingul@ogr.eskisehir.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-1837-7506>

Elvan BENGİ, elvanbengi@ogr.eskisehir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-2329-5492>

Zeynep TUTKAL, zeyneptutkal@ogr.eskisehir.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-4652-5518>

Alper ALTUNSOY, alperaltunsoy@ogr.eskisehir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0001-8955-1332>

Talha AKSOY, talha.aksoy@klu.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0001-8577-3990>

# Assessment of water resources management using TUCBS Data standards

## Abstract

*Water is an indispensable source for living beings and exists in limited quantities in nature. Alongside the rapid population growth in recent years, the excessive use of water resources has increased in parallel with the development of industrial and agricultural activities. Additionally, it is observed that global climate change leads to increased drought and a decrease in the replenishment of surface and groundwater resources. The limited availability of fresh water, the inability to allocate enough when needed, or encountering excessive water in flood and flood-like situations clearly highlight the importance of proper water resource management. Water security in a country is directly related to the efficient use and sustainability of water resources. In this study, three important research topics have been identified in water resource management: precipitation-runoff relationship analyses, flood analyses, and hydrogeological analyses. The aim of the research is to determine the commonly used methods in these analyses, identify the expected temporal resolutions of fundamental geographical data, and investigate the conformity of these data with the Türkiye National Geographical Information System (TUCBS) data standards. As a result of the study, it has been determined that the TUCBS data standards meet many fundamental data standards used in water resource management; however, it is noted that temporal resolution information is not included in the standards. This study aims to take an important step towards the development and widespread adoption of data standards in water resource management, thereby making a significant contribution to sustainable water resource management.*

**Keywords:** TUCBS, GIS, data standards, water resources management, INSPIRE

## 1. Giriş

Su, sürdürülebilir kalkınma için temel bir kaynak olarak kabul edilmektedir. Sanayileşme, iklim değişikliği ve nüfus artışı gibi faktörlerle birlikte, suya ve su güvenliğine olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu bağlamda, yeni yeraltısuyu kaynaklarının keşfi kadar mevcut kaynakların sürdürülebilirliğinin de korunması büyük önem taşımaktadır. Tatlı suyun sınırlı olması, gerektiğinde yeterli miktarda tahsis edilememesi ya da taşkın ve sel gibi durumlarda fazla suyla karşılaşılması, su kaynaklarının doğru yönetiminin ne kadar önemli olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Dünya genelindeki su kaynaklarının toplam miktarı yaklaşık olarak 1,4 milyar km<sup>3</sup> olarak tahmin edilmektedir. Küresel su kaynaklarının yalnızca %2,8'i tatlı su olarak mevcutken, yaklaşık olarak %97,2'si okyanus ve denizlerde bulunan tuzlu sudur [1]. Küresel ölçekte, yeraltısuları da dünya genelindeki su kaynaklarının yaklaşık olarak %0,6'sını oluşturmaktadır [2]. Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü'nün (UNESCO) Hükümetlerarası Hidroloji Programı (IHP) tarafından 2014-2021 dönemi için belirlenen Stratejik Planında [3], su güvenliği kavramı tanımlanmaktadır. Bu kavram, bir toplumun insan ve ekosistem sağlığını sürdürmek için kaliteli ve yeterli suya havza düzeyinde erişiminin güvence altına alınması ve su azlığı, fazlalığı gibi tehlikelerle başa çıkabilme

yeteneğini ifade etmektedir. Bir ülkedeki su güvenliğinin sağlanması, temel olarak su kaynakları yönetiminin zamansal ve mekânsal olarak doğru yapılabilmesine bağlıdır.

Su kaynakları yönetiminin en önemli bileşeni, ekosisteme ait verilerin doğru yönetilmesidir. Avrupa Birliği, çevresel sorunların yönetilmesi ve çevresel politikaların geliştirilmesi amacıyla mekânsal verilerin etkin bir şekilde yönetilmesine ihtiyaç duymuştur. Bu ihtiyaçtan yola çıkarak, Avrupa Birliği Mekânsal Veri Altyapısı (INSPIRE) projesi başlatılmıştır. INSPIRE, coğrafi veri altyapısının uyumlu bir şekilde kullanılmasını teşvik etmek amacıyla çeşitli standartlar ve yönergeler sunmaktadır. Projede, çeşitli sektörlerdeki coğrafi verilerin entegrasyonu ve paylaşımı sağlanarak, sürdürülebilir su yönetimi, arazi kullanım planlaması, doğal kaynak yönetimi, ulaşım ağları, nüfus gibi birçok alanda bilimsel temelli kararların alınmasına yardımcı olmaktadır. INSPIRE Direktifi [4], projenin yasal çerçevesini oluşturan ve 15 Mayıs 2007 tarihinde yürürlüğe giren bir düzenlemeyi içermektedir. INSPIRE, coğrafi verilerin kalitesini iyileştirmeyi, erişilebilirliğini artırmayı, yeniden kullanılabilirliğini sağlamayı ve mekânsal analiz ve karar alma süreçlerini desteklemeyi hedeflemektedir [5]. Bu sayede, farklı ülkeler ve bölgeler arasında veri uyumluluğu ve iş birliği kolaylaşmaktadır.

Türkiye’de benzer bir amaçla Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi (TUCBS) oluşturulmuştur. TUCBS, Türkiye’deki coğrafi verilerin toplanması, yönetimi, paylaşımı, kullanımı ve standartlaştırılması için ulusal düzeyde bir altyapı sağlamaktadır. TUCBS’nin temel amacı, Türkiye’deki coğrafi veri sağlayıcıları arasında uyumlu bir veri paylaşımı ve erişimini desteklemektir. Bu doğrultuda, INSPIRE Direktifi’ne ve ulusal düzeydeki teknolojik gelişmelere uygun bir coğrafi bilgi sistemi altyapısının kurulması, coğrafi verilerin tüm kullanıcı kurumların ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde ulusal düzeyde üretimine, kalitesine ve paylaşımına yönelik standartlar ile ilgili politika ve stratejilerin belirlenmesi TUCBS’nin öncelikli hedeflerindedir [6].

TUCBS, ülkemiz açısından su kaynakları yönetiminde kullanılan veri standartlarının oluşturulması ve uygulanmasında kritik bir role sahiptir. Su kaynakları yönetimi, doğru, güvenilir ve karşılaştırılabilir verilere dayalı bilimsel temelli kararların alınmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, su kaynaklarıyla ilgili verilerin tutarlı bir şekilde toplanması, yönetilmesi ve paylaşılması, etkin bir su yönetimi için büyük önem taşımaktadır. TUCBS'nin belirlediği veri standartları, farklı kurumlar ve paydaşlar arasında veri uyumunu sağlayarak, su kaynakları yönetimi ve analizinde ortak bir dil oluşturmaktadır. Bu sayede, verilerin tutarlılığı ve uyumluluğu artacak, bilgi paylaşımı kolaylaşacak ve daha etkili kararlar alınabilecektir.

Hem INSPIRE hem de TUCBS teknolojik ilerlemeler ve coğrafi bilgi yönetimi alanındaki yeniliklerle paralel olarak sürekli olarak güncellenmekte ve iyileştirilmektedir. Daha etkin ve uyumlu bir coğrafi veri altyapısı sağlamak için teknolojik gelişmeler ve kullanıcı gereksinimlerindeki dönüşümler göz önünde bulundurularak veri standartlarında sürekli uyumlaştırma ve güncellemeler yapılmaktadır. Bu bağlamda, yapılan literatür araştırması sonucunda resmi olarak yapılan güncellemelere ek olarak, akademik araştırmacılar tarafından da geliştirme ve iyileştirme önerileri sunulduğu görülmektedir. Örneğin Ruiz-Alarcon-Quintero [7] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, INSPIRE’in *Ulaşım Ağları* veri teması içerisinde farklı kaynaklardan gelen verilerin depolanabilmesi için yeni bir veri seti önerisi sunulmuştur. Abramic vd. [8] ise deniz alanlarının sürdürülebilir kullanımını sağlamak için mekânsal planlamanın önemini vurgulayarak INSPIRE çerçevesinde deniz alanlarındaki veri paylaşımı, koordinasyon ve entegrasyonun nasıl sağlanabileceği

üzerinde durmuştur. Günay, Akçay ve Altan [9] ise INSPIRE *Ulaşım Ağları* veri temasını inceleyerek coğrafi verilerin kullanılabilirliği ve erişilebilirliği bağlamında yeni öneriler getirmişlerdir. Fernández-Freire vd. [10] ise INSPIRE çerçevesinde kültürel miras verilerinin uyumluluğunu sağlamak için *Koruma Bölgeleri* veri teması içerisine bir uygulama şeması geliştirmişlerdir. Bu şema, farklı kültürel miras veri kaynaklarının uyumlu bir şekilde entegre edilmesine ve etkileşimli hale getirilmesine yardımcı olmayı hedeflemektedir.

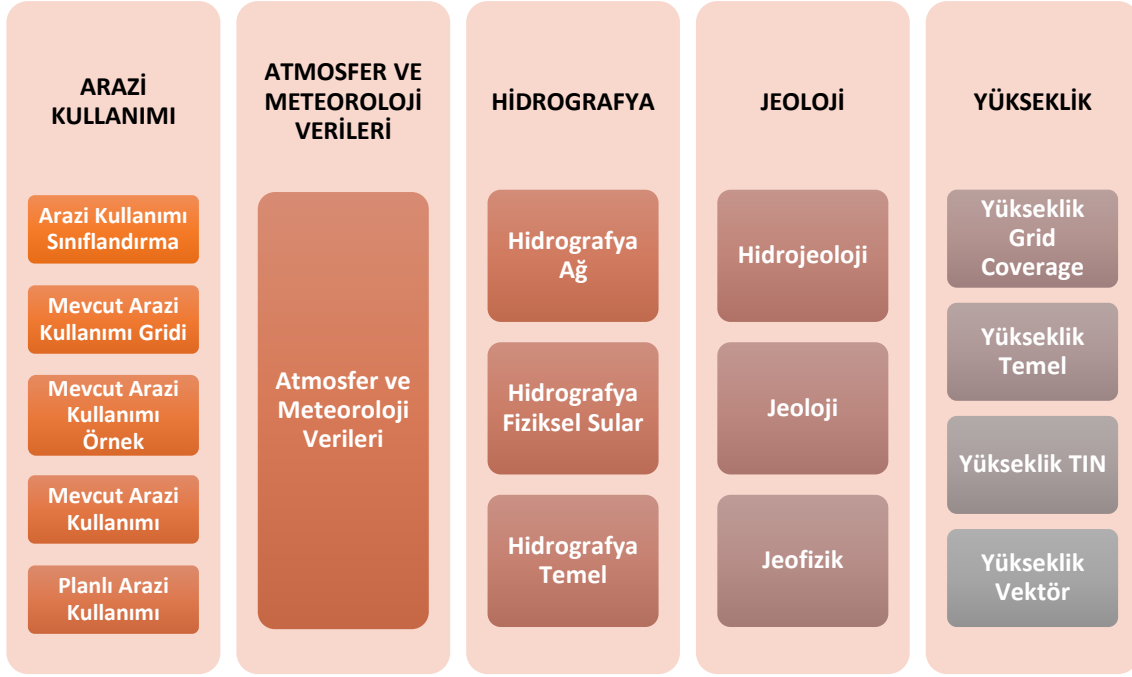
TUCBS'nin geliştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, Şehsuvaroğlu'nun [11] çalışmasında, INSPIRE metaveri modelinin temel bileşenleri, metaveri yönetim süreçleri ve konumsal web hizmetleriyle ilişkisi ele alınmıştır. Bu makale, konumsal verilerin paylaşımı ve etkileşimi için standartlar ve yönergeler sunarak TUCBS'nin geliştirilmesine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Çoruhlu vd. [12], çalışmalarında TUCBS için vakıf taşınmazlarının arazi yönetimi temelindeki tüm iş ve işlemlerinin veri setleri aracılığıyla modellenmesini hedeflemektedir. Bu amaç doğrultusunda, TUCBS için yeni bir coğrafi veri modeli geliştirilmiştir. Aydınoglu ve Bovkır [13] çalışmalarında, tapu ve kadastro veri yönetimi için genel kabul görmüş uluslararası standartlar ve standart veri modellerini incelemektedir. Makalede, geliştirilen genel veri modeli, bu modele dayalı olarak önerilen veri yapıları ve ilişkiler detaylı bir şekilde açıklanmaktadır. Bu çalışma, Türkiye'nin tapu ve kadastro verilerinin standartlara uygun bir şekilde yönetilmesine yönelik bir çerçeve sunarak TUCBS'nin gelişimine katkıda bulunmayı hedeflemektedir.

Literatürde, su kaynakları yönetimiyle ilgili olarak INSPIRE ya da TUCBS veri temaları veya veri standartlarına yönelik benzer çalışmalara rastlanılmamıştır. Bu çalışma, söz konusu alanda literatürdeki boşluğu doldurarak, TUCBS veri standartlarının su kaynakları yönetimi alanında büyük bir ilerleme kaydetmesine katkı sağlamayı hedeflemektedir.

## 2. Çalışmanın amacı ve kapsamı

Çalışmada, su kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir yönetimi için veri standartlarının iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Bu hedef doğrultusunda, su kaynakları yönetiminde özellikle önemli olan üç inceleme başlığı belirlenmiştir: yağış-akış ilişkisi analizleri, taşkın analizleri ve hidrojeolojik analizler. Bu incelemelerde yaygın olarak kullanılan yöntemlerin belirlenmesi ve bu yöntemlerde kullanılan temel coğrafi verilerin özellikleri ile TUCBS veri standartları arasındaki uyumun araştırılması amaçlanmaktadır. Böylelikle, su kaynakları yönetiminde kullanılan verilerin nitelikleri daha iyi anlaşılacak ve TUCBS veri standartlarının su kaynakları yönetimindeki kullanım potansiyeli değerlendirilmiş olacaktır.

TUCBS veri standartları belirleme çalışmaları kapsamında 32 coğrafi veri teması tanımlanmış [14] ve bu temalara ilişkin 89 şema geliştirilmiştir. [15]. Coğrafi veri temaları belirli bir konuya ilişkin olarak ulusal veya uluslararası standartlara uygun hazırlanan coğrafi veri topluluğunu ifade etmektedir [16]. Şema olarak da ifade edilen uygulama şemaları ise Birleşik Modelleme Dili (UML) notasyonu ile hazırlanan, verilerin içeriğinin ve anlamının daha iyi anlaşılmasını sağlayarak coğrafi verilerin yayılmasını, paylaşılmasını ve kullanımını destekleyen yapı olarak tanımlanmaktadır [17]. Çalışma kapsamında, standartları incelenen 5 adet TUCBS coğrafi veri teması ve bu veri temalarına bağlı olan şemalar Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Standartları incelenen TUCBS coğrafi veri temaları ve bu temalara bağlı olan şemalar.

Araştırma bulgularının anlaşılabilirliği için, TUCBS'deki veri yapılarının tanımlarının verilmesi gerekli görülmüştür. Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü tarafından 2021 yılı Kasım ayında paylaşılan Coğrafi Veri Temalarına İlişkin Tanımlama Dokümanları ve Standartlar Eğitim Dokümanına [14] göre;

- Application Schema (Uygulama Şeması); detay katalogları ve detay kavramları içerir. Böylelikle, verilerin içeriğinin ve anlamının daha iyi anlaşılmasını sağlayarak coğrafi verilerin yayılmasını, paylaşılmasını ve kullanımını destekler.
- Stereotype (Stereotip); UML profilinin parçası olarak tanımlanmış, detay tipi, veri tipi, kod listesi, değer listesi ve union sınıflarından herhangi birini ifade eder.
  - ❖ Feature Type (Detay Tipi); aynı öznitelik, geometri ve topolojik ilişkilere sahip coğrafi veriyi ifade eder. Uygulama şemaları içinde birden fazla detay tipi bulunabilmektedir.
  - ❖ Data Type (Veri Tipi): Detay tiplerinin içinde veya detay tiplerinden bağımsız olarak veri tipi tanımlaması gerçekleştirilebilmektedir.
  - ❖ Codelist (Kod Listesi); seçilebilir öznitelik değerleri listesidir. Kod listeleri genellikle öznitelik ismi ve bir koddan oluşur. Esnek bir öznitelik değer tanımlaması gerektiğinde kullanılır.
  - ❖ Enumeration (Değer Listesi); değer tiplerinin kesin olduğu ve değişikliğin olmayacağı durumlarda kullanılır. Değer listesinin kod listesinden farkı, değer tiplerinin kesin olması ve herhangi bir değişikliğin olmayacağı durumlarda kullanılmasıdır.
  - ❖ Union; öznitelik değerlerinin kod listesi, değer listesi ya da veri tiplerinden oluşabileceği, örnek durumda aynı anda bunlardan yalnızca birinin geçerli olduğu stereotiptir [14].



Çalışma kapsamında su kaynakları yönetiminde incelenen ilk konu yağış-akış ilişkisi analizleridir. Yüzeysel akış ve kaynaklarla beslenen akarsuların akım verileri akım gözlem istasyonlarından elde edilebilmektedir. Yağış-akış ilişkisi analizleri, verilen bir yağış yüksekliğine karşılık gelecek dolaysız akış yüksekliğinin tahmin edilmesi için büyük öneme sahiptir. Bu ilişkiler, akım gözlem istasyonları veya akım ölçümleri bulunmayan havzalarda akış yüksekliğini tahmin etmek için kullanılmaktadır [18]. Bu nedenle, yağış-akış ilişkisi bağıntılarının kurulması, su kaynakları yönetimi açısından önemli bir adımdır.

Su kaynakları yönetimi bağlamında ikinci konu taşkın analizleridir. Taşkın, doğal su kaynaklarının normalden daha yüksek seviyede, genellikle ani ve hızlı bir şekilde taşması durumunu ifade eder. Taşkınlar, yoğun yağışlar, kar erimesi, sel olayları veya barajlardan aşırı su tahliyesi gibi faktörlerden kaynaklanabilir. Akarsuların, nehirlerin veya dere yataklarının taşması sonucunda, suyun normal akış yollarının dışına çıkarak çevre bölgeleri etkilemesine yol açar. Taşkınlar, çevresel etkiler, altyapı hasarı, tarım alanlarında erozyon ve su kaynaklarının kirlenmesi gibi sorunları beraberinde getirebilir. Bu nedenle, taşkınların etkilerinin azaltılması ve taşkın yönetimi, su kaynakları yönetimi açısından önemli bir konudur.

Üçüncü olarak, su kaynakları yönetimi açısından incelenen bir diğer önemli konu hidrojeolojik analizlerdir. Hidrojeoloji, suyun yer altındaki dolaşımını, yer altı su kaynaklarının kökenini, hareketini, karakterini ve yüzey sularıyla olan ilişkisini inceleyen bir bilim dalıdır. Bu alan, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için önemli bilgiler sağladığı gibi, hidroloji, jeoloji, jeofizik, hidrojeokimya ve hidrobiyoloji gibi diğer birçok bilim dalıyla yakın ilişkiler içerisindedir. Yeraltısuyu, önemli bir içme suyu kaynağı olduğu gibi tarım sulaması, sanayi faaliyetleri ve ekosistemlerin sürdürülmesi için de vazgeçilmezdir. Bu nedenle, hidrojeolojik analizler, su kaynakları yönetimi açısından büyük bir öneme sahiptir. Yer altı su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını sağlamak, su temini ve su kalitesi sorunlarını çözmek, iklim değişikliği ve insan faaliyetlerinin etkilerini değerlendirmek için bu analizlerin yapılması ve elde edilen bilgilerin doğru şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

### **3. Materyal ve çalışma yöntemi**

Araştırma süreci, Şekil 2'de yöntem akış şeması olarak sunulmuştur. Problemin belirlenmesinden sonra, su kaynakları yönetiminde kullanılan temel analizlerin belirlenmesi ve bu analizlerde kullanılan yöntemlerin listelenmesi yapılmıştır. Daha sonra, analizler için gereken coğrafi verilerin belirlenmesi adımına geçilmiştir.

Belirlenen coğrafi verilerin zamansal çözünürlükleri üzerinde bir inceleme yapılmıştır. Zamansal çözünürlük, analizlerde kullanılacak verilerin ne sıklıkla güncellenmesi gerektiğini ifade etmektedir. Son olarak, TUCBS veri standartlarıyla ilgili bir araştırma yapılmış ve bu amaçla karşılaştırma tabloları oluşturulmuştur. Bu tablolar, analizlerde kullanılan verilerin TUCBS standartlarıyla ne kadar uyumlu olduğunu değerlendirmek amacıyla hazırlanmıştır.



Şekil 2. Yöntem akış şeması



Şekil 3. Çalışma kapsamında incelenen temel analiz ve yöntemler

Bu çalışmada, yağış-akış ilişkisi analizleri, taşkın analizleri ve hidrojeolojik analizler üzerinde derinlemesine inceleme yapmak amacıyla literatür taraması yöntemi kullanılmıştır. Literatür taraması yöntemi, bu analizlerde kullanılan yaygın yöntemlerin belirlenmesi ve bu yöntemlerde kullanılan temel coğrafi verilerin tespiti için kullanılmıştır. Literatür taraması sonucunda, incelenen yağış-akış analizleri, taşkın analizleri ve hidrojeolojik analizler ile bu analizlerde kullanılan temel yöntemler belirlenmiştir. Şekil 3, bu analizler ve ilgili yöntemlerin görsel bir sunumunu içermektedir.

Araştırma kapsamında incelenen yöntemlerde kullanılan tüm verilerin TUCBS veri standartlarında bulunup bulunmadığı irdelenmemiştir, onun yerine sadece temel veri olarak kabul edilen diğer verilerden türetilmeyen ve dolayısıyla doğrudan temin edilmesi gereken veriler TUCBS standartları içerisinde aranmıştır. Örneğin, yağış, nem, sıcaklık, havza sınırı gibi veriler temel veriler arasında yer alırken, havza alanı, havza çevresi, ortalama havza yüksekliği, havza eğimi gibi veriler ise temel verilerden türetilen verilerdir ve bu veriler özel veri olarak kabul edilmiştir. Özel verilerin TUCBS'de yer almaları beklenmediğinden, bu verilerin veri standartları incelenmemiştir.

### 3.1. Yağış-akış ilişkisi analizleri

Yağış-akış ilişkileri kapsamında incelenen ilk yöntem Amerika Birleşik Devletleri Toprak Koruma Servisi (SCS) [19] tarafından geliştirilen Eğri Numarası (CN) yöntemi olmuştur. Bu yöntem ampirik bir yöntem olup belirli bir alanda yağıştan kaynaklanan yaklaşık akış miktarını belirlemek için basit ve yaygın olarak kullanılmaktadır [20]. SCS-CN yönteminde akışın belirlenmesi için gerekli veriler; havza sınırı, yağış, hidrolojik toprak grupları ve arazi kullanımı verileridir.

Yağış-akış ilişkisinin hesaplanmasında incelenen ikinci yöntem Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemidir. Bu yöntem, yağış miktarı ve süreci ile su havzalarında veya akarsularda oluşan akış miktarı arasındaki ilişkiyi anlamayı gerektirir. YSA'lar, matematiksel olarak bu ilişkiyi modelleyerek gelecekteki akış miktarını tahmin etme yeteneğine sahiptir. Yağış-akış ilişkisinin YSA yöntemiyle modellenmesi için temel veriler olarak yağış verileri ve akış verileri kullanılır. Yağış verileri; yağış miktarını ve sürecini kaydeden istasyonlardan elde edilir ve modelin temel girdi verilerini oluşturur. Bu veriler belirli zaman serisi formatında olmalı ve belirli bir zaman aralığındaki yağış miktarını içermelidir. Akış verileri ise bir su havzasındaki veya akarsudaki akış miktarını ölçen istasyonlardan elde edilen verilerdir. Bu veriler, yağış-akış ilişkisini anlamak ve modellemek için hedef çıktı verileri olarak kullanılır. Akış verileri de zaman serisi formatında olmalı ve yağış verileriyle aynı zaman aralığında kaydedilmelidir. Ayrıca modelde yağış-akış ilişkisini etkileyebilecek diğer hidrolojik değişkenler de kullanılabilir [21]. Bu değişkenlere örnek olarak rüzgâr hızı, sıcaklık, bağıl nem, güneşlenme süresi ve atmosferik basınç gibi faktörler verilebilir. Her ne kadar YSA yöntemi için gereken temel veriler yağış ve akış verileri olsa da rüzgâr hızı, sıcaklık, bağıl nem, güneşlenme süresi, atmosferik basınç gibi verilerin modelleme doğruluğunu arttıracığı düşünülerek tamamlayıcı veriler olarak kabul edilebilirler.

Toplam buharlaşma hesaplaması, kurak ve yarı kurak bölgelerde su kaynakları yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu hesaplama işlemi, ya lizimetreler aracılığıyla doğrudan ölçümlerle gerçekleştirilir ya da bu ölçümlerin mümkün olmadığı durumlarda meteorolojik parametrelerden yararlanarak tahmini değerler elde edilir. Bu tahminler, deneye dayalı eşitlikler kullanılarak hesaplanır [22, 23]. Bu bağlamda Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü tarafından kabul edilen Penman-Monteith yöntemi en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Referans ürün için standart değerler Allen vd. [24] tarafından detaylandırılmıştır. Ayrıca, yağış-akış ilişkisinin hesaplanmasında da incelenen üçüncü yöntem olan Penman-Monteith yönteminin, lizimetrelerle ölçülen toplam buharlaşma değerlerine en yakın sonuçlar verdiği anlaşılmıştır [22, 23, 25]. Bu yöntem için gereken veriler arasında sıcaklık, bağıl nem, güneşlenme süresi ve ortalama rüzgâr hızı verileri yer almaktadır.

Ele alınan dördüncü yöntem, gelişen teknolojiyle birlikte giderek yaygınlaşan Amerika

Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı'na bağlı Hidroloji Mühendislik Merkezi (HEC) tarafından 1998 yılında geliştirilen [26] ve günümüze kadar güncellenerek gelen güvenilir bir hidrolojik modelleme (HMS) yöntemidir [27, 28]. HEC-HMS, yağış-akış ilişkilerini, su kaynaklarının yönetimini, hidrolojik süreçleri anlamak ve simüle etmek amacıyla kullanılmaktadır [29-33]. HEC-HMS yöntemi, farklı alt hesaplama yöntemlerini bir araya getiren bir model olduğu için kullanılacak veri seti ve parametreler, çalışmanın amacına, havza özelliklerine ve kullanılacak hesaplama yöntemlerine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir.

HEC-HMS yönteminde kullanılabilen veriler farklı başlıklar altında incelenebilir. Bu başlıklar şunlardır: yağış verileri, havza özellikleri, hidrolojik parametreler, su kaynakları verileri ve meteorolojik veriler. Yağış verileri, havza üzerinde gerçekleşen yağış miktarını temsil eder ve ideal olarak, havza içindeki farklı noktalardan veya ölçüm istasyonlarından elde edilmiş olmalıdır. Havza özellikleri ise havzanın fiziksel karakteristiklerini tanımlayan verilerdir. Örnek olarak havza alanı, havza çevresi, eğim ve ortalama havza yüksekliği gibi bilgiler bu kategoriye girer. Hidrolojik parametreler, yapılan analize bağlı olarak belirlenir ve sızma katsayısı, birikme süresi, akış katsayısı ve CN değeri gibi değerleri içerir. Su kaynakları verileri, havza içerisinde bulunan göller, rezervuarlar, sulama kaynakları gibi özelliklere ilişkin verileri içerir. Son olarak, iklim verileri sıcaklık, bağıl nem, güneşlenme süresi ve ortalama rüzgâr hızı gibi iklim parametrelerini içerir. Yağış-akış ilişkisinin incelenmesi için temel olarak yağış verilerinin bulunması gereklidir. Ancak, havzanın özellikleri (havza sınırları, havza alanı, çevresi, eğimi, ortalama yüksekliği vb.) ve varsa havzadaki dere sayısı ve dere sırası [34] gibi akarsu derecelendirmesinde kullanılan bilgilerin de modellenmenin doğruluğunu artırmak için önemli tamamlayıcı veriler olduğu düşünülmektedir .

Yağış-akış ilişkilerinde kullanılan yöntemlerin incelenmesi sonucunda, meteoroloji istasyonundan temin edilmesi gereken temel verilerin yağış, nem, rüzgâr hızı, güneşlenme süresi, atmosferik (barometrik) basınç olduğu tespit edilmiştir. Akım gözlem istasyonundan temin edilmesi gereken temel veriler ise akarsu debisi ve akış yüksekliğidir. Diğer temel veriler dere sayısı ve sırası, havza sınırları, hidrolojik toprak grupları ve arazi kullanımı verileridir.

### **3.2. Taşkın analizleri**

Taşkın analizleri kapsamında incelenen birinci yöntem SCS-CN yöntemidir. SCS-CN yöntemi, yağış-akış ilişkisi analizlerinde ve taşkın analizlerinde önemli bir rol oynar. Bu yöntem için gereken veriler yağış-akış analizleri başlığı altında incelenmiştir.

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi, çok kriterli karar verme yöntemlerinin en yaygın kullanılanıdır. Taşkın analizleri kapsamında incelenen bu yöntem, alternatif ve kriter sayısının fazla olduğu durumlarda karar verme mekanizmasını kontrol altında tutmayı ve mümkün olduğunca hızlı ve kolay bir sonuç elde etmeyi amaçlar. AHP, karar vericinin tüm alternatifleri tüm kriterler altında değerlendirerek, göreceli önemlerine göre ikili karşılaştırmalar yapmasına dayanır. Araştırmacıların önem verdikleri kriterlere göre kullandıkları parametreler değişkenlik gösterse de genel olarak bu yöntemde taşkın risk haritası elde etmek için kullanılan verilerin yağış, ortalama havza eğimi, arazi kullanımı, ortalama havza yüksekliği, havza sınırı, dere sayısı ve sırası, toprak geçirgenliği gibi hem morfolojik hem de iklimsel verilerden oluştuğu belirlenmiştir [35-37].

Taşkın analizleri kapsamında incelenen üçüncü ve son yöntem, HEC tarafından ilk olarak

1995 yılında geliştirilmiş [38] olan Nehir Analiz Sistemi (RAS) yöntemi ve yazılımıdır. Bu yazılım, taşkın modellemesi, akarsu taşmalarının değerlendirilmesi, taşkın zararlarının tahmin edilmesi ve akarsu koruma projelerinin tasarlanması için kullanılmaktadır. HEC-RAS, mühendislik, hidroloji, çevre ve su kaynakları yönetimi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılan bir yazılım olup akarsu taşmalarının yayılımını, akış hızlarını, akış derinliklerini, hidrolik kesit özelliklerini ve akış rejimini analiz etmek için bir dizi hesaplama aracı sunmaktadır. Ayrıca, su seviyesi-eğri eşleştirme, köprü hidroliği analizi, su baskını haritalama ve akarsu morfolojisi analizi gibi ek fonksiyonları da bulunmaktadır. Bu yöntemde Sayısal Yükseklik Modeli haritası ve bu haritadan üretilen verilere ek olarak arazi kullanım bilgisi ve akarsu debisi verisine ihtiyaç duyulmaktadır.

Taşkın analizlerinde temel olarak kabul edilen ve meteoroloji istasyonundan temin edilmesi gereken veriler yağış ve nem verileridir. Akım gözlem istasyonundan temin edilmesi gereken diğer temel veriler ise akarsu debisi ve akış yüksekliğidir. Hidrolojik toprak grupları, havza sınırları, havza sayısal yükseklik modeli, jeolojik birimler, akış yönü ve suyun görünür, kaybolur olduğu ya da akışın değiştiği doğal noktalar olarak tanımlanan [39] doğal su noktaları gibi veriler de diğer temel veriler arasında yer almaktadır. Toprak geçirgenliği verisi araştırmacının çalışma ölçeğine bağlı olarak değişebileceğinden özel veri olarak değerlendirilmiştir.

### 3.3. Hidrojeolojik analizler

Hidrojeolojik analizler, kuyu hidroliği ve akifere ait temel özellikler olarak iki ayrı başlık altında incelenmiştir. Kuyu hidroliği başlığı altında, statik su seviyesi, izin verilen maksimum çekim, dinamik su seviyesi, kuyu debisi, düşüm, kuyu verimi, kuyu çeşidi, kuyu yarıçapı gibi veriler yer almaktadır. Akifere ait temel özellikler başlığı altında ise, hidroiletkenlik katsayısı, depolama katsayısı, akiferin doymun kalınlığı, akifer türleri gibi veriler listelenmiş ve bu verilerin tamamı temel veriler olarak kabul edilmiştir.

### 3.4. Zamansal çözünürlüklerin belirlenmesi

Verilerin uygun zamansal çözünürlükle elde edilmesi, su kaynaklarının doğru yönetimi ve karar alma süreçlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Yağış-akış ilişkisini modellemek için kullanılacak verilerin minimum zamansal çözünürlüğü, projenin gereksinimlerine ve amaçlarına bağlıdır. Genel olarak, su kaynakları yönetimi için uygun olan zamansal çözünürlük, yağış ve akış verilerinin saatlik veya daha kısa periyotlarda elde edilmesini gerektirir. Ancak, veri toplama maliyetleri, ölçüm cihazlarının sınırlamaları ve bölgenin özellikleri gibi faktörler ile saatlik çözünürlüğün her zaman mümkün veya gerekli olmayan durumları da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle, bazı durumlarda, günlük veya daha düşük çözünürlükte yağış ve akış verileri kullanılarak genel bir değerlendirme yapılabilir. Bu sebeple yağış-akış ilişkileri için verilerden beklenen minimum zamansal çözünürlük “gün” olarak kabul edilmiştir.

Taşkın verilerinin yüksek doğrulukta analiz edilebilmesi için, verilerin uzun dönemli ve sık aralıklarla elde edilebilmesi gerekmektedir. Taşkınlar genellikle hızlı bir şekilde oluşan ve ani değişimler gösteren hidrolojik olaylardır. Özellikle yoğun yağışların olduğu saatlik veya daha kısa süreli periyotlarda taşkınlar meydana gelebilir. Bu nedenle, taşkın analizlerinde, taşkın olaylarının dinamiklerini daha iyi anlamak ve etkili bir şekilde modellemek için minimum saatlik çözünürlük gereklidir. Özel durumlar veya belirli araştırma ihtiyaçları doğrultusunda dakikalık veri çözünürlüğü gerekebilir, ancak genel durumlar için verilerin “saat” çözünürlüğünde olması uygun olarak kabul edilmiştir.

Hidrojeolojik analizlerde minimum zamansal çözünürlüğün “ay” olması gerektiği kabul edilmiştir. Bu, su kaynağının genel dinamiklerini anlamak ve yönetmek için yeterli bir süre aralığı sağlar. Aylık veri toplama, su seviyeleri, debi, basınç ve diğer hidrolojik değişkenlerin aylar içerisinde değişimlerini takip etmek için uygun bir ölçüdür. Aylık zamansal çözünürlük, su kaynağının daha yavaş değiştiği veya mevsimsel varyasyonlar gösteren sistemlerde kullanışlıdır. Örneğin, yer altı su kaynaklarının genellikle yavaş değişen karakteristiklere sahip olduğu düşünülmektedir. Bu durumda, aylık veriler, hidrojeolojik değişkenlerin mevsimsel eğilimlerini ve uzun vadeli trendlerini anlamak için yeterli olabilir. Ancak, hidrojeolojik analizlerde minimum zamansal çözünürlük seçimi, çalışmanın amacı, su kaynağının özellikleri ve yönetim ihtiyaçları gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir. Daha hızlı değişen sistemler veya daha detaylı analizler için daha kısa zamansal çözünürlükler gerekebilir. Bu nedenle, araştırmacılar ve uzmanlar, çalışma gereksinimlerini dikkate alarak kendileri için en uygun zamansal çözünürlüğü belirlemelidir.

#### 4. Araştırma bulgu ve sonuçları

Bu bölümde, literatür taraması yöntemiyle belirlenen temel verilerin TUCBS veri standartları içerisindeki bulunma durumlarının incelemesi yapılmıştır. TUCBS’de standardı belirlenmiş olan verilerin veri temaları, şemaları ve stereotipleri açıklanmıştır. Hem yağış-akış ilişkisi analizlerinde hem de taşkın analizlerinde ortak olan veriler tekrarlanmamak adına, bu ortak veriler sadece yağış-akış analizi başlığında ele alınmıştır.

##### 4.1. Yağış-akış ilişkisi analizleri

Yağış-akış ilişkisi analizlerinde kullanılan yöntemler detaylı bir şekilde incelenmiş, temel veriler belirlenmiş ve bu veriler Tablo 1’de sunulmuştur. Tabloya göre, TUCBS veri standartları içerisinde akım gözlem istasyonlarından temin edilmesi gereken akarsu debisi ve akış yüksekliği verilerinin yer almadığı tespit edilmiştir.

Diğer yandan, meteoroloji istasyonundan temin edilmesi gereken temel veriler arasında yağış, nem, rüzgâr hızı ve sıcaklık verileri yer almaktadır. Bu veriler standartlarda, *Atmosfer ve Meteoroloji Verileri* veri temasında *GozlemIstasyonOlcumDegerleri* (codelist) içinde *ToplamYagis*, *Nem*, *MaksimumRuzgarHizi*, *OrtalamaRuzgarHizi* ve *Sicaklik* öznitelikleri olarak verilmektedir. Ancak bu verilerin zamansal çözünürlükleri hakkında herhangi bir bilgi yer almamaktadır. Bu durum veri standartlarının saatlik, günlük ya da diğer zaman aralıklarındaki çözünürlüğünü belirleyecek ayrıntıları içermediğini göstermektedir.

Ayrıca, meteoroloji istasyonundan temin edilmesi gereken güneşlenme süresi, atmosferik basınç, global radyasyon gibi diğer temel verilerin TUCBS veri standartları içerisinde yer almadığı görülmektedir. Havzanın dere sayısı ve sırası ile havza sınırları verisi, standartlarda *Hidrografya* veri temasında *HidroHiyerarsiDuzeni* (data type) ve *DrenajHavzasi* (feature type) olarak verilmiştir. Arazi kullanımı verisi, standartlarda *Arazi Kullanımı* veri temasında *AraziKullanimiDegeri1000* (codelist) ve *AraziKullanimiDegeri5000* (codelist) olarak yer almaktadır. Ancak taşkın analizlerinde de kullanılan önemli bir veri olan hidrolojik toprak grupları verisinin standardı, TUCBS veri standartları kapsamında tanımlanmamıştır.

Tablo 1. Yağış – akış ilişkileri analizlerindeki temel verilerin TUCBS veri standartları kapsamında incelenmesi.

VERİLER		TUCBS			
		DURUM	TEMA	ŞEMA	STEREOTİP
Meteoroloji İstasyonu	Yağış	VAR	Atmosfer ve Meteoroloji Verileri	Atmosfer ve Meteoroloji Verileri	GozlemIstasyonOlcumDegerleri (codelist) içinde ToplamYagis
	Nem	VAR	Atmosfer ve Meteoroloji Verileri	Atmosfer ve Meteoroloji Verileri	GozlemIstasyonOlcumDegerleri (codelist) içinde Nem
	Rüzgâr hızı	VAR	Atmosfer ve Meteoroloji Verileri	Atmosfer ve Meteoroloji Verileri	GozlemIstasyonOlcumDegerleri (codelist) içinde MaksimumRuzgarHizi ve OrtalamaRuzgarHizi
	Sıcaklık	VAR	Atmosfer ve Meteoroloji Verileri	Atmosfer ve Meteoroloji Verileri	GozlemIstasyonOlcumDegerleri (codelist) içinde Sıcaklik
	Güneşlenme Süresi	-			
	Atmosferik Basınç	-			
	Global Radyasyon	-			
Akım Gözlem İstasyonu	Akarsu Debisi	-			
	Akış Yüksekliği	-			
Dere Sayısı ve Sırası		VAR	Hidrografya	Hidrografya Fiziksel Sular	HidroHiyerarsiDuzeni (data type)
Havza Sınırları		VAR	Hidrografya	Hidrografya Fiziksel Sular	DrenajHavzasi (feature type)
Arazi Kullanımı		VAR	Arazi Kullanımı	Arazi Kullanımı Sınıflandırma	AraziKullanimiDegeri1000 (codelist) AraziKullanimiDegeri5000 (codelist)
Hidrolojik Toprak Grupları		-			

#### 4.2. Taşkın analizleri

Bu bölümde taşkın analizlerinde kullanılan verilere ilişkin bilgilere yer verilmektedir. Tablo 2’de taşkın analizlerinde kullanılan temel veriler sunulmaktadır. Akım gözlem istasyonundan temin edilmesi gereken akarsu debisi ve akış yüksekliği verilerinin, TUCBS veri standartları içerisinde bulunmadığı gözlemlenmektedir. Öte yandan, diğer temel verilere bakıldığında; havzanın sayısal yükseklik modelinin *Yükseklik* veri temasında *YuzeyTipDegeri* (enumeration) içinde *sayisalYuzeyModeli* olarak, jeolojik birimler *Jeoloji* veri temasında *JeolojikBirim* (feature type) olarak, akarsu akış yönü ile doğal su noktalarının *Hidrografya* veri temasında *HatYonu* (data type) ve *DogalSuNoktalari* (feature type) olarak TUCBS veri standartları arasında yer aldığı görülmektedir.

Tablo 2. Taşkın analizlerindeki temel verilerin TUCBS veri standartları kapsamında incelenmesi.

VERİLER		TUCBS			
		DURUM	TEMA	ŞEMA	STEREOTİP
Meteoroloji İstasyonu	Yağış	VAR	Atmosfer ve Meteoroloji Verileri	Atmosfer ve Meteoroloji Verileri	GozlemIstasyonOlcumDegerleri (codelist) içinde ToplamYagis
	Nem	VAR	Atmosfer ve Meteoroloji Verileri	Atmosfer ve Meteoroloji Verileri	GozlemIstasyonOlcumDegerleri (codelist) içinde Nem
Akım Gözlem İstasyonu	Akarsu Debisi	-			
	Akış Yüksekliği	-			
Havza Sınırları		VAR	Hidrografya	Hidrografya Fiziksel Sular	DrenajHavzasi (feature type)
Havzanın Sayısal Yükseklik Modeli		VAR	Yükseklik	Yükseklik Grid Coverage	YuzeyTipDegeri (enumeration) içinde sayısalYuzeyModeli
Jeolojik Birimler		VAR	Jeoloji	Jeoloji	JeolojikBirim (feature type)
Akış Yönü		VAR	Hidrografya	Hidrografya Ağ	HatYonu (data type)
Akış Noktası		VAR	Hidrografya	Hidrografya Fiziksel Sular	DogalSuNoktalari (feature type)
Arazi Kullanımı		VAR	Arazi Kullanımı	Arazi Kullanımı Sınıflandırma	AraziKullanimiDegeri1000 (codelist) AraziKullanimiDegeri5000 (codelist)
Hidrolojik Toprak Grupları		-			

### 4.3. Hidrojeolojik analizler

Hidrojeolojik analizlerin incelenmesi, kuyu hidroliği ve akifer özellikleri çerçevesinde yapılmıştır. Buna göre Tablo 3'te de görülebileceği gibi, temel veriler içerisinde kabul edilen hidrojeolojik kuyu türü; diğer mühendislik dallarında açılan sondaj kuyularından ayrılarak, TUCBS veri standartları içinde *Jeoloji* veri temasında *HidrojeolojiSondajKuyusuAmacDegeri* (codelist) olarak tanımlanmıştır. TUCBS veri standartlarına göre, hidrojeoloji sondaj kuyusu amaç değerleri arasında acil su temini, araştırma, çevresel izleme, diğer, drenaj, endüstriyel su temini, içme suyu temini, sulama suyu temini, suni besleme, su seviyesi düşürme, yeraltısu kalite izleme ve yeraltısu seviyesi izleme türleri yer almaktadır [40].

Hidrojeolojik amaçlı açılmış bir yeraltısu kuyusuna ilişkin en önemli bilgiler arasında, kuyunun statik seviyesi, kuyudan yasal olarak izin verilen maksimum çekim, kuyu debisi, dinamik seviye, düşüm ve özgül debi bulunmaktadır. Ancak, bu verilerin TUCBS içerisinde standartlaştırılmış bir formatta yer almadığı gözlenmektedir. TUCBS standartlarına göre yeraltısu kuyusu geometrik olarak tanımlanabilmektedir, ancak kuyu log ve kütüklerinde önem taşıyan bu veriler, yeraltısu kuyusunun öznitelikleri olarak yer almamaktadır. TUCBS veri standartları incelendiğinde yeraltısu seviyesi, *Jeoloji* veri temasında *YeraltısuSeviyesi* (data type) içinde *YeraltısuYuzeyi* (union) olarak, kuyu debisi ( $m^3/gün$ ) ise aynı veri temasında *SondajKuyusu*'nun (feature type) *debi* özneliği olarak bulunmaktadır.



TUCBS veri standartları akifer özellikleri açısından incelendiğinde, *Jeoloji* veri teması içinde akifer, akıtar, akıfuj, akıklud ve akifer sistemleri gibi hidrojeolojik birimler için detay tiplerinin tanımlandığı görülmektedir. Akifer çeşitlerinin basınçlı negatif, basınçlı pozitif, serbest, tünük, yarı basınçlı gibi tanımlanabilmesi için *AkiferTipDegeri* (codelist) adında bir kod listesinin mevcut olduğu görülmektedir [40].

Tablo 3. Hidrojeolojik analizlerdeki temel verilerin TUCBS veri standartları kapsamında incelenmesi.

VERİLER	TUCBS			
	DURUM	TEMA	ŞEMA	STEREOTİP
Kuyu Türü	VAR	Jeoloji	Jeoloji	SondajKuyusuAmacDegeri (codelist) içinde HidrojeolojiSondajKuyusuAmacDegeri (codelist)
YAS Kuyusu	VAR	Jeoloji	Hidrojeoloji	YASKuyusu (feature type)
Statik Seviye	VAR	Jeoloji	Hidrojeoloji	YeraltisuSeviyesi (data type) içinde YeraltisuyuYuzeyi (union)
Kuyu Debisi (m <sup>3</sup> /gün)	VAR	Jeoloji	Jeoloji	SondajKuyusu (feature type)'ın özneliği debi
İzin Verilen Maks. Çekim	-			
Dinamik Seviye	-			
Düşüm	-			
Kuyu Verimi	-			
Özgül Debi	-			
Hidrojeolojik Birimler	VAR	Jeoloji	Hidrojeoloji	Akifer (feature type), AkiferSistemi (feature type), Akifuj (feature type), Akıklud (feature type), Akıtar (feature type)
Akifer Çeşitleri	VAR	Jeoloji	Hidrojeoloji	AkiferTipDegeri (codelist)
Akiferin Doygun Kalınlığı	VAR	Jeoloji	Hidrojeoloji	YeraltisuyuKutlesi (feature type)'ın özneliği doygunKalınlık
Depolama Katsayısı	VAR	Jeoloji	Hidrojeoloji	Akifer (feature type)'ın özneliği depolamaKatsayisi ve Akıtar (feature type)'ın özneliği yaklasikDepolamaKatsayisi
Hidrolik İletkenlik	VAR	Jeoloji	Hidrojeoloji	Akifer (feature type)'ın özneliği gecirimplilikKatsayisi ve Akıtar (feature type)'ın özneliği yaklasikGecirimplilikKatsayisi

## 5. Tartışma ve öneriler

Bu çalışmada, su kaynakları yönetimi için genel kabul gören yöntemler ve bu yöntemlerin uygulanması için gereken veriler incelenmiştir. Sonrasında, bu veriler içerisinde temel olarak değerlendirilen veriler ayrı bir şekilde listelenmiştir. Özel veriler, çalışmanın kapsamına, istenen detaylara ve mekânsal/zamansal çözünürlüğe bağlı olarak değişebilmektedir. Bu nedenle, bu özel verilerin TUCBS veri standartları içerisinde yer alması beklenmemiş ve sadece temel olarak kabul edilen veriler üzerinde araştırmalar yapılmıştır.

Yağış-akış ilişkisi ve taşkın analizlerinde kullanılan güneşlenme süresi, atmosferik basınç ve global radyasyon gibi temel meteorolojik veriler, TUCBS veri standartları içinde bulunmamaktadır. Yağış, nem, rüzgâr hızı ve sıcaklık verileri için standartlar tanımlanmıştır, ancak zamansal çözünürlük bilgisi bulunmamaktadır. Akım gözlem istasyonu verileri olan akarsu debisi ve akış yüksekliği verileri için de veri standartları bulunmamaktadır. Hidrolojik toprak grupları da yağış-akış ilişkisi ve taşkın analizlerinde kullanılan önemli verilerdir. Toprakların geçirgenliklerine göre A, B, C, D şeklinde sınıflandırılması ile hidrolik toprak grupları oluşmaktadır. Toprak grupları TUCBS veri standartları içerisinde *Toprak* veri teması altında yer almasına rağmen, hidrolik açıdan anlam taşımamaktadır.

Hidrojeolojik analizler açısından TUCBS veri standartlarına bakıldığında, hidrojeolojik amaçlarla açılan bir yeraltısuyu kuyusuna ait en önemli bilgiler arasında kuyunun statik seviyesi, izin verilen maksimum çekim, debi, dinamik seviye, düşüm ve özgül debi yer almaktadır. Ancak bu verilerin TUCBS veri standartları içinde yer almadığı görülmüştür. TUCBS’de statik seviye için *YeraltisuSeviyesi* (data type) içinde *YeraltisuyuYuzeyi* (union) tanımlanmaktadır. Gerçek hayatta yeraltısuyu seviyesi noktasal ölçümlere dayanmaktadır. Yeraltısuyu yüzeyinin TUCBS’de “union” olarak tanımlanması, yeraltısuyu seviyesinin noktasal olarak da toplanabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, statik seviye özniteliğinin yeraltısuyu kuyusu içerisinde olmasının daha doğru olacağı düşünülmektedir.

Hidroiletkenlik katsayısı ve depolama katsayısı, akifer veya akıttard içinde tanımlanabilecek alansal verilerdir. TUCBS standartlarına göre, bu katsayı değerleri *Akifer* (feature type) ve *Akittard* (feature type) içinde öznitelik olarak tanımlanmaktadır. Ancak akifer veya akıttardlar içinde birden çok jeolojik birim bulunabileceğinden, birden fazla hidroiletkenlik veya depolama katsayısı değeri tanımlanması gerekmektedir. Aynı zamanda bu katsayılar alanı temsil eden niceliksel değerler olsa da yeraltısuyu seviyesi ölçümlerinde olduğu gibi arazide açılan deney kuyuları aracılığıyla noktasal olarak ölçülmektedirler. Her iki durumu da dikkate alarak, hidroiletkenlik katsayısı ve depolama katsayısı için noktasal geometrinin kullanılabilmesi yeni bir detay tipinin oluşturulmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

Doygun kalınlık, akifere ait bir özelliktir ve TUCBS veri standartlarında *YeraltisuyuKutlesi* (feature type) içinde öznitelik olarak verilmiştir. Akiferin doymun kalınlığı da noktasal olarak ölçülebilen bir veri olduğu ve bir akifer içinde birden fazla doymun kalınlık verisi olabileceği düşünüldüğünde, bu veri için de noktasal geometrinin kullanılabilmesi yeni bir detay tipi oluşturulmasının yararlı olacağı söylenebilir.

TUCBS’nin su kaynakları yönetimindeki önemi ve etkinliği, yapılan araştırmalar ve değerlendirmeler sonucunda açıkça ortaya konmuştur. TUCBS'nin sağladığı standartlar, su kaynaklarının izlenmesi, analizi ve planlaması gibi kritik süreçlerde birlikte çalışabilirlik ve veri bütünlüğünü sağlayarak etkin karar almayı desteklemektedir. Bununla birlikte, veri standardı belirleme çalışmalarının sürekli gelişen bir süreç olduğu düşünüldüğünde TUCBS veri tanımlama dokümanlarının güncellenerek su kaynakları yönetiminde kullanılan tüm temel verileri ve zamansal çözünürlükleri içerecek şekilde yeni versiyonlarının yayınlanması önemlidir. Bu güncellemeler, su kaynakları yönetimindeki gelişmelere ve ihtiyaçlara uyum sağlayarak veri paylaşımı ve işbirliğini daha da güçlendirecektir.

**Kaynaklar**

- [1] Raghunath, H.M., **Hydrology: Principles, Analysis, Design, 3**, New Age International Publishers, New Delhi, (2006).
- [2] Monroe, J. S. ve Wicander, R., **Fiziksel Jeoloji Yeryuvarı'nın Araştırılması**, (Çevirenler: K. Dirik ve M. Şener, 5. Baskı), TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Ankara, (2007).
- [3] Donoso, M., Oki, T., Vairavamoorthy, K., Tindimugaya, C., Zubari, W. K., Browning, A. ve Zalewski, M., International Hydrological Programme (IHP) eighth phase: Water security: responses to local, regional and global challenges, Strategic plan IHP-VIII (2014-2021), UNESCO, (2012).
- [4] European Union, Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE). Official Journal of the European Communities, L108, (2007).
- [5] <https://inspire.ec.europa.eu/about-inspire/563>, (16.11.2021).
- [6] <https://yte.bilgem.tubitak.gov.tr/tr/haber/tucbs-calisma-gruplari-toplantilari-baslamistir>, (16.11.2021).
- [7] Ruiz-Alarcon-Quintero, C., Harmonization of Transport Data Sources According to INSPIRE Data Specification on Transport Networks, **Transportation Research Procedia**, **18**, 320-327, (2016).
- [8] Abramic, A., Bigagli, E., Barale, V., Assouline, M., Lorenzo-Alonso, A., ve Norton, C., Maritime spatial planning supported by infrastructure for spatial information in Europe (INSPIRE), **Ocean & Coastal Management**, **152**, 23-36, (2018).
- [9] Gunay, A., Akcay, O., ve Altan, M.O., Building a semantic based public transportation geoportal compliant with the INSPIRE transport network data theme, **Earth Science Informatics**, **7**, 1, 25-37, (2014).
- [10] Fernández-Freire, C., del-Bosque-González, I., Vicent-García, J.M., Pérez-Asensio, E., Fraguas-Bravo, A., Uriarte-González, A., Fábrega-Álvarez, P., ve Parcero-Oubiña, C., A Cultural Heritage Application Schema: Achieving Interoperability of Cultural Heritage Data in INSPIRE, **International Journal of Spatial Data Infrastructures Research**, **8**, 74-97, (2013).
- [11] Şehsuvaroğlu, M.S., Konumsal Web Servisleri İçin INSPIRE Metaveri Modelinin İrdelenmesi: TUCBS İçin Öneriler, **Harita Dergisi**, **151**, (2014).
- [12] Çoruhlu, Y.E., İnan, H.İ., Yılmaz, H., ve Demir, O., Geographic Data Model of Foundation Immovable, **Sigma Journal Engineering and Natural Sciences**, **33**, 4, 539-559, (2015).
- [13] Aydinoglu, A.C. ve Bovkir, R., Generic land registry and cadastre data model supporting interoperability based on international standards for Turkey, **Land Use Policy**, **68**, 59-71, (2017).
- [14] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, **Coğrafi Veri Temalarına İlişkin Tanımlama Dokümanları ve Standartlar Eğitim Dokümanı**, Ankara, (2021).
- [15] <https://cografiverisozlugu.tucbs.gov.tr/#/sema>, (27.02.2022).
- [16] <https://rehber.tucbs.gov.tr/tr/tan%C4%B1mlama-rehberi/cografiveri-temalarına-genel-bakis>, (19.11.2021).
- [17] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, **TUCBS Genel Kavramlar Sözlüğü**, Ankara, (2020).
- [18] Bayazıt, M., **Hidroloji**, Birsen Yayınevi, İstanbul, (2013).

- [19] Soil Conservation Service, **Hydrology - National Engineering Handbook Supplement A, Section 4, Chapter 10**, USDA, Washington, D.C, (1956, 1964, 1972, 1985, 1993).
- [20] <https://engineering.purdue.edu/mapserve/LTHIA7/documentation/scs.htm>, (21.11.2021).
- [21] Tekin, S. ve Çan, T., Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Ermenek Havzası'nın (Karaman) Kayma Türü Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi, **Bilge International Journal of Science and Technology Research**, **3**, 1, 21-28, (2019).
- [22] <https://mgm.gov.tr/tarim/referans-toplam-buharlasma.aspx?s=a#sfB>, (10.12.2021).
- [23] Şimşek, O., Mermer, A., Yıldız, H., Özaydın, K.A., ve Peşkirioğlu, M., Referans Toplam Buharlaşma (ETo) Normal Haritaları, Turkish State Meteorological Service, Ankara, (2019).
- [24] Allen, R.G., Jensen, M.E., Wright, J.L., ve Burman, R.D., Operational estimates of reference evapotranspiration, **Agronomy Journal**, **81**, 4, 650-662, (1989).
- [25] Mecham, B.Q., Scheduling turfgrass irrigation by various ET equations, **Proceedings, Irrigation International Conference**, San Antonio, (1996).
- [26] Hydrologic Engineering Center, **HEC-1 Flood Hydrograph Package: User's Manuel**, U.S. Army Corps of Engineers, Davis, CA, (1998).
- [27] Hydrologic Engineering Center, **HEC-HMS User's Manual**, U.S. Army Corps of Engineers, Davis, CA, (2021).
- [28] Halwatura, D. ve Najim, M.M.M., Application of the HEC-HMS model for runoff simulation in a tropical catchment, **Environmental Modelling & Software**, **46**, 152-162, (2013)
- [29] Chu, X. ve Steinman, A., Event and Continuous Hydrologic Modeling with HEC-HMS, **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, **135**, 1, 119-124, (2009).
- [30] Ramly, S. ve Tahir, W. Application of HEC-GeoHMS and HEC-HMS as Rainfall-Runoff Model for Flood Simulation, **Proceedings, ISFRAM 2015**, Springer Singapore, Singapore, (2016).
- [31] Anderson, M.L., Chen, Z.-Q., Kavvas, M.L., ve Feldman, A., Coupling HEC-HMS with Atmospheric Models for Prediction of Watershed Runoff, **Journal of Hydrologic Engineering** **7**, 4, 312-318, (2002).
- [32] Revell, N., Lashford, C., Blackett, M., ve Rubinato, M., Modelling the Hydrological Effects of Woodland Planting on Infiltration and Peak Discharge Using HEC-HMS, **Water**, **13**, 21, 3039, (2021).
- [33] Zema, D.A., Labate, A., Martino, D., and Zimbone, S.M., Comparing Different Infiltration Methods of the HEC-HMS Model: The Case Study of the Mésima Torrent (Southern Italy), **Land Degradation & Development**, **28**, 1, 294-308, (2017).
- [34] Mesta, B., Kargı, P.G., Tezyapar, İ., Ayvaz, M.T., Göktaş, R.K., Kentel, E., ve Tezel, U., Yenigörücü Havzası'ndaki yağış-akış ilişkisinin HEC-HMS hidrolik modeli ile belirlenmesi, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, **25**, 8, 949-955, (2019).
- [35] Hoque, M.A.-A., Tasfia, S., Ahmed, N., ve Pradhan, B., Assessing Spatial Flood Vulnerability at Kalapara Upazila in Bangladesh Using an Analytic Hierarchy Process, **Sensors**, **19**, 1302, 1-19, (2019).
- [36] Seejata, K., Yodying, A., Wongthadam, T., Mahavik, N., ve Tantanee, S., Assesment of flood hazard areas using Analytical Hierarchy Process over the

- Lower Yom Basin, Sukhothai Province, **Procedia Engineering**, **212**, 340-347, (2018).
- [37] Taş, E., Coğrafi Bilgi Sistemleri Teknikleri Kullanılarak Taşkın Risk Potansiyelinin Değerlendirilmesi, **İklim Değişikliği ve Çevre Dergisi**, 3, 1, 68-74, (2018).
- [38] Hydrologic Engineering Center, **HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual Version 1.0**, U.S. Army Corps of Engineers, Davis, CA, (1995).
- [39] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, **Hidrografya Teması Veri Tanımlama Dokümanı**, Ankara, (2020).
- [40] [https://tucbs.publicapi.csb.gov.tr/tucbs/tucbs\\_uml\\_model/index.htm?goto=2:19:2:1755](https://tucbs.publicapi.csb.gov.tr/tucbs/tucbs_uml_model/index.htm?goto=2:19:2:1755), (10.03.2022).

# Hayvancılık işletmelerinde atmosferik amonyak gazının AERMOD ile modellenmesi

Atilla MUTLU\*

Balikesir Üniversitesi Mühendislik Fak. Çevre Müh. Böl., Çağış Kampüsü, Balıkesir.

Geliş Tarihi (Received Date): 02.05.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 25.07.2023

## Öz

Amonyak ( $NH_3$ ) emisyonları, atmosferde insan sağlığı ve çevre üzerinde önemli etkileri olabilecek  $PM_{2.5}$  oluşumunda çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, daha önce bir süt sığırcılığı tesisinden atmosfere yayılan  $NH_3$  gazı emisyon değerleri kullanılarak, işletme için  $NH_3$  gazının saatlik ve günlük dağılımları modellenmiştir. İşletmeden salınan  $NH_3$  gazı AERMOD (The American Meteorological Society/Environmental Protection Agency Regulatory Model) ile modellenmiştir. AERMOD günümüzde endüstriyel alanlarla birlikte hayvancılık tesislerinden salınan hava kirleticilerinin etkilerini belirlemek için kullanılan USEPA onaylı bir hava kalitesi dağılım modelidir. Çalışma alanı, yaklaşık 2200 baş hayvana sahip ticari bir süt sığırcılığı işletmesidir. Modelleme sonucunda, işletmeden en yakın yerleşim alanına olan saatlik  $NH_3$  emisyon yükü yaklaşık  $19 \mu g/m^3$  ve günlük  $NH_3$  gazı emisyon etkisi yaklaşık  $4 \mu g/m^3$  olarak tahmin edilmiştir. Bu değerlerin hem Amerikan ve hem de Avrupa hava kalitesi yasal sınır değerlerinin oldukça altında kaldığı tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Hayvancılık tesisi, amonyak, AERMOD.

## Modeling of atmospheric ammonia gas from livestock farms with AERMOD

### Abstract

Ammonia ( $NH_3$ ) emissions play a very important role in the formation of  $PM_{2.5}$  in the atmosphere, which can have significant effects on human health and the environment. In this study, hourly and daily dispersions of  $NH_3$  gas for the dairy were modeled by using the  $NH_3$  gas emission values emitted from the dairy facility. The emitted  $NH_3$  gas from the operation has been modeled using AERMOD (The American Meteorological

\*Atilla MUTLU, amutlu@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-0777-0863>

*Society/Environmental Protection Agency Regulatory Model). AERMOD is an USEPA-approved air quality dispersion model employed to determine the impact of air pollutants released from industrial areas as well as livestock facilities. The study area is a commercial dairy farm with approximately 2200 head of animals. As a result of modeling, the hourly immission has been estimated to be approximately  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$  and the daily  $\text{NH}_3$  gas immission has been also estimated to be approximately  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  from the dairy to the nearest residential area. It has been determined that these estimated values are well below both the American and European air quality standards.*

**Keywords:** Livestock, ammonia, AERMOD.

## 1. Giriş

Hayvancılık işletmeleri, özellikle süt endüstrisi, küresel ekonomiye önemli bir katkı sağlamaktadır. Söz konusu işletmeler, hayvansal proteinin ve süt üretiminin temel kaynakları olarak değerlendirilir. Ancak bu sektör, son yıllarda, amonyak ( $\text{NH}_3$ ), hidrojen sülfid ( $\text{H}_2\text{S}$ ) ve metan ( $\text{CH}_4$ ) gibi zararlı gaz emisyonları başta olmak üzere önemli çevresel sorun kaynağı teşkil eden faaliyetler kapsamına dahil edilmiştir.

Amonyak gazı, atmosferdeki ince partiküllü maddenin ( $\text{PM}_{2.5}$ ) önemli bir öncüsüdür. Amonyak, kükürt dioksit ( $\text{SO}_2$ ) ve nitrojen oksitler ( $\text{NO}_x$ ) gibi diğer kirleticilerle reaksiyona girdiğinde,  $\text{PM}_{2.5}$ 'in ana bileşenleri olan amonyum sülfat  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  ve amonyum nitrat  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  oluşturabilir [1,2]. Amonyak, özellikle hayvancılık faaliyetlerinden ve gübre uygulamasından kaynaklanan emisyonlarının yüksek olduğu tarım alanlarında olmak üzere birçok bölgede  $\text{PM}_{2.5}$  oluşumuna önemli bir katkı sağlar. Bu durum, insan sağlığı ve çevre üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir [1].

Küresel ölçekte amonyak emisyonlarının %81'i tarımsal faaliyetlerden oluşmaktadır [1]. Amonyak emisyonları, küresel  $\text{PM}_{2.5}$  oluşumuna da önemli oranlarda rol oynamaktadır. Bu oran, Avrupa'da %50, Amerika Birleşik Devletleri'nde %30 ve Çin'de ise %25 civarındadır [3-5].

Amonyak gazı; gübre, idrar ve yataklık malzemelerinde organik nitrojenin parçalanması sırasında oluşan keskin kokulu renksiz bir gazdır [6]. Süt sığırı yetiştiriciliği yapılan hayvancılık tesislerinden kaynaklanan amonyak emisyonlarının birincil kaynakları, hayvanların yaşam alanları ve gübre depolama, taşıma ve bertaraf sistemleridir. Hayvancılıkta kullanılan en yaygın gübre depolama sistemi, sıvı gübrenin tutulduğu büyük bir açık hava havzası olan lagündür. Gübre daha sonra lagünün dışına pompalanır ve gübre olarak ekili araziye uygulanır. Gübrenin depolanması ve işlenmesi sırasında, özellikle gübrenin sıcaklık ve pH seviyelerinin arttığı sıcak yaz aylarında atmosfere amonyak salınabilir [6-9].

Amonyak gazı emisyonları, havadaki diğer kirleticilerle reaksiyona girerek solunum ve kardiyovasküler sağlık sorunlarıyla bağlantılı ince parçacıklı madde olarak nitelendirilen  $\text{PM}_{2.5}$  kirleticisinin oluşumuna etki etmektedir [9-11]. Ayrıca, yüksek düzeyde amonyaga maruz kalmak göz ve solunum yolu tahrişine neden olabilir ve aşırı durumlarda ölümcül olabilir [1,12,13].

Amonyak gazı emisyonları, süt endüstrisinde önemli bir çevre sorunudur. Süt inekleri tarafından üretilen büyük miktarda gübrenin bir sonucu olarak, gübre depolama ve işleme, hayvan barınakları ve besi alanlarından amonyak gazı ve diğer zararlı gazların yayılmasına neden olabilir. Hayvancılıkta kullanılan en yaygın gübre depolama sistemi, sıvı gübrenin tutulduğu büyük bir açık hava havzası olan lagündür [1,6,14].

Belirli bir kirletici kaynağından salınan kirleticileri karakterize etmek için hava kirleticilerine ait AERMOD (The American Meteorological Society/Environmental Protection Agency Regulatory Model) gibi dağılım modelleri yaygın olarak kullanılmaktadır [15,16]. Atmosferik dağılım modelleri, hava kirleticilerin atmosferdeki taşınmasını ve dağılımını simüle etmek için kullanılan bilgisayar programlarıdır. Bu modeller; rüzgar hızı, türbülans ve kararlılık dahil olmak üzere atmosferin davranışını açıklamak için matematiksel denklemler kullanır. AERMOD da, hayvancılık tesisleri de dahil olmak üzere endüstriyel kaynaklardan kaynaklanan hava kalitesi etkilerini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir atmosferik dağılım modelidir [15-17]. Model ayrıca, bu konsantrasyonların halk sağlığı standartlarını aşabileceği alanları belirlemek için de kullanılmaktadır [16].

Bu çalışmada, daha önce bir süt sığırcılığı tesisinden atmosfere yayılan amonyak gazı emisyon değerleri kullanılarak, belirli kaynaklardan yayılan amonyak gazının saatlik ve günlük dağılımları modellenmiştir. Elde edilen sonuçlar yasal limitler ile kıyaslanarak işletmenin, bölgede insan sağlığına ve çevreye olası etkileri incelenmiştir.

## 2. Materyal ve yöntem

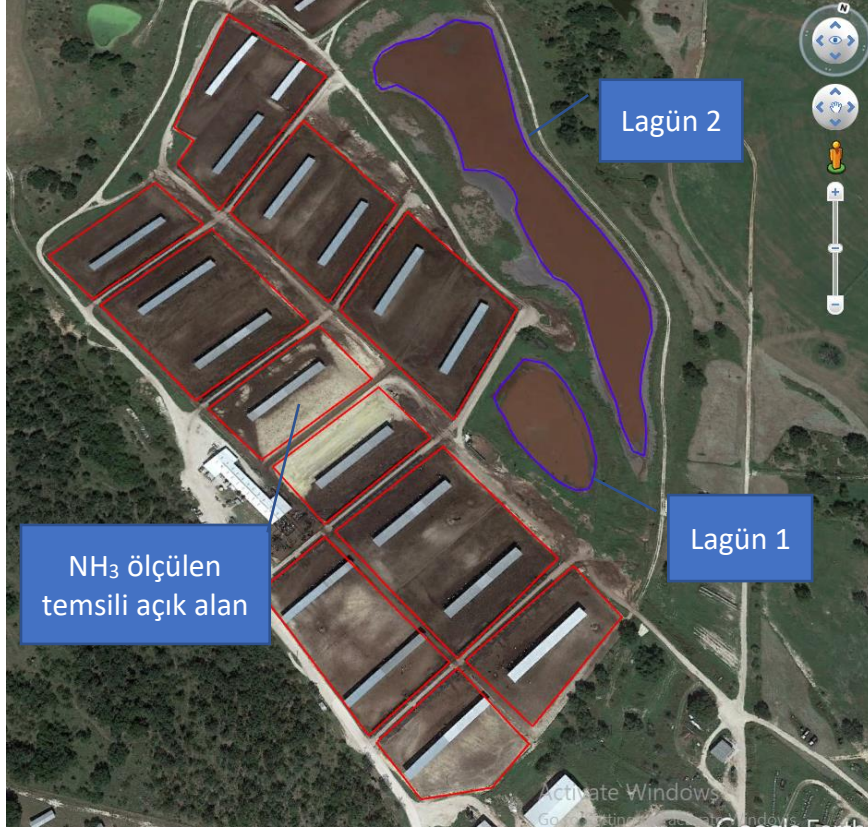
İşletme içinde gerçek zamanlı  $NH_3$  gazı konsantrasyonları ölçülmüş ve emisyonları hesaplanmıştır [14]. Ayrıca, söz konusu önceki çalışmaya ek olarak, atmosferik  $NH_3$  gazı dağılım modellerinin oluşturulduğu hayvancılık işletmesine ait bilgiler, ölçüm ve modelleme yöntemleri takip eden kısımlarda detaylı olarak açıklanmıştır.

### 2.1. Çalışma alanı

Çalışmaya konu olan hayvancılık tesisi Amerika Birleşik Devletleri'nin Texas eyaletinde bulunmaktadır. İşletmede, yaklaşık 2000 baş sağmal ve 200 baş kuruda ineğin bulunduğu, sundurmalı açık alanlardan oluşan süt sığırcılığı yapan bir işletmedir. Bu işletmede, Şekil 1'de gösterildiği üzere, bağımsız barınaklara sahip merkezi besleme ve sulama alanları olan 16 adet toprak tabanlı serbest gezinti alanlarından oluşmaktadır [14]. Her bir bölmede, gübrenin (dışkı ve idrar) çoğu serbest ahır tabanında birikmiş olsa da gübrenin ve prosten kaynaklanan atık suyun bir kısmı hayvanların yoğun olarak bulunduğu bekleme alanından (ineklerin geçici olarak sağım için bekletildiği alan) ve sağım haneden birincil lagüne taşınmaktadır. İkincil lagün, birincil lagünden arıtılmış atık suyu depolamak ve işletmeye ait merayı sulamak için kullanılmaktadır. Açık alan bölmelerinde, hayvanların beslendikleri kısımdaki beton yolda biriken gübre günde bir kez traktörler ile toplanıp daha sonra sahada lagünler ve açık alanlar arasında istiflenmektedir. İstiflenen gübre yığınları, yük kamyonları kullanılarak işletmeden uzaklaştırılmaktadır [14].

Bu çalışmada,  $NH_3$  gazı konsantrasyon ölçümleri gerçek zamanlı olarak Şekil 1'de gösterildiği üzere, rastgele seçilen bir açık alan yaşam bölümünde gerçekleştirilmiştir [14].





Şekil 1. Amonyak gazı ölçümü yapılan işletme ve ölçüm kaynaklarının gösterimi [14].

## 2.2. $NH_3$ emisyonları

İşletme içinde belirlenen açık alanlarda ölçülen gerçek zamanlı  $NH_3$  konsantrasyonları daha önce belirlenen ölçüm protokolüne göre [14], eşitlik (1) kullanılarak kütle konsantrasyonuna ( $C_{k\ddot{u}tle}$ ) dönüştürülmüştür.

$$C_{k\ddot{u}tle} = 1000 \times \left[ \frac{P}{RT} \right] \times C_{ppm} \times MW_{NH_3} \quad (1)$$

$C_{k\ddot{u}tle}$  : amonyak gazı kütle konsantrasyonu ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

R : gaz sabiti (0.08206 atm-L/gmol-K)

T : mutlak sıcaklık (K)

P : basınç (atm)

$C_{ppm}$  : ölçülmüş amonyak gazı hacimsel konsantrasyonu (ppm)

$MW_{NH_3}$ : amonyak gazı moleküler ağırlığı (17.03 g/mol)

Kütle konsantrasyonu, eşitlik (2) kullanılarak emisyon akılarına dönüştürülmüştür. Kullanılan hacimsel akış hızı bu örnekleme için 7 L/dk ve akı ölçüm ünitesinin “ayak izi” alanı  $0,192 \text{ m}^2$  olarak belirlenmiştir.

$$\theta_{NH_3} = \frac{C_{k\ddot{u}tle} \times V_{\theta}}{A_{\theta}} \quad (2)$$

$\theta_{NH_3}$  : amonyak gazı akısı ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{-s}$ )

$V_{\theta}$  : akı ölçüm ünitesine giden hacimsel akış (7 L/dak)

$A_{\theta}$  : akı ölçüm ünitesi alanı ( $0,192 \text{ m}^2$ )

Amonyak gazı emisyon oranlarını tahmin etmek için kütle konsantrasyonları ve emisyon akı değerleri bilinmelidir. Emisyon oranları, eşitlik (3) kullanılarak temsili ölçüm yapılan açık alan için amonyak gazı emisyon oranları hesaplanmıştır.

$$EO_{NH_3} = \theta_{NH_3} \times A \quad (3)$$

$EO_{NH_3}$  : amonyak gazı emisyon oranı ( $\mu\text{g/s}$ )

A : emisyon oranının hesaplandığı kaynak alanı ( $\text{m}^2$ )

### 2.3. AERMOD dağılım modeli

AERMOD, hava kirleticilerin atmosferdeki taşınmasını ve dağılmasını öngören, yaygın olarak kullanılan bir hava kalitesi dağılım modelidir. Emisyon kaynağından çeşitli mesafelerde bulunan alıcılardaki kirletici konsantrasyonunu hesaplamak için bir Gauss bulut modeli kullanır [15,16]. AERMOD, havadaki kirleticilerin konsantrasyonunu tahmin etmek için rüzgar hızı, rüzgar yönü, atmosferik kararlılık ve arazi engebeliği gibi çeşitli faktörleri hesaba katar [17-20]. AERMOD sonuçları literatürde yaygın bir şekilde doğrulanmıştır ve dünya çapındaki düzenleyici kurumlar tarafından geniş çapta kabul görmüştür [21]. AERMOD ayrıca, kırsal alanlarda bulunan hayvancılık tesisleri için önemli olabilecek dağılım üzerinde arazinin etkisini modelleme seçeneğini de içerir [18]. Genel olarak AERMOD gibi hava kalitesi dağılım modelleri, amonyak gazı emisyonlarının etkisini değerlendirmek için güvenilir ve sağlam bir çerçeve sağlar [19] ve insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkiyi azaltmak için etkili azaltma önlemlerinin belirlenmesine yardımcı olabilir [15-17].

AERMOD sürecinin çıktısı, insan sağlığı ve çevre üzerindeki potansiyel etkiyi değerlendirmek için kullanılabilen, çeşitli alıcı noktalarında tahmin edilen bir kirletici konsantrasyonu olarak değerlendirilmektedir [21,22]. AERMOD sürecinin, izleme, modelleme ve hafifletme önlemlerini içeren daha büyük bir hava kalitesi yönetim sisteminin bileşenlerinden yalnızca biri olduğuna dikkat etmek önemlidir. AERMOD sürecinin doğruluğu ve güvenilirliği, girdi verilerinin kalitesi ve modelleme sürecinde yapılan varsayımlar gibi çeşitli faktörlere bağlıdır [22]. Çalışma kapsamında elde edilen  $\text{NH}_3$  emisyonu dağılım modelleri sonuç kısmında sunulmuştur.

### 3. Sonuçlar ve tartışma

Çalışmanın yapıldığı işletmeye ait kirletici kaynakları olan açık alanlar ve lagünlere ait alansal bilgiler, akı ünitesi, amonyak gazı ölçüm ve hesaplanan akı, emisyon oranı ve emisyon faktörü değerleri Tablo 1’de sunulmuştur [14].

Tablo 1. İşletmeye ait amonyak gazı ölçüm değerleri.

Kirletici Kaynakları	Alan ( $\text{m}^2$ )	Akış (L/dk)	$\text{NH}_3$ (ppb)	$\text{NH}_3$ Kütle Konst. ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$\text{NH}_3$ Akı ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{-s}$ )	Emisyon Oranı (kg/gün)	Emisyon Faktörü (kg/yıl/baş)
Gezinti Alanları	102840	7.03 <sup>a</sup>	4178.1	2910.16	1.78	15.78	2.62
		0.02 <sup>b</sup>	65	45.27	0.03	0.25	0.04
Lagün-1	6275	6.6	22998.6	16019.15	9.18	4.98	0.83
		1.9 <sup>b</sup>	11427.7	7959.70	4.56	2.47	0.41

Tablo 1 (devamı)

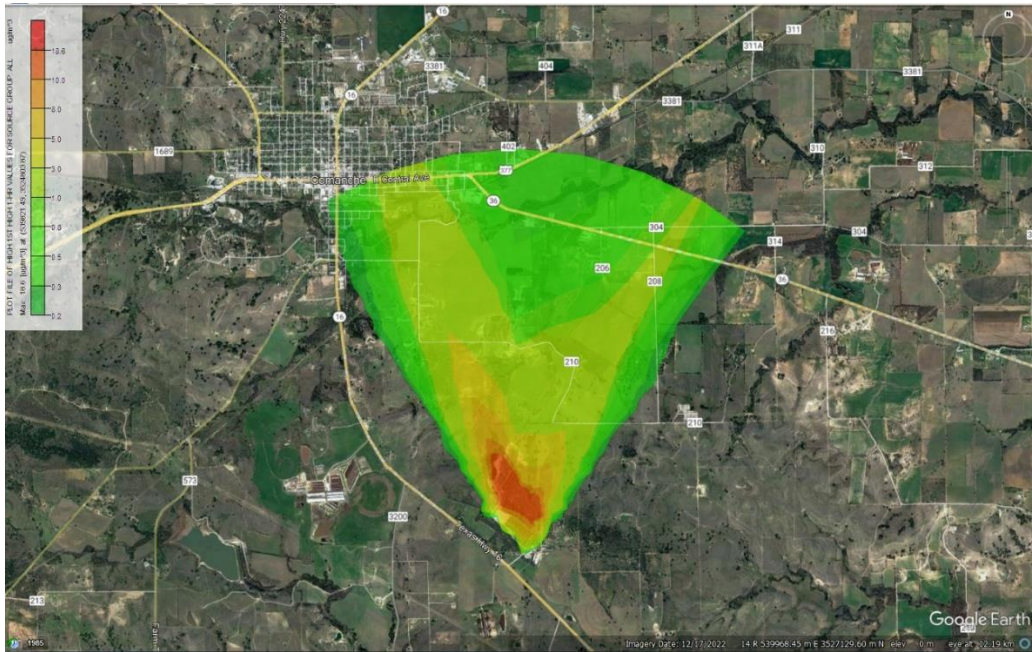
Lagün-2	46094	6.9	12700.9	8846.52	5.30	21.10	3.50
		0.4 <sup>b</sup>	1053.8	734.00	0.12	0.48	0.08
Toplam						41.9 <sup>c</sup>	6.9 <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Ortalama<sup>b</sup> 95% güven aralığı (CI)<sup>c</sup> Toplam

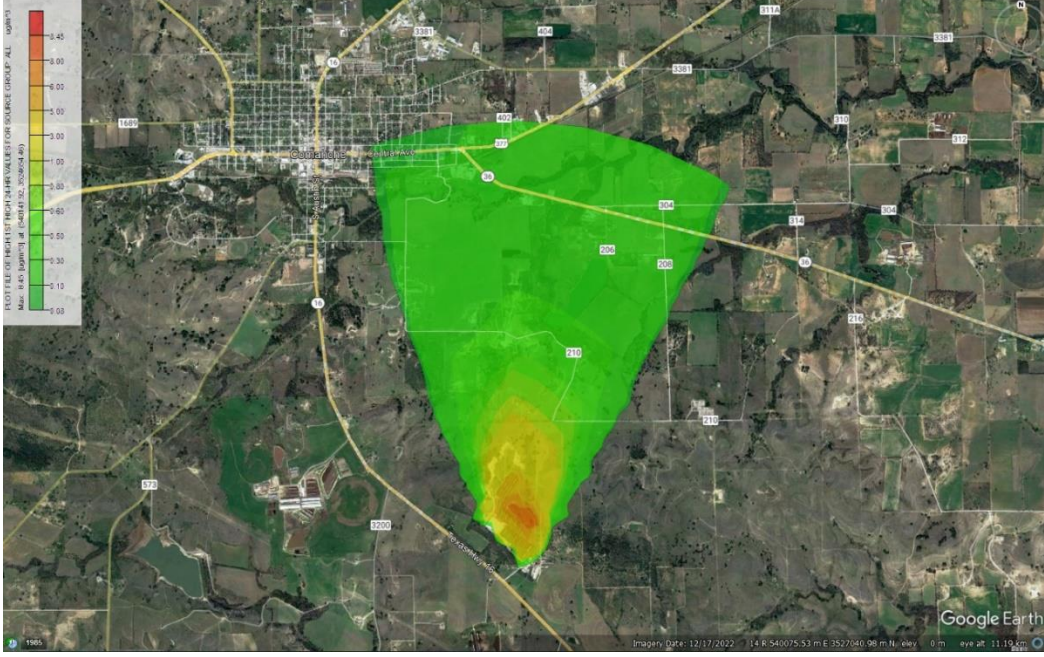
Ölçümler ve hesaplamalar sonucunda, işletmeden tüm kaynakların dahil edilmesiyle beraber emisyon oranı olarak yaklaşık olarak günlük 42 kg NH<sub>3</sub> gazı salımı yapıldığı tespit edilmiştir. Bu değer kullanılarak, hayvan başına yaklaşık olarak yıllık 7 kg civarında NH<sub>3</sub> salımı yapıldığı belirlenmiştir [14]. Amonyak gazı emisyonlarının kaynak bazlı dağılımları incelendiğinde, su içeriği çok yüksek olan atıkların depolandığı Lagün-2 kaynağı yaklaşık olarak %50 oranı ile ilk sırayı almaktadır. Hayvanların yaşam faaliyetlerini sürdürdüğü gezinti alanları bölmeleri yaklaşık %38 pay ile ikinci kaynak olarak belirlenmiştir. Ayrıca, en yüksek NH<sub>3</sub> konsantrasyonlarının ölçüldüğü (yaklaşık 23 ppm) ancak en küçük alana sahip olan Lagün-1 kaynağından ise yaklaşık %10'luk bir katkı olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, yaklaşık 2200 baş hayvana sahip ticari bir süt sığırları işletmesinden hava yolu ile dış ortama salınan NH<sub>3</sub> gazı yayılımı, AERMOD algoritması dağılım modelleri kullanarak saatlik ve günlük olarak oluşturulmuştur. Hayvancılık işletmesi için oluşturulan dağılım modeli sonucunda, NH<sub>3</sub> gazı emisyonlarının en yakın yerleşim alanına olan yeryüzü seviyesi konsantrasyonları saatlik ve günlük maksimum seviyeleri hesaplanarak sırasıyla Şekil 2. ve Şekil 3. de sunulmuştur.

İşletmeden yerleşim alanına olan NH<sub>3</sub> emisyonu dağılımı Şekil 2. de sunulmuştur. İşletmeye ait, saatlik NH<sub>3</sub> gazı emisyon dağılımları incelendiğinde; işletmeden en yakın yerleşim alanına olan NH<sub>3</sub> emisyon yükü yaklaşık 19 µg/m<sup>3</sup> olarak tahmin edilmiştir. Yine dağılım sonuçlarına göre, işletmeden salınan saatlik NH<sub>3</sub> emisyonlarının en yakın yerleşim alanına olan etkisi ise 3 µg/m<sup>3</sup>'den küçük olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2).

Şekil 2. Saatlik NH<sub>3</sub> emisyonu dağılımları.

Yine aynı işletmeye ait, günlük NH<sub>3</sub> gazı emisyon dağılımları incelendiğinde; işletmeden en yakın yerleşim alanına olan konsantrasyon emisyon etkisi yaklaşık 4 µg/m<sup>3</sup> olarak tahmin edilmiştir. İşletmeden yerleşim alanına olan günlük NH<sub>3</sub> dağılımı Şekil 3.'de sunulmuştur. Yine dağılım sonuçlarına göre, işletmeden salınan günlük NH<sub>3</sub> emisyonlarının en yakın yerleşim alanına olan etkisi ise 1 µg/m<sup>3</sup>'den küçük olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Günlük NH<sub>3</sub> gazı dağılımları.

Amerika Birleşik Devletleri'nde Mesleki Güvenlik ve Sağlık İdaresi (OSHA), amonyak gazı için 8 saatlik zaman ağırlıklı ortalama (TWA) olarak izin verilen maruz kalma sınırı (PEL) 50 ppm veya bir başka ifadeyle 35 mg/m<sup>3</sup> (1 ppm=0.70 mg/m<sup>3</sup>) olarak belirlemiştir [23, 24]. İngiltere'de İş Sağlığı ve Güvenliği İdaresi tarafından ise maruz kalma limiti 35 ppm veya bir başka ifadeyle 25 mg/m<sup>3</sup> olarak belirtilmiştir [25]. Ayrıca, Avrupa Birliği'nde, Avrupa İş Sağlığı ve Güvenliği Ajansı (EU-OSHA), amonyak gazı için 8 saatlik zaman ağırlıklı ortalama (TWA) olarak 20 ppm veya 14 µg/m<sup>3</sup> olarak belirtilmiştir [26].

Çalışmaya konu olan işletmeden, en yakın yerleşim alanına olan maksimum saatlik dağılım değeri olan 19 µg/m<sup>3</sup> ve ayrıca maksimum günlük dağılımı olan 4 µg/m<sup>3</sup> değeri hem Amerikan ve hem de Avrupa yasal sınır değerlerinin oldukça altında kaldığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu işletmeden salınan NH<sub>3</sub> emisyonu dağılımı göz önüne alındığında yerleşim alanı içinde insan sağlığını olumsuz etkileyecek bir etki tespit edilmemiştir.

Hayvancılık tesislerinden kaynaklanan NH<sub>3</sub> emisyonları civarda sadece tek bir işletme göz önüne alındığında insan sağlığı ve çevresel olarak sorun yaratmadığı düşünülebilir. Ancak, söz konusu işletmeden daha geniş ve daha çok sayıda ticari hayvancılık ve süt üretimi yapan işletmelerinin olduğu yerlerde hem insan sağlığı hem de hava kalitesi

özellikle PM<sub>2.5</sub> seviyeleri için ilerisi için daha kapsamlı ölçüm ve modelleme çalışmalarının yapılmasını gerektirmektedir.

AERMOD hava kalitesi dağılım modellerinin uygulama sürecinin sonunda elde edilen bulguların doğruluğu ve güvenilirliği; girdi verilerinin kalitesi ve modelleme sürecinde yapılan varsayımlar gibi çeşitli faktörlere bağlıdır [27, 28]. İşletmelerden kaynaklanan amonyak emisyonlarını azaltmak veya kontrol etmek için uygulanabilecek bazı işletme yönetimi uygulamalarına ihtiyaç olabilir. Bu uygulamalardan ham protein içeriğini azaltan ve yem verimliliğini artıran besleme stratejileri, hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanan amonyak emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilmektedir [28, 29], ayrıca, enzimler ve iyonoforlar gibi belirli besin takviyelerinin eklenmesi, yem verimliliğini artırabilir ve hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanan amonyak emisyonlarını azaltabilmekte [29] ve yine kapalı veya muhafazalı gübre deposu kullanma, gübre saçılması ve akmasının önlenmesi ayrıca tarım alanlarına uygun şekil ve zamanda gübre uygulamasını içeren gübre yönetimi, işletmelerden kaynaklanan amonyak emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilmektedir [28, 30].

Sonuç olarak NH<sub>3</sub> emisyonları, atmosferde insan sağlığı ve çevre üzerinde önemli etkileri olabilecek PM<sub>2.5</sub> oluşumunda çok önemli bir rol oynamaktadır. Amonyak emisyonlarının azaltılması, hava kalitesinin iyileştirilmesine ve PM<sub>2.5</sub> ile ilişkili sağlık etkilerinin azaltılmasına yardımcı olabilir. Amonyak ve PM<sub>2.5</sub> arasındaki ilişkiyi daha iyi anlamak ve hayvancılık kaynaklı, özellikle ülkemizde daha küçük ölçekli işletmelerin daha yoğun olduğu dikkate alındığında, NH<sub>3</sub> emisyonları için bir envanter alt yapısını hazırlanmak önem arz etmektedir. Hazırlanacak envantere göre, NH<sub>3</sub> emisyonlarını azaltmak için etkili stratejiler geliştirmek ve buna bağlı olarak ileride daha fazla araştırmaların yapılması gerekmektedir.

## Kaynaklar

- [1] Wyer, K.E., Kelleghan, D.B., Blanes-Vidal, V., Schauburger, G. ve Curran, T.P., Ammonia emissions from agriculture and their contribution to fine particulate matter: A review of implications for human health, **Journal of Environmental Management**, 323, 116285, (2022).
- [2] Giannakis, E., Kushta, J., Bruggeman, A., ve Lelieveld, J., Costs and benefits of agricultural ammonia emission abatement options for compliance with European air quality regulations, **Environ. Sci. Eur.**, 31 (1), 93, (2019).
- [3] Bauer, S.E., Tsigaridis, K., Miller, R., Significant atmospheric aerosol pollution caused by world food cultivation, **Geophys. Res. Lett.** 43, 5394–5400, (2016).
- [4] Behera, S., Sharma, M., Aneja, V.P., ve Balasubramanian, R., Investigating the potential role of ammonia in ion chemistry of fine particulate matter formation for an urban environment, **Sci. Total Environ.**, 408 (17), 3569–3575, (2010).
- [5] Han, X., Zhu, L., Liu, M., Song, Y., ve Zhang, M., Numerical analysis of the impact of agricultural emissions on PM<sub>2.5</sub> in China using a high-resolution ammonia emissions inventory, **Atmos. Chem. Phys. Discuss.**, 3, 1–31, (2020).
- [6] Behera, S. N., Sharma, M., Aneja, V. P., ve Balasubramanian, R. Ammonia in the atmosphere: a review on emission sources, atmospheric chemistry and deposition on terrestrial bodies, **Environmental Science And Pollution Research**, 20(11), 8092–8131, (2013).
- [7] Rotz, C.A., Management to reduce nitrogen losses in animal production. **Journal of Animal Science**, 82(13), E119–E137, (2004).

- [8] Hristov, A.N., Hanigan, M., Cole, A., Todd, R., McAllister, T.A., Ndegwa, P., ve Rotz, A., Review: ammonia emissions from dairy farms and beef feedlots. **Can. J. Anim. Sci.**, 9, 11–35, (2011).
- [9] Sutton, M.A., Erisman, J.W., Dentener, F., ve Moller, D., Ammonia in the environment: from ancient times to the present. **Environ. Pollut.**, 156(3), 583–604, (2008).
- [10] Xue, J., Lau, A.K., ve Yu, J.Z., A study of acidity on PM<sub>2.5</sub> in Hong Kong using online ionic chemical composition measurements, **Atmos. Environ.**, 45(39),7081–7088, (2011).
- [11] Brunekreef, B., Harrison, R.M., Künzli, N., Querol, X., Sutton, M.A., Heederik, D.J.J., ve Sigsgaard, T., Reducing the health effect of particles from agriculture. **Lancet Respir. Med.**, 3 (11), 831–832, (2015).
- [12] Thakrar, S.K., Balasubramanian, S., Adams, P.J., Azevedo, I.M.L., Muller, N.Z., Pandis, S. N., Polasky, S., , C. Arden Pope, I., Robinson, A.L., Apte, J.S., Tessum, C.W., Marshall, J.D., ve Hill, J.D., Reducing mortality from air pollution in the United States by targeting specific emission sources, **Environ. Sci. Technol. Lett.**, 7 (9), 639–645, (2020).
- [13] Pope, C.A., Burnett, R.T., Thun, M.J., Calle, E.E., Krewski, D., Ito, K., Thurston, G.D. Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-Term Exposure to Fine Particulate Air Pollution, **J. Am. Med. Assoc.**, 287, 1132–1141, (2002).
- [14] Mutlu, A., Characterization of Ammonia Emissions From Ground Level Area Sources at Central Texas Dairies, Doktora Tezi, Texas A&M University, Biological and Agricultural Engineering, Texas, A.B.D., (2007).
- [15] United States Environmental Protection Agency (USEPA), User’s Guide for the AMS/EPA Regulatory Model (AERMOD), Office of Air Quality Planning and Standards: Research Triangle Park, NC, USA, (2018).
- [16] Wu, C., Yang, F., Brancher, M., Liu, J., Qu, C., Piringer, M., ve Schaubberger, G., Determination of ammonia and hydrogen sulfide emissions from a commercial dairy farm with an exercise yard and the health-related impact for residents, **Environ. Sci. Pollut. Res.**, 27, 37684–37698, (2020).
- [17] O’Shaughnessy, P. T., ve Altmaier, R., Use of AERMOD to Determine a Hydrogen Sulfide Emission Factor for Swine Operations by Inverse Modeling, **Atmos. Environ.**, 45(27), 4617–4625, (2011).
- [18] Huang, D., ve Guo, H., Dispersion modeling of odour, gases, and respirable dust using AERMOD for poultry and dairy barns in the Canadian Prairies, **Science of The Total Environment**, 690, 620-628, (2019).
- [19] Karageorgos, P., Latos, M., Mpasiakos, C., Chalarakis, E., Dimitrakakis, E., Daskalakis, C., Psillakis, E., Lazaridis, M., ve Kalogerakis, N., Characterization and dispersion modeling of odors from a piggery facility, **J. Environ. Qual.**, 39 (6), 2170–2178, (2010).
- [20] Sarr, J.H., Goïta, K., ve Desmarais, C., Analysis of air pollution from swine production by using air dispersion model and GIS in Quebec, **J. Environ. Qual.**, 39 (6), 1975–1983, (2010).
- [21] Hayes, E.T., Curran, T.P., ve Dodd, V.A., A dispersion modelling approach to determine the odour impact of intensity poultry production units in Ireland, **Bioresour. Technol.**, 97 (15), 1773–1779, (2006).
- [22] Xing, Y., Guo, H., Feddes, J., Yu, Z., Shewchuck, S., ve Predicala, B., Sensitivities of four air dispersion models to climatic parameters for swine odor dispersion, **Trans. ASABE**, 50 (3), 1007–1017, (2007).

- [23] Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Ammonia, United States, Department of Labor, <https://www.osha.gov/chemicaldata/623> , (14.04.2023)
- [24] The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Pocket Guide to Chemical Hazards: Ammonia, U.S. Department of Health & Human Services, <https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0028.html> , (14.04.2023)
- [25] Health and Safety Executive (HSE). Workplace Exposure Limits, 3rd Edition, <http://www.hse.gov.uk/pubns/priced/eh40>, (14.04.2023).
- [26] European Chemical Agency (ECHA), Ammonia, <https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.028.760> , (14.04.2023).
- [27] Tahat, H., Gueneron, M., Pruitt, G., Ndegwa, P., ve Embertson, N., Regional Air Emissions Reduction from Dairy Operations Via Best Management Practices, **American Journal of Environmental Protection.**, 10(6), 158-165, (2021).
- [28] Nannan Zhang,N., Bai, Z., Winiwarter, W., Ledgard, S., Luo, J., Liu, J., Guo, Y., ve Ma., L., Reducing ammonia emissions from dairy cattle production via cost-effective manure management techniques in China, **Environmental Science & Technology**, 53 (20), 11840-11848, (2019).
- [29] Hristov, A.N., Heyler, K., Schurman, E., Griswold, K., Topper, P., Hile, M., Ishler, V., Fabian-Wheeler, E., ve Dinh, S., CASE STUDY: Reducing dietary protein decreased the ammonia emitting potential of manure from commercial dairy farms, **The Professional Animal Scientist**, 31(1), 68-79, (2015).
- [30] Xu, P., Zhang, Y., Gong, W., Hou, X., Kroeze, C., Gao, W., ve Luan, S., An inventory of the emission of ammonia from agricultural fertilizer application in China for 2010 and its high-resolution spatial distribution, **Atmospheric Environment**, 115, 141-148, (2015).

# Sheffer stroke branching of BCK-algebras

Tuğçe KATICAN\*

*İzmir University of Economics, Faculty of Arts and Sciences, Department of Math., Balçova, İzmir.*

*Geliş Tarihi (Received Date): 06.05.2023*

*Kabul Tarihi (Accepted Date):04.09.2023*

## Abstract

*The main objective of the study is to introduce branches of Sheffer stroke BCK-algebras due their specific elements. At the onset of the study, an atom of a Sheffer stroke BCK-algebra is defined and it is shown that the set of all atoms of the algebraic structure is its subalgebra. Then it is proved that specified subsets defined by atoms of a Sheffer stroke BCK-algebra are ideals but the inverses are not true in general. Moreover, a branch and a chain on a Sheffer stroke BCK-algebra are introduced and some properties are presented. Finally, relationships between aforementioned concepts are built and supported by illustrative examples.*

**Keywords:** *Sheffer stroke, Sheffer stroke BCK-algebra, ideal, atom, branch.*

## BCK-cebirlerinin Sheffer stroke dallanması

### Öz

*Bu çalışmanın temel amacı, belirli elemanları yardımıyla Sheffer stroke BCK-cebirlerinin dallarını tanıtmaktır. Çalışmanın başlangıcında, bir Sheffer stroke BCK-cebirinin bir atomu tanımlanarak bu cebirsel yapının tüm atomlarının kümesinin bu yapının bir altceberi olduğu gösterilmiştir. Ardından bir Sheffer stroke BCK-cebirinin bir atomu yardımıyla tanımlanan özel altkümelerinin bu cebirsel yapının idealleri olduğu fakat bu ifadenin tersinin genelde doğru olmadığı ispatlanmıştır. Dahası, bir Sheffer stroke BCK-cebiri üzerinde bir dal ve zincir tanımlanarak bazı özellikleri sunulmuştur. Son olarak, bahsi geçen yapılar arasındaki bağlantılar inşa edilmiştir ve bu bağlantılar açıklayıcı örneklerle desteklenmiştir.*

**Anahtar kelimeler:** *Sheffer stroke, Sheffer stroke BCK-cebiri, ideal, atom, dal.*

\* Tuğçe KATICAN, tugce.katican@izmirekonomi.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-1186-6750>



## 1. Introduction

In 1966, Imai and Iséki introduced the class of BCI-algebras in two ways. The first way is about the set theory; especially, a generalization of set-theoretic difference. The second way is about classical and non-classical propositional calculi. Then they defined the concept of BCK-algebras as a proper subclass of these algebras in the same year [1]. Recently, the concept of BCK-algebra draws attentions of scientists studying on several areas in mathematics such as group theory, functional analysis, probability theory, fuzzy set theory, topology, etc. Although the literature consists of several studies on BCK-algebras, importance seems to have been particularly attach to the ideal theory of BCK-algebras. For more details, recent studies [2-10] can be suggested in literature.

On the other side, H. M. Sheffer introduced Sheffer stroke known as NAND gate in logic, and is one of the two operators that can be used by itself to construct a logical formal system without any other logical operators [11]. The other one is Pierce arrow, called NOR gate in this field. Especially, Sheffer operator is utilised in computer science and algebra. In the first, it is used to have the single chip forming processor in a computer and to store and start up in flash memory disks. Therefore, there exist many patents about this operator in this field. Since it is simpler and cheaper than to produce different diodes for each distinct Boolean operations, the usage of Sheffer stroke is more and more preferable. In the second, this operator can be applied several logical algebras such as Boolean algebras [12], ortholattices [13], orthoimplication algebras [14], branches and obstinate SBE-filters of Sheffer stroke BE-algebras [15], Sheffer stroke BL-algebras and their neutrosophic structures [16-17], fuzzy filters of Sheffer stroke Hilbert algebras [18] and their fuzzy ideals with t-conorms [19], Sheffer stroke BCK-algebras [20] and their neutrosophic N-ideals [21]. Thus, Sheffer stroke provides to reduce the number of axioms in a system, and new and easily controllable axiom systems for many algebraic structures. However, this operator has some disadvantages so that the lengths of axioms or formulas with Sheffer stroke can be long, or the readability can be difficult.

The organization of the study is as follows: the next section presents essentials on BCK-algebras equipped with Sheffer stroke. In the third section, the main results are provided, and outcomes of the study are supported with illustrative examples. The results of the manuscript are new and novel, therefore, contribute the ongoing theory of pure mathematics regarding BCK-algebras and Sheffer stroke.

## 2. Preliminaries

In this section, fundamental concepts of BCK-algebras equipped by Sheffer operation are presented. In an attempt to facilitate readability, a statement  $\check{x}|\check{y}$  defined by Sheffer operation  $|$  is represented in the form  $\check{x}|\check{y} := \mathfrak{S}_0_{\check{x}\check{y}}$ , for any elements  $\check{x}$  and  $\check{y}$ .

**Definition 1.1.** [13] Let  $\mathcal{A} = (\mathfrak{A}, \mathfrak{S}_0)$  be a groupoid. The operation  $\mathfrak{S}_0$  on  $\mathfrak{A}$  is said to be a Sheffer stroke (*Sheffer operation*) if it satisfies the following:

- (S1)  $\mathfrak{S}_0_{\check{x}\check{y}} = \mathfrak{S}_0_{\check{y}\check{x}}$ ,
- (S2)  $\mathfrak{S}_0_{(\check{x}\check{x})(\check{x}\check{y})} = \check{x}$ ,
- (S3)  $\mathfrak{S}_0_{\check{x}(\check{y}\check{z})(\check{y}\check{z})} = \mathfrak{S}_0_{((\check{x}\check{y})(\check{x}\check{y}))\check{z}}$ ,
- (S4)  $\mathfrak{S}_0_{(\check{x}((\check{x}\check{x})|(\check{y}\check{y})))(\check{x}((\check{x}\check{x})(\check{y}\check{y})))} = \check{x}$

for all  $\check{x}, \check{y}, \check{z} \in \mathfrak{Z}$ .

**Lemma 1.2.** [13] Let  $\mathcal{A} = (\mathfrak{Z}, \mathfrak{S}_0)$  be a groupoid. Then a binary relation  $\leq$  defined on  $\mathfrak{Z}$  by

$$\hat{x} \leq \hat{y} \Leftrightarrow \mathfrak{S}_0_{\check{x}\check{y}} = \mathfrak{S}_0_{\check{x}\check{x}} \tag{1}$$

is an order on  $\mathfrak{Z}$ .

**Definition 1.3.** [20] A Sheffer stroke BCK-algebra is a structure  $(\mathfrak{Z}, \mathfrak{S}_0, 0)$  of type  $(2, 0)$ , where  $\mathfrak{Z}$  is a nonempty set and  $\mathfrak{S}_0$  is Sheffer stroke on  $\mathfrak{Z}$  such that the following identities are satisfied for all  $\check{x}, \check{y}, \check{z} \in \mathfrak{Z}$ :

$$\begin{aligned} \text{(sBCK-1)} \quad & \mathfrak{S}_0_{(((\check{x}(\check{y}\check{y}))(\check{x}(\check{y}\check{y})))\check{x}(\check{z}\check{z}))((\check{x}(\check{y}\check{y}))(\check{x}(\check{y}\check{y})))\check{x}(\check{z}\check{z}))}(\check{z}(\check{y}\check{y})) = \mathfrak{S}_0_{00}, \\ \text{(sBCK-2)} \quad & \mathfrak{S}_0_{(\check{x}(\check{y}\check{y}))(\check{x}(\check{y}\check{y}))} = 0 \text{ and } \mathfrak{S}_0_{(\check{y}(\check{x}\check{x}))(\check{y}(\check{x}\check{x}))} = 0 \text{ imply } \check{x} = \check{y}. \end{aligned}$$

For short, the notion of Sheffer stroke BCK-algebra is written as ssBCK-algebra.

**Lemma 1.4.** [20] Let  $(\mathfrak{Z}, \mathfrak{S}_0, 0)$  be a ssBCK-algebra. Then

- (1)  $\mathfrak{S}_0_{(\check{x}(\check{x}\check{x}))(\check{x}\check{x})} = \hat{x}$ ,
- (2)  $\mathfrak{S}_0_{(\check{x}(\check{x}\check{x}))(\check{x}(\check{x}\check{x}))} = 0$ ,
- (3)  $\mathfrak{S}_0_{\check{x}(((\check{x}(\check{y}\check{y}))(\check{y}\check{y}))(\check{x}(\check{y}\check{y}))(\check{y}\check{y}))} = \mathfrak{S}_0_{00}$ ,
- (4)  $\mathfrak{S}_0_{(00)(\check{x}\check{x})} = \check{x}$ ,
- (5)  $\mathfrak{S}_0_{\check{x}0} = \mathfrak{S}_0_{00}$ ,
- (6)  $\mathfrak{S}_0_{(\check{x}(00))(\check{x}(00))} = \check{x}$ ,
- (7)  $\mathfrak{S}_0_{(0(\check{x}\check{x}))(\check{0}(\check{x}\check{x}))} = 0$ ,
- (8)  $\mathfrak{S}_0_{(\check{x}(\check{y}(\check{z}\check{z}))(\check{y}(\check{z}\check{z})))((\check{y}(\check{x}(\check{z}\check{z}))(\check{x}(\check{z}\check{z})))\check{y}(\check{x}(\check{z}\check{z}))\check{x}(\check{z}\check{z})))} = \mathfrak{S}_0_{00}$ ,
- (9)  $\mathfrak{S}_0_{(\check{x}(\check{x}(\check{y}\check{y}))(\check{x}(\check{x}(\check{y}\check{y})))\check{y}\check{y})} = \mathfrak{S}_0_{00}$ ,

for all  $\check{x}, \check{y}, \check{z} \in \mathfrak{Z}$ .

**Lemma 1.5.** [20] Let  $(\mathfrak{Z}, \mathfrak{S}_0, 0)$  be a ssBCK-algebra. Then a relation  $\leq$  defined on  $\mathfrak{Z}$  by

$$\check{x} \leq \check{y} \text{ if and only if } \mathfrak{S}_0_{(\check{x}(\check{y}\check{y}))(\check{x}(\check{y}\check{y}))} = 0 \tag{2}$$

is a partial order on  $\mathfrak{Z}$ . With respect to this order, 0 is the least element of  $\mathfrak{Z}$ . Also,

$$\check{y} \leq \mathfrak{S}_0_{\check{x}(\check{y}\check{y})} \tag{3}$$

and

$$\check{x} \leq \check{z} \text{ implies } \mathfrak{S}_0_{(\check{x}(\check{y}\check{y}))(\check{x}(\check{y}\check{y}))} \leq \mathfrak{S}_0_{(\check{z}(\check{y}\check{y}))(\check{z}(\check{y}\check{y}))}, \tag{4}$$

for all  $\check{x}, \check{y}, \check{z} \in \mathfrak{Z}$ .

A ssBCK-algebra is called bounded if it has the greatest element 1.

**Lemma 1.6.** [20] Let  $(\mathfrak{J}, \mathfrak{S}_0, 0)$  be a ssBCK-algebra and  $\leq$  be an order on  $\mathfrak{J}$  as in Lemma 1.5. Then

- (1)  $\check{x} \leq \check{z}$  implies  $\mathfrak{S}_0_{(\check{y}(\check{z}\check{z}))(\check{y}(\check{z}\check{z}))} \leq \mathfrak{S}_0_{(\check{y}(\check{x}\check{x}))(\check{y}(\check{x}\check{x}))}$ ,
- (2)  $\mathfrak{S}_0_{((\check{x}(\check{y}\check{y}))(\check{x}(\check{y}\check{y}))) (\check{z}\check{z})} = \mathfrak{S}_0_{((\check{x}(\check{z}\check{z}))(\check{x}(\check{z}\check{z}))) (\check{y}\check{y})}$ ,
- (3)  $\mathfrak{S}_0_{(\check{x}(\check{y}\check{y}))(\check{x}(\check{y}\check{y}))} \leq \check{z} \Leftrightarrow \mathfrak{S}_0_{(\check{x}(\check{z}\check{z}))(\check{x}(\check{z}\check{z}))} \leq \check{y}$ ,
- (4)  $\mathfrak{S}_0_{(\check{x}(\check{y}\check{y}))(\check{x}(\check{y}\check{y}))} \leq \check{x}$ ,
- (5)  $\check{x} \leq \mathfrak{S}_0_{\check{y}(\check{x}\check{x})}$ ,
- (6)  $\check{x} \leq \mathfrak{S}_0_{(\check{x}(\check{y}\check{y}))(\check{y}\check{y})}$ ,
- (7)  $\check{x} \leq \check{y}$  implies  $\mathfrak{S}_0_{\check{z}(\check{x}\check{x})} \leq \mathfrak{S}_0_{\check{z}(\check{y}\check{y})}$ ,

for all  $\check{x}, \check{y}, \check{z} \in \mathfrak{J}$ .

Unless otherwise specified,  $\mathfrak{J}$  denotes a ssBCK-algebra.

**Definition 1.7.** [21] Let  $\mathfrak{B}$  be a nonempty subset of a ssBCK-algebra  $\mathfrak{J}$ . Then a structure  $(\mathfrak{B}, \mathfrak{S}_0, 0)$  is called a subalgebra of  $\mathfrak{J}$  if  $\mathfrak{S}_0_{(\check{x}(\check{y}\check{y}))(\check{x}(\check{y}\check{y}))} \in \mathfrak{B}$ , for all  $\check{x}, \check{y} \in \mathfrak{B}$ .

**Definition 1.8.** [21] A nonempty subset  $\check{I}$  of a ssBCK-algebra  $\mathfrak{J}$  is called an ideal of  $\mathfrak{J}$  if it satisfies the following properties:

- (I1)  $0 \in \check{I}$ ,
- (I2)  $\mathfrak{S}_0_{(\check{x}(\check{y}\check{y}))(\check{x}(\check{y}\check{y}))} \in \check{I}$  and  $\check{y} \in \check{I}$  imply  $\check{x} \in \check{I}$ , for all  $\check{x}, \check{y} \in \mathfrak{J}$ .

**Theorem 1.9.** [21] Let  $\check{I}$  be a subset of a ssBCK-algebra  $\mathfrak{J}$ . Then  $\check{I}$  is an ideal of  $\mathfrak{J}$  if and only if

- (I3)  $\check{x}, \check{y} \in \check{I}$  implies  $(\check{x}|\check{x})|(\check{y}|\check{y})\mathfrak{S}_0_{(\check{x}\check{x})(\check{y}\check{y})} \in \check{I}$ ,
- (I4)  $\check{x} \leq \check{y}$  and  $\check{y} \in \check{I}$  imply  $\check{x} \in \check{I}$ ,

for all  $\check{x}, \check{y} \in \mathfrak{J}$ .

### 3. Branches

In this section, atoms, branches and chains of ssBCK-algebras are introduced, and relationships between these concepts are investigated. Also, the concepts about branches were defined in the reference [22]. Unless otherwise specified,  $\check{x}^{\check{y}} := \mathfrak{S}_0_{(\check{x}(\check{y}\check{y}))(\check{x}(\check{y}\check{y}))}$ , for all  $\check{x}$  and  $\check{y}$  in these algebraic structures.

**Definition 3.1.** An element  $\check{e}$  of a ssBCK-algebra  $\mathfrak{J}$  is called an atom of  $\mathfrak{J}$  if  $\check{x} \leq \check{e}$  implies  $\check{x} = 0$  or  $\check{x} = \check{e}$ . The set of all atoms of  $\mathfrak{J}$  is denoted by  $\hat{\mathfrak{J}}$ .

**Example 3.2.** Consider a ssBCK-algebra  $\mathfrak{J}$  where the set  $\mathfrak{J} = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$  with Hasse diagram in Fig. 1 and the Sheffer stroke  $\mathfrak{S}_0$  on  $\mathfrak{J}$  has the Cayley table in Table 1 [20].

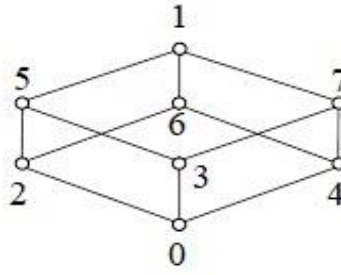


Figure 1. Hasse diagram of  $\mathfrak{B}$ .

Table 1. Table of the Sheffer stroke  $\mathfrak{S}_0$  on  $\mathfrak{B}$ .

$\mathfrak{S}_0$	0	1	2	3	4	5	6	7
0	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	0	7	6	5	4	3	2
2	1	7	7	1	1	7	7	1
3	1	6	1	6	1	6	1	6
4	1	5	1	1	5	1	5	5
5	1	4	7	6	1	4	7	6
6	1	3	7	1	5	7	3	5
7	1	2	1	6	5	6	5	2

Then 0, 2, 3 and 4 are atoms of  $\mathfrak{B}$ . Also,  $\tilde{\mathfrak{B}} = \{0, 2, 3, 4\}$ .

**Lemma 3.3.** A nonzero element  $\check{x}$  of a ssBCK-algebra  $\mathfrak{B}$  is an atom of  $\mathfrak{B}$  if and only if a subset  $\{0, \check{x}\}$  of  $\mathfrak{B}$  is an ideal of  $\mathfrak{B}$ .

**Proof.** Let  $\check{x}$  be a nonzero atom of a ssBCK-algebra  $\mathfrak{B}$ . It is obvious that  $0 \in \{0, \check{x}\}$ . Suppose that  $\check{y} \in \{0, \check{x}\}$  and  $\check{x}^{\check{y}} \in \{0, \check{x}\}$ . If  $\check{y} = 0$ , then  $\check{x} = \check{x}^0 = \check{x}^{\check{y}} \in \{0, \check{x}\}$  from Lemma 1.4 (6). Assume that  $\check{x}^{\check{y}} = 0$ . Then  $\check{x} \leq \check{y}$  from Lemma 1.5, and so,  $\check{x} \leq 0$  or  $\check{x} \leq \check{x}$ . Since  $\check{x}$  is an atom of  $\mathfrak{B}$ , it follows that  $\check{x} = 0$  or  $\check{x} = \check{x}$ , and so,  $\check{x} \in \{0, \check{x}\}$ . Thus,  $\{0, \check{x}\}$  is an ideal of  $\mathfrak{B}$ .

Conversely, let  $\{0, \check{x}\}$  be an ideal of  $\mathfrak{B}$ , and  $\check{x} \leq \check{x}$ , for any  $\check{x} \in \mathfrak{B}$ . Since  $\check{x}^{\check{x}} = 0 \in \{0, \check{x}\}$  from Lemma 1.5 and  $\check{x} \in \{0, \check{x}\}$ , it is obtained from (I2) that  $\check{x} \in \{0, \check{x}\}$ . Hence,  $\check{x} = 0$  or  $\check{x} = \check{x}$ . Therefore,  $\check{x}$  is an atom of  $\mathfrak{B}$ .

**Lemma 3.4.** Every ideal of a ssBCK-algebra  $\mathfrak{B}$  is a subalgebra of  $\mathfrak{B}$ .

**Proof.** Let  $\check{I}$  be an ideal of a ssBCK-algebra  $\mathfrak{B}$ , and  $\check{x}, \check{y} \in \check{I}$ . Since  $\check{x}^{\check{y}} \leq \check{x}$  from Lemma 1.6 (4), it follows from (I4) that  $\check{x}^{\check{y}} \in \check{I}$ . Then  $\check{I}$  is a subalgebra of  $\mathfrak{B}$ .

The following example illustrates that a subalgebra of a ssBCK-algebra is mostly not an ideal.

**Example 3.5.** Consider the ssBCK-algebra  $\mathfrak{Z}$  in Example 3.2. Then  $\{0, 1, 3, 6\}$  is a subalgebra of  $\mathfrak{Z}$  but it is not an ideal of  $\mathfrak{Z}$  since  $4 \notin \{0, 1, 3, 6\}$  when  $4^6 = 0 \in \{0, 1, 3, 6\}$  and  $6 \in \{0, 1, 3, 6\}$ .

By the following lemma, we shows cases in which a subalgebra of a ssBCK-algebra is an ideal.

**Lemma 3.6.** Every element of a ssBCK-algebra  $\mathfrak{Z}$  is an atom of  $\mathfrak{Z}$  if and only if every subalgebra of  $\mathfrak{Z}$  is an ideal of  $\mathfrak{Z}$ .

**Proof.** Let every element of a ssBCK-algebra  $\mathfrak{Z}$  be an atom of  $\mathfrak{Z}$ , and  $\mathfrak{B}$  be a subalgebra of  $\mathfrak{Z}$ . Then it follows from Lemma 1.4 (2) that  $0 = \check{x}^{\check{x}} \in \mathfrak{B}$ , for all  $\check{x} \in \mathfrak{B}$ . Assume that  $\check{y}, \check{x}^{\check{y}} \in \mathfrak{B}$ , for any  $\check{x}, \check{y} \in \mathfrak{Z}$ . Since  $\check{x}^{\check{y}} \leq \check{x}$  from Lemma 1.6 (4), it is obtained that  $\check{x}^{\check{y}} = 0$  or  $\check{x}^{\check{y}} = \check{x}$ . If  $\check{x}^{\check{y}} = 0$ , then  $\check{x} \leq \check{y}$  from Lemma 1.5. Thus,  $\check{x} = 0$  or  $\check{x} = \check{y}$ , and so,  $\check{x} \in \mathfrak{B}$ . If  $\check{x}^{\check{y}} = \check{x}$ , then  $\check{x} \in \mathfrak{B}$ . Hence,  $\mathfrak{B}$  is an ideal of  $\mathfrak{Z}$ .

Conversely, let every subalgebra  $\mathfrak{B}$  of  $\mathfrak{Z}$  be an ideal of  $\mathfrak{Z}$  and  $\check{\varepsilon}$  be an element of  $\mathfrak{Z}$  such that it is not an atom of  $\mathfrak{Z}$ . Then a subset  $\{0, \check{\varepsilon}\}$  of  $\mathfrak{Z}$  is not an ideal of  $\mathfrak{Z}$  from Lemma 3.3, and so, it is not a subalgebra of  $\mathfrak{Z}$ . Since  $\check{\varepsilon}^0 = \check{\varepsilon} \in \{0, \check{\varepsilon}\}$  and  $0^{\check{\varepsilon}} = 0 \in \{0, \check{\varepsilon}\}$  from Lemma 1.4 (6) and (7), we have that  $\{0, \check{\varepsilon}\}$  is a subalgebra of  $\mathfrak{Z}$ , which is a contradiction. Thus, every element of  $\mathfrak{Z}$  is an atom of  $\mathfrak{Z}$ .

**Lemma 3.7.** Let  $\check{\varepsilon}_1$  and  $\check{\varepsilon}_2$  be non-zero elements of a ssBCK-algebra  $\mathfrak{Z}$  such that  $\check{\varepsilon}_1 \neq \check{\varepsilon}_2$ . If  $\check{\varepsilon}_1$  and  $\check{\varepsilon}_2$  are atoms of  $\mathfrak{Z}$ , then  $\check{\varepsilon}_1^{\check{\varepsilon}_2} = \check{\varepsilon}_1$  and  $\check{\varepsilon}_2^{\check{\varepsilon}_1} = \check{\varepsilon}_2$ .

**Proof.** Let  $\check{\varepsilon}_1$  and  $\check{\varepsilon}_2$  be atoms of  $\mathfrak{Z}$  such that  $\check{\varepsilon}_1 \neq 0 \neq \check{\varepsilon}_2$ . Then  $\{0, \check{\varepsilon}_1\}$  and  $\{0, \check{\varepsilon}_2\}$  are ideals of  $\mathfrak{Z}$  from Lemma 3.3. Since  $\check{\varepsilon}_1^{\check{\varepsilon}_2} \leq \check{\varepsilon}_1$  and  $\check{\varepsilon}_2^{\check{\varepsilon}_1} \leq \check{\varepsilon}_2$  from Lemma 1.6 (4), it follows from (I4) that  $\check{\varepsilon}_1^{\check{\varepsilon}_2} \in \{0, \check{\varepsilon}_1\}$  and  $\check{\varepsilon}_2^{\check{\varepsilon}_1} \in \{0, \check{\varepsilon}_2\}$ . If  $\check{\varepsilon}_1^{\check{\varepsilon}_2} = 0$  or  $\check{\varepsilon}_2^{\check{\varepsilon}_1} = 0$ , i. e.,  $\check{\varepsilon}_1 \leq \check{\varepsilon}_2$  or  $\check{\varepsilon}_2 \leq \check{\varepsilon}_1$ , then it is obtained that  $\check{\varepsilon}_1 = \check{\varepsilon}_2$ , which is a contradiction. Thus,  $\check{\varepsilon}_1^{\check{\varepsilon}_2} = \check{\varepsilon}_1$  and  $\check{\varepsilon}_2^{\check{\varepsilon}_1} = \check{\varepsilon}_2$ .

The inverse of Lemma 3.7 does not generally hold.

**Example 3.8.** In Example 3.2,  $5^4 = 5$  and  $4^5 = 4$  but  $5 \notin \widehat{\mathfrak{Z}}$  when  $4 \in \widehat{\mathfrak{Z}}$ .

**Lemma 3.9.** The set  $\widehat{\mathfrak{Z}}$  of all atoms of a ssBCK-algebra  $\mathfrak{Z}$  is a subalgebra of  $\mathfrak{Z}$ .

**Proof.** Let  $\widehat{\mathfrak{Z}}$  be the set of all atoms of a ssBCK-algebra  $\mathfrak{Z}$ . Since 0 is the least element of  $\mathfrak{Z}$ , we have that  $0 \in \widehat{\mathfrak{Z}}$ . Assume that  $\check{\varepsilon}_1, \check{\varepsilon}_2 \in \widehat{\mathfrak{Z}}$ . If  $\check{\varepsilon}_1 = \check{\varepsilon}_2$ , then  $\check{\varepsilon}_1^{\check{\varepsilon}_2} = 0 \in \widehat{\mathfrak{Z}}$  or  $\check{\varepsilon}_2^{\check{\varepsilon}_1} \in \widehat{\mathfrak{Z}}$  from Lemma 1.4 (2). If  $\check{\varepsilon}_1 \neq \check{\varepsilon}_2$ , then  $\check{\varepsilon}_1^{\check{\varepsilon}_2} = \check{\varepsilon}_1 \in \widehat{\mathfrak{Z}}$  and  $\check{\varepsilon}_2^{\check{\varepsilon}_1} = \check{\varepsilon}_2 \in \widehat{\mathfrak{Z}}$  from Lemma 3.7.

However, the set  $\widehat{\mathfrak{Z}}$  of all atoms of a ssBCK-algebra  $\mathfrak{Z}$  is generally not an ideal of  $\mathfrak{Z}$ .

**Example 3.10.** In Example 3.2,  $\widehat{\mathfrak{Z}} = \{0, 2, 3, 4\}$  is a subalgebra of  $\mathfrak{Z}$  but it is not ideal of  $\mathfrak{Z}$  since  $7 \notin \widehat{\mathfrak{Z}}$  when  $7^3 = 4 \in \widehat{\mathfrak{Z}}$  and  $3 \in \widehat{\mathfrak{Z}}$ .

**Lemma 3.11.** For each atom  $\check{\alpha}$  of a ssBCK-algebra  $\mathfrak{Z}$ , a subset  $\underline{\check{\alpha}} = \{\check{x} \in A: \check{x} \leq \check{\alpha}\}$  of  $\mathfrak{Z}$  is an ideal of  $\mathfrak{Z}$ .

**Proof.** Let  $\check{\alpha}$  be an atom of a ssBCK-algebra  $\mathfrak{Z}$  and  $\underline{\check{\alpha}} = \{\check{x} \in A: \check{x} \leq \check{\alpha}\}$  be a subset of  $\mathfrak{Z}$ . Then  $\underline{\check{\alpha}} = \{0, \check{\alpha}\}$ . Thus,  $\underline{\check{\alpha}}$  is an ideal of  $\mathfrak{Z}$  by Lemma 3.3.

However, it is not necessary that  $\check{\alpha}$  is not an atom of a ssBCK-algebra when  $\underline{\check{\alpha}}$  is its ideal.

**Example 3.12.** Consider the ssBCK-algebra  $\mathfrak{Z}$  in Example 3.2. Then 5 is not an atom of  $\mathfrak{Z}$  when  $\underline{5} = \{0, 2, 3, 5\}$  is an ideal of  $\mathfrak{Z}$ .

**Lemma 3.13.** Let  $\mathfrak{Z}$  be a ssBCK-algebra and  $\leq$  be a partial order on  $\mathfrak{Z}$  as in Lemma 1.5. Then  $\check{x} \leq \check{y}$  implies  $\mathfrak{S}_{0\check{y}\check{z}} \leq \mathfrak{S}_{0\check{x}\check{z}}$ , for all  $\check{x}, \check{y}, \check{z} \in \mathfrak{Z}$ .

**Proof.** Let  $\check{x} \leq \check{y}$ . Then  $\check{x}\check{y} = 0$  from Lemma 1.5. Since

$$[(\mathfrak{S}_{0\check{y}\check{z}})^{\mathfrak{S}_{0\check{x}\check{z}}}]^{\check{x}\check{y}} = \left( [\check{z}^{\mathfrak{S}_{0\check{x}\check{x}}}]^{\check{z}^{\mathfrak{S}_{0\check{y}\check{y}}}} \right)^{(\mathfrak{S}_{0\check{y}\check{y}})^{(\mathfrak{S}_{0\check{x}\check{x}})}} = 0 \quad (5)$$

from (S1), (S2) and (sBCK-1), it follows Lemma 1.5 that  $(\mathfrak{S}_{0\check{y}\check{z}})^{\mathfrak{S}_{0\check{x}\check{z}}} \leq \check{x}\check{y} = 0$ . Since 0 is the least element of  $\mathfrak{Z}$ ,  $(\mathfrak{S}_{0\check{y}\check{z}})^{\mathfrak{S}_{0\check{x}\check{z}}} = 0$ . Thus,  $\mathfrak{S}_{0\check{y}\check{z}} \leq \mathfrak{S}_{0\check{x}\check{z}}$ , for all  $\check{x}, \check{y}, \check{z} \in \mathfrak{Z}$ .

**Lemma 3.14.** Let  $\mathfrak{Z}$  be a ssBCK-algebra and  $\leq$  be a partial order on  $\mathfrak{Z}$  as in Lemma 1.5. Then

- (1)  $\check{x}\check{y} = 0$  if and only if  $\mathfrak{S}_{0\check{x}\check{y}} = \mathfrak{S}_{0\check{x}\check{x}}$ ,
- (2)  $\check{x} \leq \check{y}$  if and only if  $\mathfrak{S}_{0\check{y}\check{y}} \leq \mathfrak{S}_{0\check{x}\check{x}}$ ,

for all  $\check{x}, \check{y} \in \mathfrak{Z}$ .

**Proof.**

- (1) Let  $\check{x}\check{y} = 0$ . Then  $\check{x} \leq \check{y}$  from Lemma 1.5. Since  $\mathfrak{S}_{0\check{x}\check{y}} = \mathfrak{S}_{0\check{y}\check{x}} \leq \mathfrak{S}_{0\check{x}\check{x}}$  and  $\mathfrak{S}_{0\check{x}\check{x}} \leq \mathfrak{S}_{0\check{y}(\mathfrak{S}_{0\check{x}\check{x}})\check{y}(\mathfrak{S}_{0\check{x}\check{x}})} = \mathfrak{S}_{0\check{x}\check{y}}$  from (S1), (S2), Lemma 3.13 and Lemma 1.6 (5), it follows that  $\mathfrak{S}_{0\check{x}\check{y}} = \mathfrak{S}_{0\check{x}\check{x}}$ , for all  $\check{x}, \check{y} \in \mathfrak{Z}$ .

Conversely, let  $\mathfrak{S}_{0\check{x}\check{y}} = \mathfrak{S}_{0\check{x}\check{x}}$ , for any  $\check{x}, \check{y} \in \mathfrak{Z}$ . Thus,  $\check{x}\check{y} = (\mathfrak{S}_{0\check{y}\check{y}})^{(\mathfrak{S}_{0\check{x}\check{x}})} = (\mathfrak{S}_{0\check{y}\check{y}})^{(\mathfrak{S}_{0\check{x}\check{y}})} = \check{x}^{(\mathfrak{S}_{0\check{y}\check{y}\check{y}\check{y}})} = \check{x}^{(\mathfrak{S}_{000})} = 0$  from (S1)-(S3), Lemma 1.4 (2) and (5).

- (2)  $\check{x} \leq \check{y} \Leftrightarrow 0 = \check{x}\check{y} = (\mathfrak{S}_{0\check{y}\check{y}})^{(\mathfrak{S}_{0\check{x}\check{x}})} \Leftrightarrow \mathfrak{S}_{0\check{y}\check{y}} \leq \mathfrak{S}_{0\check{x}\check{x}}$  from Lemma 1.5, (S1) and (S2).

**Theorem 3.15.** For each atom  $\check{\alpha}$  of a ssBCK-algebra  $\mathfrak{Z}$ , a subset  $\mathfrak{Z}_{\check{\alpha}} = \{\check{x} \in \mathfrak{Z}: \check{x}\check{\alpha} = \check{x}\}$  of  $\mathfrak{Z}$  is an ideal of  $\mathfrak{Z}$ .

**Proof.** Let  $\check{\alpha}$  be an atom of a ssBCK-algebra  $\mathfrak{Z}$ , and  $\mathfrak{Z}_{\check{\alpha}} = \{\check{x} \in \mathfrak{Z}: \check{x}\check{\alpha} = \check{x}\}$  be a subset of  $\mathfrak{Z}$ . It is obvious from Lemma 1.4 (7) that  $0 \in \mathfrak{Z}_{\check{\alpha}}$ . Assume that  $\check{y} \in \mathfrak{Z}_{\check{\alpha}}$  and  $\check{x}\check{y} \in \mathfrak{Z}_{\check{\alpha}}$ . Then  $\mathfrak{S}_{0\check{x}\check{x}} \leq \mathfrak{S}_{0(\mathfrak{S}_{0\check{\alpha}\check{\alpha}})^{(\mathfrak{S}_{0\check{x}\check{x}})}(\mathfrak{S}_{0\check{\alpha}\check{\alpha}})^{(\mathfrak{S}_{0\check{x}\check{x}})}} = \mathfrak{S}_{0\check{x}\check{\alpha}\check{\alpha}}$  from Lemma 1.6 (5), (S1) and (S2). Since

$$(\check{x}^{\check{x}^{\check{\alpha}}})^{\check{\alpha}} = (\check{x}^{\check{\alpha}})^{\check{x}^{\check{\alpha}}} = 0 \tag{6}$$

from Lemma 1.6 (2), (S1) and Lemma 1.4 (2), it is obtained from Lemma 1.5 that  $\check{x}^{\check{x}^{\check{\alpha}}} \leq \check{\alpha}$ . Since  $\check{\alpha}$  is an atom of  $\mathfrak{B}$ , it follows that  $\check{x}^{\check{x}^{\check{\alpha}}} = 0$  or  $\check{x}^{\check{x}^{\check{\alpha}}} = \check{\alpha}$ . Hence,

$$\mathfrak{S}_{\check{x}^{\check{x}^{\check{\alpha}}}\check{x}^{\check{\alpha}}} \leq \mathfrak{S}_{\check{x}\check{x}} \tag{7}$$

or

$$\check{\alpha} = \check{x}^{\check{x}^{\check{\alpha}}} = (\mathfrak{S}_{\check{x}^{\check{x}^{\check{\alpha}}}\check{x}^{\check{\alpha}}})^{(\mathfrak{S}_{\check{x}\check{x}})} \leq \mathfrak{S}_{\check{x}\check{x}} \tag{8}$$

from (S1), (S2), Lemma 1.4 (2), (7), Lemma 1.5 and Lemma 1.6 (2). So,  $\check{x}^{\check{\alpha}} = \check{x}$  from (S2) and Lemma 3.14. Therefore,  $\check{x} \in \mathfrak{B}_{\check{\alpha}}$ , and so,  $\mathfrak{B}_{\check{\alpha}}$  is an ideal of  $\mathfrak{B}$ .

But, the inverse of Theorem 3.15 is usually not true.

**Example 3.16.** Consider the ssBCK-algebra  $\mathfrak{B}$  in Example 3.2. Then  $\mathfrak{B}_6 = \{0, 3\}$  is an ideal of  $\mathfrak{B}$  but 6 is not an atom of  $\mathfrak{B}$ .

**Definition 3.17.** Let  $\mathfrak{B}$  be a bounded ssBCK-algebra. Then a subset  $B_{\check{x}} = \{\check{y} \in \mathfrak{B} : \check{y} \leq \check{x}\}$  of  $\mathfrak{B}$  is called a branch of  $\mathfrak{B}$ , where  $\check{x}$  is an atom of  $\mathfrak{B}$ . The element  $\check{x}$  is called initial for  $B_{\check{x}}$ . If there exists  $\check{y} \neq \check{z}$  such that  $B_{\check{x}} \subset B_{\check{y}}$ , then the branch  $B_{\check{x}}$  is called improper. Also, the branch  $B_{\check{x}}$  is called proper if there is not  $\check{z} \in \mathfrak{B}$  such that  $\check{z} < \check{x}$ . The set of all initial elements of proper branches of  $\mathfrak{B}$  is denoted by  $\widehat{I}_{\mathfrak{B}}$ . Obviously,  $\widehat{I}_{\mathfrak{B}} \subseteq \widehat{\mathfrak{B}}$ .

**Example 3.18.** Consider the ssBCK-algebra  $\mathfrak{B}$  in Example 3.2. Then  $\widehat{\mathfrak{B}} = \{0, 2, 3, 4\}$ ,  $B_0 = \mathfrak{B}$ ,  $B_2 = \{1, 2, 5, 6\}$ ,  $B_3 = \{1, 3, 5, 7\}$  and  $B_4 = \{1, 4, 6, 7\}$  shown in Fig. 2. Also, the branches  $B_2, B_3$  and  $B_4$  are improper but  $B_0$  is proper. Clearly,  $\widehat{I}_{\mathfrak{B}} = \{0\}$  is an ideal of  $\mathfrak{B}$ .

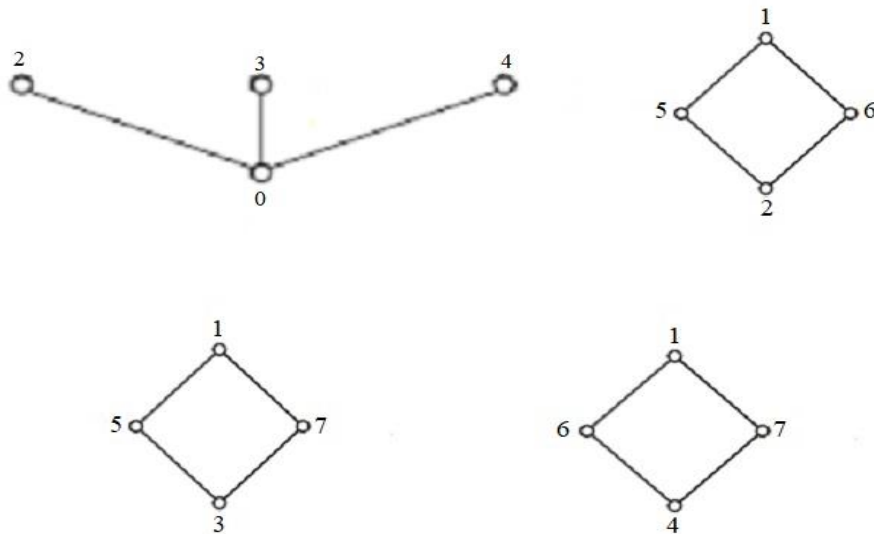


Figure 2. Hasse diagrams of  $\widehat{\mathfrak{B}}$ ,  $B_2$ ,  $B_3$  and  $B_4$ , respectively.

**Lemma 3.19.** Let  $\mathfrak{B}$  be a bounded ssBCK-algebra. Then  $B_0 = \mathfrak{B}$  and is a proper branch of  $\mathfrak{B}$ .

**Proof.** Let  $\mathfrak{B}$  be a bounded ssBCK-algebra. Since 0 is the least element of  $\mathfrak{B}$  and  $0 \in \tilde{\mathfrak{B}}$ , it follows that  $B_0 = \mathfrak{B}$ , and so, it is a proper branch of  $\mathfrak{B}$ .

**Theorem 3.20.** Let  $\mathfrak{B}$  be a bounded ssBCK-algebra. Then  $1 \in B_{\check{x}}$ , for all initials  $\check{x}$  of  $\mathfrak{B}$ .

**Proof.** Let  $\mathfrak{B}$  be a bounded ssBCK-algebra. Since 1 is the greatest element of  $\mathfrak{B}$ , it is obtained that  $\check{x} \leq 1$ , for all initials  $\check{x}$  of  $\mathfrak{B}$ . Then  $1 \in B_{\check{x}}$ , for all initials  $\check{x}$  of  $\mathfrak{B}$ .

**Corollary 3.21.** Let  $\mathfrak{B}$  be a bounded ssBCK-algebra. Then  $\mathfrak{B} = \cup B_{\check{x}}$ , for all initials  $\check{x}$  of  $\mathfrak{B}$ .

**Theorem 3.22.** Let  $\mathfrak{B}$  be a bounded ssBCK-algebra. Then  $\mathfrak{B} - B_{\check{x}}$  is an ideal of  $\mathfrak{B}$ , for all nonzero initials  $\check{x}$  of  $\mathfrak{B}$ .

**Proof.** Let  $\mathfrak{B}$  be a bounded ssBCK-algebra. Since 0 is the least element of  $\mathfrak{B}$ , it follows that  $0 \notin B_{\check{x}}$ , for all nonzero initials  $\check{x}$  of  $\mathfrak{B}$ . Then  $0 \in \mathfrak{B} - B_{\check{x}}$ , for all nonzero initials  $\check{x}$  of  $\mathfrak{B}$ . Assume that  $\check{y}, \check{x}^{\check{y}} \in \mathfrak{B} - B_{\check{x}}$ . Since  $\check{y}, \check{x}^{\check{y}} \notin B_{\check{x}}$ , it is obtained that  $\check{y} < \check{x}$  and  $\check{x}^{\check{y}} < \check{x}$ . Since  $\check{x}$  is an atom of  $\mathfrak{B}$ , we have that  $\check{y} = 0$  and  $\check{x}^{\check{y}} = 0$ . Thus,  $\check{x} = \check{x}^0 = \check{x}^{\check{y}} = 0 \in \mathfrak{B} - B_{\check{x}}$  from Lemma 1.4 (6). Hence,  $\mathfrak{B} - B_{\check{x}}$  is an ideal of  $\mathfrak{B}$ .

**Theorem 3.23.** Let  $\mathfrak{B}$  be a bounded ssBCK-algebra. Then  $\tilde{\mathfrak{B}}$  is a subalgebra of  $\mathfrak{B}$ .

**Proof.** Let  $\mathfrak{B}$  be a bounded ssBCK-algebra and  $\tilde{\mathfrak{B}}$  be defined as in Definition 3.17. Since  $B_0 = \mathfrak{B}$  is a proper branch of  $\mathfrak{B}$  from Lemma 3.22, we have  $0 \in \tilde{\mathfrak{B}}$ . Assume that  $\check{x}, \check{y} \in \tilde{\mathfrak{B}}$ . Since  $\check{x}$  and  $\check{y}$  are initials for proper branches  $B_{\check{x}}$  and  $B_{\check{y}}$ , respectively, it follows that  $\check{x}$  and  $\check{y}$  are atoms of  $\mathfrak{B}$ . Since  $\check{x}^{\check{y}} = \check{x} \in \tilde{\mathfrak{B}}$  and  $\check{y}^{\check{x}} = \check{y} \in \tilde{\mathfrak{B}}$  from Lemma 3.7, it is obtained that  $\tilde{\mathfrak{B}}$  is a subalgebra of  $\mathfrak{B}$ .

**Definition 3.24.** A nonempty subset  $\mathfrak{C}$  of a bounded ssBCK-algebra  $\mathfrak{B}$  is called a chain if any two elements of  $\mathfrak{C}$  are comparable. A chain initiated by  $\check{x}$  is denoted by  $\mathfrak{C}_{\check{x}}$ . If  $B_{\check{x}} = \mathfrak{C}_{\check{x}}$ , then the branch  $B_{\check{x}}$  is called linear. If  $B_{\check{x}}$  has at least two incomparable elements of  $\mathfrak{B}$ , then it is called expanded.

**Example 3.25.** Consider the ssBCK-algebra  $\mathfrak{B}$  in Example 3.2. Then  $\mathfrak{C}_0^1 = \{0, 1, 2, 5\}$ ,  $\mathfrak{C}_0^2 = \{0, 1, 3, 5\}$ ,  $\mathfrak{C}_0^3 = \{0, 1, 3, 6\}$ ,  $\mathfrak{C}_0^4 = \{0, 1, 2, 6\}$ ,  $\mathfrak{C}_0^5 = \{0, 1, 4, 6\}$  and  $\mathfrak{C}_0^6 = \{0, 1, 4, 7\}$  are chains of  $\mathfrak{B}$ , and  $\mathfrak{B} = \mathfrak{C}_0^1 \cup \mathfrak{C}_0^2 \cup \mathfrak{C}_0^3 \cup \mathfrak{C}_0^4 \cup \mathfrak{C}_0^5 \cup \mathfrak{C}_0^6$ . Also,  $\mathfrak{B}$  does not contain a linear branch. In particular, the branches  $B_2$ ,  $B_3$  and  $B_4$  are expanded branches of  $\mathfrak{B}$ .

**Example 3.26.** Consider a ssBCK-algebra  $\mathfrak{A}$  where  $\mathfrak{A} = \{0, \hat{a}, \hat{b}, 1\}$  with Hasse diagram in Fig. 3 and Sheffer stroke  $\mathfrak{S}$  on  $\mathfrak{A}$  with the Cayley table in Table 2 [20]:



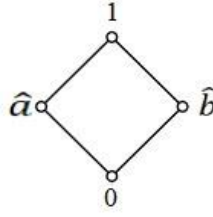


Figure 3. Hasse diagram of  $\mathfrak{L}$ .

Table 2. Table of the Sheffer stroke  $\mathfrak{S}_0$  on  $\mathfrak{L}$ .

$\mathfrak{S}_0$	0	$\hat{a}$	$\hat{b}$	1
0	1	1	1	1
$\hat{a}$	1	$\hat{b}$	1	$\hat{b}$
$\hat{b}$	1	1	$\hat{a}$	$\hat{a}$
1	1	$\hat{b}$	$\hat{a}$	0

Then  $B_{\hat{a}} = \mathfrak{C}_{\hat{a}}$  and  $B_{\hat{b}} = \mathfrak{C}_{\hat{b}}$  are linear branches of  $\mathfrak{L}$ . Also,  $\mathfrak{L} = B_0 = \mathfrak{C}_0^1 \cup \mathfrak{C}_0^2$  is an expanded branch.

**Remark 3.27.** Every bounded ssBCK-algebra is an expanded branch by Lemma 3.19.

**Theorem 3.28.** Let  $\mathfrak{B}$  be a bounded ssBCK-algebra. Then  $B_{\check{\varepsilon}} = \bigcup_{i=1}^n \mathfrak{C}_{\check{\varepsilon}}^i$ , for initials  $\check{\varepsilon}$  of  $\mathfrak{B}$ .

Proof. Straightforward.

#### 4. Conclusion

In this study, we introduce an atom, a branch and a chain of ssBCK-algebras and investigate several properties. Then it is shown that a nonzero element  $\check{\varepsilon}$  of a ssBCK-algebra is an atom if and only if a subset  $\{0, \check{\varepsilon}\}$  is an ideal, and that each element in a ssBCK-algebra is an atom if and only if each subalgebra of the structure is its ideal. We illustrate that  $\check{\varepsilon}_1^{\check{\varepsilon}_2} = \check{\varepsilon}_1$  and  $\check{\varepsilon}_2^{\check{\varepsilon}_1} = \check{\varepsilon}_2$  if  $\check{\varepsilon}_1$  and  $\check{\varepsilon}_2$  are nonzero distinct atoms of a ssBCK-algebra; however, the inverse does not usually hold, and that the set of all atoms of a ssBCK-algebra is its subalgebra. Also, we define specified sets  $\check{\alpha}$  and  $\mathfrak{B}_{\check{\alpha}}$ , for an element  $\check{\alpha}$  in a ssBCK-algebra, and prove that these subsets are ideals if the element  $\check{\alpha}$  is an atom of this algebraic structure but the inverse is usually not true. After that improper and proper branches of a bounded ssBCK-algebra are built by atoms, we state that every branch contains the greatest element 1 of a bounded ssBCK-algebra. It is demonstrated that the branch originated by the atom 0 of a bounded ssBCK-algebra equals to the algebra itself, and that this algebra is a union of its branches. Moreover, we indicate that the complements of branches of a bounded ssBCK-algebra are ideals, and that the set of all initial elements of proper branches of a bounded ssBCK-algebra is the subalgebra but it is not an ideal. At the end of the study, a chain, linear and expanded branches of a bounded ssBCK-algebra are introduced and it is illustrated that every bounded ssBCK-algebra is an expanded branch, and any branch is a union of chains initiated by an atom. Therefore,

we have achieved our aim to propound similarities and differences among other algebraic structures by studying on these specific subsets of ssBCK-algebras.

## References

- [1] Imai, Y. and Iséki, K., On axiom systems of propositional calculi, **XIV. Proceedings of the Japan Academy Series A: Mathematical Sciences**, 42, 1, 19-22, (1966).
- [2] Bordbar, H., Ahn, S. S., Zahedi, M. M. and Jun, Y. B., Semiring structures based on meet and plus ideals in lower BCK-semilattices, **Journal of Computational Analysis and Applications**, 23, 5, 945-954, (2017).
- [3] Bordbar, H. and Cristea, I., Height of prime hyperideals in Krasner hyperrings, **Filomat**, 31, 19, 6153–6163, (2017).
- [4] Bordbar, H., Cristea, I. and Novak, M., Height of hyperideals in Noetherian Krasner hyperrings, **University Politehnica of Bucharest Scientific Bulletin, Series A: Applied Mathematics and Physics**, 79, 2, 31-42, (2017).
- [5] Bordbar, H., Zahedi, M. M. and Jun, Y. B., Semi-prime and meet weak closure operations in lower BCK-semilattices, **Quasigroups and Related Systems**, 25, 41-50, (2017).
- [6] Bordbar, H., Zahedi, M. M., Ahn, S. S. and Jun, Y. B., Weak closure operations on ideals of BCK-algebras, **Journal of Computational Analysis and Applications**, 23, 2, 51-64, (2017).
- [7] Bordbar, H., Bordbar, M. R. and Jun, Y. B., A generalization of semidetached subalgebras in BCK/BCI-algebras, **New Mathematics and Natural Computation**, 15, 03, 489-501, (2019).
- [8] Bordbar, H., Jun, Y. B. and Song, S. Z. Homomorphic image and inverse image of weak closure operations on ideals of BCK-algebras. **Mathematics**, 8, 4, 567, (2020).
- [9] Bordbar, H., Novak, M. and Cristea, I. A note on the support of a hypermodule. **Journal of Algebra and Its Applications**, 19, 01, 2050019, (2020).
- [10] Song, S. Z., Bordbar, H. and Jun, Y. B., Quotient Structures of BCK/BCI-algebras induced by quasi-valuation maps, **Axioms**, 7, 2, 26, (2018).
- [11] Sheffer, H. M., A set of five independent postulates for Boolean algebras, with application to logical constants, **Transactions of the American Mathematical Society**, 14, 4, 481-488, (1913).
- [12] McCune, W., Veroff, R., Fitelson, B., Harris, K., Feist, A. and Wos, L., Short single axioms for Boolean algebra, **Journal of Automated Reasoning**, 29, 1, 1-16, (2002).
- [13] Chajda, I., Sheffer operation in ortholattices, **Acta Universitatis Palackianae Olomucensis Facultas Rerum Naturalium Mathematica**, 44, 1, 19-23, (2005).
- [14] Abbott, J. C., Implicational algebras, **Bulletin Mathématique de la Société des Sciences Mathématiques de la République Socialiste de Roumanie**, 11, 1, 3-23, (1967).
- [15] Katican, T., Branches and obstinate SBE-filters of Sheffer stroke BE-algebras, **Bulletin of the International Mathematical Virtual Institute**, 12, 1, 41-50, (2022).
- [16] Oner, T., Katican, T. and Borumand Saeid, A., BL-algebras defined by an operator, **Honam Mathematical Journal**, 44, 2, 18-31, (2022).

- [17] Katican, T., Oner, T., Rezaei, A. and Smarandache, F., Neutrosophic N-structures applied to Sheffer stroke BL-algebras, **Computer Modeling in Engineering & Sciences**, 129, 1, 355-372, (2021).
- [18] Oner, T., Katican, T. and Borumand Saeid, A., Fuzzy filters of Sheffer stroke Hilbert algebras, **Journal of Intelligent and Fuzzy Systems**, 40, 1, 759-772, (2021).
- [19] Oner, T., Katican, T. and Borumand Saeid, A., Fuzzy ideals of Sheffer stroke Hilbert algebras, **Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section A: Physical Sciences**, 93, 85-94, (2023).
- [20] Oner, T., Kalkan, T. and Borumand Saeid, A., Class of Sheffer stroke BCK-algebras, **Analele științifice ale Universității "Ovidius" Constanța. Seria Matematică**, 30, 1, 247-269, (2022).
- [21] Oner, T., Katican, T. & Rezaei, A., Neutrosophic N-ideals on Sheffer stroke BCK-algebras, **Journal of the Indonesian Mathematical Society**, 29, 1, 45-63, (2023).
- [22] Dudek, W. A., Karamdin, B. and Bhatti, S. A., Branches and ideals of weak BCC-algebras, **Algebra Colloquium**, 18, 1, 899-914, (2011).

# Yonga levha endüstrisi atık sularının kimyasal ön arıtımı ve yanıt yüzey yöntemi ile optimizasyonu

Yeliz SÜZEN\*, Ahmet GÜNAY

Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Çağış Kampüsü, Balıkesir.

Geliş Tarihi (Received Date): 17.07.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 04.09.2023

## Öz

Bu çalışmada yonga levha atık suyunun koagülasyon/flokülasyon yöntemiyle kimyasal ön arıtılabilirliği incelenmiştir. Çalışmada kullanılan parametreler ve seviyeleri Yanıt Yüzey Yöntemi (YYY) kullanılarak tasarlanmış ve sonuçlar optimize edilerek model denklemleri türetilmiştir. Çalışma kapsamında; koagülant olarak Flo30, flokülant olarak ise anyonik patates nişastası (APN, %1) kullanılmıştır. Bağımsız değişkenler olarak; başlangıç pH'sı (5-8), Flo30 koagülant dozu (6-12 ml/L), APN dozu (10-30 ml/L); bağımlı değişkenler olarak kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ,%), askıda katı madde (AKM,%), renk giderim verimleri (%) seçilmiştir. Her bir bağımlı değişkenin giderimini maksimum yapan şartlar ayrı ayrı belirlenmiş ve bu şartlarda doğrulama deneyleri yapılmıştır. Maksimum giderim şartlarında KOİ, AKM ve renk giderim verimleri sırasıyla; %56,83, %96,46, %83,2 olarak bulunmuştur. Elde edilen modellerin  $R^2$  değerleri ise sırası ile 0,9501, 0,9666 ve 0,9377 olmuştur. Yonga levha atık sularının ön arıtımında kimyasal arıtımın etkili bir metot olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Yonga levha atık suyu, koagülasyon, flokülasyon, optimizasyon.

## Chemical pretreatment of particle board industry wastewater and optimization by response surface method

### Abstract

In this study, the chemical pre-treatment of particle board waste water by coagulation/flocculation method was investigated. The parameters and levels used in the study were designed using the Response Surface Method (RSM), and the model equations were derived by optimizing the results. In the scope of the study; Flo30 was used as coagulant and anionic potato starch (APN, 1%) was used as flocculant. As independent variables; initial pH (5-8), Flo30 coagulant dose (6-12 ml/L), APN dose (10-30 ml/L);

\*Yeliz SÜZEN, yelizsuzen@balikesir.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-4059-4643>

Ahmet GÜNAY, agunay@balikesir.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-9499-9932>

*Chemical oxygen demand (COD,%), total suspended solids (TSS,%) and color removal efficiencies (%) were chosen as dependent variables. The conditions that maximize the removal of each dependent variable were determined separately and validation experiments were carried out under these conditions. Under maximum removal conditions, the COD, TSS and color removal efficiencies were found 56.83%, 96.46%, 83.2%, respectively. The  $R^2$  values of the models obtained were 0.9501, 0.9666 and 0.9377. It has been determined that chemical treatment is an effective method in the pre-treatment of particleboard wastewater.*

**Keywords:** Particleboard wastewater, coagulation, flocculation, optimization.

## 1. Giriş

Yonga levha; otsu materyal ya da odun yongalarının basınç ve ısı altında sentetik tutkalla sıkıştırılması sonucu oluşturulan kompozit bir malzemedir. Mobilya endüstrisi tarafından yoğun bir şekilde kullanılır [1]. Yonga levha üretiminde orman atıkları, yıllık bitkiler, tutkallar, suya ve böceklere dayanımı arttırmak için kullanılan katkı maddeleri kullanılmaktadır [2]. Yonga levha atık suları odun hammaddesinin kullanımından ötürü selülozik içerik olarak kağıt/kağıt hamuru üretimi atık suları ile benzerlik göstermektedir.

Uygun maliyetli, kullanım ve tasarımının kolay olması gibi avantajları nedeniyle koagülasyon/flokülasyon işlemi kentsel ve endüstriyel atık suların ön veya birincil arıtılmasında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [3]. Bu prosesin etkinliği; koagülant/flokülantın çeşidi ve dozu, pH, karıştırma süresi, karıştırma hızı, sıcaklık ve dinlendirme süresi gibi parametrelere bağlı olarak değişmektedir [4]. Demir klorür, demir sülfat, bakır sülfat, polialüminyum klorür vb. gibi inorganik metal tuzları atık suların arıtılmasında pıhtılaştırıcı olarak birçok araştırmada kullanılmıştır [5]. Selülöz içeren atık suların; kimyasal ön arıtım sonrası yapılan ozonlama, elektrooksidasyon ve membran arıtım gibi ileri arıtma prosesleriyle giderim verimlerini arttırdığı belirlenmiştir [6]. Literatürde farklı içerikteki atık suların kimyasal arıtımıyla ilgili çalışmalar yer almaktadır [7-10].

Yanıt Yüzey Yöntemi (YYY) süreçleri geliştirmek, iyileştirmek ve optimize etmek amacıyla yanıt ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkileri tek başına veya kombinasyon halinde tanımlamak için kullanılan istatistiksel ve matematiksel tekniklerin bir birleşimidir [11]. Bu deneysel yöntem, bağımsız değişkenlerin etkilerini analiz etmenin yanı sıra matematiksel bir model de üretir [12]. YYY prosesi ile sistemi etkileyen parametreler arasında etkileşim olup olmadığı, varsa hangi etkileşimin daha baskın olduğu ya da prosesin hangi bağımsız değişkene daha duyarlı olduğunu belirleyebilmektedir [13]. Yanıt değerinin değişimini veren ikinci dereceden polinom denklemi Denklem 1 de verilmiştir [4,14].

$$Y_m = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j} \sum_j b_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (1)$$

Burada sırasıyla;  $Y_m$  modellenecek yanıt değişkenini;  $\beta_0$ ,  $\beta_i$ ,  $\beta_{ii}$  ve  $\beta_{ij}$  model katsayılarını;  $X_i$ ,  $X_j$  bağımsız değişkenlerin kodlanmış değerlerini;  $\varepsilon$  ise hata terimini göstermektedir.

Denklem 1’de görüldüğü üzere YYY’nin matematiksel modelinde sırasıyla lineer parametreler, karesel ilişkiler ve ikili etkileşimler yer almaktadır. Son yirmi yıldır YYY; deneylerin tasarım, optimizasyon ve modellenmesinde, çok değişkenli deneysel tasarım metotları arasında büyük ilgi görmektedir [15]. Birçok araştırmada; farklı kirleticilerin elektrooksidasyon [16], fenton [12], fotofenton [17], adsorpsiyon [18] gibi farklı proseslerle gideriminde optimizasyon metotları uygulanmıştır.

Endüstriyel tesislerde üretim sürecinde kullanılan suyun geri kazanımı doğal kaynak korunması açısından çok önemlidir. Çevreye verilecek zararların azaltılması, atık su kalitesinin iyileştirilmesine bağlıdır [19]. Bu nedenle yüksek hacimde yoğun kirletici içeren endüstriyel atık suların geri kazanımı/yeniden kullanım alternatiflerinin oluşturulması ekonomik ve çevresel açıdan son derece önemlidir.

Bu çalışmada Flo30/APN kullanarak yonga levha atık suyunun kimyasal arıtım yöntemi ile ön arıtımı araştırılmıştır. KOİ, AKM ve renk giderimi üzerine başlangıç pH’sı, koagülant ve flokülant dozu gibi parametrelerin etkisi incelenmiştir. Flo30 koagülantı seçimi ile literatürde sıklıkla yer alan standart koagülantların dışına çıkılarak yeni bir koagülant etkinliği incelenmiştir. Flokülant olarak kullanılan anyonik patates nişastası ise çevreci, kullanımı kolay ve ucuz bir hammadde [7] olması nedeniyle tercih edilmiştir. Deneysel tasarımda YYY içinde yer alan merkezi kompozit tasarım (MKT) kullanılmış, uzay dışı seviyeleri de seçilerek tasarım oluşturulmuştur. Tasarımda belirlenen deneylerin sonuçları ile model sonuçları karşılaştırılmış ve kontrol deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca maksimum giderim şartlarındaki model denklemleri elde edilmiş, oluşturulan ANOVA tabloları ile model üzerinde etkili olan parametreler ve etki seviyeleri incelenmiştir.

## 2. Deneysel çalışmalar

### 2.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan yonga levha atık suyu, Manisa İlinde bulunan bir ağaç işleme tesisinin dengeleme havuzundan alınmıştır. Tesisten alınan yonga levha atık suyu numunesinin kirlilik karakteristikleri belirlenmiş ve elde edilen değerler Tablo 1’de gösterilmiştir. Yonga levha atık su numuneleri laboratuvarında 4°C’de muhafaza edilmiştir. Yonga levha atık suyunun pH’sı 0,01 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve 0,01 M NaOH çözeltileri kullanılarak deney tasarımında belirlenen başlangıç pH değerlerine ayarlanmıştır. Koagülant olarak Flo30 kimyasalı, flokülant olarak ise günlük taze hazırlanmış APN (%1’lik) kullanılmıştır.

Tablo 1. Atık su karakterizasyonu

Parametre	Konsantrasyon
pH	7,35
Toplam Kimyasal Oksijen İhtiyacı (TKOİ) (mg/L)	20650
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (ÇKOİ) (mg/L)	12600
Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ)(mg/L)	4509
Askıda Katı Madde (AKM) (mg/L)	5800
Renk (Pt-Co)	8700
Bulanıklık (NTU)	3275

## 2.2. Yöntem

Ön deneme çalışmaları ve literatür araştırmaları neticesinde deney tasarımında yer alacak bağımsız değişkenler ve bunların seviyelerine karar verilmiştir. YYY kullanılarak deneysel tasarım yapılmış ve tasarımda belirlenen şartlarda deneyler gerçekleştirilmiştir.

Koagülasyon/flokülasyon deneyleri, klasik jar testi düzeneğiyle (Velp Scientifica FC6S marka) yapılmıştır. Başlangıç pH ayarlaması yapılmış 500 mL'lik atık su numunelerine deneysel tasarımda yer alan dozlarda Flo30 koagülantı ilave edilmiş ve 5 dakika 120 rpm'de hızlı karıştırma yapılmıştır. Daha sonra yine tasarımda belirlenen dozda APN (%1'lik) ilave edilerek 20 dakika süreyle 30 rpm'de yavaş karıştırma işlemi uygulanmış ve numune 1 saat çökelmeye bırakılmıştır. Çökelme işleminin ardından beherlerdeki duru fazdan alınan örneklerde KOİ, AKM ve renk analizleri Standart Metotlara göre yapılmıştır [20]. KOİ, AKM ve renk giderim verimleri Denklem 2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Giderim \cdot Verimi, (\%) = \frac{C_0 - C_s}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

Denklemden;  $C_0$  başlangıç kirletici konsantrasyonu (mg/L, Pt-Co),  $C_s$  deney sonunda ortamda kalan kirletici konsantrasyondur (mg/L, Pt-Co).

## 2.3. Deneysel Tasarım

Deney tasarımında çıktı parametreleri (KOİ ( $Y_1$ ), AKM ( $Y_2$ ) ve renk ( $Y_3$ )) YYY'nin MKT'ı kullanılarak ayrı ayrı optimize edilmiştir. Bağımsız değişkenler olarak; başlangıç pH ( $X_1$ ), Flo30 koagülant dozu ( $X_2$ ) ve APN flokülant dozu ( $X_3$ ) ve bunların üç farklı seviyesi kullanılmıştır. Uzay dışı noktalarında yer aldığı tasarım seviyeleri ve değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Bağımsız değişkenler ve seviyeleri

Değişkenler	Birim	Kod	Seviyeler				
			- $\alpha$	-1	0	+1	+ $\alpha$
Başlangıç pH	-	$X_1$	3,5	5	6,5	8	9,5
Flo30 Dozu	ml/L	$X_2$	3	6	9	12	15
APN Dozu	ml/L	$X_3$	0	10	20	30	40

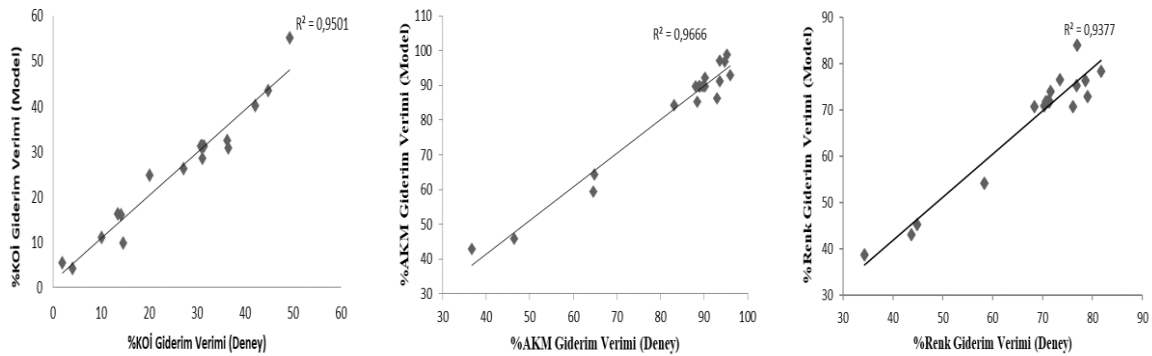
## 3. Sonuçlar ve tartışma

Deneyler, YYY'de yer alan MKT ile belirlenmiş olan deney tasarım matrisinde ki şartlara göre yapılmıştır. Deney şartları, bu şartlarda gerçekleştirilen deneylerde elde edilen KOİ, AKM ve renk giderim verimleri (%) ve model giderim verimleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Deney tasarımı ve kimyasal arıtım deney-model sonuçları

Deney No	Parametreler			KOİ Giderim Verimi,% Deney	KOİ Giderim Verimi,% Model	AKM Giderim Verimi,% Deney	AKM Giderim Verimi,% Model	Renk Giderim Verimi,% Deney	Renk Giderim Verimi,% Model
	Başlangıç pH (X <sub>1</sub> )	Flo30 Dozu, ml/L (X <sub>2</sub> )	APN, ml/L (X <sub>3</sub> )						
1	5	6	10	36,49	30,83	92,91	86,29	79,01	72,99
2	8	6	10	4,08	4,33	46,38	45,74	43,70	43,05
3	5	12	10	42,06	40,09	94,71	96,78	81,68	78,38
4	8	12	10	13,47	16,24	89,69	89,78	71,62	74,07
5	5	6	30	36,32	32,58	88,47	85,32	76,10	70,75
6	8	6	30	10,14	11,14	64,52	59,44	44,90	45,29
7	5	12	30	44,82	43,60	93,54	91,13	78,63	76,38
8	8	12	30	20,13	24,81	95,23	98,79	73,45	76,56
9	3,5	9	20	49,25	55,05	93,65	97,21	76,97	83,97
10	9,5	9	20	14,58	9,75	64,81	64,32	58,30	54,20
11	6,5	3	20	1,93	5,51	36,74	42,95	34,33	38,68
12	6,5	15	20	31,06	28,45	95,94	92,79	76,79	75,34
13	6,5	9	0	14,17	15,98	83,13	84,18	68,38	70,68
14	6,5	9	40	27,16	26,31	90,21	92,22	70,35	70,94
15	6,5	9	20	30,91	31,28	88,82	89,79	71,27	71,82
16	6,5	9	20	32,94	31,28	90,14	89,79	71,36	71,82
17	6,5	9	20	31,08	31,28	89,07	89,79	71,05	71,82
18	6,5	9	20	30,77	31,28	88,07	89,79	70,70	71,82

Deneyler sonucunda; %KOİ giderimi verimi 1,93 ile 44,82 arasında değişirken, %AKM giderimi verimi 36,74 ile 95,94 arasında değişmiş, %Renk giderim verimi ise 34,33 ile 79,01 arasında gerçekleşmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar ile modelin tahmin ettiği sonuçlar arasındaki ilişkinin gösterildiği korelasyon grafikleri Şekil 1’de yer almaktadır.



Şekil 1. Sırasıyla %KOİ, %AKM ve %Renk giderim verimleri için deney ve model verilerinin korelasyon grafikleri



Şekil 1'e göre deney sonuçları ve model sonuçları arasında uyumlu bir ilişki görülmektedir. Maksimum giderim şartlarında ayrı ayrı optimize edilen modellerden elde edilen  $R^2$  ve  $R^2_{adj}$  değerleri Tablo 4'te yer almaktadır.  $R^2$  değeri en az 0,80 olan modellerin uyumlu [21]. Modellerin yüksek  $R^2$  değerleri hesaplanan ve elde edilen sonuçlar arasındaki uyumun iyi olduğunu belirtmektedir. Buna göre örneğin; %KOİ giderim modelinde yer alan değişkenler KOİ giderim verimindeki değişimin %95,01'ini karşılamaktadır. Kalan %4,99'lük değişim modelde yer almayan başka değişkenlerden etkilenmektedir şeklinde açıklanabilir. Düzeltilmiş  $R^2$  ( $R^2_{adj}$ ) ile tahmin edilen  $R^2$  arasındaki fark 2'den azdır. Bu sonuç ise, oluşturulan ikinci dereceden modelin tahminlerinin kabul edilebilir seviyede olduğunu göstermektedir [22].

Tablo 4. Model  $R^2$  ve  $R^2_{adj}$  değerleri

Giderim (%)	$R^2$	$R^2_{adj}$
KOİ	0,9501	0,8941
AKM	0,9666	0,9290
Renk	0,9377	0,8676

%KOİ giderim verimi, %AKM giderim verimi ve %Renk giderim verimi için elde edilen model denklemleri sırasıyla Denklem 3,4 ve 5'te verilmiştir.

$$\%KOİ \text{ Giderim Verimi} = 43,2 - 12,18 * X_1 + 7,81 * X_2 + 0,590 * X_3 + 0,124 * X_1^2 - 0,397 * X_2^2 - 0,02533 * X_3^2 + 0,147 * X_1 * X_2 + 0,084 * X_1 * X_3 + 0,0147 * X_2 * X_3 \quad (3)$$

$$\%AKM \text{ Giderim Verimi} = 124,5 - 14,10 * X_1 + 3,78 * X_2 - 0,877 * X_3 - 1,003 * X_1^2 - 0,609 * X_2^2 - 0,00398 * X_3^2 + 1,864 * X_1 * X_2 + 0,244 * X_1 * X_3 - 0,0391 * X_2 * X_3 \quad (4)$$

$$\%Renk \text{ Giderim Verimi} = 122,8 - 15,33 * X_1 + 1,16 * X_2 - 0,40 * X_3 - 0,304 * X_1^2 - 0,411 * X_2^2 - 0,0025 * X_3^2 + 1,425 * X_1 * X_2 + 0,075 * X_1 * X_3 + 0,0021 * X_2 * X_3 \quad (5)$$

YYY'nin mevcut optimizasyon yöntemlerinden farkı olarak anlık olarak değişen her değerdeki kontrol edilemeyen değişken için optimum sonucun kendisini sürekli yenilemesi olduğu söylenebilir [14]. Ayrıca elde edilen matematiksel modeller kullanılarak bağımlı değişkenlerin belirlenen seviye aralığındaki farklı şartlarda çıktının değişimine deney yapılmadan ulaşılabilir. Bu amaçla; doğrulama deneyi olarak üç farklı deney planlanmış, deney şartları, bu şartlarda yapılan deney sonuçları ve giderim denklemlerinde parametrelerin değerleri yerine konularak hesaplanan model sonuçları da Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Doğrulama Deneyleri

Deney No	pH	Flo30 Dozu, ml/L	APN Dozu, ml/L	KOİ Giderim Verimi, % Deney	KOİ Giderim Verimi, % Model	AKM Giderim Verimi, % Deney	AKM Giderim Verimi, % Model	Renk Giderim Verimi, % Deney	Renk Giderim Verimi, % Model
1	4	5	15	39,22	37,82	94,37	90,66	75,54	78,74
2	5,5	8	25	35,30	36,90	93,65	91,21	74,24	74,14
3	7	11	35	27,25	29,07	94,30	97,23	70,37	75,47

Tablodan da görüleceği üzere model sonuçlarına yakın seviyede deney sonuçları elde edilmiştir. Modeldeki her faktörün ağırlığı varyans analizi (ANOVA) kullanılarak değerlendirilmiştir. KOİ, AKM ve renk gideriminin ayrı ayrı optimize edilmesi sonucu oluşturulan ikinci dereceden model denklemlerindeki anlamlılık katsayılarının yer aldığı ANOVA tablosu Tablo 6’da verilmiştir.

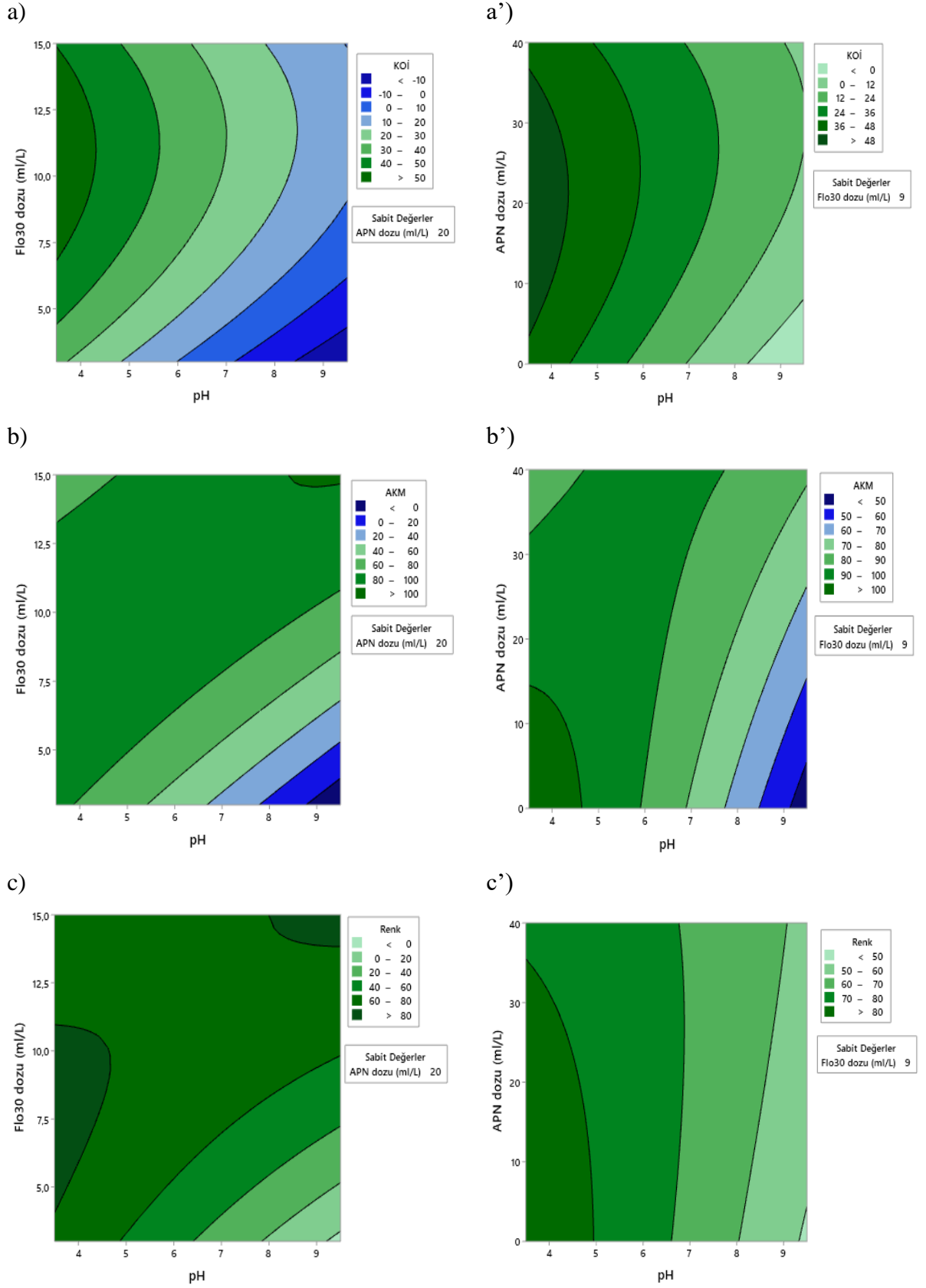
Tablo 6. KOİ, AKM ve Renk giderme yüzdesi için ikinci dereceden modelin varyans (ANOVA) analizi.

Kaynak	KOİ Giderimi (%)		AKM Giderimi (%)		Renk Giderimi (%)	
	<i>F-Değeri</i>	<i>p-Değeri</i>	<i>F-Değeri</i>	<i>p-Değeri</i>	<i>F-Değeri</i>	<i>p-Değeri</i>
Model	16,94	0,000*	25,72	0,000*	13,38	0,001*
Lineer	43,90	0,000*	55,70	0,000*	30,96	0,000*
X <sub>1</sub>	100,69	0,000*	49,77	0,000*	36,93	0,000*
X <sub>2</sub>	25,79	0,001*	114,35	0,000*	55,94	0,000*
X <sub>3</sub>	5,23	0,052	2,98	0,123	0,00	0,960
Kuadratik	6,63	0,015*	11,01	0,003*	4,47	0,040*
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	0,08	0,780	5,12	0,054	0,42	0,533
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	13,69	0,006*	30,17	0,001*	12,45	0,008*
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	6,87	0,031*	0,16	0,700	0,06	0,817
İki Faktör Etkileşimli	0,29	0,829	10,45	0,004*	4,71	0,035*
X <sub>1</sub> *X <sub>2</sub>	0,17	0,689	25,90	0,001*	13,69	0,006*
X <sub>1</sub> * X <sub>3</sub>	0,63	0,450	4,95	0,057	0,42	0,535
X <sub>2</sub> * X <sub>3</sub>	0,08	0,789	0,51	0,497	0,00	0,972

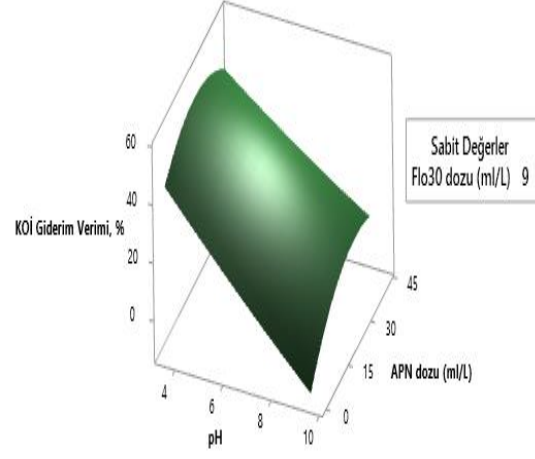
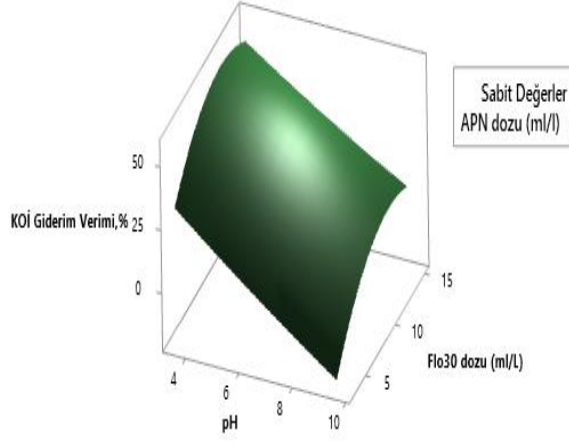
\*X<sub>1</sub>-başlangıç pH, X<sub>2</sub>-Flo30 dozu (ml/L), X<sub>3</sub>-APN (ml/L) olmak üzere p<0,05 için anlamlı.

Tablodaki değerler incelendiğinde tüm giderim modellerinin ve modellerdeki lineer ve kuadratik parametrelerin büyük çoğunluğunun anlamlı olduğu görülmektedir. Özellikle model, kareler ve iki faktör etkileşimli kısımlarının anlamlı (p<0,05) olması model geçerliliğini artırmaktadır [23]. ANOVA tablosuna göre KOİ ve renk giderimi üzerinde en çok etkisi olan parametreler başlangıç pH’sı ve Flo30 dozudur (p=0,000). APN dozunun giderim veriminde etkisi bulunmakla birlikte diğer parametrelerdeki kadar yüksek anlamlılık seviyesinde değildir.

Bağımsız değişkenlerin KOİ, AKM ve renk giderimi üzerindeki etkilerini veren kontür grafikleri Şekil 2’de, yüzey grafikleri Şekil 3’te toplu olarak verilmiştir. Her grafikte ayrı ayrı sabit tutulan değerler; APN dozu 20 ml/L, Flo30 dozu 9 ml/L, pH 6,5’tur.

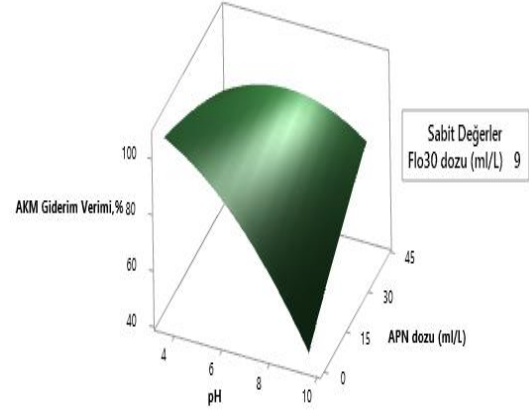
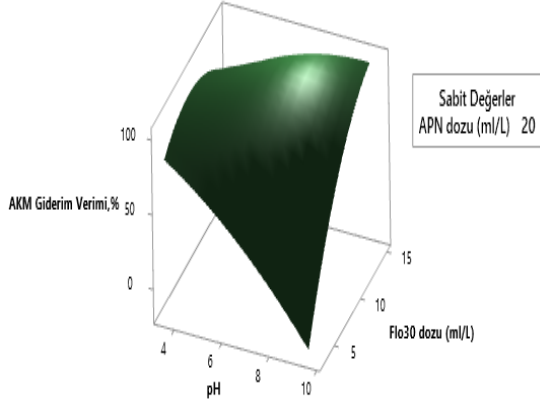


Şekil 2. Kontür grafikleri (a-a') KOİ (%), b-b')AKM (%), c-c')Renk (%)



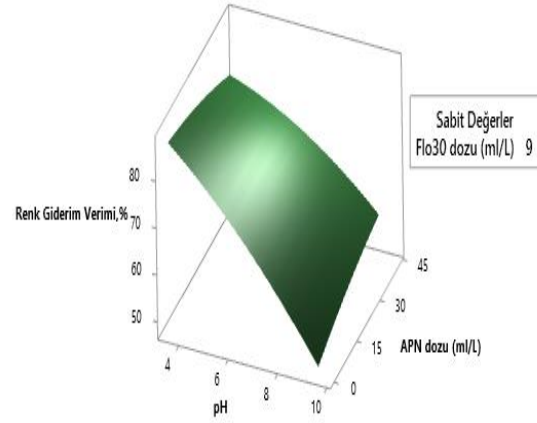
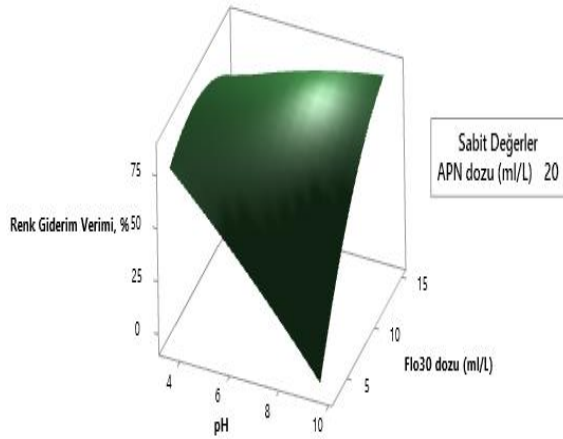
a)

a')



b)

b')



c)

c')

Şekil 3. Yüzey grafikleri (a-a') KOİ (%), b-b')AKM (%), c-c')Renk (%)

Sırasıyla; Şekil 2a ve 2a' grafiklerinde %KOİ giderim verimi üzerinde Flo30 dozu-başlangıç pH etkisi ile APN dozu-başlangıç pH etkisi görülmektedir. Bu etkilerin yüzey grafikleri ise Şekil 3a ve 3a' olarak verilmiştir. Şekil 2b ve 2b' grafiklerinde ise %AKM giderim verimi üzerine Flo30 dozu- başlangıç pH etkisi ile APN dozu-başlangıç pH etkisi yer almaktadır. Şekil 3b ve 3b'de ise bu etkilerin yüzey grafikleri gösterilmiştir. Şekil 2c ve 2c' grafiklerinde %Renk giderim verimi üzerine Flo30 dozu- başlangıç pH etkisi ile APN dozu-başlangıç pH etkisi bulunurken, bu etkilerin yüzey grafikleri Şekil 3c ve 3c' olarak verilmiştir.

Başlangıç pH'sındaki artış KOİ giderim verimini düşürürken, Flo30 ve APN dozundaki artış KOİ giderim verimini bir noktaya kadar arttırmıştır. Eklenen koagülant ve flokülant kimyasalları optimal dozdan fazla olduğunda partikül uzaklaştırma verimleri düşebilmektedir. Ayrıca ortamda reaksiyona girmeden kalan kimyasallar atık suda KOİ artışına da neden olabilmektedir. KOİ'nin aksine başlangıç pH'sı, Flo30 ve APN dozundaki artış AKM ve renk giderim verimini arttırmıştır. Pıhtılaşma ve flokülasyon sürecinde pH, hidroliz dengesini etkileyen çok önemli bir faktördür. Böylece çoğunlukla negatif yüklü olan kirletici katıları nötralize eder, organik kirleticileri adsorbe ederler ve sonuç olarak giderim verimini artırır [24]. AKM giderimindeki temel mekanizma asılı parçacıkların çökebilir forma dönüşmesidir, flokülant dozundaki artış taneciklerin çökebilirliğini arttırarak AKM giderim verimini de arttırmaktadır. Bu doğrultuda renk gideriminin de artması, asılı partiküllerle birlikte renge neden olan bileşenlerin çökerek sudan ayrılması olarak açıklanabilir.

Tasarımın maksimize edilmesi ile maksimum giderim verimlerinin elde edildiği şartlar tespit edilmiştir. Buna göre;

- Başlangıç pH 3,5, koagülant dozu 10,55 ml/L, APN dozu 20,6 ml/L şartlarında; model tarafından %56,38 olarak verilen maksimum KOİ giderim verimi tekrarlı deney sonucu  $56,83 \pm 1,82$  bulunmuştur.
- Başlangıç pH 9,5, koagülant dozu 15 ml/L, APN dozu 40 ml/L şartları ise AKM ve renk giderim verimlerinin maksimumunu veren şartlar olup, bu şartlarda modelden alınan sonuçlar %100 AKM giderim verimi, %87,21 renk giderim verimidir. Maksimum noktadaki tekrarlı deneyler sonucunda da  $96,46 \pm 1,45$  AKM giderimi ve  $83,2 \pm 0,66$  renk giderim verimi elde edilmiştir.

Model verileri ile elde edilen deneysel daların yakınlığı ve uyumu modelin geçerliliğini bir kez daha kanıtlamıştır.

#### 4. Değerlendirme

Bu çalışmada; KOİ ve AKM, renk içeriği oldukça yüksek gerçek bir atık su olan yonga levha endüstrisi atık suyunun kimyasal koagülasyon/flokülasyon prosesinde yeni bir koagülant olan Flo30 koagülantı, doğal ve maliyeti düşük bir flokülant olan APN kullanılarak giderimi ve optimizasyonu incelenmiştir. Maksimum %56,83 KOİ, %96,46 AKM ve %83,2 renk giderimi sağlanmıştır.

Kimyasal ön arıtım işleminde farklı işlem parametrelerinin etkilerini tanımlamak için YYY kullanılarak sürecin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu yanıtlar için geliştirilen güven seviyesi yüksek ( $R^2 > 0,9$ ) ikinci dereceden modeller, farklı şartlar altında KOİ, AKM ve renk giderim verimlerinin tahmini için kullanılabilir. Kimyasal arıtımın yonga levha atık sularının ön arıtımında etkili ve kullanılabilir bir proses olduğu tespit

edilmiştir. Ön arıtılmış yonga levha atık suyuna ileri arıtım teknikleri uygulanarak atık suyun geri kazanım performansının artırılacağı, böylece endüstrilerde su verimliliğinin sağlanabileceği düşünülmektedir.

## Dipnot

Bu çalışma Prof.Dr.Ahmet GÜNAY danışmanlığında Arş.Gör.Dr.Yeliz SÜZEN tarafından tamamlanan “Yonga Levha Endüstrisi Atık Sularının Kimyasal ve Elektrokimyasal Yöntemleriyle Arıtımı ve Optimizasyonu” başlıklı ve 789531 tez no’lu doktora tezinden türetilmiştir.

## Kaynaklar

- [1] İbiş, M., Bir Yonga levha fabrikasında ham madde kaynaklarının optimizasyonu ve üretim koşullarının teknolojik yönden incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce, (2018).
- [2] Göktaş O., Alma, H., Erdil, Z.Y., Günsel U., Özen, E. ve Dican, Ö., Ege bölgesi bağ budama artıklarının yonga levha endüstrisinde değerlendirilmesi, TÜBİTAK TOVAG Proje, Ankara, (2008).
- [3] Özmetin, E., Süt endüstrisi atıksularının kimyasal arıtımının yanıt yüzey yöntemi ile optimizasyonu, **Journal of the Institute of Science and Technology**, 9, 4, 1968–1976, (2019).
- [4] Wang, J.P., Chen, Y.Z., Ge, X.W. and Yu, H.Q., Optimization of coagulation–flocculation process for a paper-recycling wastewater treatment using response surface methodology, **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, 302, 1, 204–210, (2007 )
- [5] Singh, B. and Kumar, P., Pre-treatment of petroleum refinery wastewater by coagulation and flocculation using mixed coagulant: Optimization of process parameters using response surface methodology (RSM), **Journal of Water Process Engineering**, 36, 101317, 1-17, (2020).
- [6] Kamali, M. and Khodaparast, Z., Review on recent developments on pulp and paper mill wastewater treatment, **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 114, 326–342, (2015).
- [7] El-taweel, R.M., Mohamed, N., Alrefaey, K.A., Husien, H., Aziz, A.B., Salim A.I., Mostafa, N.G., Said, L.A., Fahim, I.S. and Radwan, A.G., A review of coagulation explaining its definition, mechanism, coagulant types, and optimization models; RSM, and ANN, **Current Research Green Sustainable Chemistry**, 6, 100358, 1-23, (2023).
- [8] Igwegbe, C.A., Ighalo, J.O., Iwuozor, K.O., Onukwuli, O.D., Okoye, P.U. and Al-Rawajfeh, A.E., Prediction and optimisation of coagulation-flocculation process for turbidity removal from aquaculture effluent using *Garcinia kola* extract: Response surface and artificial neural network methods, **Cleaner Chemical Engineering**, 4, 100076, 1-11, (2022).
- [9] Gaayda, J.E., Rachid, Y., Titchou, F.E., Barra, I., Hsini, A., Yap, P.S., Oh, W.D., Swanson, C., Hamdani, M. and Akbour, R.A., Optimizing removal of chromium (VI) ions from water by coagulation process using central composite design: Effectiveness of grape seed as a green coagulant, **Separation and Purification Technology**, 307, 122805, 1-15, (2023).
- [10] Korkmaz, M., Özmetin, E., Süzen, Y., Çalgan, E. ve Özmetin, C., A new

- adsorbent (aluminum modified talc) for phosphate removal from alkaline solutions and optimization of data by central composite design, **Desalination Water Treatment**, 245, 178–190, (2022).
- [11] Myers, R.H., Montgomery, D.C., Vining, G.G., Borror, C.M. and Kowalski, S.M., Response Surface Methodology: A Retrospective and Literature Survey, **Journal of Quality Technology**, 36, 1, 53–77, (2004).
- [12] Süzen, Y. and Ozmetin, C., Removal of reactive black 5 dye using fenton oxidation from aqueous solutions and optimization of response surface methodology, **Desalination Water Treatment**, 172, 106–114, (2019).
- [13] Baş, D. and Boyacı, İ.H., Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology, **Journal of Food Engineering**, 78, 3, 836–845, (2007).
- [14] Karaoğlan, A.D., Demir, M.M. and Çarkacı, M.M., Minimization of pres time at particleboard production, **Pamukkale University Journal Engineering Science**, 24, 4, 658–664, (2018).
- [15] Volkan, N. ve Ozmetin, E., Maxilon Blue GRL boyar maddesinin illit kil minerali ile gideriminin optimizasyonu, **Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 10, 1, 216–232, (2022).
- [16] Márquez-Montes, R.A., Orozco-Mena, R.E., Camacho-Dávila, A.A., Pérez-Vega, S., Collins-Martínez, V.H. and Ramos-Sánchez, V.H., Optimization of the electrooxidation of aqueous ammonium sulfite for hydrogen production at near-neutral pH using response surface methodology, **International Journal of Hydrogen Energy**, 45, 27, 13821–13831, (2020).
- [17] Arslan Alaton, I., Tureli, G. and Olmez Hanci, T., Treatment of azo dye production wastewaters using Photo-Fenton-like advanced oxidation processes: Optimization by response surface methodology, **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, 202, 2–3, 142–153, (2009).
- [18] Özmetin, E., Yaşar, Y. ve Karaoğlan, A.D., Pirinç kabuğu ile metilen mavisi gideriminin optimizasyonu, III. Fiziksel Kimya Günleri, Balıkesir, (2012).
- [19] Katip, A., Pestisit endüstrisi atıksularının koagülasyon/flokülasyon prosesi ile geri kazanımının değerlendirilmesi, **Doğal Afetler ve Çevre Dergisi**, 90, 224, 94–100, (2018).
- [20] WEF, A.A., **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 19th Edition, Washington DC., (1995).
- [21] Bashir, M.J.K., Aziz, H.A., Yusoff, M.S. and Adlan, M.N., Application of response surface methodology (RSM) for optimization of ammoniacal nitrogen removal from semi-aerobic landfill leachate using ion exchange resin, **Desalination**, 254, 1, 154–161, (2010).
- [22] Beyan, S.M., Prabhu, S.V., Sissay, T.T. and Getahun, A.A., Sugarcane bagasse based activated carbon preparation and its adsorption efficacy on removal of BOD and COD from textile effluents: RSM based modeling, optimization and kinetic aspects, **Bioresource Technology Reports**, 14, 100664, (2021).
- [23] Arami-Niya, A., Wan Daud, W.M.A., Mjalli, F.S., Abnisa, F. and Shafeeyan, M.S., Production of microporous palm shell based activated carbon for methane adsorption: Modeling and optimization using response surface methodology, **Chemical Engineering Research and Design**, 90, 6, 776–784, (2012).
- [24] Ghafari, S., Aziz, H.A. and Bashir, M.J.K., The use of poly-aluminum chloride and alum for the treatment of partially stabilized leachate: A comparative study, **Desalination**, 257, 1, 110–116, (2010).

# Design of system model and program for estimation of annual PV energy production: a comparative study

Mehmet Fatih BEYOĞLU<sup>1,\*</sup>, Metin DEMİRTAŞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Balıkesir University, Institute of Science, Cagis Campus, Balıkesir

<sup>2</sup>Balıkesir University Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronic Engineering, Cagis Campus, Balıkesir

Geliş Tarihi (Received Date): 29.11.2022

Kabul Tarihi (Accepted Date): 04.09.2023

## Abstract

*Suitability evaluation of a location for power generation plant installation requires long-term measurements and calculations. Since the energy production values foreseen in the project process of the solar power plant directly affect the return period of the project cost, it is of great importance to make the calculations correctly. In this study, a model and program were designed to find the closest estimation values. Energy production values are estimated for 54 kWh solar power plant (SPP) in Balıkesir using designed model. It is important that the SPP consists of two groups with different angles, directions and capacities in terms of comparing the accuracy of the calculation. The developed model used the hourly meteorological data and catalog values to Energy production calculations. The model allows making calculations for all the angles of the sun and the characteristic data of the system. The developed program was compared with energy production results of PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) programs. As a result of analysis, it has been observed that more realistic and closer results were produced by means of the designed program. The advantage of this program is that more parameters of the photovoltaic (PV) system can be monitored compared to the other programs.*

**Keywords:** Solar energy, Matlab/Simulink, PVGIS, Sarah 2, prediction of SPP energy generation.

---

\* Mehmet Fatih BEYOĞLU, fatih.beyoglu@baun.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-8092-7014>  
Metin DEMİRTAŞ, mdtas@balikesir.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-2622-5286>



## Yıllık PV enerji üretiminin tahmini için sistem modeli ve programın tasarımı: karşılaştırmalı bir çalışma

### Öz

*Bir yerin elektrik üretim tesisi kurulumuna uygunluğunun değerlendirilmesi, uzun vadeli ölçümler ve hesaplamalar gerektirir. Güneş enerjisi santralinin proje sürecinde öngörülen enerji üretim değerleri, proje maliyetinin geri dönüş süresini doğrudan etkilediği için hesaplamaların doğru yapılması büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada en yakın tahmin değerlerini bulmak için bir model ve program tasarlanmıştır. Tasarlanan model kullanılarak Balıkesir ilindeki 54 kWh güneş enerjisi santrali (GES) için enerji üretim değerleri tahmin edilmiştir. GES'in farklı açılara, yönlere ve kapasitelere sahip iki gruptan oluşması hesaplamanın doğruluğunun karşılaştırılması açısından önemlidir. Geliştirilen model, saatlik meteorolojik verileri ve katalog değerlerini Enerji üretimi hesaplamalarında kullanmıştır. Model, güneşin tüm açılarının ve sistemin karakteristik verilerinin hesaplanmasına olanak sağlar. Geliştirilen program PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) programlarının enerji üretim sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda tasarlanan program sayesinde daha gerçekçi ve yakın sonuçlar üretildiği görülmüştür. Bu programın avantajı diğer programlara göre fotovoltaik (FV) sistemin daha fazla parametresinin izlenebilmesidir.*

**Anahtar kelimeler:** Güneş enerjisi, Matlab/Simulink, PVGIS, Sarah 2, GES enerji üretim tahmini

### 1. Introduction

Solar energy is a clean, safe, free, environmentally friendly and inexhaustible source of energy. Solar photovoltaic technology is one of the most important renewable energy generation sources. The efficiency of the PV system depends on climatic factors such as solar radiation, ambient temperature and the condition of the solar modules, such as age, soiling, etc.

In measuring the efficiency of photovoltaic solar energy systems, it is important in which conditions the solar panel receives how much solar radiation and how much energy is produced from the inverter output.

The most important input parameter affecting energy production is the irradiation to hit the panel. Effective radiation is dependent on the latitude-longitude, tilt angle and mounting direction, which vary according to the mounting location of the panel [1,2].

Meteorological data and radiation values of the point determined for the installation of the system can be measured, as well as data can be obtained from institutions and companies that measure with professional devices. However, theoretical radiation values can be calculated for bright and cloudless sky conditions. Copper et al. [3] compared mathematical models for estimating solar irradiance for Australia. After obtaining meteorological radiation data, the effective irradiation coming to the surface can be calculated. Shen et al. [4] studied on the program created with Simulink to interpolate radiation data, calculated several quantities related to the position of the sun, and estimated the solar radiation on surfaces with variable or fixed orientation. Tina et al.

[5] compared PV plant performance models considering climate effects. Wind speed affected the panel temperature and efficiency. Al-Ghussain et al. [6] investigate the significant effects of ambient temperature, wind speed, dust accumulation, and cleaning frequency for four different PV panel types in Jordan, Egypt, and Tunisia using precise ground-based meteorological measurements.

For the specified coordinates, the radiation coming to the surface can be calculated by taking into account the motion of the earth around the sun and the sun angle during the day, the slope and direction angle of the mounted solar panel system. Karafil et al. [2] examined the effects of panel inclination angle on energy production in Bilecik province. Rustemli et al. [7] made a comparison of solar energy system with solar tracking system and fixed mounting. Beyoglu [8] compared energy productions of fixed and 2-axis tracking photovoltaic solar energy systems in Balikesir province. About [9] studied on the most important parameters such as solar angles and prepared a MATLAB code to calculate these angles at any time and location. After that he analyzed the pattern of solar angles and the solar path. Jazayeri et al. [10] studied a simulation model for calculating the position of the sun in the sky and the angle of incidence angle of the sunlight beams on the surface of solar panels with any tilt angle, located at any geographical location on the Earth's surface.

The efficiency and material specifications of solar energy systems directly affect the amount of energy produced. Solar cells are the basic components to convert solar radiation into electrical energy. The efficiency of the panels used in the system varies according to the material used in the panel construction and technology, ambient temperature and the age of the panel [5]. Humada et al. [11] presented a new approach to the extraction of a single-diode five-parameter model and its performance evaluation. Brano et al. [12] worked on an adaptive approach based on different topologies of artificial neural networks for forecasting the power generating of photovoltaic modules.

Yildiran et al. [13] developed and simulated a photovoltaic cell single-diode detailed model. They determined the model parameters based on datasheet values and analyzed the model. Anand et al. [14], Vinod et al. [15] studied modelling and simulation of photovoltaic module using Matlab/Simulink. Bouraiou et al. [16] studied the modeling and simulation of photovoltaic modules and array based on a one- and two-diode model using Matlab/Simulink software. Lidaighbi et al. [17] presents a new simple and accurate hybrid method for estimating the five parameters of the single diode model based on the remarkable points and the information from the PV data sheet. Vinod et al. [18] a single diode equivalent circuit model is presented with the step-by-step detailed simulation of a PV solar module under Matlab/Simulink environment.

For a specific location, if the mounting angle and direction, panel technical characteristics and nominal power value are known, approximate values of the amount of electrical energy to be produced can be calculated. Paid and free programs have been developed to make these calculations more accurate and practical. Real meteorological data are used in these programs for the desired location from various meteorology data banks. Huld et al. [19] examined the effect of a different solar radiation data on Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) program calculations. Beyoglu et al. [20] compared different energy production estimation programs with the actual energy production data of a solar power plant established in Balikesir province. Tian et al. [21] worked on a detailed performance model for photovoltaic systems. Neamt et al. [22] worked to provide the simplest way for estimating the energy production of a

photovoltaic system anywhere on the earth. Abdelhayt [23] studied on a MATLAB Simulink model that constructed a detailed representation of the PV solar system connected with either to the local low voltage grid or to the national high voltage grid. Mohanty et al. [24] compared the performance of different MPPT methods that are used in a solar PV system and also advocates a new MPPT technique which offers better performance than the existing ones. Parra et al. [25] reviewed the currently available PV performance models with regard to accuracy and also compliance with datasheet specifications and examined measurement conducted on PV arrays of four different technologies at a PV plant.

In this study, a model was prepared to estimate the closest values to the output of real systems. The energy production data of 54 kWh solar power plant installed in Balıkesir were used to compare the prepared model with different energy production forecast programs.

In this program, the production calculation has been made using real meteorology data taking into account the location of the system, mounting angle and catalog values. PVGIS-Sarah 2 data was used as meteorological data. The results of program was observed that the program gave more realistic and closer results according to the others.

## Nomenclature

$V_{PV}$	Output voltage of PV	$\beta$	PV tilt angle
$V_{oc}$	Open circuit voltage	$Z_s$	Solar zenith angle
$I_{sc}$	Short circuit current	$\alpha_s$	Solar azimuth angle (NO)
$K_v$	PV voltage temperature coefficient	$\alpha_m$	PV azimuth angle
$K_i$	PV current temperature coefficient	$G$	Solar irradiance
$T_{cell}$	Solar cell temperature	$G_b$	Beam irradiance
$T_{amb}$	Ambient temperature	$G_d$	Diffuse irradiance
$V_{wind}$	Speed of wind	$G_r$	Reflection irradiance
$\varphi$	Latitude	$GHI$	Global horizontal irradiation
$\theta$	Incidence of angle	$DHI$	Diffuse horizontal irradiation
$\eta$	Efficiency of inverter	$R_b$	Ratio of tilted/horizontal irr.
$\gamma_s$	Solar altitude angle	$X_{sky}$	View factor of sky
$\delta$	Declination angle	$X_{grd}$	View factor of ground
$\omega$	Solar hour angle	$\rho_p$	Albedo of the ground
$P_{max}$	Maximum power of PV	$b_0$	IAM coefficient
		$IAM$	Incidence angle modifier

## 2. Energy production forecast program

Energy generation forecast program consists of solar position calculation, surface irradiation calculation, PV system and inverter efficiency calculation modules. The block diagram of the PV system model is given in Figure 1. The properties of the modules will be explained in subsections. Designed program needs hourly meteorology data, geographic coordinates with montage info of SPP and some system information for calculation. Output of the program gives the position of the sun, the radiation coming to the surface, the panel and inverter output energy production values hourly.

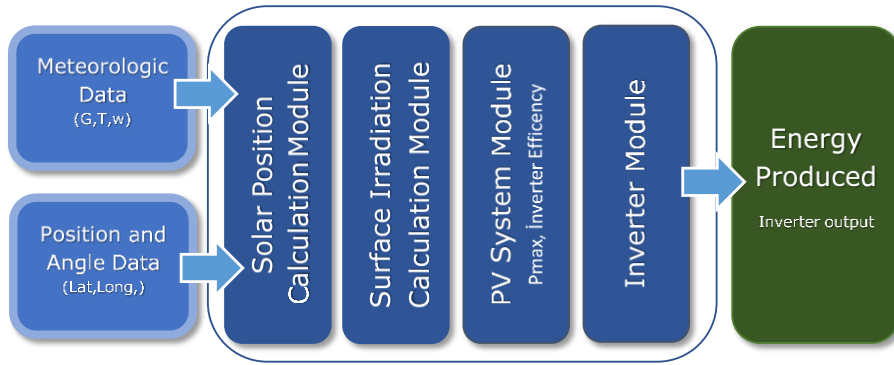


Figure 1. Block diagram of the designed program modules

The designed model uses single diode model with five parameters of PV cells as shown in Figure 2 [18]. The model calculates the maximum power ( $P_{max}$ ) value for the ambient temperature and radiation values. For this, it uses the V-I and P-V characteristic curves of the panel and catalog values.

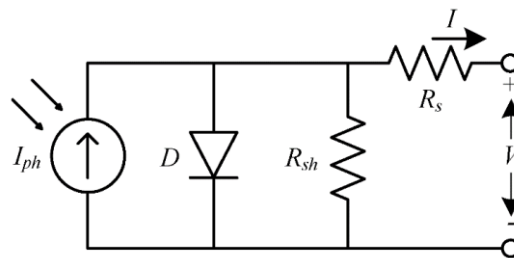


Figure 2. PV panel single diode model

The effective value of solar radiation on the panel changes with the angle of incidence. The incident angle modifier (IAM) is defined as the ratio of light transmitted at the angle of incidence to normal incidence. IAM was added to the model for obtaining more accurate results. Inverter efficiency is given as a constant in datasheet, but actually the efficiency decreases rapidly at low power values. Therefore, the inverter efficiency module was added to the system to estimate more realistic results at low power values. PV system model Simulink diagram is given in Figure 3.

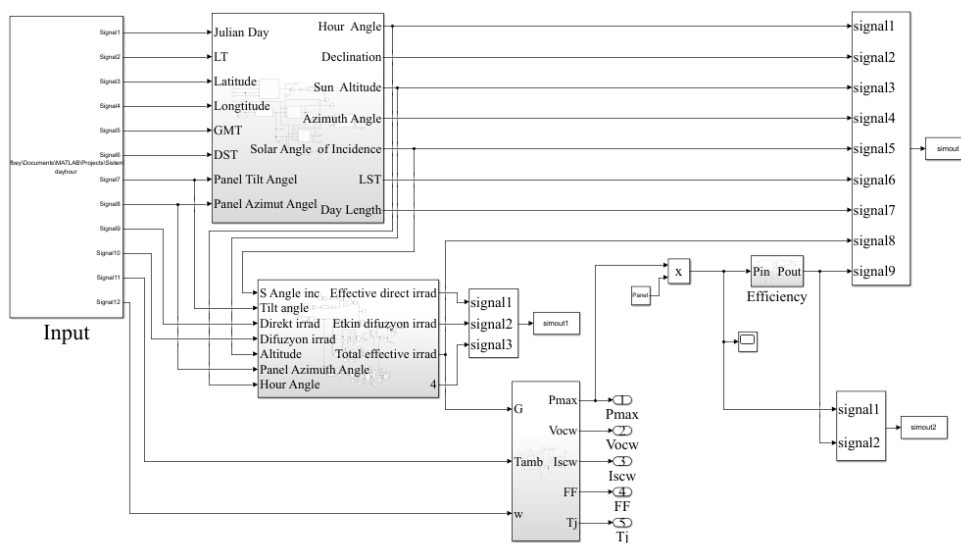


Figure 3. The Simulink diagram of the designed program modules

The model block diagram is shown in Figure 4.

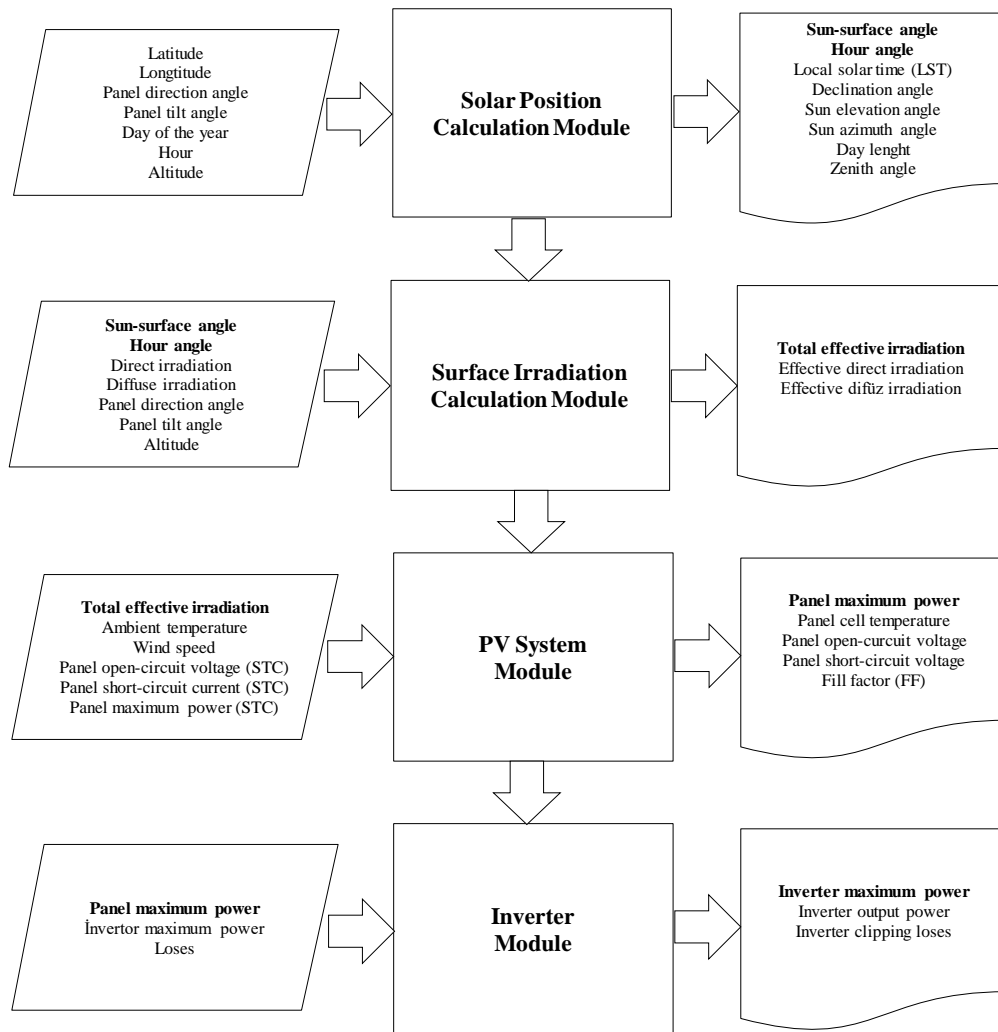


Figure 4. Model block diagram

### 2.1. Sun position and angle calculation module

For SPP coordinates, the effective value of the radiation coming to the surface can be calculated by the sun angle, the slope and direction angle of the solar panel system. The angles are shown in Figure 5.

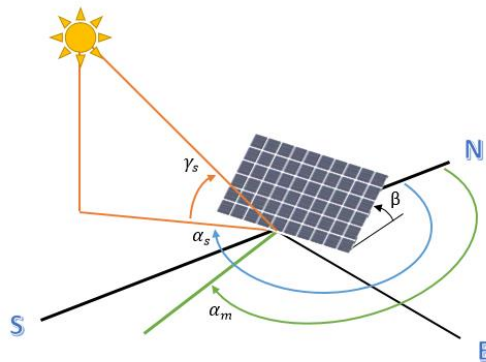


Figure 5. PV panel directions and angles

Solar and panel angles calculation module uses the angle of incidence with latitude, longitude, date, time, sun azimuth and elevation angles, direction and tilt angle of the panel to calculate solar angles. In addition to angle of incidence is also calculated, hour angle, local solar time (LST) and day length. Simulink diagram for this module is shown in Figure 6.

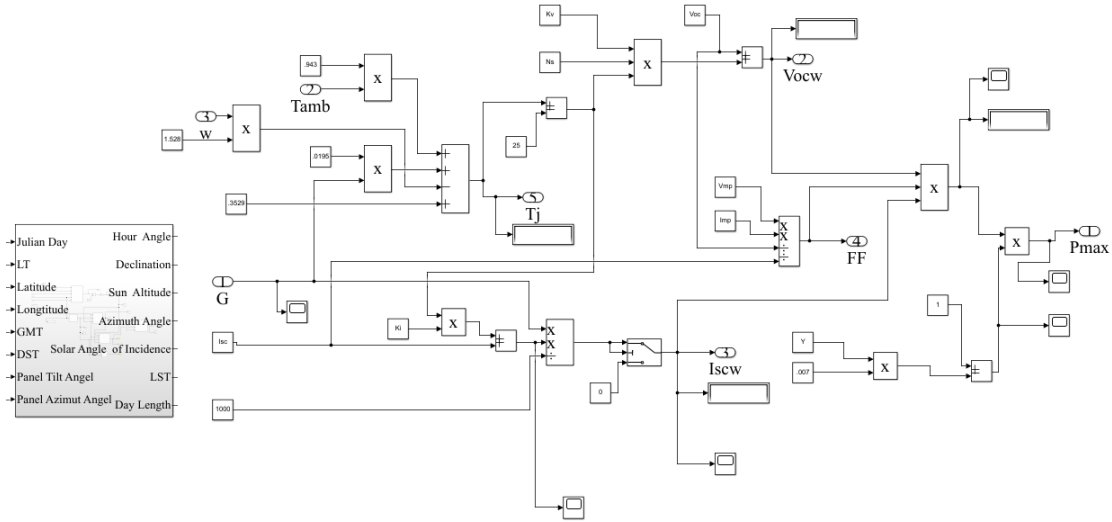


Figure 6. Solar and panel angles calculation module

Sun elevation angle ( $\gamma_s$ ) is calculated using the latitude ( $\varphi$ ) of the location, the declination angle ( $\delta$ ) and the solar hour angle ( $\omega$ ). It is written as follows [10];

$$\gamma_s = \sin^{-1} (\sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos\omega) \quad (1)$$

Sun azimuth angle ( $\alpha_s$ ) is calculated using the sun elevation angle ( $\gamma_s$ ), the latitude ( $\varphi$ ) of the location, the declination angle ( $\delta$ ) at the daily and the solar hourly angle ( $\omega$ ). It is given in Eq.2 [10];

$$\begin{cases} \alpha_s = 180 - \cos^{-1} (\cos \alpha_s) & \text{if } \sin \alpha_s < 0 \\ \alpha_s = 180 + \cos^{-1} (\cos \alpha_s) & \text{if } \sin \alpha_s > 0 \end{cases} \quad (2)$$

where,

$$\cos \alpha_s = (\sin\varphi \sin\gamma_s - \sin\delta) / \cos\varphi \cos\gamma_s \quad (3)$$

$$\sin \alpha_s = \cos\alpha_s \sin\omega / \cos\gamma_s \quad (4)$$

Sun surface angle ( $\theta$ ) is calculated using the panel slope ( $\beta$ ), solar zenith angle ( $Z_s$ ), solar azimuth angle ( $\alpha_s$ ) and panel azimuth angle ( $\alpha_m$ ). It is given in Eq.5 [10].

$$\theta = \cos^{-1} [\cos \beta \cos Z_s + \sin \beta \sin Z_s \cos (\alpha_s - \alpha_m)] \quad (5)$$

## 2.2. Surface active irradiation calculation module

The effective irradiance calculation module uses the parameters direct and diffusion solar radiations coming to the earth and the angle of incidence on the surface.

The total radiation is equal to sum of the direct, diffusion and reflection radiation values. It is given in Eq.6 [1].

$$G = G_b + G_d + G_r = (GHI - DHI)R_b + DHI X_{sky} + GHI \rho_p X_{grd} \quad (6)$$

where  $G_b$ ,  $G_d$ ,  $G_r$ ,  $GHI$ ,  $DHI$ ,  $X_{sky}$ ,  $X_{grd}$ ,  $\rho_p$  and  $R_b$  are the beam irradiance, the diffuse irradiance, the reflection irradiance, global horizontal irradiance, diffuse horizontal irradiance, the view factor of panel to sky, the view factor of panel to ground, the albedo of the ground, the ratio of tilted irradiance and horizontal irradiance, respectively.

The effective solar irradiance on the panel surface changes with the angle of incidence and more realistic results. IAM was used to obtain more realistic results in the module as given in Eq.7 [26]. IAM can be written as follows;

$$IAM = 1 - b_0 \left( \frac{1}{\cos\theta} - 1 \right) \quad (7)$$

Where  $\theta$  is the incidence angle of solar beam radiation on the PV surface,  $b_0$  is a constant of the IAM. Figure 7 shows the IAM changes with the incidence angle.

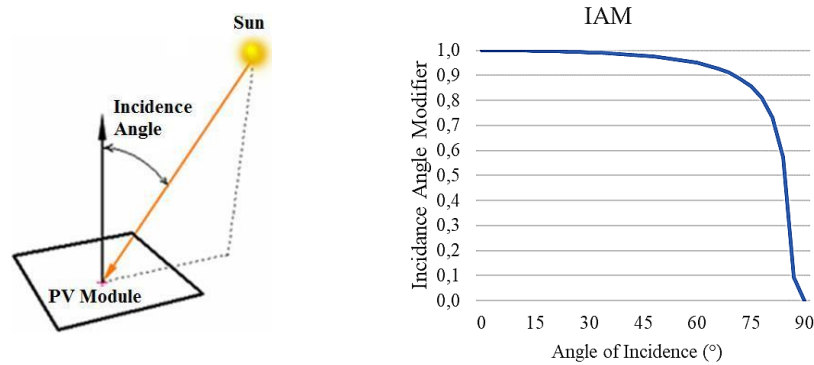


Figure 7. IAM correction factor Simulink diagram of the surface effective irradiance calculation module is given in Figure 8.

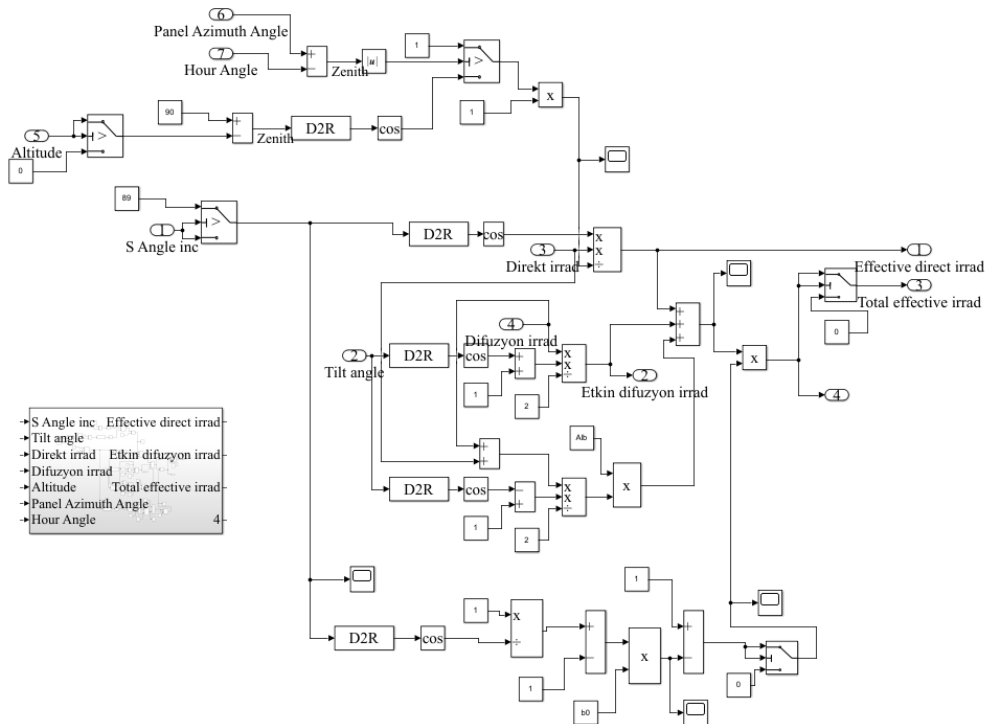


Figure 8. Surface effective irradiation calculation module

### 2.3. PV system module

Photovoltaic panel's specifications and characteristic curves are given in the datasheets. These curves change at different ambient temperatures and irradiance values. The PV system module is used to calculate the maximum power point correctly in all conditions. The short circuit current, open circuit voltage, fill factor and maximum power point are calculated as follows;

$$I_{scw} = [I_{sc} + K_i(T_{amb} - T_{ref})] \frac{G}{G_{ref}} \quad (8)$$

$$V_{ocw} = V_{oc} + K_v(T_{amb} - T_{ref}) \quad (9)$$

$$FF = \left( \frac{V_{opt} I_{opt}}{V_{oc} I_{sc}} \right) \quad (10)$$

$$P_{max} = FF V_{ocw} I_{scw} \quad (11)$$

The maximum power of the panel at standard test conditions (STC),  $K_i$  current and  $K_v$  voltage coefficients are given in the datasheet. The short-circuit current and open-circuit voltage values are calculated for different temperature and radiation values by using current and voltage coefficients. They are given in Eq.8 and Eq.9 [14,27]. The fill factor ( $FF$ ) is a parameter determines the maximum power in conjunction with  $V_{oc}$  and  $I_{sc}$  at a solar cell.  $FF$  is given in Eq.10 [27].

The maximum power point  $P_{max}$  is calculated in Eq.11 by using  $FF$ , short-circuit current and open-circuit voltage [27]. System datasheet information used in the SPP is given in Section 4 as Table 2.

Solar panel cell temperature  $T_{cell}$  is calculated with ambient temperature  $T_{amb}$ , amount of radiation  $G$  and wind speed  $V_{wind}$ . The power value is inversely proportional to the cell temperature. The wind speed increases the efficiency as it contributes to the cooling of the panel. The correlation for calculating the cell temperature is given in Eq.12 [28]. Radiation and temperature variation graphics of the maximum power point are shown in Figure 9. The cell temperature is calculated as follows:

$$T_{cell} = 0.943 T_{amb} + 0.0195 G - 1.528 V_{wind} + 0.3529 \quad (12)$$

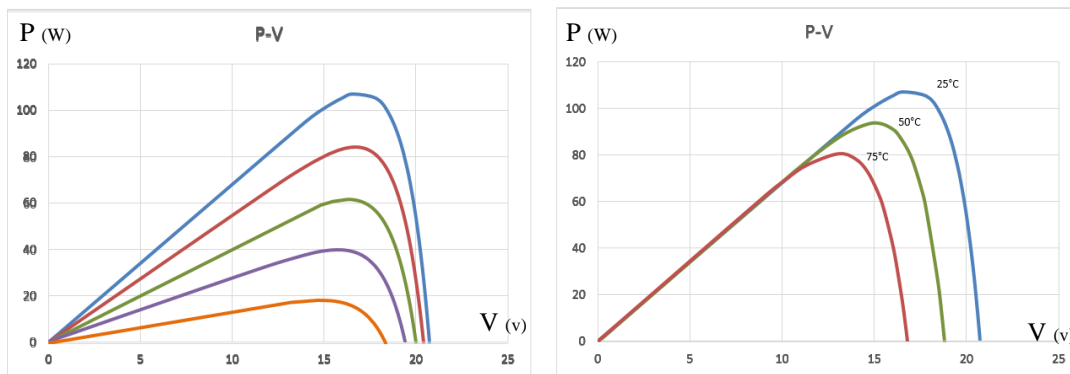


Figure 9. Variation of PV system Pmax value with radiation and temperature

Simulink diagram of the module to calculate the maximum power point is shown in Figure 10.



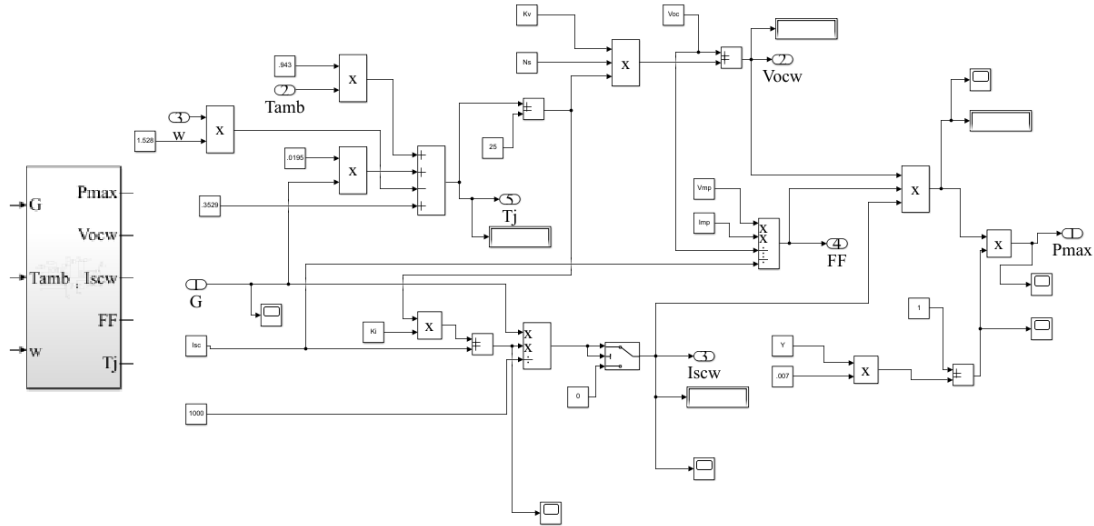


Figure 10. PV system Pmax calculation module

#### 2.4. Inverter efficiency module

The inverters used in the PV system are designed to convert the DC energy produced by the panels into AC energy with the high efficiency. The system follows the maximum power point under all conditions. The fixed losses of the system are also important during low irradiate and the efficiency of the system decreases rapidly. Figure 11 shows the efficiency curve of the inverter used in the system and the efficiency curve is calculated with the module shown in Figure 12. The efficiency of the inverter can be written as follows:

$$\eta = \frac{\eta_{norm}}{\eta_{ref}} \left( -0.016138 \xi - \frac{0.0059}{\xi} + 0.9858 \right) \quad (13)$$

where,

$$\xi = \frac{P_{DC}}{P_{DC0}} \quad (14)$$

$$P_{DC0} = \frac{P_{AC0}}{\eta_{norm}} \quad (15)$$

Inverter efficiency is calculated by considering the input power at the optimum operating conditions and the input instantaneous power. They are given Eq.13, Eq.14 and Eq.15 [29].

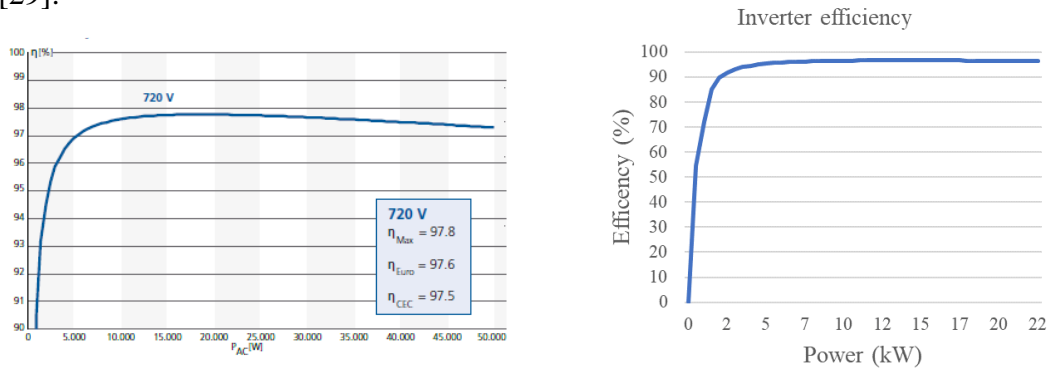


Figure 11. The inverter efficiency curves of the catalog and module

The module that calculates the inverter efficiency and system losses is shown in Figure 12.

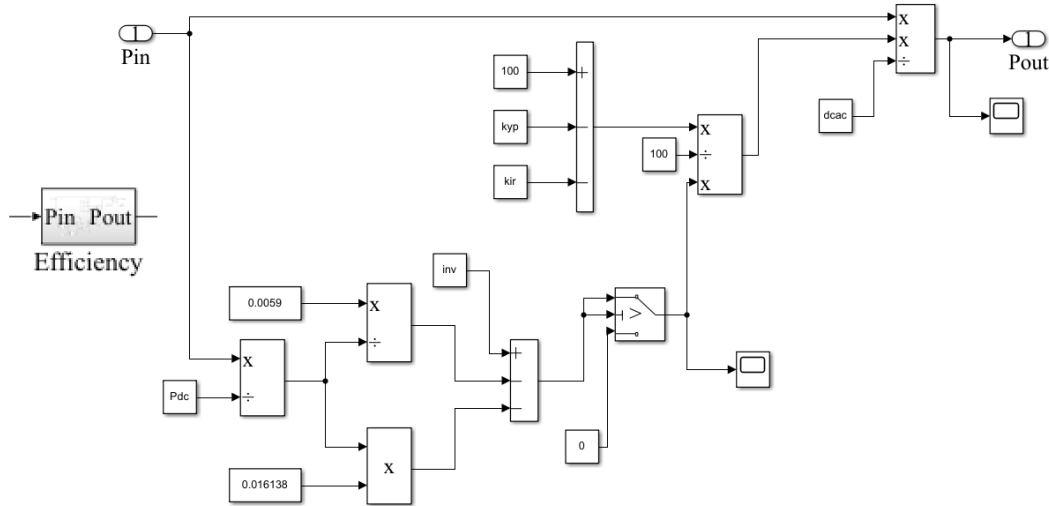


Figure 12. Inverter and system efficiency calculation module

### 3. Meteorological data

The meteorological data for the calculations can be measured or obtained from institutions and companies that measure with professional devices.

The irradiation, ambient temperature and wind speed data are used panel energy production calculations. Hourly average solar radiation, temperature and wind speed data are obtained from the SARAH 2 database. Monthly total irradiation and the irradiation peak values given in Table 1.

Table 1. Meteorological data sample (Total value)

PVGIS-SARAH 2	TOTAL VALUE		PEAK VALUE	
	BEAM (DIRECT) IRRADIANCE (W/m <sup>2</sup> )	DIFFUSE IRRADIANCE (W/m <sup>2</sup> )	BEAM (DIRECT) IRRADIANCE (W/m <sup>2</sup> ) *	DIFFUSE IRRADIANCE (W/m <sup>2</sup> ) *
<b>JANUARY</b>	43.311	27.361	822	570
<b>FEBRUARY</b>	76.105	41.158	869	321
<b>MARCH</b>	93.894	57.087	948	471
<b>APRIL</b>	178.104	76.351	892	444
<b>MAY</b>	160.921	84.433	927	477
<b>JUNE</b>	211.293	77.477	934	475
<b>JULY</b>	238.461	81.950	923	469
<b>AUGUST</b>	169.645	78.963	885	430
<b>SEPTEMBER</b>	154.416	65.078	890	410
<b>OCTOBER</b>	120.697	49.501	903	332
<b>NOVEMBER</b>	95.291	39.834	863	274
<b>DECEMBER</b>	73.766	31.207	817	250
<b>TOTAL</b>	<b>1.615.903</b>	<b>710.399</b>	<b>948</b>	<b>570</b>

2016, 2017, 2018, 2019,2020 data of SARAH 2 was used in the program for calculations.

#### 4. Program data

The energy production of a SPP established in Balıkesir Province was compared with different energy production forecast programs. The SPP is located in Balıkesir (39.6N 27.9E) and consists of two groups. The each group has 108 polycrystalline panels and one inverter. As shown in Figure 13, it is directed at  $59^\circ$  (Group 1) and  $239^\circ$  (Group 2) symmetrical angles and mounted on  $17^\circ$  angled roof.

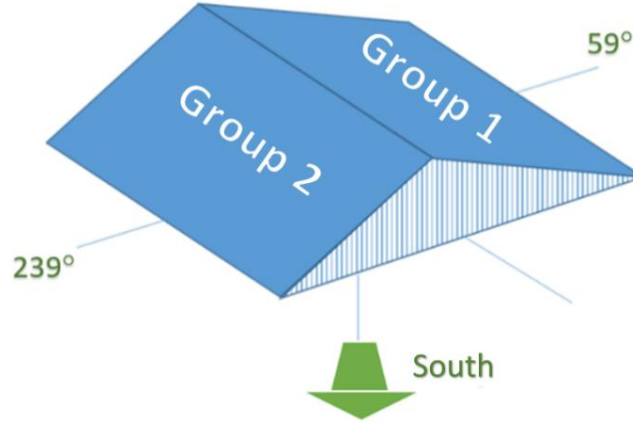


Figure 13. Roof view of the real system

The real SPP system catalog information is given in Table 2.

Table 2. System catalog information

SYSTEM INFORMATION			
PV DATASHEET		INVERTER DATASHEET	
Model	BYD 250P6-30	Model	POWADOR 33.0 TL3
Voc	38 V	Operation Voltage	200 V-950 V DC
Vmp	30,40 V	Max Input Current	3X34 A
Isc	8,98 A	Efficiency	98%
Imp	8,22 A		
Pmax	250 W		
Efficiency	15,37%		

The inverter used in the system is a 3 MPPT, IGBT switched, self-changing transformerless on-grid inverter.

Circuit diagram of a system with two inverters is shown in Figure 14.

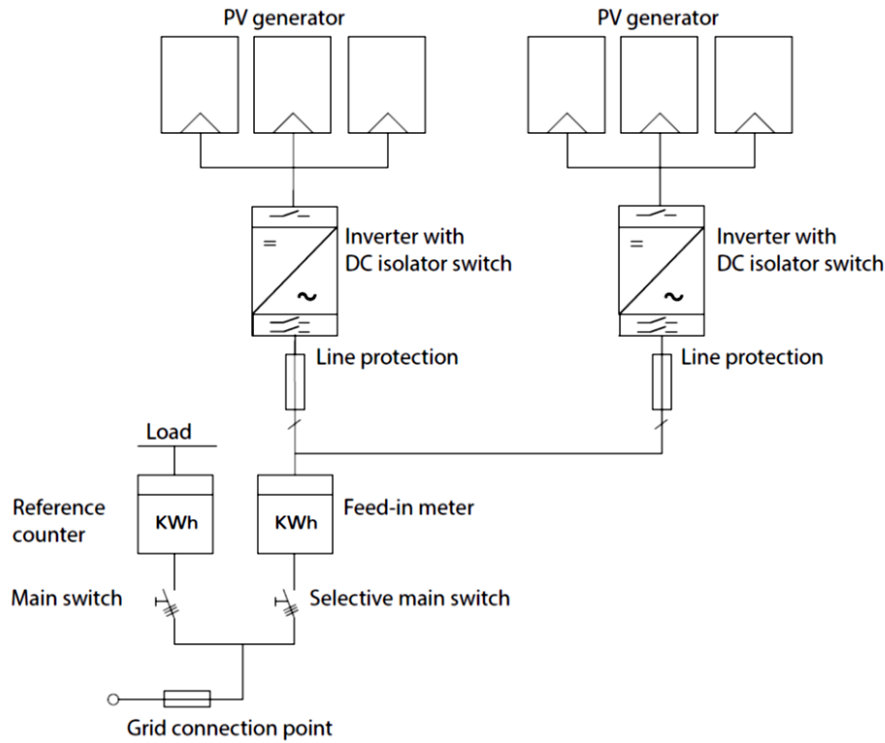


Figure 14. Circuit diagram of a system with two inverters

#### 4.1 PVGIS Program Calculation

PVGIS program is a free solar energy calculation program prepared by the European Commission. The program is accessible at [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/). The PVGIS program calculates the produced energy by using the system installed power, panel technology, location, total system losses, mounting type, angle of the panel and meteorology data for the location.

The real SPP energy production is calculated with PVGIS program and 2016-2020 period monthly energy production is given in Table 3.

#### 4.2 Program Calculation

The characteristic parameters of photovoltaic panels are given in the datasheets with numerical values and curves. These curves changes with ambient temperature and radiation values. The PV system program calculates the operating curves of the panel in the datasheet and determines the maximum power point correctly in all conditions.

The real SPP energy production values were compared with results of developed program, the PVGIS program. The comparison results are given in Table 3.

Table 3. Comparison of the designed program and PVGIS Results

2016	GROUP 1 (59°)					GROUP 2 (239°)				
	SPP	REAL SPP [kWh]	MODEL [kWh]	%	PVGIS [kWh]	%	REAL SPP [kWh]	MODEL [kWh]	%	PVGIS [kWh]
JANUARY	564	731	29%	796	41%	922	1.236	34%	1.208	31%
FEBRUARY	1.144	1.138	-1%	1.257	10%	1.799	1.769	-2%	1.762	-2%
MARCH	2.216	2.202	-1%	2.293	3%	2.725	2.827	4%	2.653	-3%
APRIL	3.230	3.217	0%	3.410	6%	3.872	3.901	1%	3.841	-1%
MAY	3.568	3.369	-6%	3.580	0%	3.907	3.871	-1%	3.820	-2%
JUNE	4.147	3.884	-6%	4.184	1%	4.327	4.314	0%	4.335	0%
JULY	4.380	4.126	-6%	4.483	2%	4.785	4.695	-2%	4.848	1%
AUGUST	3.216	3.236	1%	3.604	12%	3.806	3.976	4%	4.187	10%
SEPTEMBER	2.308	2.583	12%	2.800	21%	2.934	3.315	13%	3.381	15%
OCTOBER	1.749	1.696	-3%	1.828	5%	2.592	2.456	-5%	2.514	-3%
NOVEMBER	963	995	3%	1.110	15%	1.681	1.723	3%	1.806	7%
DECEMBER	688	913	33%	907	32%	1.228	1.538	25%	1.474	20%
<b>TOTAL</b>	<b>28.176</b>	<b>28.090</b>	<b>0%</b>	<b>30.253</b>	<b>7%</b>	<b>34.577</b>	<b>35.623</b>	<b>3%</b>	<b>35.829</b>	<b>4%</b>

2017	GROUP 1 (59°)					GROUP 2 (239°)				
	SPP	REAL SPP [kWh]	MODEL [kWh]	%	PVGIS [kWh]	%	REAL SPP [kWh]	MODEL [kWh]	%	PVGIS [kWh]
JANUARY	650	663	2%	833	28%	1.000	1.061	6%	1.182	18%
FEBRUARY	1.027	1.129	10%	1.185	15%	1.481	1.778	20%	1.560	5%
MARCH	1.883	1.980	5%	2.060	9%	2.508	2.533	1%	2.535	1%
APRIL	3.004	3.208	7%	2.992	0%	3.513	3.960	13%	3.325	-5%
MAY	3.357	3.453	3%	3.455	3%	3.681	3.975	8%	3.726	1%
JUNE	3.786	3.832	1%	3.861	2%	4.042	4.326	7%	4.027	0%
JULY	4.086	4.049	-1%	4.272	5%	4.419	4.686	6%	4.546	3%
AUGUST	3.213	2.950	-8%	3.596	12%	3.791	3.694	-3%	4.123	9%
SEPTEMBER	2.564	2.510	-2%	2.850	11%	3.291	3.245	-1%	3.383	3%
OCTOBER	1.750	1.731	-1%	2.007	15%	2.575	2.483	-4%	2.694	5%
NOVEMBER	976	1.157	19%	1.190	22%	1.605	1.866	16%	1.834	14%
DECEMBER	656	856	30%	802	22%	1.056	1.435	36%	1.163	10%
<b>TOTAL</b>	<b>26.954</b>	<b>27.517</b>	<b>2%</b>	<b>29.104</b>	<b>8%</b>	<b>32.962</b>	<b>35.042</b>	<b>6%</b>	<b>34.099</b>	<b>3%</b>

2018	GROUP 1 (59°)					GROUP 2 (239°)				
	SPP	REAL SPP [kWh]	MODEL [kWh]	%	PVGIS [kWh]	%	REAL SPP [kWh]	MODEL [kWh]	%	PVGIS [kWh]
JANUARY	790	663	-16%	958	21%	1.306	1.061	-19%	1.471	13%
FEBRUARY	867	1.129	30%	981	13%	1.103	1.778	61%	1.160	5%
MARCH	1.890	1.980	5%	2.067	9%	2.509	2.533	1%	2.609	4%
APRIL	2.920	3.208	10%	3.269	12%	3.525	3.960	12%	3.821	8%
MAY	2.965	3.453	16%	3.286	11%	3.276	3.975	21%	3.549	8%
JUNE	3.647	3.832	5%	3.923	8%	3.708	4.326	17%	3.919	6%
JULY	3.743	4.049	8%	4.149	11%	4.024	4.686	16%	4.398	9%
AUGUST	3.390	2.950	-13%	3.846	13%	3.959	3.694	-7%	4.323	9%
SEPTEMBER	2.365	2.510	6%	2.685	14%	3.001	3.245	8%	3.200	7%
OCTOBER	1.548	1.731	12%	1.876	21%	2.261	2.483	10%	2.519	11%
NOVEMBER	759	1.157	52%	981	29%	1.281	1.866	46%	1.560	22%
DECEMBER	547	856	57%	754	38%	878	1.435	63%	1.152	31%
<b>TOTAL</b>	<b>25.432</b>	<b>27.517</b>	<b>8%</b>	<b>28.777</b>	<b>13%</b>	<b>30.830</b>	<b>35.042</b>	<b>14%</b>	<b>33.681</b>	<b>9%</b>

2019	GROUP 1 (59°)					GROUP 2 (239°)					
	SPP	REAL SPP [kWh]	MODEL [kWh]	%	PVGIS [kWh]	%	REAL SPP [kWh]	MODEL [kWh]	%	PVGIS [kWh]	%
JANUARY		611	663	8%	776	27%	840	1.061	26%	968	15%
FEBRUARY		992	1.129	14%	1.195	20%	1.563	1.778	14%	1.752	12%
MARCH		2.337	1.980	-15%	2.690	15%	3.108	2.533	-19%	3.341	7%
APRIL		2.554	3.208	26%	2.878	13%	2.983	3.960	33%	3.258	9%
MAY		3.465	3.453	0%	3.735	8%	3.621	3.975	10%	3.868	7%
JUNE		3.827	3.832	0%	4.123	8%	3.941	4.326	10%	4.311	9%
JULY		3.935	4.049	3%	4.275	9%	4.129	4.686	13%	4.504	9%
AUGUST		3.475	2.950	-15%	3.879	12%	4.001	3.694	-8%	4.367	9%
SEPTEMBER		2.424	2.510	4%	2.911	20%	3.182	3.245	2%	3.454	9%
OCTOBER		1.386	1.731	25%	1.722	24%	2.163	2.483	15%	2.552	18%
NOVEMBER		852	1.157	36%	1.075	26%	1.411	1.866	32%	1.663	18%
DECEMBER		556	856	54%	786	41%	940	1.435	53%	1.227	31%
<b>TOTAL</b>		<b>26.415</b>	<b>27.517</b>	<b>4%</b>	<b>30.046</b>	<b>14%</b>	<b>31.882</b>	<b>35.042</b>	<b>10%</b>	<b>35.265</b>	<b>11%</b>

2020	GROUP 1 (59°)					GROUP 2 (239°)					
	SPP	REAL SPP [kWh]	MODEL [kWh]	%	PVGIS [kWh]	%	REAL SPP [kWh]	MODEL [kWh]	%	PVGIS [kWh]	%
JANUARY		683	663	-3%	950	39%	1.208	1.061	-12%	1.558	29%
FEBRUARY		1.128	1.129	0%	1.428	27%	1.695	1.778	5%	1.917	13%
MARCH		1.794	1.980	10%	2.087	16%	2.304	2.533	10%	2.541	10%
APRIL		2.640	3.208	22%	3.038	15%	3.123	3.960	27%	3.448	10%
MAY		3.245	3.453	6%	3.687	14%	3.565	3.975	12%	3.980	12%
JUNE		3.337	3.832	15%	3.898	17%	3.316	4.326	30%	3.932	19%
JULY		3.856	4.049	5%	4.425	15%	4.099	4.686	14%	4.721	15%
AUGUST		3.055	2.950	-3%	3.854	26%	3.634	3.694	2%	4.336	19%
SEPTEMBER		1.930	2.510	30%	2.737	42%	2.664	3.245	22%	3.286	23%
OCTOBER		1.440	1.731	20%	1.874	30%	2.184	2.483	14%	2.489	14%
NOVEMBER		902	1.157	28%	1.186	32%	1.680	1.866	11%	2.012	20%
DECEMBER		540	856	58%	791	46%	861	1.435	67%	1.239	44%
<b>TOTAL</b>		<b>24.551</b>	<b>27.517</b>	<b>12%</b>	<b>29.955</b>	<b>22%</b>	<b>30.333</b>	<b>35.042</b>	<b>16%</b>	<b>35.458</b>	<b>17%</b>

Average energy production of the SPP in 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 are compared with the designed program and PVGIS program results as shown in Table 3. In the calculations, PVGIS-SARAH 2 meteorology data in 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 are used for the designed program and PVGIS program. The designed program calculates the total energy production of both groups for 2016-2020 years with a 1,5% difference. The PVGIS program calculates the total energy production of both groups with a 5,3% difference. As a result of the comparison, the designed program gave more realistic results than the PVGIS program when using the same meteorology data.

The results calculated by the designed program are closer to real SPP energy production than the PVGIS program. When the calculation results are compared with groups at different directions, this program gives more correct results for angular differences. Each program calculation result is compared with using SARAH 2 meteorology data. In this way, the designed program results can be compared with the PVGIS program results at the same conditions, as shown in Table 4.

Table 4. General comparison table

INDEX	INFORMATION	GROUP1 (59°) (kWh)	GROUP2 (239°) (kWh)	TOTAL (kWh)	RATE (%)
<b>A</b>	<b>PROJECT ENERGY CALC.</b>	32.596	36.618	<b>69.214</b>	<b>18%</b>
	<b>2016 PRODUCTION</b>	28.176	34.577	<b>62.752</b>	-
	<b>2016 MODEL RESULT</b>	28.090	35.623	<b>63.713</b>	<b>2%</b>
	<b>2016 PVGIS RESULT</b>	30.253	35.829	<b>66.082</b>	<b>5%</b>
	<b>2017 PRODUCTION</b>	26.954	32.962	<b>59.916</b>	-
	<b>2017 MODEL RESULT</b>	27.031	34.229	<b>61.260</b>	<b>2%</b>
	<b>2017 PVGIS RESULT</b>	29.104	34.099	<b>63.203</b>	<b>5%</b>
	<b>2018 PRODUCTION</b>	25.432	30.830	<b>56.262</b>	-
<b>B</b>	<b>2018 MODEL RESULT</b>	26.266	33.585	<b>59.851</b>	<b>6%</b>
	<b>2018 PVGIS RESULT</b>	28.777	33.681	<b>62.458</b>	<b>11%</b>
	<b>2019 PRODUCTION</b>	26.415	31.882	<b>58.297</b>	-
	<b>2019 MODEL RESULT</b>	27.724	35.212	<b>62.936</b>	<b>8%</b>
	<b>2019 PVGIS RESULT</b>	30.046	35.265	<b>65.311</b>	<b>12%</b>
	<b>2020 PRODUCTION</b>	24.551	30.333	<b>54.884</b>	-
	<b>2020 MODEL RESULT</b>	27.792	35.416	<b>63.208</b>	<b>15%</b>
	<b>2020 PVGIS RESULT</b>	29.954	35.458	<b>65.412</b>	<b>19%</b>
	<b>2016-2020 PRODUCTION</b>	131.527	160.585	<b>292.112</b>	-
<b>C</b>	<b>2016-2020 MODEL RESULT</b>	136.903	174.065	<b>310.968</b>	<b>6%</b>
	<b>2016-2020 PVGIS RESULT</b>	148.134	174.332	<b>322.466</b>	<b>10%</b>
	<b>2016-2020 REEL PRODUCTION AVERAGE</b>	26.305	32.117	<b>58.422</b>	-
<b>D</b>	<b>2016-2020 MODEL PRODUCTION AVERAGE</b>	27.381	34.813	<b>62.194</b>	<b>6%</b>
	<b>2016-2020 PVGIS PRODUCTION AVERAGE</b>	29.627	34.866	<b>64.493</b>	<b>10%</b>

As indicated in row A of Table 4, the SPP project plan is the predicted energy production 32596 kWh for Group 1, 36618 kWh for Group 2 and 69214 kWh in total. When the five-year average energy production of the system is compared with the project plan, it was seen that 18% more energy production is expected in the project.

In the B row of Table 4, yearly SPP energy productions are compared with the energy production estimations of the designed program and PVGIS program results. PVGIS SARAH 2 meteorological data of 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 years are used in the designed program. The results obtained are compared with real SPP energy production and it has been observed that maximum annual deviation is 15%. The maximum annual deviation for the result of the PVGIS calculation is 19%.

In the C row of Table 4, the designed program, PVGIS program and real SPP total energy productions are compared with data of 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 years. The SPP produced 292112 kWh of energy in five years. The program calculated the energy production as 310968 kWh. As a result, it has been shown that there is a 6 % deviation the in the program results in total of five years. On the other hands, PVGIS program calculated total energy production 322466 an % 10 upper from the real system generation.

In the D row of Table 4, the annual average energy productions of real SPP, designed model and PVGIS are compared for the years between 2016 and 2020. The average results of designed model are compared with real SPP energy production and it has been observed that maximum annual average deviation is 6%. The maximum annual average deviation for the result of the PVGIS calculation is 10%. The comparison graph of produced and estimated energy is shown in Figure 15.

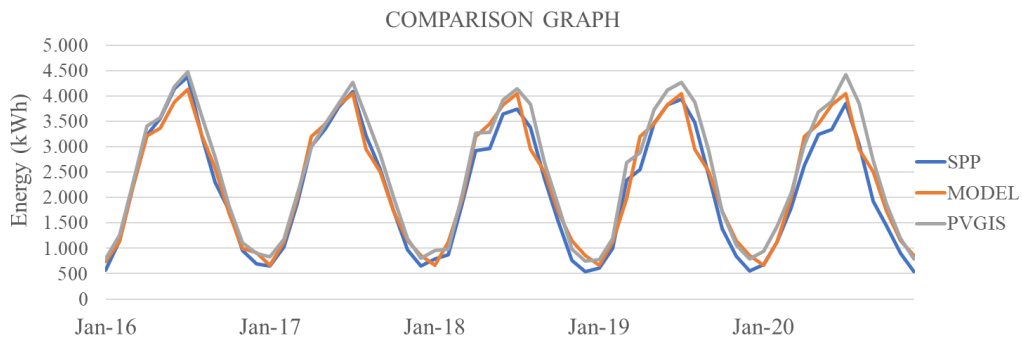


Figure 15. Comparison of the programs results

Program input parameters of the calculation programs are similar but there are some differences in the result parameters. The main inputs in the programs include system panel maximum power, coordinate information, meteorology data, mounting direction and angle, panel type and loss rate. Additionally, the designed program uses system characteristic parameters in the datasheet. As a result of the calculation, the system's monthly and annual total energy production forecast can be obtained by using this program. Table 5 shows the output parameters produced by the programs. As seen in table, the designed program output gives more parameters of the panel and system than the others.

Table 5. Result parameter comparison table

PARAMETER	PVGIS	PROGRAM
Beam Irradiance (W/m <sup>2</sup> )	x	x
Diffuse Irradiance (W/m <sup>2</sup> )	x	x
Reflected Irradiance (W/m <sup>2</sup> )	x	x
Ambient Temperature (C)	x	x
Wind Speed (m/s)	x	x
Plane of Array Irradiance (W/m <sup>2</sup> )		x
Cell Temperature (C)		x
DC Array Output (W)		x
AC System Output (W)	x	x



Solar Altitude Angle (°)	x	x
Declination Angle (°)		x
Azimuth Angle (°)		x
Hour Angle		x
AOI Angle of Incidence (°)		x
Day Length (hour)		x
LST Local Solar Time (hour)		x
PV Maximum Power (W)		x
PV Open Circuit Voltage (V)		x
PV Short Circuit Current (A)		x

## 5. Conclusion

In this study, a model and program are designed for more realistic SPP energy production calculations. This program is used to calculate the amount of energy production to be produced by using the position and mounting angles of PV, the characteristic values of the PV panels and inverters parameters in the datasheets.

The calculation results of designed program are desired to be closest to the real energy production and to minimize the errors. In addition to, more realistic results tried to be obtained on different operating conditions. In the monthly comparisons, closer results to SPP energy production is obtained by means of designed program than the other program.

When the energy production of the SPP is examined, Group 2 produces 22% more energy than Group 1. According to the results of the designed program, it estimates 27% more energy production. On the other hand PVGIS calculated 17% difference. The results are close to each other.

The designed program calculates 15% more energy production yearly if the panel groups are directed the south with 30° tilt angle. These results show remarkable effect of panel setup on energy production.

There are 2-15% differences between the designed program calculation results and the real SPP energy production. PVGIS-SARAH 2 meteorology data are used in this program. As a result of the calculations, more sensitive and realistic results for this program are obtained than other program.

Unlike other programs that use average value and proportional approaches in calculations, the designed program uses panel and inverter catalog values. In this way, it provides the opportunity to make calculations for the existing products or prototype by entering the datasheet values manually. There are many products with the same power value on the market, but their quality and technology, efficiency and characteristic curves are different from each other. The designed program provides the opportunity to make realistic calculations for different products.

## References

- [1] Gu, W., Ma, T., Li, M., Shen, L., & Zhang, Y. (2020). A coupled optical-electrical-thermal model of the bifacial photovoltaic module. *Applied Energy*, 258(October 2019), 114075, 1-14.

- [2] Karafil, A., Ozbay, H., Kesler, M., & Parmaksiz, H., (2016), Calculation of optimum fixed tilt angle of PV panels depending on solar angles and comparison of the results with experimental study conducted in summer in Bilecik, Turkey. **ELECO 2015**, 971–976
- [3] Copper, J. K., & Sproul, A. B. (2012). Comparative study of mathematical models in estimating solar irradiance for Australia. **Renewable Energy**, 43, 130–139.
- [4] Shen, C., He, Y. L., Liu, Y. W., & Tao, W. Q. (2008). Modelling and simulation of solar radiation data processing with Simulink. **Simulation Modelling Practice and Theory**, 16(7), 721–735.
- [5] Tina, G. M., Ventura, C., Sera, D., & Spataru, S. (2017). Comparative assessment of PV plant performance models considering climate effects. **Electric Power Components and Systems**, 45(13), 1381–1392.
- [6] Al-Ghussain, L., Taylan, O., Abujubbeh, M., & Hassan, M. A. (2023). Optimizing the orientation of solar photovoltaic systems considering the effects of irradiation and cell temperature models with dust accumulation. **Solar Energy**, 249(October 2022), 67–80.
- [7] Rustemli, S. & Dincadam, F. & Demirtas, M. (2010). Performance comparison of the sun tracking system and fixed system in the application of heating and lighting. **Arabian Journal for Science and Engineering**. 35. 171-183.
- [8] Beyoğlu, M. F. (2011). Comparison of efficiencies of dual axis solar tracking system and fixed axis PV system in Balıkesir City. Balıkesir University Institute of Science, Master thesis.
- [9] Abood, A., A. (2015). A comprehensive solar angles simulation and calculation using Matlab. **International Journal of Energy and Environment**, 6(4), 367–376.
- [10] Jazayeri, K., Uysal, S., & Jazayeri, M. (2013). Matlab/Simulink based simulation of solar incidence angle and the sun's position in the sky with respect to observation points on the Earth. **Proceedings of 2013 International Conference on Renewable Energy Research and Applications**, ICRERA 2013, 173–177.
- [11] Humada, A. M., Darweesh, S. Y., Mohammed, K. G., Kamil, M., Mohammed, S. F., Kasim, N. K., Mekhilef, S. (2020). Modeling of PV system and parameter extraction based on experimental data: Review and investigation. **Solar Energy**, 199, 742–760.
- [12] Lo Brano, V., Ciulla, G., & Di Falco, M., (2014), Artificial neural networks to predict the power output of a PV panel. **International Journal of Photoenergy**, 1-12.
- [13] Yildiran, N., & Tacer, E., (2016), Identification of photovoltaic cell single diode discrete model parameters based on datasheet values. **Solar Energy**, 127, 175–183
- [14] Anand, A., & Akella, A. K. (2016). Modelling and analysis of single diode photovoltaic module using Matlab / Simulink, 6(3), 29–34.
- [15] Vinod, Kumar, R., & Singh, S. K. (2018). Solar photovoltaic modeling and simulation: As a renewable energy solution. **Energy Reports**, 4, 701–712.
- [16] Bouraiou, A., Hamouda, M., Chaker, A., Sadok, M., Mostefaoui, M., & Lachtar, S. (2015). Modeling and simulation of photovoltaic module and array based on one and two diode model using Matlab/Simulink. **Energy Procedia**, 74, 864–877.
- [17] Lidaighbi, S., Elyaqouti, M., Ben Hmamou, D., Saadaoui, D., Assalaou, K., & Arjdal, E. (2022). A new hybrid method to estimate the single-diode model parameters of solar photovoltaic panel. **Energy Conversion and Management: X**, 15, 100234.

- [18] Vinod, Kumar, R., & Singh, S. K. (2018). Solar photovoltaic modeling and simulation: As a renewable energy solution. **Energy Reports**, 4, 701–712.
- [19] Huld, T., Müller, R., & Gambardella, A. (2012). A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa. **Solar Energy**, 86(6), 1803–1815.
- [20] Beyoğlu, M.F., Demirtaş, M. (2019). A comparative evaluation of photovoltaic power plant energy production established in Balıkesir province and production forecasting programs. **International Marmara Sciences Congress (Autumn) 2019 Proceedings Book (Natural and Applied Sciences)**, (November), 401–406.
- [21] Tian, H., Mancilla-david, F., Ellis, K., Jenkins, P., & Muljadi, E. (2012). A detailed performance model for photovoltaic systems preprint. **Solar Energy Journal**, (July), 1-54.
- [22] Neamt, L., & Chiver, O., (2013), A simple method for photovoltaic energy estimation. *Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, **2013 12th International Conference On**, (4), 513–516
- [23] AbdelHady, R. (2017). Modeling and simulation of a micro grid-connected solar PV system. **Water Science**, 31(1), 1–10.
- [24] Mohanty, P., Bhuvanewari, G., Balasubramanian, R., & Dhaliwal, N. K. (2014). Matlab based modeling to study the performance of different MPPT techniques used for solar PV system under various operating conditions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 38, 581–593.
- [25] de la Parra, I., Muñoz, M., Lorenzo, E., García, M., Marcos, J., & Martínez-Moreno, F. (2017). PV performance modelling: A review in the light of quality assurance for large PV plants. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 78(March), 780–797.
- [26] Tian, Z., Deng, J., Zhang, S., Yao, R., & Shao, L. (2020). A quick measurement method for determining the incidence angle modifier of flat plate solar collectors using spectroradiometer. **Solar Energy**, 201(March), 746–750.
- [27] Huang, C., Huang, M., & Chen, C. (2012). A novel power output model for photovoltaic systems, 2, 139-147.
- [28] Correa-Betanzo, C., Calleja, H., & De León-Aldaco, S. (2018). Module temperature models assessment of photovoltaic seasonal energy yield. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, 27(March), 9–16.
- [29] Dobos, A. P. (2014). PVWatts Version 5 Manual.

# Analysis of fractional random ordinary differential equations by Adomian Decomposition Method

Mehmet MERDAN<sup>1\*</sup>, Nihal ATASOY<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gümüşhane University, Faculty of Engineering and Natural Science, Department of Mathematical Engineering, Gümüşhane, Turkey

Geliş Tarihi (Received Date): 06.03.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 04.09.2023

## Abstract

*In this study, random ordinary differential equations obtained by randomly choosing the coefficients or initial conditions of the ordinary differential equations will be analyzed by the Adomian Decomposition Method. The initial conditions or coefficients of the equations will be converted to random variables with normal and exponential distribution. Probability characteristics such as expected value, variance and confidence interval of the obtained random ordinary differential equations will be calculated. Obtained results will be drawn with the help of MATLAB (2013a) package program and random results will be interpreted.*

**Keywords:** Adomian decomposition method, fractional derivative, nonlinear ordinary differential equation

## Kesir mertebeden rastgele adi diferansiyel denklemlerin Adomian Ayrıştırma Yöntemi ile analizi

### Öz

*Bu çalışmada, adi diferansiyel denklemlerin katsayılarının veya başlangıç koşullarının rasgele seçilmesiyle elde edilen rasgele adi diferansiyel denklemler, Adomian Ayrıştırma Yöntemi ile analiz edilecektir. Denklemlerin başlangıç koşulları veya katsayıları, normal ve üstel dağılıma sahip rasgele değişkenlere dönüştürülecektir. Elde edilen rastgele adi diferansiyel denklemlerin beklenen değeri, varyansı ve güven aralığı gibi olasılık*

\*Mehmet MERDAN, mehmetmerdan@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8509-3044>  
Nihal ATASOY, nihالاتasoy0@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1993-5810>

özellikleri hesaplanacaktır. Elde edilen sonuçlar MATLAB (2013a) paket programı yardımıyla çizilecek ve rastgele sonuçlar yorumlanacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Adomian ayrıştırma yöntemi, kesirli türev, lineer olmayan adi diferansiyel denklem

## 1. Introduction

Application of nonlinear differential equations in physics, engineering etc. It has many applications in fields. Such equations often do not have analytical solutions. Many problems, such as physics and engineering, can be modeled mathematically. Since these models are expressed with the help of nonlinear differential equations, there are methods developed in the literature to obtain approximate analytical solutions of these equations. One of these methods is the Adomian Decomposition Method.

ADM was first introduced by Adomian in the early 1980s. Adomian applied this method to find approximate solutions of deterministic, linear and nonlinear problems with boundary and initial conditions. The method is constructed by decomposing nonlinear

$Ny$  terms.  $Ny = \sum_{n=0}^{\infty} A_n$  is defined as. Here,  $A_n$  are Adomian polynomials. Each

$A_n$  depends on the arguments  $y_0, y_1, y_2, \dots, y_n$  for  $n > 0$ . The formulas to obtain these polynomials were developed by Adomian [1-4]. In recent years, more and more researchers have applied this method to solving nonlinear systems [5–22]. We firstly study the algorithm and convergence analysis of ADM, and then apply ADM to constructing approximate solutions for nonlinear equations with initial data, including algebraic equations, fractional ordinary differential equations and fractional partial differential equations.

In recent years [27-33], many studies have been carried out on random differential equations, random partial differential equations and random integral equations. The deterministic model assumes that the parameters are fixed quantities, while the disease dynamics represented by the parameters may be random in nature. Therefore, we will use a random system of differential equations to represent this randomness. In our study, we transformed the parameters of the deterministic model into random variables to analyze the coefficients or initial conditions random transmission dynamics. The deterministic model assumes that the parameters are constant quantities, while the disease dynamics represented by the parameters can be random in nature. So we will use a random differential equation to represent this randomness.

The motivation for this study is the previous literature on random modeling of various diseases. Exponential and Normal (Gaussian) distributions will be used for the distributions of random parameters. In addition to expected values, random models and equations enable analysis of other numerical properties of the results. Results for expected values, variations, standard deviations, coefficients of variation, and confidence intervals provide analysis of changes in deterministic results. This analysis cannot be done using the deterministic model. Therefore, the random model offers much more than the random model. In recent years, the relationship of the mentioned method with the literature and the comparison results of the proposed articles are included in the [literature](#)[34-40].

The rest of this present paper is arranged as follows: Basic idea of Adomian Decomposition Method are introduced in Section 2. An attractive applications with graphical results to verify the effectiveness and reliability of our technique, along with the methodology of the proposed method, tables and discussions are given in Chapter 3. Finally, Chapter 4 concludes the output of the entire article.

**1.1.Preliminaries**

**Definition 1.** We define the Caputo fractional order derivative of the function  $f(t)$  [41-42]

$${}^C_0D_t^\alpha [f(t)] = \frac{1}{\Gamma(\beta - \alpha)} \int_0^t (t - \eta)^{\beta - \alpha - 1} f(\eta)^{(\beta)} d\eta$$

Where,  $\beta = [\alpha] + 1$  and  $[\alpha]$  represents the integral parts of  $\alpha$ .

**Definition 2.** The Riemann-Liouville fractional derivative of order  $0 < \alpha < 1$  of a function is defined as [43]

$${}^{RL}_0D_x^\alpha f(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha - 1)} \frac{d}{dx} \int_0^x (x - t)^{-\alpha} f(t) dt$$

where  $\Gamma(\cdot)$  denotes the Gamma function.

**2.Adomian decomposition method**

Let  $L(y) + R(y) + N(y) = f(t)$  be the ordinary differential equation. Here  $L$  is the highest order inverse derivative operator,  $R$  is linear differential operator,  $N$  is nonlinear operator and  $f$  is an independent term from  $y$ .  $y$  is the solution of the equation. The main purpose of the Adomian Decomposition Method is to implement the inverse operator. If  $L^{-1}$  is applied to both sides of the expression

$$Ly(t) = f(t) - Ry(t) - N(y(t))$$

giving the solution, then

$$y(t) = \psi_0(t) + L^{-1}f(t) - L^{-1}Ry(t) - L^{-1}N(y(t))$$

is obtained and  $\psi_0$  contains terms resulting from the use of initial conditions.

$$\psi_0(x) = \begin{cases} y(0), & L = \frac{d}{dt} \\ y(0) + ty'(0), & L^2 = \frac{d^2}{dt^2} \\ y(0) + ty'(0) + \frac{1}{2}t^2y''(0), & L^3 = \frac{d^3}{dt^3} \\ y(0) + ty'(0) + \frac{1}{2}t^2y''(0) + \frac{1}{3!}t^3y'''(0), & L^4 = \frac{d^4}{dt^4} \end{cases}$$

or

$$\sum_{n=0}^\infty y_n(t) = \psi_0(t) + L^{-1}f(t) - L^{-1}R \sum_{n=0}^\infty y_n(t) - L^{-1} \sum_{n=0}^\infty A_n(t) \tag{1}$$

and  $A_n(t)$  in (1) are the Adomian polynomials. If  $y_0(t)$  is defined as  $\psi_0(t) + L^{-1}f(t)$  the remaining components are determined by the following equations [6]:

$$y_0(t) = \psi_0(t) + L^{-1}f(t),$$

$$y_k(t) = -L^{-1}Ry_{k-1}(t) - L^{-1}A_{k-1}(t), \quad k = 1, 2, \dots$$

Adomian polynomials can be obtained as follows [1-4]:

$$A_0 = f(y_0),$$

$$A_1 = y_1 \frac{df(y_0)}{dy_0},$$

$$A_2 = y_2 \frac{df(y_0)}{dy_0} + \frac{y_1^2}{2!} \frac{d^2f(y_0)}{dy_0^2},$$

$$A_3 = y_3 \frac{df(y_0)}{dy_0} + y_1 y_2 \frac{d^2f(y_0)}{dy_0^2} + \frac{y_1^3}{3!} \frac{d^3f(y_0)}{dy_0^3},$$

$$A_4 = y_4 \frac{df(y_0)}{dy_0} + \left( \frac{1}{2!} y_2^2 + y_1 y_3 \right) \frac{d^2f(y_0)}{dy_0^2} + \frac{1}{2!} y_1^2 y_2 \frac{d^3f(y_0)}{dy_0^3} + \frac{y_1^4}{4!} \frac{d^4f(y_0)}{dy_0^4}, \dots$$

The authors of [44] also worked on ADM convergence analysis using the Cauchy-Kowalevskaya theorem formalism, which guarantees that the solutions of initial value problems for systems of ordinary differential equations with analytical vector fields are analytical over time for small time intervals.

### 3.Application

In this Chapter, we provide attractive and interesting examples with graphical results to demonstrate the effectiveness and simplicity of the method we proposed in Chapter 2.

#### Example 3. 1.

Consider the following random ordinary fractional differential equation

$$\frac{dy}{dt} = -\frac{d^{\frac{1}{2}}(-y)}{dt^{\frac{1}{2}}} - y, \tag{2}$$

subject to the initial conditions

$$y(0) = B$$

where  $B \sim N(\mu, \sigma^2)$  is parameter with Normal distribution. If  $L^{-1}$  is applied to both sides of the equation in equation (2), where  $L = \frac{d}{dt}$ , equation (3) is obtained.

$$L^{-1} \frac{dy}{dt} = -L^{-1} \frac{d^{\frac{1}{2}}(-y)}{dt^{\frac{1}{2}}} - L^{-1}y$$

$$y_{n+1} = -\frac{d^{-\frac{1}{2}}}{dt^{-\frac{1}{2}}} A_n - L^{-1}y_n \tag{3}$$

As Adomian Polynomials,  $f(y) = -y, f'(y) = -1, f''(y) = 0$ .

$$A_0 = B,$$

$$A_1 = -y_1 = \frac{2B}{\sqrt{\pi}} t^{\frac{1}{2}} + Bt,$$

$$A_2 = -y_2 = Bt - \frac{Bt^2}{2},$$

$$y_0 = B,$$

$$y_1 = -\frac{d^{-\frac{1}{2}}}{dt^{-\frac{1}{2}}} A_0 - L^{-1} y_0 = -\frac{d^{-\frac{1}{2}}}{dt^{-\frac{1}{2}}} B - L^{-1} B = -\frac{2B}{\sqrt{\pi}} t^{\frac{1}{2}} - Bt,$$

$$y_2 = -\frac{d^{-\frac{1}{2}}}{dt^{-\frac{1}{2}}} A_1 - L^{-1} y_1 = -\frac{d^{-\frac{1}{2}}}{dt^{-\frac{1}{2}}} \left[ \frac{2B}{\sqrt{\pi}} t^{\frac{1}{2}} + Bt \right] + L^{-1} \left[ \frac{2B}{\sqrt{\pi}} t^{\frac{1}{2}} + Bt \right] = -Bt + \frac{Bt^2}{2},$$

$$\begin{aligned} y_3 &= -\frac{d^{-\frac{1}{2}}}{dt^{-\frac{1}{2}}} A_2 - L^{-1} y_2 = -\frac{d^{-\frac{1}{2}}}{dt^{-\frac{1}{2}}} \left( Bt - \frac{Bt^2}{2} \right) + L^{-1} \left( Bt - \frac{Bt^2}{2} \right) \\ &= -\frac{4B}{3\sqrt{\pi}} t^{\frac{3}{2}} + \frac{8B}{15\sqrt{\pi}} t^{\frac{5}{2}} + \frac{Bt^2}{2} - \frac{Bt^3}{6}, \end{aligned}$$

In the equation  $y(t) = y_0(t) + y_1(t) + y_2(t) + y_3(t) + \dots$  instead of  $y_0(t)$ ,  $y_1(t)$ ,  $y_2(t)$ ,  $y_3(t)$  values written and edited, the following (4) solution will be found.

$$\begin{aligned} y(t) &= B - \frac{2B}{\sqrt{\pi}} t^{\frac{1}{2}} - Bt - Bt + \frac{Bt^2}{2} - \frac{4B}{3\sqrt{\pi}} t^{\frac{3}{2}} + \frac{8B}{15\sqrt{\pi}} t^{\frac{5}{2}} + \frac{Bt^2}{2} - \frac{Bt^3}{6} + \dots \\ y(t) &= \left( 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} t^{\frac{1}{2}} + t^2 - 2t - \frac{4}{3\sqrt{\pi}} t^{\frac{3}{2}} + \frac{8}{15\sqrt{\pi}} t^{\frac{5}{2}} - \frac{t^3}{6} + \dots \right) B \end{aligned} \quad (4)$$

The moment generating function of the Normal distribution is

$$M_X(t) = E[e^{tX}] = e^{\frac{1}{2}\sigma^2 t^2 + \mu t}$$

The moments of the random variable  $B \sim N(\mu, \sigma^2)$  are calculated as

$$E[B] = \mu, \quad E[B^2] = \sigma^2 + \mu^2$$

Using the basic properties of the expected value for the random variable, the expected value of equation (4) is found as (5). If  $B \sim N(\mu = 2, \sigma^2 = 5)$  special values are selected, equation (6) is obtained.

$$\begin{aligned} E[y(t)] &= \left( 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} t^{\frac{1}{2}} + t^2 - 2t - \frac{4}{3\sqrt{\pi}} t^{\frac{3}{2}} + \frac{8}{15\sqrt{\pi}} t^{\frac{5}{2}} - \frac{t^3}{6} + \dots \right) E[B] \\ E[y(t)] &= \left( 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} t^{\frac{1}{2}} + t^2 - 2t - \frac{4}{3\sqrt{\pi}} t^{\frac{3}{2}} + \frac{8}{15\sqrt{\pi}} t^{\frac{5}{2}} - \frac{t^3}{6} + \dots \right) \mu \end{aligned} \quad (5)$$

$$E[y(t)] = 2 \left( 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} t^{\frac{1}{2}} + t^2 - 2t - \frac{4}{3\sqrt{\pi}} t^{\frac{3}{2}} + \frac{8}{15\sqrt{\pi}} t^{\frac{5}{2}} - \frac{t^3}{6} + \dots \right) \quad (6)$$

If the expected value is plotted with MATLAB (2013a) for the given parameter values, the graph in Figure 1. is obtained.



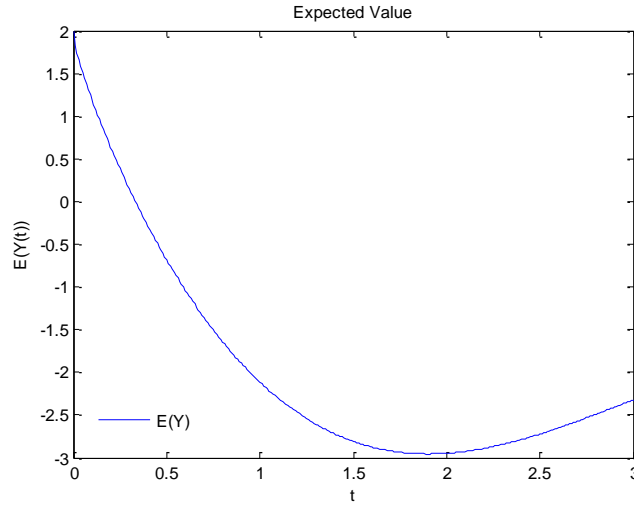


Figure 1. The solution behavior of the expected value of equation (4) for special values  $B \sim N(\mu = 2, \sigma^2 = 5)$ .

Using the basic properties of the variance, the variance of equation (4) is calculated as follows:

$$\begin{aligned} \text{Var}(B) &= E(B^2) - [E(B)]^2 = \sigma^2 + \mu^2 - \mu^2 = \sigma^2 \\ \text{Var}[y(t)] &= \left(1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}}t^{\frac{1}{2}} + t^2 - 2t - \frac{4}{3\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}} + \frac{8}{15\sqrt{\pi}}t^{\frac{5}{2}} - \frac{t^3}{6} + \dots\right)^2 \text{Var}[B] \\ \text{Var}[y(t)] &= \left(1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}}t^{\frac{1}{2}} + t^2 - 2t - \frac{4}{3\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}} + \frac{8}{15\sqrt{\pi}}t^{\frac{5}{2}} - \frac{t^3}{6} + \dots\right)^2 \sigma^2 \end{aligned}$$

Specifically, if  $B \sim N(\mu = 2, \sigma^2 = 5)$  is selected,

$$\text{Var}[y(t)] = 5 \left(1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}}t^{\frac{1}{2}} + t^2 - 2t - \frac{4}{3\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}} + \frac{8}{15\sqrt{\pi}}t^{\frac{5}{2}} - \frac{t^3}{6} + \dots\right)^2$$

variance value. If the variance is plotted with MATLAB (2013a) for the given parameter values, the graph in Figure 2. is obtained.

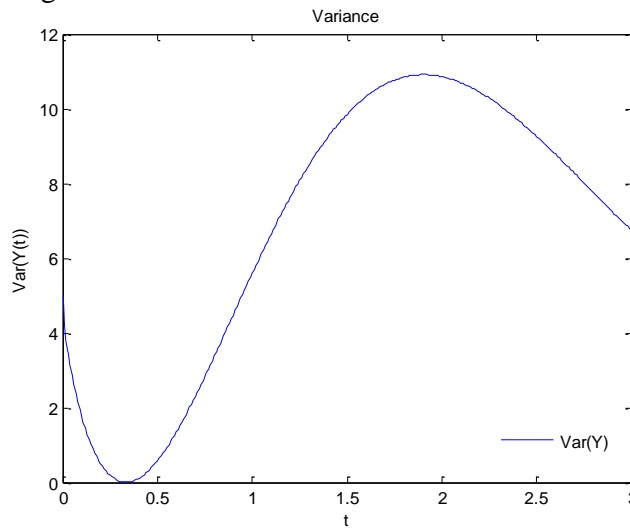


Figure 2. The solution behavior of the variance of equation (4) for special values  $B \sim N(\mu = 2, \sigma^2 = 5)$ .

Confidence intervals for expected values of random variables,

$$(E(y(t)) - K \cdot std(y(t)), E(y(t)) + K \cdot std(y(t)))$$

is equal to and this can be obtained through standard deviations. For  $K = 3$ , this formula gives approximately 99% confidence interval for the approximate expected value of the normally distributed random variable [23]. If the 99% confidence interval is plotted with MATLAB (2013a), the graph in Figure 3. is obtained.

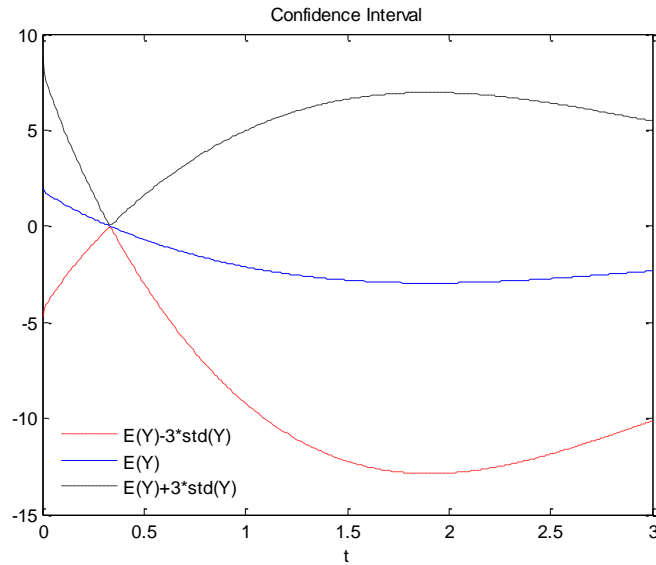


Figure 3. The solution behavior of the confidence interval of equation (4) for special values  $B \sim N(\mu = 2, \sigma^2 = 5)$ .

Table 1. Table for the expectation value, variance and 99% confidence interval

<b>t</b>	<b><math>E(y(t))</math></b>	<b><math>Var(y(t))</math></b>	<b><math>E(y(t)) - 3std(y)</math></b>	<b><math>E(y(t)) + 3std(y)</math></b>
<b>0.0</b>	2	5	-4.708203931	8.708203931
<b>0.1</b>	0.8603434431	0.9252385486	-2.025336189	3.746023075
<b>0.2</b>	0.1442786213	0.02602040111	-0.3396465896	0.6282038322
<b>0.3</b>	-0.4826270769	0.2911611188	-2.101407503	1.136153349
<b>0.4</b>	-1.048347668	1.373791039	-4.564612639	2.467917304
<b>0.5</b>	-1.562974221	3.053610517	-6.805349128	3.679400685
<b>0.6</b>	-2.031493046	5.158704992	-8.845327860	4.782341770
<b>0.7</b>	-2.456887690	7.545371395	-10.69753951	5.783764134
<b>0.8</b>	-2.841217533	10.09064634	-12.37095084	6.688515773
<b>0.9</b>	-3.186073332	12.68882909	-13.87248816	7.500341494
<b>1.0</b>	-3.492795001	15.24952115	-15.20798558	8.222395574

The expected value, variance and confidence interval for  $K = 3$  values are given in Table 1. It can be seen that the results for  $t \in [0,1]$  values are obtained similarly to the results for the case with Normal parameters.

**Example 3. 2.**

We will then consider the following random ordinary fractional differantial equation

$$y^{\frac{1}{2}} = 1 - y^2 \tag{7}$$

Let equation (7) have initial conditions  $y(0) = A$ . Where  $A \sim exponential(\lambda)$  is parameter with exponential distribution.

$$\frac{d^{\frac{1}{2}}y}{dt^{\frac{1}{2}}} = 1 - y^2 \tag{8}$$

As in the previous example if  $L^{-\frac{1}{2}}$  is applied to both sides of the equation in equation (7), where  $L = \frac{d^{\frac{1}{2}}}{dt^{\frac{1}{2}}}$ , equation (8) is obtained.

$$L^{-\frac{1}{2}}\left(\frac{d^{\frac{1}{2}}y}{dt^{\frac{1}{2}}}\right) = L^{-\frac{1}{2}}(1) - L^{-\frac{1}{2}}(y^2)$$

$$y_{n+1} = -\frac{d^{-\frac{1}{2}}}{dt^{-\frac{1}{2}}}A_n + L^{-\frac{1}{2}}(1)$$

The terms  $A_n$  and  $y_n$  are obtained as  $f(y) = y^2$ ,  $f'(y) = 2y$  and  $f''(y) = 2$ .

$$A_0 = A^2,$$

$$A_1 = \frac{4}{\sqrt{\pi}}A^2(1 - A^2)t^{\frac{1}{2}},$$

$$A_2 = \left(-4A^4 + \frac{4}{\pi}(1 - A^2)\right)(1 - A^2)t + \frac{4A^2}{\sqrt{\pi}}t^{\frac{1}{2}},$$

$$y_0 = A,$$

$$y_1 = -\frac{d^{-\frac{1}{2}}}{dt^{-\frac{1}{2}}}A_0 + L^{-\frac{1}{2}}(1) = \frac{2}{\sqrt{\pi}}(1 - A^2)t^{\frac{1}{2}},$$

$$y_2 = -\frac{d^{-\frac{1}{2}}}{dt^{-\frac{1}{2}}}A_1 + L^{-\frac{1}{2}}(1) = -2A^2(1 - A^2)t + \frac{2}{\sqrt{\pi}}t^{\frac{1}{2}},$$

$$y_3 = -\frac{d^{-\frac{1}{2}}}{dt^{-\frac{1}{2}}}A_2 + L^{-\frac{1}{2}}(1) = \left(4A^4 - \frac{4}{\pi}(1 - A^2)\right)(1 - A^2)\frac{4}{3\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}} - 2A^2t + \frac{2}{\sqrt{\pi}}t^{\frac{1}{2}},$$

As  $y(t) = y_0(t) + y_1(t) + y_2(t) + y_3(t) + \dots$  the values  $y_0(t)$ ,  $y_1(t)$ ,  $y_2(t)$ ,  $y_3(t)$  are written instead of and if edited,

$$y(t) = A + \left(-\frac{2}{\sqrt{\pi}}t^{\frac{1}{2}} - 4t + \frac{32}{3\pi\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}}\right)A^2 + \left(2t + \frac{16}{3\sqrt{\pi}}\left(1 - \frac{1}{\pi}\right)t^{\frac{3}{2}}\right)A^4 - \frac{16}{3\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}}A^6 + \frac{6}{\sqrt{\pi}}t^{\frac{1}{2}} - \frac{16}{3\pi\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}} + \dots \tag{9}$$

solution is obtained.

$$M_X(t) = E[e^{tX}] = \frac{\lambda}{\lambda - t}$$

The moments of the random variable  $A \sim \text{exponential}(\lambda)$  can be calculated using the moment generating function of the exponential distribution.

If  $A \sim \text{exponential}(\lambda = 5)$  special values are selected, the expected value is obtained as equation (10).

$$\begin{aligned} E[y(t)] &= E[A] + \left(-\frac{2}{\sqrt{\pi}}t^{\frac{1}{2}} - 4t + \frac{32}{3\pi\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}}\right)E[A^2] + \left(2t + \frac{16}{3\sqrt{\pi}}\left(1 - \frac{1}{\pi}\right)t^{\frac{3}{2}}\right)E[A^4] - \\ &\quad \frac{16}{3\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}}E[A^6] + E\left(\frac{6}{\sqrt{\pi}}t^{\frac{1}{2}}\right) - E\left(\frac{16}{3\pi\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}}\right) + \dots \\ E[y(t)] &= \frac{1}{\lambda} + \left(-\frac{2}{\sqrt{\pi}}t^{\frac{1}{2}} - 4t + \frac{32}{3\pi\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}}\right)\frac{2!}{\lambda^2} + \left(2t + \frac{16}{3\sqrt{\pi}}\left(1 - \frac{1}{\pi}\right)t^{\frac{3}{2}}\right)\frac{4!}{\lambda^4} - \frac{16}{3\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}}\frac{6!}{\lambda^6} + \\ &\quad \frac{6}{\sqrt{\pi}}t^{\frac{1}{2}} - \frac{16}{3\pi\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}} + \dots \\ E[y(t)] &= \frac{1}{5} + \left(-\frac{2}{\sqrt{\pi}}t^{\frac{1}{2}} - 4t + \frac{32}{3\pi\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}}\right)\frac{2!}{5^2} + \left(2t + \frac{16}{3\sqrt{\pi}}\left(1 - \frac{1}{\pi}\right)t^{\frac{3}{2}}\right)\frac{4!}{5^4} - \\ &\quad \frac{16}{3\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}}\frac{6!}{5^6} + \frac{6}{\sqrt{\pi}}t^{\frac{1}{2}} - \frac{16}{3\pi\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}} + \dots \end{aligned} \quad (10)$$

If the expected value is plotted with MATLAB (2013a) for the given parameter values, the graph in Figure 4. is obtained.

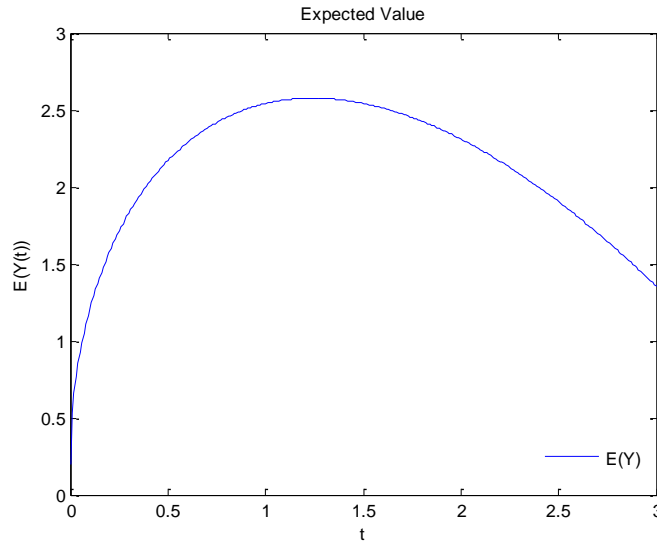


Figure 4. The solution behavior of the expected value of equation (9) for the special value  $A \sim \text{exponential}(\lambda = 5)$ .

The variance of random variable  $A$  is found as (10). If  $A \sim \text{exponential}(\lambda = 5)$  is chosen specifically, the variance is equal to (11).

$$\begin{aligned} \text{Var}[y(t)] &= \text{Var}[A] + \left(-\frac{2}{\sqrt{\pi}}t^{\frac{1}{2}} - 4t + \frac{32}{3\pi\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}}\right)^2 \text{Var}[A^2] + \\ &\quad \left(2t + \frac{16}{3\sqrt{\pi}}\left(1 - \frac{1}{\pi}\right)t^{\frac{3}{2}}\right)^2 \text{Var}[A^4] + \left(\frac{16}{3\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}}\right)^2 \text{Var}[A^6] + \dots \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Var}[y(t)] &= \frac{1}{\lambda^2} + \left(-\frac{2}{\sqrt{\pi}}t^{\frac{1}{2}} - 4t + \frac{32}{3\pi\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}}\right)^2 \frac{20}{\lambda^4} + \left(2t + \frac{16}{3\sqrt{\pi}}\left(1 - \frac{1}{\pi}\right)t^{\frac{3}{2}}\right)^2 \frac{39744}{\lambda^8} + \\
 &\quad \left(\frac{16}{3\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}}\right)^2 \frac{478483200}{\lambda^{12}} + \dots \\
 \text{Var}[y(t)] &= \frac{1}{5^2} + \left(-\frac{2}{\sqrt{\pi}}t^{\frac{1}{2}} - 4t + \frac{32}{3\pi\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}}\right)^2 \frac{20}{5^4} + \left(2t + \frac{16}{3\sqrt{\pi}}\left(1 - \frac{1}{\pi}\right)t^{\frac{3}{2}}\right)^2 \frac{39744}{5^8} + \\
 &\quad \left(\frac{16}{3\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}}\right)^2 \frac{478483200}{5^{12}} + \dots \tag{11}
 \end{aligned}$$

The graph of the variance value of the random variable  $A$  is obtained as Figure 5. for the special value  $A \sim \text{exponential}(\lambda = 5)$ .

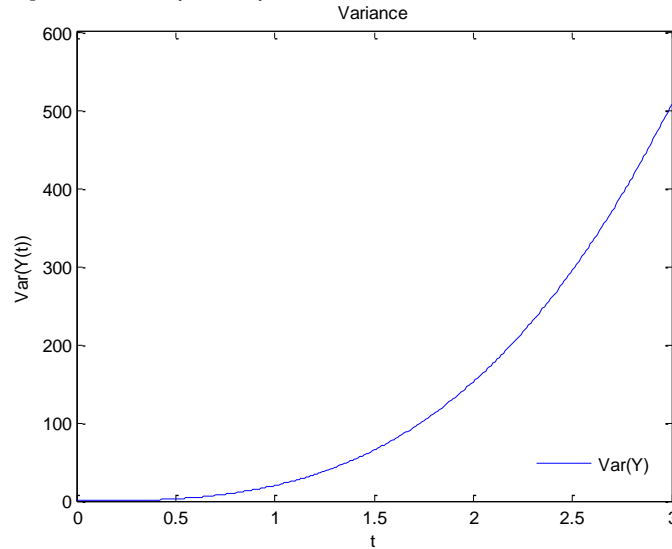


Figure 5. The solution behavior of the variance of equation (9) for the special value  $A \sim \text{exponential}(\lambda = 5)$ .

As in the previous application, the solution behavior of the approximately 98% confidence interval of the expected value of the random variable with exponential distribution for  $K = 3$  is Figure 6.

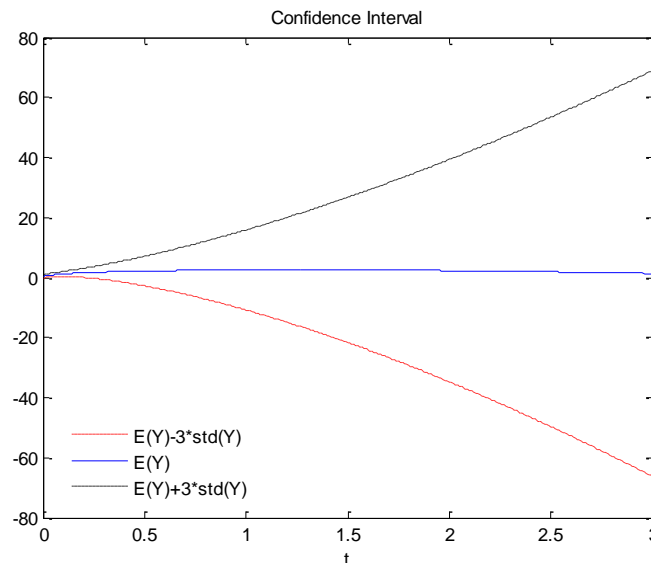


Figure 6. The solution behavior of the confidence interval of equation (8) for the special value  $A \sim \text{exponential}(\lambda = 5)$ .

Table 2. Table for the expectation value, variance and 98% confidence interval

$t$	$E(y(t))$	$Var(y(t))$	$E(y(t)) - 3std(y)$	$E(y(t)) + 3std(y)$
0.0	1/5	1/25	-0.4000000000	0.8000000000
0.1	1.193926410	0.08039504659	0.3433058014	2.044547018
0.2	1.557886374	0.2576957253	0.03497418607	3.080798560
0.3	1.808657407	0.6807656305	-0.6665982720	4.283913085
0.4	1.997120377	1.459717504	-1.627442705	5.621683459
0.5	2.143449284	2.704849520	-2.790478734	7.077377300
0.6	2.258219152	4.526504006	-4.124455526	8.640893829
0.7	2.347845506	7.035027282	-5.609242245	10.30493326
0.8	2.416594627	10.34075571	-7.230518996	12.06370825
0.9	2.467489460	14.55401064	-8.977426262	13.91240518
1.0	2.502774240	19.78509694	-10.84135827	15.84690675

The expected value, variance and confidence interval for  $K = 3$  values are given in Table 2. It can be seen that the results for  $t \in [0,1]$  values are obtained similarly to the results for the case with exponential parameters.

**Example 3. 3.**

As a third example,

$$\frac{d^{3/2}}{dt^{3/2}} = -y^2 + 3y + 1 \tag{12}$$

let's take the equation. Let the initial conditions of equation (12) be  $y(0) = A$  and  $y'(0) = B$ . Where  $A, B \sim N(\mu, \sigma^2)$ ,  $A$  and  $B$  being the random variable with normal distribution.

As in the previous example if  $L^{-\frac{3}{2}}$  is applied to both sides of the equation in equation (12), where  $L = \frac{d^{\frac{3}{2}}}{dt^{\frac{3}{2}}}$ , equation (13) is obtained.

$$\begin{aligned}
 y_{n+1} &= \frac{4}{3\sqrt{\pi}} t^{\frac{3}{2}} + 3L^{-\frac{3}{2}}(y_n) - L^{-\frac{3}{2}}(y^2) \\
 A_0 &= A^2 + 2ABt + B^2t^2, \\
 A_1 &= 2B(A + Bt) \left[ \left( \frac{4}{3\sqrt{\pi}} + \frac{4A}{\sqrt{\pi}} - \frac{4A^2}{3\sqrt{\pi}} \right) t^{\frac{3}{2}} + \left( \frac{8}{5\sqrt{\pi}} - \frac{16AB}{15\sqrt{\pi}} \right) t^{\frac{5}{2}} - \frac{32B^2}{105\sqrt{\pi}} t^{\frac{7}{2}} \right], \\
 y_1 &= \left( \frac{4}{3\sqrt{\pi}} + \frac{4A}{\sqrt{\pi}} - \frac{4A^2}{3\sqrt{\pi}} \right) t^{\frac{3}{2}} + \left( \frac{8}{5\sqrt{\pi}} - \frac{16AB}{15\sqrt{\pi}} \right) t^{\frac{5}{2}} - \frac{32B^2}{105\sqrt{\pi}} t^{\frac{7}{2}},
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

$$y_2 = \frac{4}{3\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}} + \frac{9\sqrt{\pi}}{24}\left(\frac{4}{3\sqrt{\pi}} + \frac{4A}{\sqrt{\pi}} - \frac{4A^2}{3\sqrt{\pi}}\right)t^3 + \frac{15\sqrt{\pi}}{64}\left(\frac{8}{5\sqrt{\pi}} - \frac{16AB}{15\sqrt{\pi}}\right)t^4 - \frac{B^2}{20}t^5$$

$$- \frac{1}{4}AB\sqrt{\pi}\left(\frac{4}{3\sqrt{\pi}} + \frac{4A}{\sqrt{\pi}} - \frac{4A^2}{3\sqrt{\pi}}\right)t^3 - \frac{5B^2\sqrt{\pi}}{32}\left(\frac{4}{3\sqrt{\pi}} + \frac{4A}{\sqrt{\pi}} - \frac{4A^2}{3\sqrt{\pi}}\right)t^4$$

$$- \frac{5AB\sqrt{\pi}}{32}\left(\frac{8}{5\sqrt{\pi}} - \frac{16AB}{15\sqrt{\pi}}\right)t^4 + \frac{AB^2}{20}t^5 + \frac{AB^3}{30}t^5 - \frac{3B^4}{20}t^6,$$

As  $y(t) = y_0(t) + y_1(t) + y_2(t) \dots$  the values  $y_0(t)$ ,  $y_1(t)$ ,  $y_2(t)$  are written instead of and if edited,

$$y(t) = \frac{8}{3\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}} + \frac{8}{5\sqrt{\pi}}t^{\frac{5}{2}} + \frac{t^3}{2} + \frac{3}{8}t^4 + \left(1 + \frac{4}{\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}} + \frac{3}{2}t^3\right)A + Bt - \left(\frac{16}{15\sqrt{\pi}}t^{\frac{5}{2}} + \frac{t^4}{2} + \frac{t^3}{3}\right)AB - \left(\frac{4}{3\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}} + \frac{t^3}{2}\right)A^2 - \left(\frac{32}{105\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}} + \frac{t^5}{20} - \frac{5}{8}t^4\right)B^2 + \left(-t^3 - \frac{5}{8}t^4 + \frac{t^5}{20}\right)A^2B + \frac{9t^4}{24}A^2B^2 + \frac{t^3}{3}A^3B + \frac{t^5}{30}AB^3 - \frac{3t^6}{20}B^4 + \dots \tag{14}$$

solution is obtained. The parameters of the normally distributed random variable  $X$  are  $A, B \sim N(\mu, \sigma^2)$ . The moments of the random variable  $X$  with normal distribution are found with the help of the moment generating function.

$$E(y(t)) = \frac{8}{3\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}} + \frac{8}{5\sqrt{\pi}}t^{\frac{5}{2}} + \frac{t^3}{2} + \frac{3}{8}t^4 + \left(1 + \frac{4}{\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}} + \frac{3}{2}t^3\right)E[A] + E[B]t$$

$$- \left(\frac{16}{15\sqrt{\pi}}t^{\frac{5}{2}} + \frac{t^4}{2} + \frac{t^3}{3}\right)E[A]E[B] - \left(\frac{4}{3\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}} + \frac{t^3}{2}\right)E[A^2]$$

$$- \left(\frac{32}{105\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}} + \frac{t^5}{20} - \frac{5}{8}t^4\right)E[B^2] + \left(-t^3 - \frac{5}{8}t^4 + \frac{t^5}{20}\right)E[A^2]E[B]$$

$$+ \frac{9t^4}{24}E[A^2]E[B^2] + \frac{t^3}{3}E[A^3]E[B] + \frac{t^5}{30}E[A]E[B^3] - \frac{3t^6}{20}E[B^4] + \dots$$

$$E(y(t)) = \frac{8}{3\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}} + \frac{8}{5\sqrt{\pi}}t^{\frac{5}{2}} + \frac{t^3}{2} + \frac{3}{8}t^4 + \mu + \mu t - \left(\frac{16}{15\sqrt{\pi}}t^{\frac{5}{2}} + \frac{t^4}{2} + \frac{t^3}{3}\right)\mu^2$$

$$- \left(\frac{4}{3\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}} + \frac{t^3}{2}\right)(\sigma^2 + \mu^2) - \left(\frac{32}{105\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}} + \frac{t^5}{20} - \frac{5}{8}t^4\right)(\sigma^2 + \mu^2)$$

$$+ \left(-t^3 - \frac{5}{8}t^4 + \frac{t^5}{20}\right)(\sigma^2 + \mu^2)\mu + \frac{9t^4}{24}(\sigma^2 + \mu^2)^2 + \frac{t^3}{3}(3\sigma^2\mu + \mu^3)\mu$$

$$+ \frac{t^5}{30}\mu(3\sigma^2\mu + \mu^3) - \frac{3t^6}{20}(3\sigma^4 + 6\sigma^2\mu^2 + \mu^4) + \dots$$

$$E(y(t)) = \frac{8}{3\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}} + \frac{8}{5\sqrt{\pi}}t^{\frac{5}{2}} + \frac{t^3}{2} + \frac{3}{8}t^4 + 2 + 2t - 4\left(\frac{16}{15\sqrt{\pi}}t^{\frac{5}{2}} + \frac{t^4}{2} + \frac{t^3}{3}\right)$$

$$- 5\left(\frac{4}{3\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}} + \frac{t^3}{2}\right) - 5\left(\frac{32}{105\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}} + \frac{t^5}{20} - \frac{5}{8}t^4\right)$$

$$+ 10\left(-t^3 - \frac{5}{8}t^4 + \frac{t^5}{20}\right) + \frac{225t^4}{24} + \frac{28t^3}{3} + \frac{14t^5}{15} - \frac{129t^6}{20} + \dots$$

If the expected value is plotted with MATLAB (2013a) for the given parameter values, the graph in Figure 7. is obtained.

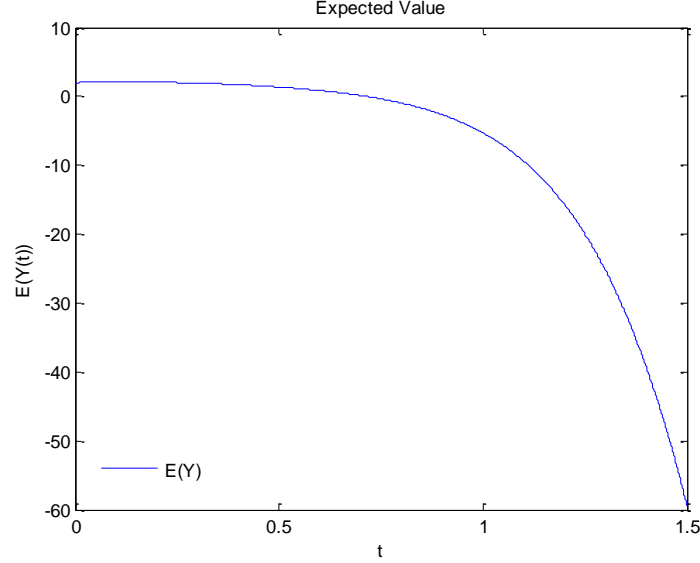


Figure 7. The solution behavior of the expected value of equation (14) for the special value  $A, B \sim N(\mu = 2, \sigma^2 = 1)$ .

$$\begin{aligned}
 Var(y(t)) &= \left(1 + \frac{4}{\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}} + \frac{3}{2}t^3\right)^2 Var[A] + Var[B]t^2 \\
 &+ \left(\frac{16}{15\sqrt{\pi}}t^{\frac{5}{2}} + \frac{t^4}{2} + \frac{t^3}{3}\right)^2 Var[A]Var[B] - \left(\frac{4}{3\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}} + \frac{t^3}{2}\right)^2 Var[A^2] \\
 &+ \left(\frac{32}{105\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}} + \frac{t^5}{20} - \frac{5}{8}t^4\right)^2 Var[B^2] \\
 &+ \left(-t^3 - \frac{5}{8}t^4 + \frac{t^5}{20}\right)^2 Var[A^2]Var[B] + \frac{81t^8}{576}Var[A^2]Var[B^2] \\
 &+ \frac{t^6}{9}Var[A^3]Var[B] + \frac{t^{10}}{900}Var[A]Var[B^3] + \frac{9t^{12}}{400}Var[B^4] + \dots \\
 Var(y(t)) &= \left(1 + \frac{4}{\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}} + \frac{3}{2}t^3\right)^2 \sigma^2 + \sigma^2t^2 + \left(\frac{16}{15\sqrt{\pi}}t^{\frac{5}{2}} + \frac{t^4}{2} + \frac{t^3}{3}\right)^2 \sigma^4 \\
 &- \left(\frac{4}{3\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}} + \frac{t^3}{2}\right)^2 (2\sigma^4 + 4\sigma^2\mu^2) \\
 &+ \left(\frac{32}{105\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}} + \frac{t^5}{20} - \frac{5}{8}t^4\right)^2 (2\sigma^4 + 4\sigma^2\mu^2) \\
 &+ \left(-t^3 - \frac{5}{8}t^4 + \frac{t^5}{20}\right)^2 (2\sigma^4 + 4\sigma^2\mu^2)\sigma^2 + \frac{81t^8}{576}(2\sigma^4 + 4\sigma^2\mu^2)^2 \\
 &+ \frac{t^6}{9}(15\sigma^6 + 36\sigma^4\mu^2 + 9\sigma^2\mu^4)\sigma^2 \\
 &+ \frac{t^{10}}{900}\sigma^2(15\sigma^6 + 36\sigma^4\mu^2 + 9\sigma^2\mu^4) \\
 &+ \frac{9t^{12}}{400}[(105\sigma^8 + 420\sigma^6\mu^2 + 210\sigma^4\mu^4 + 28\sigma^2\mu^6 + \mu^8) \\
 &- (3\sigma^4 + 6\sigma^2\mu^2 + \mu^4)^2] + \dots
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{Var}(y(t)) = & \left(1 + \frac{4}{\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}} + \frac{3}{2}t^3\right)^2 + t^2 + \left(\frac{16}{15\sqrt{\pi}}t^{\frac{5}{2}} + \frac{t^4}{2} + \frac{t^3}{3}\right)^2 \\ & - 16\left(\frac{4}{3\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}} + \frac{t^3}{2}\right)^2 + 16\left(\frac{32}{105\sqrt{\pi}}t^{\frac{3}{2}} + \frac{t^5}{20} - \frac{5}{8}t^4\right)^2 \\ & + 18\left(-t^3 - \frac{5}{8}t^4 + \frac{t^5}{20}\right)^2 + \frac{729t^8}{16} + \frac{101t^6}{3} + \frac{101t^{10}}{300} + \frac{3006t^{12}}{25} + \dots \end{aligned}$$

The graph of the variance value of the random variable  $A$  is obtained as Figure 8. for the special value  $A, B \sim N(\mu = 2, \sigma^2 = 1)$ .

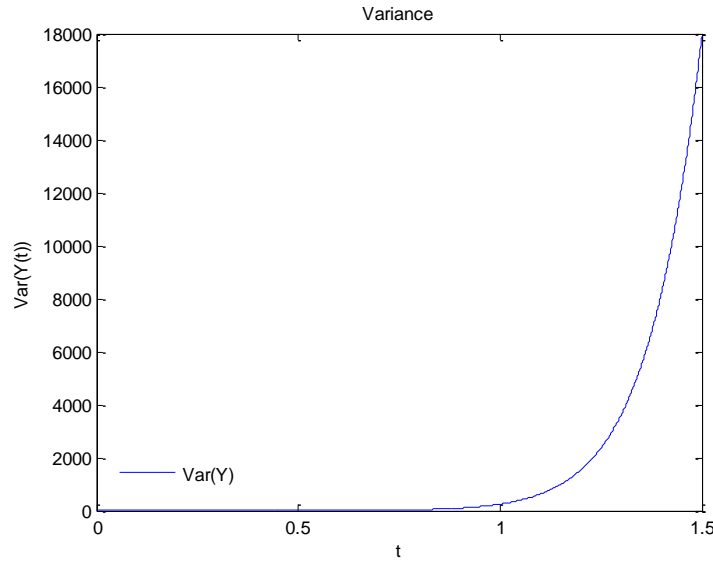


Figure 8. The solution behavior of the variance of equation (14) for the special value  $A, B \sim N(\mu = 2, \sigma^2 = 1)$ .

The solution behavior of the 99% confidence interval of the expected value of the random variable with normal distribution:

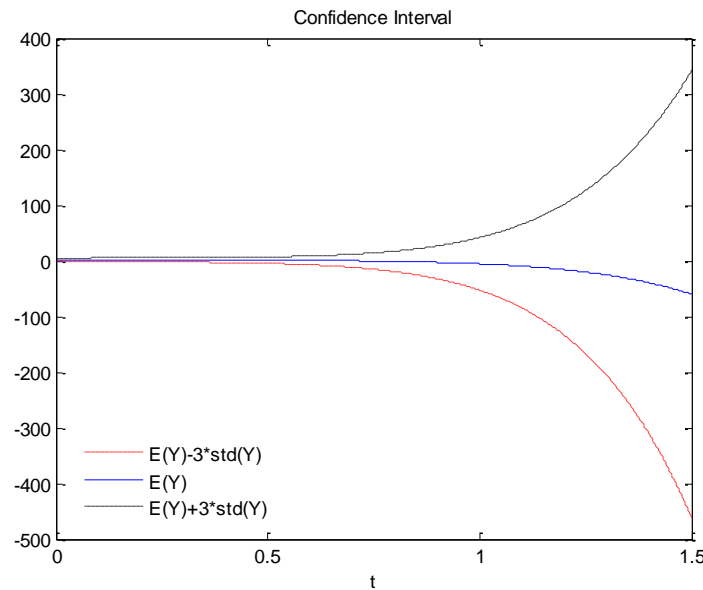


Figure 9. The solution behavior of the confidence interval of equation (14) for the special value  $A, B \sim N(\mu = 2, \sigma^2 = 1)$ .

Table 3. Table for the expectation value, variance and 99% confidence interval.

$t$	$E(y(t))$	$Var(y(t))$	$E(y(t)) - 3std(y)$	$E(y(t)) + 3std(y)$
0.0	2	1	-1.	5.
0.1	2.093158601	1.152122430	-1.126950383	5.313267585
0.2	2.069706384	1.439374512	-1.529511671	5.668924437
0.3	1.941382076	1.837539054	-2.125293652	6.008057803
0.4	1.707439933	2.453023722	-2.991199606	6.406079469
0.5	1.357458313	3.715405887	-4.425158132	7.140074757
0.6	0.8585391406	6.878988042	-7.009808358	8.726886638
0.7	0.1365155453	15.28764316	-11.59330919	11.86634028
0.8	-0.9478719200	37.66267347	-19.35884856	17.46310474
0.9	-2.627591560	96.43865557	-32.08854708	26.83336396
1.0	-5.262648018	247.6525278	-52.47358690	41.94829086

The expected value, variance and confidence interval for  $K = 3$  values are given in Table 3. It can be seen that the results for  $t \in [0,1]$  values are obtained similarly to the results for the case with Normal parameters.

#### 4. Conclusions

In this study, the solutions of randomly selected ordinary differential equations were found with the help of normal and exponential distributions using the Adomian Decomposition Method. The initial conditions or coefficients of random ordinary differential equations are chosen from the normal and exponential distribution, and the expected value, variance and confidence intervals, which are probability properties for the analysis of random effects, are obtained.

#### Acknowledgment

The authors are grateful to referees for careful reading, suggestions, and valuable comments, which have substantially improved the paper.

#### References

- [1] Adomian, G., **Nonlinear Stochastic Operator Equation**, USA: Academic Press., (1986).
- [2] Adomian, G., A review of decomposition method and some recent results for nonlinear equation, *Math. Comput. Model.*, 5, 101-127, (1991).
- [3] Adomian, G., *Solving Frontier Problems of Physics: The Decomposition Method*, Dordrecht: Kluwer Academic, (1993).

- [4] Babolian, E., Biazar, J. and Vahidi, A. R., Solution of a system of nonlinear equations by Adomian decomposition method. **Applied Mathematics and Computation**, 150(3), 847-854, (2004).
- [5] Hamoud, A.A., Ghadle, K. and Atshan, S., The approximate solutions of fractional integro-differential equations by using modified Adomian decomposition method. **Khayyam J. Math.** 5(1), 21–39, (2019).
- [6] Odibat, Z., An optimized decomposition method for nonlinear ordinary and partial differential equations, **Physica A** 541, Article ID 123323 (2019).
- [7] Turkyilmazoglu, M., Accelerating the convergence of Adomian decomposition method (ADM), **J. Comput. Sci.**, 31, 54–59 (2019).
- [8] Li, W. and Pang, Y., Application of Adomian decomposition method to nonlinear systems. **Advances in Difference Equations**, 2020(1), 1-17, (2020).
- [9] Zeidan, D., Chau, C. K., Lu, T. T. and Zheng, W. Q., Mathematical studies of the solution of Burgers' equations by Adomian decomposition method. **Mathematical Methods in the Applied Sciences**, 43(5), 2171-2188, (2020).
- [10] Ali, A., Gul, Z., Khan, W. A., Ahmad, S. and Zeb, S., Investigation of fractional order sine-Gordon equation using Laplace Adomian decomposition method, **Fractals**, 29(05), 2150121, (2021).
- [11] Lu, T. T. and Zheng, W. Q., Adomian decomposition method for first order PDEs with unprescribed data. **Alexandria Engineering Journal**, 60(2), 2563-2572, (2021).
- [12] Sayed, Y., M Abdelgaber, K., R Elmahdy, A. and L El-Kalla, I., Solution of the telegraph equation using adomian decomposition method with accelerated formula of adomian polynomials. **Information Sciences Letters**, 10(1), 6, (2021).
- [13] Kumar, M., Numerical solution of singular boundary value problems using advanced Adomian decomposition method. **Engineering with Computers**, 37(4), 2853-2863, (2021).
- [14] Lin, M. X., Tseng, C. H. and Chen, C. K., Numerical solution of large deflection beams by using the Laplace Adomian decomposition method, **Engineering Computations**, (2021).
- [15] Maturi, D. A. and Malaikah, H. M., The adomian decomposition method for solving nonlinear partial differential equation using maple. **Advances in Pure Mathematics**, 11(6), 595-603, (2021).
- [16] Hussein, M. A., A Review on Algorithms of Sumudu Adomian Decomposition Method for FPDEs. **Journal of Research in Applied Mathematics**, 8(8), (2022).
- [17] Kumar, M., Recent development of Adomian decomposition method for ordinary and partial differential equations, **International Journal of Applied and Computational Mathematics**, 8(2), 1-25, (2022).
- [18] Hussein, M. A., A Review on Algorithms of Laplace Adomian Decomposition Method for FPDEs, **Scientific Research Journal of Multidisciplinary**, 2, 1-10, (2022).
- [19] Habib, U., Zeb, S., Shah, K. and Hussain, S. M., KdV Equation Solution by Double Laplace Adomian Decomposition Method and Its Convergence Analysis, **Bioinorganic Chemistry & Applications**, (2022).
- [20] Bairwa, R. K., Priyanka, S. B. and Tyagi, S., Analytical Approach to Fractional Fisher Equations by Laplace-Adomian Decomposition Method, **Annals of Pure and Applied Mathematics**, 26(2), 55-66, (2022).
- [21] Mulenga, J. and Phiri, P. A., Adomian Decomposition Method Applied to Covid-19 Model. **Applied Mathematical Sciences**, 16(2), 59-70, (2022).

- [22] Gaxiola, O. G., Solution of nonlinear partial differential Equations by adomian decomposition method: Solução de diferencial parcial não-linear Equações pelo método de decomposição adomiana. *Studies In Engineering And Exact Sciences*, 3(1), 61-78, (2022).
- [23] Bekiryazici, Z., Merdan, M. and Kesemen, T., Modification of the random differential transformation method and its applications to compartmental models. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 50(18), 4271-4292, (2021).
- [24] Keskin, A. Ü., *Boundary Value Problems for Engineers With MATLAB Solutions*, Switzerland: Springer, (2019).
- [25] Kiyamaz, O., An algorithm for solving initial value problems using Laplace Adomian decomposition method. *Applied Mathematical Sciences*, 3(30), 1453-1459, (2009).
- [26] Wazwaz, A. M., A new algorithm for calculating Adomian polynomials for nonlinear operators, *Applied Mathematics and Computation*, 111(1), 53–69, (2000).
- [27] Merdan M., Altay Ö. and Bekiryazıcı Z., Behaviours of Random Effected Volterra and Fredholm Integral Equation, *International Conference on Mathematics and Mathematics Education*, Ordu, Türkiye, 27 - 29 Haziran 2018, ss.259-260, (2018).
- [28] Merdan, M. , Altay, Ö. and Bekiryazıcı, Z., Investigation of the Behaviour of Volterra Integral Equations with Random Effects, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10 (2020 ): 205-216, (2020).
- [29] Anaç, H., Merdan, M. and Kesemen, T., Rastgele bileşenli zaman-fraksiyonel kısmi diferansiyel denklemlerin yeni Sumudu dönüşümü yinelemeli yöntemiyle çözülmesi, *SN Applied Sciences*, 2: 1-11, (2020).
- [30] Anaç, H., Merdan, M., Bekiryazıcı, Z. and Kesemen, T., Bazı Rastgele Kısmi Diferansiyel Denklemlerin Diferansiyel Dönüşüm Metodu ve Laplace-Padé Metodu Kullanarak Çözümü, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9 (1): 108-118, (2019).
- [31] Sengul, S., Bekiryazıcı, Z. and Merdan, M., The performance of Wong-Zakai approximations for the investigation of stochastic differential equation models with nonlinear multiplicative noise, *Acta Mathematica Universitatis Comenianae* 90 (2), 231-243, (2021).
- [32] Şişman, Ş. and Merdan, M., Global stability of Susceptible Diabetes Complication (SDC) model in discrete time, *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences* 39 (3), 290-312, (2021).
- [33] Merdan, M. and Şişman, Ş., Investigation of linear difference equations with random effects, *Advances in Difference Equations* (1), 1-19, (2020).
- [34] Yavuz M., Novel solution methods for initial boundary value problems of fractional order with conformable differentiation. *An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications (IJOCTA)*, 8(1), 1-7, (2018)
- [35] Duran, S., Durur, H., Yavuz, M. and Yokus, A., Discussion of numerical and analytical techniques for the emerging fractional order Murnaghan model in materials science, *Optical and Quantum Electronics*, 55(6), 571, (2023)
- [36] Evirgen, F. and Özdemir, N., Multistage Adomian Decomposition Method for Solving NLP Problems Over a Nonlinear Fractional Dynamical System, *Journal of computational and nonlinear dynamics*, 6(2).021003, (2011)

- [37] Yel, G., Kayhan, M. and Ciancio, A., A new analytical approach to the (1+1)-dimensional conformable Fisher equation, **Mathematical Modelling and Numerical Simulation with Applications**, 2(4), 211-220, (2022)
- [38] Isah, M.A. and Yokuş, A., The investigation of several soliton solutions to the complex Ginzburg-Landau model with Kerrlaw nonlinearity, **Mathematical Modelling and Numerical Simulation with Applications**, 2(3),147-163, (2022)
- [39] Yavuz, M. and Ozdemir, N., A quantitative approach to fractional option pricing problems with decomposition series, **Konuralp Journal of Mathematics**, 6(1), 102-109, (2018)
- [40] Yavuz, M., European option pricing models described by fractional operators with classical and generalized Mittag-Leffler kernels, **Numerical Methods for Partial Differential Equations**, 38(3), 434-456, (2020)
- [41] Chen Y.,Liu F., Yu Q., Li T.,Review of fractional epidemic models, **Applied Mathematical Modelling**, 97 (2021) 281–307
- [42] Hanert E.,Schumacher E., Front dynamics in fractional-order epidemic modes, **J. Theor. Biol.**, 279 (2011) 9–16 .
- [43] Podlubny, I., **Fractional differential equations**, Academic Press (1998)
- [44] Abdelrazec, A. and Pelinovsky, D., Convergence of ADM for initial value problems, **Wiley Periodicals**; 2009. DOI: 10.1002/num.20549

# Mimari tasarım eğitiminde 21. yüzyıldaki değişimin bibliyometrik analiz yöntemi üzerinden incelenmesi

Derya DEMİRCAN<sup>1,\*</sup>, Serkan PALABIYIK<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Balıkesir Üniversitesi Mimarlık Fak. Mimarlık Böl., Çağış kampüsü, Balıkesir.

Geliş Tarihi (Received Date): 26.07.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 11.09.2023

## Öz

Mimarlık eğitiminde teorinin medya ile birlikte geliştiği açıktır. Her ortam varsayımlarını, fırsatlarını, olanaklarını ve zorluklarını beraberinde getirmektedir. Bilgisayar teknolojilerinin gelişimi ile dijital araçların mimaride kullanımı oldukça yaygınlaşmış, fakat hem öğrenciler hem de öğreticiler tarafından yanlış anlaşıldığından ve uygun şekilde kullanılmadığından, mimari pedagojide boşluklara yol açmıştır. Bu çalışmada mimarlıkta sayısal tasarım ile ortaya konulan potansiyellerin farkındalığı ve sayısal tasarımın mimari tasarım eğitimine adaptasyonu noktasında kullanılan/önerilen pedagojik yöntemler üzerine yapılan araştırmalara odaklanılmaktadır. Çalışma kapsamında birçok farklı akademik disiplin için kapsamlı ve çoklu veri tabanlarına erişim sağlayan "Web of Science" örneklem alanı olarak belirlenmiştir. Örneklem alandaki yayılımın ve kullanımın araştırılması sürecinde, belirli bir alanda yayımlanan kitap, makale ve diğer yayınları nicel olarak analiz etmek için kullanılan istatistiksel yöntemlerden biri olan bibliyometrik haritalama yöntemi kullanılmış ve elde edilen verilere ait bibliyometrik ağların görselleştirilmesinde; "VOSviewer" yazılım aracı kullanılmıştır. Sonuçlar sayısal teknolojilerin bu alanda yapılan çalışmalarda yaygın olarak kullanıldığını, ancak tasarım yöntemi ile sayısal araçların bir arada etkili bir şekilde kullanıldığı pedagojik yöntemlerle ilgili araştırmaların sınırlı sayıda olduğunu göstermektedir. Ayrıca çalışmadan elde edilen veriler ve sonuçlar günümüz eğitimcilerine, tasarım pedagojisi ile ilgili daha geniş bir etki alanı açmanın potansiyel ve olanaklarını keşfetmeleri için bir perspektif sunmaktadır. Bu nedenle çalışma, mimari tasarım eğitiminde mimari tasarım stüdyolarının planlanmasına yönelik ileriye dönük yapılacak çalışmalara katkıda bulunmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Tasarım eğitimi, dijital medya, sayısal tasarım, mimarlıkta pedagoji, bibliyometrik analiz.

\*Derya DEMİRCAN, derya.demircan@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0001-8166-6725>  
Serkan PALABIYIK, serkan@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-7949-7130>

## Investigation of the change in the 21st century in architectural design education through the bibliometric analysis method

### Abstract

*It is clear that theory in architectural education develops with the media. Every environment brings its assumptions, opportunities, possibilities and challenges. With the development of computer technologies, the use of digital tools in architecture has become quite common, but it has led to gaps in architectural pedagogy as they are misunderstood and not used properly by both students and teachers. This study focuses on research on pedagogical methods used/recommended for the awareness of the potentials revealed by digital design in architecture and the adaptation of digital design to architectural design education. Within the scope of the study, "Web of Science", which provides access to comprehensive and multiple databases for many different academic disciplines, was determined as the sample area. In the process of investigating the spread and usage in the sample area, bibliometric mapping method, which is one of the statistical methods used to quantitatively analyze books, articles and other publications published in a specific area, was used. The "VOSviewer" software tool was used to visualize the bibliometric networks of the obtained data. The results show that digital technologies are widely used in studies in this field, but there are limited studies on pedagogical methods in which design method and digital tools are used effectively together. In addition, the data and results from the study provide a perspective for today's educators to explore the potential and possibilities of opening a wider field of influence on design pedagogy. For this reason, the study contributes to future studies on the planning of architectural design studios in architectural design education.*

**Keywords:** Design education, digital media, computational design, pedagogy in architecture, bibliometric analysis.

### 1. Giriş

Son yıllarda gelişen teknolojiler, tasarım teorisinin merkezi konuları olan mimari tasarımın, karmaşık geometrilerin, serbest formların ve ayrıca üretim teknolojilerinin ilgili materyalizasyon süreçlerini etkilemektedir[1]. Oxman' a [2] göre, yaşanan bu gelişmeler tasarımın teorik, kavramsal ve metodolojik içerikleri üzerinde önemli etkiler yaratmaya başlamıştır. Öyle ki, bu etkiler mimarlığın entelektüel ve kültürel çerçeveleri ile mimarlık ve tasarım eğitiminin teorik temellerinin de yeniden yapılandırılmasını gerekli kılmaktadır. Bu anlayışla ortaya konulan yeni eğitim yöntemlerine dair arayışların sayısal tasarımın pedagojik olarak benzersiz etkilerine odaklandığı ancak bu kapsamda sınırlı sayıda araştırmacı ve eğitimci tarafından pedagojik gündemin çeşitli biçimlerini araştıran sayısal tasarımı mimari tasarım eğitimine entegre etme ihtiyacının ele alındığı görülür[3,4].

Genel olarak, dijital araçların analog sistemlerin elektronik versiyonları olduğu düşüncesi ile bu araçlardan tasarım süreci bittikten sonra yararlanıldığı görülmektedir. Ancak bu anlayışın profesyonel ve pedagojik gelişmeyi engellediği düşüncesi ile sayısal tasarım ve bir mimari bilgi biçimi olarak sayısal tasarım modelleri arasındaki ilişkinin tanımlanmasının, dijital medyanın araç olarak kullanılmasının ötesinde tasarım ve tasarım

eğitimi için önemli bir fikir kaynağı olacağı düşünçesi önem kazanmaya başlanmıştır[5]. Bu nedenle günümüzde sayısal tasarım ve üretim teknolojilerinin gelişmesine paralel olarak, mimari tasarım eğitim modellerinin ve tasarım süreçlerinde bilgisayar kullanımının rolü büyük önem taşımaktadır. Sayısal teknolojilerin tasarım ve üretim aşamasında getirdiği yenilikler ile bu araçların tasarım sürecine bir tasarım yöntemi olarak nasıl entegre edilmesi gerekliliği hem tasarımcı hem de tasarım eğitimcileri arasında yoğun bir şekilde tartışılmaktadır.

Sunulan bu çalışma, sayısal teknolojilerin tasarım sürecine bir tasarım yöntemi olarak entegre edilmesini hedefleyen geniş kapsamlı bir çalışmanın ön araştırması niteliğinde olup, ***mimarlıkta sayısal tasarım ile ortaya konulan potansiyellerin farkındalığına rağmen, sayısal tasarımın mimarlık eğitime adaptasyonu noktasında kullanılan/önerilen pedagojik yöntemler üzerine yapılan araştırmalara olan ilginin belirlenmesini*** amaçlamaktadır. Bu çerçevede çalışma altı bölümde organize edilmiştir. İkinci bölümde, tasarım eğitimi, eğitimde dijital medya ve tasarım eğitiminde pedagoji üzerinden genel tanımlamalara yer verilirken, üçüncü bölümde materyal ve yöntem sunulmuştur. Dördüncü bölümde verilerin elde edilmesi, analizi ve bulgulara, beşinci bölümde tartışma, altıncı bölümde ise sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

## 2. Mimari tasarım eğitimi ve sayısal düşünme

Bu alan ile ilgili literatür incelendiğinde, genel olarak tasarım stüdyoları "yaparak öğrenme" olarak tanımlanan belli bir tür pedagoji üzerine inşa edilmekte[6] ve öğrencilerle öğreticiler arasındaki iletişimin belkemiği olan sosyal bir çevre olarak tanımlanmaktadır[7]. Tasarım stüdyoları, diğer derslerden elde edilen biçimsel, mekânsal ve strüktürel bilgilerin özümşenerek tasarım çözümleri yaratmalarını sağlamayı, daha önce öğrendiklerini yeniden gözden geçirmeyi, sosyal ve fiziksel çevreyi yeni bir bakış açısı ile görmeyi, kendi yaratıcı potansiyellerini keşfederek geliştirmeyi amaçlar [8]. Fakat mimarlık eğitimi öncesinde öğrencileri bu sürece hazırlayacak alt yapının olmaması ve ortaöğretim sürecinde verilen, sorgulama gerektirmeyen, ezberci, bir tek çözüme dayanan ve öğretmen merkezli öğrenme kalıpları, öğrencilerin ilk yıl mimarlık eğitiminde zorluk yaşamalarına neden olmaktadır [9]. Bu geçiş sürecinde yaşanan sıkıntılara çözüm üretmek amacıyla, tasarım stüdyolarında pek çok pedagojik yöntem araştırması ve uygulaması yapılmıştır. Sayısal teknolojilerin gelişmesiyle birlikte mimarlık alanında yapılan araştırmalarda, tasarımda sayısal yöntemlere de odaklanılmış ve bu sayısal yöntemler formel olguları, farklı teknikler ve metotlar ile yeniden gündeme getirmiş, böylece sayısal mantıkla çalışan araçlar, ilgili araştırmaların odak noktası haline gelmiştir.

Ancak mimarlıkta bilgisayarın bir araç olarak kullanımını yaygın olmasına rağmen, mimari tasarım sürecinde yöntem odaklı kullanımının sınırlı olduğu görülür. Bu nedenle günümüzde hem tasarımcı hem de tasarım eğitimcileri bu alanda gelişen dijital teknolojiler ile yeni tasarım yöntemleri geliştirmeye ve formüle etmeye çalışmaktadır. Öyle ki bu süreç dijital teknolojilerin oluşturduğu ihtiyaçlar ve fırsatlar ile son yıllarda dünya mimarlık okullarının ders programlarında özellikle tasarım stüdyolarının yeniden yapılandırılmasında önemli bir rol oynamaktadır [5].

Bu doğrultuda çalışmanın ikinci bölümünde, mimarlıkta tasarım eğitiminin geçmişten günümüze nasıl evrildiğini ifade edebilmek amacıyla, son birkaç on yılda yayınlanan bu alanda önemli kabul edilen bazı çalışmalar incelenerek, mimari tasarım pedagojisine



odaklanılmaktadır. Aynı zamanda, geleceğin mimar ve tasarımcılarının eğitimindeki çağdaş ilgi alanlarını ve güncel teknolojilerin tasarım stüdyosu pedagojisine etkisi ile gelişen paradigmlar da ele alınmıştır.

### **2.1. Tasarım eğitiminde pedagoji ve eğitimde dijital medya**

Son otuz yılda araştırmacılar tarafından tasarım pedagojisini, doğasını ve özelliklerini araştırmak ve eleştirel bir şekilde sorgulamak için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Tasarım pedagojisi üzerine bir söylemin oluşturulmasına önemli ölçüde katkıda bulunmuş ve mevcut mimarlık eğitimi ile pratiği üzerine tartışma başlatan, bu konuda araştırmaya teşvik etmek için bir başlangıç olarak görülebilecek çalışmalardan bazılarında; mimarlık eğitimi ve çeşitli teorilerin tasarım öğretimindeki rolü ve etkisi [10], tasarım stüdyosunun rolü ve tasarım öğretimi için çeşitli yenilikçi kavramlar ve pratik yöntemler [11], mimarlık eğitiminin çağdaş mesleki zorluklara nasıl yanıt verebileceği ve öğrencilerin mesleki uygulamaya nasıl daha iyi hazırlanabileceği [12], dünyanın çeşitli yerlerinden mimarların ve tasarım eğitimcilerinin görüşleri ile karar verme, bilişsel stiller ve dijital teknolojileri içeren bir dizi çağdaş stüdyo pedagojisi sorunu [13] ele alınmıştır. Yer verilen çalışmalarda da görüldüğü üzere eğitimciler, yüzyıllar boyunca yeni yaklaşımlar, yöntemler, araçlar ve teknolojiler benimseyerek, her zaman öğretim sanatını geliştirmeyi hedeflemiştirlerdir. Geçen yüzyılda bilim ve teknolojiye çığır açan yenilikler ve heyecan verici yeni teknolojilerle sonuçlanan hızlı bir büyüme yaşanması, bu yeniliklerin yeni zorluklar ortaya çıkarırken, fırsatlar da yaratmasını sağlamıştır. Bu noktada pedagojik uygulamaların da son birkaç on yılda bilim ve teknolojinin ilerlemesinden büyük ölçüde etkilendiği, daha geniş bir kitleye ulaşmak için yeni yaklaşımlar, yöntemler, araçlar ve teknolojiler benimseyerek geliştiği gözlemlenmektedir [14].

Yaşanan bu süreçte bilgisayar destekli çizim ve tasarım (CADD) teknolojilerinin, mimari uygulamalarda kullanımı yardımcı araç ve üretim araçları olarak oldukça yaygınlaşmıştır. Ancak günümüz bazı araştırmalarının, sayısal araçların mimarlık uygulamalarındaki yardımcı araç ya da üretim araçları olarak kullanımı ötesinde, söz konusu bu araçları tasarım süreçlerine adapte etme noktasına odaklandıkları da görülmektedir. Bu alanda bazı araştırmacılar CADD' nin erken mimari müfredata dâhil edilmesini, yaratıcılığın pozitivist ve indirgemeci mantık yoluyla ortadan kaldırılmasına [15] neden olacağı düşüncesi ile endişe duyarken, bazı araştırmacılar ise tasarımla ilgili bu teknolojilerin mimarların uygulama ve düşünme biçiminde devrim yaratacağını öngörmektedir [16]. Bu alanda yapılan çalışmalar, söz konusu sayısal araçların mimari tasarımda düşünce kalıplarının ve paradigmalarının evriminde önemli bir rolü olduğunu göstermektedir [17,18]. Mimari teori, tasarım düşüncesi, tasarım süreci ve sayısal tasarım arasındaki on yıldan fazla bir süre önce formüle edilen derin ilişkinin, hem mevcut dijital teknolojinin tasarım potansiyelindeki hem de günümüzün iletişim devrimindeki çarpıcı gelişmelerle birlikte mimari tasarım eğitimi çerçevesinde yeniden ele alınma gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada, söz konusu teknolojilerin mimarlık disiplini üzerinde yaratacağı devrim, mimarlık eğitimi özelinde ele alınmakta ve her zaman teoriler ve temsil ortamlarıyla ilgili olan mimarlık eğitiminde [5], günümüz dijital teknolojilerinin hem mimarları hem de eğitimcileri tasarım alanında yeni bir anlayış formüle etmeye zorladığı, bilgisayarların düşünme ve tasarımı temsil etme şeklimizi değiştirdiği ve değiştirmeye devam ettiği düşüncesi üzerinden hareket edilmiştir.

Geleneksel mimarlık eğitiminin temeli olan sınıf tabanlı öğretim, dijital teknolojilerin ortaya çıkmasıyla öğretim biçiminde bir değişim yaşamaktadır. Bu değişim ile ortaya çıkan öğretim yöntemlerinden bazılarının, öğrenci-öğretmen etkileşimini artırdığı, bazılarının öğrenmenin kalitesini artırma potansiyeline sahip olduğu bazılarının ise öğrenci katılımına daha fazla imkân verdiği ifade edilmiştir [19,20]. Tasarım eğitiminde benimsenen yöntem ne olursa olsun, teknolojik gelişmelerin hızlı değişimiyle birlikte, öğrencilerin kariyerleri boyunca yeni programları ve araçları öğrenme, yeniden öğrenme ve entegre etme konusunda yeniliklere açık olmaları gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda dijital teknolojilerin farklı pedagojik uygulamalardaki genel etkisini değerlendirmek için kapsamlı araştırmaların yapılması gerekliliği çalışmadaki başlıca motivasyonlardan biridir.

Salama, “Spatial Design Education New Directions in Pedagogy in Architecture and Beyond” adlı kitabında, mimarlık eğitimiyle ilgili uluslararası akademik dergiler arasında yer alan 'Journal of Architectural Education (JAE)' de 1980 ve 1994 yılları arasında yayınlanan tüm makalelerin yüzde 14' ünün pedagojik konularla ilgili olduğunu, 2000 ile 2013 yılları arasında yayınlanan makalelerin ise yaklaşık yüzde 35' inin tasarım öğretimi uygulamalarını tartıştığını ve bu eğilimin tartışmasız bir şekilde, bir araştırma alanı olarak mimarlık eğitimi ve tasarım pedagojisine artan ilgiyi ve dikkati yansıttığını belirtmiştir [11]. Sunulan bu çalışma kapsamında ise mimarlık eğitimi ve tasarım pedagojisine artan ilgi ve mimarlıkta sayısal tasarım ile ortaya konulan potansiyeller bağlamında, sayısal tasarımın mimari tasarım eğitimine adaptasyonu noktasında kullanılan/önerilen pedagojik yöntemler üzerine yapılan araştırmalara olan ilginin belirlenmesine ve mevcut durum tespitinin yapılmasına odaklanılmıştır.

### 3. Materyal ve yöntem

Araştırmada, belirli bir alanda yayımlanan kitapları, makaleleri ve diğer yayınları nicel olarak analiz etmek için istatistiksel yöntemlerin kullanıldığı bibliyometri alanında önemli bir araştırma konusu olan bibliyometrik haritalama [21,22] yönteminden yararlanılmıştır. Bu yöntem ile disiplinlerin, alanların, uzmanlık alanlarının ve bireysel belgelerin veya yazarların birbirleriyle olan ilişkileri temsil edilebilir [23]. Genel olarak bir bibliyometrik haritalama analizi, veri alma, ön işleme, ağ çıkarımı, normleştirme, haritalama, analiz ve görselleştirme gibi genel iş akışının farklı aşamalarını içerir. Verilerin elde edilmesi noktasında ise ISI Web of Science (WoS), Google Scholar veya Scopus gibi verilere erişilebilen farklı bibliyometrik kaynaklardan yararlanılır [24]. Çalışma kapsamında, araştırmacıya verileri elde etmede önemli ölçüde kolaylıklar sağlaması, zengin içerikler sunması, araştırmada “Web of Science” ın seçiminde etkili olmuştur.

Elde edilen verilere ait bibliyometrik ağların görselleştirilmesi genellikle alıntılama, birlikte alıntılama, bibliyografik eşleme, anahtar kelime, birlikte yazarlık ağları üzerinden oluşturulmaktadır. Bu noktada bibliyometrik haritalama yoluyla bilimsel alanları analiz etmek için özel olarak geliştirilmiş yazılım araçları kullanılmaktadır [25]. Çalışmada verilerin görselleştirilmesinde, yaygın kullanımı, öğrenim kolaylığı ve kullanım etkinliği nedeniyle “VOSViewer” yazılım aracından yararlanılmıştır.

Bu doğrultuda çalışma, aşağıda yer alan 3 aşamada gerçekleştirilmiştir.

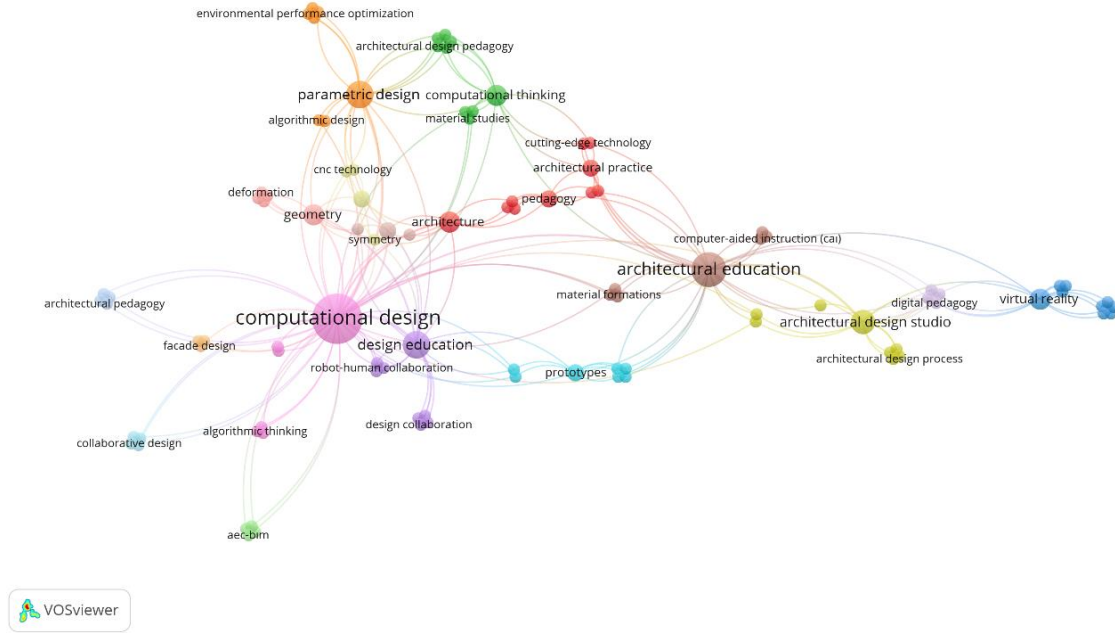
- **I.Aşama:** “Web of Science” veri tabanında öncelikle ilk adımda “computational design” ve “architectural education” kavramı, ikinci adımda “computational design and architectural pedagogy” kavramı taranarak, yazılım aracında kullanılacak “plain text file” formatındaki dosyaların elde edilmesi,
- **II.Aşama:** “Web of Science” üzerinden elde edilen dosya ile “VOSviewer” programı kullanılarak mimarlık eğitimi, sayısal tasarım ve mimari pedagoji ile ilişkili anahtar kelimelerin, yazarların ve ülkelerin yıllara göre dağılımını-yoğunluklarını içeren ağ haritalarının oluşturulması,
- **III.Aşama:** Elde edilen haritaların analiz edilerek mevcut durum tespitinin yapılması.

#### 4. Bulgular

I. Aşamanın ilk adımında, Web of Science veri tabanı üzerinden, “architectural education” ve “computational design” anahtar kelimeleri ile (herhangi bir yıl sınırlaması olmadan) bir tarama gerçekleştirilmiştir. Tarama sonucunda 69 kategoride 288 adet makaleye ulaşılmıştır. Bu adımda mimarlık disiplini ile ilgili olduğu düşünülen ve Tablo 1’de belirtilen 13 kategori altındaki 191 adet makale “VOSviewer” programı kullanılarak analiz edilmiştir. Tablo 1’de ulaşılan makale sayısının (198 adet) analiz edilen makale sayısından (191 adet) fazla olması, bir makalenin birden fazla kategori altında yer almasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 1. Analize dâhil edilen makalelerin yer aldığı kategoriler.

Web of Science kategorileri	makale sayısı	yüzdelerik değer
Architecture	68	23.611
Construction Building Technology	39	13.542
Computer Science Interdisciplinary Applications	24	8.333
Computer Science Artificial Intelligence	12	4.167
Materials Science Composites	11	3.819
Materials Science Multidisciplinary	10	3.472
Green Sustainable Science Technology	7	2.431
Education Educational Research	6	2.083
Multidisciplinary Sciences	6	2.083
Environmental Sciences	5	1.736
Environmental Studies	5	1.736
Education Scientific Disciplines	4	1.389
Humanities Multidisciplinary	1	0.347



Şekil 1. Mimarlık eğitimi ve sayısal tasarım ile ilgili makalelere ait anahtar kelimelerin dağılımı ve ilişki diyagramı.

Analiz sonucunda 205 anahtar kelime elde edilmiş ve eş anlamlı olanlar, tekil-çoğul kullanım farklılıkları olanlar ve kısaltma yapılarak kullanılan anahtar kelimeler arasındaki farklılığı ortadan kaldırmak amacıyla, Tablo 2’ de yer verilen anahtar kelimeler (sözcükler) birleştirilerek kullanım sıklığı fazla olan sözcük altında tekil hale getirilmiştir.

Tablo 2. Birleştirilen anahtar kelimeler.

Birleştirilen anahtar kelimeler	Makale sayısı	Toplam bağlantı sayısı
architectural form	1	7
architectural geometry	1	4
architectural patterns	1	4
architectural education	8	32
architecture education	1	4
aec-bim	1	4
building information modeling	1	5
bim	1	4
computational fluid dynamics	2	8
computational fluid dynamics (cfd)	2	8
computer aided architectural design (caad)	1	5
computer aided design	1	4
computational implementation	1	4
computational implementations	1	4
parametric model	2	7
parametric-associative model	1	3
shape grammar	1	4
shape grammars	2	8

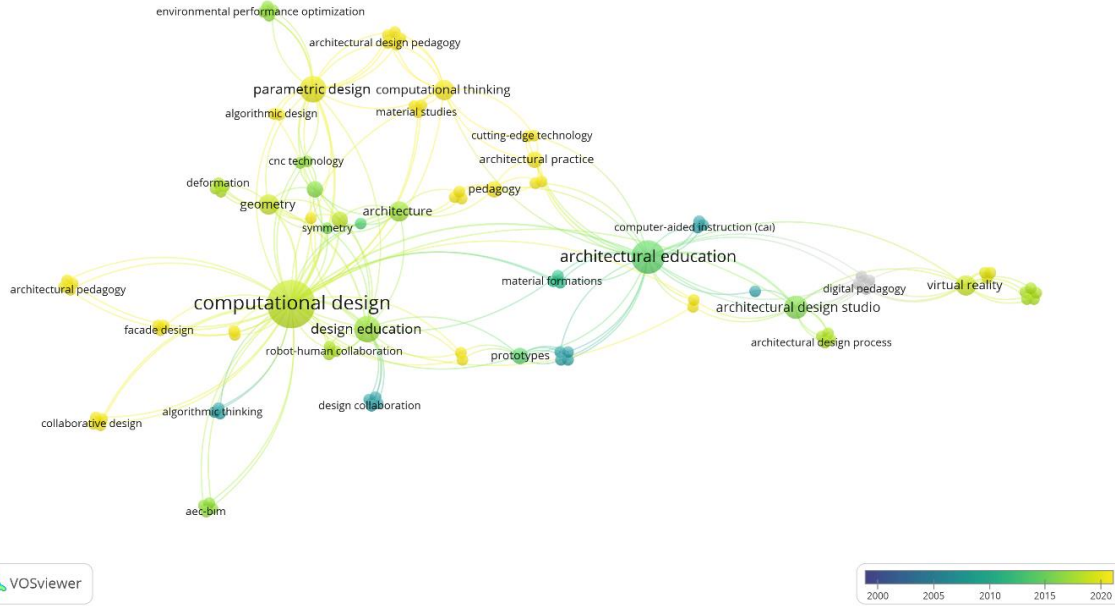
Şekil 1’ de bu alanda yapılan çalışmaların anahtar kelimeleri ve anahtar kelimelerin birbirleri ile olan ilişkilerinin yer aldığı ağ diyagramı verilmiştir. Tablo 3’ de ise; mimarlık eğitimi ve sayısal tasarım ile ilgili olan anahtar kelimeler ile bu anahtar kelimelerin yer aldığı makale sayısı ve toplam bağlantı sayısı yer almaktadır. En sık kullanılan anahtar kelimeler sırasıyla, “computational design”, “architectural education”, “parametric design”, “design education”, “architectural design studio”, “computational thinking” ve “virtual reality” anahtar kelimeleridir.

Tablo 3. Mimarlık eğitimi ve sayısal tasarım özelinde elde edilen makalelere ait anahtar kelimeler, makale sayısı ve toplam bağlantı sayısı.

<b>Anahtar kelime</b>	<b>Makale sayısı</b>	<b>Toplam bağlantı sayısı</b>
3d-printed particle series	1	21
acoustics	1	4
agent-based modeling	1	4
algorithmic design	1	7
algorithmic thinking	1	3
architectural design	1	4
architectural design education	2	8
architectural design pedagogy	1	7
architectural design platforms	1	4
architectural design process	1	4
architectural design studio	4	16
architectural education	9	36
architectural form	3	15
architectural pedagogy	1	4
architectural practice	2	8
architectural representation	1	4
architectural robotics	1	4
architectural visualization	1	5
artificial intelligence	1	4
building information modeling	1	5
cognitive-behavioral plan analysis	1	4
collaborative design	1	4
computation	1	4
computational design	16	64
computational design education	1	3
computational design thinking	1	3
computational simulations	1	5
computational thinking	3	15
computational fluid dynamics	4	16
computational implementation	2	8
computer simulation	1	5
computer aided architectural design (caad)	2	9
creativity assessment	1	4
creativity research	1	4
daylight	1	4
deep learning	1	4
design collaboration	1	4

design education	5	22
design framework	2	8
design research	1	5
design space exploration	1	3
design tool	1	5
design-build	1	4
design thinking	1	7
digital design	1	5
digital design pedagogy	1	7
digital design process	1	4
digital fabrication	2	9
digital heritage	1	7
digital pedagogy	1	6
digital technology	1	6
digital twin	1	4
early design stage	1	4
ecological awareness	1	4
ecological design	1	4
education theory	1	4
emerging technology	1	6
environmental performance optimization	1	5
ethics	1	4
expert systems	1	3
extra-terrestrial architecture	1	4
fabrication	1	4
first-year design education	1	4
form finding	1	4
generative algorithms	1	4
genetic programming	1	3
immersive pedagogy	1	6
integrative design	1	4
interaction design	1	3
iterative design	1	4
interdisciplinary design	1	4
interoperability, multidisciplinary design	1	5
learning performance	1	3
machine learning	1	4
material agency	1	5
material design	1	2
material formations	1	4
material prototypes	1	5
material studies	1	4
optimization (beso)	1	7
parametric architecture	1	4
parametric design	5	28
parametric design thinking	1	7
parametric model	2	7
parametric-associative modelling	1	3

pedagogy	2	8
programming and architectural education	1	4
rationalization of form	1	4
reflective practice	1	4
reinforcement learning	1	3
robot-human collaboration	1	4
robotic fabrication	1	4
simulation	1	4
simulation accuracy	1	4
simulation efficiency	1	4
software requirements	1	4
space syntax	1	4
sustainability in design education	1	4
web-based education systems	1	4
shape grammars	3	12
virtual reality	3	14

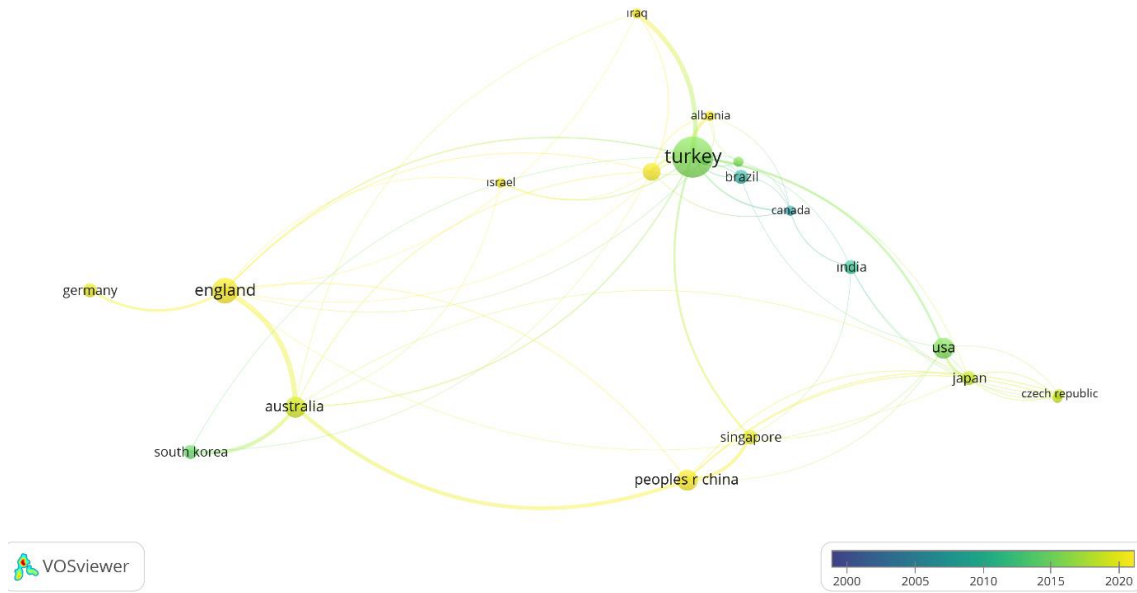


Şekil 2. Mimarlık eğitimi ve sayısal tasarım ile ilgili makalelere ait anahtar kelimelerin yıllara göre dağılımı ve ilişki diyagramı.

Şekil 2’ de anahtar kelimelerin yıllara göre dağılımı ve birbirleri ile olan ilişkilerine ait ağ diyagramı verilmiştir. Tablo 4’ te 2020 yılı ve sonrasında yoğun olarak kullanılan anahtar kelimeler ile bu anahtar kelimelerin yer aldığı makale sayısı ve toplam bağlantı sayısı yer almaktadır. Tasarım eğitimi ve sayısal tasarım anahtar kelimelerine ek olarak, parametrik tasarım ve sanal gerçeklik anahtar kelimelerinin toplam bağlantı sayısının fazla olduğu, ayrıca algoritmik tasarım, işbirlikçi tasarım, robot-insan iş birliği, malzeme çalışmaları ve cephe tasarımının güncel araştırma konuları arasında yer aldığı görülmektedir.

Tablo 4. 2020 yılı ve sonrasında yoğun olarak kullanılan anahtar kelimeler, makale sayısı ve toplam bağlantı sayısı.

Anahtar kelime	Makale sayısı	Toplam bağlantı sayısı
algorithmic design	1	7
architectural design pedagogy	1	7
architectural design process	1	4
architectural pedagogy	1	4
architectural practice	2	8
collaborative design	1	4
computational thinking	3	15
design education	5	22
facade design	1	3
pedagogy	2	8
parametric design	5	28
robot-human collaboration	1	4
material studies	1	4
virtual reality	3	14



Şekil 3. Ülkelere ait makalelerin yıllara göre dağılımı ve ilişki diyagramı.

Şekil 3' te, örneklem alan özelinde, bu alanda yapılan makalelerin ülkelere ait dağılımına, Tablo 5' te ülkelerin toplam makale sayısı ve 191 makale içinde yüzdesel olarak yer aldığı değerlere yer verilmiştir. Ülkeler özelinde yapılan değerlendirmede toplam makale sayısı üzerinden %10 ve üzeri makale üreten ülkeler sırasıyla; Çin, Güney Kore, Amerika ve Japonya olarak belirlenmiştir.



Tablo 5. Ülkelere ait yayın sayısı.

Ülkeler	Makale sayısı	Yüzelik değer
China	75	26.042
South Korea	55	19.097
USA	43	14.931
Japan	31	10.764
Turkey	17	5.903
Germany	15	5.208
England	13	4.514
Italy	12	4.167
Brazil	10	3.472
Singapore	10	3.472

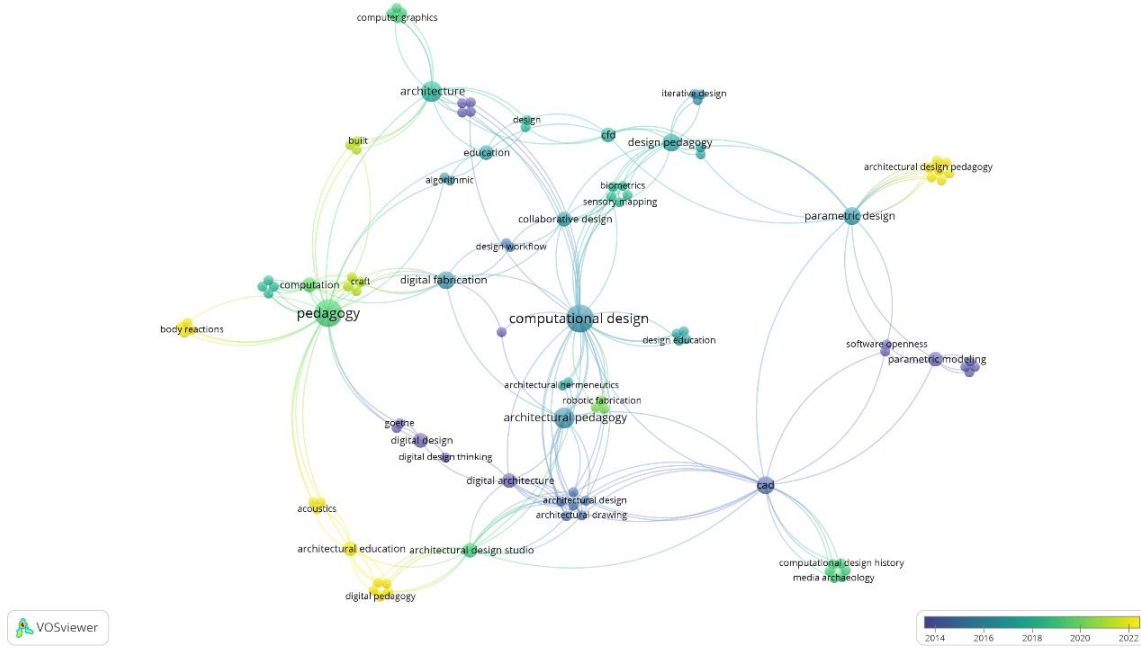
I. Aşamanın ikinci adımında, Web of Science veri tabanı üzerinden, “architectural education” ve “computational design” anahtar kelimeleri ile (herhangi bir yıl sınırlaması olmadan) bir tarama gerçekleştirilmiştir. Tarama sonucunda 15 kategoride 29 adet makaleye ulaşılmıştır. Bu adımda mimarlık disiplini ile ilgili olduğu düşünülen ve Tablo 6’ da belirtilen 8 kategori altındaki 26 adet makale “VOSviewer” programı kullanılarak analiz edilmiştir. Tablo 6’da ulaşılan makale sayısının (44 adet) analiz edilen makale sayısından (26 adet) fazla olması, bir makalenin birden fazla kategori altında yer almasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 6. Analize dâhil edilen makalelerin yer aldığı kategoriler.

Web of Science kategorileri	Makale sayısı	Yüzelik değer
Architecture	21	72.414
Computer Science Interdisciplinary Applications	10	34.483
Education Educational Research	4	13.793
Construction Building Technology	3	10.345
Green Sustainable Science Technology	3	10.345
Environmental Sciences	1	3.448
Environmental Studies	1	3.448
Regional Urban Planning	1	3.448



biometrics	1	7
cognitive psychology	1	3
collaborative design	2	10
computation	2	11
computational design	7	36
computational design history	1	6
computational design thinking	1	3
computational thinking	1	7
daylight simulation	1	4
design education	1	4
design methods	1	5
design pedagogy	3	14
design support	1	4
design thinking	1	7
digital architecture	2	12
digital design	2	5
digital design education	1	3
digital design pedagogy	1	7
digital design thinking	1	2
digital fabrication	3	12
digital pedagogy	1	6
digital technology	1	6
education	2	7
environmental analysis	1	4
extra-terrestrial architecture	1	4
fabrication	1	4
facade design	1	5
generative design	1	4
parametric design	3	15
parametric design thinking	1	7
parametric modeling	2	8
robotic fabrication	1	4
robot-human collaboration	1	4
pedagogy	7	29
studio pedagogy	1	3
urban sensing	1	4
virtual reality	1	6
visualization	1	4
interactive architecture	1	7



Şekil 5. Sayısal tasarım ve mimari pedagoji ile ilgili makalelere ait anahtar kelimelerin yıllara göre dağılımı ve ilişki diyagramı.

Şekil 5’ te anahtar kelimelerin yıllara göre dağılımı ve birbirleri ile olan ilişkilerine ait ağ diyagramı verilmiştir. Tablo 8’ de 2020 yılı ve sonrasında yoğun olarak kullanılan anahtar kelimeler ile bu anahtar kelimelerin yer aldığı makale sayısı ve toplam bağlantı sayısı yer almaktadır. Buna göre bu alanda yayımlanan makale sayısının oldukça sınırlı sayıda kaldığı anlaşılmaktadır.

Tablo 8. 2020 yılı ve sonrasında yoğun olarak kullanılan anahtar kelimeler, makale sayısı ve toplam bağlantı.

Anahtar kelime	Makale sayısı	Toplam bağlantı sayısı
architectural education	2	10
architectural design pedagogy	1	7
digital pedagogy	1	6
acoustics	1	4
built	1	4
body reactions	1	4

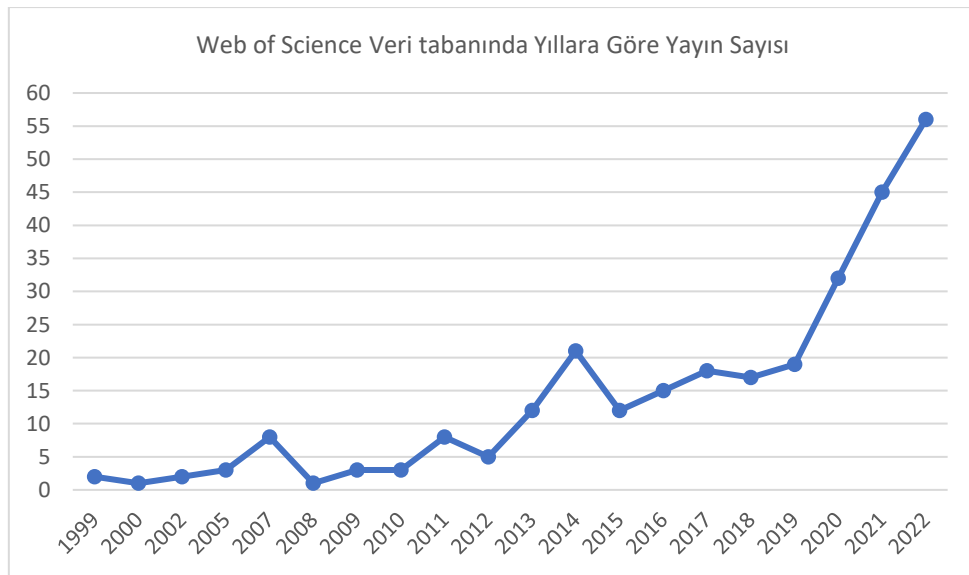
Tablo 9’ de örneklem alan özelinde, bu alanda yayımlanan makalelerin ülkelere ait dağılımı ve ülkelerin toplam makale sayısına yer verilmiştir. Makale sayısı ve alıntı sayısı üzerinden bir değerlendirme yapıldığında en etkili ülkelerin sırasıyla; Amerika ve Avustralya olduğu görülmektedir. İngiltere ve İsrail alıntı sayısı sıralamasında 4 alıntı ile üçüncü sırada yer almaktadır.

Tablo 9. Ülkelere ait yayın sayısı.

Ülkeler	Makale sayısı	Alıntılar	Toplam bağlantı sayısı
USA	9	15	1
Australia	5	15	1
England	3	4	1
Canada	2	1	0
Greece	2	0	0
Portugal	2	1	0
Israel	2	4	0
Austria	1	0	0
Finland	1	1	0
Germany	1	2	1
Singapore	1	1	0
Arab Emirates	1	2	0
India	1	0	0

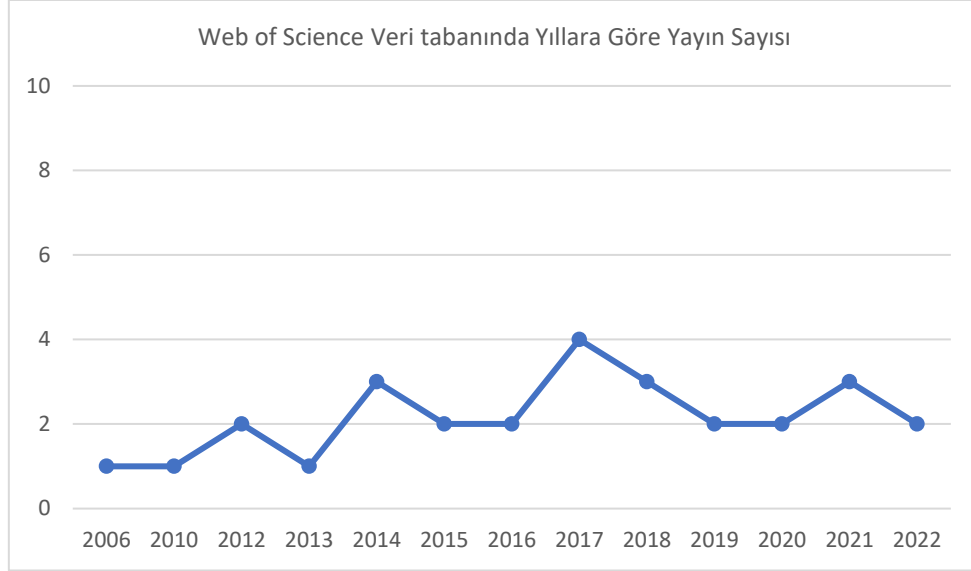
## 5. Tartışma

Rivka Oxman (2008), gelişen teknolojinin mimariyi bariz bir şekilde değiştirdiğini ve bu dönüşüme cevap verebilmek için mimarlık eğitim sisteminin güncellenmesi gerektiğini ifade etmektedir. Bu noktada çalışmanın genel amacı, yaşanan gelişmeler sonucunda, mimarlıkta kullanılan sayısal tasarımın pedagojik olarak mimari tasarım eğitimi entegrasyonu üzerinden yapılan çalışmalara olan ilginin, bibliyometrik analiz yöntemi üzerinden belirlenmesidir. Çalışma kapsamında I Aşamanın ilk adımında gerçekleştirilen, “architectural education” ve “computational design” anahtar kelimeleri ile ilgili yapılan tarama sonucunda, örneklem alanda yer alan makalelerin yıllara göre dağılımı Şekil 6’ da ifade edilmiştir. Buna göre bu alandaki ilk makalenin 1999 yılında yapıldığı ve özellikle 2019 yılından sonra makale sayısının belirgin bir şekilde artarak devam ettiği görülmektedir.



Şekil 6. Mimarlık eğitimi ve sayısal tasarım özelinde yıllara göre makale sayısı.

I. Aşamanın ikinci adımında, “computational design” ve “architectural pedagogy” anahtar kelimeleri ile ilgili yapılan tarama sonucunda, örneklem alanda yer alan makalelerin yıllara göre dağılımı Şekil 7’ de ifade edilmiştir. Buna göre bu alandaki ilk makalenin 2006 yılında yapıldığı, ancak makale sayısında belirgin bir artış olmadığı, yatay bir seyirde devam ettiği görülmektedir.



Şekil 7. Sayısal tasarım ve mimari pedagoji özelinde yıllara göre makale sayısı.

Şekil 6 ve Şekil 7’ de yer alan grafikler incelendiğinde; mimarlıkta sayısal tasarım ile ilgili yapılan çalışmaların artarak devam ettiği ve bu çalışma alanının barındırdığı potansiyellerin ilgi uyandırdığı, ancak sayısal tasarımın mimari tasarım eğitimine adaptasyonu noktasında pedagojik yöntemler üzerine yapılan çalışmaların 2006 yılı ve sonrasında yapıldığı görülmektedir. Yapılan çalışmaların sınırlı sayıda olması ve durağan bir grafiğe sahip olması bu alana olan ilginin yeterli olmadığını göstermektedir.

Ayrıca bulgular bölümünde sunulan Tablo 3 ve Tablo 7’ de yer alan anahtar kelimeler incelendiğinde bazı anahtar kelimelerin kesişim kümesi dışında kaldığı görülmektedir. Tablo 10’ da mimarlık eğitimi ve sayısal tasarım özelinde elde edilen ancak sayısal tasarım ve mimari pedagoji özelinde yer almayan ve birbiri ile ilişkili olduğu düşünülen anahtar kelimeler; optimizasyon-simülasyon, tasarım araçları, yapı bilgi modelleme-interdisipliner tasarım, yapay zeka-makine öğrenmesi, eğitim, analiz yöntemi ve malzeme olmak üzere gruplar altında organize edilmiştir.

Tablo 10. Kesişim kümesi dışında kalan ve gruplandırılan anahtar kelimeler.

Optimizasyon-simülasyon	Yapı bilgi modelleme-interdisipliner tasarım
agent-based modeling	building information modeling
optimization	design collaboration
rationalization of form	digital twin
simulation	integrative design
simulation accuracy	interdisciplinary design
simulation efficiency	interoperability, multidisciplinary design
early design stage	

<b>Tasarım araçları</b>	<b>Yapay zeka-makine öğrenmesi</b>
3d-printed particle series design tool software requirements	artificial intelligence deep learning expert systems machine learning
<b>Eğitim-öğretim</b>	<b>Analiz</b>
computational thinking creativity assessment creativity research education theory reflective practice reinforcement learning learning performance sustainability in design education web-based education systems immersive pedagogy	architectural form shape grammars space syntax iterative design
	<b>Malzeme</b>
	material design material formations material prototypes material studies

## 6. Sonuç ve öneriler

Mimari tasarım eğitiminin asıl amacı tasarım yaklaşımı geliştirmektir ve bu yaklaşımları denemek ve geliştirmek için tasarım atölyeleri iyi bir fırsat oluşturur. Mimari tasarım eğitimi ve tasarım süreçlerinin mevcut durumu ve eğitim süreçleri, gelişen teknolojilerin etkisi ile sürekli sorgulanan ve tartışılan bir konu olmuştur. Özellikle son 20 yılda dijital teknolojilerin, sürece hızla ve etkin olarak dahil olmasıyla birlikte mimarlıktaki en hızlı dönüşüm süreci başlamış, mimarlık ve tasarım teorisini, pratiğini etkileyerek paradigmatik değişim ve dönüşümlere yol açmıştır. Yeni teknolojilerin mimarlıkla ilişkisini kurgulamak, mimarlık pratiklerini yenilikler ışığında dönüştürmek için öncelikle mimarlık eğitiminde değişim ve dönüşümün gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu noktada tasarım eğitimcilerinin, yeni gereksinimleri modern tasarım eğitimine dâhil edebilmek için, tasarım derslerini organize etmesi, pedagojik hedeflerini belirlemesi, sayısal tasarım ortamını yapılandırması, öğrencilerin ders boyunca ilerlemesini izlemesi gerekir. Bu çalışma, belirlenen örneklem alandaki, mimari tasarım eğitimi araştırmalarında güncel yaklaşımlara ve güncel teknolojilere ne oranda yer verildiğine dair fikir vermektedir. Tartışma bölümünde yer verilen bulguların karşılaştırması sonucunda, sayısal teknolojilerin bu alanda yapılan çalışmalarda yaygın olarak kullanıldığını, ancak tasarım yöntemi ile sayısal araç/ların bir arada etkili bir şekilde kullanıldığı pedagojik yöntemlerle ilgili araştırmaların sınırlı sayıda olduğunu göstermektedir. Tablo 10' da ifade edilen ve mimari pedagoji özelinde yapılan çalışmalarda yer almadığı belirlenen anahtar kelimeler göz önüne alındığında;

- sayısal teknolojileri kullanarak inşa edilmiş, tasarlanacak yapıdan en ideal verimi almak ve çevreye yeni bir tasarım yaklaşımı sunmak amacıyla yararlanılan **optimizasyon-simülasyon**,
- stüdyo öğretmenlerinin ve öğrencilerin daha iyi iletişim kurması, bilgiyi aktarması ve tasarım sürecinde doğru anda doğru temsilden yararlanabilmesi için öğretim ortamında yeni teknolojilerin tasarım öğretimine entegrasyonu noktasında yenilikçi **tasarım araçları**,
- yapı modellerini oluşturmak, paylaşmak ve analiz etmek için bir dizi yöntem ve teknolojiyi içinde barındıran **yapı bilgi modellemesi** ve tasarım, inşaat ve proje

yönetimi gibi süreçlerde farklı disiplinlerin bir arada ve uyum içinde çalışmalarını destekleyen **interdisipliner tasarım**,

- yaşamın birçok alanında kullanılan ve gelişen teknolojiyle birlikte mimarlık disiplini de kullanımı yaygınlaşan **yapay zeka** ve son yıllarda popüler hale gelen, verileri ayrıştırmak, öğrenmek ve öğrendiklerine göre kararlar vermek için algoritmalar kullanan süreçleri içeren **makine öğrenmesi**,
- kural tabanlı tasarımda belirli bir içeriğe uyan yeni tasarımların kriterlerini açıkça tanımlayarak form neslini kontrol etmeyi sağlayan **analiz yöntemleri**,
- ekolojik ve sürdürülebilirlik başta olmak üzere gerek yenilikçi gerek yerel malzeme kullanımıyla çevre ile uyumlu, kimlikli ve özgün yapıların ortaya konulması noktasında önemli bir etken olan **malzeme**,

gibi çalışma kapsamında tespit edilen anahtar kelimeler mimari pedagoji özelinde ele alındığında, geleceğin mimarlık eğitiminin nasıl olması gerektiği noktasındaki güncel araştırmalara yön verme açısından önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu çalışma ile gelişen teknolojinin mimarlık alanına etkilerinin eğitim süreçlerinde yer alması gerektiğine vurgu yapılmıştır. Böylesi bir çalışma ile elde edilen veriler, günümüz eğitimcilerine, tasarım pedagojisi ile ilgili daha geniş bir etki alanı açmanın potansiyel ve olanaklarını keşfetmeleri için bir perspektif sunması noktasında, dijital yöntem ve teknolojilerin kullanımına dayalı mimari tasarım eğitiminde mimari tasarım stüdyolarının planlanmasına yönelik gelecekteki araştırmalara katkıda bulunacağı ön görülmektedir. Sonuç olarak, ileriye dönük yapılacak olan çalışmalarda, sayısal düşünmenin mimarlık eğitime uyumlu hale getirilmesi için gelecekteki pedagojilerin tasarlanmasında z kuşağının öğrenme niteliklerine yönelik teorik çerçeveler dikkate alınmalıdır. Ayrıca hesaplamalı düşünmeyi mimarlık eğitiminin program çıktılarında dâhil etmek için, eğitimciler tarafından pedagojik yöntemler üzerine daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

### Ek bilgi

Bu çalışma, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı'nda devam eden doktora tezinden üretilmiştir.

### Kaynaklar

- [1] Sass, L and Oxman, R., Materializing design in R Oxman (ed) A Special Issue on Digital Design, **Design Studies**, 27, 3, 325-355, (2006).
- [2] Oxman, R., Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium, **Design Studies**, 29, 2, 99-120, (2008).
- [3] Oxman, R., Theory and design in the first digital age, **Design Studies**, 27, 3, 229-265, (2006a).
- [4] Oxman, R., Digital design thinking: 'Is the new design is the new pedagogy', **Proceedings of the 11th International Conference on Computer Aided Design Research in Asia (CAADRIA)**, Kumamoto, Japan, (2006b).
- [5] Kvan, T., Mark, E. Oxman, R., and Martins, B., "Ditching the Dinosaurs: Redefining the role of Digital Media in Education", (2004). <https://web.arch.virginia.edu/arch541/dinosaur.html> , (02.09.2021).
- [6] Çıkış, Ş. and Çil, E., Problematization of Assessment in The Architectural Design Education: First Year as a Case Study, **Procedia Social and Behavioral Sciences**, 1, 2103–2110, (2008).



- [7] Tezel, E. and Casakin, H., Learning Styles and Student's Performance in Design Problem Solving, **International Journal of Architectural Research**, 4,2-3, 262-277, (2010).
- [8] Dostoğlu, N., Mimarlık Eğitiminde İlk Yıl Mimari Tasarım Stüdyosu: Uludağ Üniversitesi Örneği, in Gökmen, H., Süer, D., **Mimarlık Eğitiminde Tasarım Stüdyolarına Farklı Yaklaşımlar**, Mimarlar Odası İzmir Şubesi Yayınları, 46-52, İzmir, (2003).
- [9] Dikmen, Ç. B., Mimarlık Eğitiminde Stüdyo Çalışmalarının Önemi: Temel Eğitim Stüdyoları, **E-Journal of New World Sciences Academy**, 6, 4, 1509-20, (2011).
- [10] Teymur, N., **Architectural education: Issues in educational policies and practice**, London, UK: Question Press, (1992).
- [11] Salama, A. M., **Spatial Design Education: New Directions for Pedagogy in Architecture and Beyond**, Ashgate Publishing Limited, England, (2015).
- [12] Nicol, D. and Pilling, S., **Changing architectural education: Toward a new professional role**, London, UK: Spon Press, (2000).
- [13] Salama, A. M. and Wilkinson, N. (eds.), **Design studio pedagogy: Horizons for the future**, Gateshead, UK: The Urban International Press, (2007).
- [14] Akbar M, Digital Technology Shaping Teaching Practices in Higher Education, **Front in ICT**, 3,1, doi: 10.3389/fict.2016.00001, (2016).
- [15] Pallasmaa, J., **The eyes of the skin: architecture and the senses**. John Wiley & Sons, (1996).
- [16] Kieran, S. and James T., **Refabricating Architecture: How Manufacturing Methodologies Are Poised to Transform Building Construction**, McGraw-Hill Education, (2003).
- [17] Mark, E., Martens, B. and Oxman, R., The Ideal Computer Curriculum, **Architectural Information Management, eCAADe**, 168-175, (2001).
- [18] Mark, E. A Prospectus on Computers Throughout the Curriculum, Promise and Reality, **eCAADe**, 77-83, (2000).
- [19] Beeland, W. D. Jr., "Student engagement, visual learning and technology: can interactive whiteboards help," in **Annual Conference of the Association of Information Technology for Teaching Education**, (2002).
- [20] Valentine, D., Distance learning: promises, problems, and possibilities. **Online journal of distance learning administration**, 5, 3, (2002). <https://ininet.org/distance-learning-promises-problems-and-possibilities.html> (02.09.2022).
- [21] Morris, S., and Van Der Veer Martens, B., Mapping research specialties, **Annual Review of Information Science and Technology**, 42, 1, 213–295, (2008).
- [22] van Eck, N.J. & Waltman, L., Software survey: Vosviewer, a computer program for bibliometric mapping, **Scientometrics**, 84, 2, 523–538. DOI 10.1007/s11192-009-0146-3, (2010)
- [23] Small, H., Visualizing science by citation mapping, **Journal of the American Society for Information Science**, 50, 9, 799–813, (1999).
- [24] Cobo, M.J., López-Herrera, A.G., Herrera-Viedma, E., and Herrera, F. Science Mapping Software Tools: Review, Analysis, and Cooperative Study Among Tools, **Journal Of The American Society For Information Science And Technology**, 62, 7, 1382–1402, (2011).
- [25] Palabiyık, S. and Demircan, D., Investigation of Innovation Concept in Architecture Using Bibliometric Analysis Method, **IOSR Journal of Humanities and Social Science (IOSR-JHSS)**, 26, 2, 67-77, (2021).

# The stability of Jordan $k$ -\*-derivations on $\Gamma^*$ -Banach algebras by fixed point method

Berna ARSLAN\*

Aydin Adnan Menderes University, Faculty of Science, Department of Mathematics, Aydın, Türkiye

Geliş Tarihi (Received Date): 21.05.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 13.09.2023

## Abstract

Using fixed point methods, we prove the stability and the superstability of Jordan  $k$ -\*-derivations on  $\Gamma^*$ -Banach algebras for the following Jensen-type functional equation  $\mu f\left(\frac{x+y}{2}\right) + \mu f\left(\frac{x-y}{2}\right) = f(\mu x)$  where  $\mu$  is a complex number such that  $|\mu| = 1$ . We also investigate the stability and the superstability of Jordan  $k$ -\*-derivations with the functional equation  $f(2\mu x + \mu y) + f(\mu x + 2\mu y) = \mu[f(3x) + f(3y)]$  on  $\Gamma^*$ -Banach algebras.

**Keywords:**  $\Gamma$ -rings with involution, Hyers-Ulam-Rassias stability, Jordan  $k$ -\*-derivations.

## Jordan $k$ -\*-türevlerinin $\Gamma^*$ -Banach cebirlerinde sabit nokta yöntemiyle stabilitesi

### Öz

Sabit nokta yöntemlerini kullanarak,  $\mu f\left(\frac{x+y}{2}\right) + \mu f\left(\frac{x-y}{2}\right) = f(\mu x)$  ile tanımlı Jensen tipi fonksiyonel denklem için Jordan  $k$ -\*-türevlerinin  $\Gamma^*$ -Banach cebirleri üzerindeki stabilitesini ve süper stabilitesini kanıtıyoruz. Burada  $\mu$  sayısı,  $|\mu| = 1$  şartını sağlayan bir karmaşık sayıdır. Ayrıca,  $\Gamma^*$ -Banach cebirleri üzerindeki  $f(2\mu x + \mu y) + f(\mu x + 2\mu y) = \mu[f(3x) + f(3y)]$  fonksiyonel denklemi ile Jordan  $k$ -\*-türevlerinin stabilitesini ve süper stabilitesini araştırıyoruz.

**Anahtar kelimeler:** İnvölüsyonlu  $\Gamma$ -halkaları, Hyers-Ulam-Rassias stabilitesi, Jordan  $k$ -\*-türevler.

\* Berna ARSLAN, byorganci@adu.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-6517-0452>

## 1. Introduction and preliminaries

In 1940, S.M. Ulam [1] made a significant contribution by introducing the concept of stability of functional equations. He proposed the following problem:

*Let  $(G_1, *)$  be a group and  $(G_2, \circ, d)$  be a metric group with the metric  $d(., .)$ . Given  $\varepsilon > 0$ , does there exist a  $\delta(\varepsilon) > 0$  such that if a function  $f: G_1 \rightarrow G_2$  satisfies the inequality*

$$d(f(x * y), f(x) \circ f(y)) < \delta$$

for all  $x, y \in G_1$ , then there exists a homomorphism  $H: G_1 \rightarrow G_2$  such that  $d(f(x), H(x)) < \varepsilon$  for all  $x \in G_1$ ?

More simply, we search for conditions that allow the existence of a homomorphism between a group and a metric group that closely approximates a homomorphism. When these conditions are satisfied, we call homomorphisms  $G_1$  to  $G_2$  stable.

In 1940, D.H. Hyers [2] made a significant advance by providing the first partial solution to Ulam's question, in particular in the case of approximate additive mappings involving Banach spaces  $G_1$  and  $G_2$ . Then, Th.M. Rassias [3] extended the Hyers's stability theorem for linear mappings by considering the existence of an unbounded Cauchy difference. Subsequently, many researchers have investigated stability problems associated with a wide variety of functional equations [4-6].

Let  $A$  be a real or complex algebra. A linear mapping  $D: A \rightarrow A$  is said to be a *derivation* if  $D(ab) = D(a)b + aD(b)$  for all  $a, b \in A$ . P. Semrl was the first to achieve stability results concerning derivations between operator algebras [7]. Recall that a Banach  $*$ -algebra is a Banach algebra which has an isometric involution. In general, all  $C^*$ -algebras are Banach  $*$ -algebra. Recently, the stability of  $*$ -derivations and Jordan  $*$ -derivations on Banach  $*$ -algebras has been investigated by several authors, see [8-10] and references therein.

The concept of  $\Gamma$ -ring introduced by N. Nobusawa [11] extended the notion of ring to a more general setting. Based on Nobusawa's definition, W.E. Barnes [12] further extended the scope of  $\Gamma$ -rings by slightly modifying the condition. The study of derivations and Jordan derivations in the context of  $\Gamma$ -rings was later investigated by M. Sapanci and A. Nakajima [13], while H. Kandamar [14] further advanced the field by introducing and developing the concept of  $k$ -derivations in  $\Gamma$ -rings. In recent years, many results of  $\Gamma$ -rings have been extended to  $\Gamma$ -algebras.

Suppose that  $V$  and  $\Gamma$  are linear spaces over a field  $F$ . Then  $V$  is said to be a  $\Gamma$ -algebra (in the sense of Barnes [12]) over  $F$  if there exists a mapping  $V \times \Gamma \times V \rightarrow V$  (the image of  $(x, \alpha, y)$  is denoted by  $x\alpha y$ ) satisfying the following conditions:

- (i)  $(x\alpha y)\beta z = x\alpha(y\beta z)$ ,
- (ii)  $\lambda(x\alpha y) = (\lambda x)\alpha y = x(\lambda\alpha)y = x\alpha(\lambda y)$ ,

$$\begin{aligned} \text{(iii)} \quad & x\alpha(y+z) = x\alpha y + x\alpha z, \\ & x(\alpha+\beta)y = x\alpha y + x\beta y, \\ & (x+y)\alpha z = x\alpha z + y\alpha z \end{aligned}$$

for all  $x, y, z \in V$ ,  $\alpha, \beta \in \Gamma$ ,  $\lambda \in F$ . The  $\Gamma$ -algebra  $V$  is denoted by  $(\Gamma, V)$ .

If  $V$  and  $\Gamma$  are normed linear spaces over  $F$ , then  $\Gamma$ -algebra  $(\Gamma, V)$  is called a  $\Gamma$ -normed algebra if conditions (i)-(iii) hold and further

$$\text{(iv)} \quad \|x\alpha y\| \leq \|x\| \cdot \|\alpha\| \cdot \|y\| \text{ holds for all } x, y \in V \text{ and } \alpha \in \Gamma.$$

Bhattacharya and Maity [15] introduced the notion of  $\Gamma$ -Banach algebra, which extends the traditional notions of Banach algebras and  $\Gamma$ -rings. A  $\Gamma$ -normed algebra  $(\Gamma, V)$  is classified as a  $\Gamma$ -Banach algebra when the underlying space  $V$  is a Banach space. Interestingly, any Banach algebra can be considered as  $\Gamma$ -Banach algebra by choosing the appropriate  $\Gamma$ .  $\Gamma$ -Banach algebras are a generalization of the notions of both Banach algebras and  $\Gamma$ -rings. For example, the set of all bounded linear maps from an infinite dimensional normed linear space  $X$  to a Banach space  $Y$  and the set of all  $m \times n$  rectangular matrices are  $\Gamma$ -Banach algebras which are not general Banach algebras.

In 2014, Hoque et al. [16] introduced the notion of  $\Gamma$ -ring with involution (also known as  $\Gamma^*$ -ring). Now we give the definition of a  $\Gamma^*$ -algebra:

**Definition 1.1.** An involution on a  $\Gamma$ -algebra  $V$  is a map  $x \mapsto x^*$  of  $V$  onto itself such that

$$\begin{aligned} \text{(i)} \quad & (x\alpha y)^* = y^* \alpha x^*, \\ \text{(ii)} \quad & (x + \lambda y)^* = x^* + \lambda y^*, \\ \text{(iii)} \quad & (x^*)^* = x \end{aligned}$$

for all  $x, y \in V$ ,  $\alpha \in \Gamma$  and  $\lambda \in \mathbb{C}$ . A  $\Gamma$ -algebra  $V$  equipped with an involution is called a  $\Gamma^*$ -algebra. The  $\Gamma^*$ -algebra  $V$  is denoted by  $(\Gamma^*, V)$ .

Now we define a  $k$ -\*-derivation and a Jordan  $k$ -\*-derivation on  $\Gamma^*$ -algebras as follows: Let  $V$  be a  $\Gamma^*$ -algebra over a field  $F$  and let  $d: V \rightarrow V$  and  $k: \Gamma \rightarrow \Gamma$  be two linear operator. If

$$d(x\alpha y) = d(x)\alpha y^* + xk(\alpha)y + x\alpha d(y)$$

for all  $x, y \in V$  and  $\alpha \in \Gamma$ , then  $d$  is called a  $k$ -\*-derivation of  $V$ . If  $d(x\alpha x) = d(x)\alpha x^* + xk(\alpha)x + x\alpha d(x)$  holds for all  $x \in V$  and  $\alpha \in \Gamma$ , then  $d$  is called a Jordan  $k$ -\*-derivation of  $V$ . It is clear that every  $k$ -\*-derivation of a  $\Gamma^*$ -algebra  $V$  is a Jordan  $k$ -\*-derivation of  $V$ . However, the converse is not true in general.

In the proofs of our theorems, we shall use the following lemma which is proved in [17].

**Lemma 1.2.** [17] Let  $X$  and  $Y$  be linear spaces,  $\mathbb{T} := \{\mu \in \mathbb{C} \mid |\mu| = 1\}$  and  $f: X \rightarrow Y$  be an additive mapping such that  $f(\mu x) = \mu f(x)$  for all  $x \in X$  and all  $\mu \in \mathbb{T}$ . Then the mapping  $f$  is  $\mathbb{C}$ -linear.

Let  $X$  be a nonempty set. A function  $d: X \times X \rightarrow [0, \infty]$  is called a *generalized metric* on  $X$  if and only if  $d$  satisfies

- (i)  $d(x, y) = 0$  if and only if  $x = y$ ,
- (ii)  $d(x, y) = d(y, x)$ ,
- (iii)  $d(x, z) \leq d(x, y) + d(y, z)$

for all  $x, y, z \in X$ . Then  $(X, d)$  is called a *generalized metric space*.

It is worth noting that the main difference between the generalized metric and the usual metric lies in the fact that the former allows the inclusion of infinity in its range.

Now, we need the use of the next fixed point theorem (see [18]):

**Theorem 1.3.** *Let  $(X, d)$  be a complete generalized metric space and  $\Lambda: X \rightarrow X$  be a strictly contractive mapping; that is,*

$$d(\Lambda x, \Lambda y) \leq Ld(x, y) \quad (x, y \in X)$$

with the Lipschitz constant  $0 \leq L < 1$ . Then, for each given  $x \in X$ , either  $d(\Lambda^{n+1}x, \Lambda^n x) = \infty$  for all  $n \geq 0$ , or otherwise there exists a natural number  $n_0$  such that

- (i)  $d(\Lambda^{n+1}x, \Lambda^n x) < \infty$  for all  $n \geq n_0$ ,
- (ii) the sequence  $\{\Lambda^n x\}$  converges to a fixed point  $x^*$  of  $\Lambda$ ,
- (iii)  $x^*$  is the unique fixed point of  $\Lambda$  in the set

$$X^* = \{y \in X \mid d(\Lambda^{n_0}x, y) < \infty\};$$

- (iv)  $d(y, x^*) \leq \frac{1}{1-L} d(\Lambda y, y)$  for all  $y \in X$ .

B. Arslan and O. Arslan [19] proved the stability and superstability of homomorphisms and  $k$ -derivations associated with the Cauchy functional equation on  $\Gamma$ -Banach algebras using the direct method.

In this paper, we will use the fixed point alternative introduced by Cadariu and Radu as a powerful tool to determine the stability and superstability of Jordan  $k$ -\*-derivations associated with the following Jensen-type functional equation

$$\mu f\left(\frac{x+y}{2}\right) + \mu f\left(\frac{x-y}{2}\right) = f(\mu x) \quad (\mu \in T) \quad (1)$$

in  $\Gamma^*$ -Banach algebras. We also prove the stability and superstability of Jordan  $k$ -\*-derivations with the functional equation

$$f(2\mu x + \mu y) + f(\mu x + 2\mu y) = \mu[f(3x) + f(3y)] \quad (\mu \in T)$$

in  $\Gamma^*$ -Banach algebras.

## 2. Stability of Jordan $k$ -\*-derivations

In this section, we first prove the Hyers-Ulam-Rassias stability of Jordan  $k$ -\*-derivations associated with the Jensen-type functional equation (1) in  $\Gamma^*$ -Banach algebras.

**Theorem 2.1.** *Let  $V$  be a  $\Gamma^*$ -Banach algebra over the complex field  $\mathbb{C}$ . Suppose  $f: V \rightarrow V$  is a mapping satisfying  $f(0) = 0$  and  $g: \Gamma \rightarrow \Gamma$  is a mapping satisfying  $g(0) = 0$  for which there exist functions  $\phi_1: V \times V \times V \rightarrow [0, \infty)$ ,  $\phi_2: \Gamma \times \Gamma \rightarrow [0, \infty)$  such that*

$$\| \mu f\left(\frac{x+y}{2}\right) + \mu f\left(\frac{x-y}{2}\right) - f(\mu x) + f(a\alpha a) - f(a)\alpha a^* - ag(\alpha)a - a\alpha f(a) \| \leq \phi_1(x, y, a), \tag{2}$$

$$\| g(\mu\alpha + \mu\beta) - \mu g(\alpha) - \mu g(\beta) \| \leq \phi_2(\alpha, \beta), \tag{3}$$

for all  $\mu \in \mathbb{T} := \{\mu \in \mathbb{C} \mid |\mu| = 1\}$  and for all  $x, y, a \in V$ ,  $\alpha, \beta \in \Gamma$ . If there exist  $L_1, L_2 < 1$  such that  $\phi_1(x, y, a) \leq 2L_1\phi_1\left(\frac{x}{2}, \frac{y}{2}, \frac{a}{2}\right)$  and  $\phi_2(\alpha, \beta) \leq 2L_2\phi_2\left(\frac{\alpha}{2}, \frac{\beta}{2}\right)$  for all  $x, y, a \in V$  and  $\alpha, \beta \in \Gamma$ , then there exists a unique linear map  $k$  from  $\Gamma$  to  $\Gamma$  satisfying

$$\| g(\alpha) - k(\alpha) \| \leq \frac{1}{2(1-L_2)} \phi_2(\alpha, \alpha), \tag{4}$$

and there exists a unique Jordan  $k$ -\*-derivation  $D: V \rightarrow V$  such that

$$\| f(x) - D(x) \| \leq \frac{L_1}{1-L_1} \phi_1(x, 0, 0) \tag{5}$$

for all  $x \in V$  and  $\alpha \in \Gamma$ .

*Proof.* It follows from  $\phi_1(x, y, a) \leq 2L_1\phi_1\left(\frac{x}{2}, \frac{y}{2}, \frac{a}{2}\right)$  that

$$\lim_j 2^{-j} \phi_1(2^j x, 2^j y, 2^j a) = 0 \tag{6}$$

for all  $x, y, a \in V$ . By putting  $\mu = 1$ ,  $y = a = 0$  in (2), we get

$$\| 2 f\left(\frac{x}{2}\right) - f(x) \| \leq \phi_1(x, 0, 0) \tag{7}$$

for all  $x \in V$ . Thus, we have

$$\| \frac{1}{2} f(2x) - f(x) \| \leq \frac{1}{2} \phi_1(2x, 0, 0) \leq L_1 \phi_1(x, 0, 0) \tag{8}$$

for all  $x \in V$ . Now, we consider the set  $X := \{h \mid h: V \rightarrow V\}$  and we introduce the generalized metric on  $X$ :

$$d(r, h) := \inf\{C \in \mathbb{R}^+ : \| h(x) - r(x) \| \leq C \cdot \phi_1(x, 0, 0) \text{ for all } x \in V\}.$$

It can be easily shown that  $X$  is complete with the generalized metric  $d$ . Define the linear mapping  $J: X \rightarrow X$  by  $J(r)(x) = \frac{1}{2}r(2x)$  for all  $r \in X, x \in V$ . By Theorem 1.3,  $d(J(h), J(r)) \leq L_1 d(h, r)$  for all  $h, r \in X$ . From (8), we have that

$$d(f, J(f)) \leq L_1.$$

As stated in Theorem 1.3, there is a unique fixed point in the set  $X_1 := \{r \in X \mid d(f, r) < \infty\}$  for the mapping  $J$ . Let us denote this fixed point as  $D$ . Consequently,  $D$  is the unique mapping which has the property that  $D(2x) = 2D(x)$  for all  $x \in V$  and there is a positive constant  $C$  in the interval  $(0, \infty)$  such that the inequality  $\|D(x) - f(x)\| \leq C \cdot \phi_1(x, 0, 0)$  holds for all  $x \in V$ . Moreover, we have  $\lim_n d(J^n(f), D) = 0$ . So,

$$\lim_n \frac{1}{2^n} f(2^n x) = D(x) \tag{9}$$

for all  $x \in V$ . Since we have  $d(f, D) \leq \frac{1}{1-L_1} d(f, J(f))$ , then we get  $d(f, D) \leq \frac{L_1}{1-L_1}$ . This implies the inequality (5). From (2), (6) and (9), we get

$$\begin{aligned} & \left\| D\left(\frac{x+y}{2}\right) + D\left(\frac{x-y}{2}\right) - D(x) \right\| \\ &= \lim_n \frac{1}{2^n} \left\| f(2^{n-1}(x+y)) + f(2^{n-1}(x-y)) - f(2^n x) \right\| \\ &\leq \lim_n \frac{1}{2^n} \phi_1(2^n x, 2^n y, 0) = 0 \end{aligned}$$

for all  $x, y \in V$ . So

$$D\left(\frac{x+y}{2}\right) + D\left(\frac{x-y}{2}\right) = D(x)$$

for all  $x, y \in V$ . Putting  $z = \frac{x+y}{2}, t = \frac{x-y}{2}$  in the above equation, we have that

$$D(z) + D(t) = D(z+t)$$

for all  $z, t \in V$ . Thus  $D$  is Cauchy additive. Putting  $y = x, a = 0$  in (2), we get  $\|\mu f(x) - f(\mu x)\| \leq \phi_1(x, x, 0)$  for all  $x \in V$ . Thus

$$\begin{aligned} & \left\| D(2\mu x) + 2\mu D(x) \right\| = \lim_n \frac{1}{2^n} \left\| f(2\mu 2^n x) - 2\mu f(2^n x) \right\| \\ &\leq \lim_n \frac{1}{2^n} \phi_1(2^n x, 2^n x, 0) = 0 \end{aligned}$$

for all  $\mu \in \mathbb{T}$ , and all  $x \in V$ . According to Lemma 1.2, it can be deduced that the mapping  $D: V \rightarrow V$  is  $\mathbb{C}$ -linear. Putting  $\mu = 1, \alpha = \beta$  in (3), we have that  $\|g(2\alpha) - 2g(\alpha)\| \leq \phi_2(\alpha, \alpha)$  for all  $\alpha \in \Gamma$ . Hence,

$$\left\| \frac{1}{2}g(2\alpha) - g(\alpha) \right\| \leq \frac{1}{2}\phi_2(\alpha, \alpha) \tag{10}$$

for all  $\alpha \in \Gamma$ . Now we consider the set  $Y := \{q \mid q: \Gamma \rightarrow \Gamma\}$  and define the mapping  $d'$  on  $Y \times Y$  as follows:

$$d'(q_1, q_2) := \inf\{C \in \mathbb{R}^+ : \|q_1(\alpha) - q_2(\alpha)\| \leq C\phi_2(\alpha, \alpha) \text{ for all } \alpha \in \Gamma\}.$$

It is clear that  $d'$  is a generalized metric on  $Y$  and the metric space  $(Y, d')$  is complete. Also the mapping  $J': Y \rightarrow Y$  defined by

$$J'(q)(\alpha) = \frac{1}{2}q(2\alpha) \quad (\alpha \in \Gamma)$$

is strictly contractive on  $Y$ . That is,  $d'(J'(q_1), J'(q_2)) \leq L_2 d'(q_1, q_2)$  for all  $q_1, q_2 \in Y$ . It follows from (10) that

$$d'(g, J'(g)) \leq \frac{1}{2}.$$

Let  $Y_1 := \{r \in Y \mid d'(g, r) < \infty\}$ . Then  $J'$  has a unique fixed point in the set  $Y_1$  by Theorem 1.3. Therefore, there exists a unique mapping  $k: \Gamma \rightarrow \Gamma$  such that  $k$  is the fixed point of  $J'$  and  $k(\alpha) := \lim_n 2^{-n}g(2^n\alpha)$  for all  $\alpha \in \Gamma$ , and so

$$d'(g, k) \leq \frac{1}{1-L_2} d'(J'(g), g) \leq \frac{1}{2(1-L_2)}.$$

Hence (4) holds for all  $\alpha \in \Gamma$ . Also we have

$$\lim_j 2^{-j}\phi_2(2^j\alpha, 2^j\beta) = 0.$$

Replacing  $\alpha$  by  $2^n\alpha$  and putting  $\beta = 0$  in (3), we have  $k(\mu\alpha) = \mu k(\alpha)$  for all  $\alpha \in \Gamma$  and all  $\mu \in \mathbb{T}$ . Now, by Lemma 1.2,  $k$  is  $\mathbb{C}$ -linear.

It follows from (2) that

$$\begin{aligned} & \| D(a\alpha a) - D(a)\alpha a^* - ak(\alpha)a - \alpha aD(a) \| \\ &= \lim_n \left\| \frac{1}{2^{2n}}f(2^n a\alpha a) - \frac{1}{2^n}f(2^n a)\alpha a^* - \frac{1}{2^n}ag(2^n a)a - \frac{1}{2^n}a\alpha f(2^n a) \right\| \\ &= \lim_n \left\| \frac{1}{2^{2n}}f(2^n a\alpha 2^n a) - \frac{1}{2^{2n}}f(2^n a)\alpha 2^n a^* - \frac{1}{2^{2n}}2^n ag(\alpha)2^n a \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{2^{2n}}2^n a\alpha f(2^n a) \right\| \\ &\leq \lim_n \frac{1}{2^{2n}}\phi_1(0,0,2^n a) \leq \lim_n \frac{1}{2^n}\phi_1(0,0,2^n a) = 0 \end{aligned}$$



for all  $x, a \in V, \alpha \in \Gamma$ . Thus  $D$  is a Jordan  $k$ -\*-derivation on  $(\Gamma^*, V)$ .

**Corollary 2.2.** *Let  $V$  be a  $\Gamma^*$ -Banach algebra over the complex field  $\mathbb{C}$ . Suppose  $f : V \rightarrow V$  is a mapping satisfying  $f(0) = 0$  and  $g : \Gamma \rightarrow \Gamma$  is a mapping satisfying  $g(0) = 0$  for which there exist real numbers  $\theta_1, \theta_2 \in [0, \infty)$  and  $p, t \in (0, 1)$  such that*

$$\left\| \mu f\left(\frac{x+y}{2}\right) + \mu f\left(\frac{x-y}{2}\right) - f(\mu x) + f(a\alpha a) - f(a)\alpha a^* - ag(\alpha)a - \alpha f(a) \right\| \leq \theta_1(\|x\|^p + \|y\|^p + \|a\|^p),$$

$$\|g(\mu\alpha + \mu\beta) - \mu g(\alpha) - \mu g(\beta)\| \leq \theta_2(\|\alpha\|^t + \|\beta\|^t)$$

for all  $\mu \in \mathbb{T}$  and all  $x, y, a \in V, \alpha, \beta \in \Gamma$ . Then there exists a unique linear mapping  $k$  from  $\Gamma$  to  $\Gamma$  satisfying

$$\|g(\alpha) - k(\alpha)\| \leq \frac{2\theta_2}{2-2^t} \|\alpha\|^t,$$

and there exists a unique Jordan  $k$ -\*-derivation  $D : V \rightarrow V$  such that

$$\|f(x) - D(x)\| \leq \frac{2^p \theta_1}{2-2^p} \|x\|^p$$

for all  $x \in V$  and  $\alpha \in \Gamma$ .

*Proof.* In Theorem 2.1, if we take  $\phi_1(x, y, a) := \theta_1(\|x\|^p + \|y\|^p + \|a\|^p)$  with  $L_1 = 2^{p-1}$ , and  $\phi_2(\alpha, \beta) := \theta_2(\|\alpha\|^t + \|\beta\|^t)$  with  $L_2 = 2^{t-1}$  for all  $x, y, a \in V, \alpha, \beta \in \Gamma$ , then we get the desired result.

Now, we have the following superstability result of Jordan  $k$ -\*-derivations.

**Corollary 2.3.** *Let  $V$  be a  $\Gamma^*$ -Banach algebra over the complex field  $\mathbb{C}$ . Suppose that  $p, q, r, t, l, \theta_1, \theta_2$  are non-negative real numbers with  $0 < p + q + r \neq 1, 0 < t + l \neq 1$  and suppose that  $f : V \rightarrow V$  and  $g : \Gamma \rightarrow \Gamma$  are mappings such that*

$$\left\| \mu f\left(\frac{x+y}{2}\right) + \mu f\left(\frac{x-y}{2}\right) - f(\mu x) + f(a\alpha a) - f(a)\alpha a^* - ag(\alpha)a - \alpha f(a) \right\| \leq \theta_1(\|x\|^p \|y\|^q \|a\|^r),$$

$$\|g(\mu\alpha + \mu\beta) - \mu g(\alpha) - \mu g(\beta)\| \leq \theta_2(\|\alpha\|^t \|\beta\|^l)$$

for all  $\mu \in \mathbb{T}$  and all  $x, y, a \in V, \alpha, \beta \in \Gamma$ . Then  $f$  is a Jordan  $k$ -\*-derivation on  $(\Gamma^*, V)$ , where  $k : \Gamma \rightarrow \Gamma$  is a linear map.

*Proof.* Putting  $x = y = a = 0$  and  $\mu = 1$  in (11), we have that  $f(0) = 0$ . If we put  $\alpha = 0$  and  $\mu = 1$  in (12), then we have  $g(0) = 0$ . Putting  $a = y = 0$  and  $\mu = 1$  in (11), we conclude that  $2f\left(\frac{x}{2}\right) = f(x)$  for all  $x \in V$ , and by using induction we get  $f(x) =$

$\frac{f(2^n x)}{2^n}$  for all  $x \in V$  and  $n \in \mathbb{N}$ . If we put  $\alpha = \beta$  and  $\mu = 1$  in (12), we have that  $g(2\alpha) = 2g(\alpha)$  for all  $\alpha \in \Gamma$ , and using induction again we get  $g(\alpha) = \frac{g(2^n \alpha)}{2^n}$  for all  $\alpha \in \Gamma$  and  $n \in \mathbb{N}$ . By referring to Theorem 2.1 when changing  $\phi_1(x, y, a) := \theta_1(\|x\|^p \|y\|^q \|a\|^r)$  and  $\phi_2(\alpha, \beta) := \theta_2(\|\alpha\|^t \|\beta\|^l)$  for all  $x, y, a \in V$  and  $\alpha, \beta \in \Gamma$ , we can obtain the desired result.

In 2009, A. Najati and C. Park [20] obtained the general solution of the following functional equation

$$f(2\mu x + \mu y) + f(\mu x + 2\mu y) = \mu[f(3x) + f(3y)] \quad (\mu \in \mathbb{T}) \tag{13}$$

and they investigated the stability of homomorphisms and generalized derivations for these functional equations on Banach algebras.

**Lemma 2.4.** [13] *Let  $X$  and  $Y$  be linear spaces. A mapping  $f: X \rightarrow Y$  satisfies the functional equation (13) for all  $x, y \in X$  and all  $\mu \in \mathbb{T}$ , if and only if  $f$  is  $\mathbb{C}$ -linear.*

Now we consider the Hyers-Ulam-Rassias stability of Jordan  $k$ -\*-derivations in  $\Gamma^*$ -Banach algebras with the functional equation (13).

**Theorem 2.5.** *Let  $V$  be a  $\Gamma^*$ -Banach algebra over the complex field  $\mathbb{C}$ . Suppose  $f: V \rightarrow V$  is a mapping such that  $f(0) = 0$  and  $g: \Gamma \rightarrow \Gamma$  is a mapping such that  $g(0) = 0$  for which there exist functions  $\varphi_1 : V \times V \times V \rightarrow [0, \infty)$  and  $\varphi_2 : \Gamma \times \Gamma \rightarrow [0, \infty)$  satisfying*

$$\| f(2\mu x + \mu y) + f(\mu x + 2\mu y) - \mu[f(3x) + f(3y)] + f(a\alpha a) - f(a)\alpha a^* - ag(\alpha)a - a\alpha f(a) \| \leq \varphi_1(x, y, a), \tag{14}$$

$$\| g(\mu\alpha + \mu\beta) - \mu g(\alpha) - \mu g(\beta) \| \leq \varphi_2(\alpha, \beta) \tag{15}$$

for all  $\mu \in \mathbb{T}$  and  $x, y, a \in V, \alpha, \beta \in \Gamma$ . If there exist  $L_1, L_2 < 1$  such that

$$4\varphi_1(x, y, a) \leq L_1\varphi_1(2x, 2y, 2a) \tag{16}$$

and  $\varphi_2(2\alpha, 2\beta) \leq 2L_2\varphi_2(\alpha, \beta)$  for all  $x, y, a \in V, \alpha, \beta \in \Gamma$ , then there exists a unique linear map  $k$  from  $\Gamma$  to  $\Gamma$  satisfying

$$\| g(\alpha) - k(\alpha) \| \leq \frac{1}{2-2L_2} \varphi_2(\alpha, \alpha), \tag{17}$$

and there exists a unique Jordan  $k$ -\*-derivation  $D: V \rightarrow V$  such that

$$\| f(x) - D(x) \| \leq \frac{L_1}{4-2L_1} \psi(x) \tag{18}$$

for all  $x \in V$  and  $\alpha \in \Gamma$ , where

$$\psi(x) := \varphi_1\left(\frac{x}{2}, 0, 0\right) + \varphi_1\left(-\frac{x}{2}, 0, 0\right) + \varphi_1\left(\frac{x}{2}, -\frac{x}{2}, 0\right) + \varphi_1\left(\frac{2x}{3}, -\frac{x}{3}, 0\right).$$

*Proof.* It follows from  $4\varphi_1(x, y, a) \leq L_1\varphi_1(2x, 2y, 2a)$  that

$$\lim_j 2^{2j}\varphi_1\left(\frac{x}{2^j}, \frac{y}{2^j}, \frac{a}{2^j}\right) = 0 \quad (19)$$

for all  $x, y, a \in V$ . Putting  $\mu = 1$ ,  $y = a = 0$  in (14), we get

$$\|f(2x) + f(x) - f(3x)\| \leq \varphi_1(x, 0, 0) \quad (20)$$

for all  $x \in V$ . Hence

$$\begin{aligned} & \| (f(x) + f(-x)) + (f(2x) + f(-2x)) - (f(3x) + f(-3x)) \| \\ & \leq \|f(x) + f(2x) - f(3x)\| + \|f(-x) + f(-2x) - f(-3x)\| \\ & \leq \varphi_1(x, 0, 0) + \varphi_1(-x, 0, 0) \end{aligned} \quad (21)$$

for all  $x \in V$ . Letting  $\mu = 1$ ,  $y = -x$  and  $a = 0$  in (14), we have

$$\|f(x) + f(-x) - f(3x) - f(-3x)\| \leq \varphi_1(x, -x, 0)$$

for all  $x \in V$ . Therefore by (21) we have

$$\left\|f\left(\frac{x}{2}\right) + f\left(-\frac{x}{2}\right)\right\| \leq \varphi_1\left(\frac{x}{4}, 0, 0\right) + \varphi_1\left(-\frac{x}{4}, 0, 0\right) + \varphi_1\left(\frac{x}{4}, -\frac{x}{4}, 0\right) \quad (22)$$

for all  $x \in V$ . Letting  $\mu = 1$ ,  $y = -\frac{x}{2}$  and  $a = 0$  in (14), we get

$$\left\|f\left(\frac{x}{2}\right) - f\left(-\frac{x}{2}\right) - f(x)\right\| \leq \varphi_1\left(\frac{x}{3}, -\frac{x}{6}, 0\right) \quad (23)$$

for all  $x \in V$ . Hence, it follows from (22) and (23) that

$$\left\|2f\left(\frac{x}{2}\right) - f(x)\right\| \leq \varphi_1\left(\frac{x}{4}, 0, 0\right) + \varphi_1\left(-\frac{x}{4}, 0, 0\right) + \varphi_1\left(\frac{x}{4}, -\frac{x}{4}, 0\right) + \varphi_1\left(\frac{x}{3}, -\frac{x}{6}, 0\right) \quad (24)$$

for all  $x \in V$ , and so

$$\left\|2f\left(\frac{x}{2}\right) - f(x)\right\| \leq \psi\left(\frac{x}{2}\right) \leq \frac{L_1}{4}\psi(x)$$

for all  $x \in V$ . Using a similar argument as the one used in the proof of Theorem 2.1, there is a unique  $\mathbb{C}$ -linear mapping  $D: V \rightarrow V$  satisfying (18), and

$$D(x) := \lim_{n \rightarrow \infty} 2^n f\left(\frac{x}{2^n}\right) \quad (25)$$

for all  $x \in V$ . One can use the inequality (15) to show that there exist a unique linear mapping  $k: \Gamma \rightarrow \Gamma$  defined by  $k(\alpha) := \lim_{n \rightarrow \infty} 2^{-n}g(2^n\alpha)$ .

It follows from (14) that

$$\begin{aligned} & \| D(a\alpha a) - D(a)\alpha a^* - ak(\alpha)a - a\alpha D(a) \| \\ &= \lim_n \| 2^{2n}f(2^{-2n}a\alpha a) - 2^n f(2^{-n}a)\alpha a^* - a2^{-n}g(2^n\alpha)a - a\alpha 2^n f(2^{-n}a) \| \\ &= \lim_n \| 2^{2n}f(2^{-n}a\alpha 2^{-n}a) - 2^{2n}f(2^{-n}a)\alpha 2^{-n}a^* - 2^{2n}(2^{-n}a)g(\alpha)(2^{-n}a) \\ &\quad - 2^{2n}2^{-n}a\alpha f(2^{-n}a) \| \\ &\leq \lim_n 4^n \varphi_1(0, 0, 2^{-n}a) = 0 \end{aligned}$$

for all  $x, a \in V, \alpha \in \Gamma$ . Thus  $D$  is a Jordan  $k$ -\*-derivation on  $(\Gamma^*, V)$ .

**Corollary 2.6.** *Let  $V$  be a  $\Gamma^*$ -Banach algebra over the complex field  $\mathbb{C}$ . Suppose  $f: V \rightarrow V$  is a mapping such that  $f(0) = 0$  and  $g: \Gamma \rightarrow \Gamma$  is a mapping such that  $g(0) = 0$  for which there exist  $\theta_1, \theta_2 \in [0, \infty)$  and  $p \in (0, 2), t \in (0, 1)$  satisfying*

$$\| f(2\mu x + \mu y) + f(\mu x + 2\mu y) - \mu f(3x) - \mu f(3y) + f(a\alpha a) - f(a)\alpha a^* - ag(\alpha)a - a\alpha f(a) \| \leq \theta_1(\|x\|^p + \|y\|^p + \|a\|^p),$$

$$\| g(\mu\alpha + \mu\beta) - \mu g(\alpha) - \mu g(\beta) \| \leq \theta_2(\|\alpha\|^t + \|\beta\|^t)$$

for all  $\mu \in \mathbb{T}$  and all  $x, y, a \in V, \alpha, \beta \in \Gamma$ . Then there exists a unique linear mapping from  $\Gamma$  to  $\Gamma$  satisfying

$$\|g(\alpha) - k(\alpha)\| \leq \frac{2\theta_2}{2 - 2^t} \|\alpha\|^t$$

and there exists a unique Jordan  $k$ -\*-derivation  $D: V \rightarrow V$  such that

$$\|f(x) - D(x)\| \leq \frac{2^p + 4 \times 3^p + 4^p}{3^p(8 - 2^{p+1})} \theta_1 \|x\|^p$$

for all  $x \in V$  and  $\alpha \in \Gamma$ .

*Proof.* Put  $\varphi_1(x, y, a) := \theta_1(\|x\|^p + \|y\|^p + \|a\|^p)$  and  $L_1 = 2^{p-1}$ , and put  $\varphi_2(\alpha, \beta) := \theta_2(\|\alpha\|^t + \|\beta\|^t)$  and  $L_2 = 2^{t-1}$  for all  $x, y, a \in V$  and  $\alpha, \beta \in \Gamma$  in Theorem 2.5.

Now we consider the superstability of Jordan  $k$ -\*-derivations with the functional equation (13).

**Corollary 2.7.** *Let  $V$  be a  $\Gamma^*$ -Banach algebra over the complex field  $\mathbb{C}$ . Suppose that  $p, q, r, t, l, \theta_1, \theta_2$  are non-negative real numbers with  $0 < p + q + r \neq 2, 0 < t + l \neq 1$  and suppose that  $f: V \rightarrow V$  and  $g: \Gamma \rightarrow \Gamma$  are mappings such that*

$$\| f(2\mu x + \mu y) + f(\mu x + 2\mu y) - \mu f(3x) - \mu f(3y) + f(a\alpha a) - f(a)\alpha a^* - ag(\alpha)a - a\alpha f(a) \| \leq \theta_1(\|x\|^p \|y\|^q \|a\|^r), \tag{26}$$

$$\|g(\mu\alpha + \mu\beta) - \mu g(\alpha) - \mu g(\beta)\| \leq \theta_2(\|\alpha\|^t \|\beta\|^l) \quad (27)$$

for all  $\mu \in \mathbb{T}$  and all  $x, y, a \in V$ ,  $\alpha, \beta \in \Gamma$ . Then  $f$  is a Jordan  $k$ -\*-derivation on  $(\Gamma^*, V)$ , where  $k: \Gamma \rightarrow \Gamma$  is a linear map.

*Proof.* Putting  $x = y = a = 0$  and  $\mu = 1$  in (26), we have  $f(0) = 0$ . Putting  $\alpha = 0$  and  $\mu = 1$  in (27), we get  $g(0) = 0$ . By putting  $a = y = 0$  and  $\mu = 1$  in (26), we have that  $f(2x) + f(x) - f(3x) = 0$  for all  $x \in V$ . By putting  $\mu = 1$ ,  $y = -x$  and  $a = 0$  in (26), we get  $f(x) + f(-x) - f(3x) - f(-3x) = 0$  for all  $x \in V$ . Hence, by using the last two equations, we obtain that

$$-f(2x) - f(x) + f(3x) - f(-2x) - f(-x) + f(-3x) + f(x) + f(-x) - f(3x) - f(-3x) = 0;$$

that is,  $f(2x) + f(-2x) = 0$  for all  $x \in V$ . If we replace  $x$  by  $\frac{x}{4}$ , then we get

$$f\left(\frac{x}{2}\right) + f\left(-\frac{x}{2}\right) = 0 \quad (28)$$

for all  $x \in V$ . Putting  $\mu = 1$ ,  $y = -\frac{x}{2}$  and  $a = 0$  in (26), we have that

$$f\left(\frac{x}{2}\right) - f\left(-\frac{x}{2}\right) - f(x) = 0$$

for all  $x \in V$ . From (28), we conclude that  $2f\left(\frac{x}{2}\right) = f(x)$  for all  $x \in V$ , and by induction we get

$$f(x) = \frac{f(2^n x)}{2^n}$$

for all  $x \in V$  and  $n \in \mathbb{N}$ . If we put  $\alpha = \beta$  and  $\mu = 1$  in (27), we have that  $g(2\alpha) = 2g(\alpha)$  for all  $\alpha \in \Gamma$ , and using induction again we get  $g(\alpha) = \frac{g(2^n \alpha)}{2^n}$  for all  $\alpha \in \Gamma$  and  $n \in \mathbb{N}$ . Then, putting  $\varphi_1(x, y, a) := \theta_1(\|x\|^p \|y\|^q \|a\|^r)$  and  $\varphi_2(\alpha, \beta) := \theta_2(\|\alpha\|^t \|\beta\|^l)$  for all  $x, y, a \in V$  and all  $\alpha, \beta \in \Gamma$ , we reach the desired result by Theorem 2.5.

### 3. Conclusion

As we pointed out in the introduction, in this paper we have studied the stability of functional equations on  $\Gamma^*$ -Banach algebras which are more general than Banach \*-algebras. Some stability and superstability results of this new concept have been obtained and the author thinks that by using various methods the results could be extended in the future over other fields in which  $\Gamma$ -algebras could be defined.

## References

- [1] Ulam, S.M., **Problems in modern mathematics**, Chapter VI, science ed. Wiley, New York, (1940).
- [2] Hyers, D.H., On the stability of the linear functional equation, **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 27, 222-224, (1941).
- [3] Rassias, Th. M., On the stability of the linear mapping in Banach spaces, **Proceedings of the American Mathematical Society**, 72, 297-300, (1978).
- [4] Hyers, D.H., Isac, G. ve Rassias, Th.M., **Stability of functional equations in several variables**, Birkhauser, Basel, (1998).
- [5] Czerwik, S., **Functional equations and inequalities in several variables**, River Edge, NJ: World Scientific, (2002).
- [6] Jung, S.M., **Hyers-Ulam-Rassias stability of functional equations in mathematical analysis**, Palm Harbor: Hadronic Press, (2001).
- [7] Semrl, P., The functional equation of multiplicative derivation is superstable on standard operator algebras, **Integral Equations and Operator Theory**, 18, 118-122, (1994).
- [8] An, J., Cui, J. ve Park, C., Jordan  $*$ -derivations on  $C^*$ -algebras and  $JC^*$ -algebras, **Abstract Applied Analysis**, Article ID 410437, 1-12, (2008).
- [9] Jang, S. ve Park, C., Approximate  $*$ -derivations and approximate quadratic  $*$ -derivations on  $C^*$ -algebras, **Journal of Inequalities and Applications**, Article ID 55, 1-13 pages, (2011).
- [10] Park, C. ve Bodaghi, A., On the stability of  $*$ -derivations on Banach  $*$ -algebras, **Advances in Differential Equations**, 55, 1-10, (2012).
- [11] Nobusawa, N. On the generalization of the ring theory, **Osaka Journal of Mathematics**, 1, 81-89, (1964).
- [12] Barnes, W.E., On the  $\Gamma$ -rings of Nobusawa, **Pacific Journal of Mathematics**, 18, 3, 411-422, (1966).
- [13] Sapanci, M. ve Nakajima, A., Jordan derivations on completely prime  $\Gamma$ -rings, **Mathematica Japonica**, 46, 1, 47-51, (1997).
- [14] Kandamar, H., The  $k$ -derivation of a Gamma ring, **Turkish Journal of Mathematics**, 24, 221-231, (2000).
- [15] Bhattacharya, D.K. ve Maity, A.K., Semilinear tensor product of Gamma Banach algebras, **Ganita**, 40, 78-80, (1989).
- [16] Hoque, M.F., Alshammari, F.S. ve Paul, A.C., Left centralizers of semiprime  $\Gamma$ -rings with involution, **Applied Mathematical Sciences**, 95, 4713-4722, (2014).
- [17] Park, C., Homomorphisms between Poisson  $JC^*$ -algebras, **Bulletin of the Brazilian Mathematical Society**, 36, 1, 79-97, (2005).
- [18] Caşdariu, L. ve Radu, V., On the stability of the Cauchy functional equation: a fixed point approach, **Grazer Mathematische Berichte**, 346, 43-52, (2004).
- [19] Arslan, B. ve Arslan, O., On the stability of homomorphisms and  $k$ -derivations on Gamma-Banach algebras, **University Politehnica of Bucharest Scientific Bulletin Series A**, 80, 2, 69-78, (2018).
- [20] Najati, A. ve Park, C., Stability of homomorphisms and generalized derivations on Banach algebras, **Journal of Inequalities and Applications**, 2009, 1-12, (2009).

# Modelling and optimization of copper removal from water using carbon nanotubes with RSM and ANN

Elif CALGAN<sup>1,\*</sup>, Elif ÖZMETİN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Balıkesir University Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, Cagis Campus, Balıkesir.

Geliş Tarihi (Received Date): 20.07.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 02.10.2023

## Abstract

*In this study, it was aimed to remove heavy metal copper from aqueous solutions by using MWCNT-OH, which is a multi-walled carbon nanotube. Modelling and optimization were performed using the Response Surface Method (RSM) and Artificial Neural Networks (ANN). Model equations were derived by both methods. ANOVA analyses were performed with RSM to determine the significance of the parameters on removal efficiency and adsorption capacity. Contour graphs showing the binary parameter interactions were obtained. Optimization was carried out to obtain the maximum removal efficiency and maximum adsorption capacity using both RSM and ANN. Using RSM and ANN, the maximum copper removal efficiencies were obtained at 45.1% and 39.1%, while the maximum adsorption capacities were found to be 16.7 mg/g and 17.12 mg/g, respectively. In addition, test experiments and modelling methods were compared, revealing that the modelling capability of ANN was superior to that of RSM.*

**Keywords:** Copper, carbon nanotubes, adsorption, response surface methodology, artificial neural networks.

## Karbon nanotüpler kullanılarak sulardan bakır gideriminin YYY ve YSA ile modelleme ve optimizasyonu

### Öz

*Bu çalışmada çok duvarlı karbon nanotüplerden olan MWCNT-OH kullanılarak ağır metallerden bakırın sulu çözeltilerden giderimi hedeflenmiştir. Çalışmada modelleme ve optimizasyon için Yanıt Yüzey Yöntemi (YYY) ile Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanılmıştır. Her iki yöntemle model denklemleri türetilmiştir. YYY ile ANOVA analizi yapılarak*

\*Elif CALGAN, eliftekin@balikesir.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-6794-1863>

Elif ÖZMETİN, eozmetin@balikesir.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-3318-4083>

*parametrelerin giderim verimi ve adsorpsiyon kapasitesi üzerindeki anlamlılıklarını belirlenmiştir. İkili parametre etkileşimlerinin görüldüğü contour grafikler elde edilmiştir. YYY ve YSA ile maksimum giderim verimi ve maksimum adsorpsiyon kapasitesini elde etmek amacıyla optimizasyon yapılmıştır. RSM ve YSA kullanılarak, maksimum bakır giderim verimleri %45,1 ve %39,1 olarak elde edilirken, maksimum adsorpsiyon kapasiteleri sırasıyla 16,7 mg/g ve 17,12 mg/g olarak bulunmuştur. Ayrıca test deneyleri ile modelleme yöntemleri karşılaştırılmıştır. YSA'nın modelleme kabiliyetinin YYY'ye göre daha iyi olduğu görülmüştür.*

**Anahtar kelimeler:** Bakır, karbon nanotüpler, adsorpsiyon, yanıt yüzey metodolojisi, yapay sinir ağları.

## 1. Introduction

Copper is one of the earliest metals used by humans since the beginning of civilization [1]. Copper is widely used in industries such as electrical cables, air conditioning pipes, plumbing, roofing, etc. owing to its high thermal and electrical conductivity, ease of fabrication and installation, resistance to corrosion, high recyclability, pleasing appearance, etc. [2]. The majority of copper pollution originates from activities such as metal plating, electroplating, etching and engraving printing, pulp and paper manufacturing, cardboard production, wood preservative factories, and the fertilizer industry [3,4]. While copper ( $\text{Cu}^{2+}$ ) is an essential trace element required for enzyme synthesis, tissue and bone development in humans, it can become toxic and carcinogenic when consumed above the recommended limits [5]. Various treatment methods have been employed to remove  $\text{Cu}^{2+}$  from water and wastewater, including chemical precipitation [6,7], ion exchange [8,9], membrane filtration [10,11], flotation [12], electrochemical treatment [13,14], coagulation/flocculation [15,16], and adsorption. Among these, adsorption is the most commonly used method due to its ease of application and low investment cost [2,17].

Carbon nanotubes (CNT) are composed of cylindrical sheets of graphite (an allotropic form of carbon) wrapped in a tube-like structure [18]. CNTs are classified as single-walled carbon nanotubes (SWCNTs) and multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) based on the number of layers they possess. MWCNTs offer several advantages over SWCNTs, including bulk synthesis capability, catalyst-free production, and low production cost [19]. CNTs are used for heavy metal (Pb, Cu, Hg, Cd, Ag, Ni, etc.) removal from wastewater due to their large surface area and chemical stability [20–25]. In order to increase the adsorption capacity of CNTs for metal ions, oxygen-containing functional groups are introduced through oxidation [26].

In this study, modeling and optimization of copper removal using MWCNT-OH from multi-walled carbon nanotubes as adsorbent by RSM and ANN were aimed.

## 2. Material and methods

In the studies, MWCNT-OH, a multi-walled carbon nanotube obtained from Nanography Nano Technology, was used as an adsorbent for copper removal from synthetic solutions. Copper solutions were prepared using  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  salt obtained from Horasan Kimya.



A stock solution of 1000 mg/L was prepared from CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O salt, and samples were prepared through dilutions from the stock solution. 0.1 N HCl and NaOH solutions were used for pH adjustments. Copper was determined by volumetric analysis. Preliminary experiments indicated that the equilibrium time was 30 minutes.

RSM is used for experimental design, particularly when the process inputs (factors) affect the process outputs. One of the significant advantages is its cost-effectiveness and time-efficiency due to the limited number of experiments required [27,28]. Central composite design (CCD), a type of RSM designs, is a standard method that that minimizes the number of experiments needed to establish correlations between inputs and outputs [29,30]. The mathematical expression of the second-order central composite RSM is given in Equation (1).

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=1}^k \beta_{ij} X_i X_j \tag{1}$$

In this equation, Y represents the second-order polynomial, β<sub>0</sub> is the model constant, β<sub>i</sub>, β<sub>ii</sub> and β<sub>ij</sub> are the coefficients to be calculated [31,32].

For the experimental design of copper adsorption on MWCNT-OH as an adsorbent, the CCD method of RSM was applied using Minitab 19 program. Based on the results of preliminary experiments, four independent variables and their corresponding levels were determined. Solid/liquid ratio (S/L), initial copper concentration, temperature and stirring speed (SS) were determined as independent variables. The dependent variables are removal efficiency and adsorption capacity. The experimental design consisted of four factors, three levels, and seven center-point experiments for these factors, resulting in a total of 31 sets of experiments. The factors and levels used in the experimental design for copper adsorption with MWCNT-OH are presented in Table 1.

Table 1. Experimental design factors and levels.

Factor	-1	0	+1
A- Solid/Liquid (S/L) (g/L)	1	2	3
B- Concentration (mg/L)	25	50	75
C- Temperature (°C)	20	30	40
D- Stirring speed (SS) (rpm)	100	200	300

100 mL of copper samples were taken and placed in polyethylene bottles, and the adsorption process was carried out in the shaker for 30 minutes under the conditions determined in the experimental design. At the end of the equilibrium adsorption time, the samples were passed through a 0.2 μm pore diameter syringe tip filter, and the copper concentration was determined. Removal efficiency (%) and q<sub>e</sub> values, determined as independent parameters were calculated according to Equation (2) and Equation (3), respectively.

$$R = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \tag{2}$$

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (3)$$

where  $C_0$  describes initial concentration of contaminants in the solution (mg/L),  $C_e$  defines equilibrium concentration of contaminants in the solution (mg/L),  $V$  demonstrates the solution volume (L),  $m$  stands for adsorbent quantity (g).

Artificial neural network (ANN) is a method inspired by human learning and responding abilities by studying the function and structure of the nervous system in the human brain. For this reason, they have a high success rate in the field of analyzing or modelling data [33]. While forming the ANN model, it is not necessary to know the process in all the details of the process or conduct various technical analyses. As a result of selecting the network structure compatible with the available data, models with high accuracy can be created. During the training of the network, the feed-forward back propagation artificial neural network (FFBPANN) structure is formed as a result of updating the weights determined by propagating the error rate obtained between the actual result in the dataset and the model result backward [34]. The error rate obtained between the actual result in the dataset and the model result is propagated backward during the training of the network, leading to the creation of the FFBPANN model as a result of updating the determined weights. Thus, by determining the most appropriate weights, the error rate between the model result and the actual results is reduced to a minimum level, maximizing the accuracy. In this study FFBPANN model was used.

The factors and levels given in Table 1 were also used in the ANN studies. In this study, two different ANN equations were obtained by modeling the removal efficiency (%) and  $q_e$  values as independent variables using the 'nntool' toolkit of the Matlab program. For copper removal, an ANN model with an input layer consisting of 4 factors (S/L ratio, initial copper concentration, temperature and stirring speed), a hidden layer consisting of 5 neurons and an output layer consisting of removal efficiency and adsorption capacity was created. ANN experiments were carried out following the same procedure as the RSM experiments.

### 3. Results and Discussion

The removal efficiency (%) and adsorption capacity ( $q_e$ ) values, calculated according to the experimental design (RSM) and experimental results in copper adsorption studies with MWCNT-OH, are given in Table 2.

Table 2. Experimental design and results for copper adsorption with MWCNT-OH.

No.	S/L (g/L) A	Copper Conc. (mg/L) B	Temperature (°C) C	Stirring Speed (rpm) D	Removal Efficiency (%)		$q_e$ (mg/g)	
					Exp. Results	RSM Model Results	Exp. Results	RSM Model Results
1	1	25	20	100	15.79	17.44	3.81	5.18
2	3	25	20	100	31.58	30.50	2.54	2.56
3	1	75	20	100	19.66	18.82	14.61	13.47
4	3	75	20	100	26.50	26.12	6.57	6.36

Table 2. (continued)

5	1	25	40	100	18.42	17.06	4.45	3.95
6	3	25	40	100	31.58	32.05	2.54	2.03
7	1	75	40	100	17.95	19.46	13.34	13.99
8	3	75	40	100	28.21	28.69	6.99	7.58
9	1	25	20	300	21.05	19.22	5.08	4.28
10	3	25	20	300	36.84	36.39	2.97	2.46
11	1	75	20	300	17.95	18.53	13.34	14.01
12	3	75	20	300	29.91	29.93	7.41	7.69
13	1	25	40	300	21.05	22.49	5.08	5.44
14	3	25	40	300	42.11	41.59	3.39	4.32
15	1	75	40	300	23.08	22.82	17.16	16.92
16	3	75	40	300	36.75	36.16	12.53	11.31
17	1	50	30	200	20.51	19.62	10.17	9.81
18	3	50	30	200	30.77	32.82	5.08	5.69
19	2	25	30	200	26.32	28.00	3.18	2.82
20	2	75	30	200	26.50	25.97	9.85	10.46
21	2	50	20	200	30.77	33.09	7.62	7.95
22	2	50	40	200	37.18	36.01	9.21	9.14
23	2	50	30	100	33.33	32.88	8.26	7.99
24	2	50	30	300	35.90	37.51	8.90	9.41
25	2	50	30	200	33.33	32.29	8.26	8.01
26	2	50	30	200	33.33	32.29	8.26	8.01
27	2	50	30	200	30.77	32.29	7.62	8.01
28	2	50	30	200	34.62	32.29	8.58	8.01
29	2	50	30	200	33.33	32.29	8.26	8.01
30	2	50	30	200	30.77	32.29	7.62	8.01
31	2	50	30	200	33.33	32.29	8.26	8.01

The correlation coefficient ( $R^2$ ) value for the removal efficiency of copper adsorption with MWCNT-OH was found to be 0.9664. The equation derived from the model for the removal efficiency is given in Equation (4). Using this equation, removal efficiency values can be calculated without performing experiments by entering the desired variables.

$$\begin{aligned}
 \text{RemovalEfficiency}(\%) = & 4.77 + 30.25A + 0.935B - 1.542C \\
 & - 0.1306D - 6.07A * A - 0.00849B * B + 0.0226C * C \\
 & + 0.000290D * D - 0.0576A * B + 0.0485A * C \\
 & + 0.01028A * D + 0.00102B * C - 0.000207B * D \\
 & + 0.000912C * D
 \end{aligned} \tag{4}$$

The results of ANOVA analysis to determine the effect of independent variables on the removal efficiency (%) for copper adsorption on MWCNT-OH are presented in Table 3.

Table 3. ANOVA analysis for removal efficiency of copper adsorption with MWCNT-OH.

	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	p<0,05
Model	14	1380.56	98.61	32.86	0.000	Significant
Linear	4	936.95	234.24	78.05	0.000	Significant
S/L (g/L)	1	783.83	783.83	261.19	0.000	Significant
Copper Conc. (mg/L)	1	18.49	18.48	6.16	0.025	Significant
Temperature (°C)	1	38.34	38.34	12.78	0.003	Significant
Stirring Speed (rpm)	1	96.29	96.29	32.09	0.000	Significant
Square	4	371.07	92.77	30.91	0.000	Significant
S/L (g/L)*S/L (g/L)	1	95.64	95.63	31.87	0.000	Significant
Copper Conc. (mg/L)*Copper Conc. (mg/L)	1	73.06	73.06	24.34	0.000	Significant
Temperature (°C)*Temperature (°C)	1	13.29	13.29	4.43	0.052	
Stirring Speed (rpm)*Stirring Speed (rpm)	1	21.88	21.88	7.29	0.016	Significant
2-Way Interaction	6	72.54	12.09	4.03	0.012	Significant
S/L (g/L)*Copper Conc. (mg/L)	1	33.22	33.22	11.07	0.004	Significant
S/L (g/L)*Temperature (°C)	1	3.76	3.76	1.25	0.279	
S/L (g/L)*Stirring Speed (rpm)	1	16.90	16.89	5.63	0.031	Significant
Copper Conc. (mg/L)*Temperature (°C)	1	1.04	1.04	0.35	0.565	
Copper Conc. (mg/L)*Stirring Speed (rpm)	1	4.31	4.30	1.43	0.248	
Temperature (°C)*Stirring Speed (rpm)	1	13.32	13.32	4.44	0.051	

When evaluating the p-values ( $p < 0.05$ ) given in Table 3, it can be observed that the model exhibited significance for copper removal on MWCNT-OH, as well as for the parameters S/L, copper concentration, temperature, and SS. Additionally, the binary parameters S/L\*S/L, Copper Concentration\*Copper Concentration, SS\*SS, S/L\*Copper Concentration and S/L\*SS were found to be effective.

Contour graphs illustrating the effect of the other two parameters on the removal efficiency of copper adsorption with MWCNT-OH, while keeping the two parameters constant, are presented in Figure 3.

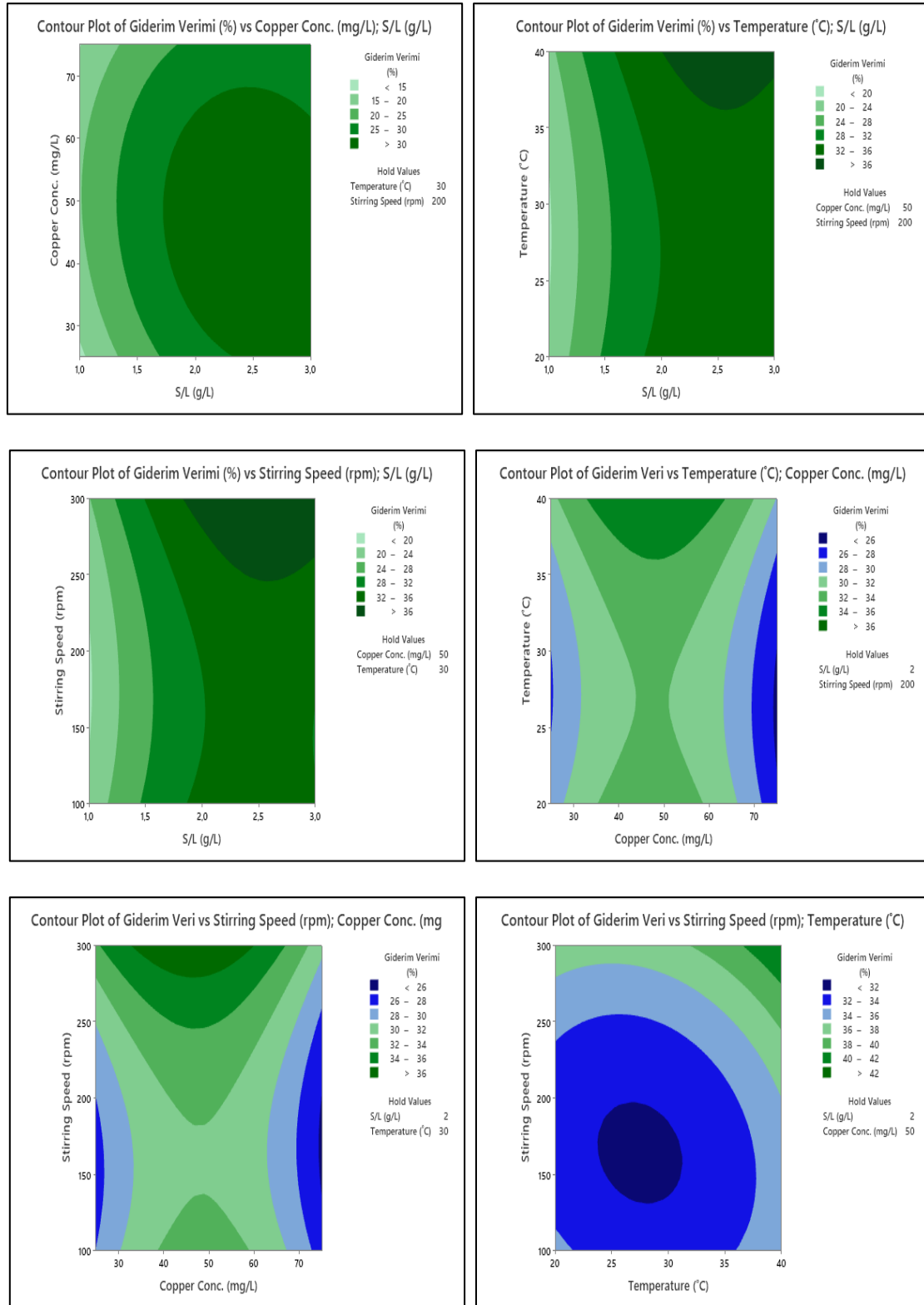


Figure 3. Contour plots for removal efficiency (%) in copper adsorption with MWCNT-OH.

The  $R^2$  value for copper adsorption with MWCNT-OH was found to be 0.9733, and the equation derived from the model for  $q_e$  value is given in Equation (5).

$$\begin{aligned}
 q_e(\text{mg} / \text{g}) = & 7.28 + 0.32A + 0.3813B - 0.501C \\
 & - 0.0496D - 0.263A * A - 0.0022B * B \\
 & + 0.00531C * C + 0.000069D * D - 0.04493A * B \\
 & + 0.0174A * C + 0.00201A * D + 0.001755B * C \\
 & + 0.000144B * D + 0.000598C * D
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

The results of the ANOVA analysis to determine the effect of independent variables on  $q_e$  (mg/g) for copper adsorption on MWCNT-OH are presented in Table 4.

Table 4. ANOVA analysis for adsorption capacity ( $q_e$ ) of copper adsorption with MWCNT-OH.

	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	p<0,05
Model	14	392.879	28.063	41.64	0.000	Significant
Linear	4	354.299	88.575	131.44	0.000	Significant
S/L (g/L)	1	76.174	76.174	113.04	0.000	Significant
Copper Conc. (mg/L)	1	262.703	262.703	389.84	0.000	Significant
Temperature (°C)	1	6.399	6.399	9.50	0.007	Significant
Stirring Speed (SS) (rpm)	1	9.023	9.023	13.39	0.002	Significant
Square	4	6.404	1.601	2.38	0.096	
S/L (g/L)*S/L (g/L)	1	0.180	0.180	0.27	0.613	
Copper Conc. (mg/L)*Copper Conc. (mg/L)	1	4.908	4.908	7.28	0.016	Significant
Temperature (°C)*Temperature (°C)	1	0.732	0.732	1.09	0.313	
SS (rpm)*SS (rpm)	1	1.235	1.235	1.83	0.195	
2-Way Interaction	6	32.176	5.363	7.96	0.000	Significant
S/L (g/L)*Copper Conc. (mg/L)	1	20.186	20.186	29.96	0.000	Significant
S/L (g/L)*Temperature (°C)	1	0.485	0.485	0.72	0.409	
S/L (g/L)*SS (rpm)	1	0.643	0.643	0.95	0.343	
Copper Conc. (mg/L)*Temperature (°C)	1	3.081	3.081	4.57	0.048	Significant
Copper Conc. (mg/L)*SS (rpm)	1	2.066	2.066	3.07	0.099	
Temperature (°C)*SS (rpm)	1	5.715	5.715	8.48	0.010	Significant

According to the p values given in Table 4, it is evident that the model is significant in copper adsorption on MWCNT-OH. The S/L ratio, copper concentration, temperature, and SS, along with the binary parameters Copper Concentration\*Copper Concentration, S/L\*Copper Concentration, Copper Concentration\*Temperature, Temperature\*SS are found to be effective.

Contour graphs illustrating the effect of the other two parameters on copper adsorption with MWCNT-OH, while keeping the two parameters constant for  $q_e$  are given in Figure 4.

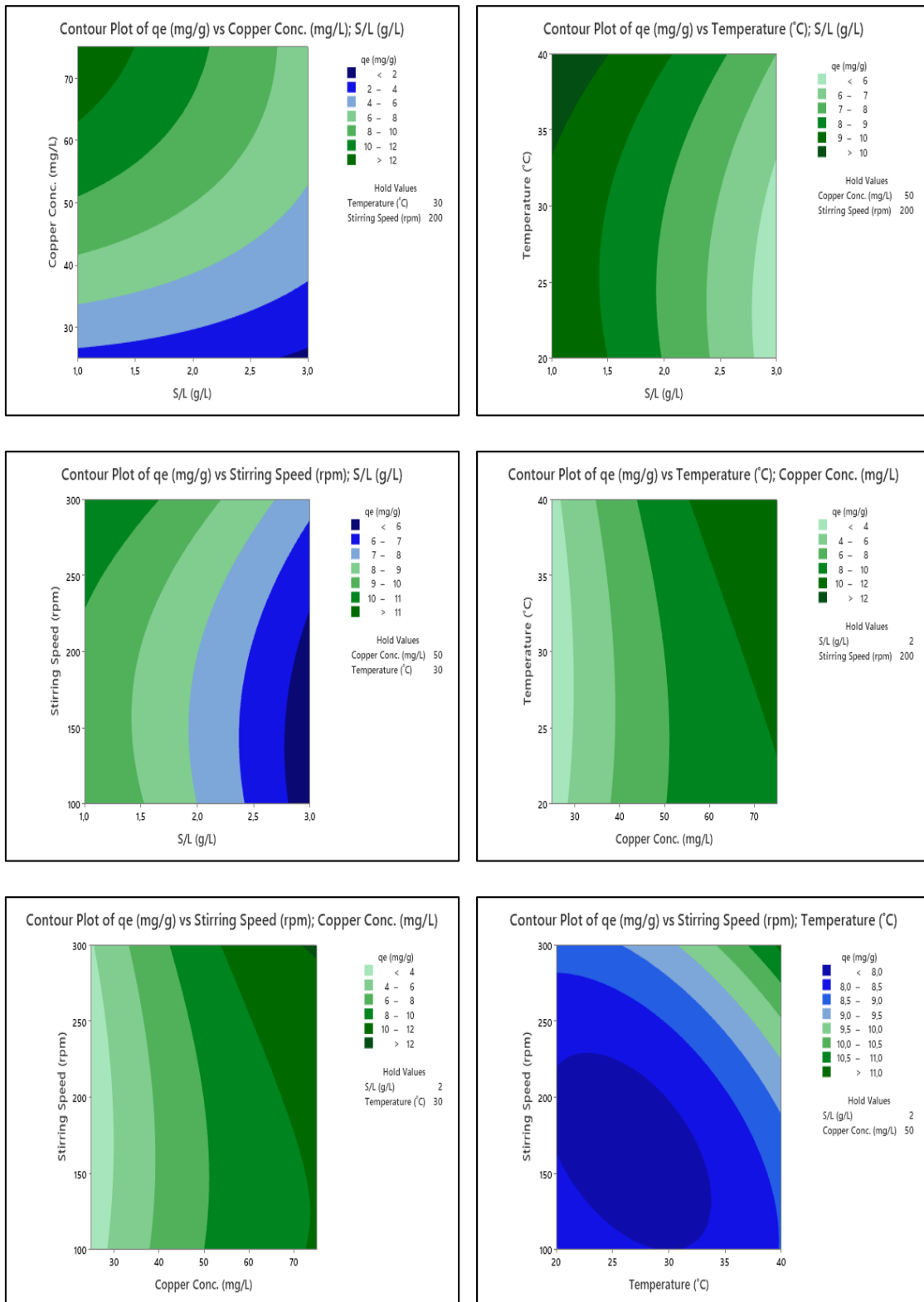


Figure 4. Contour plots for  $q_e$  in copper adsorption with MWCNT-OH.

In copper adsorption with MWCNT-OH, the conditions that maximized the removal efficiency (%) and adsorption capacity were determined, and the average results of three repeated experiments performed under these conditions are given in Table 5 and Table 6, respectively.

Table 5. Optimum conditions and results for copper removal efficiency (%).

Optimum Conditions				RSM Model Removal Efficiency (%)	Exp. Result Removal Efficiency (%)
S/L (g/L)	Concentration (mg/L)	Temperature (°C)	SS (rpm)		
2,7	45	40	300	42.2-47.9	45.1

Table 6. Optimum conditions and results for copper adsorption capacity (q<sub>e</sub>).

Optimum Conditions				RSM Model q <sub>e</sub> (mg/g)	Exp. Result q <sub>e</sub> (mg/g)
S/L (g/L)	Concentration (mg/L)	Temperature (°C)	SS (rpm)		
1	75	40	300	15.5-18.3	16.7

As shown in Table 5 and Table 6, when the results of the experiments are compared with the results predicted by the RSM, it is seen that the results are in agreement with the model and are within the acceptable limit.

The ANN model for copper adsorption with MWCNT-OH was obtained using the experimental design and results given in Table 7. The removal efficiency (%) and adsorption capacity (q<sub>e</sub>) values calculated from this model are also given in Table 7.

Table 7. Experimental design and ANN model results for copper adsorption with MWCNT-OH.

No	S/L (g/L)	Copper Conc.(mg/L)	Temperature (°C)	SS (rpm)	Removal Efficiency (%)		q <sub>e</sub> (mg/g)	
					Exp. Result	ANN Model Result	Exp. Result	ANN Model Result
	A	B	C	D				
1	1	25	20	100	15.79	15.79	3.81	3.81
2	3	25	20	100	31.58	31.58	2.54	2.55
3	1	75	20	100	19.66	19.66	14.61	14.61
4	3	75	20	100	26.50	26.50	6.57	6.57
5	1	25	40	100	18.42	18.42	4.45	4.45
6	3	25	40	100	31.58	31.58	2.54	2.55
7	1	75	40	100	17.95	17.95	13.34	13.34
8	3	75	40	100	28.21	28.21	6.99	6.99
9	1	25	20	300	21.05	21.05	5.08	5.08
10	3	25	20	300	36.84	36.84	2.97	2.96
11	1	75	20	300	17.95	17.95	13.34	13.34
12	3	75	20	300	29.91	29.91	7.41	7.41
13	1	25	40	300	21.05	21.05	5.08	5.08
14	3	25	40	300	42.11	42.10	3.39	3.39
15	1	75	40	300	23.08	23.08	17.16	17.15
16	3	75	40	300	36.75	36.75	12.53	12.53
17	1	50	30	200	20.51	20.51	10.17	10.17
18	3	50	30	200	30.77	30.77	5.08	5.07
19	2	25	30	200	26.32	26.32	3.18	3.18



Table 7. (continued)

20	2	75	30	200	26.50	26.50	9.85	9.85
21	2	50	20	200	30.77	30.77	7.62	7.62
22	2	50	40	200	37.18	37.18	9.21	9.21
23	2	50	30	100	33.33	33.33	8.26	8.26
24	2	50	30	300	35.90	35.90	8.90	8.90
25	2	50	30	200	33.33	32.78	8.26	8.26
26	2	50	30	200	33.33	32.78	8.26	8.12
27	2	50	30	200	30.77	32.78	7.62	8.12
28	2	50	30	200	34.62	32.78	8.58	8.12
29	2	50	30	200	33.33	32.78	8.26	8.12
30	2	50	30	200	30.77	32.78	7.62	8.12
31	2	50	30	200	33.33	32.78	8.26	8.12

The removal efficiency and adsorption capacity ANN model was found and the mean-squared error (MSE) values were reduced to 0.408 and 0.025 as a result of 100 iterations, respectively. The  $R^2$  value, which represents the correlation coefficient of the model obtained from training, was found to be 0.99. The graph drawn to visualize the compatibility between the experimental results of removal efficiency (%) and adsorption capacity ( $q_e$ ) and the results obtained from the ANN model is presented in Figure 5.

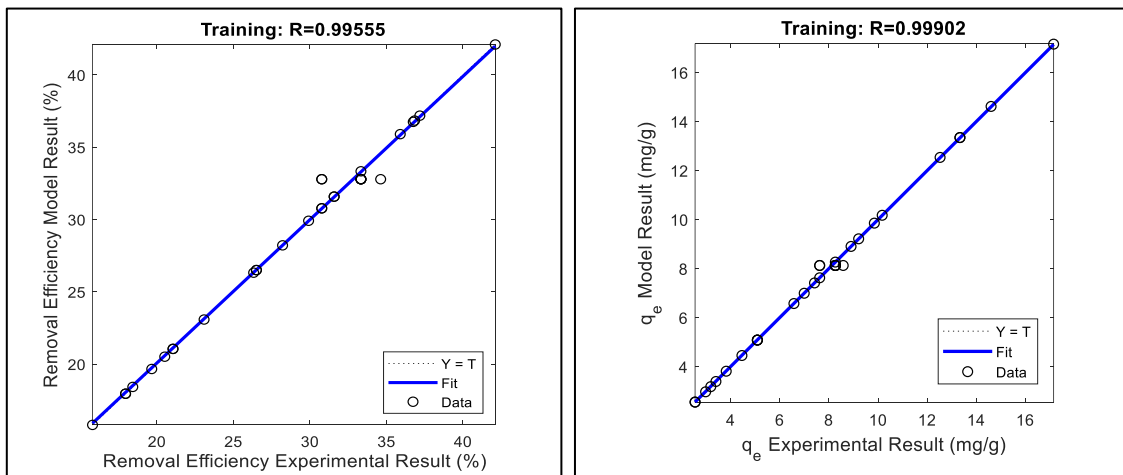


Figure 5. Training plot of ANN model for removal efficiency and adsorption capacity in copper adsorption with MWCNT-OH.

To test and compare the accuracy of ANN and RSM models in copper removal with MWCNT-OH, experiments were carried out under operating conditions not included in the experimental design. The graphs comparing the results obtained are shown in Figure 6 and it is evident that the error rate of the ANN model in the test results is lower than the RSM model.

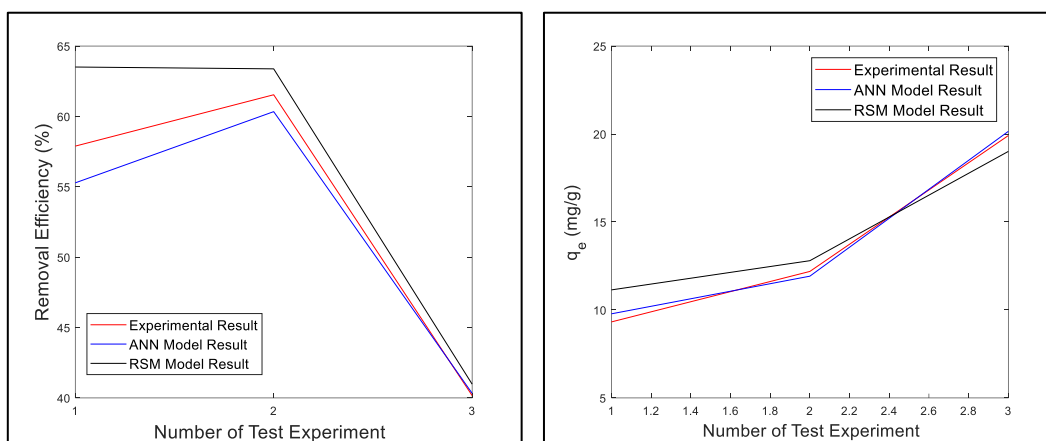


Figure 6. Test experiments for removal efficiency and  $q_e$  in copper adsorption with MWCNT-OH.

The copper adsorption with MWCNT-OH, the removal efficiency (%) and adsorption capacity were optimized by ANN, and the optimum conditions and the average of the experimental results with three repetitions are given in Table 8 and Table 9, respectively.

Table 8. Optimum conditions and results derived from ANN model for copper removal efficiency (%).

Optimum Conditions				ANN Model Removal Efficiency (%)	Exp. Result Removal Efficiency (%)
S/L (g/L)	Concentration (mg/L)	Temperature (°C)	SS (rpm)		
2.95	25	40	300	42.1	39.1

Table 9. Optimum conditions and results derived from ANN model for copper adsorption capacity (mg/g).

Optimum Conditions				ANN Model $q_e$ (mg/g)	Exp. Result $q_e$ (mg/g)
S/L (g/L)	Concentration (mg/L)	Temperature (°C)	SS (rpm)		
1	75	32	300	17.11	17.12

#### 4. Conclusion

In this study, considering the lack of copper removal studies with multi-walled carbon nanotubes with different structures in the literature, copper removal from synthetic solutions using MWCNT-OH was studied. Utilizing CCD in experimental design, both RSM and ANN models were developed based on the experimental results. In copper removal studies using MWCNT-OH, the  $R^2$  values of RSM for removal efficiency (%) and adsorption capacity were found to be 0.9664 and 0.9733, respectively. The  $R^2$  values of ANN model are calculated as 0.9955 and 0.9990 for removal efficiency (%) and adsorption capacity. The accuracy of both models was verified through test experiments. It was proven via these models, more results can be predicted with high accuracy without

experiments. Finally, the optimal conditions, aiming for maximum removal efficiency (%) and adsorption capacity, were determined. The optimal results provided by RSM and ANN for the maximum copper removal percentage were 45.1% and 39.1%, respectively. Additionally, for adsorption capacity (q), the values obtained were 16.7 mg/g for RSM and 17.12 mg/g for ANN. Experimental studies confirmed that both model results closely matched the experimental results. However, ANN demonstrated greater effectiveness compared to RSM, attributed to its higher regression coefficient and modeling capability.

## Acknowledgement

This study is based on a PhD thesis authored by Elif ÇALGAN under the supervision of Assist. Prof. Dr. Elif ÖZMETİN.

## References

- [1] Calgan, E., Fonksiyonize çok duvarlı karbon nanotüpler kullanılarak sulu çözeltilerden metil viyole ve bakır giderimi, PhD thesis, Balıkesir University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Balıkesir, (2023).
- [2] Darweesh M.A., Elgendy M.Y., Ayad M.I., Ahmed A.M., Elsayed N.M.K., Hammad W.A., Adsorption isotherm, kinetic, and optimization studies for copper (II) removal from aqueous solutions by banana leaves and derived activated carbon, **South African Journal of Chemical Engineering**, **40**, 10–20, (2022).
- [3] Gündoğan R., Acemioğlu B., Alma M.H., Copper (II) adsorption from aqueous solution by herbaceous peat, **Journal of colloid and interface science**, **269**, 2, 303–309, (2004).
- [4] Isaac R., Siddiqui S., Adsorption of divalent copper from aqueous solution by magnesium chloride co-doped Cicer arietinum husk biochar: Isotherm, kinetics, thermodynamic studies and response surface methodology, **Bioresource Technology Reports**, **18**, 101004, (2022).
- [5] Bilal M., Shah J.A., Ashfaq T., Gardazi S.M.H., Tahir A.A., Pervez A. et al., Waste biomass adsorbents for copper removal from industrial wastewater-a review, **Journal of hazardous materials**, **263**, 322–333, (2013).
- [6] Chen Q., Yao Y., Li X., Lu J., Zhou J., Huang Z., Comparison of heavy metal removals from aqueous solutions by chemical precipitation and characteristics of precipitates, **Journal of water process engineering**, **26**, 289–300, (2018).
- [7] Benalia M.C., Youcef L., Bouaziz M.G., Achour S., Menasra H., Removal of heavy metals from industrial wastewater by chemical precipitation: mechanisms and sludge characterization, **Arabian Journal for Science and Engineering**, **47**, 5, 5587–5599, (2022).
- [8] Veli S., Pekey B., Removal of copper from aqueous solution by ion exchange resins, **Fresenius Environmental Bulletin**, **13**, (2004).
- [9] Rengaraj S., Kim Y., Joo C.K., Choi K., Yi J., Batch adsorptive removal of copper ions in aqueous solutions by ion exchange resins: 1200H and IRN97H, **Korean Journal of Chemical Engineering**, **21**, 187–194, (2004).
- [10] Menzel K., Barros L., Garcia A., Ruby-Figueroa R., Estay H., Metal sulfide precipitation coupled with membrane filtration process for recovering copper from acid mine drainage, **Separation and Purification Technology**, **270**, 118721, (2021).

- [11] Blöcher C., Dorda J., Mavrov V., Chmiel H., Lazaridis N.K., Matis K.A., Hybrid flotation—membrane filtration process for the removal of heavy metal ions from wastewater, **Water Research**, **37**, 16, 4018–4026, (2003).
- [12] Zouboulis A.I., Lazaridis N.K., Matis K.A., Removal of toxic metal ions from aqueous systems by biosorptive flotation, **Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology**, **77**, 8, 958–964, (2002).
- [13] Hunsom M., Pruksathorn K., Damronglerd S., Vergnes H., Duverneuil P., Electrochemical treatment of heavy metals (Cu<sup>2+</sup>, Cr<sup>6+</sup>, Ni<sup>2+</sup>) from industrial effluent and modeling of copper reduction, **Water research**, **39**, 4, 610–616, (2005).
- [14] Gomes J.A., Islam K., Islam M.R., Irwin G., Bernazzani P., Cocke D., Utilization of Electrochemical Techniques for Copper Removal, Speciation, and Analysis in Aqueous Systems, **ECS Transactions**, **28**, 18, 59, (2010).
- [15] Yeh R.S., Wang Y.Y., Wan C.C., Removal of Cu<sup>2+</sup> EDTA compounds via electrochemical process with coagulation, **Water Research**, **29**, 2, 597–599, (1995).
- [16] Skotta A., Jmiai A., Elhayaoui W., El-Asri A., Tamimi M., Assabbane A., et al. Suspended matter and heavy metals (Cu and Zn) removal from water by coagulation/flocculation process using a new Bio-flocculant: *Lepidium sativum*, **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, **145**, 104792, (2023).
- [17] Al-Saydeh S.A., El-Naas M.H., Zaidi S.J., Copper removal from industrial wastewater: A comprehensive review, **Journal of industrial and engineering chemistry**, **56**, 35-44, (2017).
- [18] Abbas A., Al-Amer A.M., Laoui T., Al-Marri M.J., Nasser M.S., Khraisheh M., et al. Heavy metal removal from aqueous solution by advanced carbon nanotubes: critical review of adsorption applications, **Separation and Purification Technology**, **157**, 141–161, (2016).
- [19] Wu F-C., Tseng R-L., High adsorption capacity NaOH-activated carbon for dye removal from aqueous solution, **Journal of hazardous materials**, **152**, 3, 1256–1267, (2008).
- [20] Shadbad M.J., Mohebbi A., Soltani A., Mercury (II) removal from aqueous solutions by adsorption on multi-walled carbon nanotubes, **Korean Journal of Chemical Engineering**, **28**, 4, 1029–1034, (2011).
- [21] Li Y-H., Wang S., Wei J., Zhang X., Xu C., Luan Z. et al. Lead adsorption on carbon nanotubes, **Chemical physics letters**, **357**, 3-4, 263-266, (2002).
- [22] Kandah M.I., Meunier J-L., Removal of nickel ions from water by multi-walled carbon nanotubes, **Journal of hazardous materials**, **146**, 283-288, (2007).
- [23] Mubarak N.M., Alicia R.F., Abdullah E.C., Sahu J.N., Haslija A.B.A., Tan J., Statistical optimization and kinetic studies on removal of Zn<sup>2+</sup> using functionalized carbon nanotubes and magnetic biochar, **Journal of Environmental Chemical Engineering**, **1**, 3, 486–495, (2013).
- [24] Cendrowski K., Kukułka W., Wierzbicka J., Mijowska E., The river water influence on cationic and anionic dyes collection by nickel foam with carbonized metal-organic frameworks and carbon nanotubes, **Journal of Alloys and Compounds**, **876**, 160093, (2021).
- [25] Ge Y., Li Z., Xiao D., Xiong P., Ye N., Sulfonated multi-walled carbon nanotubes for the removal of copper (II) from aqueous solutions, **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, **20**, 4, 1765–1771, (2014).
- [26] Yu X-Y., Luo T., Zhang Y-X., Jia Y., Zhu B-J., Fu X-C., et al., Adsorption of

- lead (II) on O<sub>2</sub>-plasma-oxidized multiwalled carbon nanotubes: thermodynamics, kinetics, and desorption, **ACS Applied Materials & Interfaces**, **3**, 7, 2585–2593, (2011).
- [27] Abdulgader M., Yu Q.J., Zinatizadeh A.A., Williams P., Rahimi Z., Application of response surface methodology (RSM) for process analysis and optimization of milk processing wastewater treatment using multistage flexible fiber biofilm reactor, **Journal of Environmental Chemical Engineering**, **8**, 3, 103797, (2020).
- [28] Ozmetin E., Calgan E., Suzen Y., Korkmaz M., Ozmetin C., Optimisation of Textile Industry Wastewater Treatment Using Bigadic Zeolite (Clinoptilolite) by Response Surface Methodology, **Journal Of Environmental Protection and Ecology**, **18**, 3, 1127–1136, (2017).
- [29] Himmetoğlu, E. M., Boylu ardiç (Juniperus excelsa) meyvelerinden süperkritik karbondioksit ekstraksiyonu ile ilaç etken maddelerinin özütlenmesi, Master thesis, Gazi University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, (2020).
- [30] Çalgan E., Ozmetin E., Optimization of hardness removal using response surface methodology from wastewater containing high boron by Bigadic clinoptilolite, **Desalination and Water Treatment**, **172**, 281-291, (2019).
- [31] Onu C.E., Nwabanne J.T., Ohale P.E., Asadu C.O., Comparative analysis of RSM, ANN and ANFIS and the mechanistic modeling in eriochrome black-T dye adsorption using modified clay, **South African Journal of Chemical Engineering**, **36**, 24–42, (2021).
- [32] Çalgan H., Yaman R., İlten E., Demirtaş M., Fırçasız DA motorunun hız kontrolünde PI katsayılarının Pareto tabanlı çok amaçlı optimizasyonu, **Baltkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, **20**, 2, 330–346, (2018).
- [33] Hassen E.B., Asmare A.M., Predictive performance modeling of Habesha brewery wastewater treatment plant using artificial neural networks, **Chemical Int**, **5**, 1, 87, (2019).
- [34] Jana D.K., Bhunia P., Adhikary S. Das., Bej B., Optimization of effluents using artificial neural network and support vector regression in detergent industrial wastewater treatment, **Cleaner Chemical Engineering**, **3**, 100039, (2022).

# Edremit Körfez Bölgesi (Balıkesir, Türkiye) zeytin bahçelerindeki kabuklubit (Hemiptera: Sternorrhyncha: Coccoomorpha) türleri

Gonca VATANSEVER SAKİN\*

Balıkesir Üniversitesi, Edremit Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü,  
Zeytincilik ve Zeytin İşleme Teknolojisi Programı, Edremit-Balıkesir

Geliş Tarihi (Received Date): 28.08.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 12.10.2023

## Öz

Çalışma, 2019 ve 2020 yıllarında Balıkesir ilinin (Türkiye), Edremit Körfez Bölgesi'ndeki beş ilçenin (Edremit, Havran, Burhaniye, Gömeç ve Ayvalık) zeytin bahçelerinde kabuklubit (Hemiptera: Coccoomorpha) türlerinin belirlenmesi ve bunların dağılımlarının tespit edilmesi amacıyla yürütülmüştür. İlçelere bağlı bulunan 84 adet lokasyondaki 679 adet zeytin bahçesinde örneklemeler yapılmıştır. Sürveyler sonucunda Coccidae (3), Diaspididae (2) ve Pseudococcidae (1) familyalarından olmak üzere 6 adet tür belirlenmiştir. Bu türler; *Filippia follicularis* (Targioni Tozzetti), *Lichtensia viburni* Signoret, 1873, *Saissetia oleae* (Olivier, 1791) (Coccidae), *Leucaspis riccae* (Targioni Tozzetti, 1881), *Parlatoria oleae* (Colvée, 1880) (Diaspididae) ve *Phenacoccus madeirensis* Green (Pseudococcidae) olmuştur. Edremit Körfez Bölgesi'ndeki tüm ilçelerde yaygın tür olarak birçok zeytin bahçesinde *S. oleae*'ye rastlanırken, *L. viburni* ve *P. madeirensis* yalnızca Edremit'teki zeytin bahçelerinde belirlenmiştir. Çalışma sonunda, örneklenen zeytin bahçelerinin %8.1'inin Coccidae, Diaspididae ve Pseudococcidae türlerinden herhangi biri ile bulaşık olarak bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Edremit Körfez Bölgesi, zeytin bahçeleri, kabuklubit, Coccidae, Diaspididae, Pseudococcidae.

## Scale insect species (Hemiptera: Sternorrhyncha: Coccoomorpha) in olive orchards of Edremit Bay Region (Balıkesir, Turkey)

### Abstract

This study was carried out to determine the species of scale insects and their distribution (Hemiptera: Coccoomorpha) in olive orchards in five districts (Edremit, Havran,

\* Gonca VATANSEVER SAKİN, goncav@balikesir.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-1046-2455>

Burhaniye, Gömeç and Ayvalık) in Edremit Bay Region, Balıkesir Province (Turkey), in 2019 and 2020. The samples were collected from 679 olive orchards at 84 locations in the districts. The following six species belonging to the families Coccidae (3), Diaspididae (2) and Pseudococcidae (1) were recorded during the survey: *Filippia follicularis* (Targioni Tozzetti), *Lichtensia viburni* Signoret, 1873, *Saissetia oleae* (Olivier, 1791) (Coccidae), *Leucaspis riccae* (Targioni Tozzetti, 1881), *Parlatoria oleae* (Colvée, 1880) (Diaspididae) and *Phenacoccus madeirensis* Green (Pseudococcidae). *Saissetia oleae* was found in many olive orchards as a common species in all districts in Edremit Bay, while *L. viburni* and *P. madeirensis* were determined only in olive orchards in Edremit district. At the end of the study, 8.1% of the sampled olive orchards were found to be infested with any of the Coccidae, Diaspididae and Pseudococcidae species.

**Keywords:** *Edremit Bay Region, olive orchards, scale insect, Coccidae, Diaspididae, Pseudococcidae*

## 1. Giriş

Meyve ağaçlarında zararlı birçok böcek türü içerisinde kabuklubitler (Hemiptera: Sternorrhyncha: Coccoomorpha) önemli yer tutar. Farklı familyalara ait kabuklubit türleri ergin ve ergin öncesi dönemde, başta park ve süs bitkileri, sebzeler, orman ağaçları, meyve ağaçları ve yabancı otlar gibi ekonomik önemde olan veya olmayan birçok bitki türünde beslenmektedirler [1]. Kabuklubit'ler, bitkinin gövde, dal, yaprak, meyve, çiçek ve hatta köklerine yerleşen ve bitki özsuynunu emerek beslenen önemli zararlı türleri barındırırlar [2]. Bu zararlıların bitkileri sokup emerek beslenmesi sonucu; bitki gelişiminde durgunluk, yapraklarda sararma, erken yaprak dökümü, meyvelerde şekil ve renk bozuklukları ile birlikte kalite ve verim düşmesi görülmektedir. Daha ileri aşamada ise uç dallarda kuruma ve tüm bitkide ölüm görülebilmektedir. Kabuklubit'lerin beslenmesi sonucu zayıflayan bitkiler, diğer hastalık ve zararlı etmenlere karşı daha duyarlı hale gelmektedir [3-5]. Kabuklubit türleri (Coccoomorpha), Sert kabuklubit'ler (Diaspididae), Yumuşak kabuklubit'ler (Coccidae) ve Unlubitler (Pseudococcidae) tür sayısı bakımından en zengin familyalar olup, daha birçok familyayı içermektedir. Sert kabuklubit'lerin dünya genelinde 2707 türü bulunmakta, Türkiye ise bu familyaya dahil 120 türü barındırmaktadır [6]. Diaspididae türleri sert, kalkan şeklinde bir kabuğun altında yaşarlar, konukçularının parankima dokularında beslenirler ve ballımsı madde salgılamazlar [7]. Yumuşak kabuklubit'lerin dünyada 1225 türü bulunmaktadır [1]. Türkiye'de şimdiye kadar 28 cinse bağlı 72 Coccidae türü tespit edilmiştir [6]. Bu familyaya ait türler sert kabuklubit'lerdeki gibi koruyucu bir kabuk içermezler. Dışı bireyler vücutlarının üzerine az yada çok mumsu bir madde salgılayıp bununla vücutlarını kaplarlar. Bu türler yoğun miktarda ballımsı madde salgırlar. Pseudococcidae familyasının dünyada 2042 türü vardır [1]. Türkiye'de ise bu familyanın şimdiye kadar 120 türü tanılanmıştır [6]. Unlubitlerin birçok türü bitkilerin özsuynunu emerek doğrudan ve dolaylı olarak zarar verebildikleri gibi, virüs taşıyıcılığı yaparak da ekonomik olarak önemli zarar oluştururlar [8]. Coccidae ve Pseudococcidae türleri vücutlarından dışarıya ballımsı bir madde salgırlar. Bu ballımsı madde; saprofit mantarların gelişmesi, havadaki toz gibi maddelerle birleşerek bitki üzerinde karaballık veya fumajin ismi verilen bir tabaka oluşturur. Fumajin, bitki yüzeyini kaplayarak, fotosentez yapımını engellemekte ve böylece bitkilerin gördüğü zararı daha da arttırmaktadır [3, 9].

Zeytin (*Olea europaea* L.), Akdeniz iklimine sahip ılıman bölgelerin vazgeçilmez bir ağaç türüdür. Ağacın meyvesi yağlık ve sofralık olarak tüketilebildiği gibi kozmetik, ilaç sanayisi ve endüstri alanında da kullanılabilir. Ulusal Zeytin ve Zeytinyağı Konseyi'nin (UZZK) 2022 yılı verilerine göre Türkiye ekonomisi için oldukça önemli olan zeytin ağacının ülkemizde meyve veren ağaç sayısı 167 652 603 adettir. Ülkemiz zeytinciliğinin önemli merkezlerinden biri olan Balıkesir ili 11 402 687 adet ile Türkiye'nin meyve veren zeytin ağacı sayısının %6.8'ini, Edremit Körfez Bölgesi (Edremit, Havran, Burhaniye, Gömeç ve Ayvalık) ise 9 697 909 adet ağaç ile ilin %85.05'ini içermektedir [10].

Zeytin ağaçları ve zeytin meyvesi bazı zararlı böcekler tarafından sürekli tehdit edilmektedir. Türkiye'de zeytin yetiştiriciliğinin yapıldığı bazı illerdeki zeytin bahçelerindeki ana ve ikincil zararlılarının tespiti ve yayılım alanları konusunda bugüne kadar yapılmış bazı temel çalışmalar bulunmaktadır [11-14]. Balıkesir ili özelinde ise 16 ilçede 2014-2016 yılları arasında, ekonomik öneme sahip olan zeytin, ceviz, elma, mandarin, şeftali, erik, dut ve ayva bahçelerinden 150 ayrı bölgede özellikle sokucu emici ağız yapısına sahip kabuklubitler konusunda tek bir çalışma yapılmıştır [15]. Balıkesir ili Edremit Körfezi dünyanın en kaliteli zeytin ve zeytinyağının üretildiği bölgelerden biridir [16, 17]. Ayrıca, Edremit Körfez Bölgesi zeytinleri (Edremit Körfezi yeşil çizik zeytini) ve zeytinyağları (Edremit zeytinyağı, Ayvalık zeytinyağı) hem Türk Patent ve Marka Kurumu hem de Avrupa Birliği komisyonu tarafından tescillenmiş "Coğrafi İşaret"e sahiptir [18, 19]. Bunlara rağmen literatürde, Edremit Körfez Bölgesi zeytin bahçeleri özelinde kabuklubit çalışması bulunmamaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada, yukarıda detaylandırıldığı gibi zeytin ağacı varlığı, zeytin/zeytinyağı üretim miktarı bakımından Türkiye'nin çok önemli bir bölgesi olan ve zeytin/zeytinyağı kalitesi açısından da dünya çapında tescilli olan Edremit Körfez Bölgesi'ndeki zeytinliklerde kabuklubit türlerinin daha detaylı tespit edilmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve metot

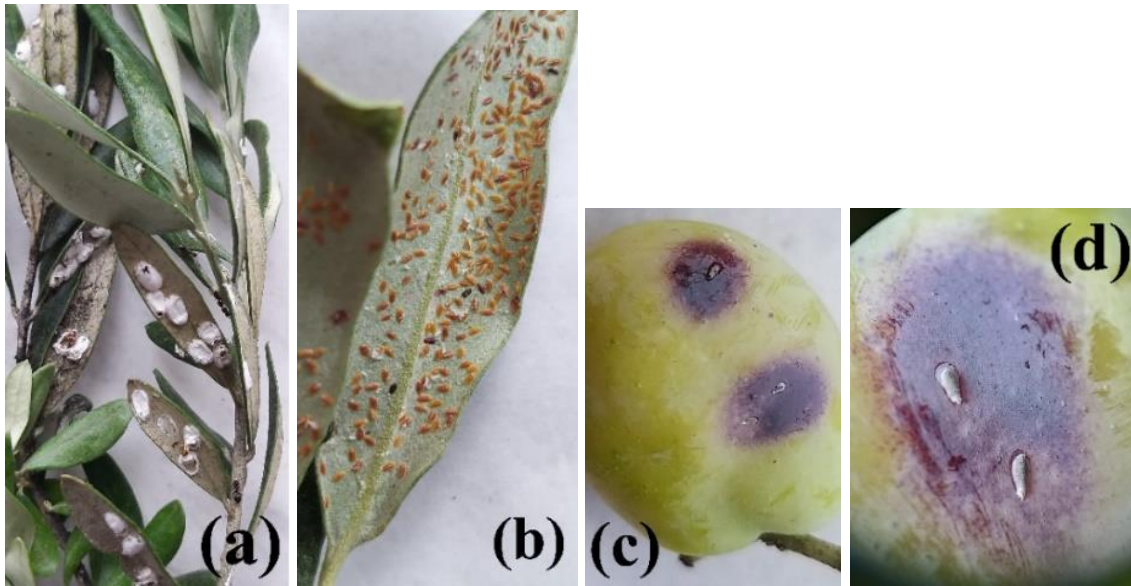
Çalışma 2019 ve 2020 yıllarında, Balıkesir ilinin batı kısmında yer alan Edremit Körfez Bölgesi'ndeki Edremit, Havran, Burhaniye, Gömeç ve Ayvalık ilçeleri ile bunlara bağlı köylerdeki zeytin bahçelerinde yürütülmüştür. Örneklemeler, her iki yılda da nisan ayı başından aralık ayı sonuna kadar haftalık olarak yapılmış, genellikle zeytinliklerin yılda iki kez örneklenmesine özen gösterilmiştir. Her merkez ve köy sınırları içerisinde en az 3 en fazla 7 bahçede örneklem yapılmıştır. Her bahçede, ortalama 15 ağaç olmak üzere 10-30 arasında ve toplamda 679 zeytin bahçesinde örneklem yapılmıştır. Çalışma süresince Edremit Körfez Bölgesi'nde örneklem yapılan zeytinlik lokasyonları ve bahçe sayıları Tablo 1'de verilmiştir. Arazi çalışmaları bölgedeki meyve veren ve vermeyen toplam zeytin ağaç sayısının yaklaşık %0.1'ine karşılık gelecek şekilde survey çalışmaları şeklinde yürütülmüştür. Dolayısıyla bahçelerdeki toplam ağaç sayısı ile kontrol edilen ağaç sayısı için Lazarov ve Grigarov [20] 'un önerdiği örneklem yöntemi kullanılmış olup, önerilen örneklem sayısı bu çalışmada fazlasıyla karşılanmıştır. Tesadüfen girilen bahçelerde zeytin ağaçlarının gövde, sürgün, dal ve meyveleri gözle kontrol ve Japon şemsiyesi yöntemleri ile örneklenmiştir. Şekil 1'de örneklenen bazı yaprak ve meyvedeki kabuklubitler görülmektedir. Örneklem yöntemlerinin yanı sıra kabuklubitlerin varlığının belirlenmesinde en belirleyici yöntem olarak "karınca varlığına" dikkat edilmiştir [21]. Bulaşık olan ağaç materyalleri budama makası ile kesilerek, önce kâğıt parçalarına sarılmış, sonra da naylon torbalar içerisine etiketlenerek konulmuştur.



Örnekler buz kutusu içerisinde laboratuvara götürülmüştür. Kabuklubitler mikroskop altında incelenerek bir iğne yardımıyla materyal üzerinden alınarak, içerisinde %70'lik etil alkol bulunan ependorf tüplerine konulmuştur. Bu şekilde etiketlenerek hazırlanan örnekler teşhis için hazır hale getirilmiştir. Elde edilen örnekler, Prof.Dr. Mehmet Bora Kaydan (Çukurova Üniversitesi, Adana) tarafından teşhis edilmiştir.

Tablo 1. Edremit Körfez Bölgesi'nde kabuklubitlerin örneklenmesinde ziyaret edilen ilçe merkezi, köy ve bahçe sayıları (2019–2020).

İlçeler	Örneklenen Lokasyonlar	Merkez ve köy sayısı	Bahçe sayısı
Edremit	Altınoluk, Arıtışı, Avcılar, Beyoba, Bostancı, Çamcı, Çamlıbel, Çıkrıkçı, Dereli, Doyran, Güre, Hacıarslanlar, Kadıköy, Kavlaklar, Kızılkeçili, Mehmetalan, Merkez, Narlı, Ortaoba, Pınarbaşı, Tahtakuşlar, Yaşyer, Yaylaönü, Yolören, Zeytinli	25	283
Havran	Büyükdere, Çamdibi, Dereören, Eseler, Fazlıca, Halılar, Hallaçlar, İnönü, Kalabak, Karaoğlanlar, Kocadağ, Kocaseyit, Köylüce, Küçükdere, Merkez, Sarnıç, Tepeoba, Temaşalık	18	113
Burhaniye	Ağacık, Avunduk, Bahadınlı, Börezli, Çamtepe, Çoruk, Dutluca, Hisarköy, Kızıklı, Pelitköy, P. Sahil, Sübeylidere, Şahinler, Şarköy, Taylıeli, Yabancılar, Yunuslar	17	114
Gömeç	Dursunlu, Gömeç Sahil, Hacıhüseyinler, Hacıoğlu, Merkez, Karaağaç, Karaağaç Sahil, Keremköy, Kumgedik, Kuyualanı, Ulubeyler	11	77
Ayvalık	Altınova, Bağyüzü, Cunda Adası, Çakmak, Hacıveliler, Kırcalar, Küçükköy, Merkez, Murateli, Mutlu, Tıfillar, Türközü, Yeniköy	13	92
Toplam		84	679



Şekil 1. a-b) yaprakta (*Lichtensia viburni*) ve c-d) meyvede (*Leucaspis riccae*) kabuklubit ile zarar örnekleri

### 3. Sonuçlar ve tartışma

Türkiye’de yapılan bazı çalışmalardaki sürveyler bölgedeki ağaç sayısının %0.01’de gerçekleştirilirken [12, 22], bu çalışmadaki sürveyler ise bölgedeki toplam zeytin ağacı sayısının %0.1’inde gerçekleştirilmiştir. Tablo 2’de görüldüğü gibi Edremit Körfez Bölgesi’nde Coccidae familyasından 3 tür, Diaspididae familyasından 2 tür ve Pseudococcidae familyasından ise yalnızca 1 tür belirlenmiştir.

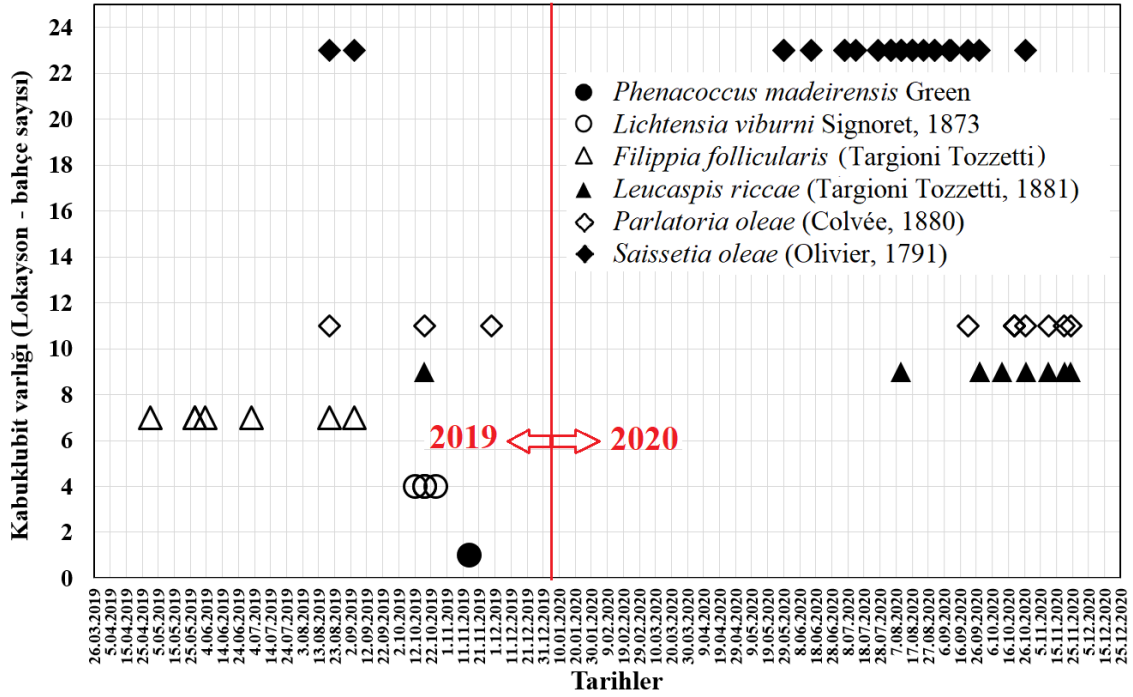
Tablo 2. Edremit Körfez Bölgesi’nde kabuklubitlerin türü, familya ismi ile belirlendikleri lokasyonlar ve bahçe sayıları (2019–2020)

Familya	Tür	İlçe	Lokasyonlar
Coccidae	<i>Filippia follicularis</i>	Ayvalık	Küçükköy
		Burhaniye	Kızıklı, Şarköy
		Edremit	Hacıarslanlar
		Havran	Çamdibi, Kocadağ, Merkez
	<i>Lichtensia viburni</i>	Edremit	Kadıköy, Kızılkçili, Mehmetalan, Zeytinli
	<i>Saissetia oleae</i>	Ayvalık	Altınova (2)*, Cunda Adası, Merkez, Murateli, Türközü, Yeniköy
		Burhaniye	Şarköy, Taylıeli, Pelitköy Sahil, Hisarköy
		Edremit	Çıkrıkçı, Ortaoba
		Havran	Çamdibi, İnönü, Kalabak, Kocadağ, Köylüce, Merkez
		Gömeç	Dursunlu, Karaağaç Sahil, Keremköy, Kuyualan
Diaspididae	<i>Leucaspis riccae</i>	Ayvalık	Yeniköy
		Edremit	Çamlıbel, Kadıköy, Kızılkçili, Mehmetalan (2)*
		Havran	Fazlıca, Kocadağ, Köylüce
	<i>Parlatoria oleae</i>	Ayvalık	Küçükköy
		Edremit	Dereli, Hacıarslanlar, Mehmetalan, Kızılkçili, Pınarbaşı, Tahtakuşlar, Yaşyer Yolören, Zeytinli
	Havran	İnönü	
Pseudococcidae	<i>Phenacoccus madeirensis</i>	Edremit	Merkez

\*Parantez içindeki sayılar, adı geçen lokasyondaki ilgili bahçelere farklı tarihlerde iki kez ziyaret edilip örnekleme yapıldığını ifade eder.

Çalışmanın sonucunda, Edremit Körfez Bölgesi’nde iki yılda örnekleme yapılan 84 adet merkez ve köy lokasyonundaki 679 zeytin bahçesinin en az %8.1’inde Hemiptera takımının Coccidae, Diaspididae ve Pseudococcidae türlerinden herhangi biri ile bulaşık olduğu bulunmuştur. Ayvalık’ta 10, Burhaniye’de 6, Edremit’te 22, Gömeç’te 4 ve Havran’da 13 lokasyonda olmak üzere toplamda 55 farklı lokasyondaki bahçelerde kabuklubit türleri tespit edilmiştir (Tablo 2).

İki yıllık çalışma süresine Edremit Körfez Bölgesi zeytin bahçelerinde belirlenen kabuklubitlerin isimleri, nerede ve kaç bahçede buldukları Tablo 2’de, hangi yılda ve hangi tarihte buldukları ise Şekil 2’ verilmiştir.



Şekil 2. Edremit Körfez Bölgesi’nde bulunan ilçelerde kabuklubitlerin belirlendiği lokasyonların (bahçelerin) tespit tarihlerine göre sayısı ve dağılımı

### 3.1. Saissetia oleae (Olivier)

Çalışmada örnekleme yapılan toplam 679 bahçenin 23’ünde *Saissetia oleae* (Zeytin karakoşnili)’ye rastlanmıştır. Böylece, Edremit Körfez Bölgesi zeytin bahçelerinde yaygın tür *S. oleae* olarak tespit edilmiştir (Şekil 2, Tablo 2). Havran ‘da 6, Ayvalık ‘ta 7, Burhaniye ve Gömeç ‘te 4 adet zeytin bahçesinde *S. oleae* belirlenmiştir. Edremit’te ise bu zararlıya Çıkrıkçı ve Ortaoba’daki birer bahçede rastlanmıştır (Tablo 2). Zararlı *S. oleae*, 2019 yılı Ağustos ve Eylül aylarında sadece Ayvalık (Altınova) ve Havran (Köylüce)’de tespit edilirken, 2020 yılında ise sadece Eylül ve Ekim’e kadar tüm ilçelerde belirlenmiştir (Şekil 2).

### 3.2. Parlatoria oleae (Colvée)

Tablo 2 incelendiğinde, *Parlatoria oleae* (Zeytin kabuklubiti)’nin bölgedeki 11 bahçede var olup en çok rastlanan ikinci tür olduğu görülmektedir. Bu zararlı Ayvalık, Edremit ve Havran’da belirlenmiş olup Burhaniye ve Gömeç’te örnekleme yapılan bahçelerde ise *P. oleae*’ye rastlanmamıştır. *P. oleae*, dokuz bahçe ile en yaygın olarak Edremit’te belirlenmiştir. Havran’da İnönü ve Ayvalık’ta yalnızca Küçükköy’deki bahçelerde not edilmiştir. Bölgede *P. oleae* 2019 yılının Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında tespit edilirken, 2020 yılında ise sadece Eylül ve Ekim’de rastlanmıştır (Şekil 2).

### 3.3. Leucaspis riccae (Targioni Tozzetti)

*Leucaspis riccae* (Zeytin virgül kabuklubiti) Edremit, Havran ve Ayvalık ilçelerinde belirlenmiş, Burhaniye ve Gömeç’te ise rastlanmamıştır. Edremit’te 5, Havran’da 3, Ayvalık’ta ise bir tek köyün sınırları içerisinde kalan zeytin bahçelerinde belirlenmiş,

toplamda 9 lokasyonda rastlanmıştır (Tablo 2). *L. riccae*, 2019 yılı Ekim ayında sadece Edremit (Mehmetalan)'da, 2020'de ise Ağustos-Kasım arasında tespit edilmiştir (Şekil 2).

### 3.4. *Filippia follicularis* (Targioni Tozzetti)

*Filippia follicularis*, Gömeç dışındaki tüm ilçelerde bulunmuş, ancak örneklenen bahçelerden sadece 7'sinde tespit edilmiştir. Zararlı en fazla Havran ilçesindeki 3 lokasyonda (Çamdibi, Merkez, Kocadağ), Burhaniye'de 2 lokasyonda (Kızıklı, Şarköy), Edremit ve Ayvalık ilçelerinde ise yalnızca sırasıyla Hacıarslanlar ve Küçükköy'de belirlenmiştir (Tablo 2). Bahçelerde yalnızca 2019 yılında rastlanmış olup 2020 yılında bulunamamıştır (Şekil 2).

### 3.5. *Lichtensia viburni* Signoret

*Lichtensia viburni* sadece Edremit ilçesinde birbirine sınır olan Kadıköy, Mehmetalan, Zeytinli ve Kızılköy'deki 4 lokasyonda bulunan zeytinliklerde belirlenmiştir (Tablo 2). *L. viburni* çalışmada ilk yıl tespit edilmiş ve bir daha rastlanılmamıştır (Şekil 2).

### 3.6. *Phenacoccus madeirensis* Green

Yapılan çalışmada *P. madeirensis* (Melisa unlubiti) tek bir lokasyonda sadece Edremit ilçe merkezinde 2019 yılında belirlenmiştir (Tablo 2 ve Şekil 2).

### 3.7. Edremit Körfezi zeytin alanlarında bulunan kabuklubitlerin dağılımları

Ege Bölgesi'nin, Kıyı Ege Bölümü'nde yer alan Edremit Körfez Bölgesi'nde yapılan bu iki yıllık çalışma sonucunda; zeytin ağaçlarında belirlenen kabuklubit türlerinin içerisinde en yaygın türün %3.4 ile *S. oleae* olduğu ortaya çıkarılmıştır. Benzer şekilde, Ülgentürk ve ark., *S. oleae*'nin Türkiye'de Akdeniz, Ege, Orta Anadolu, Marmara ve Karadeniz Bölgesi zeytin bahçelerinde ekonomik önemde bir zararlı olduğunu bildirmişlerdir [4]. Kaçar ve ark., tarafından Doğu Akdeniz Bölgesi zeytin alanlarında yapılan bir çalışmada ise *S. oleae*'nin *L. riccae*'den sonra ikinci sırada olup, 761 bahçenin 30'unda bulaşık (%3.9) olduğunu tespit edilmiştir [12]. Şişman ve Ülgentürk yaptıkları çalışmada ise *S. oleae*'nin Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti zeytin ağaçlarında ekonomik önemde bir zararlı olmadığını belirtmişlerdir [23]. *S. oleae*'nin Akdeniz Bölgesi zeytin ağaçlarında en yaygın bulunan kabuklubit türü olduğu ve çok fazla bulaşıklık olması durumunda zeytin üretiminin birkaç yıl duraksayabileceği bildirilmiştir [24]. Hırvatistan'da yapılan bir çalışmada ise zeytin ağaçları üzerinde 12 adet kabuklubit türü tespit edilmiş ve bunlardan da en önemlisinin *S. oleae* olduğu tespit edilmiştir [25].

*Parlatoria oleae* (Zeytin kabuklubiti), %1.6 tespit oranıyla Edremit Körfezinde *S. oleae* (Zeytin karakoşnili)'den sonra en yaygın olan ikinci türdür. Doğu Akdeniz Bölgesi zeytin alanlarında yapılan çalışmada *P. oleae*'nin kontrol edilen tüm bahçelerin %2.5'unda olmak üzere *S. oleae*'den sonra üçüncü sırada yer aldığı belirlenmiştir [12]. Kaplan ise 2014-2015 yıllarında Mardin ili zeytin bahçelerindeki çalışmasında, Zeytin kabuklubitinin çok düşük oranda bulunduğunu ve ikincil bir zararlı durumda olduğunu belirlemiştir [13]. Tunus'ta yapılan bir çalışma, zeytin alanlarında birçok kabuklubit türü bulunduğunu ancak en az popülasyona sahip olanın *P. oleae* olduğu bildirilmiştir [26].

*Leucaspis riccae* (Zeytin virgül kabuklubiti) %1.3 oranı ile en yaygın üçüncü tür olarak kaydedilmiştir. Çetin ve Alaoğlu'nun [14] Mersin ili Mut ilçesi zeytinliklerinde yapılan çalışmalarında ise; Zeytin virgül kabuklubitinin tamamen zeytin ağaçlarından oluşan bahçelerde popülasyon yoğunluğunun düşük olduğu (%2.7–10.0), fakat yerleşim alanları

içerisindeki ev bahçelerinde veya az sayıda zeytin ağacı bulunan bahçelerde yoğunluğun çok yüksek (8–10 adet/yaprak ve 30-35 adet/dal) olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, *L. riccae*'nin ağacın tüm organlarında (yaprak, dal ve meyvede) bulaşık olduğu tespit edilmiştir. Edremit Körfezi ile birlikte genel olarak Ege ve Marmara Bölgesi'nde hakim türler olan *S. oleae* ve *P. oleae*'nin aksine, Akdeniz Bölgesi zeytin bahçelerinde en yaygın türün *L. riccae* (%7.5) olduğu kaydedilmiştir [12].

*Filippia follicularis* tüm Edremit Körfez Bölgesi'nde kontrol edilen bahçelerdeki bulaşıklık oranı %1.0 seviyesindedir. Benzer şekilde Akdeniz Bölgesi zeytin alanlarında *F. follicularis*'in bulunduğu ancak sürveyi yapılan 761 bahçenin yalnızca 10'unda (%1.31) bu zararlıya rastlandığı belirtilmiştir [12]. Mut (Mersin) ilçesi zeytinliklerinde yapılan çalışmada *F. oleae* (Costa) (*F. follicularis*'in sinonimidir) sadece tek bir lokasyonda tespit edilmiştir [14].

Çalışma sonucunda tüm lokasyonlarda en az rastlanan iki tür *L. viburni* (%0.6) ile *P. madeirensis* (%0.1)'dir. Benzer şekilde *L. viburni* Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde sadece 3 lokasyondaki zeytinliklerde belirlenmiş ve Ülke zeytinleri için ekonomik bir zararlı olmadığı bildirilmiştir [23]. Melisa unlubiti, *P. madeirensis* oldukça polifag ve istilacı bir tür olup, Türkiye'de ilk kez 2010 ve 2011 yıllarında Adana, Antalya ve Çanakkale'de tespit edilmiştir [27]. Ayrıca *P. madeirensis*'in Mersin ili süs bitkilerinde varlığı kayıt altına alınmıştır [28].

Zeytin ağacı, meyvesi, zeytinyağı ve diğer yan ürünleriyle başta Türkiye ve Edremit Körfezi'nin ekonomisi için oldukça önemlidir. Çalışma süresince yapılan gözlemlerde, bölgedeki kabuklubit popülasyonunun zeytin bahçeleri için ekonomik bir zarar düzeyine ulaşmadığı, halen ikincil zararlı durumda olduğu gözlenmiştir. Bu durumun, öncelikle bölgedeki zeytinin ana zararlılarına uygulanan ilaçlamaların etkilerinden ve kabuklubitlerin doğal düşmanlarının varlığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak, bu çalışma ile Edremit Körfez Bölgesi zeytinliklerindeki kabuklubitlerin doğal düşmanlarının belirlenmesi, bu doğal düşmanların konukçuları ile mücadelesindeki etkinlikleri ve kabuklubit türlerinin zarar durumları gibi ileride yapılacak birçok önemli çalışma için temel oluşturulmuştur.

## Teşekkür

Bu çalışmayı maddi yönden destekleyen Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine (Proje no: 2019/086), toplanan örneklerin teşhisini yapan Çukurova Üniversitesi Öğretim Üyesi Prof. Dr. M. Bora Kaydan'a çok teşekkür ederim.

## Kaynaklar

- [1] García Morales, M., Denno, B.D., Miller, D.R., Miller, G.L., Ben-Dov, Y. ve Hardy, N.B., ScaleNet: a literature-based model of scale insect biology and systematics. **Database**, 2016, 1-5, (2016).
- [2] Elekçioğlu, N.Z. ve Kaydan, M.B., Scale insect (Hemiptera: Sternorrhyncha: Coccoomorpha) species on medicinal and aromatic plants in Adana (Turkey). **Plant Protection Bulletin**, 61, 4, 5-12, (2021).

- [3] Kaydan, M.B., Ülgentürk, S. ve Erkılıç, L., Türkiye'nin gözden geçirilmiş Coccoidea (Hemiptera) türlerinin listesi. **Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences**, 17, 2, 89-106, (2007).
- [4] Ülgentürk, S., Şahin, Ö. ve Kaydan, M.B., İstanbul ili yeşil alan bitkilerinde bulunan Coccoidea (Hemiptera) türleri. **Bitki koruma bülteni**, 48, 1, 1-18, (2008).
- [5] Batsankalashvili, M., Kaydan, M., Kirkitadze, G. ve Japoshvili, G., Updated checklist of scale insects (Hemiptera: Coccoidea) in Sakartvelo (Georgia). **Annals of Agrarian Science**, 15, 2, 252-268, (2017).
- [6] Kaydan, M.B., Ülgentürk, S. ve Erkılıç, L., Checklist of Turkish Coccoidea (Hemiptera: Sternorrhyncha) species. **Türkiye Entomoloji Bülteni**, 3, 4, 157-182, (2013).
- [7] Mansour, R., Grissa-Lebdi, K., Suma, P., Mazzeo, G. ve Russo, A., Key scale insects (Hemiptera: Coccoidea) of high economic importance in a Mediterranean area: host plants, bio-ecological characteristics, natural enemies and pest management strategies—a review. **Plant Protection Science**, 53, 1, 1-14, (2017).
- [8] Miller, D.R., Miller, G.L. ve Watson, G.W., Invasive species of mealybugs (Hemiptera: Pseudococcidae). **Proceedings of the Entomological Society of Washington**, 104, 825-836, (2002).
- [9] Telli, S. ve Yiğit, A., Türkiye’de meyve ağaçlarında ekonomik zarar meydana getiren Pseudococcid’ler (Hemiptera) ve doğal düşmanları. **Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi**, 10, 1, 41-59, (2019).
- [10] Anonymous, 2022-2023 Üretim sezonu sofralık zeytin ve zeytinyağı rekoltesi ulusal resmi tespit heyeti raporu. **Ulusal Zeytin ve Zeytinyağı Konseyi (UZZK)**, 18 Eylül 2022, İzmir, Türkiye, (2022).
- [11] Kaçar, G., Yıldırım, E. ve Ulusoy, M.R., Türkiye’de Gaziantep ve Kilis yöresinden yeni bir zeytin (*Olea europaea* Linnaeus, 1758) zararlısı: *Omophlus nasreddini* Reitter, 1890 (Coleoptera: Alleculidae). **Turkish Journal of Entomology**, 34, 3, 383-390, (2010).
- [12] Kaçar, G., Ülgentürk, S. ve Ulusoy, M.R., Doğu Akdeniz Bölgesi zeytin ağaçlarında zararlı Coccoidea (Hemiptera) üstfamilyasına bağlı türler ve yayılış alanları. **Türkiye Entomoloji Bülteni**, 2, 2, 75-90, (2012).
- [13] Kaplan, M., Mardin İli Zeytin Bahçelerinde Zararlı Böcek Türleri, Yayılışları ve Yoğunlukları. **Journal of the Institute of Science and Technology**, 9, 4, 1901-1907, (2019).
- [14] Çetin, H. ve Alaoğlu, Ö., Mut (Mersin) ilçesinde zeytin ağaçlarında bulunan ikinci derecede önemli zararlıların populasyon değişimi ve zararları üzerinde araştırmalar. **Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences**, 19, 36, 52-58, (2005).
- [15] Yaşar, B. ve Erözmen, K., Balıkesir İli Meyve Ağaçlarındaki Diaspididae (Hemiptera: Coccoidea) Türlerinin Saptanması. **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 22, 1, 172-181, (2018).
- [16] Ergün, N. ve Tunalıoğlu, R., Edremit ilçesinde zeytincilik ve desteklemeler. **Zeytin Bilimi**, 6, 2, 83-92, (2016).
- [17] Anaç, H., Balıkesir İli Edremit İlçesi Yağlık Zeytin Üreten İşletmelerin Ekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2005).
- [18] TÜRK PATENT, Türk Patent ve Marka Kurumu, (2004, 2014, 2017). <https://www.turkpatent.gov.tr/arastirma-yap>, (12.10.2023).

- [19] GLview, Search for Geographical Indications across the European Union and beyond, (2018, 2021). <https://www.tmdn.org/giview/gi/search>, (12.10.2023).
- [20] Lazarov, A. ve Grigorov, P., Karantina na Rastenijata, Sofia: **Zemizdat**, (1961).
- [21] Githae, M., Ong'amo, G.O., Nderitu, J., Watson, G.W. ve Kinuthia, W., Ants (Hymenoptera: Formicidae) associated with scale insects (Hemiptera: Coccoomorpha) on citrus trees in Coastal and Lower Eastern Counties, Kenya. **Journal of Agricultural Science and Practice**, 5, 6, 245-249, (2020).
- [22] Bora, T. ve Karaca, İ., Kültür Bitkilerinde hastalığın ve Zararın Ölçülmesi, İzmir: **Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yardımcı Ders Kitabı**, (1970).
- [23] Şişman, S. ve Ülgentürk, S., Scale insects species (Hemiptera: Coccoidea) in the Turkish republic of northern Cyprus. **Turkish Journal of Zoology**, 34, 2, 219-224, (2010).
- [24] Delrio, G. ve Foxi, C., Current status of *Saissetia oleae* biological control in Sardinia (Italy). **IOBC/wprs Bulletin**, 59, 171-176, (2010).
- [25] Masten Milek, T. ve Šimala, M., Scale insects (Hemiptera: Coccoidea) on olive tree (*Olea europaea* L.). **Glasilo biljne zaštite**, 12, 4, 285-297, (2012).
- [26] Mansour, R., Mkaouar, R., Lebdi, K.G., Suma, P. ve Russo, A., A survey of scale insects (Hemiptera: Coccoidea) occurring on olives in Tunisia. **Journal of Entomological and Acarological Research**, 43, 3, 315-322, (2011).
- [27] Kaydan, M.B., Erkiş, L. ve Ülgentürk, S., An invasive mealybug species *Phenacoccus madeirensis* Green (Hemiptera: Coccoidea: Pseudococcidae) introduced recently into Turkey. **Turkish Bulletin of Entomology**, 2, 2, 67-74, (2012).
- [28] Çalışkan, A.F., Ulaşlı, B. ve Ulusoy, M.R., Mersin ili park ve peyzaj alanlarında tespit edilen unlubit (Hemiptera: Coccoomorpha: Pseudococcidae) türleri. **Türkiye Entomoloji Bülteni**, 7, 1, 75-80, (2017).

# Eti Maden Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğünde bulunan 7 tesise ait enerji izleme otomasyonu sisteminin Plc ve Scada ile tasarımı

Mehmet Fatih VANLI<sup>1,\*</sup>, Davut AKDAŞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çağış kampüsü, Balıkesir.

<sup>2</sup>Balıkesir Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. Elektrik Elektronik Müh. Böl. Çağış kampüsü, Balıkesir.

Geliş Tarihi (Received Date): 22.05.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 19.10.2023

## Öz

Bu çalışma Eti Maden Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğünde bulunan birbirinden uzak konumlardaki 7 üretim tesisine ait enerji tüketim verilerinin takibinin manuel yöntemlerle yapılması, yanlış okumalardan kaynaklı hatalı verilerin işlenmesi ve karşılaşılan cezai durumların öncesindeki değerlerin takibinin yapılamaması ve farklı birimlerdeki enerji yöneticilerinin enerji merkezlerine uzak olmaları problemlerine bir çözüm üretmek amacıyla yapılmıştır. Dünyada endüstriyel tesislerde enerji yönetim sistemleri bu çalışmaya benzer metotlarla IBM-SPSS veya PLS-SEM gibi veri analiz yazılımları ile modellenmekte ve tek bir merkezden yönetilebilmektedir. Bu çalışmada uygulanan yöntem ise bir SCADA sisteminde toplanan verilerin PLC (Programmable Logic Controller) ünitesine aktarılması ve bu sistemde takibinin yapılması şeklindedir. Veriler enerji analizörleri vasıtasıyla MODBUS RS485 haberleşme protokolü kullanılarak merkezi bir SCADA sisteminde toplanmıştır. Bir sonraki aşamada enerji analizöründeki bilgiler PLC (Programmable Logic Controller) ünitesine aktarılmıştır. Sistem sayesinde tesislerin şebekeden çektiği aktif güç için detaylı grafikler oluşturularak aktif güç analizinin yapılması sağlanmıştır. Böylelikle konum olarak birbirinden uzak ve ulaşımı zor tesislerin elektrik enerjisi verileri tek bir merkezde toplanmış ve enerji süreçleri yönetilebilir hale getirilmiştir. Uygulama sonrası manuel okumalardan kaynaklı sorunlar ortadan kalkmış, tüketilen elektrik enerjisine ait kritik veriler tek merkezden kontrol edilebilir hale getirilmiş ve farklı konumlardaki enerji yöneticilerinin enerji izleme sistemine kolay bir şekilde erişebilmesi sağlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Enerji izleme, enerji verimliliği, scada, modbus.

\*Mehmet Fatih VANLI, mfvanli@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-4354-2649>

Davut AKDAŞ, akdas@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-2492-5046>



# Designing the energy monitoring automation with PLC and Scada of 7 facilities in Eti Maden Bigadic Boron Operations Directorate

## Abstract

*In this study is a solution to the problems of following up the energy consumption data of 7 production facilities in remote locations in Eti Maden Bigadiç Boron Operations Directorate with manual methods, processing erroneous data due to incorrect readings, not being able to follow up the values before the penal cases encountered, and the energy managers in different departments being far from the energy centers. Energy management systems in industrial facilities around the world are modeled with data analysis software such as IBM-SPSS or PLS-SEM with methods similar to this study and can be managed from a single center. The method applied in this study is to transfer the data collected in a SCADA system to the PLC (Programmable Logic Controller) unit and follow up in this system. Data were collected in a central SCADA system using the MODBUS RS485 communication protocol by means of energy analyzers. In the next step, the information in the energy analyzer is transferred to the PLC (Programmable Logic Controller) unit. Thanks to the system, detailed graphics were made for the active power drawn by the facilities from the grid, and active power analysis was provided. Thus, the electrical energy data of the facilities that are far from each other and difficult to access in terms of location have been collected in a single center and energy processes have been made manageable. After the application, the problems caused by manual readings were eliminated, the critical data of the consumed electrical energy was made controllable from a single center and energy managers in different locations were able to access the energy monitoring system easily.*

**Keywords:** Energy monitoring, energy efficiency, scada, modbus..

## 1. Giriş

Günümüzde elektrik enerjisi üretebilmek için birçok kaynak ve yöntem bulunmakta birçok farklı uygulama karşımıza çıkmaktadır. Azalan kaynaklar, kaynağa ulaşmakta yaşanan zorluklar ve üretimin çevreye olan etkisi gibi sebepler daha elektrik enerjisi üretirken bile ciddi sorunlar oluşturmaktadır. Kayar ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ülkemizin 1960-2019 yılları arasında elektrik enerjisi tüketiminin sürekli olarak artış gösterdiği ve küresel elektrik enerjisi talebinin 2035 yılına kadar en az üçte bir oranında yükseleceği belirtilmiştir[1]. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının 2019 yılında yayınlanan raporuna göre, 2019-2039 döneminde Türkiye elektrik enerjisi talep beklenti sonuçlarının yıllık bazda talep ve değişim oranları tablosuna göre 2030 yılında Türkiye'nin elektrik enerjisi talebi üç farklı senaryoda tahmin edilmiş ve Senaryo 1'e göre 453 TWh, Senaryo 2'ye göre 481.7 TWh, Senaryo 3'e göre 515,4 TWh olarak öngörülmüştür [2]. Ülkemizin 2021 yılı Ekim ayında Paris Anlaşması çerçevesinde alınan 2053 yılına kadar net sıfır karbon emisyonu hedefine ilişkin kararı bile enerjiyi üretirken ülkemizi yenilenebilir kaynaklara yöneltmiş ve yatırımlarını bu kaynaklara ayırmaya zorlamıştır. Üretimi bu kadar stratejik ve meşakkatli olan elektrik enerjisini tüketirken en verimli yöntemleri kullanmak çok önemli hale gelmiştir. Elektrik enerjisi tüketimini ve buna dayalı olarak ortaya çıkan maliyetleri en aza indirebilmek için en etkin

yöntem enerji yönetim ve izleme sistemlerinin mevcut işletmelere uyumlu hale getirilmesi olacaktır.

Enerjinin verimli kullanılmasında çok önemli bir kavram olarak enerji yoğunluğu kavramı karşımıza çıkmaktadır. Enerji yoğunluğu, GSYİH (Gayri Safi Yurtiçi Hasıla) başına tüketilen birincil enerji miktarını temsil eden ve tüm dünyada kullanılan bir göstergedir. Bir ülkenin enerji yoğunluğu ne kadar düşükse o ülkede birim hasıla üretmek için harcanan enerji de o kadar düşük demektir ki, bu da enerjinin verimli kullanıldığına işaret etmektedir [3]. Türkiye'nin 2020 yılı birincil enerji yoğunluğu 0.145 tep/bin 2015\$, nihai enerji yoğunluğu ise 0.112 tep/bin 2015\$ olarak hesaplanmıştır. 2000 yılına göre bir kıyas yapıldığında birincil enerji yoğunluğunda %24,5, nihai enerji yoğunluğunda ise %24,8 oranında iyileşme söz konusudur [4]. Enerji yoğunluğu ve enerji verimliliği gibi kritik kavramların ülkemiz adına daha iyi hale gelebilmesi için enerji yönetim ve izleme sistemleri çok önemlidir. Siddique ve arkadaşları Bangladeş'te kâğıt endüstrisinde üretim yapan bir işletmede yaptıkları çalışmada enerji yönetim sistemlerinin enerji verimliliğini %4-5 oranında artırabileceğini ortaya koymuşlardır [5]. Tıpkı kâğıt endüstrisinde olduğu gibi bu çalışmanın yapıldığı işletmenin faaliyet alanı olan madencilik endüstrisinde de enerji yoğunluğu oldukça yüksek noktadadır. Bu çalışmaya benzer metotla Songur ve arkadaşları su dağıtım şebekelerindeki kayıpların önlenmesi için bir SCADA sistemi tasarlamışlar ve olumlu sonuçlar almışlardır [6]. Aurilio ve arkadaşları elektrik güç şebekesini uzaktan yönetebilmek için farklı bir yaklaşımla Raspberry Pi ile çalışan bir yazılımla elektrik güç şebekesini izlemişlerdir [7]. Günümüzde işletmeler enerji verimliliği konusunu gündemlerine almış olsalar da bu konuya halen gereken önem verilmemektedir. Önümüzdeki yıllarda organize sanayi bölgeleri gibi yoğun elektrik enerjisi tüketimi olan alanlarda enerji izleme sistemlerinin kurulumu yasal bir zorunluluk haline gelecek ve tüm işletmeler kendi enerji izleme sistemlerini kuracaklardır.

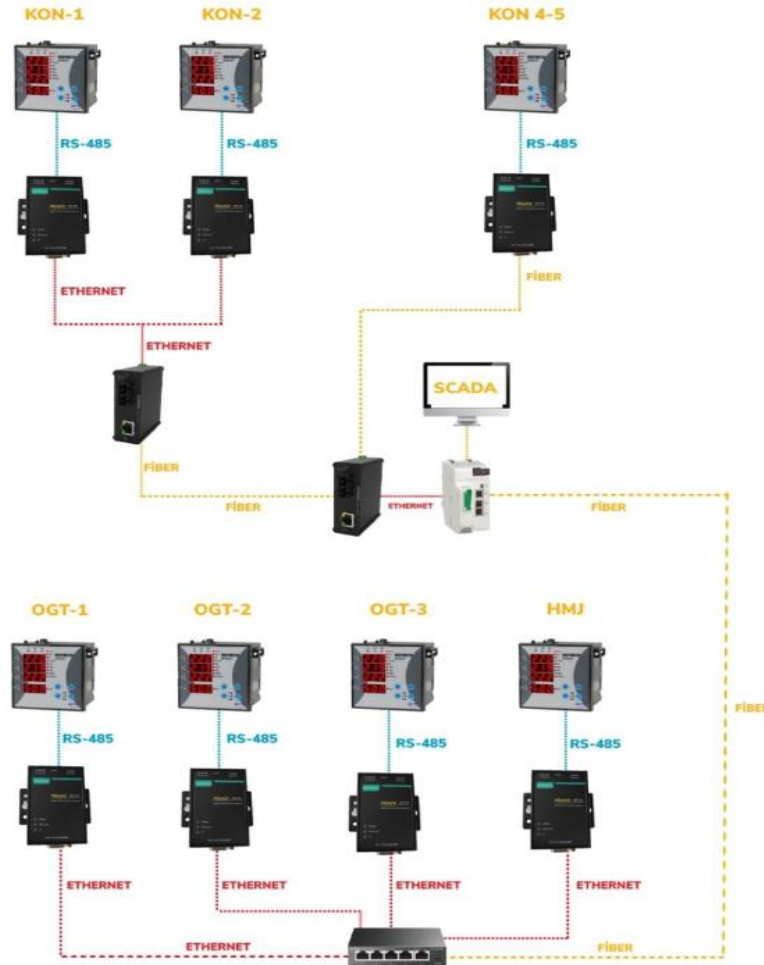
Bu çalışmanın yapıldığı Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğünde tüm tesislerin elektrik enerjisi verileri manuel yöntemlerle takip edilmektedir. Üretim tesisleri konumları birbirinden uzak ve dağınık bir yapıdadır. Bu sebepten dolayı enerji tüketim verileri ancak aylık bazda alınmaktadır. Her ay sonunda okuma yapılan andaki endeks ile önceki döneme ait endeks arasındaki fark bir forma kaydedilmekte ve ilgili aydaki tüketim miktarı bu forma göre takip edilmektedir. Aylık bazda yapılan bu okuma yöntemi aydan aya bir değer sunabildiği için verimsiz ve analizi zor bir yapı olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca mevcut yapıda insana dayalı manuel bir sistemden dolayı zaman zaman hatalı veriler alınabilmekte, bu durum zincirleme birçok soruna yol açabilmekte ve cezai durumlara sebebiyet verebilmektedir. Bu problemlere çözüm olabilecek sistemin tek bir merkezden gerçek zamanlı izlemeye olanak verebilecek; saatlik, günlük, haftalık gibi farklı zaman aralıklarında rapor verebilecek, ayrıntılı analiz kabiliyeti ve geleceğe dair öngörü sunabilecek bir sistem olması gerekmektedir.

## 2. Yöntem

Enerji izleme ve raporlama sistemleri birçok yaklaşımla tasarlanabilecektir. Tüketilen elektrik enerjisine ait tüm verilerin tek bir merkezde toplanabilmesi için en uç noktalara ulaşabilen tek bir ağa ihtiyaç vardır. Bu ağın hızlı bir şekilde verileri merkeze aktarabilmesi gerekmektedir. Bu sebeplerden dolayı uygulama Ethernet ağı kullanılarak tasarlanmıştır. Ethernet, en yaygın kullanılan LAN(Local Area Network- Yerel Alan Ağı) protokolü olup IEEE.802.2 ve IEEE.802.3 standartları ile tanımlanmıştır. Ethernet, OSI

(Open System Interconnection-Açık Sistemler Ara Bağlantısı) referans modelinin veri bağlantısı ve fiziksel katmanlarında çalışmaktadır [8]. Yapılan testler sonucu CAT6 (Category 6) bir kablo ile Ethernet ağında veri iletişimi 100 metre mesafeden sonra ciddi veri kayıplara sebep olmaktadır. Bu yüzden uzak mesafeler arası haberleşmenin sağlıklı olabilmesi için dağıtık konumlardaki tesisler arasında işletmede bulunan mevcut fiber optik altyapının avantajından faydalanılmıştır. Fiber optik altyapı sayesinde kilometrelerce uzak mesafedeki noktalar arasında veri haberleşmesi oldukça hızlı ve güvenli bir şekilde yapılabilmektedir. Çalışmada merkezi kontrolcü olan PLC (Programmable Logic Controller) dahil tüm cihazların bu ağa dahil edilmesi sağlanmıştır.

Bu çalışmaya esas olan yaklaşımda enerji tüketen her bir üniteye enerji analizörü bağlanır. Analizörler o üniteye ait her bir tüketim verisini ölçer ve MODBUS RS485 haberleşme protokolü ile veriyi dışarıya iletir. Burada RS485-Ethernet Converter dediğimiz bir dönüştürücü ile veri Ethernet verisi haline gelir. Ethernet verisi haline gelen paketin fiber optik altyapı boyunca iletilebilmesi için Ethernet-Fiber Converter adı verilen bir dönüştürücüye ihtiyaç vardır. Fiber optik altyapı sayesinde veri PLC' nin olduğu merkeze kadar gelir. Burada fiber-optik hattaki veri tekrar ethernet'e dönüştürülür ve veri merkeze iletilmiş olur. PLC'deki veri, dahili haberleşme arayüzü ile SCADA'ya aktarılır. SCADA'da her bir veri modbus adresine göre ayıklanarak görsel olarak ekrana yazdırılır. Sistem için tasarlanan fiziksel topoloji aşağıda gösterilmiştir.



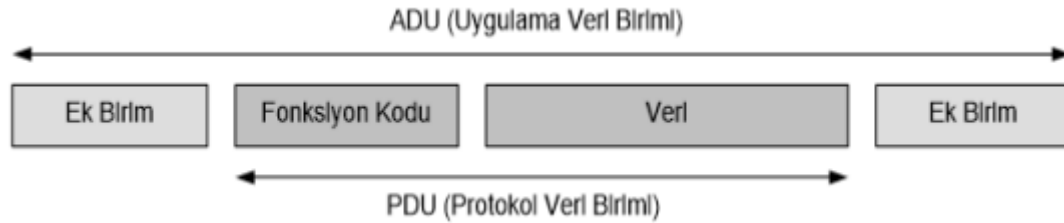
Şekil 1. Fiziksel topoloji.

Tablo 1. Enerji izlemesi yapılacak tesislerin merkeze uzaklıkları.

TESİS ADI	MERKEZE UZAKLIĞI
KONSANTRATÖR 4-5	1150 metre
KONSANTRATÖR 2	1250 metre
KONSANTRATÖR 5	1250 metre
ÖĞÜTME 1	350 metre
ÖĞÜTME 2	350 metre
ÖĞÜTME 3	400 metre
HOMOJELENDİRME	600 metre

### 2.1. Modbus Haberleşme Protokolü

Modbus, PLC (*Programmable Logic Controller*) lerin kendi aralarında veya diğer cihazlarla haberleşebilmesi için tasarlanmış temel bir haberleşme protokolüdür. 1979 yılında Modicon firması tarafından geliştirilmiştir. Diğer haberleşme protokollerine göre birçok avantajı olan MODBUS protokolü uzun yıllardır kullanıldığı için artık hemen hemen tüm endüstriyel cihazlarda mevcuttur. Açık kaynak kodlu olduğu için erişimi kolaydır. Modbus protokolünde bir master ve bu master'e bağlı çalışan birçok slave ünite vardır. 1979'dan beri bu protokol birçok alt haberleşme dizaynlarını oluşturmuştur. Bunlardan en önemlileri Modbus RTU ve Modbus TCP'dir. Her iki protokolün ortak noktası alt katmanlardan bağımsız olarak çalışan protokol veri birimidir (Protokol Data Unit, PDU). Protokol, kullanıldığı alt protokollere göre uygulama veri birimi (Application Data Unit, ADU) içerisinde bir takım ek alanlar oluşturabilir. Bu ek alanlar Modbus RTU ve TCP protokollerinde farklılık gösterir [9].



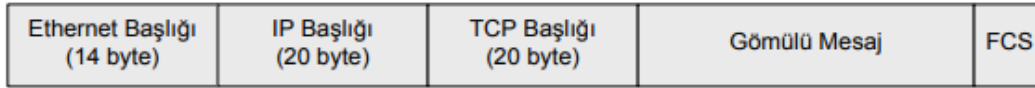
Şekil 2: Modbus genel veri yapısı.

Şekil 1'de en genel şekli ile Modbus veri yapısı gösterilmiştir. Modbus protokol veri birimi içerisinde yer alan fonksiyon kod alanı 1 byte veri içerir ve bağımlı cihazların ne tür işlem yapacaklarını ya da yaptıklarını tanımlar. Veri alanı içerisinde ise ana cihazın ya da bağımlı cihazın talep ya da cevap parametreleri yer alır. Ana cihaz tarafından talep edilen uygulama veri biriminde bir hata yoksa bağımlı cihaz istenilen işlemi gerçekleştirir ve ana cihazın talebine karşılık bir cevap gönderir. Fakat bir hata oluşursa bağımlı cihaz ana cihaza ilgili hata ile ilgili bir hata mesajı göndererek sistemin çalışmasının devam etmesini sağlar [9].

MODBUS RTU, verilerin binary olarak alınıp gönderildiği ve bu verilerin güvenilirliğini artırmak için çevrimsel artıklık denetimi (CRC – Cyclic Redundancy Check) doğrulama verisi ile birlikte gönderildiği haberleşme protokolüdür. Bu eklenen CRC verisi gönderilecek olan verinin içeriğine göre hesaplanır ve gönderilen veriye eklenir. Alıcı taraf da aynı şekilde gelen veriye göre bir CRC kodu hesaplar ve onu gelen CRC verisiyle kıyaslar ve bu şekilde gelen verinin doğruluğu kontrol edilmiş olur. Seri kanal

haberleşmede en çok tercih edilen ve destek verilen haberleşme standardıdır. Mesajın gideceği hedef MODBUS TCP/IP de birim no'su (Unit ID) olarak mesaj paketine eklenirken, MODBUS RTU da 8 bitlik hedef adresi eklenir[10].

MODBUS TCP/IP de ise temel fark, CRC gibi doğrulama verisi ve hedef istasyon TCP paketine göre tanımlanır ve gönderilir. MODBUS RTU'da CRC'nin yaptığı işlemi burada işlem tanımlayıcı (Transaction Identifier) yapar ve gelen giden veri kontrol edilmiş ve senkronizasyon sağlanmış olur [10].



Şekil 3: Modbus TCP veri yapısı.

TCP, bağlantı yönelimli bir protokol olduğu için Modbus mesajı gönderilmeden önce TCP bağlantısının kurulması gerekir. Modbus TCP/IP bağlantıları iki cihaz arasında yapılan haberleşme bağlantıları olduğundan her yön için kaynak adresine, hedef adresine ve bağlantı kimliğine ihtiyaç duyar. Bu nedenle Modbus TCP/IP haberleşmesi sadece yayın modunda yapılır. Modbus uygulamaları için özel olarak 502 numaralı port ayrılmıştır. Modbus sunucusu haberleşme için bu portu dinler. İstemci sunucuya bir talep göndermek istediği zaman, sunucu cihazın 502 numaralı portu ile bağlantı kurar. Modbus TCP protokolünün uygulama veri birimi bölümünde RTU'da olduğu gibi adres birimi ve hata kontrol birimi yer almaz [9]. Bu çalışmada MODBUS TCP/IP protokolü kullanılmıştır. Uzak istasyonlar arasında fiber optik hattın olması ve fiber optik hattın TCP/IP protokolüne çevirmenin kolay ve güvenilir olması MODBUS TCP/IP protokolünü tercih sebebi yapmıştır.

## 2.2. Enerji Analizörü

Enerji analizörü temel olarak elektrik enerjisine konu çoğu elektriksel parametreyi ölçebilen cihazlardır. Bu cihazlar çok düşük hata paylarıyla ölçüm yapabilmekte ve veriyi başka bir platforma iletebilecek altyapıya sahiptirler. Şebeke analizörü de denilen bu cihazlar artık klasik elektriksel parametrelerin yanında akım ve gerilime ait harmonik bozulmalar gibi farklı parametreleri de ölçebilmekte ve kayıt altına alabilmektedir. Son tüketiciye ulaştırılan elektrik enerjisi enerji analizörü tarafından izlenerek, ileride faturalandırma veya ceza olarak karşılaşılabilecek verimsiz kullanımların önüne geçilmesini sağlar. Enerji analizörü ayrıca elektrik şebekesinde oluşabilen ve özellikle elektronik cihazların ve tüm ekipmanlardaki elektronik kartların arızalanmasına neden olan; anlık yükselme (sag), anlık düşme (swell) değerlerini ölçer ve hafızasına kaydeder. Bu sayede şebekenin kalitesi çözümlenebilir ve gerekli müdahalelerle arızalar meydana gelmeden engellenebilir [11]. Bu avantajlarından dolayı çalışmada enerji analizörleri kullanılmıştır.



Şekil 4. Çalışmada kullanılan enerji analizörü.

Bu çalışmada Entes firmasına ait MPR-53S serisi enerji analizörleri kullanılmıştır. Modbus RS485 haberleşme protokolü çıkışı olması ve ekonomik olması sebebiyle bu cihaz seçilmiştir. Her enerji analizörünün modbus register tablosu vardır. Adreslerine göre izlenecek veriler ham haliyle alınır ve tablodaki uygun çarpan oranları ile çarpılarak sağlıklı veri haline getirilir. Aşağıda çalışmada kullanılan enerji analizörüne ait modbus register tablosu bulunmaktadır. Örneğin faz-nötr arası gerilimin 0000H adresinden okunabileceğini bu tablo göstermektedir. Burada adresin hexadecimal bir adres olduğuna dikkat edilmesi gerekir. Bu verinin PLC ye aktarılması için adres decimal karşılığına çevirilmeli ve PLC deki adresleme yapısı buna uygun tasarlanmalıdır. Veri alındıktan sonra tabloda verilen çarpan oranlarına dikkat edilir. Faz-nötr arası gerilim verisinin volt cinsinden okumasının yapılabilmesi için verinin gerilim trafosu oranı ve akım trafosu oranı ile çarpılması gerekir.

Tablo 2. Enerji analizörü modbus register tablosu[11].

ADRES	AÇIKLAMA	BOYUT (16 bit)	ÇARPAN	ARALIK	BİRİM
0000H	Gerilim LN1	Word	Data x GT x 0.1	0 .. Vmax	V
0001H	Gerilim LN2	Word	Data x GT x 0.1	0 .. Vmax	V
0002H	Gerilim LN3	Word	Data x GT x 0.1	0 .. Vmax	V
0003H	Akım LN1	Word	Data x AT x 0.001	0 .. Imax	A
0004H	Akım LN2	Word	Data x AT x 0.001	0 .. Imax	A
0005H	Akım LN3	Word	Data x AT x 0.001	0 .. Imax	A
0006H	Toplam Akım	Word	Data x AT x 0.001	0 .. Imax	A
0007H	Aktif Güç L1	Signed Int	Data x GT x AT	0 .. ±Pmax	W
0008H	Aktif Güç L2	Signed Int	Data x GT x AT	0 .. ±Pmax	W
0009H	Aktif Güç L3	Signed Int	Data x GT x AT	0 .. ±Pmax	W
000AH	Reaktif Güç L1	Signed Int	Data x GT x AT	0 .. ±Qmax	VAr
000BH	Reaktif Güç L2	Signed Int	Data x GT x AT	0 .. ±Qmax	VAr
000CH	Reaktif Güç L3	Signed Int	Data x GT x AT	0 .. ±Qmax	VAr
000DH	Görünür Güç L1	Word	Data x GT x AT	0 .. Smax	VA
000EH	Görünür Güç L2	Word	Data x GT x AT	0 .. Smax	VA
000FH	Görünür Güç L3	Word	Data x GT x AT	0 .. Smax	VA
0010H	Güç Faktörü L1	Signed Int	Data x 0.001	-1.000 .. 1.000	-
0011H	Güç Faktörü L2	Signed Int	Data x 0.001	-1.000 .. 1.000	-
0012H	Güç Faktörü L3	Signed Int	Data x 0.001	-1.000 .. 1.000	-
0013H	Cos L1	Signed Int	Data x 0.001	-1.000 .. 1.000	-
0014H	Cos L2	Signed Int	Data x 0.001	-1.000 .. 1.000	-
0015H	Cos L3	Signed Int	Data x 0.001	-1.000 .. 1.000	-
0016H	Gerilim L12	Word	Data x GT x 0.1	0 .. Vmax	V
0017H	Gerilim L23	Word	Data x GT x 0.1	0 .. Vmax	V
0018H	Gerilim L31	Word	Data x GT x 0.1	0 .. Vmax	V
0019H	Gerilim LN (Ortalama)	Word	Data x GT x 0.1	0 .. Vmax	V
001AH	Gerilim LL (Ortalama)	Word	Data x GT x 0.1	0 .. Vmax	V
001BH	Frekans	Word	Data x 0.01	45.00 .. 65.00	Hz
001CH	Toplam Aktif Güç	Signed Int	Data x GT x AT	0 .. ±Pt max	W

### 2.3. SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) Sistemi

SCADA temel olarak bir sürece ait tüm verilerin görsel objelerle takip edilmesini sağlayan görsel bir arayüzdür. Supervisory Control And Data Acquisition ifadesinin kısaltmasıdır. SCADA kavramı ilk olarak 1960'lerde Bonneville Power Administration

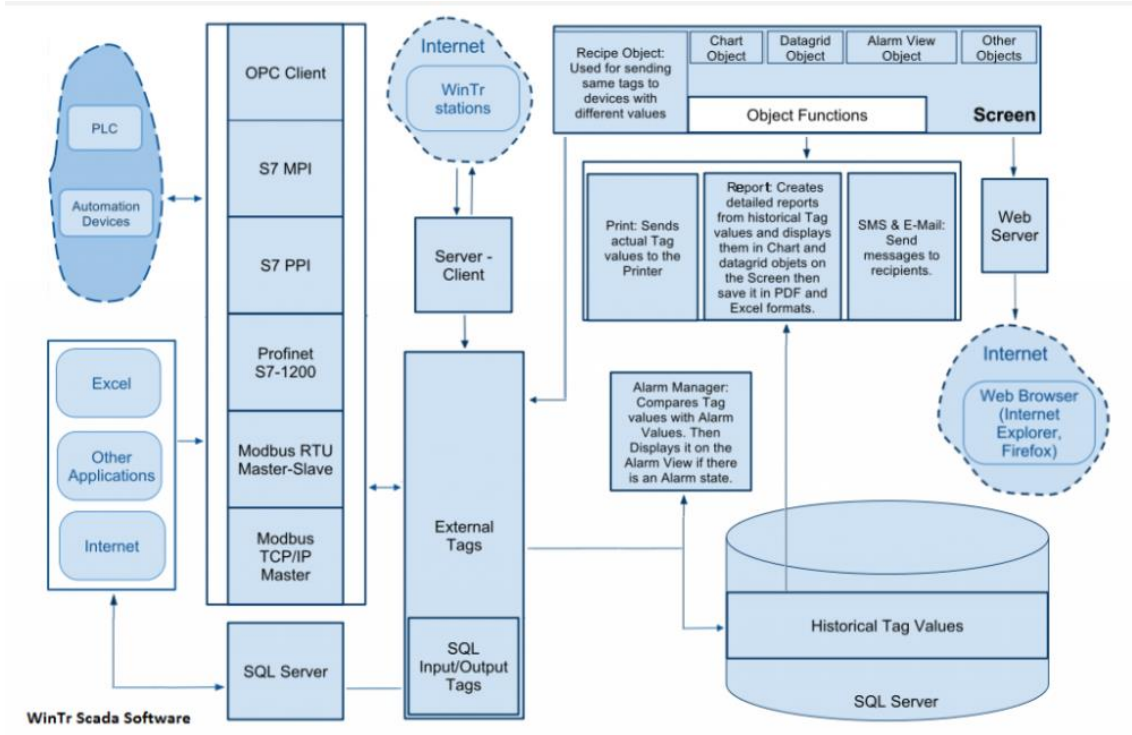
tarafından ortaya atılmıştır. Terim olarak ise Power Industry Computer Applications konferansında yayınlanmıştır [12]. Mevcutta SCADA sistemleri endüstriyel işletmelerde daha çok proses otomasyonu amacıyla kullanılmaktaysa da özel amaçlar için de kullanılabilir. Aynı alanda olmayan birçok ekipmanın belli bir mantığa göre çalışabilmesini sağlar. Günümüzde çok uzak mesafelerdeki ekipmanların aynı SCADA ile takibi yapılabilmektedir. SCADA kontrol, kumanda ve değerlendirme için tüm verileri toplar bu verileri karar birimine gönderir. Bu veriler operatör istasyonlarındaki ekranlara iletilir. Böylelikle operatör vasıtasıyla kontrol ve kumanda yapılabilir [13]. Genel olarak bir SCADA yazılımının fonksiyonelliği şöyledir;

- Erişim Kontrolü (Access Control)
- Çoklu Arayüz (Multimedia Interface)
- Grafikleme (Trending)
- Alarm Yönetimi (Alarm Handling)
- Loglama/Arşivleme (Logging/Archiving)
- Rapor Oluşturma (Report Generation) [14]

Birçok markaya ait çeşitli özellikleri barındıran SCADA yazılımları bulunmaktadır. Bu çalışmada yerli yazılım olan Wintr adlı SCADA yazılımı kullanılmıştır. Wintr adlı yazılımın diğer SCADA yazılımlarına göre tercih sebebi olmasının en önemli sebepleri; lisanslama maliyetinin olmaması, MODBUS verilerini doğrudan okunabilir yapıda olması ve ekonomik olmasıdır. Ayrıca birçok SCADA yazılımında objeler ile ilgili yapılabilecek fonksiyonlar sınırlı sayıdadır. Wintr adlı yazılımda bir objede 256 fonksiyon çalıştırılabilmektedir. Wintr SCADA yazılımında profinet haberleşme protokolü ile haberleşecek cihazlar için herhangi bir veri tabanı programı ya da OPC Server gibi başka bir yazılım kullanılmasına gerek yoktur. Veriler doğrudan SCADA tarafından okunabilmektedir. Enerji analizörlerinden PLC'ye aktarılan tüm veriler Profinet haberleşme protokolü ile SCADA sistemine aktarılmaktadır. SCADA sistemindeki verilerin sınıflarına göre uygun objeler tasarlanarak verinin anlaşılır bir hal alması sağlanır.



Şekil 5. Sistem ana ekran.

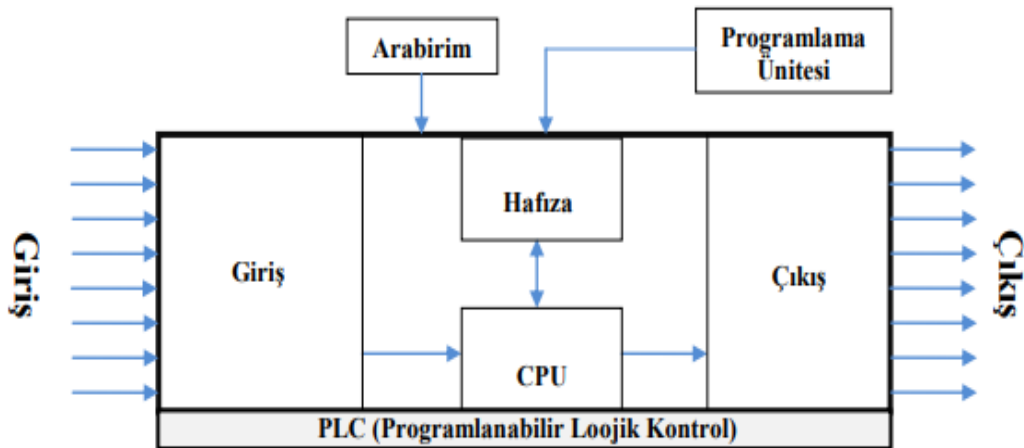


Şekil 6. Wintr SCADA özellikleri[15].

#### 2.4. PLC (Programmable Logic Controller)

PLC'ler klasik kumanda devresinin yaptığı işleri tasarlanan bir programa göre yapabilen, kendine ait giriş ve çıkış kanalları olan mikroişlemci tabanlı cihazlardır. Hızlı işlem kapasiteleri ve esnek bir şekilde programlanabilmeleri nedeniyle endüstride çok yoğun kullanım alanları bulunmaktadır.

Kumanda sistemlerinde PLC henüz yokken birçok iş geleneksel röleler ile yapılmaktaydı. Röleler ile kontrol kumanda sadece rölenin kontakları üzerinden yapılır. Bu sebepten alternatifsiz, yavaş ve kontrolü oldukça zor bir yapı idi. PLC'ler 1970'li yılların başında geleneksel röleli sistemlere çözüm olarak ortaya çıkmıştır. İlk yıllarda lojik birimlerin birbiri ile bağlantısı şeklinde kullanılan PLC'ler günümüzde mikroişlemci teknolojisinin katkısı ile çok hızlı ve kolay programlanabilir bir yapı kazanmış durumdadır [16].



Şekil 7. PLC'nin temel yapısı[16].



Herhangi bir PLC hazır konuma getirilip çalıştırıldığında sırayla şu işlemler yerine getirilir;

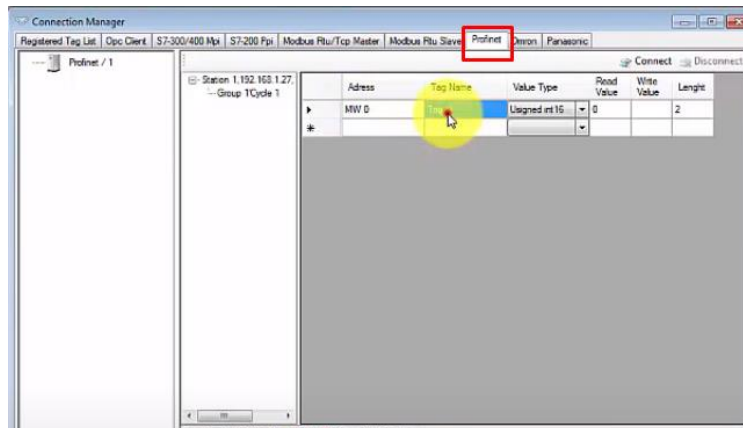
- Çevrim başlamadan önce girişteki veriler belleğe kaydedilir ve bu veriler sıradaki döngüye kadar değişmez
- Programlanan lojik komutlar sırasıyla icra edilir.
- Yazılan programa göre işlenen verilerin çıktıları çıkış birimine aktarılır ve tüm işlemler tamamlandıktan sonra ilk adıma tekrar gidilir [17].

Bu çalışmada SIEMENS marka S7-1200 model bir PLC kullanılmıştır. SCADA'daki verileri PLC gibi programlanabilen bir cihaza aktardığımızda artık bu veriler için birçok uygulama yapabilmekteyiz. Bu yüzden veriler PLC'ye aktarılmıştır.



Şekil 8. Çalışmada kullanılan PLC.

Aktarılan veriler PLC'de işlenebilmektedir. Enerji izleme sistemine dair maliyet analizi, raporlama, diğer kontrol sistemleri ile entegrasyon gibi birçok ihtiyaç bu sayede gerçekleştirilebilecektir. PLC ile profinet üzerinden haberleşilmiştir. Wintr SCADA'nın en büyük avantajlarından biri cihaza özel doğrudan haberleşme protokollerini destekleyebilmesidir. Bu çalışmada kullanılan S7-1200 PLC için profinet üzerinden doğrudan haberleşme arayüzü bulunmaktadır. Şekil 9'da görüldüğü gibi Wintr SCADA Connection Manager içinde bulunan Profinet sekmesine PLC'nin IP adresi doğru bir şekilde girildiği takdirde PLC'ye SCADA üzerinden doğrudan erişilebilmektedir.



Şekil 9. Wintr-S71200 PLC haberleşmesi.

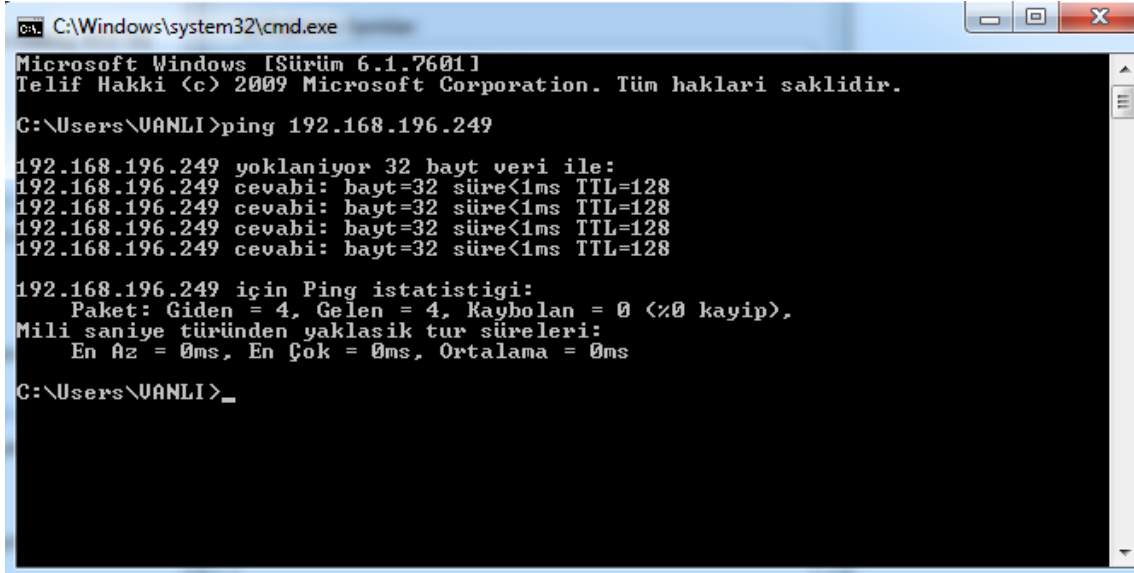
### 3. Sonuçlar ve tartışma

Bu çalışmayı 3 aşamada değerlendirmenin daha doğru olacağı düşünülmektedir.

- Uzak konumlar arası cihazların haberleşmesi
- Okuma yapacak olan enerji analizörlerinin akım trafoları ile beraber montajı ve devreye alınması
- Verilerin merkezi bir noktada toplanarak SCADA tasarımının yapılması ve PLC'ye entegrasyonu

#### 3.1. Uzak Konumlar Arası Cihazların Haberleşmesi

Uzak konumlar arası 24 core single mode fiber optik kablolar kullanılmış ve istasyonlarda sonlandırılmıştır. Sonlandırılan fiber uçlar ethernet verisi haline gelebilmesi için Ethernet-fiber dönüştürücü ile dönüştürülmüştür. Bu şekilde yıldız topoloji oluşturulmuş, hızlı ve kayıpsız bir haberleşme hattı başarılı bir şekilde kurulmuştur. Başarıya ulaşan bu sistemin birçok sistemde kullanılabilecek bir haberleşme altyapısı sunabileceği görülmüştür. Şekil 10' da iki konum arası ping ekranı görseli verilmiştir. 1 milisaniyenin altında haberleşme olduğu görülmektedir.



```

C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Sürüm 6.1.7601]
Telif Hakkı (c) 2009 Microsoft Corporation. Tüm hakları saklıdır.

C:\Users\UANLI>ping 192.168.196.249

192.168.196.249 yoklanıyor 32 bayt veri ile:
192.168.196.249 cevabi: bayt=32 süre<1ms TTL=128
192.168.196.249 cevabi: bayt=32 süre<1ms TTL=128
192.168.196.249 cevabi: bayt=32 süre<1ms TTL=128
192.168.196.249 cevabi: bayt=32 süre<1ms TTL=128

192.168.196.249 için Ping istatistigi:
    Paket: Giden = 4, Gelen = 4, Kaybolan = 0 (%0 kayıp),
    Mili saniye türünden yaklaşık tur süreleri:
        En Az = 0ms, En Çok = 0ms, Ortalama = 0ms

C:\Users\UANLI>_
  
```

Şekil 10. Uzak istasyonlar arası haberleşme istatistikleri.

Bu çalışmada fiber optik hat yerine kablosuz bir network de kurulabilirdi. Kablosuz haberleşme sistemleri de günümüzde oldukça gelişmiş ve kullanım alanı oldukça artmıştır. Ancak kablosuz haberleşme sistemleri işletmenin koşulları açısından uygun değildir. Bor üretiminde bacadan filtre edilip atılan ürün işletme çevresinde bir tabaka oluşturmaktadır. Yarı metal özelliğe sahip borun yapısından kaynaklanan bu durum işletme içinde kablosuz tüm sistemleri etkilemektedir. Bu çalışmanın başında kablosuz haberleşme sistemleri denenmiş ve verimli bulunmamıştır. Ayrıca kablosuz haberleşme sistemlerinde her uç noktada alıcı kablosuz cihazlar kullanılacağından maliyet de yüksek olmaktadır.

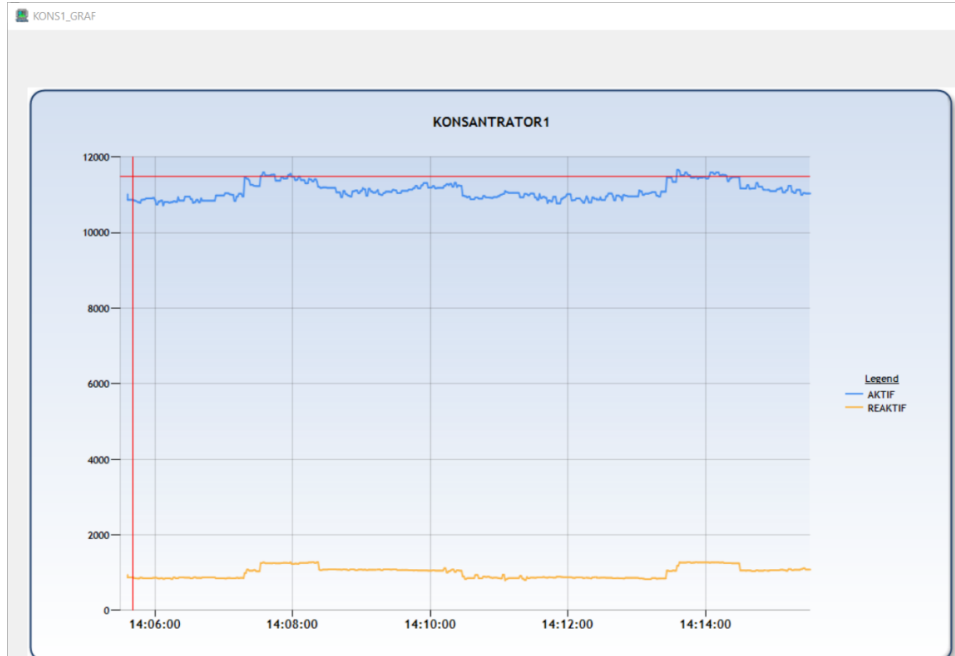
#### 3.2. Enerji Analizörü ve Akım Trafosu Montajları

Enerji analizörleri her bir tesisin ana dağıtım panosuna monte edilmiştir. Akım trafosu seçerken baradan geçebilecek maksimum akım önemlidir. Seçim buna göre yapılır. Her

bir faza aynı akım trafosu bağlanır. Akım trafosunun sekonder uçları enerji analizörünün K ve L uçlarına her faz için ayrı ayrı bağlanır. Enerji analizörüne akım trafosu çarpanı girildikten sonra okuma yapmaya başlanabilir. Akım trafosu olmadan şebeke akımını enerji analizörüne aktarma yolu yoktur. Çalışmada kullanılan enerji analizörü RS485 çıkışlı bir cihazdır. Bu sayede değerleri dışarıya aktarabilmektedir. Eğer doğrudan fiber çıkışlı enerji analizörleri olsaydı çeviriciler kullanılmadan daha sade ve kolay bir topoloji kurulabilirdi.

### 3.3. Verilerin Tek Merkezde Toplanması ve Çıktılar

Veriler Wintr SCADA’da toplanmış ve aktif güçler ile ilgili grafiklendirmeler yapılmıştır. Tesis bazında anlık aktif ve reaktif güç grafikleri aşağıdaki görsellerdeki gibi gerçekleşmiştir. Her tesis bazında 1 saniyeden 24 saate kadar farklı zaman aralıklarında grafiklendirme yapılmaktadır. Bu çalışmada birçok SCADA yazılımı kullanılabilirdi. Çalışma önce SCHNEIDER firmasına ait Vijeo Citect SCADA yazılımı ile başlanmış ancak bu yazılımın lisans maliyetlerinin yüksek olması ve MODBUS haberleşme için ayrı bir yazılım kullanma zorunluluğundan dolayı vazgeçilmiştir. FULTEK firmasına ait Wintr SCADA yazılımı ile OPC server ihtiyacı olmadan farklı cihazlarla doğrudan haberleşilebilmektedir. Bu durum Wintr SCADA kullanımını bu çalışma için tercih sebebi yapmıştır. Ayrıca Wintr SCADA için geliştirme lisansı almanıza gerek yoktur. Bu çalışma için geliştirme programına hiçbir lisanslama yapılmamıştır. Muadil birçok yazılımda geliştirme için ayrı, runtime için ayrı lisans satın alınması gerekmektedir. Günümüzde kullanılmakta olan önemli çoğu haberleşme protokolünü destekliyor olması da gelecekte yapılabilecek iyileştirmeler için önemli bir noktadır. Örneğin PROFIBUS altyapıya sahip bir sistemin bu SCADA ile haberleşebilmesi için herhangi bir ara yüze ihtiyaç yoktur. Doğrudan hem PROFINET üzerinden hem de PROFIBUS üzerinden veri alışverişi yapılabilmektedir.



Şekil 10. Konsantratör 1 tesisi aktif ve reaktif güç değerleri grafiği.



Şekil 11. Konsantratör 4 tesisi 5 saniyelik periyotta aktif güç grafiği.

## Kaynaklar

- [1] Kayar, E., Niyazi, İ.L. ve Carlak, H., Türkiye elektrik enerjisi görünümü ve - yenilenebilir enerjinin global ölçekte mevcut konumu, **EMO Bilimsel Dergi**, 11(Özel Sayı), 70-83, (2021).
- [2] Güllü, M., Kartal, Z., Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarının 2030 yılına kadar tahmini, **19 Mayıs Sosyal Bilimler Dergisi**, 2, 288-313, (2021).
- [3] Kavak, K., Dünyada ve Türkiye'de enerji verimliliği ve Türk sanayiinde enerji verimliliğinin incelenmesi, Uzmanlık Tezi, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara, (2005).
- [4] <https://enerji.gov.tr//Media/Dizin/EVCED/tr/EnerjiVerimlili%C4%9Fi/OVDegerlendirme/Belgeler/EYogunluklari/2020.pdf> (10 Nisan 2022).
- [5] Siddique, M. N. I., vd., Energy management practices, barriers, and drivers in Bangladesh: An exploratory insight from pulp and paper industry, **Energy for Sustainable Development**, 70, 115-132, (2022).
- [6] Songur, M., Dabanlı, A., Yılmazel, B., ve Kürkçüoğlu, M.A.Ş., Su dağıtım şebekelerindeki fiziki kayıpların önlenmesinde SCADA'nın önemi: ASKİ örneği, **Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 21, 6, 1424-1433, (2021).
- [7] Aurilio, G., Gallo, D., Landi, C., Luiso, M., Graditi, G., A low cost smart meter network for a smart utility, **In 2014 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings**, 380-385, *Montevideo*, (2014).
- [8] Ataç, S., Tek çift Ethernet, **International Aegean Symposiums**, 89-101, İzmir, (2021).
- [9] Akkaya, Ş., FPGA tabanlı modbus ağ geçidi tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, (2005).
- [10] Temiz, A., Kahraman, Ö., Şahin, C., ve Nadar, A., Akıllı Şebekeler İçin Haberleşme Çözümü, Tübitak Mam Enstitüsü, Ankara, (2013).
- [11] [https://www.entec.com.tr/uploads/files/TR-A3917-MPR53\\_53S-Rev.6.pdf](https://www.entec.com.tr/uploads/files/TR-A3917-MPR53_53S-Rev.6.pdf) (14 Mayıs 2022).
- [12] Bentarzi, H., Tsebia, M., ve Abdelmoumene, A., **PMU based SCADA enhancement in smart power grid**, **In 2018 IEEE 12th International**

- Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering**, 1-6, Doha, (2018).
- [13] İşbilen, F., ve Konar, M., Uçak sistemlerinin SCADA ile modellenmesi, **Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 338-346, 18, (2020).
- [14] Daneels, A., ve Salter, W., What is SCADA, **International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems**, Trieste, (1999).
- [15] <https://www.fultek.com.tr/programlar/scada/>, (10 Haziran 2022).
- [16] Karayel, M., Mikrotip hidroelektrik santraller için PLC tabanlı SCADA sistem otomasyonu ve RTU/PLC ile frekans ve gerilim regülasyonunun gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, (2013).
- [17] Özlük, F., Endüstriyel bir süreçte scada uygulaması ve verilerin değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, (2010).

# Konveks ve konveks olmayan cezalı regresyon yöntemlerinin karşılaştırılması üzerine bir çalışma

Murat GENÇ\*

Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Tarsus Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Takbaş Mahallesi Kartaltepe Sokak 33400 Tarsus, Mersin, Türkiye

Geliş Tarihi (Received Date): 19.05.2023  
Kabul Tarihi (Accepted Date): 20.10.2023

## Öz

Doğrusal regresyonda cezalı regresyon yöntemleri veri kümesinin yapısına bağlı olarak ön tahminde daha doğru sonuçlar elde edilmesi için kullanılır. Ayrıca cezalı regresyon yöntemleri kullanılarak yanıt değişkeni ile ilişkili olan açıklayıcı değişkenlerin tespiti mümkündür. Bu çalışmada ridge, LASSO, elastik net, uyarlamalı LASSO konveks cezalı regresyon yöntemleri ile SCAD ve MCP konveks olmayan cezalı regresyon yöntemlerinin gerçek katsayı vektörünün özelliklerine bağlı olarak performansları simülasyon çalışmaları ile karşılaştırılmıştır. Yöntemlere dayalı olarak oluşturulan modellerin ön tahmin performansının karşılaştırılması için test kümesi hata kareler ortalaması kullanılırken yöntemlerin değişken seçimindeki performanslarının karşılaştırılması için yanlış sınıflama oranı, yanlış pozitif oranı ve aktif küme büyüklükleri elde edilmiştir. Simülasyon çalışmalarına göre gerçek katsayı vektörünün yapısının konveks ve konveks olmayan cezalı regresyon yöntemleri ile oluşturulan modellerin performansı üzerinde kayda değer bir etkisinin olduğu görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Doğrusal regresyon, LASSO, SCAD, MCP, Çoklu İç İlişki.

## A study on comparison of convex and non-convex penalized regression methods

### Abstract

In linear regression, penalized regression methods are used to obtain more accurate predictions depending on the structure of the data set. In addition, it is possible to determine the explanatory variables associated with the response variable by using penalized regression methods. In this study, the performances of ridge, LASSO, elastic net, adaptive LASSO convex penalized regression methods and SCAD and MCP non-convex penalized regression methods are compared depending on the properties of the true coefficient vector based on simulation studies. While the mean squared error on the

\*Murat GENÇ, muratgenc@tarsus.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-6335-3044>

*test set is used to compare the prediction performance of the models based on the methods, the false classification rate, false positive rate and active set sizes are obtained to compare the performance of the methods in variable selection. According to the simulation studies, it has been observed that the structure of the true coefficient vector has a remarkable effect on the performance of the models created by convex and non-convex penalized regression methods.*

**Keywords:** Linear Regression, LASSO, SCAD, MCP, Multicollinearity.

## 1. Giriş

Doğrusal regresyon modelleri, açıklayıcı değişkenler ile yanıt değişkeni arasındaki ilişkiyi modellemede yaygın olarak kullanılan istatistik modellerdir. Doğrusal regresyon modelleri birçok bilim alanında değişkenler arasındaki ilişkiyi modellemede kullanılmaktadır. Doğrusal regresyon modeli oluşturmanın ilk aşaması model katsayılarının tahmin edilmesidir.

$n \times 1$  boyutlu yanıt değişken değerlerinin vektörü  $\mathbf{y}$ ,  $n \times p$  boyutlu açıklayıcı değişken değerlerinin matrisi  $\mathbf{X}$ ,  $p \times 1$  boyutlu bilinmeyen katsayıların vektörü  $\boldsymbol{\beta}$ , ve  $n \times 1$  boyutlu 0 ortalamalı ve  $\sigma^2 \mathbf{I}$  varyanslı hata terimleri vektörü  $\boldsymbol{\varepsilon}$  olmak üzere bir doğrusal regresyon modeli

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (1)$$

olarak tanımlanır. Doğrusal regresyonda katsayı tahmini için kullanılan en temel yöntem en küçük kareler (EKK) yöntemidir. Denklem (1)'deki katsayıların EKK tahmin edicisi

$$\hat{\boldsymbol{\beta}}_{ekk} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{y} \quad (2)$$

olarak verilir. EKK ile regresyon katsayılarının tahmini yaygın olarak yapılmaktadır. Ancak veri kümesinde açıklayıcı değişkenler arasında bulunan yüksek düzeyde doğrusal bağımlılık olarak tanımlanan çoklu iç ilişkinin olması halinde EKK tatmin edici olmayan katsayı değerleri verir. EKK'nın çoklu iç ilişki durumunda ortaya çıkan dezavantajlarını ortadan kaldırmak için ridge [1], kısıtlı en küçük kareler [2] ve kısıtlı ridge tahmin edici [3] gibi regresyon katsayıları üzerinde çeşitli kısıtlar kullanan tahmin ediciler önerilmiştir. Ayrıca EKK yöntemi değişken seçimi yapamadığı için yanıt değişken üzerinde etkisi fazla olan değişkenlerin seçilmesinde kullanılamaz. Yanıt değişkeni etkileyen değişkenlerin tespiti için çeşitli yöntemler önerilmiştir. En iyi alt küme seçim yönteminde [4], açıklayıcı değişkenlerin tüm kombinasyonları kullanılarak oluşturulan modeller göz önüne alarak değişken seçimi yapılır. En iyi alt küme seçim yöntemi, hesaplama bakımından maliyetli bir yöntem olması nedeniyle, bu yöntemden farklı olarak modelin katsayı tahmini ile değişken seçiminin eşanlı olarak yapıldığı negatif olmayan garrote [5], bridge regresyon [6], LASSO (least absolute shrinkage and selection operator) [7], elastik net [8] ve uyarlanabilir (adaptive) LASSO [9] gibi konveks sürekli bir ceza teriminin kullanıldığı yöntemlerin yanı sıra SCAD (smoothly clipped absolute deviation) ve MCP (minimax concave penalty) [10] gibi konveks olmayan sürekli bir ceza teriminin kullanıldığı yöntemler de bulunmaktadır. Bu yöntemlerden bridge regresyon,  $\|\boldsymbol{\beta}\|_1^q$ ,  $\theta > 0$  ceza fonksiyonuna sahip bir cezalı regresyon yöntemidir. Bridge

regresyonun ceza fonksiyonunun  $\theta = 1$  durumu konveks bir ceza fonksiyonu üretir ve LASSO yöntemine karşılık gelir. Elastik net, LASSO'da ceza terimine  $\ell_2$  norma dayalı bir terim eklenmesi ile elde edilir ve LASSO'ya göre daha esnek bir yöntemdir. Uyarlanabilir LASSO, uyarlanabilir ağırlıklar kullanılarak LASSO tahminlerinin güncellenmesine dayalı iki aşamalı bir yöntemdir. SCAD ve MCP ise parçalı karesel ceza terimleri kullanan konveks olmayan cezalı regresyon yöntemleridir.

Açıklayıcı değişkenlerin gözlem matrisinin boyutlarına göre veri kümesi, klasik veya yüksek boyutlu olarak adlandırılır. Gözlem sayısı değişken sayısından büyük olan veri kümeleri klasik veri kümesi olarak adlandırılırken, aksi halde yüksek boyutlu veri kümesi olarak adlandırılır. Literatürde her iki veri yapısına dayalı olarak yapılan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır [11, 12]. Ayrıca konveks ve konveks olmayan farklı doğrusal regresyon yöntemlerinin karşılaştırılması amaçlı çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. [13], Yüksek boyutlu veri analizi için temel bileşenler regresyonda bootstrap yöntemini kullanarak değişken seçimi için bir simülasyon çalışması gerçekleştirmiştir. [14], cezalı regresyon yöntemlerinin yüksek boyutlu veri kümelerinde performansı üzerine bir çalışma yapmıştır. [15], klasik veri kümelerinde gerçek katsayı vektörünün yapısına bağlı olarak konveks cezalı regresyon yöntemlerinin karşılaştırılması üzerine bir çalışma yapmıştır. [16], post LASSO yönteminin ikinci aşamasındaki tahmin edicinin model performansı üzerindeki etkisini bir simülasyon çalışması ile incelemiştir.

Bu çalışmada, klasik veri kümelerinde gerçek katsayı vektörünün yapısı, sıfırdan farklı regresyon katsayılarının miktarı ve konumuna bağlı olarak konveks ve konveks olmayan cezalı regresyon yöntemlerinin performans incelemesi ele alınmıştır. Bu amaçla konveks ceza fonksiyonlu ridge, LASSO, elastik net ve uyarlanabilir LASSO yöntemleri ile konveks olmayan ceza fonksiyonlu SCAD ve MCP yöntemleri kullanılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde karşılaştırmaya tabi tutulan cezalı regresyon yöntemleri özetlenmiş ve yöntemlerin karşılaştırılmasında kullanılan kriterler verilmiştir. Ayrıca karşılaştırmada faydalanılan simülasyon çalışmalarının özelliklerine değinilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde, gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarının bulguları verilmiş ve sonuçlar detaylı bir şekilde irdelenmiştir. Çalışmanın dördüncü bölümünde sonuçlar verilmiş ve çalışma tamamlanmıştır.

## 2. Materyal ve metod

### 2.1. Cezalı regresyon yöntemleri

Veri kümesinin yapısına bağlı olarak EKK yönteminin yeni gözlemlerin tahmininde yetersiz olması ve değişken seçimi yapamaması nedeniyle, EKK'ya alternatif olarak model katsayılarının belirli kısıtlar altında hesaplanmasına dayalı çeşitli yöntemler önerilmiştir. Bu yöntemler, cezalı regresyon yöntemleri olarak adlandırılır ve yaygın bir kullanım alanına sahiptir [17]. Bu yöntemler, kararlı regresyon katsayı tahminleri elde etmek için aşırı büyük katsayıların büzülmesi ilkesine dayanır. Ayrıca söz konusu yöntemlerden bazıları bir kısım regresyon katsayı tahminlerini sıfır olarak belirleyebilir ve böylece otomatik değişken seçimi yapabilir.

$\mathbf{x}_i$   $p \times 1$  boyutlu  $i$ . gözlem vektörü,  $y_i$ ,  $i$ . gözlem yanıt değeri olmak üzere;  $(\mathbf{x}_1, y_1), (\mathbf{x}_2, y_2), \dots, (\mathbf{x}_n, y_n)$  bağımsız ve aynı dağılımlı veri kümesi verilsin. Denklem (1)'de verilen doğrusal regresyon modeli için amaç fonksiyonu



$$Q(\boldsymbol{\beta}) = \frac{1}{2n} \|\mathbf{y} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta}\|_2^2 + p_\lambda(\boldsymbol{\beta}) \quad (3)$$

olarak verilir. Burada  $\boldsymbol{\beta}$  tahmin edilecek katsayılar vektörü,  $p_\lambda(\cdot)$  ceza fonksiyonu ve  $\lambda$  ayar parametresidir. Cezalı regresyon yöntemlerinde katsayı tahminleri Denklem (3)'te verilen amaç fonksiyonunun minimize edilmesi ile elde edilir.

Denklem (2)'deki EKK tahmin edicisi tüm yansız tahmin ediciler sınıfı içinde en küçük varyansa sahip olan tahmin edicidir. Ancak, veri kümesinde çoklu iç ilişki olması halinde EKK tahminleri kararlı olmaktan uzaktır. Bu problemin üstesinden gelenebilmesi için literatürde katsayı tahminlerine çeşitli şekillerde etki eden ceza fonksiyonları önerilmiştir.

Cezalı regresyon yöntemleri, ceza fonksiyonunun konveks veya konveks olmamasına göre sırasıyla konveks cezalı regresyon yöntemleri ve konveks olmayan cezalı regresyon yöntemleri olarak adlandırılır. Literatürde veri kümelerinin özelliklerine bağlı olarak performansı değişen konveks ve konveks olmayan cezalı regresyon yöntemleri önerilmiştir. Alt Bölüm 2.1.1 ve Alt Bölüm 2.1.2'de söz konusu yöntemler özetlenmiştir.

### 2.1.1. Konveks cezalı regresyon yöntemleri

Literatürde regresyon katsayılarını büzerek EKK'ya göre daha yüksek ön tahmin doğruluğuna ulaşılmasını sağlayan çeşitli konveks cezalı regresyon yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları ceza fonksiyonunun yapısına bağlı olarak otomatik değişken seçimi de yapabilmektedir.

[1] yanlılık ve varyans arasında bir ödünleşmeye dayalı bir yöntem olarak ridge regresyonu önermiştir. Ridge regresyonda, model katsayılarının yansızlığından ödün verilerek, varyansın aşırı şişmesi probleminin aşılması hedeflenir. Ridge regresyonda katsayı tahminlerine

$$\hat{\boldsymbol{\beta}}_R = \underset{\boldsymbol{\beta}}{\operatorname{argmin}} \left\{ \frac{1}{2n} \|\mathbf{y} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta}\|_2^2 + \lambda \|\boldsymbol{\beta}\|_2^2 \right\} \quad (4)$$

probleminin çözülmesi ile ulaşılır. Denklem (4)'te  $\lambda > 0$ , ayar parametresinin değeri büyüdükçe katsayıların büzülme miktarı artar.  $\mathbf{I}_p$ ,  $p \times p$  boyutlu birim matris olmak üzere Denklem (4)'te verilen problemin çözülmesi ile ridge regresyon katsayı tahminleri

$$\hat{\boldsymbol{\beta}}_R = (\mathbf{X}^T \mathbf{X} + \lambda n \mathbf{I}_p)^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{y} \quad (5)$$

olarak bulunur. Ridge regresyon yönteminde yanlılık ile varyans arasındaki ödünleşmeden faydalanılarak, EKK'ya göre daha doğru ön tahmin değerleri bulunur. Ridge regresyonun EKK'ya olan bu üstünlüğüne rağmen, otomatik değişken seçimi yapamaması nedeniyle ridge regresyona alternatif tahmin ediciler önerilmiştir.

Ridge regresyonun değişken seçimi konusundaki eksikliğini göz önüne alarak [7], LASSO yöntemini önermiştir. LASSO yönteminde katsayı tahminleri

$$\hat{\boldsymbol{\beta}}_L = \underset{\boldsymbol{\beta}}{\operatorname{argmin}} \left\{ \frac{1}{2n} \|\mathbf{y} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta}\|_2^2 + \lambda \|\boldsymbol{\beta}\|_1 \right\} \quad (6)$$

probleminin çözülmesi ile elde edilir. LASSO’da Denklem (6)’da bulunan  $\ell_1$  norma dayalı  $\|\boldsymbol{\beta}\|_1$  terimi sayesinde ayar parametresinin değeri yeterince büyük olduğunda LASSO katsayı tahminlerinin bazıları sıfır olur. Bu nedenle LASSO bir katsayı büzme yöntemi olmasının yanı sıra bir otomatik değişken seçim yöntemidir. Denklem (6)’daki problemin kapalı formda bir çözümü yoktur. Bu nedenle LASSO tahminlerinin elde edilmesi için çeşitli algoritmalar önerilmiştir. En küçük açı regresyonu (least angle regression – LARS) [18], değişen yönlü çarpanlar yöntemi (alternating direction method of multipliers – ADMM) [19], koordinat iniş (coordinate descent) [20] algoritmaları LASSO tahminlerinin elde edilmesinde kullanılabilen bazı algoritmalarıdır.

Açıklayıcı değişkenler arasında yüksek korelasyon olması durumunda, LASSO regresyon tahmin edici tahminler veremez [7]. Bu durumda LASSO’ya alternatif olarak kullanılacak bir yöntem elastik net (ENET) [8] yöntemidir. ENET, LASSO’nun ceza fonksiyonuna bir  $\ell_2$  norm teriminin eklenmesi ile elde edilir. ENET tahmin edicisi

$$\hat{\boldsymbol{\beta}}_E = \underset{\boldsymbol{\beta}}{\operatorname{argmin}} \left\{ \frac{1}{2n} \|\mathbf{y} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta}\|_2^2 + \lambda(\alpha \|\boldsymbol{\beta}\|_1 + (1 - \alpha) \|\boldsymbol{\beta}\|_2^2) \right\} \quad (7)$$

probleminin çözülmesi ile bulunur. Burada  $0 \leq \alpha \leq 1$  ikinci ayar parametresidir. Ridge ve LASSO, ENET’te yeni ayar parametresinin sırasıyla 0 ve 1 değerlerine karşılık gelir. Ayrıca ENET’in yüksek korelasyonlu değişkenleri gruplama özelliği bulunmaktadır. Dolayısıyla veri kümesinde yüksek korelasyonlu değişkenlerin varlığında ENET’in LASSO’ya göre daha iyi bir performans göstermesi beklenir.

LASSO’nun değişken seçimi konusunda tutarlı olmadığı durumlarda, [9] tarafından önerilen uyarlanabilir LASSO (U-LASSO) model katsayılarının tahmininde kullanılabilir. U-LASSO değişken seçiminde tutarlı bir yöntemdir ve yaklaşık minimax optimaldir [9]. U-LASSO, LASSO’nun ceza fonksiyonunda uyarlanabilir ağırlıklar kullanılması ilkesine dayanır. U-LASSO’nun katsayı tahminleri

$$\hat{\boldsymbol{\beta}}_{U-LASSO} = \underset{\boldsymbol{\beta}}{\operatorname{argmin}} \left\{ \frac{1}{2n} \|\mathbf{y} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta}\|_2^2 + \sum_{j=1}^p w_j |\beta_j| \right\} \quad (8)$$

problemin çözülmesi ile elde edilir. Denklem (8)’de  $w_j$ ,  $i = 1, 2, \dots, p$  uyarlanabilir ağırlıklardır. [9], uyarlanabilir ağırlıklar vektörünü  $\hat{\mathbf{w}} = 1/|\hat{\boldsymbol{\beta}}_{ekk}|$  olarak seçmiştir. Buna göre U-LASSO’nun hesaplanabilmesi için iki aşama söz konusudur:

1. EKK katsayı tahminlerinin ve bu tahminlerden faydalanılarak uyarlanabilir ağırlıklar vektörünün hesaplanması.
2. Birinci aşamadaki ağırlıklar ile LASSO cezalandırma fonksiyonu yeniden ağırlıklandırılarak Denklem (8)’deki problemin çözülmesi.

### 2.1.2 Konveks olmayan cezalı regresyon yöntemleri

LASSO yöntemi hesaplama kolaylığı sağlayan algoritmalar ve ön tahmindeki yüksek doğruluk değeri nedeniyle ön plana çıkmaktadır. Ancak LASSO yönteminin değişken seçiminde tutarlı sonuçlar vermesi için tasarım matrisinin oldukça sınırlayıcı bazı şartları sağlaması gerekir [21].

LASSO yöntemi ile değişken seçiminde ortaya çıkan problemin aşılabilmesi için [10] tarafından konveks olmayan bir cezalı regresyon yöntemi olarak SCAD önerilmiştir. SCAD, yaklaşık olarak bir olasılıkla gerçekte sıfır olmayan katsayıları, modelin gerçek seyreklik (sparsite) düzeyi önceden biliniyormuş gibi tahmin edebilir (oracle özelliği). SCAD yönteminin ceza fonksiyonu

$$p_{\lambda,\gamma}^{SCAD}(\beta_j) = \begin{cases} \lambda\beta_j, & \beta_j \leq \lambda \\ \frac{\gamma\lambda\beta_j - 0.5(\beta_j^2 + \lambda^2)}{\gamma - 1}, & \lambda < \beta_j \leq \gamma\lambda \\ \frac{\lambda^2(\gamma^2 - 1)}{2(\gamma - 1)}, & \beta_j > \gamma\lambda \end{cases} \quad (9)$$

olarak tanımlanır. Denklem (9)'da verilen ceza fonksiyonu Denklem (3)'te verilen amaç fonksiyonuna uygulanıp amaç fonksiyonu minimize edilerek SCAD yönteminin katsayı tahminlerine

$$\hat{\beta}_{SCAD} = \underset{\beta}{\operatorname{argmin}} \left\{ \frac{1}{2n} \|\mathbf{y} - \mathbf{X}\beta\|_2^2 + \sum_{j=1}^p p_{\lambda,\gamma}^{SCAD}(\beta_j) \right\} \quad (10)$$

problemi çözümlenerek ulaşılır.

[21], değişken seçiminde farklı bir cezalı yöntem olarak MCP yöntemini önermiş ve MCP yönteminin uygun ayar parametresi değerleri için değişken seçiminde tutarlı olduğunu göstermiştir. MCP yönteminin ceza fonksiyonu

$$p_{\lambda,\gamma}^{MCP}(\beta_j) = \begin{cases} \lambda\beta_j - \frac{\beta_j^2}{2\gamma}, & \beta_j \leq \gamma\lambda \\ 0.5\gamma\lambda^2, & \beta_j > \gamma\lambda \end{cases} \quad (11)$$

olarak tanımlanır. Denklem (11)'de verilen ceza fonksiyonu, Denklem (3)'te verilen amaç fonksiyonuna yazılıp, amaç fonksiyonu minimize edilerek MCP yönteminin katsayı tahminlerine

$$\hat{\beta}_{MCP} = \underset{\beta}{\operatorname{argmin}} \left\{ \frac{1}{2n} \|\mathbf{y} - \mathbf{X}\beta\|_2^2 + \sum_{j=1}^p p_{\lambda,\gamma}^{MCP}(\beta_j) \right\} \quad (12)$$

probleminin çözülmesi ile ulaşılır. SCAD ve MCP yöntemlerinin Denklem (9) ve Denklem (11)'de verilen ceza fonksiyonlarına göre bu yöntemlerin model katsayılarını büzme şekillerinde farklılıklar bulunmakta olup her iki yöntemin de LASSO yöntemine göre daha esnek tasarım matrisi koşullarında ve yönteme bağlı olarak değişen bir

cezalandırma düzeyinde tutarlı değişken seçimi yapabildiği gösterilmiştir [10, 21]. Konveks olmayan ceza fonksiyonu nedeniyle bu yöntemlerde model oluşturmak, konveks ceza fonksiyonlu yöntemlerdekinden daha zordur. [22], ceza fonksiyonuna yerel bir doğrusal yaklaşım (local linear approximation – LLA) uygulayarak konveks olmayan ceza fonksiyonlu yöntemler için LARS algoritmasına dayalı bir optimizasyon yöntemi önermiştir. [23] SCAD ve MCP yöntemlerinin katsayı tahminlerinin elde edilmesi için bir koordinat iniş algoritması önermiştir.

### 2.3. Simülasyon çalışmaları ve karşılaştırma kriterleri

Bu çalışmada konveks cezalı regresyon yöntemleri ridge, LASSO, elastik net ve uyarlanabilir LASSO ile konveks olmayan cezalı regresyon yöntemleri SCAD ve MCP simülasyon çalışmaları ile karşılaştırmaya tabi tutulmuştur. Simülasyon çalışmalarında kullanılan veri kümeleri Denklem (1)'de verilen doğrusal regresyon modeline göre [7]'de açıklanan yöntemeye dayalı olarak oluşturulmuştur. Her bir simülasyon çalışmasında açıklayıcı değişken sayısı 40 olup tekrar sayısı 100 olarak belirlenmiştir. Simülasyon çalışmalarında,  $i$ . ve  $j$ . açıklayıcı değişkenler arasındaki korelasyon  $\rho^{|i-j|}$  olup sırasıyla orta ve yüksek düzeyde korelasyon düzeyinin etkisini ölçmek için  $\rho$ 'nun iki değeri 0.7 ve 0.9 olarak alınmıştır. Gerçek katsayılar vektörünün, yöntemlerin performansı üzerindeki etkisinin incelenmesi için simülasyon çalışmaları iki grup altında toplanmıştır.

- S1. Birinci gruptaki simülasyon çalışmalarında gerçek katsayılar vektörünün aktif (sıfırdan farklı katsayıya sahip) değişkenlere karşılık gelen katsayıları aktif olmayan (sıfır katsayılı) değişkenlere karşılık gelen katsayılarından önce gelmektedir. Bu grupta aktif katsayı değerleri, ilk terimi 0.5 ve ortak farkı 0.5 olan bir aritmetik dizi oluşturmaktadır. Daha açık bir ifadeyle gerçek katsayı vektörü

$$\beta = \left[ \underbrace{0.5, 1, \dots, s/2}_s, \underbrace{0, 0, \dots, 0}_{40-s} \right] \text{ formuna sahiptir. Farklı seyreklik düzeylerini}$$

temsil etmek üzere; aktif değişken sayısı olarak,  $s = 10, 20, 30, 40$  durumları alınmıştır.  $s$  değeri büyüdükçe seyreklik düzeyi azalmaktadır.

- S2. İkinci gruptaki simülasyon çalışmalarında aktif değişkenlerin katsayılarının büyüklüğü eşit alınmış, aktif olmayan değişkenlerin sayısı ve konumu değiştirilerek seyreklik ve konumun etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir. Bu gruptaki simülasyon çalışmalarında, gerçek katsayı vektörü  $\beta = [a, \mathbf{0}_k, a, \mathbf{0}_k, \dots, a, \mathbf{0}_k]$  formuna sahiptir. Burada  $a$  sinyal değerini (aktif değişken katsayısının büyüklüğü),  $k$  ise sıfır vektörünün boyutunu göstermektedir.  $k$ 'nın değeri gerçek katsayı vektörünün seyreklik düzeyini temsil etmektedir. Bu çalışmada  $a = 1, 3, 9$  ve  $k = 1, 4, 9$  değerleri göz önüne alınmıştır.

Ayar parametresi tahmini ve performans kriterlerinin hesaplanması için veri kümesinin eğitim değerlendirme ve test kümelerine ayrıştırılması yaygındır [8, 24]. Öncelikle karşılaştırılacak cezalı regresyon yöntemleri seçilen ayar parametresi değerlerinde eğitime tabi tutulur. Bu modeller için hata kareler ortalaması değerlendirme kümesi üzerinde hesaplanır. Değerlendirme kümesinde en küçük hata kareler ortalamasına sahip model en iyi model olarak belirlenir. Oluşturulan modellerin performansı ise test kümesi üzerinde hata kareler ortalaması hesaplanarak tespit edilir.

Bu çalışmada, her bir simülasyon çalışması için bağımsız olarak 100 birimlik eğitim, 100 birimlik değerlendirme ve 400 birimlik test kümesi oluşturulmuştur. Denklem (1)'deki doğrusal regresyon modelinde hataların standart sapması [7]'de olduğu gibi  $\sigma = 3$

alınmıştır. Elastik netin ceza fonksiyonu ridge ve LASSO yöntemlerinin ceza fonksiyonlarının konveks bir bileşimi olup burada elastik netin ridge ve LASSO yöntemlerinden farklılık düzeyini gözlemlemek için  $\alpha = 0.5$  seçilmiştir. Ayrıca SCAD ve MCP'nin ikinci ayar parametresinin değeri R'nin ncvreg [23] paketinde varsayılan değerler olan  $\gamma_{SCAD} = 3.7$  ve  $\gamma_{MCP} = 3$  olarak seçilmiştir.

Cezalı regresyon yöntemleri ile oluşturulan modellerin performanslarının karşılaştırılmasında çeşitli kriterler kullanılmıştır.  $\Sigma$ , açıklayıcı değişkenlerin kovaryans matrisi ve  $\tilde{\beta}$ , ilgili cezalı regresyon yönteminin katsayılar vektörünü temsil etmek üzere, test kümesi üzerinde test kümesi hata kareler ortalaması

$$TMSE = (\beta - \tilde{\beta})^T \Sigma (\beta - \tilde{\beta})$$

modellerin ön tahmindeki performanslarını karşılaştırmak için kullanılmıştır. Her bir yönteme dayalı olarak tahmin edilen aktif kümeler elde edilmiştir. Buna dayalı olarak her bir cezalı regresyon yöntemi tarafından hatalı bir şekilde aktif kümeyle alınan veya aktif kümeyle alınmayan açıklayıcı değişkenlerin oranı olarak tanımlanan yanlış sınıflama oranı ve gerçekte aktif kümenin dışında olmasına rağmen aktif kümede tahmin edilen açıklayıcı değişkenlerin oranı olarak tanımlanan yanlış pozitif oranı yöntemlerin değişken seçimindeki performansının bir göstergesi olarak verilmiştir. Son olarak her bir yönteme dayalı olarak elde edilen aktif küme büyüklükleri rapor edilmiştir.

Simülasyon çalışmalarındaki hesaplamalar için R yazılımında bulunan glmnet [20] ve ncvreg [23] paketlerinden faydalanılmıştır.

### 3. Bulgular ve tartışma

S1 grubu simülasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'e göre korelasyon miktarı orta düzeyde iken değişken seçimi yapabilen yöntemler tüm seyreklik değerlerinde, ridge regresyona göre daima daha iyi bir TMSE değeri vermiştir. Korelasyon miktarı yüksek olduğunda U-LASSO, MCP ve SCAD yöntemlerinde bu sonucun aksi bir durum söz konusu iken LASSO ve ENET ( $t = 10, 20, 30$ ), ridge yöntemine göre daha iyi bir TMSE değeri vermiştir. Seyrek olmayan değerde ( $t = 40$ ) yüksek korelasyonlu durumda ENET ve ridge yöntemlerinin TMSE performansı diğer yöntemlerden daha yüksektir. ENET içerdiği  $\ell_2$  norma dayalı terim nedeniyle diğer değişken seçimi yapabilen yöntemlere göre yüksek korelasyondan daha az etkilenmiştir. Ayrıca bu gruptaki simülasyon çalışmalarında genel olarak konveks cezalı regresyon yöntemleri, konveks olmayan cezalı regresyon yöntemlerine göre daha iyi bir TMSE değeri üretmiştir.

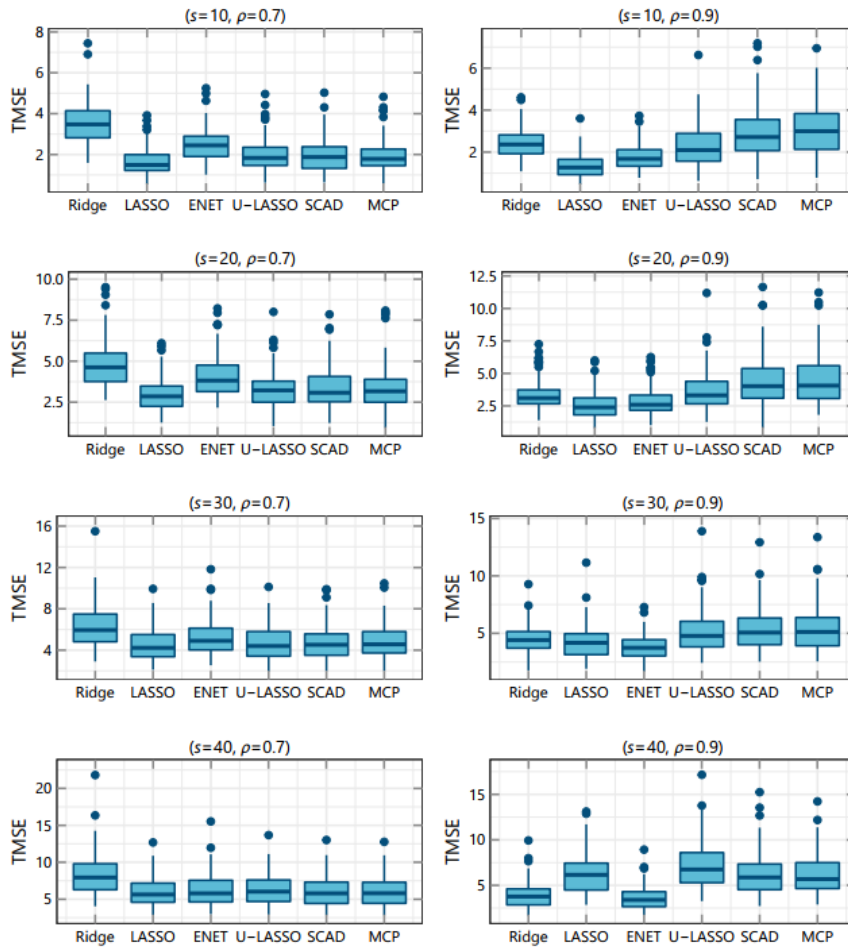
S1 grubundaki simülasyon çalışmalarında  $t = 40$  durumunda hiçbir gerçek katsayı değeri sıfır olmadığından dolayı bu değere karşılık gelen yanlış sınıflama oranı ve yanlış pozitif oranı rapor edilmemiştir. Bu ölçüler bakımından korelasyon orta düzeyde iken konveks olmayan ceza terimli yöntemlerin daha iyi olduğu söylenebilir. Yüksek korelasyon düzeyinde ise genel olarak LASSO ve U-LASSO konveks cezalı regresyon yöntemleri daha iyi bir sonuç vermiştir. Ayrıca aktif küme büyüklüğü açısından  $t$ 'nin küçük değerlerinde konveks olmayan ceza terimli yöntemlerin gerçek seyreklik düzeyine daha yakın bir model verdiği ifade edilebilir.

Tablo 1. S1 grubu simülasyon çalışmalarında tahmin edicilerin kalite ölçüleri.

$s$	$\rho$	Yöntem	Medyan TMSE	Standart Sapma	Yanlış Sınıflama Oranı	Yanlış Pozitif Oranı	Aktif Küme Büyüklüğü
10	0.7	Ridge	3.4754	0.12	0.75	1.00	40
		LASSO	1.4887	0.07	0.18	0.23	16
		ENET	2.4481	0.09	0.50	0.67	30
		U-LASSO	1.8351	0.07	0.11	0.10	12
		SCAD	1.8739	0.16	0.15	0.17	14
		MCP	1.7874	0.06	0.10	0.07	11
10	0.9	Ridge	2.3649	0.07	0.75	1.00	40
		LASSO	1.2689	0.08	0.13	0.15	14
		ENET	1.6822	0.06	0.43	0.57	26.5
		U-LASSO	2.0993	0.11	0.19	0.20	14
		SCAD	2.7183	0.14	0.18	0.13	11
		MCP	2.9990	0.12	0.15	0.10	11
20	0.7	Ridge	4.6240	0.21	0.50	1.00	40
		LASSO	2.8527	0.08	0.15	0.30	26
		ENET	3.8164	0.2	0.43	0.85	37
		U-LASSO	3.2217	0.12	0.13	0.20	23
		SCAD	3.0752	0.16	0.13	0.20	23
		MCP	3.1644	0.14	0.10	0.10	21
20	0.9	Ridge	3.1012	0.1	0.50	1.00	40
		LASSO	2.3856	0.13	0.11	0.20	23
		ENET	2.5858	0.1	0.38	0.75	35
		U-LASSO	3.3111	0.13	0.18	0.30	24
		SCAD	4.0199	0.27	0.18	0.25	23
		MCP	4.0599	0.15	0.15	0.20	22
30	0.7	Ridge	5.9456	0.28	0.25	1.00	40
		LASSO	4.2287	0.16	0.13	0.45	34
		ENET	4.9067	0.24	0.23	0.90	39
		U-LASSO	4.4028	0.16	0.10	0.30	32
		SCAD	4.5254	0.21	0.08	0.20	31
		MCP	4.5683	0.2	0.08	0.10	30.5
30	0.9	Ridge	4.4145	0.11	0.25	1.00	40
		LASSO	4.1680	0.21	0.13	0.40	33
		ENET	3.7363	0.14	0.23	0.90	39
		U-LASSO	4.7749	0.25	0.13	0.40	33
		SCAD	5.0621	0.27	0.15	0.50	34
		MCP	5.1185	0.29	0.15	0.50	34
40	0.7	Ridge	7.9400	0.32	-	-	40
		LASSO	5.6404	0.23	-	-	40
		ENET	5.7942	0.33	-	-	40
		U-LASSO	6.0300	0.33	-	-	40
		SCAD	5.7938	0.31	-	-	40
		MCP	5.8115	0.3	-	-	40

40	0.9	Ridge	3.7707	0.17	-	-	40
		LASSO	6.1566	0.36	-	-	40
		ENET	3.4036	0.26	-	-	40
		U-LASSO	6.7458	0.31	-	-	39
		SCAD	5.8725	0.41	-	-	39
		MCP	5.6913	0.36	-	-	39

Şekil 1, S1 grubundaki simülasyon çalışmalarında Ridge, LASSO, ENET, U-LASSO, MCP ve SCAD cezalı regresyon yöntemleri ile elde edilen TMSE değerlerinin kutu grafiklerini göstermektedir. Kutu grafikleri, Tablo 1'e dayalı olarak verilen S1 grubu simülasyon çalışmalarının çıkarımlarını desteklemektedir.



Şekil 1. S1 grubu simülasyon çalışmalarında TMSE değerlerinin kutu grafikleri

S2 grubu simülasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlar Tablo 2,3,4'te verilmiştir. Tablo 2,3,4'e göre tüm seyreklik düzeylerinde sinyallerin küçük değerleri için konveks cezalı regresyon yöntemlerinin daha iyi bir TMSE değerine sahip olduğu görülmektedir. Sinyal değerleri büyüdükçe, konveks olmayan cezalı regresyon yöntemlerinin performansı kayda değer ölçüde artmaktadır. Ayrıca büyük sinyal durumunda ridge regresyon dışında hem konveks hem de konveks olmayan cezalı regresyon yöntemlerinin yüksek korelasyon miktarından olumsuz etkilendiği söylenebilir.

Yanlış sınıflama oranı, yanlış pozitif oranı ve aktif küme büyüklüğü bakımından S2 grubundaki simülasyon çalışmalarında konveks olmayan cezalı regresyon yöntemlerinin

daha iyi bir performans gösterdiği görülmektedir. Sinyal değerleri büyük olduğunda, konveks olmayan cezalı regresyon yöntemleri, gerçek katsayı vektöründe bulunan orijinal değişkenleri doğru bir şekilde tahmin edebilmektedir. Değişken seçimi performansı bakımından bu yöntemleri konveks cezalı regresyon yöntemlerinden U-LASSO yöntemi takip etmektedir. LASSO ve ENET'in değişken seçiminde bu yöntemlere göre daha kötü bir sonuç verdiği söylenebilir.

Tablo 2. S2 grubu simülasyon çalışmalarında tahmin edicilerin kalite ölçüleri ( $k = 1$ ).

$\alpha$	$\rho$	Yöntem	Medyan TMSE	Standart Sapma	Yanlış Sınıflama Oranı	Yanlış Pozitif Oranı	Aktif Küme Büyüklüğü
1	0.7	Ridge	2.6575	0.09	0.50	1.00	40
		LASSO	3.4971	0.16	0.33	0.55	30
		ENET	2.9179	0.13	0.40	0.75	35
		U-LASSO	4.6678	0.22	0.30	0.40	25
		SCAD	5.2912	0.24	0.35	0.55	28
		MCP	5.2358	0.31	0.34	0.45	26
1	0.9	Ridge	1.3135	0.03	0.50	1.00	40
		LASSO	2.3949	0.06	0.35	0.50	25
		ENET	1.6386	0.06	0.45	0.85	36
		U-LASSO	3.3703	0.12	0.35	0.40	20
		SCAD	4.1812	0.18	0.40	0.30	16
		MCP	3.9923	0.11	0.40	0.25	15
3	0.7	Ridge	5.2265	0.15	0.50	1.00	40
		LASSO	3.8831	0.16	0.30	0.60	32
		ENET	4.7422	0.15	0.45	0.90	38
		U-LASSO	3.0267	0.25	0.10	0.20	24
		SCAD	2.3700	0.09	0.03	0.05	21
		MCP	2.4014	0.12	0.00	0.00	20
3	0.9	Ridge	3.9098	0.12	0.50	1.00	40
		LASSO	3.5183	0.08	0.29	0.55	31
		ENET	3.7220	0.11	0.45	0.90	38
		U-LASSO	4.1123	0.22	0.20	0.40	27
		SCAD	4.8262	0.20	0.23	0.40	27
		MCP	4.8214	0.28	0.23	0.40	26
9	0.7	Ridge	15.0754	0.46	0.50	1.00	40
		LASSO	3.8879	0.17	0.30	0.60	32
		ENET	8.3847	0.42	0.48	0.95	39
		U-LASSO	2.2572	0.15	0.03	0.05	21
		SCAD	2.1574	0.10	0.00	0.00	20
		MCP	2.1203	0.11	0.00	0.00	20
9	0.9	Ridge	14.7462	0.34	0.50	1.00	40
		LASSO	3.5751	0.08	0.28	0.55	31
		ENET	9.2747	0.31	0.49	0.98	39.5
		U-LASSO	2.4309	0.11	0.03	0.05	21
		SCAD	2.4714	0.09	0.03	0.05	21
		MCP	2.7945	0.21	0.03	0.05	21



Tablo 3. S2 grubu simülasyon çalışmalarında tahmin edicilerin kalite ölçüleri ( $k = 4$ ).

$\alpha$	$\rho$	Yöntem	Medyan TMSE	Standart Sapma	Yanlış Sınıflama Oranı	Yanlış Pozitif Oranı	Aktif Küme Büyüklüğü
1	0.7	Ridge	2.1533	0.07	0.80	1.00	40
		LASSO	1.8979	0.14	0.33	0.38	19
		ENET	1.9331	0.1	0.44	0.53	25
		U-LASSO	2.3974	0.13	0.25	0.25	15
		SCAD	2.7359	0.13	0.20	0.19	12
		MCP	2.7313	0.19	0.15	0.13	11
		1	0.9	Ridge	1.1389	0.05	0.80
LASSO	1.4123			0.04	0.30	0.31	15
ENET	1.1998			0.04	0.48	0.56	25
U-LASSO	1.8746			0.05	0.28	0.22	11
SCAD	2.4490			0.09	0.23	0.16	8
MCP	2.4863			0.11	0.23	0.13	7
3	0.7			Ridge	4.2020	0.13	0.80
		LASSO	1.9720	0.12	0.33	0.41	21
		ENET	3.3934	0.12	0.65	0.81	34
		U-LASSO	1.1044	0.07	0.08	0.09	11
		SCAD	0.7945	0.05	0.03	0.03	9
		MCP	0.8122	0.05	0.00	0.00	8
		3	0.9	Ridge	3.1102	0.07	0.80
LASSO	2.0007			0.1	0.30	0.36	19.5
ENET	2.6300			0.09	0.60	0.75	32
U-LASSO	1.8662			0.16	0.13	0.16	12
SCAD	1.9288			0.2	0.08	0.09	10
MCP	2.4477			0.18	0.10	0.09	10
9	0.7			Ridge	8.4471	0.29	0.80
		LASSO	1.9735	0.12	0.33	0.41	21
		ENET	5.2776	0.24	0.73	0.91	37
		U-LASSO	0.8452	0.06	0.03	0.03	9
		SCAD	0.7744	0.04	0.00	0.00	8
		MCP	0.7550	0.04	0.00	0.00	8
		9	0.9	Ridge	8.4469	0.21	0.80
LASSO	1.9876			0.1	0.28	0.34	19
ENET	5.2471			0.2	0.73	0.91	37
U-LASSO	0.9076			0.06	0.03	0.03	9
SCAD	0.7953			0.05	0.00	0.00	8
MCP	0.8047			0.06	0.00	0.00	8

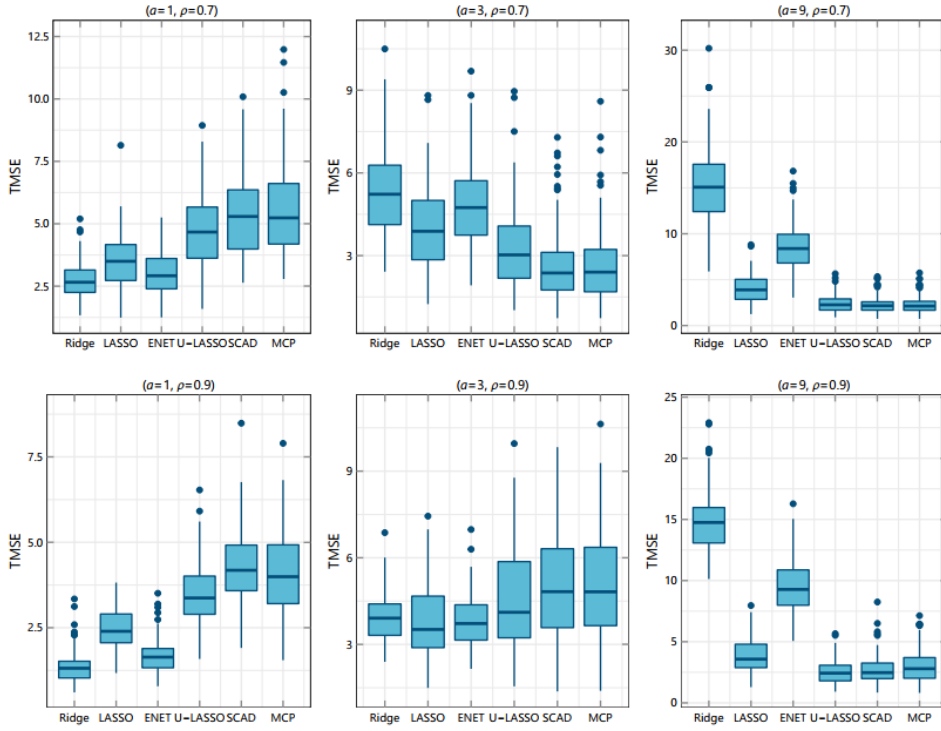
Tablo 4. S2 grubu simülasyon çalışmalarında tahmin edicilerin kalite ölçüleri ( $k = 9$ ).

$a$	$\rho$	Yöntem	Medyan TMSE	Standart Sapma	Yanlış Sınıflama Oranı	Yanlış Pozitif Oranı	Aktif Küme Büyüklüğü
1	0.7	Ridge	1.5891	0.03	0.90	1.00	40
		LASSO	1.1860	0.07	0.25	0.25	13
		ENET	1.2246	0.05	0.35	0.39	18
		U-LASSO	1.4559	0.08	0.20	0.17	9
		SCAD	1.4318	0.07	0.15	0.17	9
		MCP	1.3318	0.11	0.10	0.08	6
1	0.9	Ridge	0.9749	0.04	0.90	1.00	40
		LASSO	1.0032	0.06	0.23	0.22	11
		ENET	0.9453	0.05	0.35	0.39	17.5
		U-LASSO	1.2402	0.07	0.20	0.17	8
		SCAD	1.4601	0.09	0.13	0.08	6
		MCP	1.5363	0.06	0.10	0.08	4
3	0.7	Ridge	3.5903	0.10	0.90	1.00	40
		LASSO	1.2542	0.07	0.23	0.25	13
		ENET	2.4609	0.11	0.63	0.69	29
		U-LASSO	0.5620	0.06	0.05	0.06	6
		SCAD	0.3893	0.03	0.05	0.06	6
		MCP	0.4291	0.04	0.03	0.03	5
3	0.9	Ridge	2.4880	0.08	0.90	1.00	40
		LASSO	1.1827	0.06	0.20	0.22	12
		ENET	1.9369	0.08	0.55	0.61	26
		U-LASSO	0.8650	0.07	0.09	0.08	7
		SCAD	0.4661	0.04	0.03	0.03	5
		MCP	0.6660	0.09	0.03	0.03	5
9	0.7	Ridge	5.9307	0.23	0.90	1.00	40
		LASSO	1.2536	0.07	0.23	0.25	13
		ENET	4.1913	0.22	0.81	0.90	36.5
		U-LASSO	0.3579	0.06	0.03	0.03	5
		SCAD	0.3433	0.03	0.00	0.00	4
		MCP	0.3564	0.04	0.00	0.00	4
9	0.9	Ridge	5.3943	0.17	0.90	1.00	40
		LASSO	1.1881	0.06	0.20	0.22	12
		ENET	3.8397	0.15	0.78	0.86	35
		U-LASSO	0.4080	0.02	0.03	0.03	5
		SCAD	0.3440	0.03	0.00	0.00	4
		MCP	0.3492	0.03	0.00	0.00	4

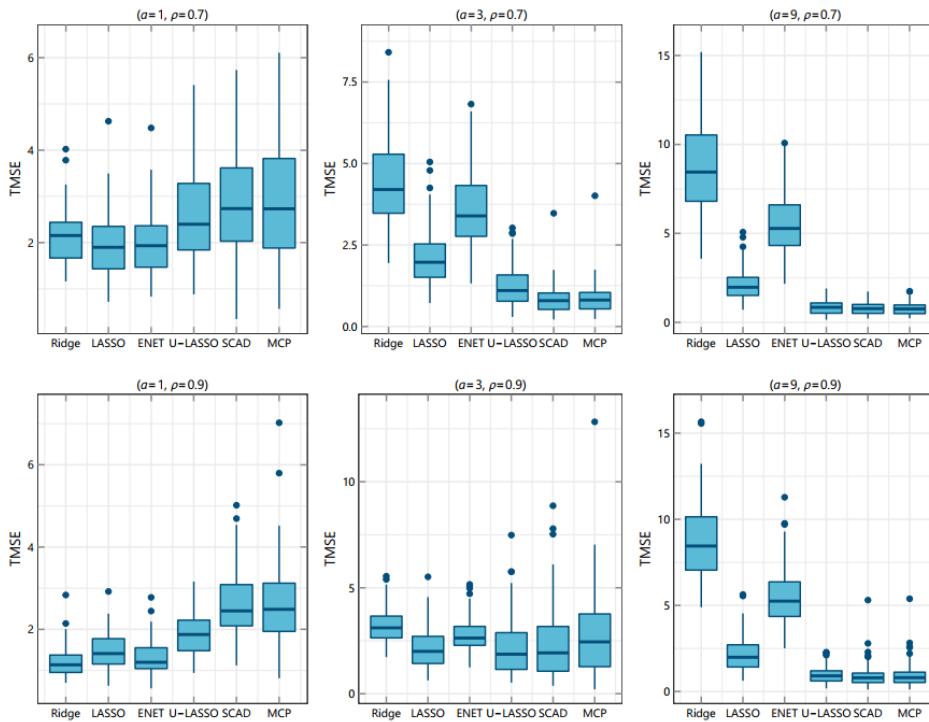
S2 grubundaki simülasyon çalışmalarında Ridge, LASSO, ENET, U-LASSO, SCAD ve MCP'den elde edilen TMSE değerlerinin kutu grafikleri Şekil 2,3,4'te verilmiştir. Kutu grafikleri, Tablo 2,3,4'te verilen analiz sonuçları ile uyumludur.

Bu çalışmanın bulguları ridge, LASSO, ENET, U-LASSO, SCAD ve MCP cezalı regresyon yöntemlerine dayalı olarak elde edilmiştir. Literatürde, katsayı vektörüne dair

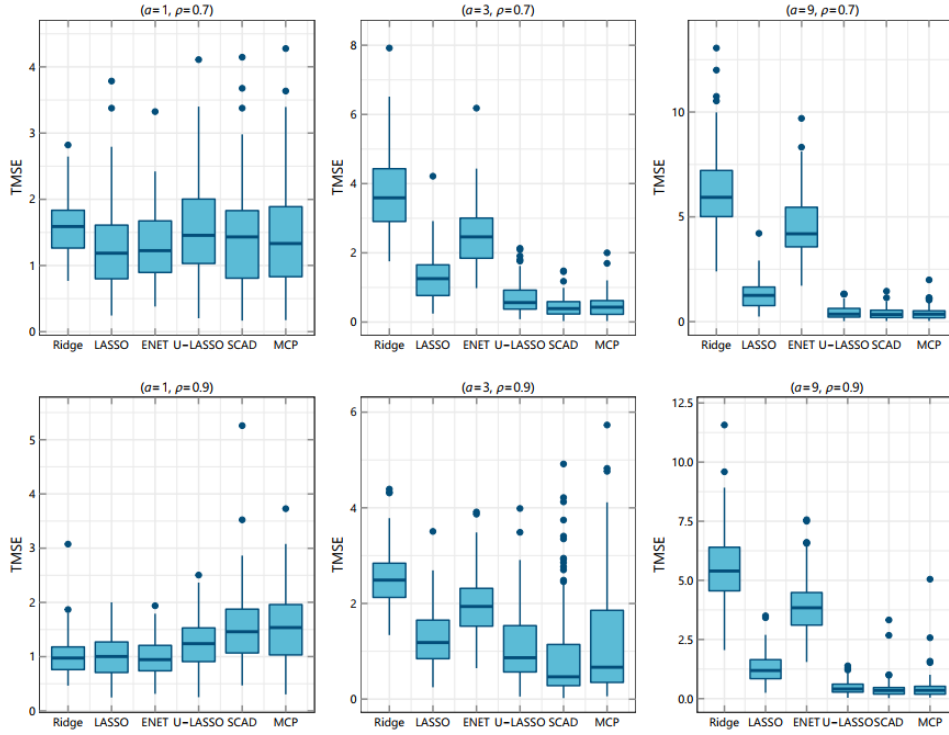
önsel bilginin kullanımını içeren Genç-Özkale [25], shift-ridge, shift-lasso [26] ve önsel LASSO [27] gibi LASSO'nun genelleştirmeleri olan tahmin ediciler de bulunmaktadır. Ayrıca veri kümesinin yapısına bağlı olarak ön tahminde başarılı sonuçlar veren grup LASSO [28] ve kaynaşmış LASSO [29] tahmin edicileri mevcuttur. Söz konusu tahmin edicilerin bu çalışmada incelenen tahmin edicilere göre performanslarının karşılaştırılması ayrı bir çalışmanın konusudur.



Şekil 2. S2 grubu simülasyon çalışmalarında TMSE değerlerinin kutu grafikleri ( $k = 1$ ).



Şekil 3. S2 grubu simülasyon çalışmalarında TMSE değerlerinin kutu grafikleri ( $k = 4$ ).



Şekil 4. S2 grubu simülasyon çalışmalarında TMSE değerlerinin kutu grafikleri ( $k = 9$ ).

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, gerçek katsayı vektörünün özelliklerine bağlı olarak konveks ve konveks olmayan cezalı regresyon yöntemlerinin doğrusal regresyon modelinin performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Model katsayılarının büyüklüğü, konumu ve sinyal değerleri göz önüne alınarak; ridge, LASSO, ENET ve U-LASSO konveks cezalı regresyon yöntemleri ile SCAD ve MCP konveks olmayan cezalı regresyon yöntemlerinin ayrıntılı olarak bir karşılaştırması yapılmıştır. TMSE karşılaştırma kriterinden elde edilen sonuçlara göre modelin gerçek katsayı vektörünün yapısına bağlı olarak konveks ve konveks olmayan cezalı regresyon yöntemlerinin ön tahmin performansı gerçek katsayı vektörünün yapısından büyük ölçüde etkilenmektedir. Yanlış sınıflama oranı, yanlış pozitif oranı ve aktif küme büyüklüğü ölçülerine göre gerçek katsayı vektörü ve veri kümesinin özellikleri, konveks ve konveks olmayan cezalı regresyon yöntemlerinin değişken seçimindeki başarısı üzerinde etkilidir. Gerçekleştirilen simülasyon çalışmaları ile seyreklik ve sinyal büyüklüğü bakımından farklı yapıda olan modellerde, tahminleme ve değişken seçimi konusunda konveks ve konveks olmayan cezalı regresyon yöntemlerinin güçlü ve zayıf yönleri ortaya konmuştur.

#### Kaynaklar

- [1] Hoerl, A.E., Kennard, R.W., Ridge regression: Biased estimation for nonorthogonal problems. *Technometrics*, 1970;12(1):55-67.
- [2] Rao, C.R., Toutenburg, H., Linear models: Springer; 1995.

- [3] Sarkar, N., A new estimator combining the ridge regression and the restricted least squares methods of estimation. **Communications in Statistics-Theory and Methods**, 1992;21(7):1987-2000.
- [4] Miller, A., **Subset Selection in Regression**: CRC Press; 2002.
- [5] Breiman, L., Better subset regression using the nonnegative garrote. **Technometrics**, 1995;37(4):373-384.
- [6] Frank, L.E., Friedman, J.H., A statistical view of some chemometrics regression tools. **Technometrics**. 1993;35(2):109-135.
- [7] Tibshirani, R., Regression shrinkage and selection via the lasso. **Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)**. 1996;58(1):267-288.
- [8] Zou, H., Hastie, T., Regularization and variable selection via the elastic net. **Journal of the Royal Statistical Society: series B (Methodological)**. 2005;67(2):301-320.
- [9] Zou, H., The adaptive lasso and its oracle properties. **Journal of the American Statistical Association**. 2006;101(476):1418-1429.
- [10] Fan, J., Li, R., Variable selection via nonconcave penalized likelihood and its oracle properties. **Journal of the American Statistical Association**. 2001;96(456):1348-1360.
- [11] Meinshausen, N., Yu, B., Lasso-type recovery of sparse representations for high-dimensional data. **The Annals of Statistics**. 2009;37(1):246-270.
- [12] Johnstone, I.M., Titterton, D.M., Statistical challenges of high-dimensional data. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**. 2009;367(1906):4237-4253.
- [13] Shahriari, S., Faria, S., Gonçalves A.M., Variable selection methods in high-dimensional regression—A simulation study. **Communications in Statistics-Simulation and Computation**. 2015;44(10):2548-2561.
- [14] Ahmed, S.E., Kim, H., Yıldırım, G., Yüzbaşı, B., High-Dimensional Regression Under Correlated Design: An Extensive Simulation Study. **International Workshop on Matrices and Statistics**, Springer. 2016:145-175.
- [15] Genç, M., Bir Simülasyon Çalışması ile Cezalı Regresyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması. **Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**. 2022;9(1):80-91.
- [16] Genç, M., Özbilen, Ö., The Effect of the Second Stage Estimator on Model Performance in Post-LASSO Method. **Turkish Journal of Science and Technology**. 2023;18(2):319-330.
- [17] Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J., The elements of statistical learning. New York: Springer series in statistics; 2001.
- [18] Efron, B., Hastie, T., Johnstone, I., Tibshirani R., Least angle regression. **The Annals of Statistics**. 2004;32(2):407-499.
- [19] Boyd, S., Parikh, N., Chu, E., Peleato, B., Eckstein, J., Distributed optimization and statistical learning via the alternating direction method of multipliers. **Foundations and Trends in Machine learning**. 2011;3(1):1-122.
- [20] Friedman, J., Hastie, T., Tibshirani, R., Regularization paths for generalized linear models via coordinate descent. **Journal of Statistical Software**. 2010;33(1):1-22.

- [21] Zhang, C.H., Nearly unbiased variable selection under minimax concave penalty. **The Annals of Statistics**. 2010;38(2):894-942.
- [22] Zou, H., Li, R., One-step sparse estimates in nonconcave penalized likelihood models. **The Annals of Statistics**. 2008;36(4):1509-1533.
- [23] Breheny, P., Huang, J., Coordinate descent algorithms for nonconvex penalized regression, with applications to biological feature selection. **The Annals of Applied Statistics**. 2011;5(1):232-253.
- [24] Hussami, N., Tibshirani, R., A component lasso. **Canadian Journal of Statistics**. 2015;43(4):624-646.
- [25] Genç, M., Özkale, M. R., Regularization and variable selection with triple shrinkage in linear regression: a generalization of lasso. **Communications in Statistics-Simulation and Computation**. 2023.
- [26] Genç, M., Özkale, M. R., Usage of the GO estimator in high dimensional linear models. **Computational Statistics**. 2021;36(1):217-239.
- [27] Jiang, Y., Variable selection with prior information for generalized linear models via the prior lasso method. **Journal of the American Statistical Association**. 2016;111(513):355-376.
- [28] Yuan, M., Lin, Y., Model selection and estimation in regression with grouped variables. **Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)**. 2006;68(1):49-67.
- [29] Tibshirani, M., Saunders, M., Rosset, S., Zhu, J., Knight, K., Sparsity and smoothness via the fused lasso. **Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)**. 2005;67(1): 91-108.

# Some new properties on $N$ semigroups

Nurten URLU OZALAN\*

KTO Karatay University, Faculty of Engineering and Natural Science, Konya

Geliş Tarihi (Received Date): 18.05.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 25.10.2023

## Abstract

*In this study we first show that  $N$  satisfies two important homological properties, namely Rees short exact sequence and  $d$  short five lemma. In addition, by defining inversive semigroup varieties of  $N$  we prove that strictly inverse semigroup  $N$  is isomorphic to the spined product of  $(C)$ -inversive semigroup and the idempotent semigroup of  $N$ . Moreover, we give some consequences of the results to make a detailed classification over  $N$ . It has been recently defined a new semigroup  $N$  based on Rees matrix and completely 0-simple semigroups. Further, it has been also proved finiteness conditions and the existence of some fundamental properties over  $N$ .*

**Keywords:** Rees matrix semigroup, spined product, completely 0-simple Semigroup.

## $N$ yarırubunu üzerinde bazı yeni özellikler

### Öz

*Bu çalışmada ilk olarak  $N$ 'nin iki önemli homolojik özelliği, yani Rees kısa tam dizisi ve kısa beşli lemmayı sağladığı gösterilmiştir. Ek olarak,  $N$ 'nin ters yarı grup çeşitlerini tanımlayarak, kesin olarak ters yarırubunu  $N$ 'nin  $(C)$ -ters yarırubunu ve  $N$ 'nin idempotent yarırubununun (spined) döndürülmüş çarpımına izomorfik olduğu kanıtlanmıştır. Ayrıca,  $N$  üzerinden ayrıntılı bir sınıflandırma yapmak için bazı sonuçlar verilmiştir. Son zamanlarda Rees matrisine ve tam 0-basit yarı gruplara dayalı yeni bir yarı grup olan  $N$  tanımlanmıştır. Dahası  $N$  üzerinde bazı temel özelliklerin ve sonluluk koşullarının varlığı da kanıtlanmıştır.*

**Anahtar kelimeler:** Rees matris yarırubunu, döndürülmüş çarpımlar, tam basit sıfır yarırubunu.

\* Nurten URLU ÖZALAN, nurten.ozalan@karatay.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-3022-350X>

## 1. Introduction and Preliminaries

Since their introduction into the mathematical literature in the early 1900s, semigroups have become one of the most-studied classes of algebra with many mathematician devoted to their understanding. Such important objects of study have naturally given rise to a number of different methods for their investigation. So, very important semigroup classes is emerged.

In [11], we created a new semigroup class and denoted it by  $N$ . When a new semigroup appears, it is necessary to investigate the properties of this semigroup. For example, in [13] and [14] the authors considered a new product and gave some properties on a special product of semigroups (and monoids) [1]. In this paper we more deeply investigate the place  $N$  in the literature as a continuation of the work [11].

It is a well known fact that, in group theory, a group extension is a general means of describing a group in terms of a particular normal subgroup and quotient group. If  $B$  and  $A$  are two groups, then  $G$  is an extension of  $B$  by  $A$  if there is a short exact sequence  $1 \rightarrow A \rightarrow G \rightarrow B \rightarrow 1$ .

Group extensions arise in the context of the extension problem, where the groups  $B$  and  $A$  are known and the properties of  $G$  are to be determined. If there is a short exact sequence for the semigroup  $N$ , this sequence gives an idea about the, just like in the  $G$  group. Therefore, it is a question of wondering whether a short exact sequence can be created for the semigroup  $N$ . In order to set the scene for what follows, it is necessary to give a definition short exact sequence of semigroup or monoid. Chen and Shum [3] introduced Rees short exact sequence of acts over monoids. In [6], the authors investigated conditions under which flatness properties of right acts  $A$  and  $C$  in the Rees short exact sequence  $0 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow 0$  can be transferred to  $B$ . It is clear that short exact sequence which is called Rees short exact sequence over monoid reveals many features. So it makes sense to try to define the Rees short exact sequence for  $N$  and that is what we will do in Section 2.1. (see Theorem 2.1.) in below.

Spined products of semigroups were first defined and studied by Kimura [7]. After that, spined products have been considered many time as predominantly those a band and a semilattice of semigroups with respect to their common semilattice homomorphic image [2]. In this paper we show that  $N$  is isomorphic to spined product of Rees matrix semigroup and completely 0-simple semigroup (see Theorem 2.2.)

In [6] the authors presented short five lemma over monoid and also defined some detailed information on it. In this paper, we will create a commutative diagram by combining properties of short five lemma and spined product of  $N$  (see Corollory 2.3.)

The classification of types of semigroup has normally arisen only as an incidental problem since the difficulty of the classification problem in general. So any classification of semigroups naturally important. In [11] it has been proved that the semigroup  $N$  is completely inverse and regular. As a continuation of this classification in [11] we will continue to make some new classifications in here. We will prove that  $N$  is strictly inversive semigroup (in Theorem 2.4 and also it is a (C)-inversive semigroup (in Theorem 2.5). Furthermore we will state some corollaries as a result of these classifications (see Corollaries 2.6., 2.7. and 2.8.)



Throughout this paper all notations and terminologies are taken from [11]. For other undefined terminologies and definitions, the reader is referred to [4-5].

Now, we will recall some fundamental concepts and definitions which will be needed in this paper. First, let us recall the definition of the semigroup  $N$  given recently in [11]. We consider the following mapping

$$\gamma: (M_R \times M_C) \star (M_R \times M_C) \rightarrow (M_R \times M_C)$$

that has the binary operation  $\star$  as

$$[a, b, c), (d, e, f)] \star [(k, l, m), (x, y, z)] = \begin{cases} ((a, bp_{\{ck\}}l, m), 0) & \text{if } p_{\{ck\}} \neq 0 \text{ and } p'_{\{fx\}} = 0 \\ (0, (d, ep'_{\{fx\}}y, z)) & \text{if } p_{\{ck\}} = 0 \text{ and } p'_{\{fx\}} \neq 0 \\ ((a, bp_{\{ck\}}l, m), (d, ep'_{\{fx\}}y, z)) & \text{if } p_{\{ck\}} \neq 0 \text{ and } p'_{\{fx\}} \neq 0 \\ (0_R, 0_C) & \text{if } p_{\{ck\}} = 0 \text{ and } p'_{\{fx\}} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

where  $(a, b, c), (k, l, m)$  in element  $M_R$ ,  $(d, e, f), (x, y, z)$  in element  $M_C$ . In here completely 0-simple semigroup  $M^0[G^{\{0\}}; I, J; P']$  defined by the set  $I \times G^{\{0\}} \times J$  and Rees matrix semigroup  $M^0[S^{\{0\}}; I, J; P]$  defined by the set  $I \times S^{\{0\}} \times J$  are denoted by the notations  $M_R$  and  $M_C$ , respectively.

Then the set  $M_R \times M_C$  defines the semigroup  $M^0[S^{\{0\}}, G^0; M_R, M_C; P, P']$  using the operation given in (1). For simplicity, we denote this new semigroup by  $N$ . More detailed information can be found in [11]. It is obvious that a detailed checking implies this binary operation does not turns out to be componentwise multiplication.

In (1) again for simplicity, we will use the shortcuts  $(r, 0)$  for the first line,  $(0, c)$  for the second line,  $(r, c)$  for the third line and  $(0, 0)$  for the last line, respectively. Therefore each of  $r, c$  and  $0$  contains a triple in itself. For example  $(0, 0)$  means  $[(a, 0_S, b), (c, 0_G, d)]$ .

**Definition 1.1.** [10] A semigroup is called an externally commutative semigroup if it satisfies the identity  $axb = bxa$ .

**Lemma 1.2.**  $(N, \star)$  is commutative semigroup if the following conditions are satisfied:

- (i) The index sets  $I$  and  $J$  contains an unique element.
- (ii)  $S$  is externally commutative semigroup.
- (iii)  $G$  is commutative group.

**Proof:** Suppose that  $N$  is commute, i.e. for every  $x', y' \in N$   $x' \star y' = y' \star x'$ . According to [11, Remark 2.1.] it is well known that third line of operation  $\star$  defines the general situation. For this reason, we consider the form  $(r, c)$  which is the most common form among the others and clearly including other cases in (1). Therefore we have

$$[(a, b, c), (d, e, f)] \star [(x, y, z), (k, l, m)] = [(x, y, z), (k, l, m)] \star [(a, b, c), (d, e, f)]$$

$$\left[ (a, bp_{\{cx\}}y, z), (d, ep'_{\{fk\}}l, m) \right] = \left[ (x, yp_{\{za\}}b, c), (k, lp'_{\{ma\}}e, f) \right]$$

If the index sets  $I$  and  $J$  contains an unique element, i.e  $I = \{i\}$  and  $J = \{j\}$ , then we have  $a = d = x = k = i$  and  $z = m = c = f = j$ . In case the equality  $[(a, bp_{\{cx\}}y, z), (d, ep'_{\{fk\}}l, m)] = [(x, yp_{\{za\}}b, c), (k, lp'_{\{ma\}}e, f)]$  implies that  $[(i, bp_{\{ji\}}y, j), (i, ep'_{\{ji\}}l, j)] = [(i, yp_{\{ji\}}b, j), (i, lp'_{\{ji\}}e, j)]$ . It remains to show that  $bp_{\{ji\}}y = yp_{\{ji\}}b$  and  $ep'_{\{ji\}}l = lp'_{\{ji\}}e$ . If  $S$  is externally commutative semigroup, then we have  $bp_{\{ji\}}y = yp_{\{ji\}}b$ . Similarly, if  $G$  is commutative group,  $ep'_{\{ji\}}l = lp'_{\{ji\}}e$  is satisfies. Hence the result.

The following definitions will be used in the classification of  $N$ .

**Definition 1.3. [12]** A semigroup  $S$  is called strictly inverse if the set of idempotents of  $S$  is a subband of  $S$ .

**Definition 1.4. [4,5]** A semigroup  $S$  is called inverse if it is satisfies one of the following conditions.

- i.  $S$  has an idempotent and the set of idempotents of  $S$  is a subband of  $S$ .
- ii. For any element  $x$  of  $S$ , there exist an element  $x^{\{*\}}$  such that  $xx^{\{*\}} = x^{\{*\}}x$  and  $xx^{\{*\}}x = x$ .

**Definition 1.5. [12]** Let  $S$  be an inverse semigroup. If it satisfies  $xy = yx$ , then  $S$  is said to be  $(C)$  –inverse semigroup.

For a sequence of semigroup homomorphisms  $\dots \rightarrow L_S \xrightarrow{f} M_S \xrightarrow{g} N_S \rightarrow \dots$ , we said that it is  $M_S$  exact if  $M_S$  provided  $ker g = \kappa_{Imf}$ , where  $\kappa_{Imf} = (Imf \times Imf) \cup \Delta_{\{M_S\}}$  such that  $\Delta_{\{M_S\}}$  is the identity congruence on  $M_S$ . If  $L_S, M_S$  and  $N_S$  are exact in the sequence  $0 \rightarrow L_S \rightarrow M_S \rightarrow N_S \rightarrow 0$ , then this sequence is called Rees short exact sequence.

**Lemma 1.6. [6]**

Let the following diagram be commutative with Rees short exact rows.

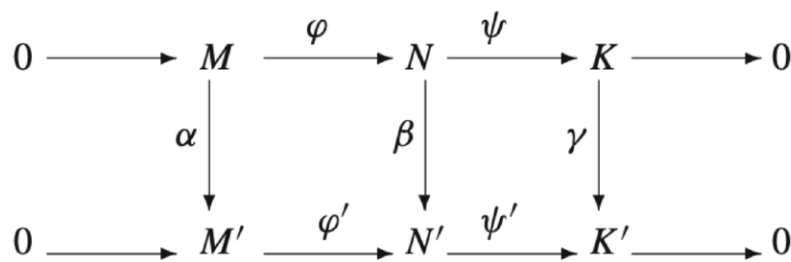


Figure 1: Commutative diagram

Then

- i. If  $\alpha$  and  $\gamma$  are monomorphism, then  $\beta$  is monomorphism.
- ii. If  $\alpha$  and  $\gamma$  are epimorphism, then  $\beta$  is epimorphism.
- iii. If  $\alpha$  and  $\gamma$  are isomorphism, then  $\beta$  is isomorphism.

If  $P$  and  $Q$  are two semigroups having a common homomorphic image  $Y$ , then the spined product of  $P$  and  $Q$  with respect to  $Y$  is  $S = \{(a, b) \in P \times Q \mid \varphi(a) = \psi(b)\}$ , where  $\varphi: P \rightarrow Y$  and  $\psi: Q \rightarrow Y$  are homomorphisms onto  $Y$  [1]. Let us notate the spined product by  $\times_S$ .

The structure of this paper is designed to obtain new properties of the semigroup structure  $N$ . It is divided into several sections, each of which serves a specific purpose and contributes to the overall understanding of our findings. Firstly we will prove that  $N$  is a Rees short exact sequence in Section 2.1 (Theorem 2.1.) After we will show that semigroup  $N$  is the spined product of  $M_R$  and  $M_C$  in Section 2.2 (Theorem 2.2.). Combining the results obtained in Section 2.1 and 2.2, we will found an important result (in Corollary 2.3.). In Section 2.3, we will prove that  $N^C \times_S E(N) \cong N'$  (in Corollary 2.6.) In fact, to obtain Corollary 2.6., we proved Lemma 1.2. and Theorem 2.5., we stated and proved necessary and sufficient conditions  $N$  is strictly inversive semigroup (in Theorem 2.4.). Combining some results in this paper and [11, Theorem 2.7.] we state some further results in Corollaries 2.7. and 2.8.

## 2. Results

In this section we give our main results with different subsections.  $N$  is commutative semigroup, unless otherwise stated.

### 2.1. $N$ satisfies short exact sequence $0 \rightarrow M_R \rightarrow N \rightarrow M_C \rightarrow 0$

**Theorem 2.1.**  $0 \xrightarrow{\alpha} M_R \xrightarrow{f} N \xrightarrow{g} M_C \xrightarrow{\beta} 0$  is a Rees short exact sequence.

**Proof:** Firstly, it must be shown that  $M_R, N$  and  $M_C$  are exact. Let us consider the mappings

$$\begin{aligned} \alpha : \quad 0 &\rightarrow M_R \\ [(i, 0_S, j), (i, 0_G, j)] &\mapsto n \star [(i, 0_S, j), (i, 0_G, j)], \\ \\ f : \quad M_R &\rightarrow N \\ [(i, s, j), (i, 0_G, j)] &\mapsto n \star [(i, s, j), (i, 0_G, j)], \end{aligned}$$

where  $n \in N$ . It is clear that  $\alpha$  is well defined. It is easily seen that  $n \star [(i, s, j), (i, 0_G, j)] \in N$ . If  $[(i, s, j), (i, 0_G, j)] = [(i, s', j), (i, 0_G, j)]$  then  $n \star [(i, s, j), (i, 0_G, j)] = n \star [(i, s', j), (i, 0_G, j)]$ . In this case  $f$  is also well defined. Clearly these mappings are all homomorphisms. The task is now to find kernels and images of these homomorphism. In fact

$$\begin{aligned} \ker f &= \{[(i, s, j), (i, 0_G, j)], [(i, s', j), (i, 0_G, j)]\} \text{ and also} \\ \kappa_{Im\alpha} &= \{[(i, 0_S, j), (i, 0_G, j)], [(i, 0_S, j), (i, 0_G, j)]\} \cup \Delta_{\{M_R\}} \\ &= \{[(i, 0_S, j), (i, 0_G, j)], [(i, 0_S, j), (i, 0_G, j)]\} \\ &\quad \cup \{[(i, s, j), (i, 0_G, j)], [(i, s', j), (i, 0_G, j)]\} = \ker f \end{aligned}$$

which implies that  $M_R$  is exact since  $kerf = \kappa_{Im\alpha}$ . On the other hand, for the mappings

$$g : N \rightarrow M_C \\ [(i, s, j), (i, g, j)] \mapsto n \star [(i, 0_S, j), (i, g, j)],$$

$$\beta : M_C \rightarrow 0 \\ [(i, 0_S, j), (i, g, j)] \mapsto n \star [(i, 0_S, j), (i, 0_G, j)],$$

where  $n \in N$ . In the same manner we can see that  $g$  and  $\beta$  are well defined. We can consider a similar process as in the following.

$$\begin{aligned} \kappa_{Im\alpha} &= (Imf \times Imf) \cup \Delta_N \\ &= [(i, xp_{\{ji\}}s, j), (i, 0_G, j)], [(i, xp_{\{ji\}}s, j), (i, 0_G, j)] \cup \Delta_N \\ &\quad \text{(here } xp_{\{ji\}}s \text{ is an element in the semigroup } S, \text{ i.e. } p_{\{ji\}}s = b \in S) \\ &= \{[(i, b, j), (i, 0_G, j)], [(i, b, j), (i, 0_G, j)]\} \cup \{[(i, s, j), (i, g, j)], [(i, s', j), (i, g', j)]\} \\ &= \{[(i, S, j), (i, G, j)], [(i, S, j), (i, G, j)]\} = ker f \end{aligned}$$

and so  $N$  is exact since  $ker g = \kappa_{Imf}$ . Similary, we have  $ker \beta = \kappa_{Img}$  so  $M_C$  is exact. Therefore  $0 \rightarrow M_R \rightarrow N \rightarrow M_C \rightarrow 0$  is a Rees short exact sequence.

## 2.2 $N$ is spined product $M_R$ and $M_C$

Firstly we show that  $N$  is spined product of  $M_R$  and  $M_C$  in this subsection.

**Theorem 2.2.** Let  $S$  be a rectangular band. Then  $N$  is the spined product of  $M_R$  and  $M_C$ .

**Proof:** Let us consider the mappings

$$\begin{aligned} \varphi : M_R &\rightarrow N & \psi : M_C &\rightarrow N \\ (r, 0) &\mapsto (r, c) \star (r_{1,0}) & (0, c) &\mapsto (r, c) \star (0, c_{-1}) \end{aligned}$$

First of all we have to prove that these mappings are well defined. There is no doubt that  $(r, c) \star (r_{1,0})$  and  $(r, c) \star (0, c_{-1})$  in elements of  $N$ . If  $(r, 0) = (r', 0)$ , then  $\varphi(r, 0) = (r, c) \star (r_{1,0}) = (r', c) \star (r_{1,0}) = \varphi(r', 0)$ . One can prove, in a similar way to the proof of well defined of  $\varphi$ , that if  $(0, c) = (0, c')$ , then  $\psi(0, c) = (r, c) \star (0, c_{-1}) = (r, c') \star (0, c_{-1}) = \psi(0, c')$ . So  $\varphi$  and  $\psi$  are well defined.

Since  $S$  is a rectangular band,

$$\begin{aligned} (r, 0) \star (r_{1,0}) &= [(i, b, j), (i, 0_G, j)] \star [(i, b', j), (i, 0_G, j)] \\ &= [(i, bp_{\{ji\}}b', j), (i, 0_G, j)] \\ \varphi[(r, 0) \star (r_{1,0})] &= [(i, s, j), (i, g, j)] \star [(i, bp_{\{ji\}}b', j), (i, 0_G, j)] \\ &= [(i, sp_{\{ji\}}b'p_{\{ji\}}b', j), (i, 0_G, j)] \quad (2) \\ \varphi(r, 0) \star \varphi(r_{1,0}) &= [(i, sp_{\{ji\}}b, j), (i, 0_G, j)] \star [(i, sp_{\{ji\}}b', j), (i, 0_G, j)] \\ &= [(i, sp_{\{ji\}}bp_{\{ji\}}sp_{\{ji\}}b', j), (i, 0_G, j)] \quad (3) \end{aligned}$$

The expressions (2) and (3) are equal and so  $\varphi$  is a homomorphism. Similarly  $\psi$  is also a homomorphism.

Therefore we obtain  $M_R \times_S M_C = N$  since  $\varphi(r, 0) = \psi(0, c) = N$ .

**Corollary 2.3.** The following diagram is commute.

$$\begin{array}{ccccccc}
 0 & \longrightarrow & M_R & \longrightarrow & \mathcal{N} & \longrightarrow & M_C \longrightarrow 0 \\
 & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\
 0 & \longrightarrow & M_R & \longrightarrow & M_R \times_S M_C & \longrightarrow & M_C \longrightarrow 0
 \end{array}$$

Figure 2. Commutative diagram for  $N$

**Proof:** We proved that  $N$  is the spined product of  $M_R$  and  $M_C$  in Theorem 2.2. Conditions for creating a commutative diagram are given in Lemma 1.6. By using Theorem 2.2. and Lemma 1.6. we deduce immediately the truthfulness of the corollary.

**2.3**  $N^C \times_S E_N \cong N'$

In this part, the properties  $(C)$  –inversive semigroup and strictly inversive semigroup over  $N$  will be denoted by  $N^C$  and  $N'$  respectively.

It is well-known that inversive semigroups are very important classes in semigroup algebra. In fact, different varieties of inversive semigroups have been used frequently in studies. For example, every regular semigroup is an  $E$  –inversive semigroup which is a variant of the inversive semigroup and this is very crucial for the classification of semigroups [9]. We may also refer, for example, [8,12].

In this subsection, we focus on some varieties of inversive semigroups. In addition, by applying the spined product obtained in Section 2.2. We present some important semigroup classifications from inversive varieties of  $N$ .

**Theorem 2.4.** If  $S$  is a rectangular band, then  $N$  is strictly inversive semigroup.

**Proof:** Let us assume that  $S$  is rectangular band. In [11, Lemma 2.3.], the elements form of  $E(N)$  which is  $[(i, b, j), (i, d, j)]$  such that  $p'_{\{ji\}} = d^{\{-1\}}$  and  $S$  is a rectangular band. By Definition 1.4., it is known that the set of idempotent element should be a subband of  $N$ . Since every element of  $E(N)$  is idempotent and  $S$  is a rectangular band,  $N$  is strictly inversive semigroup as stated in Definition 1.4.

**Theorem 2.5.** If  $N$  is commutative, then  $N$  is  $(C)$  –inversive semigroup.

**Proof:** As it mentioned in the proof of Theorem 2.4., the form of  $E(N)$  is depicted in [11, Lemma 2.3]. We said that for the semigroup  $N$  to be commutative, the index sets must have one element Lemma 1.2. According to this fact, the elements of the idempotent set  $E(N)$  will be the formed as  $[(i, b, j), (i, d, j)]$  such that  $S$  is a rectangular band and  $p'_{\{ji\}} = d^{\{-1\}}$ . It is clear that  $E(N)$  is a subband of  $N$ . Thus, by considering also Definition 1.4. we get that  $N$  is  $(C)$  –inversive semigroup while  $N$  is commutative.

In [12], an important theorem (*structure theorem*) states that a semigroup is isomorphic to the spined product of a  $(C)$  –inversive semigroup and a band if and only if it is strictly inversive. By using this result and Theorems 2.4., 2.5. we have the following corollary which is easily verified.

**Corollary 2.6.** Let  $S$  be a commutative regular semigroup and  $G$  be a commutative group. Then  $N$  is isomorphic to the spined product of  $N^C$  and  $E(N)$ .

Furthermore, by using [11, Theorem 2.7.] Lemma 2.2. and Theorem 2.5., we have the following consequence as a result.

**Corollary 2.7.** If  $N$  is completely inverse semigroup, then  $N$  is  $(C)$  –inversive semigroup.

According to [11, Theorem 2.7.] we also have the following important corollary.

**Corollary 2.8.**  $N$  strictly inverse if and only if it is completely inverse semigroup.

## References

- [1] Akgüneş N. Some graph parameters on the strong product of monogenic semigroup graphs. **Balikesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 20 (1): 412-420, (2018).
- [2] Ciric M, Bogdanovic CS. Spined products of some semigroups. **Proceedings of the Japan Academy Ser. A, Mathematical Sciences**, 69(9): 357-362, (1993).
- [3] Chen Y, Shum KP. Rees short exact sequence of S-systems. **Semigroup Forum**, 65: 141-148, (2002).
- [4] Clifford AH, Preston GB. The Algebraic Theory of Semigroups, Volume I. **American Mathematical Society second edition** (1961).
- [5] Howie JM. Fundamentals of Semigroup Theory. **Clarendon Press, Oxford** (1995).
- [6] Jafari M, Golchin A, Saany HM. Rees short exact sequence and flatness properties. **Semigroup Forum**, 99: 32–46, (2019).
- [7] Kimura N. The structure of idempotent semigroups I. **Pacific Journal of Mathematics**, 8(2): 257-275, (1958).
- [8] Luo Y, Fan X, Li X. Regular congruences on an E-inversive semigroup. **Semigroup Forum**, 76: 107-123, (2008).
- [9] Mitsch H. Introduction to E-inversive semigroups. **Semigroups**, 114-135, (2000).
- [10] Nagy A. Externally commutative semigroups. In: Special Classes of Semigroups. Advances in Mathematics, vol 1. Springer, Boston, MA 2001.
- [11] Ozalan NU, Cevik AS, Karpuz EG. A new semigroup obtained via known ones. **Asian-European Journal of Mathematics**, 12(6), (2019).
- [12] Yamada M. Strictly inversive semigroups. **Bulletin of Shimane University (Natural Science)**; 13: 128-138, (1963).
- [13] Wazzan SA. New properties over a new type of wreath products on monoids. **Advances in Pure Mathematics**, 9: 629-636, (2019)
- [14] Wazzan SA. Zappa-Szep products of semigroups. **Applied Mathematics**, 6: 1047-1068, (2015).

# Fejér means in variable exponent Lebesgue spaces on the real axis

Ebru ALTIPARMAK<sup>1,\*</sup>, Ali GUVEN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Erzurum Technical University Faculty of Science, Department of Mathematics, Erzurum.

<sup>2</sup>Balıkesir University, Faculty of Arts and Science, Department of Mathematics, Balıkesir.

Geliş Tarihi (Received Date): 07.09.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 25.10.2023

## Abstract

Variable exponent Lebesgue spaces are generalizations of classical Lebesgue spaces and have importance in many branches of Mathematical Analysis. Especially, direct and converse theorems and their improvements are studied by many mathematicians in these spaces. In this article, direct and converse predictions for the rate of convergence of Fejér means of functions belonging to the variable Lebesgue space  $L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})$  are established by using an appropriate  $K$ -functional. In this way, the result of Z. Ditzian on Fejér means in classical Lebesgue spaces  $L^p(\mathbb{R})$  ( $1 < p < \infty$ ) is generalized.

**Keywords:** Fejér means, fourier transform, variable exponent Lebesgue space.

## Reel ekseninde değişken üslü Lebesgue uzaylarda Fejér ortalamalar

### Öz

Değişken üslü Lebesgue uzayları klasik Lebesgue uzaylarının genellemeleridir ve Matematiksel Analizin birçok dalında öneme sahiptir. Özellikle direkt ve ters teoremler ve bunların geliştirilmesi bu uzaylarda birçok matematikçi tarafından incelenmektedir. Bu makalede, değişken üslü Lebesgue uzayı  $L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})$ 'ye ait fonksiyonların Fejér ortalamalarının yakınsaklık hızına ilişkin doğrudan ve ters tahminler, uygun bir  $K$ -fonksiyonu kullanılarak oluşturulmuştur. Bu şekilde, Z. Ditzian'ın klasik Lebesgue uzaylarında  $L^p(\mathbb{R})$  ( $1 < p < \infty$ ) Fejér ortalamalarına ilişkin sonucu genelleştirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Fejér ortalamaları, fourier dönüşümü, değişken üslü Lebesgue uzayı.

\*Ebru ALTIPARMAK, ebru.altiparmak@erzurum.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-6722-0807>

Ali GÜVEN, guvenali@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8878-250X>

### 1. Introduction

The classical Lebesgue spaces  $L^p$  ( $1 \leq p \leq \infty$ ) are very important spaces for studying approximation theory problems. There are several direct and converse theorems of approximation theory on  $L^p$  spaces defined on the real axis  $\mathbb{R}$  or on its intervals. These theorems can be found in the monographs [1] and [2]. In recent years, approximation problems that replace a fixed exponent  $p$  with a variable exponent  $p(\cdot)$  in variable exponent Lebesgue spaces, which are a generalization of classical Lebesgue spaces, have also been studied. Most of these studies are concerned with variable exponent Lebesgue spaces of  $2\pi$ -periodic functions and summability methods of trigonometric Fourier series (see, for example, [3]-[11]). In this work, we established an approximation theorem for Fejér means of non-periodic functions belonging to variable Lebesgue space  $L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})$ , and generalized Theorem 1 of [12].

Variable exponent Lebesgue spaces have been used in many areas of Mathematical Analysis in recent years. In this part, we give a brief knowledge of variable exponent Lebesgue spaces. More details about these spaces can be found in [13, Chapters 2-5].

The set of all Lebesgue measurable functions  $\mathcal{P}(\mathbb{R})$  are denoted by

$$p(\cdot): \mathbb{R} \rightarrow [1, \infty],$$

which are referred to as exponent functions. For  $p(\cdot) \in \mathcal{P}(\mathbb{R})$  we set

$$p_- := \operatorname{ess\,inf}_{x \in \mathbb{R}} p(x), p_+ := \operatorname{ess\,sup}_{x \in \mathbb{R}} p(x).$$

A function  $p(\cdot) \in \mathcal{P}(\mathbb{R})$  is referred to as locally log-Hölder continuous if there is a constant  $c_0$  such that

$$|p(x) - p(y)| \leq \frac{c_0}{-\log(|x-y|)}, x, y \in \mathbb{R}, |x - y| < \frac{1}{2}, \tag{1.1}$$

and log-Hölder continuous at infinity if there are constants  $c_\infty$  and  $p_\infty$  such that

$$|p(x) - p_\infty| \leq \frac{c_\infty}{\log(e+|x|)}, x \in \mathbb{R}. \tag{1.2}$$

The class of exponent functions which satisfies both (1.1) and (1.2) will be denoted by  $LH(\mathbb{R})$ .

For an exponent function  $p(\cdot) \in \mathcal{P}(\mathbb{R})$  and a Lebesgue measurable function  $f$ , the modular associated with  $p(\cdot)$  is defined in the following

$$\rho_{p(\cdot)}(f) := \int_{\mathbb{R} \setminus \mathbb{R}_\infty^{p(\cdot)}} |f(x)|^{p(x)} dx + \|f\|_{L^\infty(\mathbb{R}_\infty^{p(\cdot)})},$$

where  $\mathbb{R}_\infty^{p(\cdot)} := \{x \in \mathbb{R}: p(x) = \infty\}$ . The variable exponent Lebesgue space  $L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})$  is the set of Lebesgue measurable functions  $f$  such that  $\rho_{p(\cdot)}(f/\alpha) < \infty$  for some  $\alpha > 0$ , which is a Banach space with respect to the norm

$$\|f\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} := \inf\{\alpha > 0: \rho_{p(\cdot)}(f/\alpha) \leq 1\}.$$

(see [13]). In case  $p(x) = p$ ,  $1 \leq p < \infty$ ,  $L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})$  coincides with the classical Lebesgue space  $L^p(\mathbb{R})$ .



The analog of Minkowski's inequality holds for variable exponent Lebesgue spaces (see [13, Corollary 2.38]).

If  $f: \mathbb{R} \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$  is Lebesgue measurable and  $f(\cdot, y) \in L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})$  for almost all  $y \in \mathbb{R}$ , then

$$\left\| \int_{\mathbb{R}} f(\cdot, y) dy \right\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} \lesssim \int_{\mathbb{R}} \|f(\cdot, y)\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} dy. \tag{1.3}$$

Note that, throughout the paper, the expression  $X \lesssim Y$  means that there is a constant  $K > 0$  such that  $X \leq K \cdot Y$  holds.

A non-negative, measurable function  $w$  is called a weight if  $0 < w(x) < \infty$  almost everywhere. For  $1 \leq p < \infty$ , the weighted Lebesgue space  $L_w^p(\mathbb{R})$  with the weight  $w$  is defined by the space of all Lebesgue measurable functions  $f$  such that

$$\|f\|_{L_w^p(\mathbb{R})} := \left( \int_{\mathbb{R}} |f(x)|^p w(x) dx \right)^{\frac{1}{p}} < \infty.$$

For  $1 < p < \infty$ , a weight function  $w$  is in the Muckenhoupt class  $A_p(\mathbb{R})$  if

$$\sup_I \left( \frac{1}{|I|} \int_I w(x) dx \right) \left( \frac{1}{|I|} \int_I w(x)^{1-p'} dx \right)^{p-1} < \infty,$$

where the supremum is taken over all intervals  $I \subset \mathbb{R}$ , and  $p' = p/p - 1$  ( $|I|$  is the length of the interval  $I$ ). The Muckenhoupt class  $A_1(\mathbb{R})$  is defined as the class of weights  $w$  such that

$$\operatorname{esssup}_{x \in \mathbb{R}} \frac{M(w)(x)}{w(x)} < \infty,$$

where  $M$  is the Hardy-Littlewood maximal operator, that is,

$$M(f): f \rightarrow Mf(x) := \sup_{I \ni x} \frac{1}{|I|} \int_I f(y) dy.$$

The following extrapolation theorem can be deduced from Theorem 3.16 and Corollary 5.32 of [13].

**Theorem 1:** Let  $p(\cdot) \in LH(\mathbb{R})$  and  $1 < p_- \leq p_+ < \infty$  and  $p_0 \geq 1$ . Suppose that for a family of functions  $\mathcal{F}$ , the inequality

$$\int_{\mathbb{R}} F(x)^{p_0} w(x) dx \lesssim \int_{\mathbb{R}} G(x)^{p_0} w(x) dx, (F, G) \in \mathcal{F}$$

where  $(F, G)$  are pairs of non-negative, measurable functions, holds  $\forall w \in A_{p_0}(\mathbb{R})$ . Then, for  $(F, G) \in \mathcal{F}$ ,

$$\|F\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} \lesssim \|G\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})}.$$

Note that the conditions  $p(\cdot) \in LH(\mathbb{R})$  and  $1 < p_- \leq p_+ < \infty$  are sufficient for the boundedness of the Hardy-Littlewood maximal operator on the space  $L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})$  ([13, p.89]).

## 2. Approximation by Fejér means in variable exponent Lebesgue spaces

Fejér means of the function  $f \in L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})$  are defined as

$$F_\lambda(f)(x) := (f * G_\lambda)(x) = \int_{\mathbb{R}} f(x-t)G_\lambda(t)dt,$$

where

$$G_\lambda(t) := \frac{1}{2\pi\lambda} \left( \frac{\sin \frac{\lambda t}{2}}{\frac{t}{2}} \right)^2, \lambda > 0$$

is the Fejér kernel.

The Hilbert transform of  $f \in L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})$  is given by

$$H(f)(x) := P.V. \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f(x-t)}{t} dt,$$

where P. V. means Cauchy Principal Value. By [14, Theorem 9] we have

$$\|H(f)\|_{L_w^p(\mathbb{R})} \lesssim \|f\|_{L_w^p(\mathbb{R})}, f \in L_w^p(\mathbb{R}),$$

where  $1 < p < \infty$  and  $w \in A_p(\mathbb{R})$ , hence Theorem 1 yields  $H(f) \in L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})$  for  $f \in L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})$ , provided that  $p(\cdot) \in LH(\mathbb{R})$  and  $1 < p_- \leq p_+ < \infty$ . We consider the subspace  $\mathcal{H}^{p(\cdot)}(\mathbb{R})$  of  $L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})$  defined by

$$\mathcal{H}^{p(\cdot)}(\mathbb{R}) := \left\{ g \in L^{p(\cdot)}(\mathbb{R}) : \frac{d}{dx} H(g) \in L^{p(\cdot)}(\mathbb{R}) \right\}.$$

This article is devoted to estimating the rate of approximation of the Fejér means in the  $L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})$ . The main result of the article is the following Theorem 2.

**Theorem 2:** Let  $p(\cdot) \in LH(\mathbb{R})$  and  $1 < p_- \leq p_+ < \infty$ . For  $f \in L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})$  we have

$$K\left(f, \frac{1}{\lambda}\right)_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} \lesssim \|F_\lambda(f) - f\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} \lesssim K\left(f, \frac{1}{\lambda}\right)_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})},$$

where

$$K(f, t)_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} := \inf \left\{ \|f - g\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} + t \left\| \frac{d}{dx} H(g) \right\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} : g \in \mathcal{H}^{p(\cdot)}(\mathbb{R}) \right\}.$$

To prove the above theorem, we require the following Lemma.

**Lemma 1:** Let  $p(\cdot) \in LH(\mathbb{R})$  and  $1 < p_- \leq p_+ < \infty$ . Then

$$\|F_\lambda(f) - f\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} \rightarrow 0, \lambda \rightarrow \infty \tag{2.1}$$

for  $f \in L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})$ .

**Proof:** Fix  $\epsilon > 0$ . Since  $L_c^\infty(\mathbb{R})$ , the space of bounded functions of compact support, is dense in  $L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})$  ([13, Theorem 2.72]), there exists a function  $g \in L_c^\infty(\mathbb{R})$  (not identically

zero) such that  $\|f - g\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} < \epsilon$ .

By [15, Theorem 2.1],

$$\|F_\lambda(h)\|_{L^p_w(\mathbb{R})} \lesssim \|h\|_{L^p_w(\mathbb{R})}, h \in L^p_w(\mathbb{R})$$

for  $1 < p < \infty$  and  $w \in A_p(\mathbb{R})$ . Thus, by Theorem 1, we get

$$\|F_\lambda(h)\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} \lesssim \|h\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})}, h \in L^{p(\cdot)}(\mathbb{R}). \tag{2.2}$$

Then by (2.2),

$$\begin{aligned} \|F_\lambda(f) - f\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} &\leq \|F_\lambda(f - g)\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} + \|F_\lambda(g) - g\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} + \|f - g\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} \\ &\lesssim 2\|f - g\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} + \|F_\lambda(g) - g\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} \\ &< 2\epsilon + \|F_\lambda(g) - g\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})}. \end{aligned}$$

Since  $\epsilon > 0$  is arbitrary, showing

$$\|F_\lambda(g) - g\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} \rightarrow 0, \lambda \rightarrow \infty$$

will be sufficient to complete the proof. By [13, Theorem 2.58] the last statement is equivalent to modular convergence, i.e.

$$\int_{\mathbb{R}} |F_\lambda(g)(x) - g(x)|^{p(x)} dx \rightarrow 0, \lambda \rightarrow \infty.$$

It is clear that  $g_0 \in L^\infty_c(\mathbb{R})$  and  $\|g_0\|_\infty \leq 1/2$  for the function

$$g_0(x) := \frac{1}{2\|g\|_\infty} g(x).$$

Since  $\|G_\lambda\|_1 = 1$ , (see for detail [12]) we get

$$\begin{aligned} |F_\lambda(g_0)(x)| &= |(G_\lambda * g_0)(x)| = \left| \int_{\mathbb{R}} g_0(x-t)G_\lambda(t)dt \right| \\ &\leq \|G_\lambda\|_1 \|g_0\|_\infty \leq 1/2, \end{aligned}$$

which implies  $\|F_\lambda(g_0)\|_\infty \leq 1/2$ , and hence

$$\|F_\lambda(g_0) - g_0\|_\infty = \|G_\lambda * g_0 - g_0\|_\infty \leq 1.$$

Therefore,

$$\begin{aligned} \int_{\mathbb{R}} |F_\lambda(g)(x) - g(x)|^{p(x)} dx &= \int_{\mathbb{R}} |(G_\lambda * g)(x) - g(x)|^{p(x)} dx \\ &= \int_{\mathbb{R}} |(G_\lambda * 2\|g\|_\infty g_0)(x) - 2\|g\|_\infty g_0(x)|^{p(x)} dx \\ &= \int_{\mathbb{R}} (2\|g\|_\infty)^{p(x)} |(G_\lambda * g_0)(x) - g_0(x)|^{p(x)} dx \\ &\leq (2\|g\|_\infty + 1)^{p^+} \int_{\mathbb{R}} |(G_\lambda * g_0)(x) - g_0(x)|^{p(x)} dx \end{aligned}$$

$$\leq (2\|g\|_\infty + 1)^{p+} \int_{\mathbb{R}} |(G_\lambda * g_0)(x) - g_0(x)|^{p-} dx.$$

Since  $g_0 \in L^{p-}(\mathbb{R})$ , we have

$$\int_{\mathbb{R}} |(G_\lambda * g_0)(x) - g_0(x)|^{p-} dx \rightarrow 0, \lambda \rightarrow \infty$$

(see, for example [16, Theorem 2.6.4]) and (2.1) follows.

**Proof of Theorem 2:** The inequality (2.2) implies  $F_\lambda = G_\lambda * f \in L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})$  for  $f \in L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})$ . Thus, the identity

$$G_\lambda * f - G_\lambda * (G_\lambda * f) = \frac{1}{\lambda} \frac{d}{dx} H(G_\lambda * f), \quad (2.3)$$

which is proved in [12], yields  $\frac{d}{dx} H(G_\lambda * f) \in L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})$ , hence  $G_\lambda * f \in \mathcal{H}^{p(\cdot)}(\mathbb{R})$ . By considering this fact, (2.3) and (2.2), we obtain

$$\begin{aligned} K\left(f, \frac{1}{\lambda}\right)_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} &\leq \|f - G_\lambda * f\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} + \frac{1}{\lambda} \left\| \frac{d}{dx} H(G_\lambda * f) \right\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} \\ &= \|f - G_\lambda * f\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} + \|G_\lambda * f - G_\lambda * (G_\lambda * f)\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} \\ &\lesssim \|f - G_\lambda * f\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})}, \end{aligned}$$

which yield the converse inequality.

Let  $\epsilon > 0$  be arbitrary. By definition of  $K\left(f, \frac{1}{\lambda}\right)_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})}$  there exist a function  $g_\epsilon \in \mathcal{H}^{p(\cdot)}(\mathbb{R})$  such that

$$\|f - g_\epsilon\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} + \frac{1}{\lambda} \left\| \frac{d}{dx} H(g_\epsilon) \right\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} < (1 + \epsilon) K\left(f, \frac{1}{\lambda}\right)_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})}. \quad (2.4)$$

By considering (2.2),

$$\begin{aligned} \|f - F_\lambda(f)\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} &\leq \|f - g_\epsilon\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} + \|g_\epsilon - G_\lambda * g_\epsilon\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} \\ &\quad + \|G_\lambda * (g_\epsilon - f)\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} \\ &\lesssim \|f - g_\epsilon\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} + \|g_\epsilon - G_\lambda * g_\epsilon\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})}. \end{aligned}$$

We have

$$\begin{aligned} \|g_\epsilon - G_\lambda * g_\epsilon\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} &\leq \|G_\lambda * g_\epsilon - G_\lambda * (G_\lambda * g_\epsilon)\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} \\ &\quad + \|G_\lambda * (G_\lambda * g_\epsilon) - G_r * (G_r * g_\epsilon)\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} \\ &\quad + \|G_r * (G_r * g_\epsilon) - g_\epsilon\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} \\ &=: I_1 + I_2(r) + I_3(r) \end{aligned}$$

for  $r > 0$ . Using (2.2) again,

$$\begin{aligned} I_3(r) &= \|G_r * (G_r * g_\epsilon) - g_\epsilon\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} \\ &\leq \|G_r * (G_r * g_\epsilon - g_\epsilon)\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} + \|G_r * g_\epsilon - g_\epsilon\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} \\ &\lesssim \|G_r * g_\epsilon - g_\epsilon\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})}. \end{aligned}$$

By Lemma 1,  $\|G_r * g_\epsilon - g_\epsilon\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} \rightarrow 0$ , and hence  $I_3(r) \rightarrow 0$  as  $r \rightarrow \infty$ . Thus we have

$$I_3(r) < \epsilon \frac{1}{\lambda} \left\| \frac{d}{dx} H(g_\epsilon) \right\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})}, r \geq r_\epsilon.$$

Since

$$\frac{d}{dx} H(G_\lambda * g_\epsilon)(x) = \left( G_\lambda * \frac{d}{dx} H(g_\epsilon) \right)(x),$$

by (2.3) and (2.2) we get

$$\begin{aligned} I_1 &= \|G_\lambda * g_\epsilon - G_\lambda * (G_\lambda * g_\epsilon)\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} \\ &= \frac{1}{\lambda} \left\| G_\lambda * \frac{d}{dx} H(g_\epsilon) \right\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} \lesssim \frac{1}{\lambda} \left\| \frac{d}{dx} H(g_\epsilon) \right\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})}. \end{aligned}$$

It is known that (see [12])

$$\frac{d}{dt} (G_t * (G_t * g_\epsilon)) = \frac{2}{t^2} \left( G_t * \frac{d}{dx} H(g_\epsilon) \right).$$

Considering this equality, (1.3) and (2.2),

$$\begin{aligned} I_2(r) &= \|G_\lambda * (G_\lambda * g_\epsilon) - G_r * (G_r * g_\epsilon)\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} \\ &= \left\| \int_\lambda^r \frac{d}{dt} (G_t * (G_t * g_\epsilon)) dt \right\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} \\ &= 2 \left\| \int_\lambda^r \frac{1}{t^2} \left( G_t * \frac{d}{dx} H(g_\epsilon) \right) dt \right\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} \\ &\lesssim \int_\lambda^r \left\| G_t * \frac{d}{dx} H(g_\epsilon) \right\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} \frac{dt}{t^2} \\ &\lesssim \left\| \frac{d}{dx} H(g_\epsilon) \right\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} \int_\lambda^r \frac{dt}{t^2} \\ &\leq \frac{1}{\lambda} \left\| \frac{d}{dx} H(g_\epsilon) \right\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})}. \end{aligned}$$

By combining these estimates for  $I_1, I_2(r)$  and  $I_3(r)$ , and considering (2.4) we get

$$\|f - F_\lambda(f)\|_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})} \lesssim (1 + \epsilon)^2 K \left( f, \frac{1}{\lambda} \right)_{L^{p(\cdot)}(\mathbb{R})}.$$

Since  $\epsilon > 0$  is arbitrary, this gives the direct estimate.

By taking  $p(x) \equiv p$ , i. e. in the  $L^p(\mathbb{R})$  ( $1 < p < \infty$ ), this theorem was obtained by Z. Ditzian in [12].

## References

- [1] DeVore, R. A., Lorentz, G. G., **Constructive approximation**, Springer-Verlag, Berlin, (1993).
- [2] Timan, A. F., **Theory of approximation of functions of a real variable**, Pergamon Press, New-York, (1963).
- [3] Akgun, R., Trigonometric approximation of functions in generalized Lebesgue spaces with variable exponent, **Ukrainian Mathematical Journal**, 63, no. 1, 1–26, (2011).
- [4] Akgun, R., Ghorbanalizadeh, A., Approximation by integral functions of finite degree in variable exponent Lebesgue spaces on the real axis, **Turkish Journal of Mathematics**, 42, 1887-1903, (2018).
- [5] Guven, A., Israfilov, D. M., Trigonometric approximation in generalized Lebesgue spaces  $L^{p(x)}$ , **Journal of Mathematical Inequalities**, 4, no. 2, 285–299, (2010).
- [6] Guven, A., Trigonometric approximation by matrix transforms in  $L^{p(x)}$  spaces, **Analysis and Applications (Singap.)**, 10, no.1, 47–65, (2012).
- [7] Israfilov, D. M., Testici, A., Approximation problems in the Lebesgue spaces with variable exponent, **Journal of Mathematical Analysis and Applications**, 459, no. 1, 112–123, (2018).
- [8] Sharapudinov, I. I., Approximation of functions in  $L_{2\pi}^{p(x)}$  by trigonometric polynomials. (Russian) **Russian Academy of Sciences. Izvestiya Mathematics**, 77, no. 2, 197–224, (2013); translation in **Izvestiya Mathematics**, 77, no. 2, 407–434, (2013).
- [9] Sharapudinov, I. I., Approximation of function from variable exponent Lebesgue and Sobolev spaces by Vallée Poussin means, (Russian) **Sbornik: Mathematics** 207, no. 7, 131–158, (2016); translation in **Sbornik: Mathematics**, 207, no. 7-8, 1010–1036, (2016).
- [10] Jafarov, S. Z., Approximation by means of Fourier trigonometric series in weighted Lebesgue spaces with variable exponent, **The Aligarh Bulletin of Mathematics**, 41, 63-80, (2022).
- [11] Jafarov, S. Z., Approximation by means of Fourier series in Lebesgue spaces with variable exponent, **Kazakh Mathematical Journal**, (3), 57-68, (2021).
- [12] Ditzian, Z. On Fejér and Bochner-Riesz means, **Journal of Fourier Analysis and Applications**, 11, no. 4, 489-496, (2005).
- [13] Cruz-Uribe, D. V., Fiorenza, A., **Variable Lebesgue Spaces**, Foundations and harmonic analysis, Applied and Numerical Harmonic Analysis, Birkhäuser/Springer, Heidelberg, (2013).
- [14] Hunt, R., Muckenhoupt, B., Wheeden, R., Weighted norm inequalities for the conjugate function and Hilbert transform, **Transactions of the American Mathematical Society**, 176, 227–251, (1973).
- [15] Guven, A., Kokilashvili, V., On the means of Fourier integrals and Bernstein inequality in the two-weighted setting, **Positivity**, 14, no. 1, 165-180, (2010).
- [16] Weisz, F., Convergence and summability of Fourier transforms and Hardy spaces, **Applied and Numerical Harmonic Analysis**, Birkhäuser/Springer, Cham, (2017).

# Kenar eklemenin indirgenmiş ikinci Zagreb indeks ve hyper-Zagreb indeks üzerine etkisi

Aysun YURTTAS GUNES\*

Bursa Uludağ Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü Görükle Kampüsü 16059  
Bursa - Türkiye

Geliş Tarihi (Received Date): 29.09.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 01.11.2023

## Öz

*Bir grafa kenar/köşe ekleme ya da bir graftan kenar/köşe silme işlemi, verilen bir graf ya da graf sınıfının gerekli birçok özelliğini çalışmada oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Bu yöntemi art arda uygulayarak daha küçük graftan elde edilen daha büyük bir graf hakkında bilgi edinilebilir. Bu çalışmada, bir grafa yeni bir kenar eklemenin indirgenmiş ikinci Zagreb indeks ve hyper-Zagreb indeks üzerine etkisi incelenmiştir.*

**Anahtar kelimeler:** İndirgenmiş ikinci Zagreb indeks, hyper-Zagreb indeks, kenar ekleme, köşe ekleme.

## Effect of edge addition on reduced second Zagreb Index and hyper-Zagreb Index

### Abstract

*Vertex and edge addition/deletion to a given graph is a useful method to study several required properties of a given graph or graph class. Successively applying these methods, one can obtain such information on a large graph by means of smaller graphs. In this work, we studied the effects of adding a new edge to a graph on the reduced second Zagreb index and hyper-Zagreb index.*

**Keywords:** Reduced second Zagreb index, hyper-Zagreb index, edge addition, vertex addition.

---

\*Aysun YURTTAS GUNES, ayurttas@uludag.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-8873-1999>

## 1. Giriş

$G = (V, E)$ , köşe kümesi  $V(G) = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  ve kenar kümesi  $E(G) = \{v_i v_j : v_i, v_j \in V(G)\}$  olan döngü ya da katlı kenar bulundurmeyen  $n$  mertebeli ve  $m$  boyutlu basit bir graf olsun. Bu durumda  $G$ 'nin mertebesini ve boyutunu vurgulamak için  $G$  yerine  $G(n, m)$  kullanılır. Eğer  $e$ ,  $G$ 'nin  $v_i$  ve  $v_j$  komşu köşelerini birleştiren bir kenarı ise bu durum  $e = v_i v_j$  ile gösterilir. Herhangi bir  $v \in V(G)$  köşesinin derecesi  $d_G(v)$  ya da kısaca  $d_v$  ile gösterilir. Derecesi 1 olan köşeye pendant köşe denir. Bir pendant köşeye sahip olan kenara ise pendant kenar denir.  $u$  köşesinin komşuluğu  $N_G(u) = \{v \in V(G) : G \text{ grafında } v \text{ köşesi } u \text{ köşesine komşu}\}$  şeklinde tanımlanır.  $u$  köşesinin komşularının dereceleri toplamı ise  $\delta_G(u) = \sum_{v \in N_G(u)} d_G(v)$  şeklinde tanımlanır.

Bir kimyasal molekül, her bir atomu bir köşeye ve her bir kimyasal bağı da bir kenara karşılık tutularak oluşturulan bir graf ile modellenilebilir. Topolojik graf indeksleri, atomların ve moleküllerin çeşitli özelliklerini bazı matematiksel teknikler aracılığıyla incelemek için tanımlanır ve kullanılır. 3000'den fazla topolojik graf indeksi birçok matematikçi ve kimyager tarafından tanımlanmış ve incelenmiştir. Bu indeksler, grafların çeşitli fiziksel, kimyasal özelliklerini ölçen değişmezler olarak tanımlanır. 1947 yılında Wiener, parafinlerin kaynama noktalarını belirlemek için ilk topolojik indeksi tanımlamıştır, [1]. Daha sonra 1972 yılında Gutman ve Trinajstić, [2], QSAR ve QSPR çalışmalarında en önemli topolojik graf indeksleri olan birinci ve ikinci Zagreb indekslerini tanımlamışlardır. [3]'de birinci Zagreb indeksi için bazı alt ve üst sınırlar belirlenmiş ve diğer bazı topolojik indekslerle ilişkileri verilmiştir. Zagreb indekslerinin matematiksel teorisi ve kimyasal uygulamalarının ayrıntıları için bkz. [4, 5, 11].

Birinci ve ikinci Zagreb indekslerinin farkı Furtula, Gutman ve Ediz [6] tarafından incelenmiş ve bu farkın indirgenmiş ikinci Zagreb indeksi adı verilen ve

$$RM_2(G) = \sum_{uv \in E(G)} (d_u - 1)(d_v - 1) \quad (1)$$

şeklinde tanımlanan köşe derecesine dayalı değişmezle yakından ilişkili olduğunu göstermişlerdir.

2013 yılında Shirdel, Rezapour ve Sayadi, [7], hyper-Zagreb indeksi olarak adlandırılan ve

$$HM(G) = \sum_{uv \in E(G)} (d_u + d_v)^2 \quad (2)$$

ile verilen köşe derecelerine bağlı yeni bir indeks tanımlayarak grafların Kartezyen çarpımı, bileşimi, birleşimi ve ayrışımının  $HM(G)$  indeksini hesaplamışlardır.

Verilen bir grafa kenar/köşe ekleme/silme bir graf ya da graf sınıfının gerekli birçok özelliğinin çalışılmasında oldukça kullanışlı bir metottur. Bu metot art arda uygulanarak daha büyük graflar için bu bilgiler elde edilebilir. Bu yöntemin bazı uygulamaları [8, 9, 10]'da bulunabilir. Bu çalışmada verilen bir  $G$  grafına yeni bir kenar eklemenin  $RM_2(G)$  indirgenmiş ikinci Zagreb indeksi ve  $HM(G)$  hyper-Zagreb indeksi üzerine etkisi çalışılmıştır.



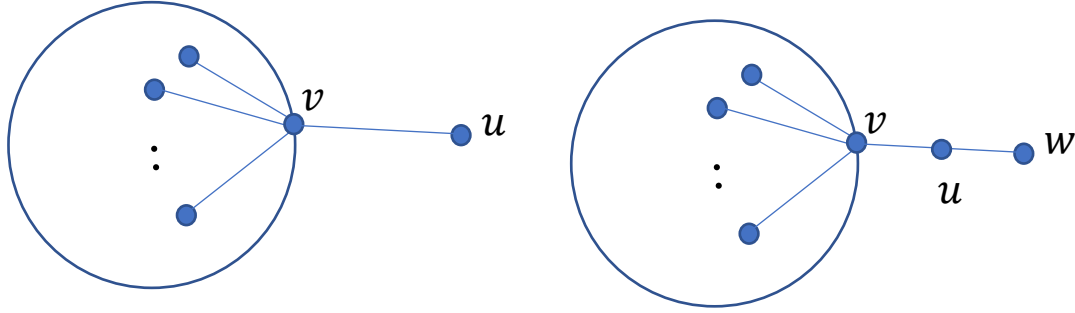
## 2. Kenar eklemenin indirgenmiş ikinci Zagreb indeksi ve hyper-Zagreb indeksine etkisi

Bu bölümde verilen bir  $G$  grafına yeni bir kenar eklemenin  $RM_2(G)$  ve  $HM(G)$  indekslerine etkisi elde edilmiştir. Bu kenar grafa üç şekilde eklenebilir: pendant köşeye bir pendant kenar olarak, derecesi 1'den büyük köşeye yeni bir pendant kenar olarak ya da var olan ve komşu olmayan iki köşeyi birleştirerek.

İlk olarak çok kullanışlı bir durum olan  $G$ 'nin  $u$  köşesinin pendant köşe olması durumu ele alınmıştır:

**Teorem 1.**  $G$ , en az üç köşesi olan basit bağlantılı bir graf olsun.  $u$  bir pendant köşe ise  $v, u$ 'nun tek komşusu olmak üzere  $u$ 'ya yeni bir pendant kenar eklemek indirgenmiş ikinci Zagreb indeksi  $d_v - 1$  kadar, hyper-Zagreb indeksi ise 4 arttırır.

**İspat.** Şekil 1'de olduğu gibi  $u$ ,  $G$ 'nin bir pendant köşesi ve  $v$  de  $u$ 'nun  $d_v$  dereceli tek komşusu olsun. O halde



Şekil 1.  $u$  pendant köşesine bir pendant kenar ekleme.

$$\begin{aligned}
 RM_2(G) &= \sum_{uv \in E(G)} (d_u - 1)(d_v - 1) \\
 &= (d_u - 1)(d_v - 1) + \sum_{rs \in E(G), r, s \neq u} (d_r - 1)(d_s - 1) \\
 &= \sum_{rs \in E(G), r, s \neq u} (d_r - 1)(d_s - 1) \tag{3}
 \end{aligned}$$

dir.  $G$ 'ye  $u$  köşesinden yeni bir kenar eklemek  $u$ 'nun derecesini 1 arttıracığından

$$\begin{aligned}
 RM_2(G + e) &= (d_v - 1)(2 - 1) + (2 - 1)(1 - 1) + \sum_{rs \in E(G), r, s \neq u} (d_r - 1)(d_s - 1) \\
 &= (d_v - 1) + \sum_{rs \in E(G), r, s \neq u} (d_r - 1)(d_s - 1) \tag{4}
 \end{aligned}$$

olur. Böylece istenilen sonuç elde edilir.  $HM(G)$  indeksi için

$$HM(G) = \sum_{uv \in E(G)} (d_u + d_v)^2$$

$$= (d_v + 1)^2 + \sum_{rs \in E(G), r, s \neq u} (d_r + d_s)^2 \quad (5)$$

ve buradan da

$$\begin{aligned} HM(G + e) &= \sum_{uv \in E(G+e)} (d_u + d_v)^2 \\ &= (d_v + 1)^2 + 4 + \sum_{rs \in E(G), r, s \neq u} (d_r - 1)(d_s - 1) \end{aligned} \quad (6)$$

elde edilir. O halde

$$HM(G + e) - HM(G) = 4 \quad (7)$$

olur. Böylece ispat tamamlanır.  $\square$

İkinci olarak  $G$ 'nin derecesi 1'den büyük olan bir  $u$  köşesine kenar ekleme durumu incelenmiştir:

**Teorem 2.**  $G$ , en az üç köşesi olan basit bağlantılı bir graf olsun. Derecesi  $d_u = t > 1$  olan  $u$  köşesinin komşuları  $v_1, v_2, \dots, v_t$  ve dereceleri sırasıyla  $d_{v_1}, d_{v_2}, \dots, d_{v_t}$  olsun. O halde  $u$  köşesine yeni bir  $e$  pendant kenarı eklendiğinde

$$RM_2(G + e) - RM_2(G) = \delta_G(u) + \frac{t(t+1)}{2} \quad (8)$$

ve

$$HM(G) = 2\delta_G(u) + (t + 1)^2 + \frac{t(t + 1)(2t + 1)}{2} \quad (9)$$

olur.

**İspat.**  $d_u = t$  olduğundan

$$\begin{aligned} RM_2(G) &= \sum_{uv \in E(G)} (d_u - 1)(d_v - 1) \\ &= (t - 1) \sum_{i=1}^t (d_{v_i} - 1) + \sum_{rs \in E(G), r, s \neq u} (d_r - 1)(d_s - 1) \end{aligned} \quad (10)$$

olur. Eğer  $e = uw$  olmak üzere  $G + e$  grafı göz önüne alınırsa  $d_{G+e}(u) = t + 1$  ve  $d_{G+e}(w) = 1$  olduğundan

$$\begin{aligned} RM_2(G + e) &= \sum_{uv \in E(G+e)} (d_u - 1)(d_v - 1) \\ &= t \sum_{i=1}^t (d_{v_i} - 1) + \sum_{rs \in E(G), r, s \neq u} (d_r - 1)(d_s - 1) \end{aligned} \quad (11)$$

olur ve böylece

$$RM_2(G + e) - RM_2(G) = \delta_G(u) + \frac{t(t+1)}{2} \quad (12)$$

elde edilir.  $HM(G)$  indeksi için

$$\begin{aligned} HM(G) &= \sum_{uv \in E(G)} (d_u + d_v)^2 \\ &= \sum_{i=1}^t (t + d_{v_i})^2 + \sum_{rs \in E(G), r, s \neq u} (d_r + d_s)^2 \end{aligned} \quad (13)$$

ve buradan da

$$HM(G + e) = (t+1)^2 + \sum_{i=1}^t (t+1 + d_{v_i})^2 + \sum_{rs \in E(G), r, s \neq u} (d_r - 1)(d_s - 1) \quad (14)$$

olur. Böylece istenilen sonuç elde edilir.  $\square$

Son olarak,  $G$ 'nin komşu olmayan iki köşesini birleştirerek eklenen kenarın  $RM_2(G)$  ve  $HM(G)$  indeksine etkisi göz önüne alınacaktır:

**Teorem 3.**  $G$ , en az üç köşesi olan basit bağlantılı bir graf ve  $u$  and  $v$   $G$ 'de komşu olmayan  $d_u = t$  ve  $d_v = k$  dereceli iki köşe olsun. Eğer  $G$ 'ye yeni bir  $e = uv$  kenarı eklenirse

$$RM_2(G + e) - RM_2(G) = \delta_G(u) + \delta_G(v) - \frac{t(t+1)}{2} - \frac{k(k+1)}{2} \quad (15)$$

ve

$$HM(G + e) - HM(G) = 2(\delta_G(u) + \delta_G(v)) + \frac{t(t+1)(2t+1)}{2} - \frac{k(k+1)(2k+1)}{2} \quad (16)$$

olur.

**İspat.**  $u$ 'nun  $t$  tane komşusu  $z_1, z_2, \dots, z_t$  ve dereceleri  $a_1, a_2, \dots, a_t$ ,  $v$ 'nin  $k$  tane komşusu  $w_1, w_2, \dots, w_k$  ve dereceleri de  $b_1, b_2, \dots, b_k$  olsun.  $RM_2(G)$  indeksin tanımından

$$\begin{aligned} RM_2(G) &= \sum_{i=1}^t (d_u - 1)(d_{z_i} - 1) + \sum_{j=1}^k (d_v - 1)(d_{w_j} - 1) \\ &\quad + \sum_{rs \in E(G), r, s \neq uv} (d_r - 1)(d_s - 1) \\ &= (t-1) \sum_{i=1}^t (a_i - 1) + (k-1) \sum_{j=1}^k (b_j - 1) \\ &\quad + \sum_{rs \in E(G), r, s \neq u, v} (d_r - 1)(d_s - 1) \end{aligned} \quad (17)$$

elde edilir. Eğer  $u$  ve  $v$  köşeleri yeni bir  $e = uv$  kenarı ile birleştirilirse

$$RM_2(G + e) = t \sum_{i=1}^t (a_i - 1) + k \sum_{j=1}^k (b_j - 1) + \sum_{rs \in E(G), r, s \neq u} (d_r - 1)(d_s - 1) \quad (18)$$

olur. Buradan da

$$\begin{aligned} RM_2(G + e) - RM_2(G) &= \sum_{i=1}^t (a_i - 1) + \sum_{j=1}^k (b_j - 1) \\ &= \delta_G(u) + \delta_G(v) - \frac{t(t+1)}{2} - \frac{k(k+1)}{2} \end{aligned} \quad (19)$$

elde edilir.  $HM(G)$  indeksi için ispat  $RM_2(G)$ 'nin ispatına benzer şekilde yapılır.  $\square$

### 3. Sonuçlar

Kenar ve/veya köşe ekleme/silme işlemi ilk graftan elde edilen yeni grafla ilgili bilgileri elde etmede kullanılan yaygın bir yöntemdir. Bir kenar ya da köşe eklendiğinde ya da silindiğinde grafin herhangi bir parametresinin değişimi biliniyorsa, bu işlemi art arda uygulamak ve ilk grafin aynı parametresi cinsinden büyük olan grafin gerekli parametresini bulmak mümkündür.

Bu çalışmada, verilen bir grafa kenar eklemenin indirgenmiş ikinci Zagreb indeksi ve hyper-Zagreb indeksi üzerine etkisi incelenmiştir.

### Kaynaklar

- [1] Wiener, H. J., Structural Determination of Paraffin Boiling Points, **J. Am. Chem. Soc.**, 69, 17-20, (1947).
- [2] Gutman, I. ve Trinajstić, N., Graph theory and molecular orbitals III, Total  $\pi$ -electron energy of alternant hydrocarbons, **Chem. Phys. Lett.**, 17, 535-538, (1972).
- [3] Das, K. C., Akgunes, N., Togan, M., Yurttaş, A., Cangul, I., N. ve Cevik, A. S., On the first Zagreb index and multiplicative Zagreb coindices of graphs, **Analele Stiintifice ale Universitatii Ovidius Constanta** 24, 1, 153-176, (2016).
- [4] Das, K. C. ve Gutman, I., Some properties of the second Zagreb index, **MATCH Commun. Math. Comput. Chem.**, 52, 103-112, (2004).
- [5] Gutman, I., Furtula, B. ve Elphick C., Three new/old vertex degree-based topological indices, **MATCH Commun. Math. Comput. Chem.**, 72, 617-684, (2014).
- [6] Furtula, B., Gutman, I. ve Ediz S., On difference of Zagreb indices, **Discrete Appl. Math.** 178, 83-88, (2014).
- [7] Shirdel, G. H., Rezapour, H. ve Sayadi A. M., The hyper-Zagreb index of graph operations, **Iran. J. Math. Chem.**, 4, 213-220, (2013).

- [8] Delen, S. ve Cangul, I. N., Effect of edge and vertex addition on Albertson and Bell indices, **AIMS Mathematics**, 6, 1, 925–937, (2020).
- [9] Delen, S., Togan, M., Yurttas, A. ve Cangul, I.N., New results on edge and vertex deletion in graphs, **MICOPAM Proceedings Book**, 175-179, (2018).
- [10] Togan, M., Yurttas, A., Cevik, A. S. ve Cangul, I. N., **Effect of edge deletion and addition on Zagreb indices of graphs** in Taş, K., Baleanu, D. ve Machado, J., *Mathematical Methods in Engineering, Theoretical Aspects, Nonlinear Systems and Complexity*, Springer, 191-201, USA, (2019).
- [11] Bondy, J. A. ve Murty, U. S. R., **Graph theory with applications**, Macmillan London and Elsevier, New York, (1976).

# AISI 1040 Çeliğinde yapısal yapışma bağı dayanımının statik ve dinamik zorlama şartları altında incelenmesi

Yaprak Nisa OĞUZ<sup>1</sup>, Mustafa Burak GEDİKLİ<sup>2</sup>, Gülcan TOKTAŞ<sup>3\*</sup>, Ali ORAL<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Savaşlar Tesisat Taahhüt ve Ticaret LTD. ŞTİ

<sup>2</sup>Gesbey Enerji Türbini Kule Üretim San. ve Tic. A.Ş.

<sup>3</sup>Balikesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü

Geliş Tarihi (Received Date): 27.10.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 28.11.2023

## Öz

Bu çalışmada; rüzgar türbin kulelerinin iç yüzeylerinde merdiven bağlantı elemanı olarak kullanılan braketlerin adezyon özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bunun için AISI 1040 çeliği parçalar akrilik tipi yapısal bir yapıştırıcı ile birleştirilerek numuneler hazırlanmıştır. Yapışma bağlantılarının statik (kayma ve eğilme) ve dinamik (yorulma) mekanik özellikleri belirlenmiştir. Yorulma deneylerinin gerçekleştirilebilmesi için mevcut bir yay yorulma cihazının tasarımında değişiklikler yapılmıştır. Modelleme ve analiz programları yardımıyla cihazın tasarım doğrulama çalışmaları ve mekanik deney sonuçlarının analizleri yapılmıştır. Dinamik analizlerde cihazın iki kritik parçasında (biyel kolu ve ana parça) güvenlik faktörlerinin tasarım gereksinimleri için uygun olduğu görülmüştür. Statik ve dinamik deneyler sonucunda hatasız yapışma gerçekleşen numunelerde kohezyon tipi homojen ayrılma gözlenmiştir. Statik eşdeğer gerilme değerinin %50'si kadar değişken gerilme ve altındaki gerilmelerde yapışma bağına sonsuz ömre sahip olduğu görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** yapısal yapıştırıcı, AISI 1040, statik ve dinamik analiz, yorulma cihazı.

Yaprak Nisa OĞUZ, yaprak.1408@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3686-4113>

\*Gülcan TOKTAŞ, gzeytin@balikesir.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-0455-2107>

Mustafa Burak GEDİKLİ, mustafaburak.gedikli@gri.com.es, <https://orcid.org/0000-0002-4606-7126>

Ali ORAL, a.oral@balikesir.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-9144-3821>

# Static and dynamic analysis of structural adhesion bond in AISI 1040 steel

## Abstract

*This study aims to examine the adhesion properties of brackets used as ladder fasteners on the inner surfaces of wind turbine towers. For this purpose, samples were prepared by combining AISI 1040 steel parts with an acrylic-type structural adhesive. Static (shear and bending) and dynamic (fatigue) mechanical properties of adhesive joints were determined. To perform fatigue tests, changes were made to the design of an existing spring fatigue device. Design verification studies of the device and analysis of mechanical test results were carried out with the help of modeling and analysis programs. In dynamic analysis, it was found that the safety factors in two critical parts of the device (connecting rod and main part) were suitable for the design requirements. As a result of static and dynamic tests, cohesion-type homogeneous separation was observed in the samples with flawless adhesion. It has been observed that the adhesive bond has an infinite life at variable stresses up to 50% of the static equivalent stress value and stresses below it.*

**Keywords:** Structural adhesive, AISI 1040, static and dynamic analysis, fatigue device.

## 1. Giriş

Yapıştırarak birleştirme, fiziksel veya kimyasal bir sertleşme reaksiyonuna giren metalik olmayan bir madde (yapıştırıcı) kullanarak parçaların yüzey yapışması (adezyon) ve iç mukavemet (kohezyon) yoluyla bir araya getirilmesi işlemidir [1]. Yapısal ve yapısal olmayan olmak üzere temelde iki çeşit yapışma bağları mevcuttur. Yapısal yapışma bağları, tasarım sınırları dahilinde bütünlük kaybı olmaksızın gerilimi iletebilmelidir. Bağlar, ayrıca bir parçanın yıllarca sürebilen çalışma ömrü boyunca dayanıklı olmalıdır. Yapısal bir bağ, yaşlanmaya karşı önemli bir dirence ek olarak 7 MPa'dan daha büyük bir kesme mukavemetine de sahip olmalıdır. Bununla birlikte, yapısal olmayan yapıştırıcıların önemli yükleri desteklemesi gerekmez, sadece hafif malzemeleri yerinde tutmakla görevlidirler [2]. Yapısal olmayan yapıştırmada, yapıştırıcı sızdırmazlık, elektrik yalıtımı, titreşim sönümlenme veya ses yalıtımı amacıyla kullanılabilir [3]. Basınca duyarlı bantlar ve ambalaj yapıştırıcıları yapısal olmayan yapıştırıcılara örnektir.

Yapısal yapıştırıcılar, geleneksel mekanik birleştirme tekniklerine kıyasla bir bağlantıya birçok avantaj sağlayabilir. Perçin ve civatalı bağlantıların aksine, yapıştırma yoluyla birleştirmede delik açılmasına gerek yoktur. Bu sebeple yapışma bağına sahip bağlantılar perçinli ve vidalı bağlantılara göre gerilmeleri daha homojen bir şekilde dağıtır, böylece bağlantılarda yüksek gerilme konsantrasyonlu bölgeler oluşmaz. Geometrideki ani bir değişiklik, gerilme dağılımını bozduğu ve bağlantıda maksimum gerilmelere neden olduğu için bağlantı mukavemetini azaltabilir. Yapışma bağlantısı, gerilimlerin yoğunlaşmasını önleyerek bağlantının dayanımını daha da artırır. Ayrıca, geleneksel birleştirmenin yapıştırıcılarla değiştirilmesiyle bir montajın ağırlığı önemli ölçüde iyileştirilebilir. Esnek yapıştırıcılar, farklı termal genleşme katsayılarına sahip farklı malzemeler arasındaki termal gerilmeleri de azaltabilir [4,5]. Ek olarak, yapışkanla birleştirme, birleştirilen parçalarda mikro yapısal değişiklikler ve çarpılma olmadan,

tasarım esnekliği ile farklı veya aynı malzemelerin birleştirilmesine ve imalat kolaylığına olanak sağlar [5,6].

Ayrıca, yüksek yük taşıma potansiyeli için daha geniş bir yük taşıma alanı, herhangi bir şekildeki ince veya kalın malzemenin birleştirilmesi için uygulanabilirlik, hermetiklik, şok yüklerin emilmesi, korozyon ve yorulmaya karşı direnç gibi faydalar da sağlamaktadır [3]. Bununla birlikte, yapıştırıcılar doğası gereği polimerdir ve bu nedenle daha karmaşık bir şekilde davranırlar, bu da performanslarının tahminini çok daha zor hale getirir. Sıcaklık ve nem gibi çevresel koşullar, yapıştırıcıda fiziksel ve kimyasal değişikliklere neden olabilir. Ayrıca harici yük altındaki davranışları yapıştırıcının kullanım ömrünü daha da azaltır [4,5].

Yapışma bağlantıları, hafif malzeme gereksinimi nedeniyle başta otomotiv ve havacılık olmak üzere birçok endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, havacılık endüstrisinde kullanılan karbon elyaf takviyeli polimer (CFRP) için birincil birleştirme tekniği yapışma bağlantılarıdır. İnşaat mühendisliği, ulaşım, biyomekanik, denizcilik, elektronik vb. gibi diğer birçok endüstri yapıştırıcılardan yararlanır [5,7].

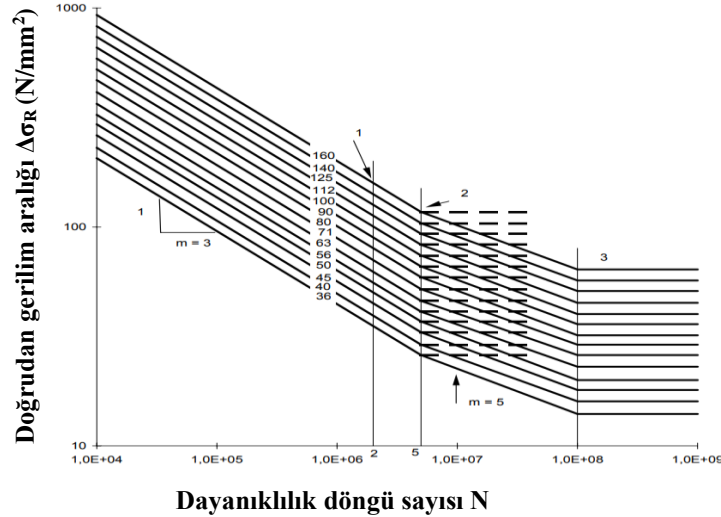
Yorulma, yapışma bağlarını içeren birçok yapısal bileşen için çok önemli bir yükleme türüdür. Tekrarlı gerilme altında, bir yapı statik dayanımının çok altında deformasyona uğrayabilir. Yapıştırıcılar, bağlantıların yorulma mukavemeti üzerinde önemli bir etkiye sahip olan büyük miktarda plastisite sergiler [5].

Yapışma bağlantıların dayanıklılığı, çevresel değişkenler (sıcaklık ve nem), yapıştırıcıların yaşlanması, dinamik yükler, gerilim hızı, sürünme etkisi ve yorulma hasarı gibi çeşitli koşullara bağlıdır. Yapışma bağlantılarının yorulma davranışı, geometrik faktörlerden, farklı yapışan ve yapıştırıcı malzemelerin kombinasyonundan, yükleme tipinden, yüzey hazırlığından ve kütleme döngülerinden etkilenebilir [8].

Bilindiği gibi rüzgar türbinleri rüzgar enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren ve kullanımı son yıllarda hızla artan yenilenebilir enerji üretim aracıdır. Rüzgar türbini imalatında da geleneksel olan kaynak, perçin veya cıvata ile birleştirme yöntemleri kullanılmaktadır. Sürekli değişken rüzgar şiddetleriyle bu bağlantılar cıvata veya perçin ile yapılmışsa homojen olmayan gerilim dağılımından, kaynakla yapılmışsa dengesiz ısı dağılımından dolayı öngörülenden önce çatlamaya sebep olabilmektedir. Ayrıca, değişken rüzgar şiddeti ve gerilme etkisiyle bu bağlantılar tekrarlı gerilmelere maruz kalarak, kritik bağlantı bölgelerinde çatlaklar oluşmakta ve oluşan çatlaklar tekrar eden gerilmelerin etkisiyle büyüyerek yorulma kırılmalarına sebep olmaktadır.

Rüzgar türbin kulelerinin iç kısmında bulunan merdivenlerin kule duvarına montajında bağlantı elemanı olarak kullanılan braketler geleneksel olarak kaynakla birleştirilmektedir. Bu durumda kaynak işleminde dengesiz ısı dağılımı braket birleşim yerlerinde çatlaklara sebep olabilmekte ve bağlantının ömrünü kısaltmaktadır. Nitekim; TS EN 1993-1-9 numaralı “Çelik yapıların tasarımı” standardında [9] düz ve mekanik bağlantılar için (kaynak içermeyen) verilen kategori 160'daki yorulma sınırı kaynaklı bağlantılar için kategori 80'e düşmektedir ve yorulma mukavemet sınırı önemli ölçüde azalmaktadır (Şekil 1).





Şekil 1. Doğrudan gerilim aralıkları için yorulma mukavemeti eğrileri [9].

Bu çalışmada geleneksel olarak kaynakla birleştirilen braket bağlantı parçalarının yapısal yapıştırma tekniği ile birleştirilmesi ve bağlantının ömrünün araştırılması amaçlanmıştır. Bunun için braketlerin kule duvarına bağlantısındaki malzeme ve geometrisi esas alınarak belirlenen numuneler akrilik bir yapıştırıcı ile birleştirilmiş ve bu bağlantılar mekanik özellikler açısından incelenmiştir. Bağlantıların mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla bağlantı numunelerine statik (çekme, kesme) ve dinamik (yorulma) deneyler uygulanmıştır. Yorulma deneyleri için daha önce Gönen ve arkadaşlarının [10] spiral yay yorulması için tasarlayıp imal ettikleri çeki-bası gerilmeli yorulma cihazı yeniden revize edilerek tekrarlı bileşik (kayma ve eğilme) gerilme uygular duruma dönüştürülmüştür. Ayrıca, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapışma bağı için statik ve dinamik analizler yapılmıştır.

## 2. Deneysel Çalışmalar

Bu bölüm; numunelerin yapıştırılması, yorulma cihazının revizyonu, statik ve dinamik deney ve analiz bölümlerinden oluşmaktadır.

### 2.1. Yapıştırma işlemi

Deney numuneleri için kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri Tablo 1 ve Tablo 2’de verilen AISI 1040 çelik numuneler kullanılmıştır. Deney numuneleri, türbin kulelerinde kullanılan braket bağlantı parçaları geometrisine uygun olarak 40 mm çapında silindirik yapışma yüzeyine sahiptir. Yapıştırma işleminden önce numune yüzeylerine ön hazırlık yapılmıştır. Bunun için yüzeyler toz ve kirden arındırılmış ve yüzeylere GL40-GL25 metal aşındırıcı ile 9 bar basınç altında 1.5 metre mesafeden kumlama işlemi yapılmıştır. Kumlama sonrası yüzeyler etil alkolle silinerek temizlenmiş ve kurutulmuştur.

Tablo 1. AISI 1040 çeliğinin kimyasal bileşimi (% ağırlık) [11].

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	Cu	Mo	V
0.380	0.140	0.730	0.025	0.015	0.040	0.040	0.005	0.060	0.009	0.002

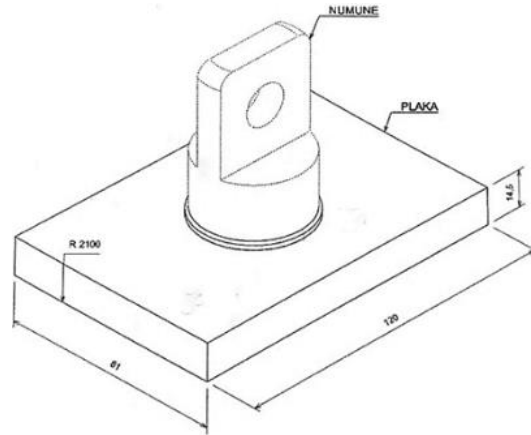
Tablo 2. AISI 1040 karbon çeliğinin mekanik özellikleri [11].

Çekme mukavemeti (MPa)	Akma mukavemeti (MPa)	Kayma mukavemeti (MPa)	Elastisite modülü (MPa)	Yüzde uzama (%)	Sertlik (HB)
600	361	410	190-210	25	190

Yapıştırıcı olarak yüksek mukavemetli ve endüstriyel uygulamalar için uygun olan akrilik yapısal bir yapıştırıcı seçilmiştir. Bu seçime, Gesbey Enerji Türbini Kule Üretim San. ve Tic. A.Ş. tarafından bir seri yapıştırıcılar üzerinde mekanik test çalışmalarından sonra karar verilmiştir. Kullanılan yapıştırıcının poisson oranı 0.4, Elastisite modülü(E) 1.17 MPa, kütle yoğunluğu  $0.99 \text{ g/cm}^3$  ve çekme mukavemeti 0.016 MPa'dır.

Statik deneylerde kullanılmak üzere AISI 1040 çelik plaka üzerine beş adet braket numunesi yapıştırılmıştır. Yapıştırıcı numune yüzeyini tamamen kaplayacak şekilde uygulanmıştır. Daha sonra deney numuneleri hızlı bir şekilde çelik plaka üzerine yapıştırılmıştır.

Şekil 2'de ölçüleri verilen yorulma numunesinin hazırlanması için de statik deneylerde uygulanan aynı yapıştırma yöntemi kullanılmıştır. Sadece yorulma numunelerinde yapıştırma işlemine geçilmeden önce Elcometer 123 yüzey profili göstergesi ile yüzey pürüzlülük değerleri ( $R_t$ ) ölçülmüştür. Ölçüm sonrası yüzeyler etil alkol ile temizlenerek kurutulmuştur. Ortalama hesaplanan yüzey pürüzlülük değeri alt parça ( $81 \times 120 \text{ mm}^2$  kesitli levha) için  $47.79 \mu\text{m}$ , üst parça (numune) için  $15.14 \mu\text{m}$ 'dir. Hem yorulma hem de statik test için hazırlanan numunelerin yapıştırma öncesi yükseklikleri belirlenmiş ve yapıştırma sonrası toplam yükseklikten çıkarılarak elde edilen yapıştırıcı kalınlıkları yaklaşık 1mm olarak tespit edilmiştir.

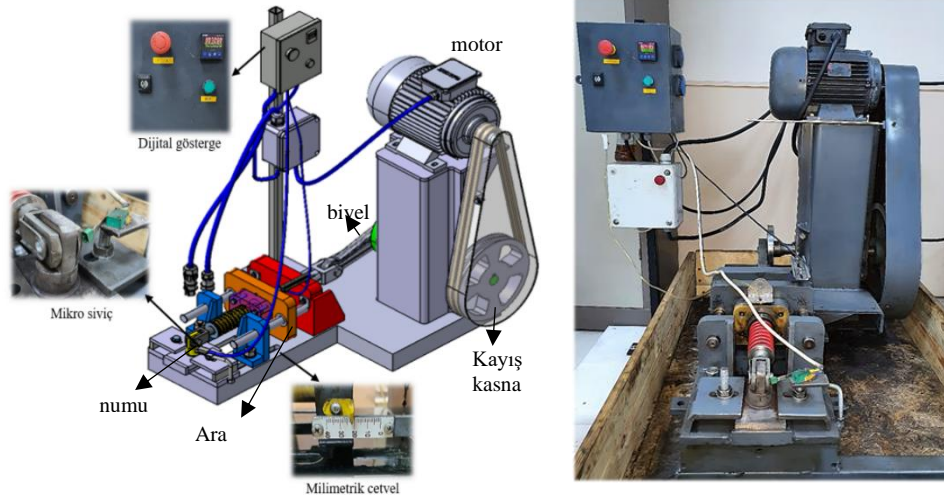


Şekil 2. Yorulma numunesi ve ölçüleri.

## 2.2. Yorulma cihazı

Yapıştırma bağının yorulma dayanımını deneysel olarak belirlemek amacıyla Şekil 3'te verilen bir kaymalı eğilme yorulma test cihazı geliştirilmiştir. Cihaz, 4 kW güç ve 1460 dev/dak ile tahrik edilmektedir. Kayış-kasnak mekanizması motor devrini 1/6 oranında düşürmekte ve motordan gelen dönme hareketi krank-biyel mekanizması ile yayı sıkıştıran öteleme hareketine dönüştürülmektedir. Bu esnada yayın sıkışma miktarına bağlı olarak cihaz, 0-F (N) arasındaki bası kuvvetini numuneye iletmektedir. Test

düzeneğinde dairesel kesitli yaylar yerine daha uzun ömürlü olan dikdörtgen kesitli kalıp yaylar tercih edilmiştir. Ara parça (kuvvet uygulama elemanı), istenilen kuvvetleri ( $F = k \times x$ ) elde edebilmek amacıyla yayı biyel kolu vasıtasıyla 20 ve 22mm sıkıştırarak istenilen zorlama kuvvetlerini numuneye iletmektedir.



Şekil 3. Yapıştırma bağı için geliştirilen kaymalı-eğilme yorulma cihazı.

Sabit olan alt tablanın yan tarafına yerleştirilen cetvel ile yay sıkıştırma miktarı ayarlanabilmektedir. Bu sayede test cihazında kullanılmak istenen yayların çapları ve boyları değişebilmektedir. Deneylerde numunelere uygulanan kuvvetlerin yük tekrar sayılarını belirlemek için bir sayaç kullanılmıştır. Sayaçtaki dijital göstergede karakter sayısı sınırlı olduğundan; sayaç her 10 yük tekrarında 1 birim artış sağlamaktadır. Alt tablaya yerleştirilen mikro anahtar yardımı ile numune koptuğu an elektriksel devre kesilerek sistem otomatik olarak durmaktadır. Herhangi bir beklenmeyen durumla karşılaşıldığında cihazı durdurmak için bir adet acil durdurma butonu mevcuttur.

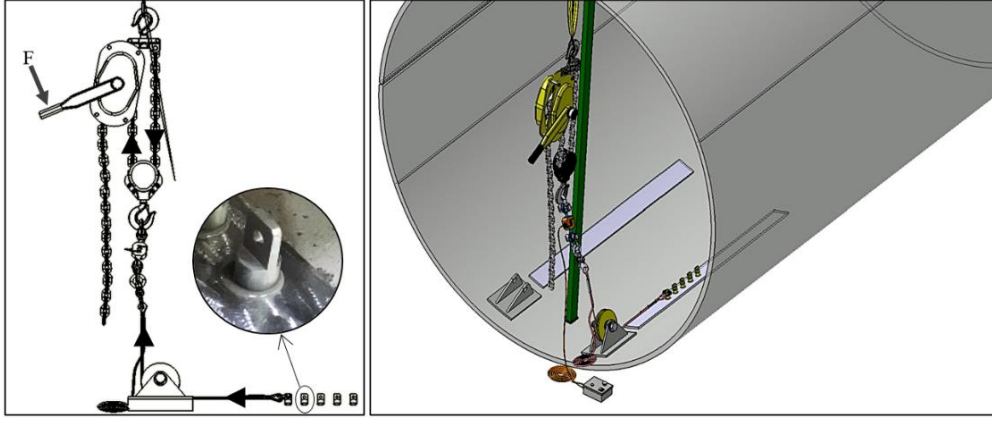
### 2.3. Statik ve dinamik deneyler

Kule içine yapıştırılan braketler kayma ve eğilme gerilmesine zorlandığından, yapıştırılan parçanın, gerçek uygulamadaki statik kayma ve eğilme gerilmesini belirleyebilmek için standart dışı bir deney düzeneği kullanılmıştır (Şekil 4). Bu düzende mekanik olarak uygulanan yük load cell yardımıyla dijital olarak kaydedilmektedir. Deneyler sonucunda ayrılmanın meydana geldiği maksimum ayrılma yükü elde edilmiştir. Kayma ve eğilme gerilmesine zorlanan numunenin ayrılma yükünün tespiti için beş adet numune test edilmiştir. Elde edilen kopma yükünden kayma gerilmesi ( $\tau_k$ ), eğilme gerilmesi ( $\sigma_e$ ) ve eşdeğer gerilme ( $\sigma_{eş}$ ) sırasıyla Eşitlik 1, 2 ve 3 yardımıyla hesaplanmıştır. Denklemlerdeki  $F_{maks}$  maksimum kuvveti,  $A_0$  yapışma kesitini,  $M_e$  eğilme momentini,  $I_x$  atalet momentini ve  $y$  tarafsız eksene olan mesafeyi ifade etmektedir.

$$\tau_k = \frac{F_{maks}}{A_0} \quad (1)$$

$$\sigma_e = \frac{M_e}{I_x} \cdot y \quad (2)$$

$$\sigma_{eş} = \frac{\sigma_e}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_e}{2}\right)^2 + \tau_k^2} \quad (3)$$



Şekil 4. Statik deney düzeneği.

Yorulma deneylerine statik deneylerden elde edilen bileşik gerilmenin yaklaşık %70'i kadar değişken gerilme uygulanarak başlanmıştır. Bu ve bunun altındaki tekrarlı gerilmeleri oluşturabilmek için strotk mesafeleri ve rijitlikleri Tablo 3.3'te verilen yaylar kullanılmıştır. Deneyler oda sıcaklığında  $R=0$  gerilme oranında toplam 30 adet numune ile yapılmıştır.

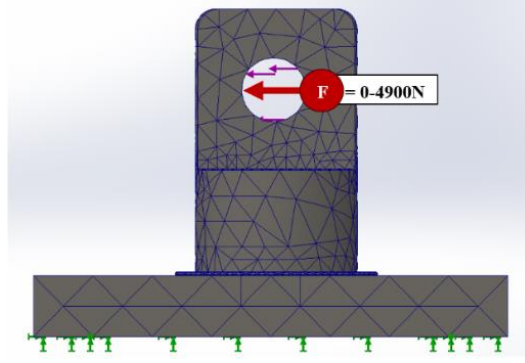
Tablo 3. Kullanılan yaylar, strotk mesafesi, rijitlikleri ve uyguladıkları bası kuvvetleri.

Yay tipi	Strotk (mm)	Yay rijitliği (MPa)	Kuvvet (N)
R50-102	20	245	4900
R50-102	22	245	5390
S40-89	22	280	6164
G50-115	20	352	7040

#### 2.4 Sonlu elemanlar yöntemi ile analiz

Bu bölümde, yapışma bağındaki statik ve dinamik analizler sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

Yapışma bağının analizi için önce Solidworks kütüphanesine AISI 1040 çeliği ve akrilik yapıştırıcının mekanik özellikleri tanımlanmıştır (Tablo 2). Solidworks programıyla yapışma numunesinin modeli oluşturulmuş ve Solidworks'ün içerisinde bulunan *Simulation* eklentisiyle bu modelin sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir. Analizlerin yapılabilmesi için ilk olarak modele mesh işlemleri yapılmıştır. Küçük eleman boyutları analiz sonuçlarındaki doğruluk oranını arttırdığından, gerilme dağılımının kritik olduğu bölgelerde daha ince mesh tercih edilmiştir (Şekil 5). Statik analizlerde mesh işleminden sonra analiz için gerekli olan sınır şartlar tanımlanmıştır. İlk olarak braketin alt kısmından sabitleme işlemi yapılarak analize başlanmıştır. Analizler; 4900N yük değerinde, 15909 toplam düğüm sayısı ve 9975 toplam eleman kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gerilme kriteri olarak eşdeğer (von-Mises) gerilmeler dikkate alınmıştır.



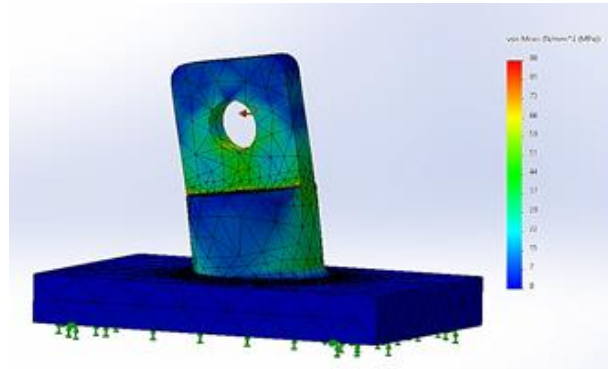
Şekil 5. Analizin sınır şartları görüntüsü.

Yorulma analizinde sıfır tabanlı ( $R=0$ ) yükleme tipi seçilmiş ve statik analizin parça üzerine 1.000.000 defa uygulanması istenmiştir. Test sonuçlarında elde edilen S-N eğrisi verileri programa elle girilmiştir.

### 3. Sonuçlar ve tartışma

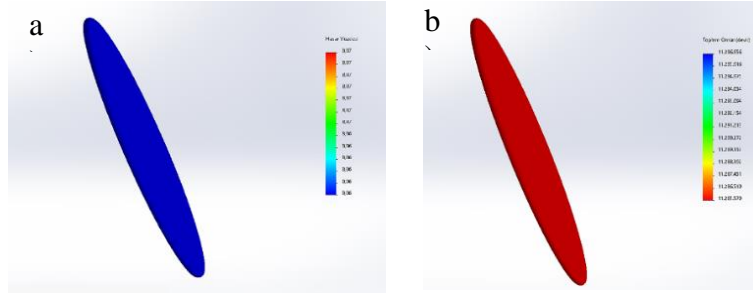
#### 3.1. Yapışma bağı analizi

Şekil 6'da yapışma bağına 4900 N değerindeki sayısal hasar yükünün von-Mises gerilme dağılımı gösterilmiştir. Analiz sonucunda maksimum gerilme yapıştırıcı tabakasının kenar bölgesinde 87.86 MPa olarak bulunmuştur. Bu bölgeler kritik bölge olarak tanımlanmaktadır ve ilk olarak ayrılma bu bölgelerde meydana gelmektedir. Von-Mises gerilmesi sonucu parça akma sınırını geçmiş ve gözle görülür bir ayrılmaya sebep olmuştur.



Şekil 6. Yapışma bağına von-Mises gerilme dağılımı.

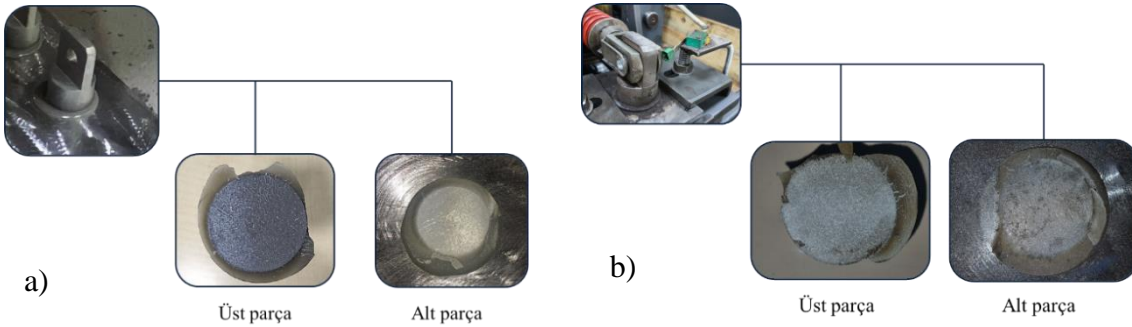
Yorulma analiz sonuçlarından, maksimum hasar yüzdesinin 8.87 olacağı ve 11.285.570 yük tekrarından sonra yapışma bölgesinde kopmaların meydana geleceği görülmüştür (Şekil 7). Analiz sonucunda başlangıçta girilen yük tekrar sayısından (1.000.000) 11 kat daha fazla yük tekrarına dayanabileceği ortaya çıkmıştır.



Şekil 7. Yorulma analizinde yapışma bölgesindeki a)hasar yüzdesi, b)ömür.

### 3.2. Statik ve dinamik deney sonuçları

Statik ve dinamik deneyler sonucunda ayrılan numunelerin yüzeyleri Şekil 8’de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde numunelerin yapıştırıcı kısmından (kohezyon) homojen bir şekilde ayrılma gösterdiği görülmüştür. Yapışan yüzeylerde herhangi bir boşluk veya süreksizlik gözlenmemiştir. Bu sebeple yapıştırma işleminin ve yapıştırıcı tipinin AISI 1040 karbon çeliği için uygun olduğu söylenebilir. Bununla beraber yorulma numunelerinin bazılarında kopma yüzeylerinin homojen olmadığı görülmüştür (Şekil 9). Buna sebep olarak, yapıştırma işlemi sırasında numune yüzeylerinin yapıştırıcı ile tamamen ıslatılmadığı söylenebilir. Bu numunelerde hatalı birleşme olduğundan bunlara ait deney sonuçları dikkate alınmamıştır.



Şekil 8. a)Statik deneyler ve b)dinamik deneyler sonucunda numunelerde kopma yüzeyleri.



Şekil 9. Yapışma hatası olan yüzeyler.

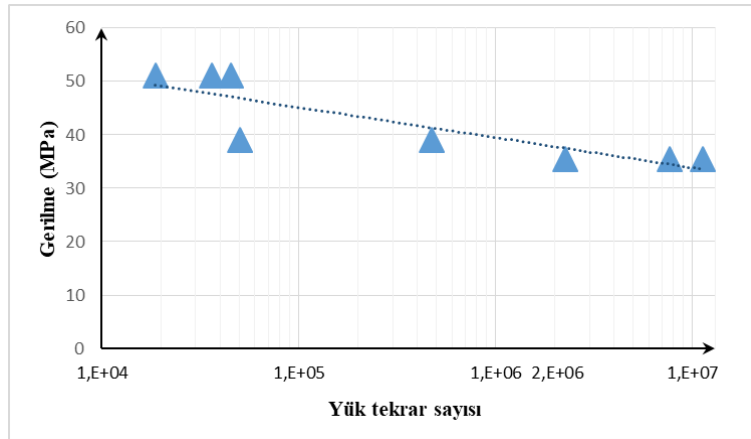
Statik deney düzeneğinden elde edilen maksimum kuvvet değerlerinden Eşitlik 1, 2 ve 3 yardımıyla kayma gerilmesi, eğilme gerilmesi ve eşdeğer gerilme değerleri hesaplanmıştır (Tablo 4). Buna göre ortalama kayma, eğilme ve eşdeğer gerilme değerleri sırasıyla 7.89 MPa, 71.05 MPa ve 71.13 MPa olarak bulunmuştur. Sonlu elemanlar

analizi ile hesaplanan maksimum gerilme değerinin (87.86 MPa) deneylerde elde edilen eşdeğer gerilme değerinden %23 oranında sapma gösterdiği görülmüştür.

Tablo 4. Statik deney sonuçları.

Ölçüm no	$P_{max}$ (N)	$\tau_{kayma}$ (MPa)	$\sigma_e$ (MPa)	$\sigma_{eş}$ (MPa)
1	10840	8.63	77.64	78.59
2	9908	7.88	70.96	67.89
3	8809	7.01	63.09	63.86
4	10271	8.17	73.56	74.46
5	9771	7.78	69.98	70.83
ortalama	9919.8	7.89	71.05	71.13

R=0 gerilme oranında hatasız yapıştırılan numunelere uygulanan tekrarlı bileşik (kayma ve eğilme) gerilmeler sonucunda elde edilen Wöhler eğrisi Şekil 10'da verilmiştir. Yapısal yapıştırıcıların yorulma deneylerine ilişkin standartta  $10^6$  tekrar sayısından sonra deneylerin sonlandırılabilmesi belirtilmektedir [12]. Şekilden de görüldüğü gibi, 35.52 MPa değişken eşdeğer gerilme değerinde yapışma bağı  $11 \times 10^6$  yük çevriminden sonra ayrılma göstermiştir. Bu tekrar sayısı standardın belirttiği değer 11 katı olduğundan 35.52 MPa değerinin altında yapışma bağına sonsuz ömürlü olduğu söylenebilir. Aynı zamanda bu gerilme değeri statik ortalama eşdeğer gerilmenin yarısına eşittir.



Şekil 10. Wöhler (S-N) eğrisi.

Deneylerde kullanılan bir numune atmosfere açık dış ortamda, 4905 N yük altında güneşli-sıcak, yağmurlu, rüzgarlı-soğuk ortamlarda korunmasız olarak dakikada 32 salınım yapacak şekilde denemeye alınmıştır (Şekil 11). Sarkaç koluna bağlanan yük bir pnömatik piston ile 90 saniyede bir itilerek sarkacın salınım yapması sağlanmaktadır. Atmosferik şartlarda 22.07.2022 – 22.10.2023 tarihleri arasında yaklaşık  $2.08 \times 10^7$  kez salınım yapmış olup makalenin yazıldığı tarihte hala deneme çalışması devam etmektedir.



Şekil 11. Atmosferik ortamda yapılan deney çalışması.

#### 4. Sonuçlar

Rüzgar türbin kulesi iç yüzeyinde merdiven bağlantı elemanı olan braketlerin, kule duvarına kaynak ile birleştirilmesi, kule yorulma mukavemeti açısından tercih edilmemektedir. Kule duvarlarına yerleştirilecek braketlerin yapışma bağı ile montajlanma olanakları araştırılan çalışmada; yapışma bağı (yapışan malzeme: AISI 1040 çeliği ve yapıştırıcı: akrilik tipte yapısal yapıştırıcı) statik ve dinamik açıdan incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Mevcut yay yorulma cihazının tasarımında değişiklikler yapılarak yapışma bağlantıları için birleşik tipte (kayma ve eğilme) tekrarlı gerilme uygulayan yorulma cihazı geliştirilmiş ve cihaz güvenilir deney sonuçları vermiştir.
- Statik deneyler sonucunda yapışma bağına ortalama kayma gerilmesi 7.89 MPa, eğilme gerilmesi 71.05 MPa ve eşdeğer gerilmesi ise 71.13 MPa olarak belirlenmiştir.
- Statik eşdeğer kopma gerilmesi değerinin %50'si kadar değişken gerilme ve altındaki gerilmelerde yapışma bağına sonsuz ömre sahip olduğu görülmüştür.
- Atmosferik şartlarda yapılan deney çalışmasında  $2.08 \times 10^7$  yük tekrarına karşın hala kopma olmaması, bu yapıştırıcıların kaynaklı birleştirmeye iyi bir alternatif olacağı şeklinde değerlendirilebilir.

#### Kaynaklar

- [1] EAA Aluminium Automotive Manual – Joining, 9. Adhesive bonding, Version 2015, European Aluminium Association.
- [2] Adhesives Technology Handbook, Second Edition, edit. Sina Ebnesajjad, William Andrew Press, USA, (2008).
- [3] Song J.H. ve Lim, J. K., Bonding strength in structural adhesive bonded joint, **Metals And Materials International**, 7, 5, 467-470, (2001).
- [4] Wilhelmsson S. ve Ågren J., Evaluation of the mechanical properties of structural adhesives cured under different environmental conditions, Yüksek Lisans Tezi, Makine mühendisliği - Ürün geliştirme TGMAI18h programı, (2021).
- [5] Gonzalez, C. E.C., Mora, R. P., Gutierrez, S. D. S., Taha-Tijerina, J. J., Arista, B. V. ve Pingarron, A. B., Fatigue strength evaluation and fracture behavior of joined



- dual phase steel/AA6061-T6 aluminum alloy, **Frattura ed Integrità Strutturale**, 48, 530-544, (2019). Doi: 10.3221/IGF-ESIS.48.51.
- [6] Barbosa, N.G.C., Campilho, R.D.S.G., Silva, F.J.G., Comparison of different adhesively-bonded joint types for mechanical structures, **Applied Adhesives Science**, 6, 15, (2018). <https://doi.org/10.1186/s40563-018-0116>.
- [7] Abdel Wahab, M. M., Fatigue in adhesively bonded joints: A review, **International Scholarly Research Network (ISRN) Materials Science**, Article ID 746308, 25 pages, (2012). Doi:10.5402/2012/746308.
- [8] Campos, A.A.M.A., de Jesus, A.M.P., Correia, J.A.F.O. ve Morais, J.J.L., Fatigue crack growth behavior of bonded aluminum joints, **Procedia Engineering** 160, 270-277, (2016).
- [9] EUROCODE 3: Çelik Yapıların Tasarımı- BÖLÜM 1-9: Genel Kurallar-Yorulma (TS-EN 1993-1-9), Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, 2005.
- [10] Gönen, D., Oral, A. ve Cakır, M. C., Investigating the benefits of using circular die springs instead of rectangular die springs, **Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structure**, 38, 799–812, (2015). Doi: 10.1111/ffe.12269.
- [11] Kalite Belgesi, HASÇELİK SAN. VE TIC. A.Ş., 2020.
- [12] ISO 9664, Adhesives - Test methods for fatigue properties of structural adhesives in tensile shear, Switzerland-Geneve Patent, (1993).

# Evsel katı atıklardan elektrik üretimi: Bursa örneği

Samet ÖZTÜRK\*, Harun SEYMENLER, Anıl AKGÜL, Yusuf UCA

<sup>1</sup>Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü,  
Mimar Sinan Kampüsü, Bursa

Geliş Tarihi (Received Date): 10.10.2023  
Kabul Tarihi (Accepted Date): 01.12.2023

## Öz

Evsel katı atıklardan yakma yöntemiyle enerji kazanımı yaygınca kullanılan katı atık bertaraf yöntemlerinden biridir. Bu sayede hem atık hacmi önemli ölçüde azaltılmış olur hem de yakma yöntemiyle kazanılan enerji ile elektrik ve ısı eldesi sağlanmış olur. Bu çalışmada dünyada yaygınca uygulaması bulunan evsel katı atık yakma yönteminin Bursa ili için tekno-ekonomik analizi yapılmıştır. Çalışmada Bursa ilinde açığa çıkan evsel katı atık miktarı resmi veriler kullanılarak, potansiyel elektrik enerjisi geri kazanımı hesaplanmıştır. Bu çalışma sonucunda Bursa'da yanabilir evsel katı atıkların ısı değeri 14 MJ/kg olarak hesaplanmış olup, bu atıkların değerlendirildiği bir yakma tesisinin yıllık yaklaşık 25 milyon dolar getir sağlayacağı ve 7,4 yılda tesisin kendini amorti edeceği hesap edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Bursa, atıktan enerji kazanımı, evsel katı atık.

## Electricity generation from municipal solid waste: Bursa case

### Abstract

In this study Energy recovery from municipal solid wastes by waste-to-energy is one of the most widely used solid waste disposal methods. In this way, both the waste volume is significantly reduced and electricity and heat are obtained with the energy gained by the incineration. In this study, a techno-economic analysis of waste-to-energy method, which is widely used in the world, has been made for the province of Bursa. In the study, the amount of municipal solid waste generated in Bursa province was calculated using the official data, and the potential electrical energy recovery was calculated. As a result of this study, the calorific value of combustible domestic solid wastes in Bursa has been

\*Samet ÖZTÜRK, samet.ozturk@btu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-5969-1534>

Harun SEYMENLER, harunseymenler@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5237-099X>

Anıl AKGÜL, anilwrose@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0479-3581>

Yusuf UCA, ucay07111@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0794-6512>

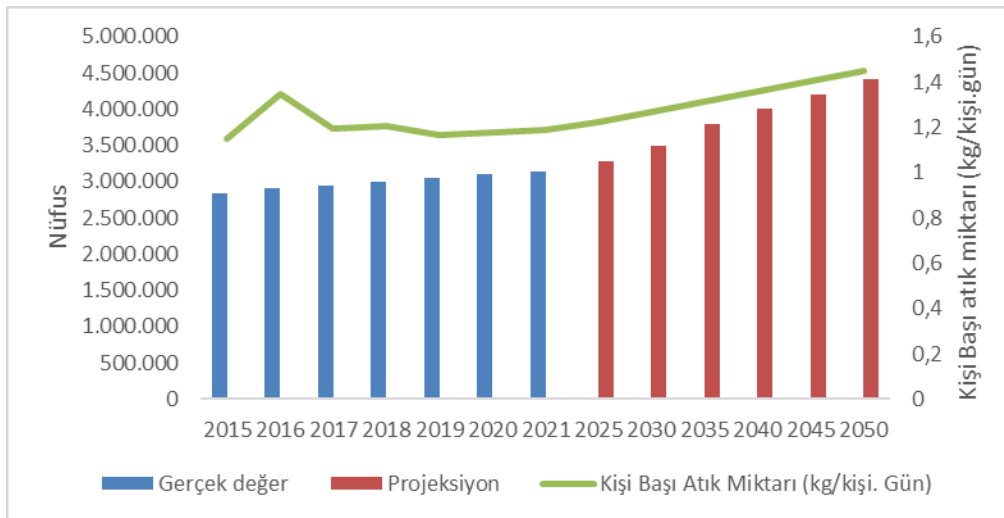
calculated as 14 MJ/kg. Also it is estimated that a waste-to-energy facility where these wastes are evaluated will provide an annual return of approximately 25 million dollars and the facility will pay for itself in 7.4 years.

**Keywords:** Bursa, energy recovery from waste, municipal solid waste.

## 1. Giriş

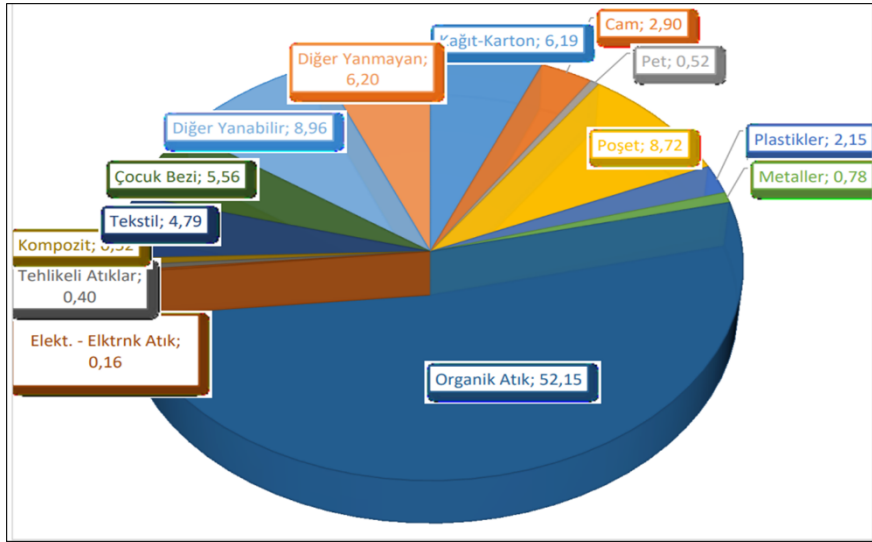
Enerji ihtiyacındaki artış nüfus artışları ve sanayideki gelişmeler nedeniyle ülkelerin kaçınılmaz bir gerçeğidir. Enerji ihtiyacının karşılanması mevcut durumda dünya genelinde ağırlıklı olarak fosil kaynaklardan sağlanmaktadır. Küresel ısınmanın önemli bir sorun olduğunda uzlaşma sağlanması sonrası fosil kaynaklardan uzaklaşma eğilimi artmaktadır. Bunun yanında, evsel katı atıkların geri kazanım yolları kullanılmadan depolama sahalarında bertaraf edilmesi çevresel problemlere yol açmaktadır. Evsel katı atıklar ideal olarak, yalnızca geri dönüşüm ve geri kazanım metotları uygulanamazsa depolama sahalarında gerekli önlemler alındıktan sonra bertaraf edilmelidir [1]. Evsel katı atıkların miktarları nüfusa bağlı olarak seneler içerisinde artış göstermektedir. Aynı zamanda ülkelerin enerji ihtiyacı sanayideki kullanım ve nüfus artışıyla beraber artış göstermektedir. Evsel katı atıkların yakılmasıyla enerji eldesi hem çevresel hem de ekonomik olarak kazanım oluşturmaktadır. Yakılan evsel katı atıkların hacmi ciddi oranda azaltılırken, yakma ile elde edilen enerji kazanımı ısı ve elektrik üretimine katkı sağlamaktadır.

Bursa ili resmi nüfus verileri ve İller Bankası metoduyla oluşturulan nüfus projeksiyonu Şekil 1’de verilmiştir [2-3]. Bursa ilinde 2021 yılı itibarıyla 3 milyonu aşkın nüfus bulunmakla beraber, bu değer 2050 yılında 4,5 milyona yaklaşacağı öngörülmektedir. Bununla beraber, Bursa Büyükşehir Belediyesinin (2015) yapmış olduğu atık karakterizasyonu ve atık gelecek projeksiyonu çalışmasına göre kişi başına düşen ve düşecek olan atık miktarları Şekil 1’de verilmiştir [4]. Kişi başına düşen atık miktarı 2021 yılı itibarıyla 1,2 kg/gün seviyesindedir. Bu değer 2050 yılına gelindiğinde 1,5 kg/gün değerine yaklaşacağı öngörülmektedir. Bu durum mevcut atık bertaraf tekniklerinin gelecekte yetersiz kalabileceğini ve çevresel problemlerin artabileceğini göstermektedir.



Şekil 1. Bursa ili yıllara göre nüfusu ve evsel katı atık miktarı [2-4].

Bursa Büyükşehir Belediyesinin (BBB) (2015) yaptığı evsel katı atık karakterizasyonuna göre evsel katı atıkların %52'si organik atıklardan oluşmaktadır (Şekil 2) [4]. Organik atıkları %9 ile poşet atıkları, %6 ile kağıt-karton atıkları izlemektedir. Dikkat çeken önemli bir oran %6 ile çocuk bezlerine aittir ve onu tekstil atıkları %5 ile takip etmektedir. Kategorizasyonda bir kategori içinde bulunmayan diğer katı atıklardan yanabilir olanları %9, yanmayanlar ise %6'lık bir kısmı oluşturmaktadır. Kompozit atıkları, tehlikeli atıklar ve elektrik-elektronik atıkları %1'den az orana sahip evsel katı atıklardır. Bu çalışmada Bursa ilinde Yenikent depolama sahasında bertaraf edilen İnegöl, İznik ve Yenişehir ilçelerindeki evsel katı atıklar haricindeki tüm ilçelerdeki atığın yakılarak elektrik enerjisi üretilmesinin tekno-ekonomik analizi yapılacaktır. Bahsedilen üç ilçenin kapsam dışı kalmasının nedeni bu ilçelerin diğer ilçelerden lokasyon olarak ayrı bir konumda bulunması ve bu üç ilçede görece çok az miktarda evsel katı atığın açığa çıkıyor olmasıdır.



Şekil 2. Bursa ili evsel katı atık karakterizasyonu [4].

## 2. Materyal ve Metot

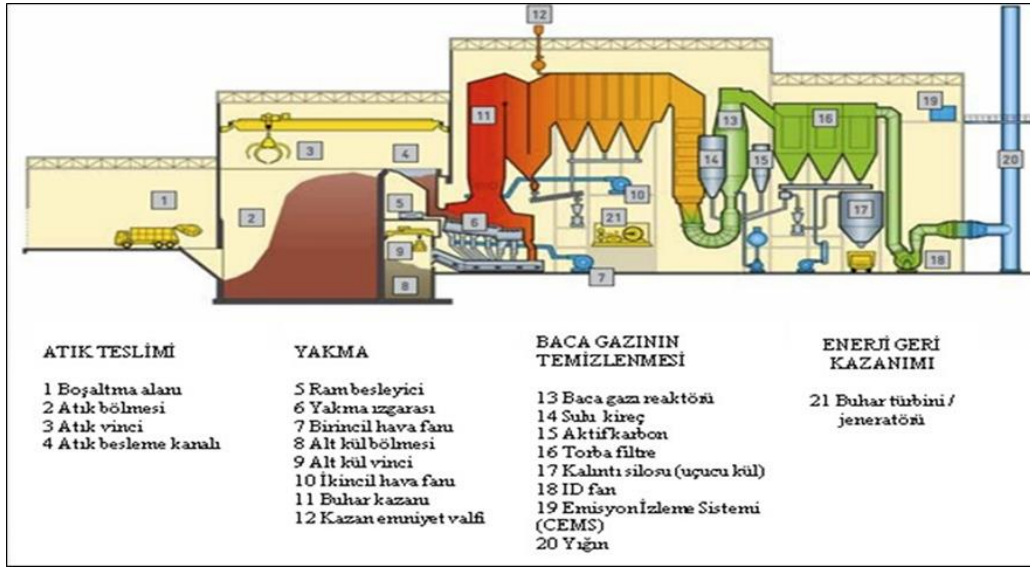
### 2.1. Bertaraf teknikleri

Evsel katı atıklar düzenli depolama, biyolojik veya termal bertaraf metodları uygulanarak bertaraf edilebilirler. Düzenli depolama dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de en çok uygulanan bertaraf yöntemi olduğu söylenebilir. Düzenli depolama sahalarında evsel katı atıklar ilgili şartlar ve kriterler sağlanarak depolanır [5]. Biyolojik bertaraf metodları kompostlaştırma ve biyometanizasyon olarak iki şekilde uygulanabilir. Kompostlaştırma, organik atıkların kontrollü şartlar sağlanarak biyolojik olarak ayrışması sonucu atık hacminin azaltılmasının ve kullanılabilir minerallerin geri kazanılması işlemidir [6]. Biyometanizasyon işlemi oksijensiz ortamda meydana atıkların parçalanma işlemidir. Biyogaz santralleri biyometanizasyon işleminin kullanılarak elektrik üretildiği enerji üretim tesisleridir [7]. Termal bertaraf teknikleri ise katı atıklara verilen ısı enerjisi ile atıklardan enerji kazanım yöntemleridir. Termal bertaraf teknikleri piroliz, gazlaştırma ve atık yakma yöntemleri olarak kategorize edilebilir [8]. Bu çalışma kapsamında atık yakma yöntemi ele alınmıştır.

### 2.2. Atık yakma ile enerji kazanımı

Atık yakma yöntemi yanabilir evsel katı atıkların bertarafı için kullanılan bir atık bertaraf yöntemidir. Katı atıkların atık yakma tesislerinde tabi tutuldukları işlemler Şekil 3'te

gösterilmiştir [9]. Atık yakma tesisleri uygulanan işlem bakımından dört kategoride incelenebilir. İlk kısımda atığın tesise teslim edildiği bölüm bulunur. Atık teslimi bölümünde atık boşaltma alanı, atık bölmesi, atık vinci ve atık besleme kanalı bulunmaktadır. İkinci kısımda atığın yakıldığı bölüm olan yakma kısmında ram besleyiciler ile katı atık yakma ızgarasına iletilir ve burada yanma gerçekleştirilir. Buhar kazanı yanmanın etkisiyle oluşan ısı enerjisi sayesinde suyun buharlaştırıldığı bölgedir. Üçüncü kısımda yanma sonucu oluşan baca gazının temizlendiği baca gazı temizleme kısmı bulunur. Buradaki işlemler atık yakma tesislerinde farklılaşabileceği gibi genel olarak hava kalitesi standartlarının sağlanması için baca gazlarının sulu kireç, aktif karbon, torba filtre gibi yardımcı madde ve ekipmanlar vasıtasıyla temizlendiği kısımdır. Son kısımda da buhar enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürüldüğü buhar türbini ve jeneratör bulunur.



Şekil 3. Örnek bir atık yakma tesisinde bulunan kısımlar [9].

Dünya genelinde atıktan enerji kazanımı oldukça yaygın olup, yaklaşık 2500 tane atık yakma tesisinin yılda yaklaşık 420 milyon ton katı atık bertaraf ettiği bilinmektedir [10]. Sadece 2020 yılında yıllık yaklaşık 35 milyon ton bertaraf kapasitesi olan 100'den fazla atık yakma tesisi kurulmuştur [10].

Türkiye'de ise İstanbul ilinde olmak üzere sadece bir adet atık yakma tesisi bulunmaktadır [11]. Bu tesiste günlük 3000 ton, yıllık ise yaklaşık 1 milyon ton evsel katı atık yakılarak bertaraf edilmekte ve elektrik enerjisi üretilmektedir (İBB, 2022). Bunun yanında, Öztürk ve Bourtsalas (2020) tüm Türkiye genelinde atıktan enerji elde etme potansiyelini araştırmış ve Türkiye'deki evsel katı atıkların %50'sinin enerji kazanımı için yakıldığı varsayımıyla senelik 122 milyon dolarlık bir ekonomik kazanım olacağı hesaplanmıştır [12].

Literatürdeki bu çalışmalara karşın Bursa ilinde yapılabilecek bir atık yakma tesisinin tekno-ekonomik analizine rastlanmamıştır. Bursa ili nüfus açısından Türkiye'nin dördüncü en büyük şehri olup potansiyel bir atık yakma tesisi için yatırım yapılabilecek önde gelen şehirlerden biridir. Bu çalışma sayesinde bir atık yakma tesisinin Bursa ilinde gerçekleştirilmesinin yatırıma elverişli olup olmaması ve tesisi için teknik gereklilikler araştırılmış olacaktır.

### 2.3. Gereç ve yöntem

Bu çalışmada Bursa ili için bir katı atık yakma tesisinin tekno-ekonomik analizi yapılması amaçlanmıştır. Bunun için Büyükşehir Belediyesinin evsel katı atık karakterizasyon değerleri baz alınmıştır [4]. İlk olarak tesiste yakılacak katı atığın kalorifik değeri karakterizasyon baz alınarak hesaplanmıştır. Kalorifik değer hesabı için her bir atık türünün kalorifik değerleri ile yakılacak miktarı çarpılarak ağırlıklı ortalama değeri Denklem 1 kullanarak hesaplanmıştır.

$$C_w = (\sum x_i \cdot y_i) / (\sum y_i) \quad (1)$$

Burada  $C_w$  Ağırlıklı kalorifik değer,  $x_i$  her bir atık türünün kalorifik değeri ve  $y_i$  atık türüne karşılık gelen ağırlık miktarıdır.

Hesaplanan kalorifik değer ile açığa çıkacak saatlik güç miktarı elde edilip bu güç değerine karşılık gelen türbin sayısı hesaplanmıştır. Ayrıca sistemde gerekli olacak su ve buhar kazanları miktarları hesaplanmıştır. İlk yatırım maliyeti literatürde belirtilen yıllık yakılan ton başına atık maliyeti olan ve tesisin inşaatı sırasındaki tüm maliyetleri içeren (baca gazı filtreleme sistemleri dahil) 250\$ kabulü yapılmıştır [13]. Bu değer literatürde bahsedilen gerçekleşen atık yakma tesislerinin ilk yatırım maliyetlerinin ortalama değeri olarak alınmasıyla elde edilmiştir [13]. Ayrıca 2021 yılında İstanbul'da faaliyete başlayan yıllık yaklaşık 1 milyon ton yakma kapasiteli Türkiye'nin tek evsel katı atık yakma tesisinin ilk yatırım maliyeti de 300 milyon Euro olduğu belirtilmiştir [14]. Bu değer tesisin inşaatı için geçerli değer olup yıllık bertaraf edilen ton başına 300 Euro olup bu çalışma için kabul edilen değere yakın olduğu görülmektedir. Böylelikle gerçekleşmiş bir çalışmanın paralelindeki bir değer kabulünün teyiti de böylelikle yapılmıştır. İşçilik harici işletme ve bakım maliyetleri için genel kabul olan ilk yatırım maliyetinin %3'ü uygulanmıştır [15]. Kül ve cüruf atıkları yakılacak atık miktarının %20'sini oluşturacak olup maliyet olarak 2,5\$/ton kabulü yapılmıştır [15]. İşçilik maliyetleri ayrıca hesaplanmıştır. Daha sonra nakit akış diyagramı üzerinden işletmenin geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Son olarak, yatırımdan elde edilecek yıllık net kazanç bir karlılık göstergesi olarak Denklem 2-4 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$P_{net} = I_{net} - C_{net} \quad (2)$$

$$I_{net} = I_{atık} + I_{elektrik} \quad (3)$$

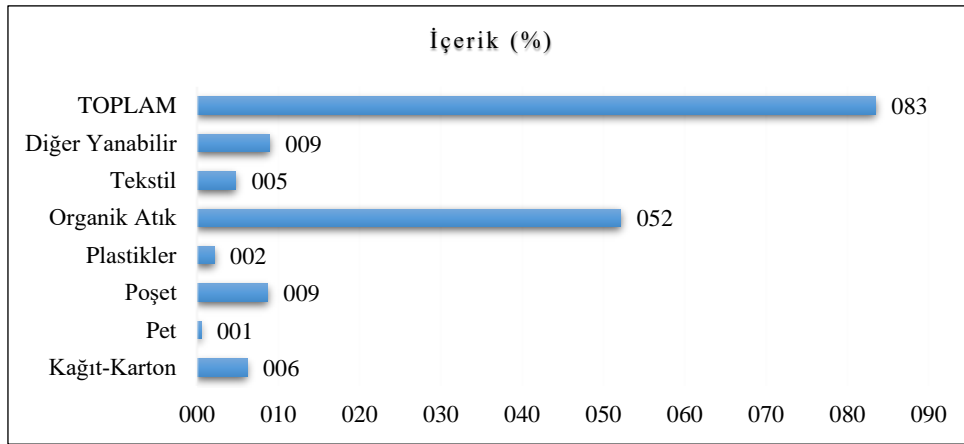
$$C_{net} = Opex + LC + AC \quad (4)$$

$P_{net}$  yıllık net kazanç,  $I_{net}$  yıllık net toplam gelir ve  $C_{net}$  yıllık net toplam gideri göstermektedir.  $I_{atık}$  tesiste atık kabulünden elde edilecek geliri gösterirken,  $I_{elektrik}$  ise elektrik üretiminin satışından elde edilecek geliri göstermektedir. Opex yıllık işletme-bakım maliyetini, LC yıllık işçilik maliyetini, AC ise yıllık uçucu kül ve cüruf bertaraf maliyetini göstermektedir.

Böylelikle Bursa ili için evsel katı atıklardan enerji kazanımı için kurulabilecek bir tesisin gerekli teknik özellikleri incelenmiş olup, yatırımı geri ödeme süresi ve yıllık karlılık hesabı yapılarak ekonomik kazanç potansiyeli hesaplanmıştır.

### 3. Bulgular ve tartışma

Bursa ilinde kurulabilecek bir katı atık yakma tesisine ulaşacak katı atıkların tipine göre yüzdeler oranları Şekil 4'te gösterilmiştir. Buna göre yanabilir olanların tüm evsel katı atıklara oranı %83 olarak bulunmuştur. Yanabilir atıkların en büyük oranını %52 ile organik atıklar, en azını ise %0,52 ile pet atıklar oluşturmaktadır. Poşet atıkları %9, tekstil atıkları ise toplam evsel katı atığın %5'i civarında bir orana sahiptir. Plastikler %2 oranına sahipken diğer yanabilir evsel katı atıklar %9 civarında bir orana sahiptir. Toplamda tesise ulaşan katı atık miktarı günlük 2.010.576 kg'dır. Evsel katı atık tiplerinin oranlarından ve günlük toplam evsel katı atık değerinden hareketle Denklem 1 kullanılarak kalorifik değer hesabı yapılmıştır.



Şekil 4: Bursa ili için yanabilir evsel katı atıklar [4].

#### 3.1. Tekno-ekonomik bulgular

Tablo 1'de katı atık tiplerinin kalorifik değerleri ve Bursa ili için oluşan karışımdaki ortalama saatlik kalorifik değer gösterilmiştir [4, 16]. Tablo 1'e göre en çok kalori değerinin 463 GJ/saat ile poşet atıklarından, en az ise pet atıklarından 26 GJ/saat ile elde edileceği görülmektedir. Tablo 1'e göre ağırlık başına en fazla kalorifik değeri olan evsel katı atıkların pet, poşet ve plastikler olduğu görülmektedir.

Tablo 1. Katı atık yakma tesisinde yakılacak atık tipi ve karşılık gelen enerji miktarları [4, 16].

Katı atık tipi	Kuru Ağırlık (kg/saat)	Enerji (kJ/kg)	Toplam enerji (kJ/saat)
Kağıt-Karton	9.904	16.500	163.416.000
Pet	823	32.500	26.758.333
Poşet	14.243	32.500	462.886.667
Plastikler	3.333	32.500	108.306.250
Organik Atık	34.767	4.500	156.450.000
Tekstil	7.265	17.500	127.134.583
Diğer Yanabilir	13.440	10.500	141.120.000

Tablo 2'de kurulabilecek katı atık yakma tesisi için gerekli buhar kazanı ve su miktarları için ilgili parametrelerin değerleri listelenmiştir. Buna göre Tablo 1'deki farklı tipteki atıkların ortalama enerji değerine karşılık gelen değer Tablo 2'de 14 MJ/kg olarak gösterilmiştir. Daha sonra saatlik yakılan enerji miktarı üzerinden oluşacak buhar miktar değeri yanma verimliliği, verilen ısı miktarı ve suyun buharlaşması için gerekli enerji göz

önünde bulundurulmuş ve hesaplanmıştır. Oluşan buhar için bir buhar kazanının kapasitesi 150 ton/saat olarak alındığında 3 buhar kazanının ve 419.967 litre suyun gerekli olduğu gösterilmiştir.

Tablo 2. Katı atık yakma tesisi için gerekli buhar kazanı ve su miktarları.

Parametre	Değer	Birim
Enerji (kj/kg)	14.157	kj/kg
Saatlik yakılan atığın enerji miktarı (kj/saat)	1.186.071.833	kj/saat
$\eta_{yanma}$ %	80	%
Yanma boyunca verilen ısı miktarı (kj/saat)	948.857.466	kj/saat
1 kg suyun buharlaşması için gerekli enerji	2.259	kj/kg
Oluşacak buhar	419	ton/saat
1 adet buhar kazanı kapasitesi (t/h)	150	ton/saat
Gerekli buhar kazanı	3	adet
Gerekli su miktarı	419.967	L/saat

Tablo 3'te katı atık yakma tesisinde gerekli olacak türbin sayısı için ilgili parametreler ve karşılık gelen değerler listelenmiştir. Buna göre, literatürde belirtildiği üzere türbin verimliliği %12 alınarak saatlik net üretilecek enerji kilojoule birimi cinsinden belirtilmiştir [17]. Daha sonra bu değer MW cinsinden yazıldıktan sonra belirlenen türbin kapasitesine bölünerek toplam gerekli türbin sayısı 2 adet olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3. Katı atık yakma tesisi için gerekli türbin sayısı.

Parametre	Değer	Birim
$\eta_{toplam}$ (%)	12	%
$m_{net}$ (kg/saat)	83.774	kg/saat
$W_{net}$ (kj/saat)	142.328.620	kj/saat
$W_{net}$ (MW)	39	MW
1 adet türbinin ortalama güç çıkışı	20	MW
Gerekli türbin sayısı	2	adet

Son olarak maliyet ve gelir değerleri Tablo 4'te listelenmiştir. Buna göre tesisin ilk yatırım maliyeti yaklaşık 183,5 milyon dolar, işletme ve bakım maliyetleri yıllık yaklaşık 4 milyon dolar, işçilik maliyetleri yıllık yaklaşık 413 bin dolar ve kül bertaraf maliyeti yıllık 7514 dolar olarak hesaplanmıştır. Buna karşılık, atık yakma tesisinde bertaraf edilmesi istenen atığı getiren şirketin ödeyeceği "gate fee" adı verilen atık kabul etme ücreti birim değeri olarak literatürde 12\$/ton-45\$/ton arasında değiştiği belirtilmiş olup bu çalışma için \$16,5/ton kabulü yapılmıştır [15]. Ayrıca, atık yakma tesisinde üretilecek elektrik enerjisinin satılmasıyla elde edilecek yıllık gelir de Tablo 4'te gösterilmiştir. Üretilen elektrik enerjisi santral kapasitesinin tam kapasite çalışması kabulüyle hesaplanan elektrik enerjisine karşılık gelmektedir. Elektrik satış bedeli güncel 2022 biyokütle tesisleri için geçerli olan tarife olan 50 krş/kWh alım garantisi üzerinden hesaplanmıştır [18]. Tesiste yıllık elektrik üretim miktarının 350.400 MWh olması beklenmektedir. Buna göre toplanacak atık gelirinden 22,2 milyon dolar ve elektrik satış gelirinden yaklaşık 10,5 milyon dolar olmak üzere yıllık 32,7 milyon dolar gelir elde



edilebileceği hesaplanmıştır. İşletme-bakım, işçilik ve kül bertaraf maliyetlerinin de yıllık tutarı yaklaşık 7,8 milyon dolardır.

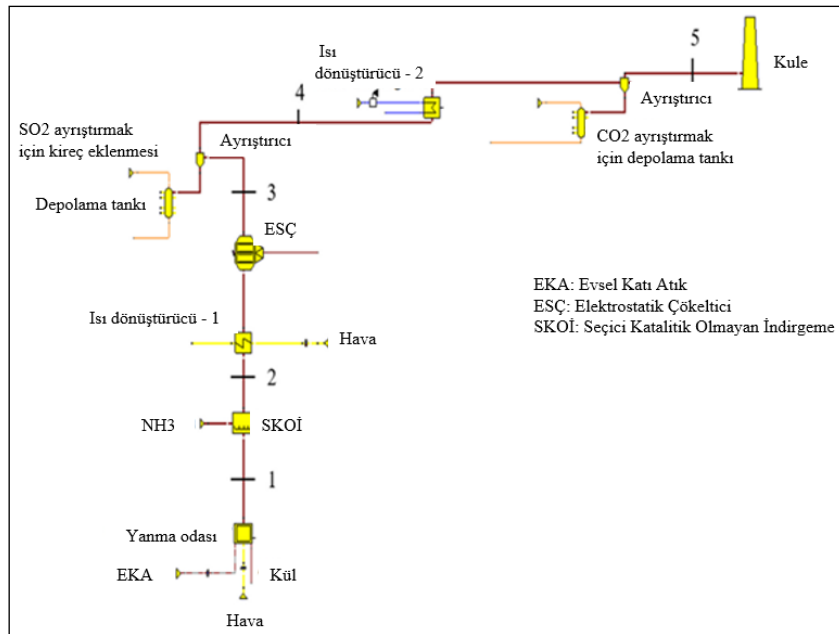
Böylelikle, Bursa ilinde kurulabilecek bir atık yakma tesisinin maliyet ve gelirlerinden yola çıkarak yıllık net karlılığı 25 milyon dolar olarak belirlenmiştir. Herhangi bir enflasyon ve degradasyon etkisi göz önünde bulundurulmaksızın bu tesisin geri ödeme süresi de 7,4 yıl olarak belirlenmiştir.

Tablo 4. Katı atık yakma tesisinin maliyet ve gelir değerleri.

Maliyet/Gelir kalemleri	Miktarı
Tesisin İlk Yatırım Maliyeti (\$)	183.465.060
İşletme-Bakım Maliyetleri (İlk Yatırım Maliyetinin %3'ü kabul edilmiştir.) (\$/yıl)	5.503.952
İşçilik maliyetleri (\$)	412.911
Kül Bertaraf Maliyeti (\$/yıl)	1.835.038
Toplanacak Atık Geliri (\$/yıl)	22.155.578
Elektrik Satış Geliri (\$/yıl)	10.547.210
Net Gelir (\$/yıl)	24.950.887
Amortisman süresi (yıl)	7,4

### 3.2. Çevresel önlemler

Katı atık yakma tesislerinde atığın yanması sonucu açığa çıkan gazların ve oluşan külün olumsuz çevresel etkilere sebep olmaması için çeşitli önlemler alınması gerekmektedir. Şekil 3'te gösterildiği gibi tipik bir atık yakma tesisinde baca gazının temizlenmesi için baca gazı reaktörü içerisinde aktif karbon ve kireçle kimyasal olarak ve torba filtre içerisinde de fiziksel olarak baca gazının miktarı ve içeriği çevresel kriterlere uygun hale getirilmektedir. Şekil 5'te bir atık yakma tesisindeki baca gazı reaktörü şeması gösterilmiştir. Buna göre 5 noktada açığa çıkan gazların reaksiyonlar sonucu miktarları azaltılmaktadır.



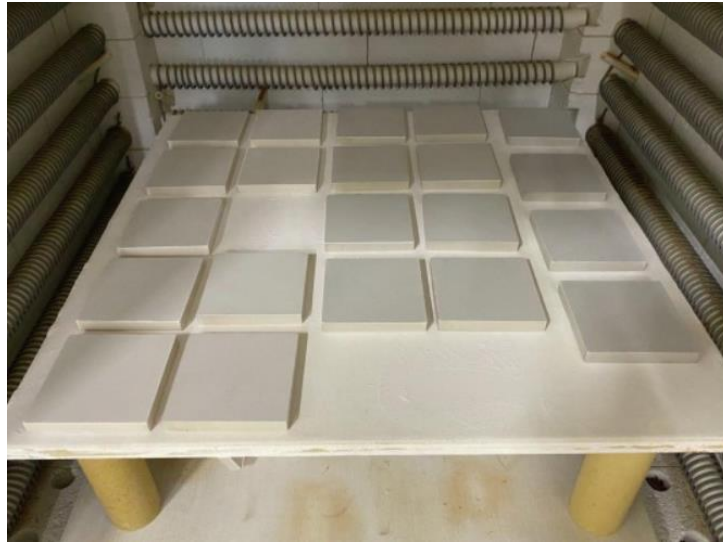
Şekil 5. Atık yakma tesisinden çıkacak gazlar için temizleme aşamaları [19].

Tablo 5'te Bursa ilinde kurulabilecek bir atık yakma tesisinden çıkacak gazların yaklaşık ağırlık değerleri ve 5 noktadaki miktarları listelenmiştir. Bir ve iki noktaları arasında NO<sub>2</sub> miktarı amonyak katılmasıyla azaltılmaktadır. İki ve üç noktaları arasında baca gazı sıcaklığı azaltılmaktadır. Üç ve dört noktaları arasında SO<sub>2</sub> ve HCl miktarları kireç ilavesiyle azaltılmaktadır. Dört ve beş noktaları arasında baca gazı sıcaklığı ve CO<sub>2</sub> miktarı azaltılmaktadır.

Tablo 5. Bursa atık yakma tesisinde baca gazı azaltımı için öngörülen değerler.

Ölçüm Noktaları	Katı Atık Miktarı (kg/s)	Hava Akışı (kg/s)	Hava Sıcaklığı (°C)	Baca Gazı (m <sup>3</sup> /s)	Baca Gazı Sıcaklığı	CO <sub>2</sub> Emisyonu (mg/Nm <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> Emisyonu (mg/Nm <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> Emisyonu (mg/Nm <sup>3</sup> )	HCL Emisyonu (mg/Nm <sup>3</sup> )
1	25	51	120	310,5	1.146	258.514	749,9	890	717
2	25	51	120	310,5	1.146	258.514	180	890	717
3	25	51	120	137,4	325	258.514	180	890	717
4	25	51	120	137,4	325	258.514	180	44	7,2
5	25	51	120	85,0	129	6.024	180	44	7,2

Katı kalıntı olarak yanma sonrası oluşan uçucu kül ise kalıntı silosunda biriktirilmekte, depolama sahalarında bertaraf edilmekte veya ve daha sonra başka bir malzeme için hammadde olarak kullanılabilir. Örnek olarak beton, karo gibi yapı malzemelerinin içerisinde hammadde olarak kullanılabilir [20]. Şekil 6 bir atık yakma tesisinin uçucu küllerinin kullanıldığı seramik karoların bir örneği gösterilmektedir.



Şekil 6. Atık yakma tesisinden çıkacak uçucu küllerin değerlendirilebileceği örnek – seramik karolar [20].

#### 4. Tartışma ve sonuçlar

Bu çalışmada Bursa ilinde kurulabilecek bir atık yakma tesisinin tekno-ekonomik analizi yapılmıştır. Çalışma kapsamında Bursa ilindeki İnegöl, İznik ve Yenişehir ilçeleri dışındaki tüm ilçelerden toplanacak evsel katı atıkların yakılarak elektrik üretiminin sağlanması durumunda toplanacak atık miktarı, kullanılacak teçhizat, yatırım bedeli,

yatırımın karlılığı ve amortisman süresi araştırılmıştır. Bunun için Büyükşehir Belediyesinin karakterizasyon çalışmaları, literatürdeki atık yakma tesisleri için metodik ve ekonomik kabuller kullanılmıştır. Sonuçlara göre Bursa ilinde yapılacak bir evsel atıktan elektrik üretim tesisinde işlenecek atığın kalorifik değerinin 14 MJ/kg civarında olacağı saptanmıştır. Bu değer literatürdeki işletmede bulunan atık yakma tesisleri için belirtilen değerlerle paralellik göstermektedir. Söz konusu tesisin yıllık net kazancı 25 milyon dolar ve geri ödeme süresi 7,4 yıl olarak hesaplanmıştır. Son olarak, bu çalışmada yapılacak potansiyel bir yatırımın gerektirdiği çevresel koruma önlemleri de tartışılmıştır. Ortaya çıkacak atık gazların arıtılmasının mümkün olduğu, kül ve cüruf gibi katı atıkların da geri dönüşümünün sağlanabileceği belirtilmiştir. Buna göre Bursa ilinde atık yakma tesisi yatırımının karlı ve çevre için de faydalı olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

## Kaynaklar

- [1] Bilgili, M. Y. Katı Atık Yönetiminde Kullanılan Bazı Kavramlar ve Açıklamaları. **Avrasya Terim Dergisi**, 8 (2) , 88-97. DOI: 10.31451/ejatd.773288. (2020).
- [2] Türkiye İstatistik Kurumu. **Nüfus ve Demografi**. Erişim tarihi: 07.09.2022, <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Nufus-ve-Demografi-109>
- [3] Yüce, M. İ., Muratoğlu, A., Yüce, Ş., Eşit, M. Gaziantep İlinin Gelecekteki İhtiyacını Karşılama üzere Göksu Havzasından Su Temini, **International Symposium of Water and Wastewater Management**. Malatya, Ekim 26-28, 2016.
- [4] Bursa Büyükşehir Belediyesi. **Bursa Entegre Katı Atık Yönetim Planı**. (2015).
- [5] Gökçe, G. & Hasanoğlu, P. Katı Atık Düzenli Depolama Sahalarının ve Vahşi Depolama Alanlarının Islahı ve Bitkilendirilmesi. **Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 3 (1) , 258-271. (2015).
- [6] Çevre ve Orman Bakanlığı. **Çevresel Etki Değerlendirmesi Sektörel Rehberleri**. (2009).
- [7] Yılmaz, A. , Ünvar, S. , Koca, T. & Koçer, A. Türkiye’de Biyogaz Üretimi ve Biyogaz Üretimi İstatistik Bilgileri. **Technological Applied Sciences**, 12 (4) , 218-232. (2017).
- [8] Saltabaş, F., Soysal, Y., Yıldız, Ş., Balahorli, V. Evsel Katı Atık Termal Bertaraf Yöntemleri ve İstanbul’a Uygulanabilirliği. **Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu**. İstanbul, Haziran 15-17, 2009.
- [9] Mutz, D., Hengevoss, D., Hugi, C.M. and Gross, T. Waste-to-Energy Options in Municipal Solid Waste Management. **A Guide for Decision Makers in Developing and Emerging Countries**. Eschborn. (2017)
- [10] Ecoprog. Waste to Energy 2021/2022. **Technologies, plants, projects, players and backgrounds of the global thermal waste treatment business**. (2021).
- [11] İstanbul Büyükşehir Belediyesi. Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisi. Erişim adresi: <https://cevre.ibb.istanbul/atik-yonetimi-mudurlugu-sube-mudurlugu/atik-yakma-ve-enerji-uretim-tesisi/>. (2022).
- [12] Öztürk, S., Bourtsalas, A. T. Potential benefits of Waste-to-Energy (WTE) for Turkey, **International Journal of Innovation Engineering and Science Research**. (2020).
- [13] Wu, J., S. Capital Cost Comparison of Waste-to-Energy (WTE), Facilities in China and the U.S. **MS Thesis, Columbia University**. (2018).
- [14] İstanbul Büyükşehir Belediyesi. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisi ÇED Raporu. (2012).

- [15] Calixto, S. Pre-feasibility Study of a Waste-to-Energy Plant in Santiago, Chile. **MS Thesis, Columbia University.** (2015).
- [16] Tchobanoglous, G., Theisen, H. ve Eliassen, R. Katı Atıklar: Mühendislik İlkeleri ve Yönetim Konuları. **McGraw-Hill Book Co., New York.** (1977).
- [17] Tsai, Wen-Tien. An analysis of operational efficiencies in the waste-to-energy (WTE) plants of Kaohsiung municipality (Taiwan). **Resources** 8.3 (2019): 125.
- [18] EPDK. Erişim adresi: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-72/elektrikyekdem>. (2021).
- [19] Thabit, Q., Nassour, A., Nelles, M. Flue Gas Composition and Treatment Potential of a Waste Incineration Plant. **Applied Sciences**, 12-5236. (2022).
- [20] Yuan, Q., Robert, D., Mohajerani, A., Tran, P., Pramanik, B. K. Utilisation of Waste-to-Energy Fly Ash in Ceramic Tiles, **Construction and Building Materials**, 347. (2022).

# Coding theory for $h(x)$ -Fibonacci polynomials

Öznur ÖZTUNÇ KAYMAK\*

Department of Information Technology, Izmir Democracy University, 35140 Karabaglar  
Izmir, TURKIYE

Geliş Tarihi (Received Date): 21.08.2023  
Kabul Tarihi (Accepted Date): 03.12.2023

## Abstract

The amount of information transmitted over the internet network has dramatically increased with the prevailing of internet use. As a result of this increase, the algorithms used in data encryption methods have gained importance. In this paper,  $h(x)$ -Fibonacci coding/decoding method for  $h(x)$ -Fibonacci polynomials is introduced. The proposed method is fast because it is based on basic matrix operations, and it is suitable for cryptographic applications because it uses the ASCII character encoding system. For this reason, it differs from the classical algebraic methods in literature. Furthermore, the fact that  $h(x)$  is a polynomial improves the security of cryptography.

**Keywords:** Coding/decoding algorithm,  $h(x)$ -Fibonacci polynomials, Fibonacci Numbers

## $h(x)$ -Fibonacci polinomları için kodlama teorisi

### Öz

İnternet kullanımı gün geçtikçe yaygınlaştıkça, internet ağları üzerinden geçen bilgi miktarı da kayda değer ölçüde artmaktadır. Bu artışın sonucu olarak, bilgi şifreleme metotları da kullanılan algoritmalar da önem kazanmaktadır. Bu çalışmada,  $h(x)$ -Fibonacci polinomları için  $h(x)$ -Fibonacci şifreleme metodu tanıtılmıştır. Önerilen yöntem, temel matris işlemlerine dayandığından hızlıdır ve ASCII karakter kodlama sistemini kullandığından kriptografik uygulamalara uygundur. Bu nedenle literatürdeki klasik cebirsel yöntemlerden farklılık göstermektedir. Ayrıca  $h(x)$ 'in bir polinom olması kriptografinin güvenliğini artırır.

**Anahtar kelimeler:** Şifreleme/Deşifreleme algoritması,  $h(x)$ -Fibonacci polinomları, Fibonacci Sayıları

\* Öznur ÖZTUNÇ KAYMAK, oznur.oztuncaymak@idu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-3832-9947>

### 1.Introduction and Preliminaries

The Fibonacci polynomials play a significant role in mathematics. [6] These polynomials were first examined by German mathematician E. Jacobsthal and Belgian mathematician Eugene Charles Catalan in 1883. For  $n \geq 3$ , these polynomials  $F_n(x)$ ,  $J_n(x)$ ,  $\varphi_n(x)$  are defined

$$F_1(x) = 1, F_2(x) = x, F_n(x) = xF_{n-1}(x) + F_{n-2}(x); \tag{1}$$

$$J_1(x) = J_2(x) = 1, J_n(x) = J_{n-1}(x) + xJ_{n-2}(x); \tag{2}$$

$$\varphi_0(x) = 0, \varphi_1(x) = 1, \varphi_n(x) = 2x \varphi_{n-1}(x) + \varphi_{n-2}(x); \tag{3}$$

by Catalan, Jacobsthal, P.F. Byrd, respectively. Fibonacci numbers are obtained by getting  $x = 1$  in the equation (1), and these numbers are used in different many applications in the arts, modern sciences and architecture. [6]

The  $h(x)$ -Fibonacci polynomials, which are the most general form of the polynomials defined the relations (1), (2), (3) above are defined by Nalli and Haukkanen

$$F_{h,n+1}(x) = h(x)F_{h,n}(x) + F_{h,n-1}(x) \tag{4}$$

with initial conditions  $F_{h,0}(x) = 0, F_{h,1}(x) = 1$  in [7].

Now, we give the following statements about  $h(x)$ -Fibonacci polynomials.

**Theorem: [7]** The characteristic equation for  $F_{h,n}(x)$  is given by

$$v^2 - h(x)v - 1 = 0 \tag{5}$$

where  $\alpha(x) = \frac{h(x)+\sqrt{h^2(x)+4}}{2}$  and  $\beta(x) = \frac{h(x)-\sqrt{h^2(x)+4}}{2}$ .

**Theorem: [7]** Let  $n \geq 1$ . The matrix  $\theta_h^n(x)$  is defined as

$$\theta_h^n(x) = \begin{bmatrix} F_{h,n+1}(x) & F_{h,n}(x) \\ F_{h,n}(x) & F_{h,n-1}(x) \end{bmatrix} \tag{6}$$

where  $\theta_h(x) = \begin{bmatrix} h(x) & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ .

**Corollary: [7]** The identity  $F_{h,n+1}(x)F_{h,n-1}(x) - F_{h,n}^2(x) = (-1)^n$  holds for  $n \geq 1$ .

Recently,  $(p, q) -$  Fibonacci and Lucas polynomials, which are the more general form of  $h(x)$ -Fibonacci polynomials, have been defined by Aşçı and Lee where  $p(\delta)$  and  $q(\delta)$  are the real functions in [1]. The general forms of ordinary generating functions of Fibonacci-type numbers and polynomials are given in [2]. Fibonacci–Changhee numbers and polynomials,  ${}_c h F_{p,q,n}(\delta)$  are defined by Zhang, Khan, Kızılateş and some features of

these polynomials are obtained in [3]. For other studies of special type polynomials, please see [8-11].

To provide information security of data transfer through communication channel, there have been many algorithms in the literature. Especially, encoding/decoding algorithms have been of crucial role in assuring information security. Particularly, the Fibonacci coding theory stands out as a highly favored approach in this field. For example, in 2006, a new coding theory using the Fibonacci  $p$ -numbers and  $Q_p$ -matrices is proposed in [13]. Following this study, different methods in this field have been constructed. (see [4,5,12,14,15,16,19,20,25]) There have been studies on Fibonacci and related polynomials' encryption and decryption available in the literature. ([17],[21], [22]) On the other hand, a new cryptography method based on Golden matrices is introduced in [18]. In this study, it has been simply proved that this “Golden” model is a secure and fast cryptographic system.

The main purpose of this study is to present a coding theory of the  $h(x)$ - Fibonacci polynomials that are a generalization of the matrix [7] for Fibonacci polynomials, Byrd polynomials etc. Also, in this study, the performance of this method is evaluated.

## 2. A Coding/Decoding method for $h(x)$ -Fibonacci polynomials

Here, a coding/decoding method based on  $h(x)$ -Fibonacci Polynomials is presented. In this method, we insert our message into an even-sized matrix by inserting a zero at the end of the message and every two words up until the matrix size is even. Then, we adapt a coding scheme by splitting the message square matrix  $M$  of size  $2m$  into the block matrices termed  $B_i$  ( $1 < i < m^2$ ) of size  $2 \times 2$ .

Note that the following forms for the matrices  $G_i$ ,  $B_i$  and  $\theta_h^n(x)$  in (6):

$$G_i = \begin{bmatrix} g_1^i & g_2^i \\ g_3^i & g_4^i \end{bmatrix}, B_i = \begin{bmatrix} b_1^i & b_2^i \\ b_3^i & b_4^i \end{bmatrix}, \text{ and } Q_h^n = \begin{bmatrix} q_1 & q_2 \\ q_3 & q_4 \end{bmatrix} \quad (7)$$

In this method, the approach described in [14] is inspired. But, instead of the character table in [14], we convert all characters to ASCII, which is named (American Standard Code for Information Interchange) character encoding that represents characters as numerical values. In ASCII, each character is assigned a unique code, allowing text to be stored and transmitted as a sequence of numbers. To decode ASCII, you convert the numerical values back into their corresponding characters. Basically, this code is used to recognize characters and numbers on a keyboard. These are eight-bit sequence codes that are used to distinguish between special characters, numbers, and letters. This system is simple to comprehend and uses no complicated steps to execute. [26] Furthermore, because our method is based on polynomials, it differs from this method proposed in [14].

Encryption types can be categorized based on various characteristics. These characteristics are the key used, the algorithms employed and the specific use cases for which they are designed for. There are two common encryption types: Symmetric and asymmetric encryption. Since we use symmetric encryption in this method, we define the public key  $n$  as follows:

$$n = \begin{cases} b, & b \leq 3 \\ \lceil b/2 \rceil, & b > 3 \end{cases} \quad (8)$$

where  $b$  represents the number of the block matrices  $B_i$ .

Now, we introduce all the steps of the encryption and decryption of this method:

**2.1. Encryption Process:**

- Step 1:** Start.
- Step 2:** Construct the  $M$  message matrix.
- Step 3:** Find  $n$ .
- Step 4:** Convert to string to ASCII decimal.
- Step 5:** The matrix  $M$  is subdivided into  $B_i$  ( $1 < i < m^2$ ).
- Step 6:** Find  $b_j^i$  where ( $1 \leq j \leq 4$ ).
- Step 7:** Compute  $\det(B_i)$  and assign to  $d_i$ .
- Step 8:** Build the matrix  $E$ .
- Step 9:** End.

**2.2 Decryption Process:**

- Step 1:** Start.
- Step 2:** Find  $Q_h^n(x)$ .
- Step 3:** Assign entries of the  $Q_h^n(x)$  matrix to  $r_j$  ( $1 \leq j \leq 4$ ).
- Step 4:** Find  $r_1 b_1^i + r_3 b_2^i \rightarrow g_1^i$  ( $1 < i < m^2$ ).
- Step 5:** Find  $r_2 b_1^i + r_4 b_2^i \rightarrow g_2^i$ .
- Step 6:** Solve  $(-1)^n \times d_i = g_1^i (r_2 x_i + r_4 b_4^i) - g_2^i (r_1 x_i + r_3 b_4^i)$ .
- Step 7:** Replace by  $x_i$  with  $b_3^i$ .
- Step 8:** Find  $B_i$ .
- Step 9:** Construct  $M$ .
- Step 10:** Convert  $M$ .
- Step 11:** End.

**Example 1.1:** Assume that we have the subsequent message matrix

**Encryption Algorithm:**

Now, after starting the algorithm, let us start with the second step:

**Step 2:** Consider that we have the following message matrix:

$$M = \begin{bmatrix} BELL & LF & ETX & DLE \\ SI & STX & EOT & EOT \\ LF & US & SO & STX \\ NAK & DC3 & LF & EM \end{bmatrix}_{4 \times 4} \quad (9)$$

Note that according to the ASCII table in [23], the equivalent of the  $LF$ (Line Feed) unicode in the matrix  $M$  is *newline* [24]. (See another unicode's [23] in the matrix  $M$ ) In this table, we only used *the control code chart table* when composing this message. If desired, a message matrix can be created by *the printable characters* [24].

**Step 3:** Now, in this step, the public key  $n$  is calculated:



$$n = \lceil b/2 \rceil = 2$$

using the equation (8).

**Step 4:** Here, all unicodes in the  $M$  message matrix in (9) are converted to ASCII decimal in [24]. Firstly, we convert the  $M$  message matrix as the following form:

$$M = \begin{bmatrix} 7 & 10 & 3 & 16 \\ 15 & 2 & 4 & 4 \\ 10 & 31 & 14 & 2 \\ 21 & 19 & 10 & 25 \end{bmatrix}. \quad (10)$$

**Step 5:** The message matrix  $M$  of size  $4 \times 4$  in (10) can be divided into the matrices  $B_i, 1 \leq j \leq 4$ , from left to right, each of size  $2 \times 2$ :

$$B_1 = \begin{bmatrix} 7 & 10 \\ 15 & 2 \end{bmatrix}, B_2 = \begin{bmatrix} 3 & 16 \\ 4 & 4 \end{bmatrix}, B_3 = \begin{bmatrix} 10 & 31 \\ 21 & 19 \end{bmatrix}, B_4 = \begin{bmatrix} 14 & 2 \\ 10 & 25 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

**Step 6:** The entries of the blocks  $B_i$  ( $1 \leq j \leq 4$ ) in (11) are as follows.

$b_j^1 = 7, 10, 15, 2$ for $j = 1, 2, 3, 4$
$b_j^2 = 3, 16, 4, 4$ for $j = 1, 2, 3, 4$
$b_j^3 = 10, 31, 21, 19$ for $j = 1, 2, 3, 4$
$b_j^4 = 14, 2, 10, 25$ for $j = 1, 2, 3, 4$

respectively.

**Step 7:** The  $d_i$  determinants of the blocks  $B_i$  in (11) are computed as seen below:

$d_1 = \det(B_1) = -136$	$d_3 = \det(B_3) = -461$
$d_2 = \det(B_2) = -52$	$d_4 = \det(B_4) = 330.$

**Step 8:** Merging the entries of the  $E$  matrix from the previous steps, the following matrix is obtained:

$$E = \begin{bmatrix} -136 & 7 & 10 & 2 \\ -52 & 3 & 16 & 4 \\ -461 & 10 & 31 & 19 \\ 330 & 14 & 2 & 25 \end{bmatrix}.$$

As a result, here the phase of the encryption is over.

**Decryption Algorithm:**

**Step 1:** Start

**Step 2:** Using the public key  $n = 2$ , the matrix  $Q_h^2(x)$  can be found easily:

$$Q_h^2(x) = \begin{bmatrix} F_{h,3}(x) & F_{h,2}(x) \\ F_{h,2}(x) & F_{h,1}(x) \end{bmatrix}$$

**Step 3:** From the equation (6), the entries of  $Q_h^2(x)$  are obtained as the following step. These entries:

$r_1 = h^2(x) + 1$	$r_2 = h(x)$	$r_3 = h(x)$	$r_4 = 1.$
--------------------	--------------	--------------	------------

To construct the matrix  $G$ , we compute the elements  $g_{1,2}^i$  in the Step 4 and Step 5.

**Step 4-5:** These elements are found by

$$\begin{aligned} g_1^1 &= 7(h^2(x) + 1) + 10 h(x), \\ g_1^2 &= 3(h^2(x) + 1) + 16 h(x), \\ g_1^3 &= 10(h^2(x) + 1) + 31h(x), \\ g_1^4 &= 14(h^2(x) + 1) + 2h(x). \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g_2^1 &= 7 h(x) + 10, \\ g_2^2 &= 3 h(x) + 16, \\ g_2^3 &= 10 h(x) + 31, \\ g_2^4 &= 14 h(x) + 2. \end{aligned}$$

**Step 6-7:** The  $x_i$  elements for  $i = 1, 2, 3, 4$  are calculated and then replaced by  $x_i$  with  $b_3^i$ :

$(-1)^4(-136) = g_1^1(h(x) x_1 + 1.2) + g_2^1((h^2(x) + 1) x_1 + 2h(x)) \Rightarrow$ $x_1 = b_3^1 = 15.$
$(-1)^4(-52) = g_1^2(h(x) x_2 + 1.4) + g_2^2((h^2(x) + 1) x_2 + 4h(x)) \Rightarrow$ $x_2 = b_3^2 = 4.$
$(-1)^4(-461) = g_1^3(h(x) x_3 + 1.19) + g_2^3((h^2(x) + 1) x_2 + 19h(x)) \Rightarrow$ $x_3 = b_3^3 = 21.$
$(-1)^4(300) = g_1^4(h(x) x_4 + 1.25) + g_2^4((h^2(x) + 1) x_4 + 25h(x)) \Rightarrow$ $x_4 = b_3^4 = 10.$

**Step 8:** The block matrices,  $B_i$  are built as shown below:

$$B_1 = \begin{bmatrix} 7 & 10 \\ 15 & 2 \end{bmatrix}, B_2 = \begin{bmatrix} 3 & 16 \\ 4 & 4 \end{bmatrix}, B_3 = \begin{bmatrix} 10 & 31 \\ 21 & 19 \end{bmatrix}, B_4 = \begin{bmatrix} 14 & 2 \\ 10 & 25 \end{bmatrix}.$$

**Step 9:** By merging these matrices  $B_1, B_2, B_3, B_4$ , the following matrix  $M$  is found.

$$M = \begin{bmatrix} 7 & 10 & 3 & 16 \\ 15 & 2 & 4 & 4 \\ 10 & 31 & 14 & 2 \\ 21 & 19 & 10 & 25 \end{bmatrix}.$$

**Step 10:** To convert the entries of the message matrix  $M$  to numeric values, using ASCII table in [23], the following initial message is constructed:

$$M = \begin{bmatrix} BELL & LF & ETX & DLE \\ SI & STX & EOT & EOT \\ LF & US & SO & STX \\ NAK & DC3 & LF & EM \end{bmatrix}_{4 \times 4}$$

**Step 11:** End.

Now, we provide an alternate implementation of this algorithm in the example below.

**Example 1.2:** Now let's build the message matrix for the given message text: "CODE"

**Coding Algorithm:**

**Step 1:** Start

**Step 2:** Then, we obtain the following message matrix  $M$  using this message text:

$$M = \begin{bmatrix} C & O \\ D & E \end{bmatrix}_{2 \times 2} \tag{12}$$

**Step 3:** In this step, we determine that  $n = 1$  because  $\lceil \frac{b}{2} \rceil = n$  via the equation (8).

**Step 4:** By using ASCII decimal in [24], all elements in the  $M$  message matrix in (12) are transformed.

$$M = \begin{bmatrix} 67 & 79 \\ 68 & 69 \end{bmatrix}_{2 \times 2} \tag{13}$$

**Step 5:** Since  $M$  is a  $2 \times 2$  message matrix, there is only one block matrix,  $B_1$  as follows:

$$B_1 = \begin{bmatrix} 67 & 79 \\ 68 & 69 \end{bmatrix}_{2 \times 2} \tag{14}$$

**Step 6:** The following are the elements of block  $B_1$  ( $1 \leq j \leq 4$ ) in (14)

$$b_j^1 = 67, 79, 68, 69 \text{ for } j = 1, 2, 3, 4$$

**Step 7:** The following computation shows the  $d_1$  determinant of the block  $B_1$  in (14):

$$d_1 = \det(B_1) = -749$$

**Step 8:** After combining the E matrix's entries from the earlier stages, the following matrix is produced:

$$E = \begin{bmatrix} -749 & 67 \\ 79 & 69 \end{bmatrix}$$

**Decryption Algorithm:**

**Step 1:** Start

**Step 2:** Using the public key  $n = 1$ , the matrix  $Q_h^1(x)$  can be found easily:

$$Q_h^1(x) = \begin{bmatrix} F_{h,2}(x) & F_{h,1}(x) \\ F_{h,1}(x) & F_{h,0}(x) \end{bmatrix}$$

**Step 3:** The next step is to derive the entries of  $Q_h^2(x)$  from equation (6):

$r_1 = h(x)$	$r_2 = 1$	$r_3 = 1$	$r_4 = 0.$
--------------	-----------	-----------	------------

In Steps 4 and 5, we compute the elements  $g_{1,2}^i$  in order to build the matrix G.

**Step 4-5:** These elements are obtained by

$$g_1^1 = 67(h(x)) + 79.1,$$

$$g_2^1 = 67.1 + 79.0.$$

**Step 6-7:** After computing the  $x_1$  element,  $x_1$  is substituted with  $b_3^1$ :

$\begin{aligned} (-1)^1(-749) &= g_1^1(1. x_1 + 0.69) - g_2^1(h(x) x_1 + 69.1) \Rightarrow \\ x_1 &= b_3^1 = 68. \end{aligned}$
---

**Step 8:** The block matrix  $B_1$ , which is one, is found as follows:

$$B_1 = \begin{bmatrix} 7 & 10 \\ 15 & 2 \end{bmatrix}.$$

**Step 9:** Without the need for merging, the  $M$  message matrix is obtained as follows:

$$M = \begin{bmatrix} 67 & 79 \\ 68 & 69 \end{bmatrix}_{4 \times 4}.$$

**Step 10:** Similarly, the initial matrix can be easily found with the help of the ASCII table in [23].

$$M = \begin{bmatrix} C & O \\ D & E \end{bmatrix}_{4 \times 4}$$

**Step 11:** End.

### 3. Evaluation the performance of the algorithm:

In this section, we shall consider the mathematical operations in the previous section. In this method,  $M$  is *plain text* which is also referred to as an unencrypted text in cryptography. In addition, by converting *plain text* to *cipher text* using various encryption algorithms, messages are encoded in a way that cannot be read. Here,  $E$  is *cipher text*. Then, this *cipher text* is converted to *plain text* by decryption algorithms. As in [18], the encryption and decryption time of the whole algorithm are calculated. To compute this duration, the following table is used for all the steps of the encryption and decryption of this method:

Table 1: The details of the name of process and notation of the algorithm

<b>Encryption</b>		<b>Decryption</b>	
<i>The Name of Process</i>	<i>Notation</i>	<i>The Name of Process</i>	<i>Notation</i>
Construct the message matrix $M$	$\Delta_{t_{cons}}$	Computing the elements of the matrix $Q_h^n(x)$ with public key $n$ .	$\Delta_{t_{com}}$
Converting the message matrix $M$ to ASCII	$\Delta_{t_{conv}}$	Assignment of the entries of the matrix $Q_h^n(x)$	$\Delta_{t_a}$
Finding the public key $n$	$\Delta_{t_f}$	Computing $g_j^i$ elements for $j = 1, 2$	$\Delta_{t_{com}}$
Splitting the message matrix into $B_i$ blocks	$\Delta_{t_s}$	Computing $x_i$ elements for $i = 1, 2, 3, 4$ .	$\Delta_{t_{com}}$
Assignment of the entries of the blocks $B_i$	$\Delta_{t_a}$	Construct the block matrices $B_i$ (replace by $x_i$ with $b_3^i$ )	$\Delta_{t_{cons}}$
Computing $d_i$ determinants of $b_j^i$ blocks for $i, j = 1, 2, 3, 4$	$\Delta_{t_{com}}$	Construct the message matrix $M$	$\Delta_{t_{cons}}$
Merging the entries of the $E$ matrix	$\Delta_{t_m}$	Converting the message matrix ASCII decimal to numeric values	$\Delta_{t_{conv}}$

According to the Table 1, we consider all the steps of full encryption time,  $T_{enc}$  and decryption time,  $T_{dec}$ . These results are found:

$$T_{enc} = \Delta_{t_{cons}} + \Delta_{t_{conv}} + \Delta_{t_f} + \Delta_{t_s} + \Delta_{t_a} + \Delta_{t_{com}} + \Delta_{t_m}, \quad (15)$$

$$T_{dec} = 3\Delta_{t_{com}} + 2\Delta_{t_{cons}} + \Delta_{t_{conv}} + \Delta_{t_a}. \quad (16)$$

Both the encryption and decryption phases of the model from the results (15) and (16) are based on eight basic operational operations.

#### 4. Conclusion:

This algorithm has the following superior features:

- (a) As we know, one of the biggest problems is slowness in the encryption methods. To overcome this problem, we use symmetric encryption in this method. When we also examine the speed of the model by reducing it to a transactional basis, we realize that the results from (15) and (16) show that this method is so fast.
- (b) The alphabet system in this study is used to the ASCII (American Standard Code for Information Interchange) character code system and thus it is aimed to make it ready for cryptographic applications. In addition, it is difficult to find combinations using

brute force attack of plain text with algorithms created based on this coding structure. [26] For this reason, one of the biggest advantages of the algorithm proposed because this coding structure is used is that the infrastructure of this coding structure is suitable for security tests. On the other hand, the method that we have proposed allows us to understand that it can be used for many types of polynomials.

When evaluating the performance of this model, it can be said that the method is suitable for both encryption/decryption time and ASCII character encoding for developing secure cryptographic applications.

### References:

- [1] Lee, G., Asci, M., Some properties of the  $(p, q)$ -Fibonacci and  $(p, q)$ -Lucas polynomials, **J. Appl. Math**, 264842, (2012).
- [2] Simsek, Y. Construction of general forms of ordinary generating functions for more families of numbers and multiple variables polynomials, **Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Serie A. Matemáticas**, 117, 3, 130, (2023).
- [3] Zhang, C., Khan, W. A. and Kızılateş, C., On  $(p, q)$ -Fibonacci and  $(p, q)$ -Lucas Polynomials Associated with Changhee Numbers and Their Properties, **Symmetry**, 15(4), 851, (2023).
- [4] Prasad, B., Coding theory on Lucas  $p$  -numbers, **Discrete Math. Algorithms Appl.**, 17,8, no.4, 17 pages, (2016).
- [5] Basu, M. and Prasad, B., The generalized relations among the code elements for Fibonacci coding theory, **Chaos Solitons Fractals**, 41, 5, 2517-2525, (2009).
- [6] Koshy T., **Fibonacci and Lucas Numbers with Applications**, Toronto, New York, NY, USA, (2001).
- [7] Nalli, A., Haukkanen, P., On generalized Fibonacci and Lucas polynomials, **Chaos Solitons Fractals**, 42, 5, 3179–3186, (2009).
- [8] Catarino, P., A note on  $h(x)$ -Fibonacci quaternion polynomials. **Chaos Solitons Fractals**, 77, 1–5, (2015).
- [9] Birol, F., Koruoğlu, Ö., Linear groups related to Fibonacci polynomials, **Adv. Studies: Euro-Tbilisi Math. J.**, 15, 4, 29-40, (2022).
- [10] Wang, W., Wang, H., Generalized-Humbert Polynomials via Generalized Fibonacci Polynomials, **Applied Mathematics and Computation**, 307, 204–216, (2017).
- [11] Kızılateş, C., Cekim. B, Tuğlu N and Kim T., New families of three-variable polynomials coupled with well-known polynomials and numbers, **Symmetry**, 264, 11, 1-13, (2019).
- [12] Taş, N., Uçar, S., Özgür, N. Y. and Kaymak, Ö. Ö., A new coding/decoding algorithm using Fibonacci numbers, **Discrete Math. Algorithms Appl.**, 10, 2, 1850028, (2018).
- [13] Stakhov, A. P., Fibonacci matrices, a generalization of the Cassini formula and a new coding theory, **Chaos Solitons Fractals**, 30, 1, 56-66, (2006).
- [14] Uçar, S.; Tas, N.; Özgür, N.Y. A new Application to coding Theory via Fibonacci numbers, **Math. Sci. Appl. Notes**, 7, 62–70, (2019).
- [15] Basu, M., Prasad, B., Coding theory on the  $m$ -extension of the Fibonacci  $p$ -numbers, **Chaos, Solitons & Fractals**, 42, 4, 2522-2530, (2009).

- [16] Prasad, B., Coding theory on  $(h(x), g(y))$ -extension of the Fibonacci  $p$ -numbers polynomials, **Universal Journal of Computational Mathematics**, 2, 1, 6-10, (2014).
- [17] Prasad, B., Basu, M., Coding theory on  $h(x)$  Fibonacci  $p$ -numbers polynomials, **Discrete Mathematics, Algorithms and Applications**, 4, 3, 1250030, (2012).
- [18] Stakhov, A.P., The “golden” matrices and a new kind of cryptography, **Chaos, Solitons & Fractals**, 32, 1138–1146, (2007).
- [19] Akbiyik, M., Alo, J., On Third-Order Bronze Fibonacci Numbers, **Mathematics**, 9, 20:2606, (2021).
- [20] Aydinyuz, S., Asçi, M., Error detection and correction for coding theory on  $k$  -order Gaussian Fibonacci matrices, **Mathematical Biosciences and Engineering**, 20(2): 1993–2010, (2022).
- [21] Asci, M., Aydinyuz, S.,  $k$  -order Gaussian Fibonacci polynomials and applications to the coding/decoding theory, **Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptography**, 25, 5, 1399-1416, (2022).
- [22] Basu, M., Das, M., Coding theory on generalized Fibonacci  $n$ -step polynomials, **Journal of Information and Optimization Sciences**, 38, 1, (2017).
- [23] ASCII, <https://en.wikipedia.org/wiki/ASCII>, (14.08.2023).
- [24] Newline, <https://en.wikipedia.org/wiki/Newline>, (19.07.2023).
- [25] Asci, M., Aydinyuz S.,  $k$ -Order Fibonacci Polynomials on AES-Like Cryptology, **CMES-Computer Modeling in Engineering & Sciences**, 131(1), 277–293, (2022).
- [26] Shaik, A., ASCII Binary Self Generated Key Encryption, **The International Journal of Computer Science & Applications (TIJCSA)**, 1(3), 112-115, (2012).

# DC Raylı sistem trafo merkezlerinde geçici olayların analizi ve PLL tabanlı dinamik voltaj düzenleyici uygulaması

Mehmet Taciddin AKÇAY<sup>1,\*</sup>, Aysel ERSOY<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Haliç Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, İstanbul

<sup>2</sup> İstanbul-Cerrahpaşa Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi., Elektrik-Elektronik, İstanbul

Geliş Tarihi (Received Date): 06.03.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 04.12.2023

## Öz

Yıldırımlar, kısa devreler, arızalar ve anahtarlama güç sistemlerinde geçici olayların oluşumuna neden olmaktadır. Anlık oluşan bu durum akım veya gerilimde genlik değerinin yükselmesine veya düşmesine sebep olmaktadır. Elektrik güç sistemleri için kararlılık çok kritiktir. Bu yüzden güç sistemlerinde oluşan bu geçici durumların analiz edilerek gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir. Raylı sistemler için işletme sürekliliği kritik bir öneme sahip olduğu için işletmenin durmaması için bu tip elektriksel geçici durumlar özellikle dikkate alınmalıdır. Bu çalışmada DC beslemeli raylı sistem trafo merkezlerinde bulunan orta gerilim sistemlerinde oluşabilecek geçici rejimlerin analizi ve bu durumun dinamik voltaj düzenleyici uygulaması ile ortadan kaldırılması araştırılmıştır. Orta gerilim sisteminde gerçekleşebilecek kısa devre arıza durumu ve gerilim yükselmesi durumları incelenmiştir. Voltaj düzenleyici devresi için IGBT'lerden oluşturulan güç elektroniği devresi kullanılmıştır. Geçici rejimlerin oluşturduğu etki ve voltaj düzenleyici devresinin sisteme bağlanmasından sonraki duruma ait benzetim yapılarak sağlanan iyileştirme durumu ortaya konulmuştur. Yüke uygulanan gerilimin genliği, kaynak geriliminin genliğiyle aynı seviyeye getirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Dinamik, Düzenleyici, Gerilim, Raylı, Trafo

\*Mehmet Taciddin AKÇAY, mehmettaciddinakcay@halic.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-1050-4566>  
Aysel ERSOY, aersoy@iuc.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-1164-7187>



## Analysis of transient events in DC rail system substations and application of PLL based dynamic voltage regulator

### Abstract

*Short circuits, lightning, faults and switching cause transient cases in power systems. This Instantaneous situation give rise to change in the amplitude of the current and the voltage. Voltage regularity is critical in electrical power systems. Therefore this transient cases should be considered and analyzed for the prevention of these events. This kind of electrical transient events are especially must be studied because of the importance of the operation continuity in railway systems. In this study, transient analysis of medium voltage systems in DC rail system substations with a solution by dynamic voltage regulator application is researched. Medium voltage short circuit fault case and voltage swell are examined. Power electronic circuit with IGBT's is used for the voltage regulation circuit. Transient voltage and the electrical situation after the connection of the dynamic voltage regulator to the circuit are simulated and the results given with the restoration. Load voltage amplitude is leveled with the source voltage amplitude.*

**Keywords:** *Dynamic, Rail, Regulator, Transformator, Voltage*

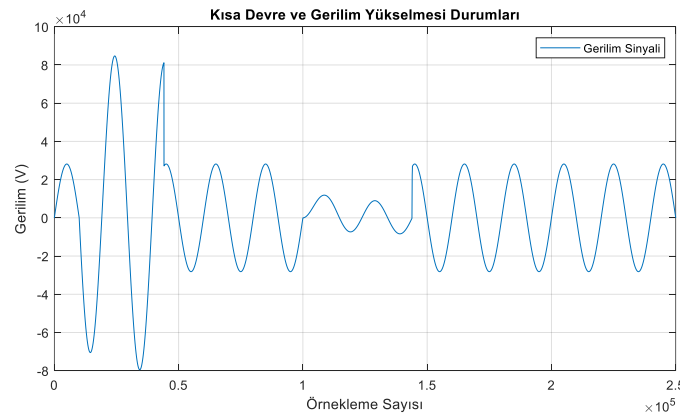
### 1. Giriş

Güç sistemlerinin ana görevi yüke ulaştırılması gereken gerilim sinyalinin sinüzoidal dalga şekline sahip olmasıdır. Şebekeye bağlanan tüm alt sistemlerin performansında herhangi bir problem yaşanmaması açısından bu durum çok önemlidir. Güç kalitesi probleminin temelinde gerilimde ve akımda oluşan düzensizlikler bulunmaktadır [1-2]. Şebekeye bağlanan nonlineer yükler de güç kalitesinin sorunları arasında yer almaktadır [3]. Elektriksel sistemlerin bazı bölgelerinde ya da bir bölgesinde bazen işletmeci ve tüketici tarafından istenmeyen geçici rejimler yaşanabilmektedir. Bu durumlar kısa devre durumları, yıldırımlar, arızalar ve anahtarlamalardan kaynaklanan elektriksel durumlardır. Bu tip geçici durumlar sistemde gerilim ve akım sinyallerinde yükselmelere ve alçalmalara neden olarak alt sistemlerin performansını ve ömrünü olumsuz etkilemektedir.

DC beslemeli raylı sistemlerde ana enerji temini şebekeden temin edilen orta gerilim ile gerçekleştirilmektedir. Bu enerji kullanarak trafo merkezlerinde bulunan dönüştürücü ekipmanlarla aracın ihtiyacı olan ilgili besleme gerilimi elde edilmektedir. Şebekeden temin edilen ve trafo merkezlerinde kullanılan 34.5 kV orta gerilim sisteminde gerçekleşecek bir kısa devre durumu ve gerilim yükselmesi durumu orta gerilim hücrelerinin arıza konumuna geçmesine neden olarak işletmenin durmasıyla sonuçlanabilecek olumsuz bir durumdur. Gerilim çökmesi ve yükselmesi bu olaylar arasında en sık rastlanan olaylardır [4]. Gerilim çökmesi sıklıkla sistemde gerçekleşen arıza durumlarında ya da büyük asenkron motorların devre alınması esnasında gerçekleşmektedir [5]. Gerilim çökmesinin karakteristiği ve gerilimdeki azalmanın etkin değeri IEEE 1159 standardında verilmektedir [6].

Dinamik voltaj düzenleyicinin işlevi gerilim alçalması ya da yükselmesi tespit edildiğinde hesaplanan gerilimin sisteme seri bağlı transformatör ile aktarılmasıdır [7]. Dinamik

voltaj düzenleyici (DVR) kritik yüklere dinamik olarak gerilim kompanse edebilen güç elektroniği ekipmanıdır [8]. Yüksek gerilim değişimleri kritik tüketici yüklere ait alt sistemlerde açmalara ve neticesinde ortaya çıkacak kayıplara neden olmaktadır [9]. Gerilim dalgalanmaları özellikle yarı iletken teknolojisi ile çalışan hassas ekipmanların zarar görmesine neden olmaktadır. Bu ekipman kontrol edilebilir röle, seri transformatöre bağlı gerilim hesap modülü ile gerilim kaynağından oluşmaktadır [10]. Bu yapıda transformatör, sistemin ihtiyacı olan gerilimi belirli aralıklarla sisteme enjekte ettiği için kritik bir öneme sahiptir [11]. Yük gerilimin düzeltilmesi için dağıtım barasına aktif ya da reaktif güç enjekte edilmektedir [9]. Bu ekipman için kompanzasyon kapasitesi eviricinin ulaşabileceği gerilim seviyesine bağlıdır [12]. Gerilim dalgalanmalarını önlemek için birçok yöntem kullanılmasına rağmen optimal çözüm olarak dinamik voltaj düzenleyiciler kullanılmaktadır [13]. Sistemdeki hassas ekipmanlar gerilim dalgalanmalarından daha çok etkilendiği için bu ekipman oluşan fark gerilimi sisteme enjekte etmek için çok hızlı bir şekilde devreye girmektedir [14]. Dinamik voltaj düzenleyici ile ilgili çeşitli gerilim kompanzasyon stratejileri ve kontrol teknikleri ile ilgili bir çok çalışma bulunmaktadır. Dinamik voltaj düzenleyici için kullanılan en yaygın kontrol teknikleri klasik kontrol teorisi ya da modern kontrol teorisidir [15]. Optimize kontrol stratejileri sisteme enjekte edilen gerilimi azaltmaktadır. Dinamik voltaj düzenleyicide dalgalanma filtresinin tasarımı performansın artırılması için incelenmektedir [16]. Güç kalitesi elektrikli ekipmanlar ve son tüketici çok önemlidir [17]. Elektrikli hassasiyete sahip yüklerin sayısı arttıkça bu önem daha kritik bir seviyeye ulaşmaktadır [18]. Birden fazla hassas yükün korunması için gereken DVR cihazlarının genel ekonomik maliyetini azaltmak amacıyla DC dinamik gerilim düzenleyici kullanılmaktadır [19]. Güç sisteminde, reaktif güç üretimi ile tüketimi arasında dengesizliğe yol açan ve gerilim sapsmalarına neden olan doğal bir yük değişimi vardır [20]. Ani şebeke gerilimi bozulma koşulları altında üç fazlı yük gerilimini stabilize etmek için dinamik voltaj düzenleyici geliştirilmiştir [21]. Şekil 1. ile kısa devre ve gerilim yükselmesi durumları gösterilmektedir.



Şekil 1. Kısa devre ve gerilim yükselmesi durumları

[1] ile farklı kontrol teknikleri kullanılarak DVR modellemesi yapılmıştır. [2]'de dengesiz yük koşullarında hızlı yük kompanzasyonu için Dstatkom uygulaması anlatılmıştır. [3] ile verilen çalışmada güç kalitesi problemi için Statkom uygulaması anlatılmıştır. [4] nolu çalışmada Bulanık Mantık tabanlı DVR konusu incelenmiştir. [5] nolu çalışmada ise ANFIS kontroller kullanılarak DVR tasarımı yapılmıştır. [6] nolu çalışma ile düşük maliyetli DVR konusu araştırılmıştır. [7] ile güç kalitesi problemi ele alınarak DVR modellemesi yapılmıştır. [8]'de güç dağıtım sistemlerinde Bulanık Mantık

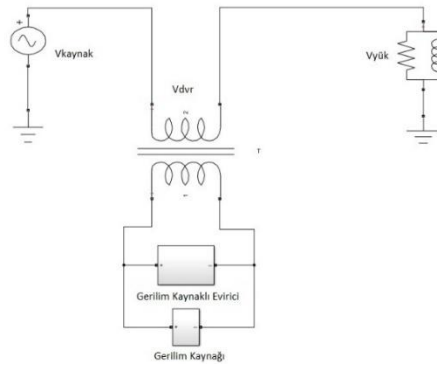
tabanlı DVR uygulaması anlatılmıştır. [9]'da güç kalitesinin artırılması için DVR çalışması anlatılmıştır. [10] ile alçak gerilim tarafına bağlı ANFIS tabanlı DVR konusu araştırılmıştır. [11]'de ise yüksek frekans tabanlı izole DC-DC dönüştürücü kullanan DVR sistemi anlatılmıştır. Bu çalışmada DC beslemeli raylı sistem trafo merkezlerinde bulunan orta gerilim sistemlerinde oluşabilecek geçici rejimlerin analizi ve bu durumun voltaj düzenleyici uygulaması ile ortadan kaldırılması matlab yardımıyla modellenmiştir. Raylı sistem elektrifikasyon sistemi için tasarlanan DVR sistemi PLL tabanlı olup sonuçlarda yüksek başarı elde edilmiştir. Benzetimle ilgili grafikler ve sonuçları kıyaslamalı olarak anlatılmıştır. Benzetimle sağlanan iyileştirme durumu sonuçlarla açıklanmıştır.

## 2. Metot

Bu kısımda ilgili çalışmaya ait matematiksel denklemlerle dinamik voltaj düzenleyici anlatılarak deneysel çalışmaya ait içeriklere yer verilmiştir.

### 2.1. Dinamik voltaj düzenleyici

Dinamik voltaj düzenleyici IGBT'lerden oluşur ve kontrol edilen role ile devreye girmektedir. Şekil 2.'de dinamik voltaj düzenleyicinin yapısı gösterilmektedir. Tek faz elektrik ağı kullanılmıştır. Sisteme enjekte edilecek gerilim referans kaynak geriliminden ölçülen gerilimin çıkarılmasıyla hesaplanmaktadır. Referans gerilimin hesaplanması için faz kilitlemeli döngü (PLL) kontrol sistemi kullanılmıştır.



Şekil 2. Dinamik voltaj düzenleyicinin yapısı [15]

Dinamik voltaj düzenleyici tarafından sisteme aktarılan gerilim  $V_{enj}$  ile ifade edilmekte olup denklem 1. eşitliği ile verilmektedir.  $V_Y$  ve  $V_K$  ise yük gerilimini ile kaynak gerilimini temsil ederken  $\theta$  güç açısını ifade etmektedir.

$$V_{enj} = \sqrt{V_Y^2 + V_K^2 - 2V_Y V_K \cos(\theta_Y - \theta_K)} \quad (1)$$

Denklem 2. ile dinamik voltaj düzenleyicinin güç açısı hesaplanmaktadır.

$$\theta_{enj} = \tan^{-1} \frac{V_K \sin \delta}{V_K \cos \delta - V_Y} \quad (2)$$

Dinamik voltaj düzenleyicinin gerilimi denklem 3. eşitliğinde görüldüğü üzere yük geriliminden kaynak geriliminin çıkarılmasıyla hesaplanmaktadır.

$$|V_{DVD}| = |V_Y| - |V_K| \quad (3)$$

Yük akımına ait denklem ise denklem 4. ile verilmektedir. Yükün aktif gücü  $P_Y$ , reaktif gücü ise  $Q_Y$  ile gösterilmektedir.

$$I_Y = \frac{P_Y + jQ_Y}{V_Y} \quad (4)$$

Dinamik voltaj düzenleyiciye ait görünür güç ise gerilimle yük akımının çarpımıyla bulunmaktadır. Bu eşitlik denklem 5. ile gösterilmektedir.

$$S_{DVD} = V_{DVD} I_Y \quad (5)$$

Dinamik voltaj düzenleyicinin çalışmasıyla ilgili oluşturulan sistem aşağıda algoritma 1'de gösterilmektedir.

Adım 1. Başlangıç değişkenlerinin atanması

Adım 2.  $V_c$  çıkış geriliminin ölçülmesi ve sinyal bilgisinin aktarılması

Adım 3. Kaynak voltaj sinyalinin girişi

Adım 4.  $V_{max}$  değerinin belirlenmesi

Adım 5. PLL kontrolörü ile frekansın hesaplanması

Adım 6. Tetikleme sinyalleri için  $V_r$  referans geriliminin hesaplanması

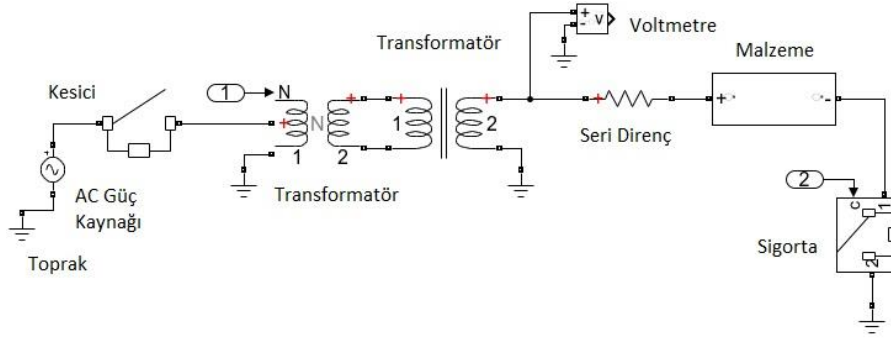
Adım 7. Tetikleme sinyalleri üretilmesi ile devrenin ilettime geçmesi

Adım 8.  $V_r < \epsilon$  olana kadar çalışmanın sürdürülmesi

Bu döngü referans gerilim  $\epsilon$  değerinden daha küçük oluncaya kadar devam ettirilirken sistem yüke gerilim enjekte ederken zamanda herhangi bir gecikme yaşanmaması hedeflenmektedir.

## 2.2. Deneysel çalışma

Bu çalışmada oluşturulan test düzeneği ile raylı sistemlerde kullanılan izole malzemenin elektriksel özellikleri test edilmiştir. Test düzeneği oluşturulurken IEC 587 standardından yararlanılmıştır. Elektrolitik iletkenliği ölçmek için damıtılmış su kullanılmıştır. Düzenek için 0.5 mm kalınlığında paslanmaz çelik elektrotlar kullanılmıştır. Yüksek gerilim elde etmek için 220 V / 10e3 V çevirme oranına sahip 1 kVA gücünde transformator kullanılmıştır. Giriş gerilimini sabitlemek için 230 V ve 7.5 kVA gücünde auto-transformatörden yararlanılmıştır. Test sırasında ortam sıcaklığı 25<sup>0</sup> C ( $\pm 2$ ) olarak seçilmiştir. Test düzeneğine ait elektriksel şematik şekil 3. ile verilmektedir.



Şekil 3. Deneysel çalışma

Test düzeneğine ait devrenin çalışma prensibi aşağıda algoritma 2 ile gösterilmektedir. Burada seri direnç akımı sınırlandırmak için kullanılırken sigorta emniyet açısından devreyi kesmek için yerleştirilmiştir. Ölçümler voltmeter ile alınırken yüksek gerilim transformatörünün seconder ucu topraklanmıştır. Devre güç kaynağından sonra bağlanan kesicinin pozisyonuna göre aktif hale gelmektedir.

Adım 1. Kesicilerin on pozisyonuna getirilmesi

Adım 2. 230 V AC gerilimin ratio transformatöre ulaşması

Adım 3. Güç transformatörü ile 10 kV yüksek gerilimin elde edilmesi

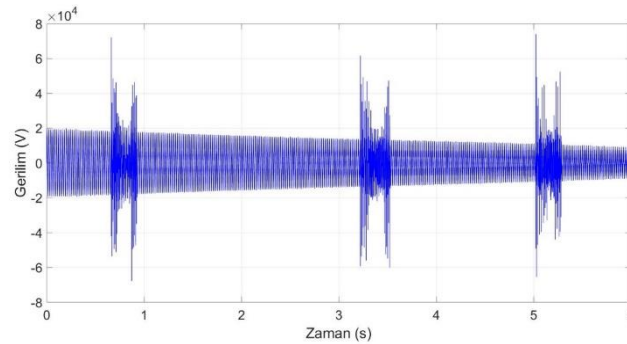
Adım 4. Seri direnç üzerinden akımın malzemeye ulaşması

Adım 5. Malzeme üzerinde oluşan elektriksel karakteristiklerin kayıt edilmesi

Adım 6. Akımın sigorta üzerinden toprağa ulaşması

Adım 7. Data setinin elde edilmesine kadar bu işlemin devam ettirilmesi

Devre bağlantısı gerçekleştirildikten sonra malzeme üzerinde ortaya çıkan kaçak akımlar kayıt edilerek gerilim geçici olayı durum analizi yapılmıştır. Bu durumun sonucu raylı sistem elektrifikasyon sisteminde eşdeğer dirençle birlikte hesaplanarak ortaya çıkan gerilim geçici olayı voltaj düzenleyeci ile kontrol altına alınmıştır. Bu durumda ortaya çıkan gerilim geçici olay sinyali şekil 4. ile gösterilmektedir.

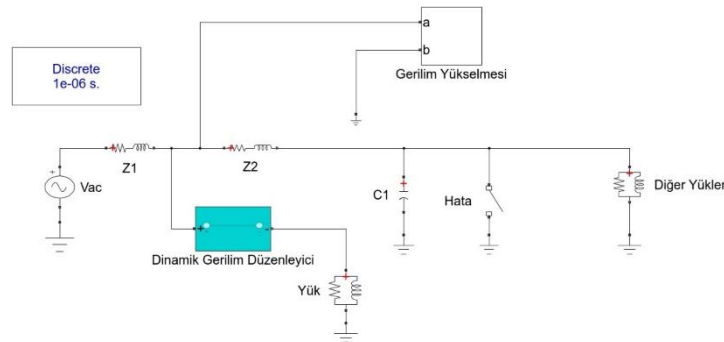


Şekil 4. Gerilim geçici olayı

Bu durumda oluşan gerilim geçici olayı üç farklı bölgede ortaya çıkmakta olup nominal gerilimin üç katına kadar salınım göstermektedir. Gerilim için nominal değer baz alınırken faz-toprak gerilimi baz alınmıştır. Bu değer 34.5 kV faz-faz gerilimi için 20 kV civarında olmaktadır. Bu durum 6 saniye için kayıt altına alınmıştır.

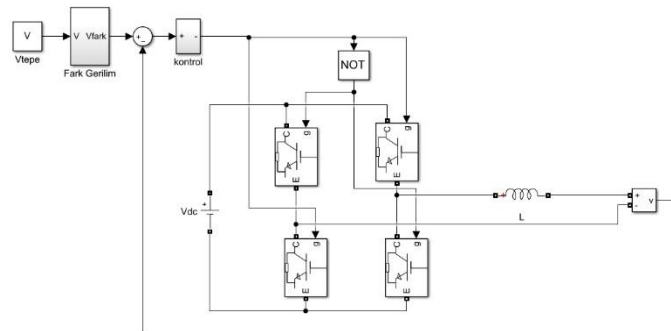
### 3. Bulgular

Bu çalışma ile dinamik voltaj düzenleyicinin raylı sistemler için kullanılması durumu incelenmiştir. Benzetim için DC beslemeli raylı sistemlere ait trafo merkezi modellenmiştir. Şekil 5.'de benzetim için kullanılan devreye ait modelleme gösterilmektedir. Gerilim yükselmesi, gerilim alçalması ve gerilim geçici olayı durumlarına ait iyileştirme sağlanarak sonuçlar ortaya konulmuştur.



Şekil 5. Dinamik gerilim düzenleyici devre modeli

Benzetimde kaynak gerilimi için cer merkezinde bulunan 34.5 kV orta gerilim sistemi kullanılmıştır. Trafo merkezinde gerçekleşen elektriksel gerilim geçici olayı incelenmiştir. Şekil 6. ile enjekte edilen gerilimlerin üretilmesinde kullanılan tetikleme sinyallerinin üretildiği bölüm verilmektedir. Kontrol bloğu ile sistem için üretilen control sinyali devreye aktarılmaktadır. Paralel kapasitör ile sistemin gerilim ihtiyacı karşılanmaktadır.



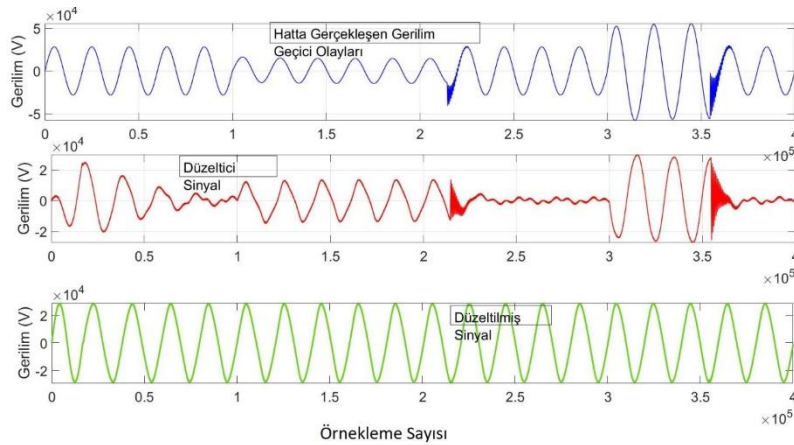
Şekil 6. Kontrol sinyallerinin üretilmesi

Dinamik voltaj düzenleyici ile fark gerilim hesaplamasında kullanılan referans sinyalleri bu kısımda üretilmektedir. Benzetim için örnekleme sayısı daha efektif sonuç elde etmek için  $4e5$  seçilmiştir. Tablo 1.'de dinamik voltaj düzenleyici için önerilen dizayn parametreleri verilmektedir. Trafo merkezi besleme bölgesinden iki adet demiryolu aracının geçtiği durum incelenmiştir.

Tablo 1. Dinamik voltaj düzenleyici parametreleri

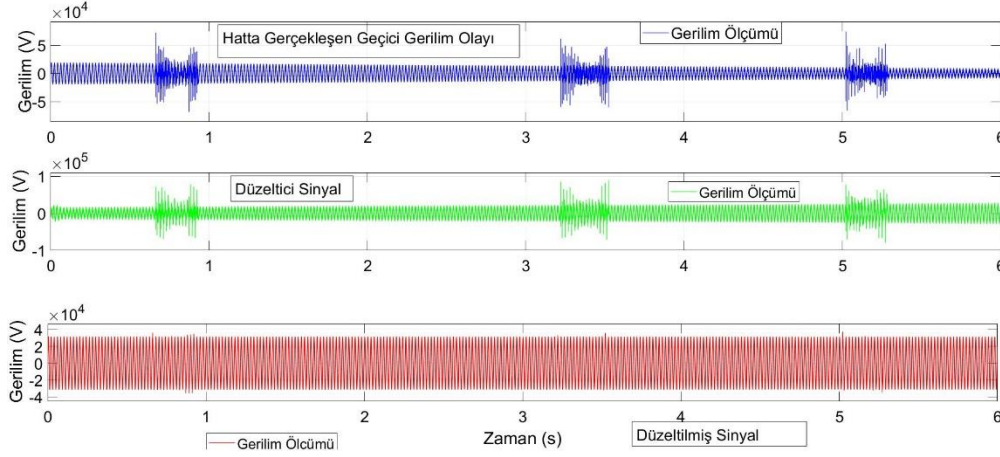
Parametre	Değer
Kaynak Gerilimi $V_k$	34.5 kV $V_{rms}$ Faz-Faz
Kaynak Frekansı	50 Hz
Kaynak Empedansı ( $R_k, L_k$ )	10e-5 $\Omega$ 1e-4 H
Yük Gücü ( $S_{yük}$ )	5 MVA, 250 kVAR
Tek Faz Hata Direnci ( $R_h$ )	1e-2 $\Omega$
Statkom Anahtarlama Frekansı	3 kHz
Gerilim Yükselmesi $V_p$	3 $V_k$
Bağlantı Transformatörü Çevirme Oranı	1
Evirici Filtresi ( $L_f$ )	1e-7 H

Şekil 7. ile kısa devre ve gerilim yükselmesi gerilim geçici olayı durumlarının yaşandığı esnada kaynak geriliminin davranışı, enjekte edilen gerilim ve düzeltilen gerilim gösterilmektedir. Sistemde önemli seviyede ani gerilim dalgalanmaları oluşurken dinamik gerilim düzenleyici ile bu durum ortadan kaldırılmıştır.



Şekil 7. Kaynak gerilimi

Mavi sinyal ile gerilim geçici olayı gerilimleri gösterilirken, kırmızı sinyalle enjekte edilen gerilim ifade edilmiştir. Yeşil sinyalle ise yüke gelen düzeltilmiş gerilim gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere 1-2.1 aralığında kısa devreden kaynaklı gerilim çökmesi yaşanırken 3-3.5 aralığında ise gerilim yükselmesi yaşanmaktadır. Bu durumda sisteme 1-2.1 aralığında 10 kV seviyelerinde gerilim enjekte edilirken 3-3.5 aralığında ise 25 kV-28 kV seviyelerinde gerilim aktarılmaktadır. Şekilde görüldüğü üzere dinamik voltaj düzenleyici ile yüke iletilen gerilim temiz sinüzoidal şeklini getirilmiştir. 1-2.1 aralığında gerçekleşen kısa devre durumuna ve 3-3.5 aralığında gerçekleşen gerilim yükselmesi durumuna rağmen yük bu durumdan etkilenmemiştir. Şekil 8. ile bu duruma ait sinyallerin durumu daha fazla sayıda örnekleme sayısı ile gösterilmektedir.



Şekil 8. Düzeltilmiş, düzeltici ve gerilim geçici durumlarına ait sinyaller

Tablo 2.'de dinamik gerilim düzenleyici ile sağlanan başarı durumlarına ait bilgiler özet tablo ile verilmektedir.

Tablo 2. Dinamik voltaj düzenleyici parametreleri

Ölçüm Noktaları	Kısa Devre Durumu	Gerilim Yükselmesi Durumu	Deneysel Gerilim Geçici Olayı
Kaynak Gerilimi	18 kV (Düşük Gerilim)	58 kV (Yüksek Gerilim)	20-72 kV (Salınım)
Yük Gerilimi	28 kV (Nominal)	28 kV (Nominal)	28 kV (Nominal)
Katkısal İyileştirme Oranı	% 55	% 55	% 40- %61

Dinamik voltaj düzenleyici kullanıldığı durumda gerçekleşen iyileşme hali bu tabloda net bir şekilde görülmektedir. Bu şekilde yükün geçici rejimlerin oluşturduğu herhangi bir olumsuz durumdan etkilenmesi engellenmiştir. Tabloda görüldüğü üzere orta gerilim sistemi kısa devre, gerilim yükselmesi ve deneysel gerilim geçici olayı durumlarında olumsuz etkilenirse de yüke gelen gerilim nominal değerini korumayı sürdürmüştür.

Elde edilen sonuçlar iyileştirme oranlarının yüksek olduğunu ortaya koyarken yüke gelen gerilimin nominal değerler içerisinde kaldığını göstermektedir. Bu çalışmada kullanılan PLL tabanlı dinamik gerilim regülatörü ile yüksek başarı elde edilerek gerilim geçici olayı durumlar kontrol altına alınmıştır. [1] nolu çalışmada önerilen yöntemle gerilim iyileştirmesinde % 35 oranında başarı elde edilmiştir. [2] nolu çalışma ile kullanılan Dstatkom ile kaynak akımına ait THD değeri % 7'ye düşürülerek reaktif güç kompanzasyonu yapılmıştır. [3] ile FACT tabanlı statkom ile büyük ölçekli güç sistemlerinde yüksek performans elde edildiği belirtilmiştir. [4]'de Nominal geriliminin %40 'ı ile % 60'ı oranında gerçekleşen gerilim çökmelerinde iyileştirme sağlanmıştır. [5] ile yapılan çalışma ile nominal gerilimin % 10'u kadar gerilim enjekte edilerek 0.1 mertebelerin hata elde edilmiştir. [6] nolu çalışmada % 5 tolerans ile gerilim düzeltmesi yapılmıştır. [7] ile yapılan çalışmada % 85 oranında başarı elde edilerek harmonik probleminin altı çizilmiştir. [8]'de üç faz-toprak hata akımı ve çift faz-toprak hata durumlarında sistemin nominal besleme gerilimini elde etmesi sağlanmıştır. [9] nolu



çalışmada DVR tasarımların kullanılan kontrol yöntemleri için minimum power enjekte edilmesinin, enerji tasarrufuna yönelik faydaların önemi vurgulanmıştır. [10] ile ANFIS yöntemi ile DVR tasarımında şebeke geriliminin % 20'si oranında gerilim seviyesinde iyileştirme sağlanmıştır. [11]'de % 30 oranında düşen gerilim DVR ile nominal seviyesine çıkarılmıştır. [12] nolu çalışmada 0.4 pu miktarındaki gerilim çökmesi durumuyla ilgili iyileştirme ortaya konulmuştur.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada DC beslemeli bir demiryolu trafo merkezinde oluşacak geçici rejimlerin dinamik voltaj düzenleyici ile ortadan kaldırılması araştırılmıştır. Orta gerilimde oluşan kısa devre durumu ve gerilim yükselmesi durumu incelenmiştir. Sistem ve alt sistemler modellenerek benzetim yapılmıştır. Benzetim sonucunda yüke ait gerilimin dalga işaretinin saf sinüzoidal dalga işaretinde olması sağlanmıştır. Benzetim sonuçlarıyla ilgili kıyaslamalı sonuçlar ve iyileştirme durumu tabloda özet halinde verilmiştir. Kısa devre bölgesinde gerilim 18 kV seviyelerine kadar düşerken dinamik voltaj düzenleyicinin devreye girdiği bölgede 28 kV nominal tek faz gerilimi elde edilmiştir. Gerilim yükselmesinin olduğu durumda ise gerilim 58 kV'lara kadar çıkarken dinamik voltaj düzenleyici ile bu değer nominal değerini almıştır. Yüke ulaşan gerilimin saf sinüzoidal şeklinde olduğu ve gerçekleşen iyileştirme durumu grafiklerden anlaşılmaktadır. Bu çalışma ile deneysel olarak yapılan çalışmalardan elde edilen dotalar yardımıyla bir raylı sistem trafo merkezinde gerçekleşecek gerilim değişimlerinin yük tarafına yansımadan iyileştirilmesi sağlanarak, DVR uygulaması raylı sistemler alanının en kritik problemlerinden biri olan elektrifikasyon gerilim dengesizliği probleminin çözümü için kullanılmıştır. Bu çalışmanın raylı sistemler alanına özgün bir algoritma ile DVR uygulaması ve deneysel çalışmaların kullanılması yönüyle ilgili çalışmanın literatüre etkin katkıları bulunmaktadır.

Ekipmanların arızaya geçmemesi ve herhangi bir aksaklık yaşanmaması açısından gerilim düzenliliği çok önemlidir. Sistemlerde gerilim alçalmaları veya yükselmeleri yüzünden maddi ve manevi kayıpların yaşanabilmesi söz konusudur. Raylı sistemlerde kesintisiz işletme hali mevcut olduğu için sistem sürekliliği açısından bu konuların özellikle dikkate alınarak çözüme kavuşturulması gerekmektedir. Dinamik voltaj düzenleyici gerilim dalgalanmaları için kullanılan en etkili güç elektroniği ekipmanıdır. Gelişen teknoloji ile birlikte yeni kontrol tekniklerinin ortaya çıkmasıyla dinamik voltaj düzenleyicinin performansının artırılması için çalışmalar sürdürülmektedir.

#### Kaynaklar

- [1] D. V. Tien, R. Gono, Z. Leonowicz, "A multifunctional dynamic voltage restorer for power quality improvement," **Energies**, no. 11, pp. 1351-1368, 2018.
- [2] W. N. Chang, K. D. Yeh, "Design and implementation of DSTATCOM for fast load compensation of unbalanced loads," **Journal of Marine Science and Technology**, no. 17, pp. 257-263, 2009.
- [3] R. Jadeja, S. Patel, S. Chauhan, "STATCOM, a preface to power quality in power systems performance," **Engineering, Technology & Applied Science Research**, vol. 6, no. 1, pp. 895-905, 2016.

- [4] R. Azim, A. Hoque, "A fuzzy logic based dynamic voltage restorer for voltage sag and swell mitigation for industrial induction motor loads," **International Journal of Computer Applications**, no. 30, pp. 9-18, 2011.
- [5] M. Suliman, "Design of fast real time controller for the dynamic voltage restorer based on instantaneous power theory," **International Journal of Energy and Power Engineering**, vol. 5, no. 2, pp. 1-6, 2016.
- [6] M. E. C. Brito, M. Cavalcanti, M. C. Limongi, L. R. Neves, F. A. S. Neves, "Low cost dynamic voltage restorer," **International Conference on Renewable Energies and Power Quality**, 2012, pp. 28-30.
- [7] N. L. Ismail, H. D. M. Hidzir, S. Thanakodi, N. S. M. Nazar, P. Ibrahim, C. Ali, "Modelling voltage sag mitigation using dynamic voltage restorer and analyzing power quality issue," **AIP Conference Proceedings 1930**, pp. 1-8, 2018.
- [8] K. Askar, "Simulation of p1 with fuzzy logic controller based dynamic voltage restorer as voltage sag restorer in distribution system," **International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering**, no. 4, pp. 6257-6267, 2015.
- [9] R. Pal., S. Gupta, "State of the Art: Dynamic Voltage Restorer for Power Quality Improvement," **Electrical & Computer Engineering: An International Journal**, no. 4, pp. 79-98, 2015.
- [10] A. Tavakoli, M. K. Sani, H. Eisazadeh, S. S. Malfejani, B. T. , Mozan, M. Hatef, "Design of anfis controller for dynamic voltage restorer in order to improve ivrt," **Palma Journal**, vol. 16, no. 2, pp. 268-278, 2017.
- [11] M. Banaei, E. Salary, "Dynamic voltage restorer based on high-frequency isolated dc-dc converter," **Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation**, vol. 1, no. 3, pp. 47-39, 2013.
- [12] C. Ratna, T. Kishore, "Improving the compensation capacity of interline dynamic voltage restorer," **International Journal on Information Theory**, no. 6, pp. 1-12, 2017.
- [13] D. Samira, F. Brahim, B. Chellali, "Adaptive neuro-fuzzy inference system based dvr controller design," **Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies**, no. 10, pp. 49-64, 2010.
- [14] O. Patrick, R. Tiako, I. Davidson, "Application of dynamic voltage restorer for power quality improvement in low voltage electrical power distribution network: an overview," **International Journal of Engineering Research in Africa**, no. 28, pp. 142-156, 2017.
- [15] V. Latha, P. Valsalal, "Performance enhancement of a dynamic voltage restorer," **Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences**, no. 25, pp. 2293-2307, 2017.
- [16] B. Singh, P. Jayaprakash, D. P. Kothari, A. Chandra, K. Haddad, "New control algorithm for capacitor supported dynamic voltage restorer," **Journal of Electromagnetic Analysis and Application**, no. 3, pp. 277-286, 2011.
- [17] M. Aswathy, R. Jayabarathi, "Low cost embedded system for voltage sag analysis," **International Journal of Computer Applications**, no. 98, pp. 10-15, 2014.
- [18] S. Kiranmai, A. Laxmi, "Hardware for classification of power quality problems in three phase system using microcontroller," **Cogent Engineering**, no. 4, pp. 1-10, 2017.
- [19] X. Chen, Q. Xie, X. Bian and B. Shen, "Energy-saving superconducting magnetic energy storage (SMES) based interline DC dynamic voltage restorer," **CSEE Journal of Power and Energy Systems**, vol. 8, no. 1, pp. 238-248, 2022.

- [20] S. Ranjan, D. C. Das, A. Latif, N. Sinha, S. M. S. Hussain and T. S. Ustun, "Maiden Voltage Control Analysis of Hybrid Power System With Dynamic Voltage Restorer," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 60531-60542, 2021.
- [21] K. H. Tan, J. H. Chen and Y. D. Lee, "Intelligent Controlled Dynamic Voltage Restorer for Improving Transient Voltage Quality," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 74686-74701, 2023.

# Molecular phylogenetic analysis of the taxa belonging to the genus *Carlina* L.(*Asteraceae*) in Turkey

Berna SANON\*

Balikesir University, Faculty of Science and Letters, Department of Biology, 10145 Balikesir /TURKEY

Geliş Tarihi (Received Date): 11.05.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 11.12.2023

## Abstract

*Asteraceae*, is a cosmopolitan family in terms of natural chemistry, flowering morphology, and adaptation to habitat. Even if there are numerous taxonomic and new molecular phylogenetic studies, the ancestors of the *Asteraceae* family are not well defined. Study material under consideration, *Carlina* L., is a member of the tribe *Cardueae* which belong to *Cichorioideae* subfamily of the *Asteraceae*. The genus *Carlina* is represented by *C. lanata*, *C. vulgaris*, *C. tragacanthifolia*, *C. biebersteinii*, *C. intermedia*, *C. oligocephala*, *C. involucrata* subsp. *libanotica*, *C. corymbosa*, *C. graeca* in The Flora of Turkey. In this study, molecular phylogenetic analysis of the genus *Carlina*, which has a natural distribution in Turkey, has been made. The DNA isolation was performed using phenol- chloroform- isoamylalcohol. ITS (Internal Transcribed Region) of the nuclear ribosomal DNA (nrDNA) and the *trnL-F* (Transfer RNA coding) region of the chloroplast DNA sequences were used as molecular markers. *Carlina* was selected as ingroup taxon and *Cardopatum*, *Atractylis* and *Carthamus* were outgroup taxa. Taxa belonging to the genus *Carlina* distributed in Turkey were analyzed phylogenetically using Branch-and-Bound algorithm with maximum parsimony criterion. Data set analysis using 952 best parsimony trees was made. One tree topology was the most reliable and clads have strongly Bootstrap support.

**Keywords:** *Asteraceae*, *Cardueae*, ITS, *trnL-F*, Phylogenetic Analysis<sup>†</sup>

\* Berna SANÖN, bernasanon@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-4343-770X>

## Türkiye'deki *Carlina* L. (*Asteraceae*) cinsine ait taksonların moleküler filogenetik analizi

### Özet

*Asteraceae*, doğal kimyası, çiçeklenme morfolojisi ve habitata uyumu açısından kozmopolit bir familyadır. Çok sayıda taksonomik ve yeni moleküler filogenetik çalışma olsa da, *Asteraceae* familyasının ataları tam olarak tanımlanmamıştır. İncelenen çalışma materyali, *Carlina* L., *Asteraceae*'nin *Cichorioideae* alt familyasına ait *Cardueae* kabilesinin bir üyesidir. *Carlina* cinsi, Türkiye Florasında *C. lanata*, *C. vulgaris*, *C. tragacanthifolia*, *C. biebersteinii*, *C. intermedia*, *C. oligocephala*, *C. involucrata* subsp. *libanotica*, *C. corymbosa*, *C. graeca* ile temsil edilir. Bu çalışmada, Türkiye'de doğal yayılış gösteren *Carlina* cinsinin moleküler filogenetik analizi yapılmıştır. DNA izolasyonu fenol-kloroform-izoamilalkol kullanılarak yapıldı. Moleküler markör olarak nükleer ribozomal DNA'nın (nrDNA) ITS (Internal Transkripsiyonlu Bölge) ve kloroplast DNA sekanslarının *trnL-F* (Transfer RNA kodlama) bölgesi kullanıldı. İç grup taksonu olarak *Carlina*, dış grup taksonu olarak *Cardopatium*, *Atractylis* ve *Carthamus* seçilmiştir. Türkiye'de yayılış gösteren *Carlina* cinsine ait taksonlar, maksimum parsimoni kriteri ile Branch-and-Bound algoritması kullanılarak filogenetik olarak analiz edilmiştir. 952 en iyi parsimoni ağacı kullanılarak veri seti analizi yapılmıştır. Bir ağaç topolojisi en güvenilirlikte ve dallar güçlü bir şekilde Bootstrap desteğine sahiptir.

**Anahtar Kelimeler:** *Asteraceae*, *Cardueae*, ITS, *trnL-F*, Filogenetik Analiz

### 1.Introduction

The *Asteraceae* family is a cosmopolitan family with natural chemistry, flowering morphology and habitat adaptation. Family contains 1130 genera, nearly 25,000 species and has natural distribution in every region of the world [1].

The family is divided into three sub-families of *Barnadesioideae*, *Cichorioideae* and *Asteroideae*. The study material is *Carlina* L. species included in the *Cardueae* tribe of the *Cichorioideae* sub-family of the *Asteraceae* family [2].

The *Cardueae* tribe is a controversial group and it is divided into 4 subtribes in the traditional classification (*Echinopsidinae*, *Carlininae*, *Carduinae* and *Centaureinae*) [2]. *Carlina* is included in the *Carlininae* subtribe. Most problems in the *Cardueae* tribe are experienced with differentiation of the *Echinopsidinae* and *Carlininae* tribal boundaries [2,3]. The genus *Carlina* is represented by the species in The Flora of Turkey and The East Aegean Island as *C. lanata*, *C. vulgaris*, *C. tragacanthifolia*, *C. biebersteinii*, *C. intermedia*, *C. oligocephala*, *C. involucrata* subsp. *libanotica*, *C. corymbosa*, *C. graeca*, [4] (Figure 1).

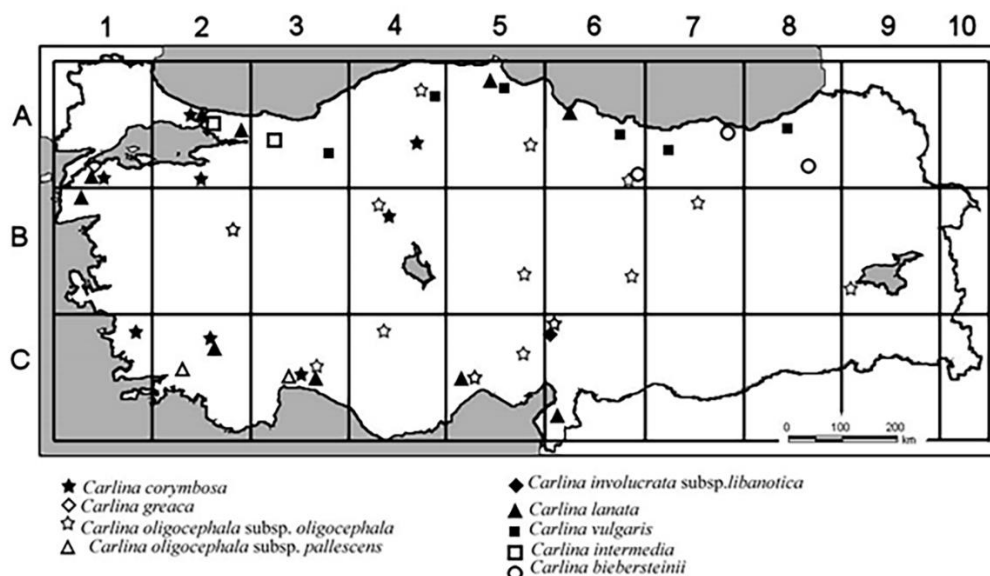


Figure 1. Distribution of *Carlina* L. taxon in Turkey [4].

Most *Carlina* species are used for medical purposes. They are used as diuretic, diaphoretic, to increase stomach fluid flow in gastrointestinal disorders and even as mouthwash for colds. In Bulgaria the roots are used for kidney irregularities, skin infections, hemorrhoids and nervous disorders. The sap from fresh roots is used as a de-wormer. Roots encourage bile flow and were identified to assist in clearing liver steatosis. Tea used regionally was observed to be good for toothache. Among the public, water prepared from root extracts is known to be effective for washing wounds [5]. It is also recognized as a potent mosquito larvicide [6].

*Carlina* roots contain 20% inulin, 1-2% volatile oils and flavonoids and these oils have antifungal and antibacterial effects [5].

In spite of studies based on molecular phylogenetics of the *Carlina* species chosen as study material [3,7-9] and some phylogenetic studies performed with morphologic data [10,11], there is no molecular phylogenetic study for species found in Turkey. A study was performed on the pollen morphologies of species found in Turkey [12]. Again, some research used molecular data related to pollen morphology for the Asteraceae family [13,14]. The association between *C. vulgaris* species and *Salix repens* taxon was supported using seedlings of *Salix* taxon grown in humid soil, using water pools in artificial areas on sandy hills and found that they may be suitable areas for *C. vulgaris* mycorrhiza [15]. Research was performed on *C. vulgaris* taxa and population dynamics. Again, apart from the study topic, there is research about the studied taxa (like flora and biomass) in studies [16, 17].

The aim of this study is to research phylogenetic relationship of *Carlina*, a problematic species in systematic terms distributed in the Mediterranean region, with close groups and for taxa it contains. The results will contribute to morphologic differentiation of the *Carlina* species within the Carlininae subtribe, compare molecular phylogeny with traditional classifications within the sub-tribe, determine the boundaries between sub-tribe taxa and analyze contradictions if present, and assess the status of the external group of *Cardopatum*, *Atractylis* and *Carthamus* species in the Cardueae tribe.

In this study, we will try to determine the differentiation limits of the *Carlina* species and compare the adaptation of the species in Turkey with previous studies.

The study can also be considered as a data source to elucidate the place, distribution area and status of this species in the Turkish flora.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Plant material, DNA extraction, PCR and sequencing

The study material of *Carlina* L. samples was collected in the vegetation period of the plants in the months from June-September from 2006-2010.

The collected samples were labeled, numbered and dried with herbarium techniques. Leaf and flower portions of samples for use in molecular analyses were dried in silica gel. Similarly, samples for the planned external groups of *Atractylis cancellate*, *Cardopatum corymbosum*, *Carthamus lanatus* and *Carthamus dentatus* were monitored during the flowering periods and samples were collected as herbarium material and in silica gel for molecular analyses. Fresh plant samples were prepared as herbarium material with standard herbarium material preparation methods. All samples were given to Balıkesir University Science-Literature Faculty Herbarium after the end of the study.

Firstly, domestic herbariums (Istanbul University Pharmacy Herbarium, Ankara University Herbarium, Gazi University Herbarium, Hacettepe University Herbarium, Ege University Herbarium, Ankara University Pharmacy Herbarium) were visited and available samples were investigated. Additionally, herbariums in Vienna and Geneva were visited. Samples collected in Turkey and neighboring countries in these herbariums were investigated.

Analyses were performed with molecular methods on samples obtained as herbarium material. With this aim, primarily buds, and if not present healthy and green leaves, were used for genomic DNA isolation was performed with the phenol-chloroform-isoamylalcohol method, as the ready-made kits prepared with this match did not give good results [18]. Samples dried in sealed bags containing silica gel were used for isolation. Molecular studies identified the internal transcribed spacer (ITS) and *trnL-F* sequences (Table 1). ITS sequencing used the whole ITS region coding ribosomal RNA belonging to the core genome (ITS1+5.8S rRNA coding DNA+ITS2).

With the aim of supporting these analyses, *trnL-F* primers were studied for chloroplast DNA (cpDNA) sequence variations. These primers are frequently used to determine interspecific relationships of angiosperms [19-21].

Table 1. Primers Used in PCR.

	Primer	Nucleotide Sequence (5' - 3')	T <sub>m</sub> Value	Primer Designer
Forward	ITS 5A	TCCTCCGCTTATTGATATGC	49.9 °C	[22]
Reverse	ITS 4	CCTTATCATTTAGAGGAAGGAG	52.1 °C	[22]
Forward	<i>trnL-e</i>	GGTTCAAGTCCCTCTATCCC	51	[19]
Reverse	<i>trnF-f</i>	ATTTGAACTGGTGACACGAG	51	[19]

For ITS primers, the stages of the PCR program thermocycler program used to proliferate the target regions of the samples were PCR were 5 min 94 °C (denaturation), 30 s 94 °C, 30 s 53 °C (This binding temperature varied depending on the  $T_m$  values of the primers used.), 45 s 72 °C (repeated 40 times in 2<sup>nd</sup>, 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup> steps), 10 min 72 °C and storage at 4 °C after the procedure. For *trnL-F* primers, the stages of the PCR program thermocycler program used to proliferate the target regions of the samples were PCR were 5 min 94 °C (denaturation), 45 s 94 °C, 45 s 51 °C (this binding temperature was changes linked to the  $T_m$  values of the primers used), 2 min 72 °C (repeated 35 times in 2<sup>nd</sup>, 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup> steps), 10 min 72 °C and storage at 4 °C after the procedure.

PCR reactions and purification were performed in Balıkesir University Basic Sciences Research Center Laboratories (BÜTAM), with services purchased for remaining sequencing reactions and purification.

With the aim of ensuring the accuracy of these analysis results, the Sequencher program was used to confirm the accuracy of visual DNA sequences.

The phylogenetic trees for the data of DNA sequences obtained in accordance with parameters suitable for the commonly used Phylogenetic Analysis Using Parsimony (PAUP) 4.0b10 phylogenetic analysis software were created [23-25].

### 3.Results

Phylogenetic analysis was performed, including basic principles, by bringing together molecular systematic analyses of *Carlina* taxa with natural distribution in Turkey. The trees created by the studies were interpreted by supporting the degree of relationship of *Carlina* taxa with two primer sets.

Using matrices related to ITS and *trnL-F*, separate PAUP analyses were performed. For the Branch- and –Bound research set, optimal criterion was parsimony (MP), addition sequence was furthest, multrees choice was selected, initial ‘MaxTrees’ setting was 100. If the maximum branch length was zero, branch collapse, criteria polytomies, and topological constraints were not enforced and the tree was defined as rootless.

Bootstrap analyses presented the reliability of branches, supporting statistical analysis of phylogenetic analysis with 1000 repeats.

Before PAUP analyses, the character-based method of parsimony criteria was used for the heuristic search analysis and consensus trees were created. Heuristic analyses were limited to maximum 10000 trees. To assess the branches, the tree-bisection-reconnection (TBR) choice was chosen in the program. All character types were determined to be unordered and equal weight. Strict consensus and bootstrap analyses were performed. The distance-based methods of unweighted pair group method using arithmetic average (UPGMA) and the neighbor joining (NJ) method were used.

Sequencing was performed for 15 taxa with ITS and *trnL-F* primers. PAUP analyses created trees according to the heuristic search criteria performed with parsimony.



Table 2. Situation summary of basic and aggregated datasets in Parsimony Analysis.

<b>Datasets</b>	<b>ITS+ <i>trnL-F</i></b>
Total characters	1337
Informative	351
Constant	728
Variable	258
Best number of trees	952
Most reliable number of trees	1
Rearrangement	1709

Combined analysis using the ‘branch-and-bound’ algorithm from the MP criteria in PAUP analysis was based on the 952 best parsimony trees. Of these, 1 provided the most reliable tree topology (Table 2).

Combined parsimony analysis with ITS and *trnL-F* used a total of 1337 criteria. The strict consensus tree determined with heuristic search may be better interpreted for reliable differentiation of branches when discussed with bootstrap analysis. The *C. lanata*, *C. involucrata* subsp. *libanotica*, *C. biebersteinii*, *C. graeca*, *Carthamus lanatus*, *Atractylis cancellata*, *Cardopatum corymbosum*, and *C. oligocephala* subsp. *oligocephala* species comprised a monophyletic group differentiated with 100% full support from other *Carlina* species. Again, these species comprise with best supported branches varying from 70-99% on the bootstrap tree. The species determined as external group of *Atractylis cancellata*, *Cardopatum corymbosum*, *Carthamus dentatus* and *Carthamus lanatus*, especially, were differentiated with best support on this tree.

*C. corymbosa*, *Carlina* 16509, *C.* subsp. *libanotica*, *C. vulgaris*, and *C. intermedia* species were differentiated from other species with high reliability of 99%. These species comprising a monophyletic group appeared to create a branch with good reliability varying from 66-96%. These species have straw-color phyllaries, leaves on the stem are ovate-lanceolate or linear-lanceolate with spider-web hairs, and close capitula sizes, displaying morphologic similarities.

In addition to the maximum parsimony method, the distance-based methods of UPGMA and NJ analyses were performed (Figure 3, Figure 4).

As *C. traganthifolia* species is a species only identified on islands, it could not be included in the study. When the natural distribution areas in Turkey for the genus are examined, it appears to spread in all regions. An attempt was made to determine the distribution boundaries of the genus more clearly in the present day for localities of samples observed in the visited herbariums in addition to the localities given in the flora of Turkey. The *C. oligocephala* subsp. *oligocephala* taxa were understood to have broadest distribution.

For *Carlina* species, the rosette and stem leaves are important for differentiation of these species. The lack of these features creates a problem for differentiation. The capitulum, leaf features and hair status of the genus were reviewed. Incomplete identifications were performed for identification of species. Tubulate flower and achene features were added [26]. It was observed that most difficulties were experienced between the *C. corymbosa*, *C. graeca* and *C. vulgaris*, *C. biebersteinii* species [20].

As expected, differentiation from *Carlina* species was strongly supported for the external group of *Atractylis cancellata*, *Carthamus dentatus*, *Carthamus lanatus* and *Cardopatum corymbosum* species (Figure 2).

*C. lanata*, an annual pink-flowering species in the flora of Turkey, was differentiated from *Carlina* species supported by molecular data. A sample collected from Kırklareli, defined as *Carlina* 16509 with differences supported by molecular analyses, was separated from *Carlina* species with 100% strong support on the combined tree topology (Figure 2). More comprehensive studies should be performed in Kırklareli and surroundings to determine the place for this sample within the genus.

When *C. vulgaris*, *C. intermedia* and *C. biebersteinii* are observed together, it appears that *C. vulgaris* is the species with shortest rosette leaves and widest stem leaves. *C. intermedia* appears to be the species with shortest capitulum among these species. *C. biebersteinii* has different features from the other species with linear-lanceolate leaves. These close similarities may have affected the overlap in the distribution areas.

When the morphologic features of *C. corymbosa* and *C. graeca* are first examined, they appear very similar. Of these two species, *C. corymbosa* may be differentiated by less divided stem leaves, clear and shorter peak thorn. Additionally, the linear-lanceolate stem leaves of *C. graeca* make differentiation easy. These close similarities were supported by molecular analyses (Figure 2).

*C. involucrata* subsp. *libanotica* species displays close morphologic features to *C. corymbosa* and *C. graeca*. It is differentiated by the size of the capitulum and the more pronounced sharp thorns. This differentiation is supported by molecular data confirming the monophyletic relationship of the species (Figure 2).

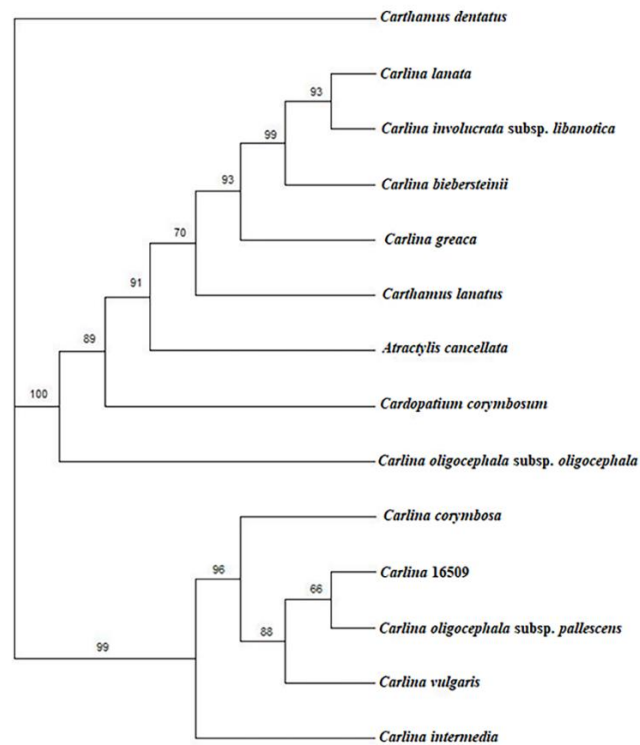


Figure 2. Bootstrap Values on Branch-and-Bound 1 Tree Based on ITS and trnL-F Data Processed Tree Topology.

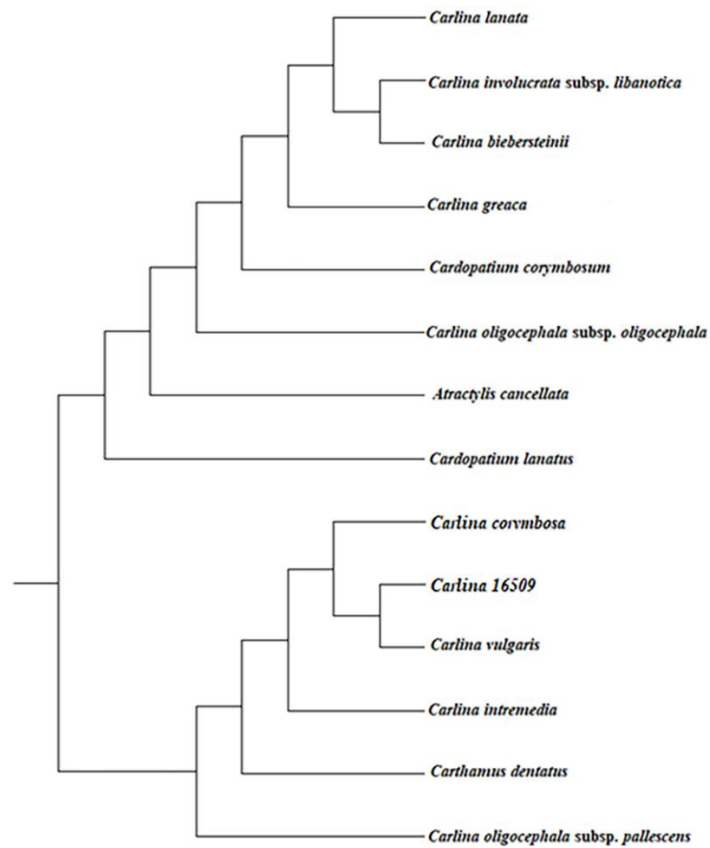


Figure 3. UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean) Tree Topology Based on ITS and trnL-F Data.

NJ

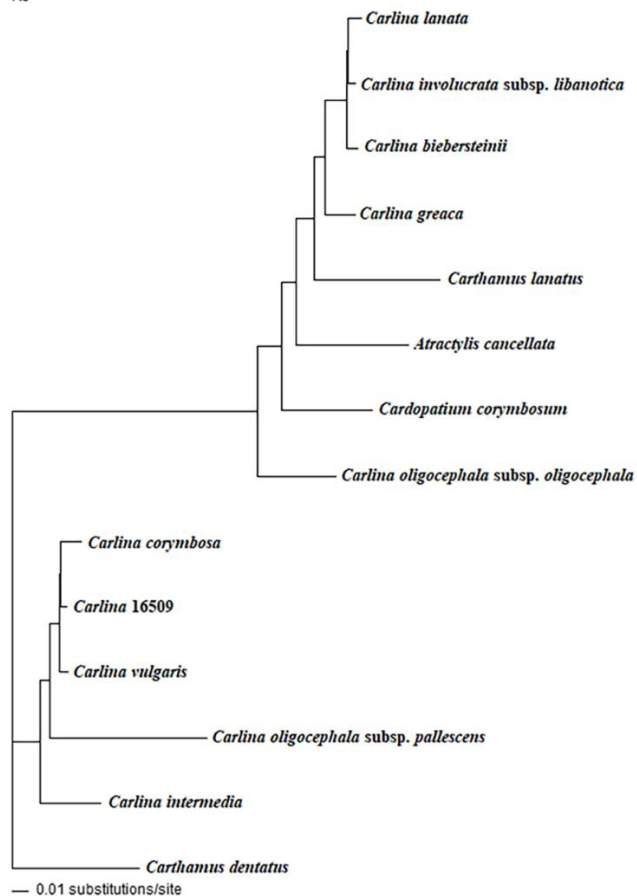


Figure 4. NJ (Neighbor Joining) Tree Topology Based on ITS and trnL-F Data.

#### 4. Discussion

In previous studies, *Carlina* and *Atractylis* were placed as a subtribe of Carlininae [2,7]. *Cardopatium*, placed in the Cardueae tribe, was placed as a subtribe of Carlininae [2]. These taxa are genera located in the Cardueae tribe in the flora of Turkey. Our study supports these results, showing *Carlina* and *Atractylis* are very close species (Figure 2). *Atractylis* appears to be a very close species to *C. vulgaris*, *C. intermedia* and *C. oligocephala* species among *Carlina* species. The *Cardopatium* species was strongly supported by differentiation as an external group close to *Carlina* species, supporting other studies.

*C. lanata*, which is distinguished by being the only pink-flowered species in the flora of Turkey, is strongly supported in its tree topology. Wahrmond placed this taxon in the Mitina subgenus [27]. It is also included in the *oligocephala* subsp. *oligocephala* *Carlina: oligocephala* subgenus, which is strongly supported and separated.

In the study, the *Carlina* taxa were divided into two clans. The taxa chosen as an outgroup was strongly supported and separated from the *Carlina* taxon. This is in line with the results found by Wahrmond (2010).

It was thought that the sample of *C. 16509* could be described as a new species or a variation because it differed in morphological observations and molecular analyzes. More comprehensive studies should be performed in Kirklareli and surroundings to determine the place for this sample within the genus. However, the new samples could not be collected due to locality destruction. When the sampling is repeated, the location of the taxa in *Carlina* will be clarified.

Contributions been made to clarifying the place, distribution area and status of these genera in the flora of Turkey in comparison with the results obtained in this study. It is thought that the study will provide additional data to the close studies.

**GenBank Submitter:** MK238388 (*Carlina vulgaris*), MK238388 (*Carlina oligocephala* subsp. *oligocephala*), MK238390 (*Carlina oligocephala* subsp. *pallescens*), MK238391 (*Carlina lanata*), MK238392 (*Carlina involucrata*), MK238393 (*Carlina intermedia*), MK238394 (*Carlina biebersteinii*), MK238395 (*Carlina corymbosa*), MK238396 (*Carlina greaca*)

#### Acknowledgements

This research was of a PhD thesis of the author and supported by Balikesir University Research Fund under the Project number 2011/58. The author would like to thank Prof. Bayram Yıldız for his assistance collection of the material.

#### References

- [1] Heywood, V.H.. **Flowering Plants of the World**, Equinox Ltd Oxford UK 335, ISBN0709937784, (1985). <https://doi.org/10.4236/oalib.1108387>

- [2] Garcia-Jacas, N., Garnatje, T., Susana, A., Vilatersana, R., Tribal and Subtribal Delimitation and Phylogeny of the Cardueae (Asteraceae): A Combined Nuclear and Chloroplast DNA Analysis, **Molecular Phylogenetic Evolution** **22**/1, January pp 5, (2002). <https://doi.org/10.1006/mpev.2001.1038>
- [3] Häffner, E., Hellwig, F.H., Phylogeny of the tribe *Cardueae* (*Compositae*) with emphasis on the subtribe *Carduinae*: an analysis based on ITS sequence data. **Willdenowia** **29**, (1999). <https://doi.org/10.3372/wi.29.2902>
- [4] Davis, P.H., **Flora of Turkey and the East Aegean Island**, Edinburg University Press, Edinburg. 5, 597, (1975).
- [5] Dordević, S., Petrović, S., Dobrić, S., Milenković, M., Vučićević, D., Žižić, S., Kukić, J., Antimikrobial, anti-inflammatory, anti- ulcer and antioxidant activities of *Carlina acanthifolia* root essential oil, **Journal Ethnopharmacol** **109**:458, (2007). <https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.08.021>
- [6] Pavelaa, R., Maggic, F., Petrellic, R., Cappellaccic, L., Buccionic, M., Palmierid, A., Canalee, A., Benellie, G., Outstanding insecticidal activity and sublethal effects of *Carlina acaulis* root essential oil on the housefly, *Musca domestica*, with insights on its toxicity on human cells, **Food and Chemical Toxicology** **136**: 111037, (2020). <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.111037>
- [7] Kadereit, J.W., Jeffrey C. (eds), Flowering Plants, Eudicots:Asterales, In Kubitzki K(ed). **The Families and Genera of Vascular Plants**, vol.8 Springer: Verlag Berlin, (2007).
- [8] Daniele, C., Dahamna, S., Firuzi, O., Sekfali, N., Saso, L., Mazzati, G, *Atractylis gummifera* L. poisoning: an ethnopharmacological review, **Journal Ethnopharmacol**, **97**:175, (2005). <https://doi.org/10.1016/j.jep.2004.11.025>
- [9] Wolfe, K.H., Li, W.H., Sharp, P.M., Rates of nucleotide substitutions vary greatly among plant mitochondrial chloroplast, and nuclear DNAs, **Proceedings of the National Academy of Sciences, USA**, 84:9054, (1987). <https://doi.org/10.1073/pnas.84.24.9054>
- [10] Gruenstaedl, M., Urtubey, E., Jansen, R.K., Samuel, R., Barfuss, M.H.J., Stuessy, T.F., Phylogeny of Barnadesioideae (Asteraceae) inferred from DNA sequence data and morphology. **Molecular Phylogenetics and Evolution** **51**:572, (2009). <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2009.01.023>
- [11] Hickey, L.J., Wolfe, J.A., The Bases of Angiosperm Phylogeny: Vegetative Morphology, **Annals of the Missouri Botanical Garden** **62**/3:538, (1975). <https://doi.org/10.2307/2395267>
- [12] Batır, B., **Türkiye’de *Carlina* L. cinsine ait taksonların (*Asteraceae*) polen morfolojisi**, Çanakkale Onsekiz Mart University Institute of Science Master's Thesis, (2009).
- [13] Punt, W., Hoen, P.P., The Northwest European Pollen Flora 70 Asteraceae-Asteroidae, **Review of Palaeobotany and Palynology**, **157**:22, (2009).
- [14] Osman, A.K., Contribution to the pollen morphology of Tribe Cardueae (Cichorioideae- Compositae), **Feddes Repertorium** **120**:145, (2009). <https://doi.org/10.1002/fedr.200811103>
- [15] Jong, T.J., Klinkhamer, P.G.L., Heiden, J.L.H., The effect of water and mycorrhiza infection on the distribution of *Carlina vulgaris* on sand dunes, **Ecography** **18**:384, (1995). <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.1995.tb00141.x>
- [16] Balos, M.M., Akan, H., Flora of the Region between Zeytinbahçe and Akarçay (Birecik, Şanlıurfa, Turkey), **Turkish Journal Botany**, **32**:201, (2008).
- [17] Sheppard, A.W., Vito J., The effect of a rosette-crown fly *Botanophila turcica* on growth biomass allocation and reproduction of the thistle *Carthamus lanatus*.

- Acta Oecologica** 21/6:337, (2000). [https://doi.org/10.1016/S1146-609X\(00\)01090-0](https://doi.org/10.1016/S1146-609X(00)01090-0)
- [18] Dellaporte, S.L., Wood, J., Hicks, J.B., A Plant DNA minipreparation: Version II, **Plant Molecular Biology Reporter**, 1/4, 19, (1983).
- [19] Taberlet, P., Gielly, L., Pautou, G., Bouvet, J., Universal Primers for Amplification Three Non-coding Regions of Chloroplast DNA, **Plant Molecular Biology** 17:1105, (1991). <https://doi.org/10.1007/BF00037152>
- [20] Spaniols, S., Bazakos, C., Spano, T., Zoghby, C., Kalaitzis, P., The potential of plastid *trnL* (UAA) intron polymorphisms for the identification of the botanical origin of plant oils, **Food Chemistry** 122:850, (2010). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.02.039>
- [21] Susanna, A., Garcia-Jacas, N., Hidalgo, O., Vilatersana, R., Garnadje, T., The Cardueae (Compositae) Revisited: Insights from ITS *trnL-trnF* and *matK* Nuclear and Chloroplast DNA Analysis, **Annals of the Missouri Botanical Garden** 93:150, (2006). ([https://doi.org/10.3417/0026-6493\(2006\)93](https://doi.org/10.3417/0026-6493(2006)93))
- [22] White, T.J., Bruns, T., Lee, S. and Taylor, J., Amplifications and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics In Innis M, Gelfand D, Sninsky J and White T (eds) PCR protocols: a guide to methods and applications. Academic Press San Diego California, USA, 315, (1990).
- [23] Thompson, J.D., Higgins, D.G., Gibson, T.J., CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, positions-specific gap penalties and weight matrix choice, **Nucleic Acid Research** 22: 4673, (1994). <https://doi.org/10.1093/nar/22.22.4673>
- [24] Wofford, D.L., Phylogenetic Analysis Using Parsimony and Other Methods In (PAUP\* 4.0b10) Ed 4.0b10, Smithsonian Institution & Sinauer Associates Washington D.C. & Sunderland MA p Computer Program for Phylogenetic Analysis, (2005).
- [25] Felsenstein, J., Confidence limits on phylogenies: An approach using bootstrap, **Evolution** 39:783, (1985). <https://doi.org/10.2307/2408678>
- [26] Sanön, B., Yıldız, B., Coşkun, F., Türkiye’de Yetişen *Carlina* L. (*Asteraceae*, *Cardueae*) Türlerinin Morfolojik Filogenetik Analizi, **BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, Cilt 13(2):50-60, (2011). <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.111037>
- [27] Wahrmond, U., Heklau, H., Röser, M., Kästner, A., Vitek, E., Ehrendorfer, F. K., Bernhard von Hagen, F., A molecular phylogeny reveals frequent changes of growth form in *Carlina* (*Asteraceae*), **Taxon** 59(2): 367–378, (2010). <https://doi.org/10.2307/25677596>

# How design decisions change fall from heights in reinforced concrete structures?

Kemal Dirgen TÖZER<sup>1</sup>, Gürkan Emre GÜRCANLI<sup>2</sup>,  
Tahir ÇELİK<sup>3</sup>, Özge AKBOĞA KALE<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Eastern Mediterranean University, Department of Civil Engineering, Cyprus

<sup>2</sup>Istanbul Technical University, Department of Civil Engineering, Istanbul

<sup>3</sup>Cyprus International University, Department of Civil Engineering, Cyprus

<sup>4</sup>Izmir Demokrasi University, Department of Civil Engineering, Izmir

Geliş Tarihi (Received Date): 01.05.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 29.12.2023

## Abstract

*Prevention through Design (PtD) and Design for Safety (DfS) are now being considered in relation to occupational health and safety and building design. A recent collection of studies suggests that certain decisions made by designers during the design process are at the root of many risks. A study was undertaken to relate falls from height to the conventional design process for reinforced concrete buildings. This was achieved by dividing the building design process into stages. During the design phase, input was gathered from architects and engineers working in the sector. Accident types were identified based on studies of occupational accident investigation reports from the Ministry of Labor. Of the 15 types of fall from height accidents studied, 12 were attributed to design decisions. Of these, 6 different accident types were associated with 5 or more design decisions, while 2 of these were associated with 3 or 4 design decisions. The remaining 4 types were linked to only 1 design decision.*

**Keywords:** *Design Decisions, Design for Safety, Occupational Health and Safety, Prevention through Design, Reinforced Concrete Structures.*

---

Kemal Dirgen TÖZER, kdirgen@hotmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-5306-1673>

Gürkan Emre GÜRCANLI, gurcanlig@itu.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-0807-2020>

Tahir ÇELİK, tcelik@ciu.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-2943-0640>

\*Özge AKBOĞA KALE, ozge.akbogakale@idu.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-3848-0578>

# Betonarme yapılarda tasarım kararları yüksekten düşmeyi nasıl etkiler?

## Öz

*Tasarım Yoluyla Önleme (PtD) ve Güvenlik için Tasarım (DfS) artık işçi sağlığı ve iş güvenliği ile bina tasarımını bir araya getiren kavramlar olarak değerlendirilmektedir. Yakın zamanda yapılan bir dizi çalışma, tasarım sürecinde tasarımcılar tarafından verilen bazı kararların birçok riskin temelini oluşturduğunu göstermektedir. Bu çalışmada betonarme binalarda yüksekten düşme ile geleneksel tasarım süreci arasında ilişki kurulmaya çalışılmaktadır. Bina tasarım sürecinin aşamalara ayrılması ve ardından tasarım aşamasında, sektörde çalışan mimar ve mühendislerden görüşleri çalışmanın temellerini oluşturmaktadır. Keza bu temele ek olarak kullanılan kaza türleri, Çalışma Bakanlığı'nın iş kazası inceleme raporları temel alınarak belirlenmiştir. İncelenen 15 tür yüksekten düşme kazasından 12'si tasarım kararlarına bağlanmıştır. Bunlardan 6 farklı kaza türü 5 veya daha fazla tasarım kararıyla ilişkilendirilirken, 2 tanesi 3 veya 4 tasarım kararıyla ilişkilendirilmiştir. Kalan 4 kaza türü ise sadece 1 tasarım kararıyla ilişkilendirilmiştir.*

**Anahtar kelimeler:** *Tasarım Kararları, Güvenlik İçin Tasarım, İş Sağlığı ve Güvenliği, Tasarım Yoluyla Önleme, Betonarme Yapılar.*

## 1. Introduction

The construction industry poses a high risk of accidents within its work environments due to the nature of the sector [1-5]. In numerous countries, the construction sector ranks among the top industries in terms of fatalities, injuries, and financial losses [6-8]. Numerous studies have indicated that certain decisions made by designers during the design process can be a source of multiple risks in the construction process [9, 10]. In light of the occupational accidents that occur in the construction sector, it is possible to attribute some of the hazardous environments and risks causing accidents to specific design decisions made at the beginning of the process [11].

However, certain techniques including Prevention through Design (PtD) and Design for Safety (DfS) have contributed towards the integration of design within the field of Occupational Safety and Health (OSH) [12-18]. This has facilitated the elimination of design-based risks and hazards. Nevertheless, the association between design decisions and risk assessment should be established at the outset of the process to ensure that PtD and OSH strategies are jointly contemplated.

This study aims to correlate design decisions with construction site risks and hazards. Pilot building types examined were multi-story reinforced concrete buildings. Construction techniques in Northern Cyprus and developing nations in the Middle East were also evaluated to identify accident types. As a result of our assessment, this study has focused on accidents involving falls from heights, which have been identified as one of the most frequent types of accidents [19-24].



## **2. Materials and methods**

### ***2.1.Data Acquisition***

The literature review highlights that certain design decisions may increase the risk of occupational accidents [25]. On the other hand, other studies suggest that incorporating small-scale design changes into the design process can significantly reduce the number of such accidents [26].

With the assistance of professional designer architects and engineers, the design process has been divided into phases, taking into account these findings. An expert panel was convened, comprising 12 architects and 8 civil engineers, with the mandate to divide the design process into distinct phases. The experts participating in the study are all actively working architects and engineers with 5-30 years of experience. They also have at least one certificate related to occupational health and safety. A total of 20 studies were eventually incorporated, drawing on the combined expertise of the panel participants. For the composition of the panel, Turoff (1970) suggests a range of 10-50 participants, while Adler and Ziglio (1996) recommend a smaller number of 10-15 experts for a homogeneous group [27, 28]. It is generally acknowledged that a larger number of members enhances the reliability of a composite judgement [29]. To ensure that panelists possess the necessary level of expertise, they must exhibit high levels of objectivity and rationality, have a strong track record in their field, commit to participating for the entire program duration, and be willing to invest significant time and effort into their involvement [14]. Moreover, the panel members' level of expertise is a vital consideration. Expertise in building safety, construction, and design was deemed necessary for this study. Furthermore, all panel members were educated on health and safety practices in the construction industry and the restoration of industrial heritage. Rule-based data creation requires inputting material data and corresponding work items into the model. The variables being evaluated are the material type, which pertains to whether the factory roof requires removal or replacement and is brittle in nature; the material location that includes its position on the site and altitude; and the associated risks and work item, namely the brittle material and the hazard of falling from a height with the possibility of the roof light breaking. As a result of these efforts, the design process was successfully structured into distinct phases.

The study identified the types of accidents that occur in multi-storey reinforced concrete buildings in developing countries. A total of 793 occupational accidents in the construction sector, which occurred between 1994 and 2014 in the northern part of Cyprus, were analyzed in order to identify related accidents. The analysis followed a logical flow of information with causal links between statements and the language used was clear, objective and value neutral. Accident records were obtained from the Occupational Accident Investigation Archive of the Ministry of Labour and Social Security, which is responsible for occupational safety and health in the country. Information from the studies by Tözer [11] and Tözer et al [26] was also used.

In the final stage of the study, the design phases that emerged from the expert panel's practice were linked to accident types. The study examined the relationship between design decisions and accident types and convened a panel of 10 OSH experts to analyze the design process phases and their correlation with accident types from the outset. The study examined the relationship between design decisions and accident types and

convened a panel of 10 OSH experts to analyze the design process phases and their correlation with accident types from the outset. The study aimed to determine whether there was a causal relationship between the matched design phases and accident types.

## 2.2. Methodology

The process of dividing the design process into phases began with a review of the literature. Expert opinions were sought to ensure correct division. The expert panel was made up of 12 architects and 8 engineers. Prior to the panel, the invited experts were asked to conduct a comprehensive literature review on the design process. The authors also conducted a literature review. During the panel, each designer was asked to explain their respective design process while the other participants listened and evaluated. The results of the study are presented in the results section.

During the three-day panel session, which totaled eight hours, the designers were instructed to work collaboratively, explore implications, and precisely define each phase of the design process. Subsequently, records of occupational accidents in the building industry were scrutinized to determine design decision-related incidents. First, 793 occupational accidents at the construction site were classified according to the International Code of Disease, ICD-10 format. However, as the same classification had already been conducted for these accidents in a previous study by Tözer et al. using a similar method, we decided to utilize the findings of that study after reviewing it. The results section presents the findings of the classification process, which identified the most widespread accident types.

Within the scope of this study, 10 experts participated to an expert panel. The panel aimed to determine whether each accident type could be associated with design decisions, drawing on the OSH experts' experiences. Each accident type was examined for its associated risks and the sources of these risks. Based on this assessment, the type of accident that is associated with design decisions was identified as a source of design-related accidents. The results of this analysis are presented in the results section. The steps followed to complete the study are outlined in Figure 1.

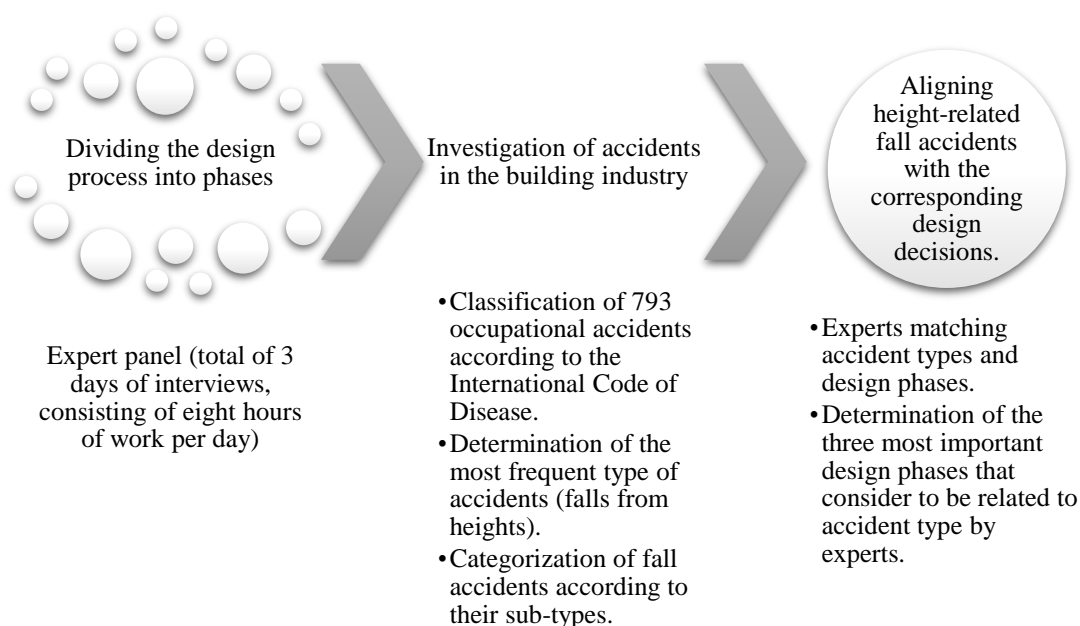


Figure 1. Flowchart of the applied methodology.

### 3. Results

Firstly, the design process is divided into phases, as shown in Table 1, resulting from the collaboration of 20 professional designers. The views of designers were gathered through a three-day series of interviews, with each day consisting of eight hours of work. Brainstorming was employed in the study. As a result, the process consists of four main components, as shown in the left-hand column of the table, which were identified by the panelists as Site Selection and Preliminary Survey, Determining Requirements, Plan and Section Settlement, and Material Selection. Names are assigned on the basis of the issue or decision that the designer is focused on making during that phase. The right-hand column of Table 1 divides the four main sections into sub-sections in a detailed and orderly manner.

Table 1. Phases of Design Process [26].

Main Sections of Design Process	Sub-Sections of Design Process
Site Selection and Preliminary Survey	1-Construction Site Selection
	2-Survey of Physical & Geographic Conditions
	3-Survey of Public Work (Zoning) Regulations
Determination of Requirements	4-Ground Floor Area and Total Area Definition
	5-Definition of Number of Stories
	6-Definition of Settlement in the Lot
Plan and Section Settlement	7-Identification of Space Requirement
	8-Identification of Facades and Openings
	9-Identification of Level Dynamism
	10-Identification of other Details
Material Selection	11-Material Selection of Structural Elements
	12-Wall Material Selection
	13-Material Selection of Mechanical Systems
	14-Material Selection of Electrical Systems
	15-Floor Covering Material Selection
	16-Material Selection for Siding
	17-Material Selection for the Roof

Initially, 793 occupational accidents were classified according to the ICD codes. Then, each code's accidents were separated into fatal and non-fatal incidents. According to occupational accident records, the most frequent type of accident resulting in death, injury, and loss of workdays was falls from heights, which occurred in both fatal and non-fatal cases (Table 2). The research conducted by Tözer et al. [26] and Tözer [11] has been utilized to determine the most frequent type of accidents, which is falls from heights. Furthermore, Tözer et al. [26] and Tözer [11] further classified these falls into sub-groups. The research conducted by Tözer et al. [26] and Tözer [11] has been utilized to determine the most frequent type of accidents, which is falls from heights.

Table 2. Type of Construction accidents with ICD-10 Codes [11,26].

Causes of Accidents	ICD-10 Codes	Fatal		Non-Fatal		Total	
		No.	%	No.	%	No.	%
Building & Construction Collapse	W20	2	4.76	4	0.5	6	0.757
Cave-in	W20	1	2.38	5	0.7	6	0.757
Contact with Chemical Substances	T52-T59	0		4	0.5	4	0.504

Contact with heat or hot substances	X10-X19	0	23	3.2	23	2.9
Crashed, Jammed in or Between Objects	W23	3	7.15	84	11	87
Explosives	W36-W40	0	6	0.9	6	0.757
Exposure to Electric	W85, W86	10	23.8	9	1.3	19
Fall on Same Level	W1, W3, W10	0	62	8.3	62	7.818
Falling Objects	W20	2	4.76	57	7.7	59
Falls	<b>W12, W13</b>	<b>21</b>	<b>50</b>	<b>278</b>	<b>37</b>	<b>299</b>
Sharp Object Injury	W25-W29	0	63	8.5	63	7.945
Striking against or struck by objects	W22	0	8	1.1	8	1.009
Struck by thrown, projected object	W20	0	86	11	86	10.84
Traffic Accident	V00-V60	3	7.15	54	7.2	57
Unknown		0	8	1.1	8	1.009
<b>Total</b>		<b>42</b>	<b>100</b>	<b>751</b>	<b>100</b>	<b>793</b>

While Tözer and colleagues [26] and Tözer [11] have categorized fall accidents according to their sub-types, Table 3 illustrates their classification into three main categories: fall from Scaffold, fall from Structural Elements, and Other Type of Falls, based on their respective workplace environments. Each sub-group is then internally detailed. The respective types of falls are analyzed from the perspective of their fatal and non-fatal outcomes.

Table 3. Detailed analysis of falls [11,26].

Type of Falls (W12, W13)	Fatal	Non-Fatal	Total
Falls from scaffolds			
1- Scaffold giving in-breaking-falling	3	24	27
2- On the scaffold (stepping on air)	1	9	10
3- On the scaffold (while going up-down)	0	7	7
4- On the scaffold (setting up-dismantling)	0	5	5
5- On the scaffold (slipping, loss of balance etc.)	1	36	37
Sub. Total	5	81	86
Falls from structural elements			
6- Falls from structural element (from threshold)	3	28	31
7- Falls from structural element (from the roof)	0	10	10
8- Falls from structural element (flight of stairs)	1	6	7
9- Falling through opening on the floor	2	7	9
10- Falls from structural element giving in	1	1	2
Sub. Total	7	52	59
Other type of falls			
11- From the moulding system	2	18	20
12- Moving ladder	4	54	58
13- Into a canal, hole etc.	0	13	13
14- From a vehicle, machine	2	35	37
15- Going up on unsuitable object	1	14	15
Other	0	11	11
Sub. Total	9	145	154
<b>Total</b>	<b>21</b>	<b>278</b>	<b>299</b>

The objective of this study's final segment was to align height-related fall accidents with the corresponding design decisions listed at each phase. Amongst the 15 identified types

of fall accidents, 12 were linked to specific design choices based on the expertise of OSH professionals, while for 3 accident types, no design phase association was found (Table 4. The outcomes obtained from the association activities, specifically the link between design phases (and consequently, the design choices made in these phases) and different types of accidents, are extensively presented in detail in Table 4 and Figure 2. Table 4 and Figure 1 present the stages of the design process and fall type accidents paired by the experts. Table 4 shows how the experts associate design phases with types of accidents, without frequency information. In Figure 2, the three most important design phases that experts consider to be related to accident type are presented diagrammatically.

Table 4. Association of design phases (and hence the design decisions in the phases) with the types of accidents.

Type of Accident (type of Fall)	Design Stages (Related with Design Decisions) *
Scaffold giving in – breaking - falling	5, 8, 11,12, 16, 17
Stepping on air (on scaffold)	5, 8, 11,12, 16, 17
Going up – down (on scaffold)	5, 12, 16, 17
Setting up – dismantling (Scaffold)	5, 8, 11, 12, 16, 17
Slipping – loss of balance etc. (on scaffold)	5, 8, 11, 12, 16, 17
Fall from threshold	5, 8, 9, 11, 12, 17
Fall from the roof	10, 11, 17
Fall from the flight of stairs	10,
Fall through the opening on floor	10
Fall from the structural element (Giving-in)	11
Fall from the moulding system	11
Fall from moving ladder	13, 14, 16, 17
Into a canal, hole etc.	-
From a vehicle, machine	-
Going up on unsuitable object	-

\* Number explanations are presented in table 1.

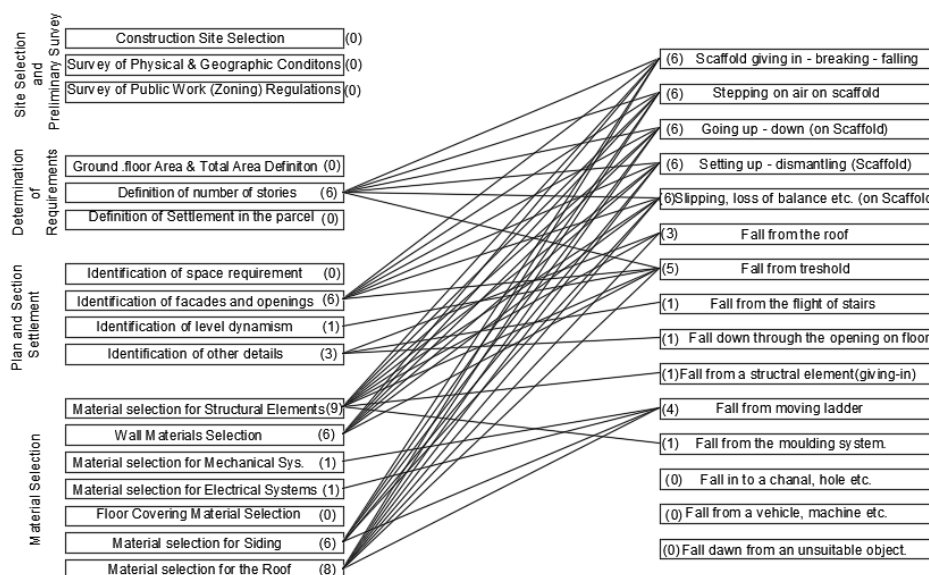


Figure 2. Diagram showing the association of design phases (and hence the design decisions in these phases) with the types of accidents.

When experts were asked to match 15 accident types with the design criteria, they were requested to select the top 5 choices. The choices were numbered 1 through 5 respectively, and the experts wrote down the ones they deemed most crucial as number 1. Therefore, opinions were gathered from specialists, with a few preferring to associate four design criteria. Through analyzing Table 5, it has been predicted which design decisions concerning falls from height are of greater or lesser importance. It has been observed that design criteria numbered 5 (Definition of Number of Stories) and 8 (Identification of Facades and Openings) are prominent, while design criteria numbered 11 (Material Selection of Structural Elements) and 17 (Material Selection for the Roof) are frequently influential. The distribution of other design criteria in order of importance is presented in Table 6.

Table 5. Association of matrix of accident type and design criteria according to expert opinions

Type of Fall*	E1*	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
1	5 (1)	8 (2)		12 (5)	16 (4)	17 (2)			11 (2)	
2	11 (3)	5 (1)	17 (2)	16 (4)			8 (1)	12 (4)		
3			5 (1)		12 (3)				16 (3)	17 (2)
4				5 (1)	8 (1)	11 (4)	12 (5)	16 (3)	17 (1)	
5	8 (2)	11 (3)	12 (3)				16 (4)	17 (2)		5 (1)
6	9 (5)			11 (2)	5 (2)	8 (1)	17 (3)		12 (4)	
7	17 (4)						11 (2)			10 (4)
8		10 (5)								
9			10 (4)							
10					11 (3)					
11								11(1)		
12		13 (4)		17 (3)		16 (3)				14 (3)
13										
14										
15										

\*The type of accident to which the numbering corresponds is available in table 3.

\*\*E (Expert).

Table 6. Distribution of design criteria in order of importance (1 to 5)

Sub-Sections of Design Process	1	2	3	4	5
5-Definition of Number of Stories	xxxxx	x			
8-Identification of Facades and Openings	xxx	xx			
9-Identification of Level Dynamism					x
10-Identification of other Details				xx	x
11-Material Selection of Structural Elements	x	xxx	xxx	x	
12-Wall Material Selection			xx	xx	xx
13-Material Selection of Mechanical Systems				x	
14-Material Selection of Electrical Systems			x		
16-Material Selection for Siding			xxx	xxx	
17-Material Selection for the Roof	x	xxxx	xx	x	

#### **4. Discussion**

The following information was presented in the results section. When examining the types of falls classified under the category 'Type of fall', six different design decisions were associated with falls on scaffolding. These types of falls included 'Scaffolding giving way - breaking - falling', 'Stepping on air (on scaffolding)', 'Going up - going down (on scaffolding)', 'Setting up - dismantling (scaffolding)', 'Slipping - loss of balance etc. (on scaffolding)'. Abbreviations of technical terms are explained the first time they are used. The accident type 'Fall from height', in particular the subtype 'Fall from sill', was found to be associated with five different design decisions. On the other hand, the accident type "fall from a moving ladder" was associated with three different design decisions, and "fall from a staircase", "fall through an opening in the floor", "fall from a structural element" and "fall from a moulding" were each associated with one design decision. Finally, accidents such as 'falling into channels, holes, etc.', 'falling from a vehicle' and 'falling from an unsuitable object' were not associated with any design decision.

However, accidents involving falls from heights were associated with the design phases listed. Out of fifteen different types of falls, twelve (80%) were associated with at least one design decision, while the other three (20%) had no connection to any design decisions.

Analysis of the findings shows that the decisions made during the "Material selection for structural elements" phase of the design process were linked to nine different types of accidents. Additionally, the decisions made during the "Material selection for the roof" phase of the design process were linked to eight different types of accidents. In contrast, the decisions made during the "Definition of number of storeys", "Identification of facades and openings", "Wall material selection", and "Material selection for siding" design phases were linked to 6 distinct types of accidents. This is opposed to the decisions made during the "Identification of other details" phase, which were associated with only 3 accident types. The decisions made during the 'Identification of floor level dynamism', 'Material Selection for mechanical systems' and 'Material Selection for electrical systems' stages of the design process were exclusively linked to a single type of accident. Where the decisions made during the phases of "Construction Site Selection," "Survey of Physical & Geographic Conditions," "Survey of Public Work (Zoning) Regulations," "Ground Floor Area and Total Area Definition," "Definition of Settlement in the Lot," "Identification of Space Requirement," and "Floor Covering Material Selection" did not result in any accidents.

Therefore, when the design process is divided into 17 phases, out of the total of 17 design phases (referring to design decisions made in these phases), 10 (58.82%) were linked to at least one type of accident, while 7 (41.18%) were not associated with any design decisions (thus with any design decision). After evaluating the relative significance of the different design criteria, it is clear that the two most important design criteria are number 8 (identification of facades and openings) and number 5 (definition of number of storeys). Furthermore, design criteria number 11 (choosing the materials for structural elements) and number 17 (choosing the materials for the roof) are often important.

## 5. Conclusions

Due to the high rate of injuries and fatalities in the construction industry, it is imperative that all stakeholders, including owners, designers, contractors, subcontractors and suppliers, work together to reduce these figures. It is also important to recognize that preventive measures aimed at reducing injuries have an impact not only on workers but also on other stakeholders. The list of basic objectives for a construction project, which currently includes low cost, high quality and fast delivery, should be extended to include a reduced accident rate. Without exception, designers recognize that their decisions have an impact on the cost, quality and schedule of the project.

This article poses an elementary question to designers: shouldn't they also acknowledge that their design choices have an impact on the intrinsic hazard to the workers undertaking the project? A sustainable building project must not harm the environment during its construction and must be socially acceptable to avoid harm or injustice to any group. General contractors and subcontractors carrying out their work have practical reasons as well as moral obligations to support DfS. Reducing the possibility of construction accidents, which can cause delays in project completion, is beneficial to all owners. In particular, members of design-build teams should benefit financially from reduced construction accidents. In addition, lower workers' compensation insurance rates and increased project productivity are results of such measures. The aim of this study is to improve cooperation between structural engineers, site engineers and architects in order to minimize the impact of construction accidents.

In future studies, it is aimed to determine the importance levels of the decisions made using design decisions and the relationship levels of the design stages matched with fall from height accidents.

## References

- [1] Akboğa, Ö., Baradan, S., Investigating the Characteristics of Fatal Construction Injuries in İzmir, Turkey using Descriptive Statistics. **Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology**. 2(9), 2475-2483, (2015).
- [2] Akboğa Kale, Ö., Characteristic analysis and prevention strategy of trench collapse accidents in the U.S., 1995-2020. **Revista de la Construcción**. Journal of Construction, 20(3), 617-628, (2021).
- [3] Yılmaz G. K., Başağa H. B., Assessment of occupational accidents in construction sector: A case study in Turkey, **Journal of Construction Engineering, Management & Innovation**. 1(2), 95-107, (2018).
- [4] Akboğa Kale, Ö., Eskişar, T., Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology. **Industrial Health**. 54, 394-406, (2018).
- [5] Tözer K. D., Güranlı, G. E., and Yarkiner Z., Analysis of workday losses due to falls from scaffolding in the construction industry, **Journal of Construction Engineering, Management & Innovation**. 5(1):15-27., (2022)
- [6] Zeng, S.X., Vivian, W.Y., Tam, C.M., Towards occupational health and safety systems in the construction industry of China. **Safety Science**, 46, 1155-1168, (2008).



- [7] Fass, S., Yousef, R., Liginlal, D., Vyas, P., Understanding causes of fall and struck-by incidents: What differentiates construction safety in the Arabian Gulf region?, **Applied Ergonomics**, 58, 515-526., (2017).
- [8] Spangenberg, S., Baarts, C., Dyreborg, J., Jensen, L., Kines, P., Mikkelsen, K.L. Factors contributing to the differences in work related injury rates between Danish and Swedish construction workers. **Safety Science** 41, 517-530., (2003).
- [9] Gambatese, J. A., Research Issues in Prevention through Design. **Journal of Safety Research**, Special Issue on Prevention through Design. Elsevier and the National Safety Council, 39(2), 153-156, (2008).
- [10] Gambatese, J. A., Hinze, J. & Haas, C., Tool to design for construction worker safety. **Journal of Architectural Engineering**. 3(1), 32-41, (1997).
- [11] Tözer K. D., Using B.I.M. in Design Stage of Construction Projects to Minimise Health and Safety Risks: Proposing a Model for Application of B.I.M. in P.t.D. (**PhD. Thesis**). Department of Civil Engineering. Eastern Mediterranean University.(2018).
- [12] Gambatese, J. A., Liability in designing for construction worker safety. **J. of Arch. Eng. ASCE**. 4 (3), 107-112, (1998).
- [13] Gambatese, J. A., An Overview of Design-for-Safety Tools and Technologies. **Proceedings of the Designing for Safety and Health in Construction Research and Practice Symposium**. Eugene, OR: University of Oregon Press, 109 – 117 , (2004).
- [14] Gambatese, J. A. Behm, M. & Rajendran, S., Design's role in construction accident causality and prevention: Perspectives from an expert panel. **Safety Science**. 46 (4), 675-691, (2008).
- [15] Gambatese, J. A., Behm, M. & Hinze, J., Engineering Mandates Stipulated in OSHA Regulations. **Proceedings of the 2003 Construction Research Congress, sponsored by ASCE, Honolulu, HI**. (2003).
- [16] Gambatese, J. A., Hinze, J. & Behm, M., Viability of designing for construction worker safety. **Journal of Construction Engineering and Management**, ASCE. 131 (9), 1029- 1036, (2005).
- [17] Goldswain G, Smallwood J., Mitigating construction health, safety, and ergonomic risks: perceptions of architectural design professionals. **TG59 People in Construction Conference Proceedings**, 12-14 July 2009, Port Elizabeth, South Africa., (2009).
- [18] Mhando Y. B., Factors of inefficient use of personal protective equipment: A survey of construction workers at Arusha urban in Tanzania. **Journal of Construction Engineering, Management & Innovation**. 4(1), 001-011, (2021)
- [19] Chi, C.F., Chang, T.C., Ting, H.I. Accident patterns and prevention measures for fatal occupational falls in the construction industry. **Applied Ergonomics**, 36 (4); 391-400, (2005).
- [20] Kemmlert, K., Lundholm, L. Slips, trips and falls in different work groups—with reference to age and from a preventive perspective. **Applied Ergonomics**, 32(2), 149- 153, (2001).
- [21] Ore, T., Stout, N. Traumatic occupational fatalities in the US and Australian construction industries. **Am J Ind Med** 30, 202–206, (1996).
- [22] Hinze, J., Pedersen, C., Fredley, J. Identifying root causes of construction injuries. **Journal of Construction Engineering and Management**, 124(1), 67-71, (1998).
- [23] Jackson, S.A., Loomis, D. Fatal Occupational Injuries in the North Carolina Construction Industry, 1978–1994. **Applied Occup Environ Hyg** 17, 27–33, (2002).

- [24] Fabrega, V., Stakey, S. Fatal Occupational Injuries among Hispanic Construction Workers of Texas, 1997 to 1999. **Human and Ecological Risk Assessment**, 7, 1869– 1883, (2001).
- [25] Gambatese, J. A. & Rajendran, S., Sustainable Construction Safety and Health Rating System - A Feasibility Study. **Proceedings of the 2007 ASCE Construction Research Congress, ASCE**. Grand Bahama Island, Bahamas, (2007).
- [26] Tözer K. D., Çelik, T. and Gurcanlı G. E., Classification of Construction Accidents in Northern Cyprus, **Teknik Dergi**, 2018 8295-8316, Paper 500. (2018).
- [27] Turoff, M., The design of a policy Delphi. **Technological forecasting and social change**, 2(2), 149-171, (1970).
- [28] Adler, M., & Ziglio, E., Gazing into the oracle: The Delphi method and its application to social policy and public health. **Jessica Kingsley Publishers**. (1996).
- [29] Murphy, M. K., Black, N. A., Lamping, D. L., McKee, C. M., Sanderson, C. F., Askham, J., & Marteau, T., Consensus development methods, and their use in clinical guideline development. **Health Technology Assessment (Winchester, England)**, 2(3), i-88. (1998).

# Bases of fixed point subalgebras on nilpotent Leibniz algebras

Zeynep ÖZKURT\*,\*

Cukurova University, Arts and Science Faculty, Department of Mathematics, Adana, Turkey

Geliş Tarihi (Received Date): 25.07.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 31.12.2023

## Abstract

Let  $K$  be a field of characteristic zero,  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  and  $R_m = \{r_1, \dots, r_m\}$  be two sets of variables,  $F$  be the free left nilpotent Leibniz algebra generated by  $X$ , and  $K[R_m]$  be the commutative polynomial algebra generated by  $R_m$  over the base field  $K$ . The fixed point subalgebra of an automorphism  $\varphi$  is the subalgebra of  $F$  consisting of elements that are invariant under the automorphism. In this work, we consider specific automorphisms of  $F$  and determine the fixed point subalgebras of these automorphisms. Then, we find bases of these fixed point subalgebras. In addition, we get generators of these subalgebras as a free  $K[R_m]$ -module.

**Keywords:** Nilpotent Leibniz algebras, fixed point, automorphism.

## Nilpotent Leibniz cebirlerinde sabit nokta altcebirlerinin bazları

### Öz

$K$  karakteristiği 0 olan bir cisim,  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  ve  $R_m = \{r_1, \dots, r_m\}$  iki değişkenler kümesi,  $F$ ,  $K$  cismi üzerinde  $X$  tarafından üretilen bir serbest sol nilpotent Leibniz cebiri ve  $K[R_m]$ ,  $K$  cismi üzerinde  $R_m$  tarafından üretilen komutatif polinomlar cebiri olsunlar.  $F$  nin bir  $\varphi$  otomorfizminin sabit nokta altceberi,  $F$  nin bu otomorfizm altında invariant kalan elemanlarını içeren altcebidir. Bu çalışmada  $F$  nin bazı özel otomorfizmleri ele alınarak bu otomorfizmlerin sabit nokta altcebirleri belirlenmiştir. Sonra, bu sabit nokta altcebirlerinin baz kümeleri elde edilmiştir. Daha sonra bu altcebirlerin serbest  $K[R_m]$ -modülü olarak üreteçleri verilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Nilpotent Leibniz cebirleri, sabit nokta, otomorfizm

\* Zeynep ÖZKURT, [zyapti@cu.edu.tr](mailto:zyapti@cu.edu.tr), <https://orcid.org/0000-0001-9703-3463>

## 1. Introduction

The problem of determining the fixed points of endomorphisms on free Leibniz algebras is a significant topic in the theory of Leibniz algebras. Leibniz algebras were first introduced by Bloh [1], in 1965, and later rediscovered by Loday and Pirashvili in 1993 [2, 3]. These algebras provide a non-antisymmetric generalization of Lie algebras, and their applications are given in various papers. Mikhalev and Umirbaev worked on subalgebras of free Leibniz algebras [4]. Drensky and Cattaneo in their work from 1993, described the free nilpotent Leibniz algebras of class 2 [5]. Additionally, Abanina and Mishchenko investigated the variety of left nilpotent Leibniz algebras of class 3 defined by the polynomial identity  $[x_1, [x_2, [x_3, x_4]]] = 0$  [6]. On the relatively free Leibniz algebras, for more details see the works [7-11]. In [12], Drensky and Papistas obtained a generating set of the automorphism group of free nilpotent Leibniz algebras and they show that the fixed points subalgebra is not finitely generated. The earlier work on fixed points in free algebras has been obtained by Formanek [13]. Bryant and Drensky have made notable contributions to understanding the fixed point subalgebras of finite groups acting on free Lie algebras in [14, 15], respectively. They established that under certain assumptions, the fixed point subalgebra of a free Lie algebra of finite rank  $n$  (with  $n \geq 2$ ) is not finitely generated. In [16], Bryant and Papistas extended these results, expanding our understanding of fixed points in free Lie algebras. In [17], Ekici and Parlak Sönmez applied the problem to fixed points subalgebras for a single endomorphism of free metabelian Lie algebras. The fixed point subalgebra of a single endomorphism  $\varphi$  consists of elements that remain unchanged under  $\varphi$ , i.e.,  $\varphi(x) = x$  for all  $x$  in the subalgebra.

Let  $F$  be a free left nilpotent Leibniz algebra generated by a finite set  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  and  $K[R_m]$ , be the polynomial algebra generated by a set  $R_m = \{r_1, \dots, r_m\}$  over the field  $K$  of characteristic zero. In this work, we focus on fixed point subalgebras of a single automorphism of the free left nilpotent Leibniz algebra  $F$ . First, we determine the fixed point subalgebras under certain automorphisms of  $F$ . Then, we find the bases of these fixed point subalgebras. At the end, we give the free generating sets of these subalgebras as a  $K[R_m]$ -module.

## 2. Preliminaries

A Leibniz algebra  $L$  over a field  $K$  is a non-associative algebra equipped with a bracket operation  $[\cdot, \cdot]: L \times L \rightarrow L$  that satisfies the Leibniz identity

$$[x, [y, z]] = [[x, y], z] - [[x, z], y]$$

for all elements  $x, y, z$  in  $L$ . If we further impose the condition  $[x, x] = 0$  for all  $x \in L$  the Leibniz identity becomes equivalent to the Jacobi identity, which is a fundamental property of Lie algebras  $\gamma_1(L) = [L, L]$  is the derived subalgebra of  $L$ . Denote by  $Ann(L)$  the ideal of  $L$  generated by elements  $\{[a, a]: a \in L\}$ . The factor algebra  $L_{Lie} = L/Ann(L)$  then becomes a Lie algebra. In particular, it is known that  $r_a = 0$  if and only if  $a$  belongs to  $Ann(L)$  (see [3]). The Leibniz identity enables us to express any commutator as a linear combination of left-normed commutators. We introduce the notation

$$[x_1, x_2] = x_1 r_2$$

$$[[x_1, \dots, x_{n-1}], x_n] = [x_1, \dots, x_{n-1}, x_n] = [x_1, x_2]r_3r_4 \dots r_n$$

where  $r_i$  represents the adjoint operator  $adx_i$  acting from the right by commutator multiplication. By utilizing these notations, we can simplify the representation of commutators and express them in terms of left-normed commutators. This reduction allows us to study the properties and relationships within the Leibniz algebra more effectively.

Let  $F_m$  be the free Leibniz algebra of rank  $m$  over a field  $K$  of characteristic 0 freely generated by the set  $\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ , where  $m \geq 2$ . Loday and Pirashvili described the structure and properties of free Leibniz algebras in 1993 [3]. Let  $N$  be a variety of Leibniz algebras defined by the identity of left nilpotency  $[x, [y, z]] = 0$ . The left nilpotency polynomial identity is equivalent to  $[x, y, z] = [x, z, y]$ . We consider the relatively free Leibniz algebra in the variety  $N$ , denoting this algebra as  $F_m(N)$ .  $F_m(N)$  is a free left nilpotent Leibniz algebra of class two with finite rank  $m$ . Clearly  $F_m(N) = \frac{F_m}{\gamma_2(F_m)}$ , where  $\gamma_2(F_m) = [F_m, [F_m, F_m]]$ . The elements of the free Leibniz algebra  $F_m$  and their corresponding images in  $F_m(N)$  are represented using the same letters. The Leibniz identity together with the left nilpotent identity implies that

$$[x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_k}] = [x_{i_1}, x_{i_{\sigma(2)}}, \dots, x_{i_{\sigma(k)}}]$$

where  $\sigma$  is a permutation of  $2, \dots, k$ . Hence the commutative polynomial algebra  $K[R_m] = K[r_1, \dots, r_m]$  acts on  $F_m(N)$  as a right module by the rule

$$ax_i = [a, x_i],$$

where  $a \in F_m(N)$ . Denote by  $\Omega_m$ , the augmentation ideal of  $K[R_m]$  that consists of all polynomials without constant term. In [5], Drensky and Piacentini Cattaneo described the structure of  $F_m(N)$  and they give a basis of  $F_m(N)$ ,

$$\{x_{i_1}, [x_{i_1}, \dots, x_{i_k}]: 1 \leq i_1 \leq m, 1 \leq i_2 \leq \dots \leq i_k \leq m, k = 2, 3, \dots\}.$$

In [12], Drensky and Papistas obtained a generating set of the automorphism group of  $F_m(N)$ . Then, they showed that the fixed points subalgebra

$$F_m(N)^S = \{v \in F_m(N): g(v) = v \text{ for all } g \in S\}$$

is not finitely generated, where  $S$  is an arbitrary nontrivial finite subgroup of the automorphism group of  $F_m(N)$ . Certain findings concerning fixed points of a finite group of automorphisms can be applied to the context of fixed points for individual endomorphisms. The fixed point subalgebra of an endomorphism  $\varphi$  as the set of elements in  $F_m(N)$  that remain unchanged under the action of  $\varphi$  which is defined by

$$Fix\varphi = \{v \in F_m(N): \varphi(v) = v\}$$

An element  $v$  of  $F_m(N)$  is called a fixed point of  $\varphi$  if  $\varphi(v) = v$ . The trivial fixed point is always present, represented by the element 0 in  $F_m(N)$ . This is because for any endomorphism  $\varphi$ , we have  $\varphi(0) = 0$ . In the present article, we obtain the basis of non-trivial fixed point subalgebras of some automorphisms of  $F_m(N)$  for finite rank.

### 3. Results and discussion

In this section, we determine the basis of the fixed point subalgebras for specific endomorphisms of  $F_m(N)$ . We apply the condition  $\varphi(v) = v$  to each element  $v$  of  $F_m(N)$  and get some equations. By solving these equations, we determine the coefficients or representations of the basis elements that remain fixed under the endomorphisms.

**Theorem 3.1.** Let  $\varphi$  be an endomorphism of  $F_m(N)$  defined by

$$\varphi : \begin{cases} x_1 \rightarrow x_1 + u \\ x_i \rightarrow x_i, i \neq 1 \end{cases}$$

where  $0 \neq u \in \gamma_1(F_m(N))$ . Then, the subalgebra  $Fix\varphi$  has a basis

$$\{x_{i_1}, [x_{i_1}, \dots, x_{i_k}] : 2 \leq i_1 \leq m, 1 \leq i_2 \leq \dots \leq i_k \leq m, k = 2, 3, \dots\}$$

as a  $K$ -space.

**Proof.** Let  $v \in Fix\varphi$ . Then

$$v = \sum_{i=1}^m \alpha_i x_i + \sum_{i=1}^m x_i w_i(R_m),$$

where  $\alpha_i \in K$  and  $w_i(R_m)$  belongs to the augmentation ideal  $\Omega_m$  of  $K[R_m]$ ,  $i = 1, \dots, m$ . Then

$$\begin{aligned} \varphi(v) &= \sum_{i=1}^m \alpha_i x_i + \alpha_1 u + \sum_{i=1}^m x_i w_i(R_m) + u w_1(R_m) \\ &= v + u(\alpha_1 + w_1(R_m)) \end{aligned}$$

Hence  $\alpha_1 = w_1(R_m) = 0$ , which completes the proof.

**Corollary 3.2.** The subalgebra  $Fix\varphi$  is the free right  $K[R_m]$ -module of rank  $m - 1$  with the generators  $x_2, \dots, x_m$ .

**Proof.** By Theorem 3.1, the subalgebra  $Fix\varphi$  has a basis

$$\{x_{i_1}, x_{i_1} r_{i_2} \dots r_{i_k} : 2 \leq i_1 \leq m, 1 \leq i_2 \leq \dots \leq i_k \leq m, k = 2, 3, \dots\}$$

Hence,  $Fix\varphi$  is generated by  $\{x_{i_1} : 2 \leq i_1 \leq m\}$  as a free right  $K[R_m]$ -module.

In the following corollary, we give fixed point subalgebra of a non-tame automorphism as an application of Theorem 3.1 for rank two. This automorphism is an element of free generating set of automorphism group of  $F_2(N)$  that was defined by Drensky and Papistas [12].

**Corollary 3.3.** Let  $\varphi$  be an automorphism of  $F_2(N)$  defined by

$$\varphi : \begin{matrix} x_1 \rightarrow x_1 + [x_1, x_2] \\ x_2 \rightarrow x_2 \end{matrix},$$

Then, the subalgebra  $Fix\varphi$  has a basis

$$\{x_2, [x_2, x_{i_1} \dots, x_{i_k}] : 1 \leq i_1 \leq \dots \leq i_k \leq 2\}$$

as a  $K$ -space.

**Theorem 3.4.** Let  $\tau$  be an inner automorphism of  $F_m(N)$  defined by

$$\tau: x_i \rightarrow x_i + [u, x_i], i = 1, \dots, m$$

where  $0 \neq u \in \gamma_1(F_m(N))$ . Then the subalgebra  $Fix\tau$  has a basis

$$\{[x_i, x_j] - [x_j, x_i] : 1 \leq i < j \leq m, 1 \leq i_1 \leq \dots \leq i_k \leq m\}$$

**Proof.** Let  $v \in Fix\tau$ . Then

$$v = \sum_{i=1}^m \alpha_i x_i + \sum_{i=1}^m x_i w_i(R_m)$$

where  $\alpha_i \in K$  and  $w_i(R_m)$  belongs to the augmentation ideal  $\Omega_m$  of  $K[R_m]$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ . Then

$$\tau(v) = v + u \sum_{i=1}^m r_i (\alpha_i + w_i(R_m)).$$

Hence  $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_m = 0$  and  $\sum_{i=1}^m r_i w_i(R_m) = 0$ . The polynomial  $w_i(R_m)$  cannot depend on  $r_i$  only. Hence every monomial in  $\sum_{i=1}^m r_i w_i(R_m)$  depends on at least two variables. The vector space of  $m$ -tuples  $(r_1 w_1(R_m), \dots, r_m w_m(R_m))$  such that  $\sum_{i=1}^m r_i w_i(R_m) = 0$  is spanned by  $m$ -tuples of monomials  $(\beta_1 v(R_m), \dots, \beta_m v(R_m))$  where  $\sum_{i=1}^m \beta_i = 0$  and  $\beta_i = 0$  if  $r_i$  does not participate in  $v(R_m)$ . Such  $m$ -tuples are linear combinations of

$$(0, \dots, 0, r_i r_j w(R_m), 0, \dots, 0, -r_j r_i w(R_m), 0, \dots, 0)$$

when  $v(R_m) = r_i r_j w(R_m)$  for some monomial  $w(R_m)$ . Every such  $m$ -tuple corresponds to the element of the derived subalgebra  $\gamma_1(F_m(N))$  is

$$([x_i, x_j] - [x_j, x_i])w(R_m).$$

Then, these elements span  $Fix\tau$ . For  $i \leq j \leq k$ , we obtain

$$([x_j, x_k] - [x_k, x_j])r_i = ([x_i, x_k] - [x_k, x_i])r_j - ([x_i, x_j] - [x_j, x_i])r_k.$$

Therefore, we omit the generators

$$([x_j, x_k] - [x_k, x_j])w(R_m),$$

where  $w(R_m)$  consists of the elements  $r_i$  for  $i < j < k$ . Hence the basis of  $Fix\tau$  is

$$\{[x_i, x_j] - [x_j, x_i]: 1 \leq i < j \leq m, 1 \leq i_1 \leq \dots \leq i_k \leq m\}.$$

**Corollary 3.5.** The subalgebra  $Fix\tau$  is the free right  $K[R_m]$ -module with the generators

$$\{[x_i, x_j] - [x_j, x_i]: 1 \leq i < j \leq m\},$$

**Proof.** By Theorem 3.4, the subalgebra  $Fix\tau$  has a basis

$$\{([x_i, x_j] - [x_j, x_i])r_{i_1} \dots r_{i_k}: 1 \leq i < j \leq m, 1 \leq i_1 \leq \dots \leq i_k \leq m\}.$$

Hence,  $Fix\tau$  is generated by  $\{[x_i, x_j] - [x_j, x_i]: 1 \leq i < j \leq m\}$  as a free right  $K[R_m]$ -module.

## References

- [1] Bloh, A., On a generalization of Lie algebra notion, **Mathematical in USSR Doklady**, 165 (3), 471-473, (1965).
- [2] Loday, J. L., Une version noncommutative des algèbres de Lie: les algèbres de Leibniz, **Enseignement Mathématique** 39, 269-293, (1993).
- [3] Loday, J. L., Pirashvili, T., Universal enveloping algebras of Leibniz algebra and (co)Homology, **Mathematical Annalen** 296, 139-158, (1993).
- [4] Mikhalev, A. A., Umirbaev, U. U., Subalgebras of free Leibniz algebras, **Communications in Algebra**, 26, 435-446, (1998).
- [5] Drensky, V., Piacentini Cattaneo G. M., Varieties of metabelian Leibniz algebras, **Journal of Algebra and its Applications** 1, 31-50, (2002).
- [6] Abanina, L. E., Mishchenko, S. P., The variety of Leibniz algebras defined by the identity  $[x_1, [x_2, [x_3, x_4]]] = 0$ , **Serdica Mathematical Journal** 29, 291-300, (2003).
- [7] Agore, A. L., Militaru, G., Itô's theorem and metabelian Leibniz algebras, **Linear Multilinear Algebra** 63(11), 2187-2199, (2005).
- [8] Özkurt, Z., Orbits and test elements in free Leibniz algebras of rank two, **Communications in Algebra** 43 (8), 3534-3544, (2015).
- [9] Taş Adıyaman, T., Özkurt, Z., Automorphisms of free metabelian Leibniz algebras of rank three, **Turkish Journal of Mathematics** 43 (5), 2262-2274, (2019).
- [10] Taş Adıyaman, T., Özkurt, Z., Automorphisms of free metabelian Leibniz algebras, **Communications in Algebra** 49 (10), 4348-4359, (2021).
- [11] Findik, Ş., Özkurt, Z., Symmetric polynomials in Leibniz algebras and their inner automorphisms, **Turkish Journal of Mathematics** 44 (6), 2306-2311, (2020).
- [12] Drensky, V., Papistas, A. I., Automorphisms of free left nilpotent Leibniz algebras", **Communications in Algebra**, 33, 2957-2975, (2005).



- [13] Formanek, E., Noncommutative invariant theory, in group actions on rings, **Contemporary Mathematics** 43, 87–119, (1985).
- [14] Bryant, R. M., On the fixed points of a finite group acting on a free Lie algebra, **Journal of London Mathematical Society** 43(2), 215–224, (1991)
- [15] Drensky, V., Fixed algebras of residually nilpotent Lie algebras, **Proceedings of American Mathematical Society** 120, 1021–1028, (1994).
- [16] Bryant, R. M., Papistas, A.I., On the fixed points of a finite group acting on a relatively free Lie algebra, **Glasgow Mathematical Journal** 42, 167–181, (2000)
- [17] Ekici, N., Parlak Sönmez D., Fixed points of IA-endomorphisms of a free metabelian Lie Algebra, **Proceedings Indian Academy of Science** 121(4), 405–416, (2011).

# Optimization of ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from *Ziziphus jujube* Mill. leaves using response surface methodology

Elif SAVAŞ\*

Balikesir University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, 10145, Balikesir, Turkey,

Geliş Tarihi (Received Date): 21.07.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 27.10.2023

## Abstract:

The phenolic compounds in jujube (*Ziziphus jujuba* Mill) leaf were extracted using ultrasound assisted extraction (UAE) for potential of antioxidant food additive in this study. The extraction factors such as methanol concentration, temperature and time were optimized using response surface methodology (RSM) to maximize of the total phenolic content (TPC), 2,2 -diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) scavenging activity and phenolic profile in jujube leaf extracts (JE). The best possible range for methanol concentration (25-50%), duration of ultrasound (20-40 min), ultrasonic temperature (40–60 °C) were obtained using the Box-Behnken design (BBD). The optimum extraction parameters were obtained with 25% methanol concentration, 20 min duration of ultrasound and 49.89 °C ultrasonic temperature. Ellagic, caffeic, rosmarinic acid, and rutin were determined as major phenolics in JE under optimal extraction parameters. The results revealed that UAE is an effective pretreatment for extracting bioactive ingredients from JE as potential functional food additive. Furthermore, RSM is an effective method for optimizing the UAE factors.

**Keywords:** Ultrasound assisted extraction, response surface methodology, zizyphus zizyphus, antioxidant capacity, phenolic compounds.

\* Elif SAVAŞ, e-savas@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-4878-0013>

## Yanıt yüzey yöntemi kullanılarak *Ziziphus jujube* Mill yapraklarından fenolik bileşenlerin ultrason destekli ekstraksiyonunun optimizasyonu

### Özet

Bu çalışmada potansiyel gıda katkısı olabilecek hünnap (*Ziziphus jujuba* Mill) yaprağı fenolik bileşenleri ultrason destekli olarak ekstrakte edilmiştir. Hünnap yaprağı ekstraktlarında (JE) toplam fenolik madde miktarı (TPC), 2,2 -diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) giderme aktivitesi ve fenolik profil maksimize edilmek üzere, yanıt yüzey yöntemi (YYY) kullanılarak metanol konsantrasyonu, sıcaklık ve süre gibi ekstraksiyon faktörleri optimize edilmiştir. Metanol konsantrasyonu (% 25-50), ultrason süresi (20-40 dakika) ve sıcaklık (40–60 °C) için muhtemel en iyi aralık Box-Behnken deneme deseni (BBD) kullanılarak saptanmıştır. Optimum ekstraksiyon parametreleri %25 metanol, 20 dakika ve 49.89 °C olarak belirlenmiştir. Optimum ekstraksiyon parametreleri ile elde edilen hünnap yaprağı ekstraktında ellajik, kafeik, rosmarinik asitler ve rutin ana fenolik bileşikler olarak belirlenmiştir. Bulgular, potansiyel gıda katkısı olarak hünnap yapraklarına ait bioaktif bileşenlerin ekstraksiyonunda ultrason destekli ekstraksiyonun etkili bir yöntem olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte yanıt yüzey yöntemi ultrason destekli ekstraksiyon faktörlerinin optimizasyonu için etkili bir yöntem olarak belirlenmiştir.

**Keywords:** Ultrason destekli ekstraksiyon, yanıt yüzey yöntemi, *zizyphus zizyphus*, antioksidan kapasite, fenolik bileşenler.

### 1. Introduction

*Zizyphus* species (*Rhamanceae*) are widely used in Asian countries, especially Taiwan and China, as a medicine for the treatment of allergies, constipation, urinary problems, depression, chronic bronchitis, insomnia and liver diseases [1]. It is known for health-promoting effects such as anti-inflammatory [2], antimicrobial [3], antiproliferative, and apoptotic effects. 135-170 species of *Zizyphus* are reported [4]. In addition to the cultivated ones, there are many *Zizyphus* species reported from Turkey that show great diversity in terms of plant and fruit characteristics. *Z. sativa* Gaertn., *Z. vulgaris* L., *Z. soporifera* (Lour) Stokes, *Z. tomentosa* Poir., *Z. trinervia* Roth, *Z. orthacantha* DC., *Z. rotundata* DC., *Z. poiretti* G. don, *Z. mairei* (H. Lev.) Browicz and Lauener, *Z. zizyphus* (L.) Meikle, and *Z. lotus* (L.) Lam are among the species grown in Anatolia [5]. *Zizyphus jujuba* Mill (synonyms *Rhamnus zizyphus* L. and *Rhamnus jujuba* L.) is the most cultivated jujube species whose fruit is called "hünnap" [6]. Fruits are widely consumed for its potential high nutritional value. Studies on the nutritional content of fruit have reported that they have besides high protein (14.13%), K (0.12%), Ca (10.21%), P (0.12%), Mg (0.07%), N (2.26%) [7] and high vitamin C content [8] in dry weight (DW). Benammar et al. [9], reported that the fruit pulp of jujube have a higher vitamin A and C which responsible for human cell T-proliferation than the other parts of plant. Fruit pulp has also been reported as a rich source of phenolic compounds [10] responsible for the antioxidant properties to prevent permanency of some diseases. Many antioxidant compounds in the group of

phenolic acids and flavonoids act as protective against tissue damage and inflammation caused by reactive oxygen species in plant, human and food tissues. Mostly, it is associated with reactive oxygen damage, resulting in a decrease of nutritional value with the formation of free radicals. The oxidative stress causes many diseases including inflammation, cataract, cancer, arteriosclerosis, autoimmune, Parkinson and neurodegenerative syndromes in human. Further, oxidative variations cause changes of color, aroma, texture and flavor in foods. The antioxidants inhibit oxidative damage mechanism and for scavenging free radicals like peroxide, hydroperoxide of lipid hydroxyl. It is a well-known that flavonoids and phenolic acids play an active role in preventing quality losses in foods due to the effect of light and oxygen [10].

Plant parts except for fruit such as leaves, seeds and roots are known as high antioxidant sources [11]. In vivo studies have been reported that plant leaves and roots demonstrated anti-spasmodic, anti-inflammatory and analgesic activity in rats and rodents [12,13]. Besides the health benefits, these plant parts are added as antioxidant food additives to increase the shelf life instead of synthetic antioxidants for adverse effects. Plant leaves can be used directly or as an extract for food additive. In case of use as an extract, its effectiveness varies depending on the extraction method and conditions. Solvent extraction is the most common extraction method [14]. The efficiency of the method depends on the extraction parameters such as solvent concentration, solvent type, temperature, stirring speed (rpm). The method requires high temperature and long processing time [15]. High temperatures applied to achieve high extraction efficiency may damage some phenolic compounds and excessive use of solvents increases the amount of waste which harmful for the environment. Green energy extraction methods are preferred over conventional methods as they provide better recovery of bioactive compounds in plant tissues without loss and with high antioxidant activities. For example, ultrasound-assisted extraction (UAE) is an ecofriendly method offering a high recovery of bioactive compounds [16, 17]. The effect occurs with the collapse of bubbles growing gradually with the pressure created by ultrasound waves moving on a solid phase wall in the liquid phase. A high extraction efficiency can be obtained, especially for phenolic compounds with antioxidant properties [18] and lossless recovery by preventing the chemical degradation of bioactive compounds. The extraction yield is affected by several factors, including solvent, sample size, pH, temperature, pressure, particle size, and UAE time [19]. The antioxidant effect of extracted compounds from several plant tissues has been determined by assessing the total phenolic content (TPC), DPPH scavenging activity, and total flavonoid content [20-22].

Many of the experiments on the genus *Zizyphus jujube* demonstrates the biological potential of its bioactive components, mainly polyphenols, proteins and polysaccharides, for all possible pharmaceutical and nutraceutical applications. The variety of these studies focuses on the presence of bioactive components in jujube fruit and seeds. No data has reported the effect of ultrasound on phenolic compounds extracted from *Zizyphus jujuba* Mill leaves (JLs) and evaluation of its antioxidant properties. Here, we studied the linear and quadratic effects of different UAE parameters such as time, temperature, and solvent concentration on the phenolic and antioxidant compounds of *Z. jujube* extracts obtained under optimized UAE conditions using response surface methodology (RSM). Furthermore, in the future projection, general aim is to evaluate the possibilities of use with its high antioxidant effect in the food and pharmaceutical industry with its possible nutraceutical and nutritional effects. The general objective for the future projection is to

develop its use as a new functional and nutritional food and pharmaceutical industry additive in terms of high nutritional value.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Plant materials

Hand-picked *Z. zizyphus* leaves from the tree in Balikesir, Turkey were washed and dried on a clean filter paper in the shade and at room temperature for approximately 24 h. The dried leaves were powdered using a Waring blender (Clarkson 8011S, USA). All chemicals were obtained from Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA).

### 2.2. Process design

Optimum UAE conditions were designed for combinations of variables by RSM, using Box–Behnken design. The maximum antioxidant activity and TPC values in Jujube leave extracts were determined using the Minitab® statistical software (Pennsylvania, USA). Independent variables were temperature ( $X_1$ : 40, 50, and 60 °C), time ( $X_2$ : 20, 30, and 40 min), and methanol concentration ( $X_3$ : 25, 37.5, and 50%). Dependent variables were TPC and the scavenging activity of DPPH in the process (Table 1). The values of triplicate result responses were placed into the model (Eq. 1).

$$Y = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_3X_3 + \beta_{11}X_1X_1 + \beta_{22}X_2X_2 + \beta_{33}X_3X_3 + \beta_{12}X_1X_2 + \beta_{13}X_1X_3 + \beta_{23}X_2X_3 \quad (1)$$

The constant is  $\beta_0$ , whereas TPC and DPPH from JE are expressed as  $Y$ .  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ , and  $\beta_3$  are symbolized in the equation as linear regression coefficients, and  $\beta_{11}$ ,  $\beta_{22}$ , and  $\beta_{33}$  are used as quadratic coefficients;  $\beta_{12}$  and  $\beta_{23}$  are used as interaction coefficients.  $X_1$  refers to temperature,  $X_2$  refers to time, and  $X_3$  refers to methanol concentration.

The interaction between dependent and independent variables is shown using the polynomial equation and three-dimensional (3D) graphics. The optimized conditions of UAE were calculated as regression coefficients ( $\beta$ ) of linear, interaction, and quadratic using analysis of variance (ANOVA) for TPC and antioxidant activity. The regression coefficient ( $R^2$ ) was used (95%,  $p < 0.05$ ) to estimate the suitability of responses of the polynomial equation using RSM. The validity of the model was determined by comparing it with predicted values.

### 2.3. Ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from jujube leaves

The phenolic compounds of jujube (*Z. zizyphus*) leaves were extracted using a 3.3 L ultrasonic bath (Daihan Scientific, Korea) at 40 kHz and 172 W. The independent variables are temperature, time and solvent concentration (Table 1). 0.5 g of dried powdered leaves were used for the trials that met the conditions specified in the trial fractions modeled according to Table 1, and the extraction solution was obtained by completing it with 50 ml extraction solution. Afterward, ultrasonic extraction was applied. Process factors (temperature, time) were observed using the control panel. After the application, mixture was cooled to room temperature and filtered. The TPC and antioxidant properties of JE were analyzed.

#### 2.4. Phenolic composition of JE

The profile of phenolic compounds was analyzed at optimized conditions by HPLC [23]. The flow rate of mobil phase (A: 3% of formic acid, B: Methanol) was set at 0.8 ml/min and was monitored using Diode-Array Detector (DAD, SPD-M20A) at 260 nm. A Zorbax C18 column (250\*4.6 mm, 5 micron) was used for separation by isocratic elution at 25°C. The results of trials were expressed as means  $\pm$ SD (standard deviation).

#### 2.5. Total phenolic content

A modified Folin–Ciocalteu method (Mohamed Ahmed et al. 2020) was used to spectrophotometrically (T80+ UV–Visible; PG Instruments, UK) determine the TPC of JE [24]. 900  $\mu$ L of distilled water was added into the 100  $\mu$ L of JE. After 5 mL of Folin–Ciocalteu reagent (0.2 N) was added, the blend was kept during three minutes. 4 mL of Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> solution (% 20; w/v) was added on to the blend and kept in the dark at room temperature for 90 minutes. The results were expressed as milligrams of gallic acid equivalents per gram (g GAE/g DW). Absorbance was measured at 765 nm against blank and different gallic acid concentration as a substrat. The results expressed as miligrams of gallic acid equivalents per gram (g GAE/g DW).

#### 2.6. DPPH

The total antioxidant capacity (TAC) of JE was assessed using the modified DPPH method [25]. The scavenging activity of DPPH (% inhibition) was calculated by measuring the change in the absorbance of the DPPH solution at 517 nm. The calibration curve ( $R^2 = 0.9972$ ) was plotted using different amounts of Trolox (10–100  $\mu$ mol/L) (Eq. 2).

$$\text{Inhibition (\%)} = \frac{A_c - A_s}{A_c} \times 100 \quad (2)$$

$A_c$  = absorbance of the control

$A_s$  = absorbance of the sample

### 3. Results and discussion

The Box–Behnken design was used to determine the interaction of factors and optimize UAE conditions (temperature, time, and solvent concentration). The uncoded values of independent variables are indicated in Table 1. The TPC in JE ranged from 2486.44 to 4438.52 mg GAE/g DW, and the percentage inhibition of DPPH ranged from 09.76 to 50.50 % as dependent variables affected by extraction parameters. The temperature was highly effective on the TPC value. The maximum DPPH inhibition was determined at the highest temperature and methanol concentration. Different studies indicated that the methanol concentration and temperature were effective UAE factors on TPC and antioxidant activity for oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) leaf [26] and *Cassia auriculata* leaves [27].

Table 1. Optimization of extraction parameters using the Box–Behnken experimental design used in TPC (mg GAE g<sup>-1</sup> DW) and DPPH (% inhibition) of JE using UAE

Run	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	TPC	DPPH
1	60.00	40.00	37.50	2782.21 ±0.24	36.02 ±0.02
2	40.00	40.00	37.50	3048.40 ±0.32	9.76 ±0.01
3	50.00	30.00	37.50	2959.67 ±0.00	27.27 ±0.22
4	60.00	30.00	25.00	2880.80 ±0.89	43.09 ±0.10
5	50.00	40.00	25.00	4290.64 ±0.87	13.46 ±0.09
6	40.00	30.00	50.00	2486.44 ±0.02	35.69 ±0.32
7	60.00	20.00	37.50	2821.65 ±0.18	50.50 ±0.46
8	50.00	30.00	37.50	3156.85 ±0.22	35.01 ±0.25
9	50.00	30.00	37.50	3285.02 ±0.24	10.43 ±0.14
10	50.00	30.00	37.50	2703.34 ±0.45	19.19 ±0.02
11	50.00	20.00	25.00	4438.52 ±0.52	12.79 ±0.01
12	50.00	30.00	37.50	2723.06 ±0.28	24.24 ±0.00
13	50.00	20.00	50.00	3137.13 ±0.16	25.58 ±0.18
14	40.00	20.00	37.50	2555.45 ±0.36	23.56 ±0.44
15	40.00	30.00	25.00	2831.50 ±0.06	11.44 ±0.12
16	50.00	40.00	50.00	4044.16 ±0.42	41.07 ±0.08
17	60.00	30.00	50.00	3827.27 ±0.18	50.16 ±0.12

X<sub>1</sub>: temperature (°C); X<sub>2</sub>: time (min); X<sub>3</sub>: methanol concentration (% , v/v)

The interaction between dependent and independent variables was modeled using the quadratic polynomial equation (Eq. 1). The regression coefficients calculated from the model for TPC and DPPH were control respectively. The overall variability of the response was determined to be more than 80.7% (Eq. 1).

### 3.1. Effect of UAE factors on TPC

Several known effective variables such as solvent type [28], concentration [29], time, temperature [30], sample-to-solvent ratio [31], diameter, and shape of the extraction vessel [32] affected the extraction of bioactive compounds using UAE. Unlike other extraction methods, UAE increases the extraction performance by destroying the cell walls with the formation of acoustic cavitation and accelerates the mass transfer from the solid matrix [33]. The highest TPC content of Jujube leave extracts was recorded as 4438.52 ±0.52 in the 11th trial (X<sub>1</sub>: 50 °C, X<sub>2</sub>:20 min, and X<sub>3</sub>: 25%) in the UAE conditions, where 15 different factor combinations were applied (p < 0.05). The lowest TPC value of 2486.44 ±0.02 was recorded while X<sub>1</sub>: 40 °C, X<sub>2</sub>:30 min, and X<sub>3</sub>: 50%.

The 3D surface plots were generated for maximizing the TPC of Jujube leave extracts under optimum UAE conditions. Quadratic effect of temperature was significant (Table 2). The predictive equation is shown below that was calculated using regression coefficients of factors for TPC (Table 2).

Table 2. Modeled regression coefficients for dependent variables of JE using UAE

	TPC		DPPH	
	Coefficient estimate	Standard error	Coefficient estimate	Standard error
Intercept				
$\beta_0$ Linear	-2.88 <sup>a</sup>	0.79	11.6993	204.06
$\beta_1$	1.35	236.82	-6.216	6.06
$\beta_2$	-0.42	180.28	0.666	4.61
$\beta_3$	-1.01 <sup>a</sup>	144.22	0.556	3.69
Interaction				
$\beta_{12}$	-1.33 <sup>a</sup>	2.10	-0.002	0.05
$\beta_{13}$	2.58 <sup>a</sup>	1.68	-0.034 <sup>a</sup>	0.04
$\beta_{23}$	2.11	1.68	0.03	0.04
Quadratic				
$\beta_{11}$	-6.52 <sup>a</sup>	2.19	0.088	0.05
$\beta_{22}$	3.20	2.19	-0.031	0.05
$\beta_{33}$	3.35	1.40	0.013	0.03
R <sup>2</sup>	0.99		0.81	
F value (model)	2.83		2.27	
F value (Lack of fit)	10.31		0.56	

<sup>a</sup>p < 0.05.

The estimated maximum level of temperature for TPC was 59 °C using the model (Figure 1a). Although quadratic effect of methanol concentration for TPC was insignificant, linear effect and interaction of temperature and methanol concentration were significant (Table 2). Depending on temperature and time, 25% of methanol concentration gave the best extraction environment for TPC (Figure 1a,1b,1c). The linear and quadratic effects of UAE time were insignificant. The TPC started to decrease after increasing slowly until 38.86 min. The interaction of UAE temperature and time was highly effective (p < 0.05). The increase in TPC was observed depending on the increase in UAE temperature, whereas the UAE time was constant. In addition, TPC did not change at a constant UAE temperature despite the increase in UAE time. Similar results were obtained by Mohamed et al. for Argel leaf extracts [24]. In contrast, the TP content increased depending on the methanol concentration (Figure 1c). It was reported that the TP content of the methanol (80%) extracts from jujubes ranged from 275.6 to 541.8 mg GAE/100 g FW under unoptimized extraction parameters (by an ultrasonic bath for 20 min) [34].

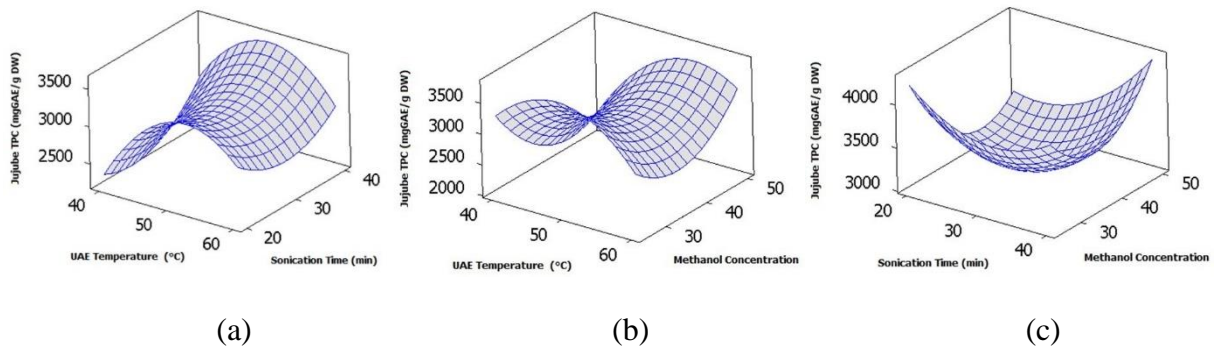


Figure 1. Response surface plot of TPC (mg GAE/g DW) of JE as a function of temperature, time and methanol concentration.



### 3.2. Effect of UAE factors on DPPH scavenging activity

The radical scavenging activity of DPPH from extracts is shown in Table 1. The highest DPPH radical scavenging activity (% inhibition) was recorded (50.16%) in the 15th trial at 60 °C ( $X_1$ ), 20 min ( $X_2$ ), and a 37.5% ( $X_3$ ) under the UAE conditions, where 15 different factor combinations were applied. The lowest % inhibition was determined in the second trial (9.76%) at 40 °C of temperature, 40 min of time, and 37.5% of methanol. The DPPH radical scavenging activity of extracts was influenced significantly ( $p < 0.05$ ) by the interaction between  $X_3$  and  $X_1$  according to the data of the multiple regression. Methanol–water mixture is classified as the most suitable extraction solvent due to its high dielectric constant/polarity [35]. In addition, it reduces phenolic degradation by inhibiting the activity of polyphenol oxidases [36].

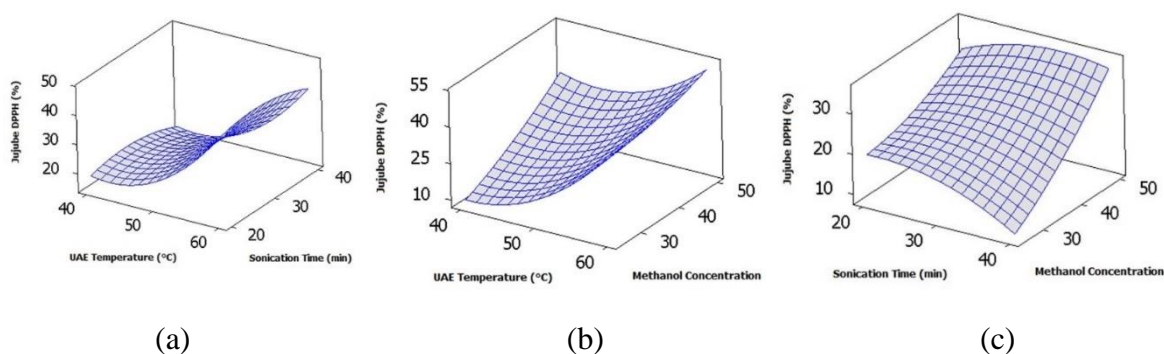


Figure 2. Response surface plot of DPPH radical scavenging activity (%) of JE as a function of temperature, time and methanol concentration

Each of the extraction factors were increased to inhibition of DPPH quadratically ( $p \leq 0.05$ ) (Table 2). However, linearity of each factors were found effective on DPPH significantly ( $p \leq 0.05$ ). 3D plots have showed that the interaction relationship between independent variables and DPPH data. The increase in temperature and time caused an increase of DPPH (Figure 2a). However, the combined effect of temperature and methanol concentration was more effective on DPPH (Figure 2b). Although sonication time with methanol concentration increased DPPH inhibition, it was clearly seen that the main effect depends on the methanol concentration (Figure 2c). Previous studies have reported that a high extraction temperature increased the substance solubility, mass transfer, and solvent diffusion [37]. The increase in methanol concentration elevated the radical scavenging of DPPH (Figure 2c).

### 3.3. Optimization of the extraction parameters

The response variables of TPC and radical scavenging activity of DPPH under optimum conditions are given in Table 3. The maximum value was 4208.16 mg GAE/g DW for TPC at 49.89 °C, 20 min, and 50% of methanol concentration under predicted conditions and 52.51% for the maximum DPPH inhibition at 60 °C, 33.33 min of time, and 50% of methanol concentration under predicted UAE conditions.

Table 3. Optimum conditions and validation of predicted and experimental values obtained under the same conditions

Response variable	Optimum Extraction parameters			Maximum values	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Predicted	Experimental
<b><i>Individual responses</i></b>					
TPC (mg GAE/g DW)	49.89	20.00	25.00	4208.16	3423.05
DPPH (% inhibition)	60.00	33.33	50.00	52.51	51.51
<b><i>Combined responses</i></b>					
TPC (mg GAE/g DW)	58.98	20.00	25.00	3670.36	3482.20
DPPH (% inhibition)				41.67	34.14

The combined experimental and predicted results for each response of TPC and radical scavenging of DPPH from extracts under optimum extraction parameters were compared. The experimental data for DPPH (34.14% inhibition) were lower than the predicted value (41.67% inhibition), whereas the predicted result (3670.36 mg GAE/g DW) obtained using the RSM model was close to the experimental result (3482.20 mg GAE/g DW) for TPC of JE. The value of total desirability as 0.95 was recorded in experiments at 58.98 °C and 25% methanol concentration for 20 min. The designed model fitted well for extracting phenolics from JE under optimum UAE conditions and predicted optimum extraction parameters. High TPC (6098.14 mg GAE/100 g DM) and antioxidant activity (4010.63 mg ascorbic acid equivalent/100 g DM) under optimal conditions (64.20% methanol, 73.60% ultrasound intensity, and 13.27 min) have been reported for jujube leaves [38]. On the other hand UAE has been reported as an effective method for extracting phenolic compounds from *Moringa oleifera* L. leaves. But that effect has no significantly related the ratio of liquid to solid and ultrasonic time. In the same study it has been reported that the optimal conditions for maximization of the TPC/TFC and antioxidant activities were 37% water content, 144 W ultrasonic power, and 40 °C temperature [39].

#### ***3.4. Phenolic compounds in Jujube leave extracts***

The phenolic compounds obtained under optimum conditions from Jujube leave extracts using UAE were listed in Table 4. Phenolic acids (24307.9 mg/kg Jujube leave extracts DW) predominated among the 13 different phenolic compounds reported. Ellagic acid (13127.200 mg/kg Jujube leave extracts DW) and caffeic acid (7761.7 mg/kg Jujube leave extracts DW) were phenolics with the highest detectable amount, followed by rutin (3285 mg/kg Jujube leave extracts DW) and rosmarinic acid (467.6 mg/kg Jujube leave extracts DW). Other phenolics were detected in low amounts.

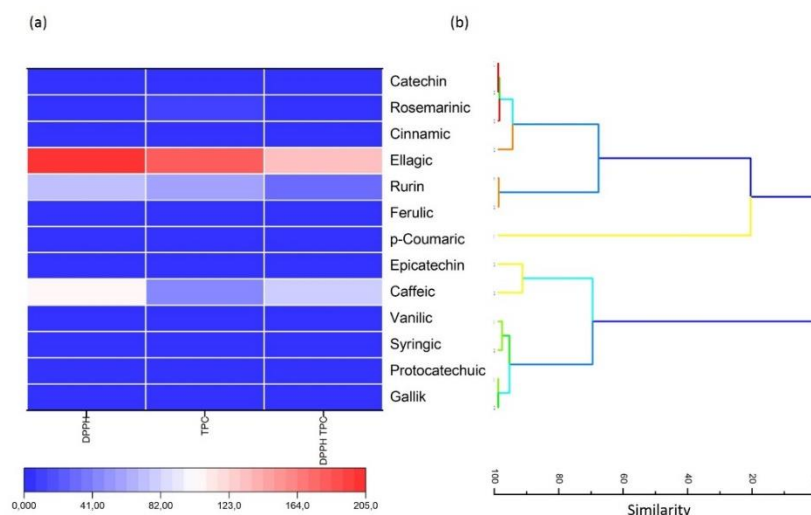


Figure 3. Heatmap (a) and cluster analysis (b) of phenolic compounds (mg/kg DW) in methanolic extracts of *Zyzyplus jujube* leaf obtained under optimum extraction parameters for DPPH, TPC and combined response DPPH with TPC.

Table 4. Phenolic compounds of JE under optimized UAE conditions

Phenolic compound	Jujube leaf extract	
	Retention time (min)	Amount (mg kg <sup>-1</sup> DW)
Catechin	15.2	133.1
Caffeic acid	22.7	7761.7
Cinnamic acid	71.1	6.800
Ferulic acid	30.1	85.600
Vanillic acid	19.2	8.200
Ellagic acid	47.7	13127.200
p-Coumaric acid	26.1	ND
Gallic acid	6.8	24.400
Rosmarinic acid	61.9	467.600
Protocatechuic acid	10.7	ND
Epicatechin	45.7	3285.000
Rutin	15.7	9.000
Syringic acid		

Hydroxybenzoic acid, syringic acid, vanillic acid, and caffeic acid constitute the major polyphenolic antioxidant profile in Argel [24], mulberry *Salvia officinalis* L., *Rosmarinus officinalis* L., *Olea europaea* L., and *Punica granatum* L., *Ruta graveolens* L., *Mentha piperita* L., and *Petroselinum crispum* [40], and blackberry leaves [41]. Contrary to several conventional methods [42], UAE was used safely for effective recovery of phenolic compounds with less solvent and time requirement, as reported in previous studies [43]. The altered cell wall permeability by the cavitation effect of ultrasound accelerates the transition from the solid matrix to the liquid matrix [44].

#### 4. Conclusion

In the present study, phenolic compounds were extracted from jujube leaves using ultrasound and their antioxidant properties were investigated. Extraction parameters such as temperature, time, and methanol concentration were optimized using RSM. UAE temperature and methanol concentration played a significant role in the extraction of jujube phenolics under optimized extraction parameters. Significant similarities were found between the experimental and predicted values of DPPH and TPC. Significant amounts of rutin, ellagic acid, rosmarinic acid, and caffeic acid were found in JE. These results demonstrated that JE can be added to foods as a good source of antioxidants

#### References

- [1] Hammi, K.M., Jdey, A., Abdelly, C., Majdoub, H. and Ksouri, R., Optimization of ultrasound-assisted extraction of antioxidant compounds from Tunisian *Zizyphus lotus* fruits using response surface methodology, **Food Chemistry**, 184, 80-89, (2015).
- [2] Al-Reza, S.M., Yoon, J.I., Kim, H.J., Kim, J.S. and Kang, S.C., Anti-inflammatory activity of seed essential oil from *Zizyphus jujube*, **Food and Chemical Toxicology**, 48, 2, 639–43, (2010).
- [3] Vahedi, F., Fathi Najafi, M. and Bozari, K., Evaluation of inhibitory effect and apoptosis induction of *Zizyphus Jujube* on tumor cell lines, an in vitro preliminary study, **Cytotechnology**, 56, 105–111, (2008).
- [4] Maraghni, M., Gorai, M., and Neffati, M., Seed germination at different temperatures and water stress levels, and seedling emergence from different depths of *Zizyphus lotus*, **South African Journal of Botany**, 76, 453–459, (2010).
- [5] Kamiloğlu, Ö., Ercisli, S., Şengül, M., Toplu, C. and Serçe, S., Total phenolics and antioxidant activity of jujube (*Zizyphus jujube* Mill.) genotypes selected from Turkey, **African Journal of Biotechnology**, 8, 303–307, (2009).
- [6] Serçe, S. and Özgen, M., Physical, Chemical, and Antioxidant Properties of Jujube Fruits from Turkey. **Chinese Dates A Traditional Functional Food**, Taylor & Francis Group, LLC, Section II, 199-204, (2016).
- [7] Akbolat, D., Ertekin, C., Menges, H.O., Ekinci, K. and Erdal, I., Physical and nutritional properties of jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.) growing in Turkey. **Chemistry: An Asian Journal**, 20, 757–766, (2008).
- [8] San, B., Yildirim, A.N. (2010). Phenolic, alpha-tocopherol, beta-carotene and fatty acid composition of four promising jujube (*Zizyphus jujuba* Miller) selections. **Journal of Food Composition and Analysis**. 23, 706-710.
- [9] Benammar, C., Hichami, A., Yessoufou, A., Simonin, A.M., Belarbi, M., Allali, H., Khan, N.A., *Zizyphus lotus* L. (Desf.) modulates antioxidant activity and human T-cell proliferation, **BMC Complement Alternative Medicine**, 24, 10–54, (2010).
- [10] Hammi, K.M., Hammami, M., Rihouey, C., Le Cerf, D., Ksouri, R. and Majdoub, H., Optimization extraction of polysaccharide from Tunisian *Zizyphus lotus* fruit by response surface methodology: Composition and antioxidant activity, **Food Chemistry**, 212, 476–484, (2016).
- [11] Arceusz, A., Wesolowski, M. and Konieczynski, P., Methods for Extraction and Determination of Phenolic Acids in Medicinal Plants: A Review, **Natural Product Communications**, 8, 1821 – 1829, (2013).

- [12] Borgi, W., Ghedira, K. and Chouchane, N., Anti-inflammatory and analgesic activities of *Zizyphus lotus* root barks, **Fitoterapia**, 78, 16–19, (2007).
- [13] Borgi, W. and Chouchane, N., Anti-spasmodic effects of *Zizyphus lotus* (L.) Desf. extracts on isolated rat duodenum. **Journal of Ethnopharmacology**, 126, 571–573, (2009).
- [14] Şahin, S., Demir, C. and Malyer, H. Determination of phenolic compounds in *Prunella L.* by liquid chromatography-diode array detection. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, 55, 1227–1230, (2011).
- [15] Heleno, S.A., Prieto M.A., Barros, L., Rodrigues, A., Barreiro, M.F., Ferreira I.C.F.R., Optimization of microwave-assisted extraction of ergosterol from *Agaricus bisporus L.* by-products using response surface methodology, **Food and Bioproducts Processing**, 100, 25–35, (2016).
- [16] Pawar, N., Pai, S., Nimbalkar, M., and Dixit, G., RP-HPLC analysis of phenolic antioxidant compound 6-gingerol from different ginger cultivars. **Food Chemistry**, 126, 1330–1336, (2011).
- [17] Crupi, P., Dipalmo, T., Clodoveo, M.L., Toci, A.T. and Coletta, A., Seedless table grape residues as a source of polyphenols: Comparison and optimization of non-conventional extraction techniques. **European Food Research and Technology**, 244, 1091–1100, (2018).
- [18] Li, H.Z., Zhang, Z.J., Xue, J., Cui, L.X., Hou, T.Y., Li, X.J., Chen, T. Optimization of ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds. antioxidants and rosmarinic acid from perilla leaves using response surface methodology, **Food Science and Technology Campinas**, 36, 686–693, (2016).
- [19] Kagan, I.A., Effects of pH, sample size, and solvent partitioning on recovery of soluble phenolic acids and isoflavonoids in leaves and stems of red clover (*Trifolium pratense cv. Kenland*), **Natural Product Communications**, 6, 1657–1660, (2011).
- [20] Wang, R., Ding, S., Zhao, D., Wang, Z., Wu, J. and Hu, X. Effect of dehydration methods on antioxidant activities, phenolic contents, cyclic nucleotides, and volatiles of jujube fruits, **Food Science and Biotechnology**, 25, 137–143, (2016).
- [21] Dzah, C.S., Duan, Y., Zhang, H., Wen, C., Zhang, J., Chen, G. and Ma, H., The effects of ultrasound assisted extraction on yield, antioxidant, anticancer and antimicrobial activity of polyphenol extracts: A review, **Food Bioscience**, 35, 100547, (2020).
- [22] Yu, L., Jiang, B.P., Luo, D., Shen, X.C., Guo, S., Duan, J.A. and Tang, Y.P. Bioactive components in the fruits of *Zizyphus jujuba* Mill. against the inflammatory irritant action of *Euphorbia* plants, **Phytomedicine**, 19, 239–244, (2012).
- [23] Gomes, T., Caponio, F. and Allogio, V. Phenolic compounds of virgin olive oil: influence of paste preparation techniques, **Food Chemistry**, 64, 203–209, (1999).
- [24] Mohamed Ahmed, I.A., Al-Juhaimi, F., Adisa, A.R. Adiamo, O.Q., Babiker, E.E., Osman, M.A., Gasseem, M.A., Ghafoor, K., Alqah, H.A.S. and Elkareem, M.A., Optimization of ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds and antioxidant activity from Argel (*Solenostemma argel* Hayne) leaves using response surface methodology (RSM), **Journal of Food Science and Technology**, 57, 3071–3080, (2020).
- [25] Kedare, S.B. and Singh R.P., Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay, **Journal of Food Science and Technology**, 48, 412–422, (2011).

- [26] Che Zain, M.S., Jakariah, N.A., Yeoh, J.X., Lee, S.Y., and Shaari, K., Ultrasound-Assisted Extraction of Polyphenolic Contents and Acid Hydrolysis of Flavonoid Glycosides from Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) Leaf: Optimization and Correlation with Free Radical Scavenging Activity, **Processes**, 8, 1540–1562, (2020).
- [27] Sharmila, G., Nikitha, V.S., Ilaiyarasi, S, Dhivya K., Rajasekar, V., Manoj Kumar, N., Muthukumaran, K. and Muthukumaran, C., Ultrasound assisted extraction of total phenolics from Cassia auriculata leaves and evaluation of its antioxidant activities, **Industrial Crops and Products**, 84, 13–21, (2016).
- [28] Singh, B., Singh, N., Thakur, S. and Kaur, A., Ultrasound assisted extraction of polyphenols and their distribution in whole mung bean hull and cotyledon, **Journal of Food Science and Technology**, 54, 921–932, (2017).
- [29] Bayar, N., Bouallegue, T., Achour, M., Kriaa, M., Bougatef, A., Kammoun, R., Ultrasonic extraction of pectin from *Opuntia ficus indica* cladodes after mucilage removal: Optimization of experimental conditions and evaluation of chemical and functional properties, **Food Chemistry**, 235, 275–282, (2017).
- [30] Kumar, K., Srivastav, S., Sharanagat, V.S., Ultrasound assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products: A review, **Ultrasonic Sonochemistry**, 70, 105325, (2021).
- [31] Ikhtiarini A.N., Setyaningsih, W., Rafi, M., Aminah, N.S., Insanu, M., Irnawati, I. and Rohman, A., Optimization of ultrasound-assisted extraction and the antioxidant activities of Sidaguri (*Sida rhombifolia*), **Journal of Applied Pharmaceutical Science**, 11, 070–076, (2021).
- [32] Corrales, M., Garcí'a, A.F., Butz, P. and Tauscher, B. Extraction of anthocyanins from grape skins assisted by high hydrostatic pressure, **Journal of Food Engineering**, 90, 415–421, (2009).
- [33] Chanioti, S., Katsouli, M. and Tzia, C., Novel Processes for the Extraction of Phenolic Compounds from Olive Pomace and Their Protection by Encapsulation. **Molecules**, 26, 1781–1799, (2021).
- [34] Gao, Q.H., Wu, C.S., Yu, J.G., Wang, M., Ma, Y.J., Li, C.L., Textural Characteristic, Antioxidant Activity, Sugar, Organic Acid, and Phenolic Profiles of 10 Promising Jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.). Selections, **Journal of Food Science**, 77, 1218–1225, (2012).
- [35] Majeed, M., Hussain, A.I., Chatha, S.A.S., Khosaa, M.K.K., Kamal, G.M., Kamal, M.A., Zhang, X., Liu, M., Optimization protocol for the extraction of antioxidant components from *Origanum vulgare* leaves using response surface methodology, **Saudi Journal of Biological Sciences**, 23:389–396, (2016).
- [36] Ghoreishi, S.M. and Heidari, E., Extraction of Epigallocatechin-3-gallate from green tea via supercritical fluid technology: Neural network modeling and response surface optimization. **The Journal of Supercritical Fluids**, 74, 128–136, (2013).
- [37] Getachew, A.T., Holdt, S.L., Meyer, A.S., Jacobsen, C., Effect of Extraction Temperature on Pressurized Liquid Extraction of Bioactive Compounds from *Fucus vesiculosus*. **Marine Drugs**, 20, 4, 263–279, (2022).
- [38] Alioui, S.Z., Bey, M.B., Kurt, B.Z., Sonmez, F. and Louaileche, H., Optimization of ultrasound-assisted extraction of total phenolic contents and antioxidant activity using response surface methodology from jujube leaves (*Ziziphus jujuba*) and evaluation of anticholinesterase inhibitory activity, **Journal of Food Measurement and Characterization**, 13, 321–329, (2019).

- [39] Wu, L., Li, L., Chen, S., Wang, L. and Lin, X., Deep eutectic solvent-based ultrasonic-assisted extraction of phenolic compounds from *Moringa oleifera* L. leaves: Optimization, comparison and antioxidant activity, **Separation and Purification Technology**, 247, 117014, (2020).
- [40] Yu, M., Gouvinhas, I., Rocha, J., Barros, A.I.R.N.A., Phytochemical and antioxidant analysis of medicinal and food plants towards bioactive food and pharmaceutical resources. **Scientific Reports**, 11, 10041–10055, (2021).
- [41] Aybastier Ö, Işık E, Şahin, S., and Demir, C., Optimization of ultrasonic-assisted extraction of antioxidant compounds from blackberry leaves using response surface methodology, **Industrial Crops and Products**, 44, 558–565, (2013).
- [42] Glisic, S.B., Ristic, M. and Skala, D.U., The combined extraction of sage (*salvia officinalis* L.) ultrasound followed by supercritical CO<sub>2</sub> extraction. **Ultrasonics Sonochemistry**, 18,318–326, (2011).
- [43] Tao, Y., Wu, D., Zhang, Q.A. and Sun, D.W., Ultrasound-assisted extraction of phenolics from wine lees: Modeling, optimization and stability of extracts during storage, **Ultrasonics Sonochemistry**, 21, 706–715, (2014).
- [44] Shirsath, S.R., Sonawane, S.H. and Gogate, P.R., Intensification of extraction of natural products using ultrasonic irradiations—A review of current status. Chemical Engineering and Processing, **Process Intensification**, 53: 10–23, (2012)n.

# Mide kanserine karşı geliştirilen aşı formülasyonunun immünostimulan ve sitotoksik etkilerinin incelenmesi

Yağmur HAMURCI<sup>1,\*</sup>, Murat IHLAMUR<sup>2,3</sup>, Emrah Şefik ABAMOR<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji Bölümü, İstanbul

<sup>2</sup>Biruni Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, İstanbul,

<sup>3</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomühendislik Bölümü, İstanbul,

Geliş Tarihi (Received Date): 24.09.2022

Kabul Tarihi (Accepted Date): 16.11.2023

## Öz

Kanser, hücrelerin kontrolsüz olarak çoğalması sonucu oluşan ve kardiyovasküler hastalıklardan sonra dünyada ölüm oranı en yüksek hastalıktır. Mide kanseri, dünyada en yaygın görülen kanser türlerinden biri olmakla birlikte GLOBOCAN 2020 yaklaşık 800000 ölüme neden olmuş ve yaklaşık 1,1 milyon yeni mide kanseri vakası tespit edilmiştir. Tedavisinde cerrahi, kemoterapi, ilaç tedavisi gibi yöntemler sıklıkla kullanılsa da etkili sonuçlar vermemektedir. Bu nedenle mide kanseri oluşmadan önce bağışıklık oluşturularak hastalığın başlamasını engellenmeli veya elde edilen bağışıklık sayesinde daha hızlı bir şekilde tedavilerden yanıt alınmasını sağlanmalıdır. Aşılamanın kansere karşı bağışıklık sistemini harekette geçirdiğine dair literatürde yer alan çalışmalar, kanser aşılarda umut verici sonuçlar ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, mide kanserine yönelik geliştirilen aşı formülasyonlarının immünostimulan etkileri, J774 murin makrofaj, THP-1 insan makrofaj ve L929 fibroblast hücrelerinde araştırılmış ve sitotoksiteleri belirlenmiştir. AGS mide kanseri hücre hattından dondurma-çözdürme yöntemi ile elde edilen antijenler Freund's ve Incomplete Freund's adjuvanları ile kombine edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, geliştirilen aşı formülasyonlarının toksik etkilerinin düşük olduğu ve en yüksek immünostimulan etkinliğin 40 µg/ml konsantrasyonda olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan üç hücre hattında maksimum protein konsantrasyonunda hücre canlılıkları %75'den yüksek olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların mide kanserine yönelik aşı formülasyonlarının geliştirmesine yardımcı olacağı ve kanser immünoterapisi çalışan araştırmacılar için bu verilerin değerlendirilebileceği söylenebilir.

**Anahtar kelimeler:** Mide kanseri, aşı, dondurma-çözdürme yöntemi, Freund's adjuvan.

\*Yağmur HAMURCI, yagmurhamurcu1@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2363-3965>

Murat IHLAMUR, ihlamurmurat@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0458-5638>

Emrah Şefik ABAMOR, esabamor@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9174-4528>



## Investigation of immunostimulant and cytotoxic effects of vaccine formulation developed against gastric cancer

### Abstract

*Cancer is the disease that results from the uncontrolled proliferation of cells and has the highest mortality rate in the world after cardiovascular diseases. Although gastric cancer is one of the most common cancer types in the world, GLOBOCAN 2020 caused approximately 800,000 deaths and approximately 1.1 million new gastric cancer cases were detected. Although methods such as surgery, chemotherapy and drug therapy are frequently used in the treatment, they do not give effective results. For this reason, before gastric cancer occurs, the onset of the disease should be prevented by creating immunity or a faster response from the treatments should be provided thanks to the immunity obtained. Studies in the literature showing that vaccination activates the immune system against cancer reveal promising results in cancer vaccines. In this study, the immunostimulatory effects of vaccine formulations developed for gastric cancer were investigated in J774 murine macrophage, THP-1 human macrophage and L929 fibroblast cells and their cytotoxicity was determined. Antigens obtained by freeze-thaw method from AGS gastric cancer cell line were combined with Freund's and Incomplete Freund's adjuvants. According to the results of the study, it was determined that the toxic effects of the developed vaccine formulations were low and the highest immunostimulatory activity was at a concentration of 40 µg/ml. It was determined that cell viability was higher than 75% at the maximum protein concentration in the three cell lines used. It can be said that the results obtained will help the development of vaccine formulations for gastric cancer and that these data can be evaluated for researchers working on cancer immunotherapy.*

**Keywords:** Gastric cancer, vaccine, freeze-thaw method, Freund's adjuvant.

### 1. Giriş

Kanser, hücrelerin kontrolsüz olarak çoğalması sonucu oluşan ve kardiyovasküler hastalıklardan sonra dünyada ölüm oranı en yüksek hastalıktır. Kanserinin birçok türü olmakla birlikte en fazla ölüme neden olan türleri akciğer, meme, prostat, mide ve kolorektal kanserlerdir [1].

Mide kanseri, dünyada en yaygın görülen kanser türlerinden biri olmakla birlikte kansere bağlı ölümlerde dördüncü sırada yer almaktadır. GLOBOCAN 2020 tahminlerine göre mide kanseri, tüm kanser ölümlerinin %7,7'sini oluşturarak yaklaşık 800000 ölüme neden olmuştur. 2020'de tüm kanser vakalarının %5,6'sını oluşturarak yaklaşık 1,1 milyon yeni mide kanseri vakası teşhis edilmiştir [2]. Mide kanseri, çevresel faktörlere dayanmakla birlikte % 1-3 gibi bir oranda kalıtsal olarak ortaya çıkmaktadır. Mide kanseri oluşumunda en önemli faktörlerin başında ise *Helikobakter pilori* (*H. Piloni*) enfeksiyonu gelmektedir. Bunun dışında metabolik yollarda ortaya çıkan mutasyonlar, tümör baskılayıcı genlerin ve onkogenlerin ekspresyon seviyelerinde oluşan değişimler mide kanseri oluşumunda etkilidir [3].

Mide kanseri çok kapsamlı bir hastalıktır. Bu da kanser tanısının geç konulmasına ve tedaviye geç başlanmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, diğer kanser türlerinde olduğu

gibi mide kanserinde de erken tanı, tedavi için oldukça önemlidir. Ancak kanserin semptomsuz ilerlemesi teşhisi zorlaştırmaktadır. Erken evrede tanı oldukça zor iken ileri evrede ağrı, kitle ve kanama gibi semptomlar ortaya çıkmaktadır [4].

Günümüzde erken evre mide kanserine karşı tedavide cerrahi rezeksiyon uygulanmaktadır. İleri evre mide kanserlerinde ise kemoterapi kullanılmaktadır. Ancak hastaların kemoterapötik ilaçlara karşı gösterdiği direnç, tedavinin olumsuz seyretmesine neden olmaktadır [5]. Bu nedenle mide kanseri oluşmadan önce bağışıklık oluşturularak hastalığın başlamasını engellenmeli veya elde edilen bağışıklık sayesinde daha hızlı bir şekilde tedavilerden yanıt alınmasını sağlanmalıdır. Kanser aşılı ile ilgili yapılan çalışmalarda kanser hücresi antijenleri aşı kaynağı olarak birçok çalışmada kullanılmaktadır. Hücre kaynağından antijen eldesinde genellikle dondurma-çözdürme ve sonikasyon gibi yöntemler kullanılmaktadır [6]. Hazırlanan antijenlerle adjuvan kombinasyonları aşı çalışmalarında kullanılmaktadır. Bu sayede hazırlanan antijenlerin etkinlikleri adjuvanlar ile artırılmakta ve antijene karşı daha yüksek bir immün yanıt elde edilmesi sağlanmaktadır [7].

Bu çalışmada ilk kez, AGS insan mide kanseri hücre hattından dondurma-çözdürme yöntemi ile elde edilen antijenlerin tek başına ve farklı adjuvan (Freund's ve Incomplete Freund's) kombinasyonu ile oluşturulan aşı formülasyonlarının J774 murin, THP-1 insan makrofaj ve L929 fare fibroblast hücre hatlarında immünoestimulan aktivitesi ve sitotoksitesisi incelenmiştir.

## 2. Deneysel çalışmalar

### 2.1. Hücre kültürünün yapılması

Yapılan deneysel çalışmalarda farelerden elde edilen fibroblast hücre hattı (L929) ve fare makrofaj hücre hattı (J774) ve insanlardan elde edilen makrofaj hücre hattı (THP-1) kullanıldı. Hücrelerin kültürü 75cm<sup>2</sup>'lik (Polistiren yüzey, NEST) flasklarda yapıldı. Deneysel çalışmada stok medyumlar kullanıldı. Stoklar %1'lik penisilin- streptomisin ve %1'lik L-glutamin ile hazırlandı. Hücrelerin çoğalması için L929 fibroblast hücre hattının kültürü %10 FBS içeren DMEM besiyerinde, J774 fare makrofaj hücre hattının kültürü ve THP-1 insan makrofaj hücre hattının kültürü %10 FBS içeren RPMI-1640 besiyerinde gerçekleştirildi. Deneysel çalışmada pasaj sayıları 10. ile 15. Arasında olan hücre hatları kullanıldı. Hücre hatlarının kültürü 37°C, %95 nem ve %5 CO<sub>2</sub> inkübasyon şartlarında yapıldı. L929 hücre hattı enzimatik yol ile J774 ve THP-1 hücre hattı ise fiziksel yol ile toplanarak 25°C, 1000 rpm'de 5 dk süreyle santrifüj ve thoma lamında hücre sayımları gerçekleştirildi. Kuyu başına 1x10<sup>5</sup> hücre/mL olacak 96 kuyulu planelere ekim yapıldı. 24 saat inkübasyonda tutuldu [8].

### 2.2. Antijenlerin hazırlanması

AGS kültürü kültürünün çoğalması %10 FBS içeren RPMI-1640 besiyerinde gerçekleştirildi. Çoğaltılan AGS kültürü toplandı ve 1 ml PBS ile yıkanarak -20°C'ye kaldırıldı. Çözünür AGS antijenlerinin hazırlanması için dondurma-çözdürme metodu uygulandı. Dondurma-çözdürme metodunda, -20°C'den çıkarılan hücreler 37°C'de su banyosu içerisinde çözüldü. Çözünen hücreler sıvı azot kabına konularak 15 dk süreyle hücrelerin donması beklendi. Donan hücreler 15 dk süre ile 37°C'deki su banyosuna bekletilerek çözünmesi sağlandı. PBS içerisinde süspanse hale getirilen hücrelerde bu işlem 5 kere tekrar edildi ve sonra 10.000 rpm'de 3 dk santrifüj edildi ve süpernatant

alındı. Lizattaki protein miktarının tayini, UV spektrometresinde Warburg-Christian yöntemi kullanılarak 280 ve 260 nm dalga boyunda gerçekleştirildi [9,10].

### 2.3. Nitrik oksit analizinin yapılması

Dondurma-çözdürme yöntemi ile hazırlanan antijenlerin farklı konsantrasyonlarının tek başına ve adjuvanlar ile kombinasyonlarının makrofaj ve fibroblast hücre kültür sistemlerinde immünostimulan etkinliğinin tayin edilmesi için hücrelerin ürettikleri nitrik oksit (NO) miktarı Griess metoduyla belirlendi [11]. 24 saat %5 CO<sup>2</sup> içeren 37°C'deki etüvde makrofaj ve fibroblast hücrelerinin inkübasyonunun ardından çeşitli konsantrasyonlarda hazırlanan antijen (25 µg/ml, 40 µg/ml, 80 µg/ml, 100 µg/ml, 150 µg/ml, 200 µg/ml) ve adjuvan (Freund's adjuvant ve Incomplete Freund's adjuvant) kombinasyonları (10 µg/ml ve 40 µg/ml) eklendi.

48 saat inkübasyonun ardından süpernatantlar toplanarak Griess reaktifi ile reaksiyona sokuldu. Griess reaktifi 100 ml distile suya 2,5 ml fosforik asit, 0,1 g N-(1-Naphthyl) Ethylenediamine ve 1 g Sulfanilamide eklenerek hazırlandı. NO ölçümü yapılacak kültür ortamından 50 µl alınarak 96 kuyulu plaklara eklendi. Örneklerin üzerine 50 µl Griess reaktifi eklendi ve oda sıcaklığında 10 dk. inkübasyona bırakıldı. 540 nm'de ELISA Readerda absorbanlar ölçüldü [12].

### 2.4. MTT analizinin yapılması

Hücre canlılığı analizi inkübasyon şartları 37°C'de %95 nem ve %5 CO<sup>2</sup> ortam olacak şekilde inkübator ayarlanarak 48 saat inkübe edilen hücrelere MTT uygulandı. 3-(4,5-dimetiltiazol-2-yl)-2,5-Difeniltetrazilyum bromid içeren MTT ile hücre canlılık oranları değerlendirildi. Well plate üzerindeki her bir kuyucuğa 10 µl MTT solüsyonu ilave edildi. Well platelerdeki hücreler karanlık ortamda, 37°C'de 3 saat inkübe edildi. İnkübasyon sonrası MTT solüsyonu içeren sıvılar aspire edilerek ortamdan uzaklaştırıldı. Her kuyuya 100 µl dimetilsülfoksit (DMSO) eklendi. Plateler 30 dk karanlık ortamda bekletildi. Daha sonra 570 nm dalga boyunda ölçüm alınarak canlılık analizi gerçekleştirildi [13,14]. Her deney grubu üç kez tekrarlanarak ortalaması alındı. Canlılık analizi verileri denklem 1 kullanılarak hesaplandı. Veri grafikleri oluşturuldu.

$$\text{Hücre Canlılığı (\%)} = \left( \frac{\text{Örnek absorbanı}}{\text{Kontrol absorbanı}} \right) * 100 \quad (1)$$

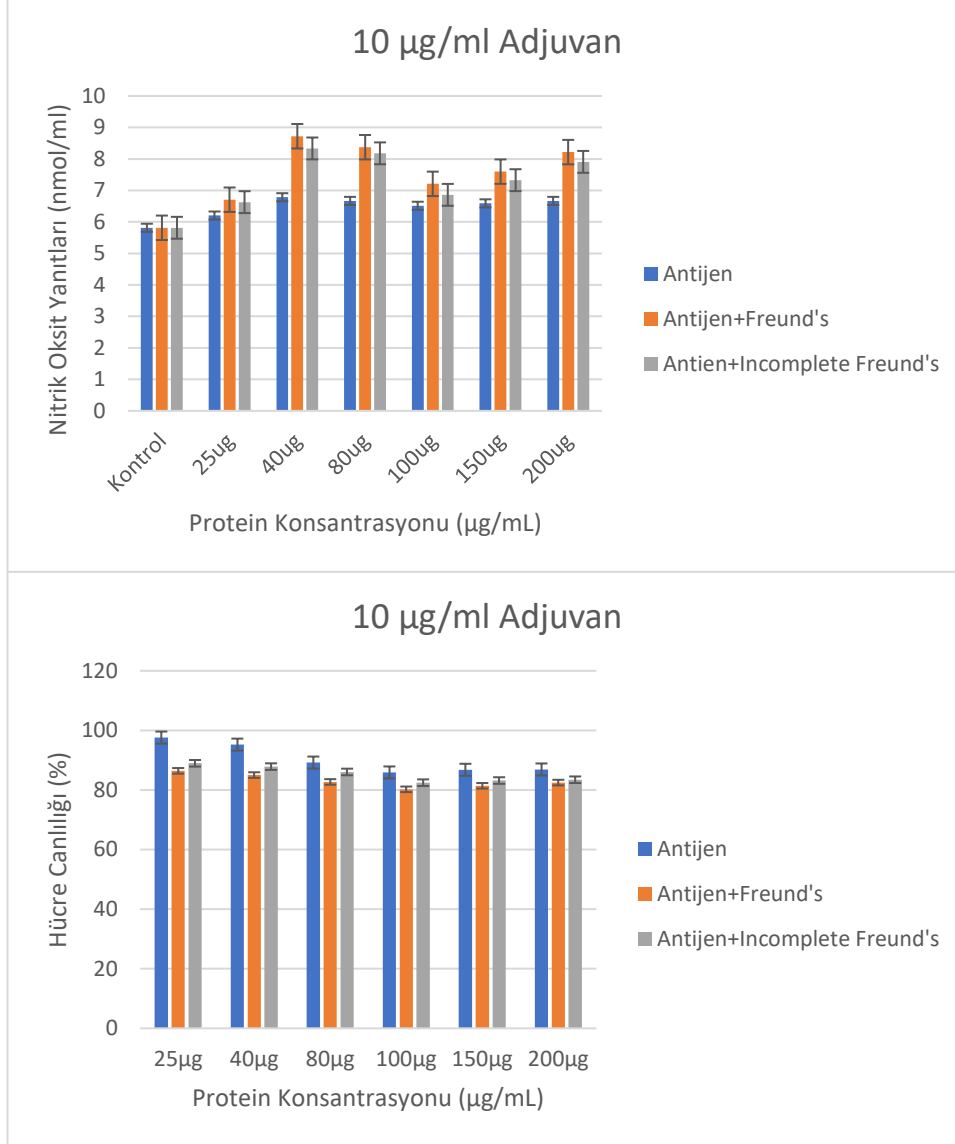
### 2.5. İstatistiksel analizinin yapılması

Çalışmada elde edilen veriler IBM SPSS 25.0 (IBM Corporation, Armonk, NY, ABD) paket programında analiz edilmiştir. Gruplar arası karşılaştırmalar tek yönlü varyans analizi Tek Yönlü ANOVA testi ile yapılmıştır. Sonuçlar ortalama±standart sapma (Ortalama±SD) olarak verildi ve istatistiksel anlamlılık p<0,05 olarak kabul edildi.

## 3. Sonuçlar ve tartışma

Yapılan çalışmada AGS hücrelerinden dondurma-çözdürme metodu kullanılarak antijen hazırlanmıştır. Hazırlanan antijenlerin tek başına ve adjuvanlarla kombinasyonlarının aşı çalışmalarında kullanılabilirliğinin belirlenmesi için J774 ve THP-1 makrofaj ve L929 fibroblast hücre kültürü sisteminde immünostimulan etkinliğine ve sitotoksik etkilerine bakılmıştır.

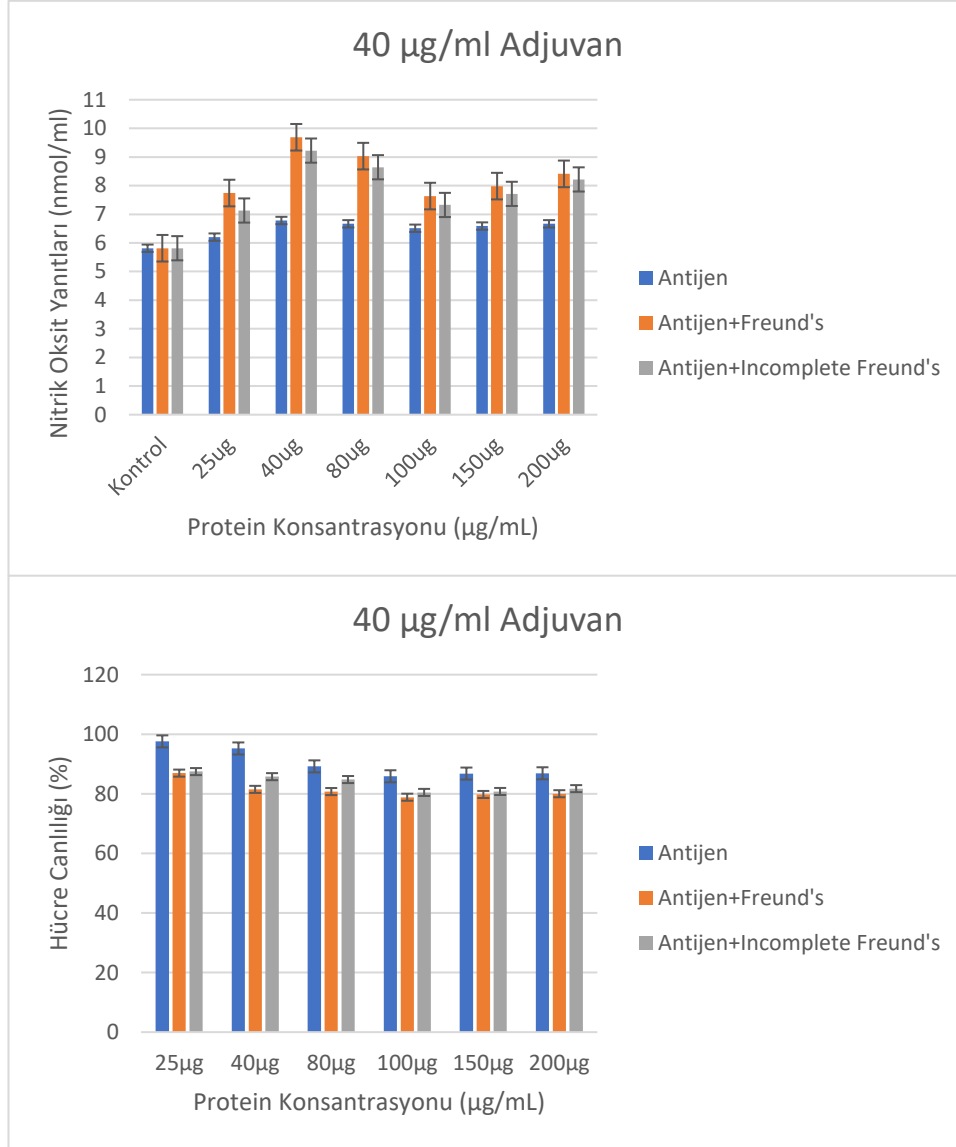
Şekillerde gösterilen hücrelerin canlılık yüzdeleri, pozitif kontrol grubunun değeri %100 olarak kabul edildiğinde, diğer gruplarda basit oran hesabı ile elde edilen % değeridir ve canlı hücre oranını belirtmektedir. MTT testi sonuçlarına göre hücre canlılığı 48. saatin sonundaki bütün gruplar arasında % hücre canlılığı üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır.



Şekil 1. Antijen ve adjuvan (10 µg/ml) kombinasyonlarının L929 fibroblast hattı üzerinde immünostimulan etkinliği ve sitotoksisite analizi.

AGS mide kanseri hücre hattından dondurma-çözdürme yöntemi ile hazırlanan antijenlerin ve adjuvan (10 µg/ml) kombinasyonlarının L929 fibroblast hücre kültürü sisteminde immünostimulan etkinliği ve sitotoksisite analizi Şekil 1'de gösterilmiştir. Yapılan çalışmada AGS hücre hattından elde edilen antijenlerin, en yüksek immünostimulan etkinliği 40 µg/ml konsantrasyonda göstermiştir. AGS hücre hattından elde edilen antijenlerin 40 µg/ml konsantrasyonda fibroblastlarla muamelesinden elde edilen en yüksek immünostimulan etkinlik 6,783 nmol/ml'dir. Sitotoksisite analizinde ise %95,23 canlılık tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada 10 µg/ml Freund's ve Incomplete Freund's adjuvanlarının antijenler ile kombinasyonlarının fibroblast hücre kültürü

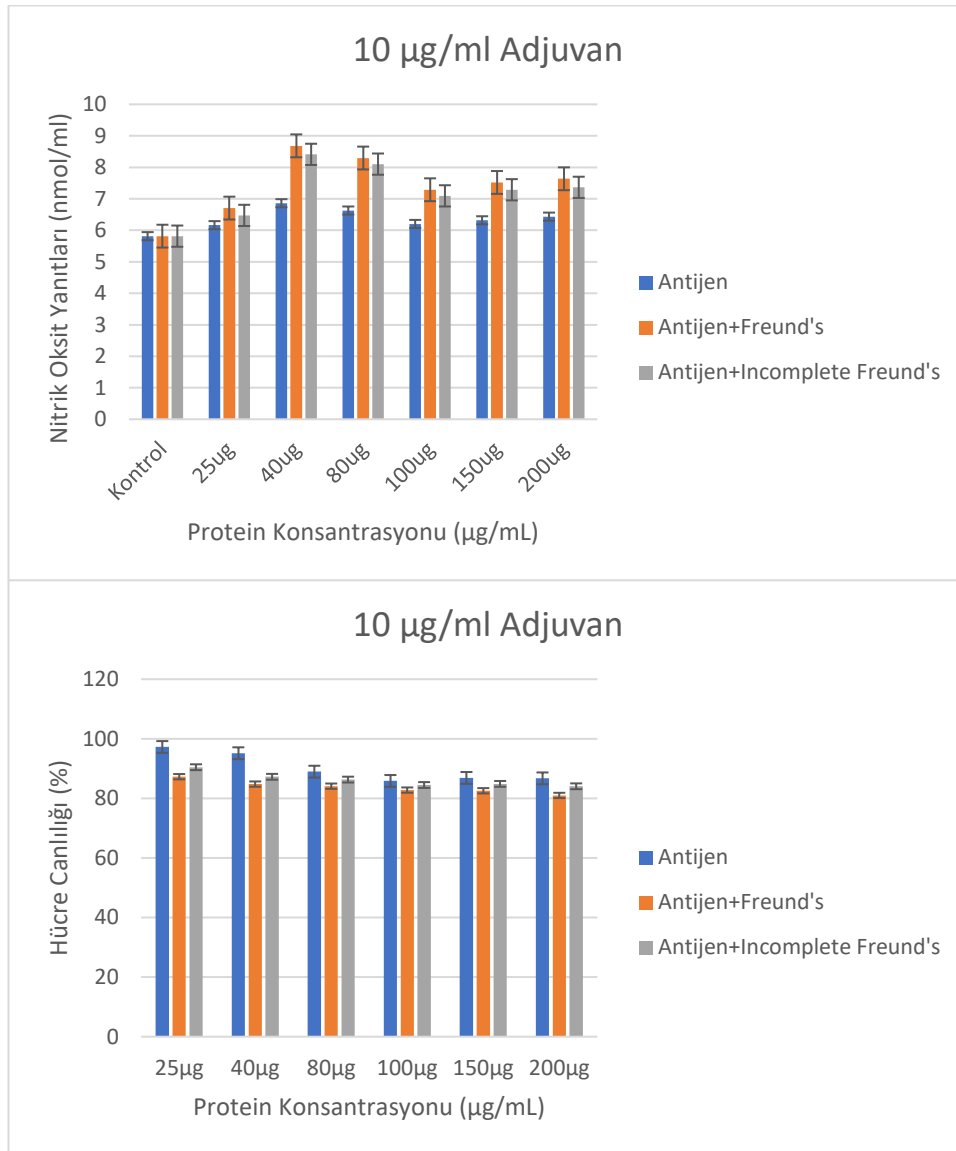
sisteminde immünoestimulan etkinliği de incelenmiştir. 40 µg/ml antijen-10 µg/ml Freund's adjuvan kombinasyonunun fibroblastlarla muamelesinden elde edilen en yüksek immünoestimulan etkinlik 8,721 nmol/ml'dir. Sitotoksisite analizinde ise %85,02 canlilik tespit edilmiştir. 40 µg/ml antijen-10 µg/ml Incomplete Freund's adjuvan kombinasyonunun fibroblastlarla muamelesinden elde edilen en yüksek immünoestimulan etkinlik 8,333 nmol/ml'dir. Sitotoksisite analizinde ise %87,85 canlilik tespit edilmiştir.



şekil 2. Antijen ve adjuvan (40 µg/ml) kombinasyonlarının L929 fibroblast hattı üzerinde immünoestimulan etkinliği ve sitotoksisite analizi.

AGS mide kanseri hücre hattından dondurma-zdrme yöntemi ile hazırlanan antijenlerin ve adjuvan (40 µg/ml) kombinasyonunun L929 fibroblast hücre kültürü sisteminde immünoestimulan etkinliği ve sitotoksisite analizi şekil 2'de gösterilmiştir. Yapılan çalışmada 40 µg/ml Freund's ve Incomplete Freund's adjuvanlarının antijenler ile kombinasyonlarının fibroblast hücre kültürü sisteminde immünoestimulan etkinliği incelenmiştir. 40 µg/ml antijen-40 µg/ml Freund's adjuvan kombinasyonunun fibroblastlarla muamelesinden elde edilen en yüksek immünoestimulan etkinlik 9,69 nmol/ml'dir. Sitotoksisite analizinde ise %81,49 canlilik tespit edilmiştir. 40 µg/ml

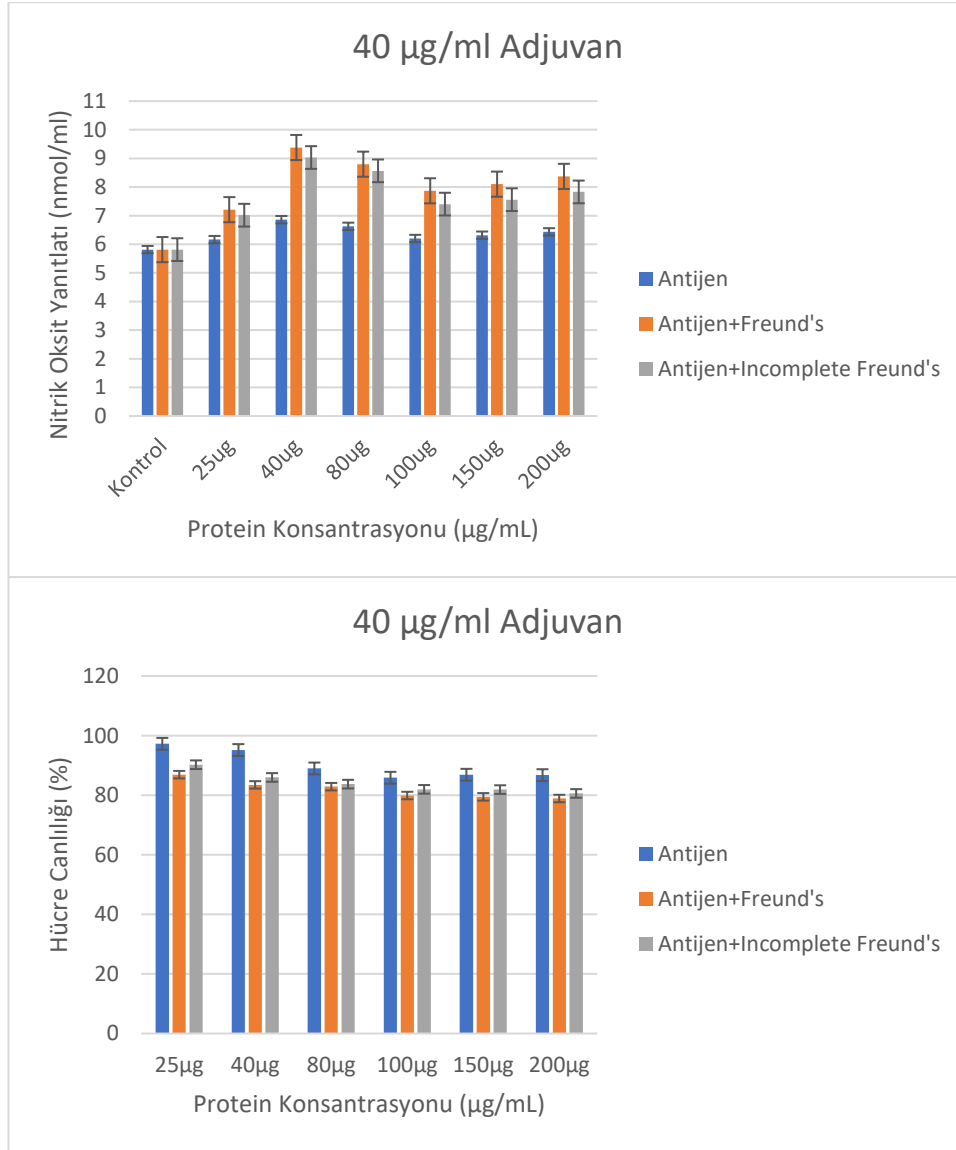
antijen-40  $\mu\text{g/ml}$  Incomplete Freund's adjuvan kombinasyonunun fibroblastlarla muamelesinden elde edilen en yüksek immünoestimulan etkinlik 9,225 nmol/ml'dir. Sitotoksisite analizinde ise %85,76 canlılık tespit edilmiştir.



Şekil 3. Antijen ve adjuvan (10  $\mu\text{g/ml}$ ) kombinasyonlarının J774 makrofaj hattı üzerinde immünoestimulan etkinliği ve sitotoksisite analizi.

AGS mide kanseri hücre hattından dondurma-çözdürme yöntemi ile hazırlanan antijenlerin ve adjuvan (10  $\mu\text{g/ml}$ ) kombinasyonunun J774 makrofaj hücre kültürü sisteminde immünoestimulan etkinliği ve sitotoksisite analizi Şekil 3'te gösterilmiştir. Yapılan çalışmada AGS hücre hattından elde edilen antijenlerin, en yüksek immünoestimulan etkinliği 40  $\mu\text{g/ml}$  konsantrasyonda göstermiştir. AGS hücre hattından elde edilen antijenlerin 40  $\mu\text{g/ml}$  konsantrasyonda makrofajlarla muamelesinden elde edilen en yüksek immünoestimulan etkinlik 6,86 nmol/ml'dir. Sitotoksisite analizinde ise %95,16 canlılık tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada 10  $\mu\text{g/ml}$  Freund's ve Incomplete Freund's adjuvanlarının antijenler ile kombinasyonlarının makrofaj hücre kültürü sisteminde immünoestimulan etkinliği de incelenmiştir. 40  $\mu\text{g/ml}$  antijen-10  $\mu\text{g/ml}$  Freund's adjuvan kombinasyonunun makrofajlarla muamelesinden elde edilen en yüksek

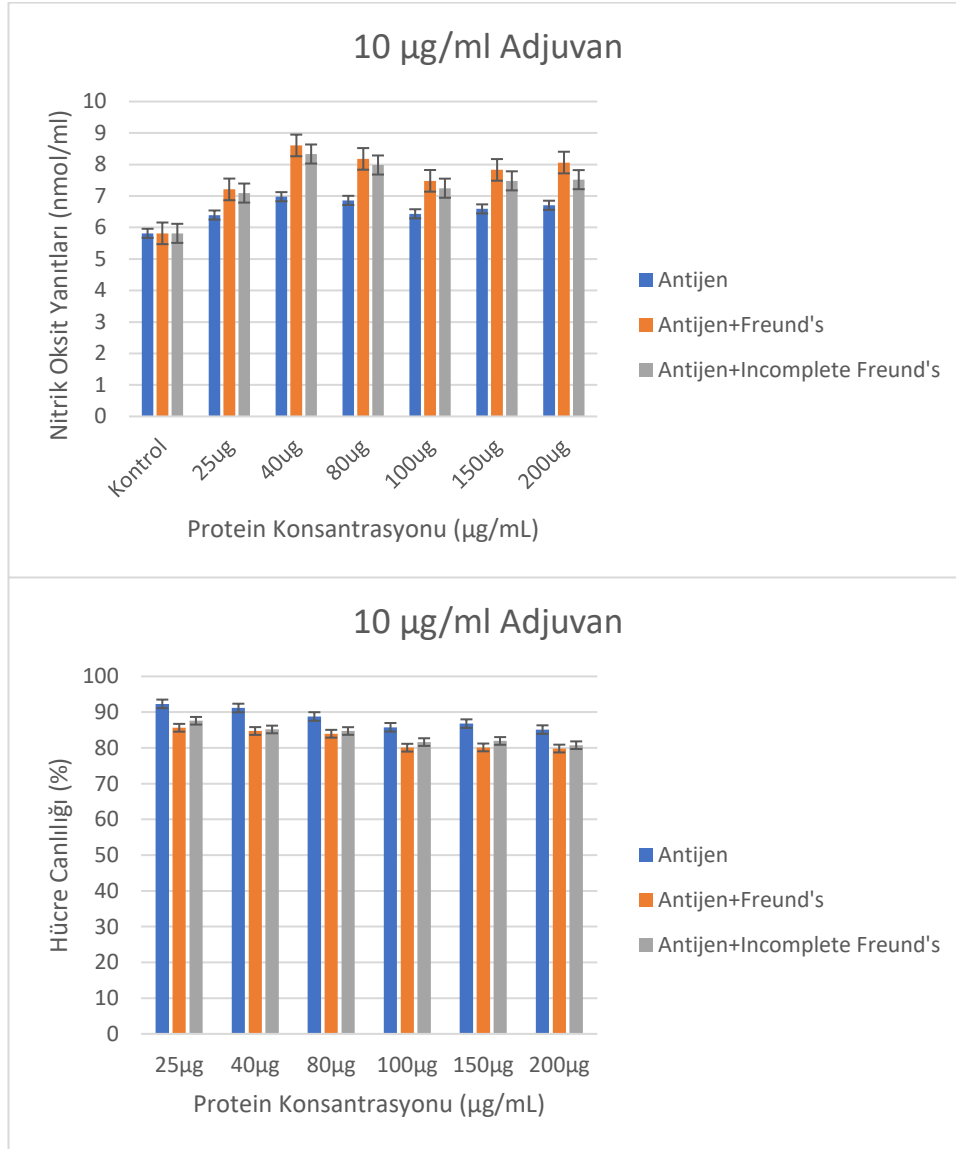
immünostimulan etkinlik 8,682 nmol/ml'dir. Sitotoksisite analizinde ise %84,8 canlılık tespit edilmiştir. 40 µg/ml antijen-10 µg/ml Incomplete Freund's adjuvan kombinasyonunun makrofajlarla muamelesinden elde edilen en yüksek immünostimulan etkinlik 8,411 nmol/ml'dir. Sitotoksisite analizinde ise %87,25 canlılık tespit edilmiştir.



Şekil 4. Antijen ve adjuvan (40 µg/ml) kombinasyonlarının J774 makrofaj hattı üzerinde immünostimulan etkinliği ve sitotoksisite analizi.

AGS mide kanseri hücre hattından dondurma-çözdürme yöntemi ile hazırlanan antijenlerin ve adjuvan (40 µg/ml) kombinasyonunun J774 makrofaj hücre kültürü sisteminde immünostimulan etkinliği ve sitotoksisite analizi Şekil 4'te gösterilmiştir. Yapılan çalışmada 40 µg/ml Freund's ve Incomplete Freund's adjuvanlarının antijenler ile kombinasyonlarının makrofaj hücre kültürü sisteminde immünostimulan etkinliği incelenmiştir. 40 µg/ml antijen-40 µg/ml Freund's adjuvan kombinasyonunun makrofajlarla muamelesinden elde edilen en yüksek immünostimulan etkinlik 9,38 nmol/ml'dir. Sitotoksisite analizinde ise %83,46 canlılık tespit edilmiştir. 40 µg/ml antijen-40 µg/ml Incomplete Freund's adjuvan kombinasyonunun makrofajlarla

muamelesinden elde edilen en yüksek immünoestimulan etkinlik 9,031 nmol/ml'dir. Sitotoksisite analizinde ise %85,96 canlılık tespit edilmiştir.

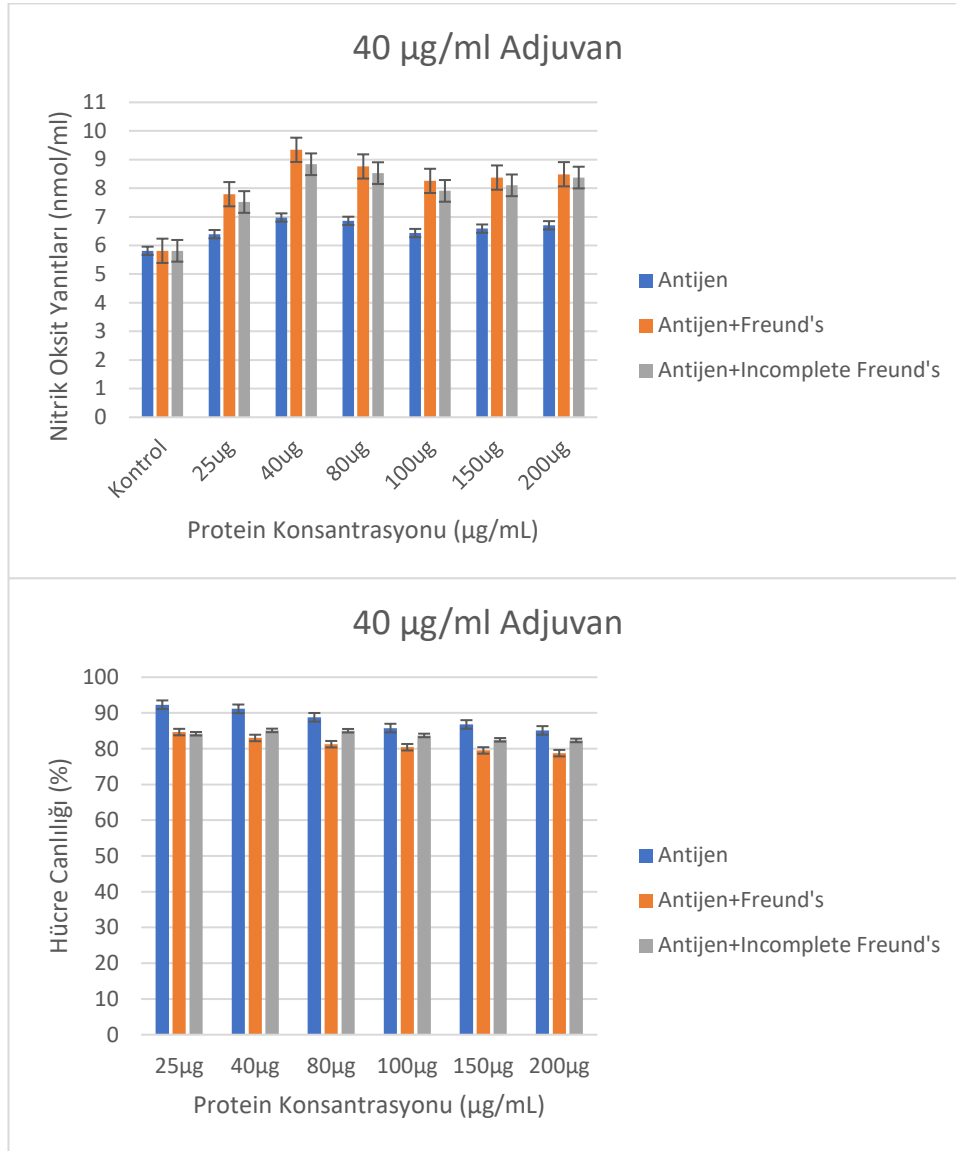


Şekil 5. Antijen ve adjuvan (10 µg/ml) kombinasyonlarının THP-1 makrofaj hattı üzerinde immünoestimulan etkinliği ve sitotoksisite analizi.

AGS mide kanseri hücre hattından dondurma-çözdürme yöntemi ile hazırlanan antijenlerin ve adjuvan (10 µg/ml) kombinasyonunun THP-1 makrofaj hücre kültürü sisteminde immünoestimulan etkinliği ve sitotoksisite analizi Şekil 5'te gösterilmiştir. Yapılan çalışmada AGS hücre hattından elde edilen antijenlerin, en yüksek immünoestimulan etkinliği 40 µg/ml konsantrasyonda göstermiştir. AGS hücre hattından elde edilen antijenlerin 40 µg/ml konsantrasyonda makrofajlarla muamelesinden elde edilen en yüksek immünoestimulan etkinlik 6,977 nmol/ml'dir. Sitotoksisite analizinde ise %91,16 canlılık tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada 10 µg/ml Freund's ve Incomplete Freund's adjuvanlarının antijenler ile kombinasyonlarının THP-1 makrofaj hücre kültürü sisteminde immünoestimulan etkinliği de incelenmiştir. 40 µg/ml antijen-10 µg/ml Freund's adjuvan kombinasyonunun makrofajlarla muamelesinden elde edilen en yüksek immünoestimulan etkinlik 8,605 nmol/ml'dir. Sitotoksisite analizinde ise %84,73 canlılık



tespit edilmiştir. 40 µg/ml antijen-10 µg/ml Incomplete Freund's adjuvan kombinasyonunun makrofajlarla muamelesinden elde edilen en yüksek immünostimulan etkinlik 8,333 nmol/ml'dir. Sitotoksosite analizinde ise %85,16 canlılık tespit edilmiştir.



Şekil 6. Antijen ve adjuvan (40 µg/ml) kombinasyonlarının THP-1 makrofaj hattı üzerinde immünostimulan etkinliği ve sitotoksosite analizi.

AGS mide kanseri hücre hattından dondurma-çözdürme yöntemi ile hazırlanan antijenlerin ve adjuvan (40 µg/ml) kombinasyonunun THP-1 makrofaj hücre kültürü sisteminde immünostimulan etkinliği ve sitotoksosite analizi Şekil 6'de gösterilmiştir. Yapılan çalışmada 40 µg/ml Freund's ve Incomplete Freund's adjuvanlarının antijenler ile kombinasyonlarının THP-1 makrofaj hücre kültürü sisteminde immünostimulan etkinliği incelenmiştir. 40 µg/ml antijen-40 µg/ml Freund's adjuvanı ile kombinasyonunun makrofajlarla muamelesinden elde edilen en yüksek immünostimulan etkinlik 9,341 nmol/ml'dir. Sitotoksosite analizinde ise %83,01 canlılık tespit edilmiştir. 40 µg/ml antijen-40 µg/ml Incomplete Freund's adjuvan kombinasyonunun makrofajlarla muamelesinden elde edilen en yüksek immünostimulan etkinlik 8,837 nmol/ml'dir. Sitotoksosite analizinde ise %85,12 canlılık tespit edilmiştir.

Kanser, hücrelerin kontrolsüz çoğalması sonucu oluşan bir hastalıktır. Kanser tek bir organa etki edebildiği gibi metastaz yaparak farklı organlara da yayılabilir. Farklı kanser türleri olmakla birlikte mide kanseri, dünyada en sık görülen kanserlerden biridir. Mide kanseri, mide duvarında veya özofagusdaki mutasyonlar sonucu ile oluşabilmektedir. Mide kanseri tedavisinde cerrahi tedavi, kemoterapi, radyoterapi, gen terapisi, immünoterapi ve hedeflendirilmiş terapiler gibi tedavi yöntemleri kullanılmaktadır. Bu tedavi yöntemleri tek başına efektif bir sonuç vermediği için destekleyici tedaviler kullanılmaktadır [15].

Kanser tedavilerinde etkili ilaç formülasyonları olsa da hastalığın eradikasyonu aşılama yoluyla gerçekleştirilebilir. Aşılar, hastalık kontrolü için uzun vadeli çözümler sunmaktadır. Bu çalışmada AGS mide kanseri hücre hattından elde edilen çözünür mide kanseri antijenleri, güvenli ve ucuz olma avantajı sunduğundan dolayı aşı adayı olarak seçilmiştir. Ayrıca etkili bir aşı geliştirmek için mide kanserine karşı uzun süreli bağışıklık oluşturabilecek uygun bir adjuvan seçimi gerekmektedir. Uygun adjuvan, mide kanserine karşı güçlü bir bağışıklık tepkisi oluşturmasıyla immünojeniteyi de arttıracaktır. Bu nedenle, adjuvanlar, uzun süreli koruyucu bağışıklık tepkisi veren hem doğal hem de adaptif bağışıklık tepkilerini uyurabildiği ve yönlendirebildiği için antijen formülasyonlarının oluşturulmasında önemlidir.

Bu çalışmada Freund's adjuvanı çeşitleri, mide kanserinin dondurma-çözdürme yöntemi ile elde edilmiş antijenleri ile mide kanserine karşı aşı formülasyonlarını geliştirmek için formülize edilmiştir. Aşı formülasyonlarının J774 ve THP-1 makrofaj ve L929 fibroblast hücrelerinde immünotümölan aktiviteleri değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen *in vitro* çalışmalarda nitrik oksit deneyleri ve canlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlarda kontrol grubuna göre dondurma-çözdürme antijeninin tek başına immünotümölan etkinliğinin az da olsa yüksek olduğu belirlenmiştir. Antijen-adjuvan formülasyonlarının ise kontrol gruplarına göre immünotümölan etkinliğini 1,5 kat arttırdığı belirlenmiştir. Adjuvan grupları arasında ise Freund's adjuvanının Incomplete Freund's adjuvanına göre immünotümölan etkinliğinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu bilgiler ışığında en iyi aşı adayı olma potansiyeli olan formülasyonun 40 µg/ml antijen-10 µg/ml Freund's adjuvanı kombinasyonu olduğu belirlenmiştir. Bu tür antijen-adjuvan kombinasyonları, koruyucu bağışıklığı indükleme yetenekleri ile etkili ve ucuz olduğundan ileriye dönük bir mide kanserine karşı aşı adayı olarak ortaya çıkabilir.

## Kaynaklar

- [1] Kriehoff-Henning, E., Folkerts, J., Penzkofer, A. ve Weg-Remers, S., Cancer-an overview, **Med Monatsschr Pharm**, 40, 2, 48-54, (2017).
- [2] Siegel, R. L., Miller, K. D. ve Jemal, A., Cancer statistics, **CA Cancer J Clin**, 70, 1, 7-30, (2020).
- [3] Machlowska, J., Baj, J., Sitarz, M. ve Maciejewski, R., Gastric Cancer: Epidemiology, Risk Factors, Classification, Genomic Characteristics and Treatment Strategies, **Int J Mol Sci**, 21, 11, (2020).
- [4] Takahashi, T., Saikawa, Y. ve Kitagawa, Y., Gastric cancer: current status of diagnosis and treatment, **Cancers**, 5, 1, 48-63, (2013).

- [5] Huang, W. J., Ruan, S., Wen, F., Lu, X. N., Gu, S. P., Chen, X. X., Liu, M. ve Shu, P., Multidrug Resistance of Gastric Cancer: The Mechanisms and Chinese Medicine Reversal Agents, **Cancer Manag Res**, 12, 12385-12394, (2020).
- [6] Dombroski, J. A., Jyotsana, N., Crews, D. W., Zhang, Z. ve King, M. R., Fabrication and Characterization of Tumor Nano-Lysate as a Preventative Vaccine for Breast Cancer, **Langmuir**, 36, 23, 6531-6539, (2020).
- [7] Dubensky, T. W. ve Reed, S.G., Adjuvants for cancer vaccines, **Semin Immunol**, 22, 3, 155-61, (2010).
- [8] Ihlamur, M., Akgül, B. Ve Abamor, E. S., Farklı hücre hatlarında besiyeri ve FBS'in hücre proliferasyonu üzerindeki etkilerinin incelenmesi, **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi**, 17, 55-64, (2022).
- [9] Ihlamur, M., Başarı, H., Zengin, Y. ve Abamor, E. S., Evaluation of immunostimulant/cytotoxic activity of human breast cancer prepared by different antigen preparation methods with adjuvants combination, **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi**, 17, 96-110, (2022).
- [10] Ihlamur, M., Hamurci, Y. ve Kelleci, K. Mide Kanserine Yönelik AGS Hücrelerinden Geliştirilen Aşı Formülasyonunun İmmünostimulan Etkilerinin Değerlendirilmesi, **Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi**, 12, 2, 736-748, (2022).
- [11] Guevara, I., Iwanejko, J., Dembińska-Kieć, A., Pankiewicz, J., Wanat, A., Anna, P. ve Szczudlik, A., Determination of nitrite/nitrate in human biological material by the simple Griess reaction, **Clin Chim Acta**, 274, 2, 177-188, (1998).
- [12] Zengin, Y., Ihlamur, M. ve Başarı, H. Immunostimulant/Cytotoxic Effect of Cardamom Extract with Adjuvant Combination on Breast Cancer Cell Line, **Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 5, 2, 229-234, (2022).
- [13] Hamurci, Y., Ihlamur, M., ve Zengin, Y. Elettaria Cardamomum Ekstraktının Proleukin İlacı Kombinasyonu ile Mide Kanseri Hücre Hattı Üzerindeki İmmünostimulan/Sitotoksik Etkilerinin İncelenmesi, **Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 11, 2, 283-294, (2022).
- [14] Kumar, P., Nagarajan, A. ve Uchil, P.D., Analysis of Cell Viability by the MTT Assay, **Cold Spring Harb Protoc.**, 2018, 6, (2018).
- [15] Smyth, E. C., Nilsson, M., Grabsch, H. I., van Grieken, N. C. ve Lordick, F. Gastric cancer. **Lancet**, 396, 10251, 635-648, (2020).

# Investigation of antioxidant, enzyme inhibitory effects and total secondary metabolite quantification of *Ornithogalum nutans* L. methanol

Mehmet Özgür ATAY<sup>1</sup>, Gülsüm CENGAVER<sup>1</sup>, Yağmur GÜZEL<sup>2</sup>,  
Ramazan MAMMADOV<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Muğla Sıtkı Koçman University, Faculty of Science, Department of Molecular Biology and Genetics, Muğla.

<sup>2</sup>Üsküdar University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Molecular Biology and Genetics, İstanbul

Geliş Tarihi (Received Date): 25.01.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 16.11.2023

## Abstract

This study was designed to determine the antioxidant and enzyme inhibitory activities of methanol extracts of different parts (aerial and bulb) of *Ornithogalum nutans* as well as to investigate the total phenolic and flavonoid amounts. While the total phenolic content of the extracts varied between  $1.43 \pm 0.01/3.05 \pm 0.04$  mg GAE/g of extract equivalent, the total flavonoid amount varied between  $0.33 \pm 0.01/1.79 \pm 0.02$  mg QE/g. Antioxidant activities were determined by DPPH, ABTS,  $\beta$ -Carotene/Linoleic acid, CUPRAC, and FRAP methods. The antioxidant activity studies determined that the aerial methanol extract exhibited a higher activity than the bulb. Acetylcholinesterase and tyrosinase enzyme inhibitory activities of the extracts were determined, and the extracts showed lower activity than galantamine ( $89.41 \pm 0.05$  %) and kojic acid ( $89.41 \pm 0.05$  %) used as standard. The results reveal the potential of *O. nutans* extracts to be used in pharmacological studies in the pharmaceutical and food industries.

**Keywords:** *Ornithogalum nutans*, antioxidant, acetylcholinesterase, tyrosinase, secondary metabolites

\*Ramazan MAMMADOV, rmammad@yahoo.com, <http://orcid.org/0000-0003-2218-5336>  
Mehmet Özgür ATAY, mehmetozguratay@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3627-448X>  
Gülsüm CENGAVER, gulsumcengaver3@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7946-9914>  
Yağmur GÜZEL, yagmurguzel204@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9368-7512>

## *Ornithogalum nutans* L. Metanol ekstraktlarının antioksidan, enzim inhibitör Etkileri, total sekonder metabolit miktar tayininin araştırılması

### Öz

*Bu çalışma Ornithogalum nutans türünün farklı kısımlarının (yerüstü ve yeraltı) metanol ekstraktlarının antioksidan ve enzim inhibitör aktivitelerinin belirlenmesinin yanı sıra total fenolik ve flavonoid miktarlarının araştırılması için tasarlanmıştır. Ekstraktların total fenolik miktarı  $1.43 \pm 0.01/3.05 \pm 0.04$  mg GAE/g ekstrakt eşdeğeri arasında değişirken, total flavonoid miktarı ise  $0.33 \pm 0.01/1.79 \pm 0.02$  mg QE/g arasında değişmektedir. Antioksidan aktiviteleri DPPH, ABTS,  $\beta$ -Karoten/Linoleik asit, CUPRAC ve FRAP yöntemleri ile belirlemiştir. Yapılan antioksidan aktivite çalışmalarında yerüstü metanol ekstraktının, yeraltına göre daha yüksek bir aktivite sergilediği tespit edilmiştir. Ekstraktların asetilkolinesteraz ve tirozinaz enzim inhibitör aktiviteleri belirlenmiştir ve ekstraktların standart olarak kullanılan galantamin ( $89.41 \pm 0.05$  %) ve kojik asite ( $89.41 \pm 0.05$  %) göre daha düşük bir aktivite sergilemişlerdir. Sonuçlar, *O. nutans* ekstraktlarının farmakolojik çalışmalarda ilaç ve gıda endüstrilerinde kullanılabilme potansiyellerini ortaya koymaktadır.*

**Anahtar kelimeler:** *Ornithogalum nutans, antioksidan, asetilkolinesteraz, tirozinaz, sekonder metabolit*

### 1. Introduction

Turkey, which hosts plant species with different anatomical and morphological characteristics, is a floristic country with high plant biodiversity. The reason why the plant biodiversity is so high is due to the differences in altitude, climate, and habitat diversity, as well as the intersection of three phytogeographic regions. It is known that there are more than 12.000 plant taxa in Turkey, which hosts more than 3000 endemic species [1-3]. With the use of natural medicinal products that are used in traditional medicine and have a rich biodiversity, new therapeutic targets have been provided for many diseases in the scientific world [4]. The fact that plants are used by traditional healers for various medicinal purposes, while various species cause poisoning to farm animals, indicates that more scientific research is needed on the chemical composition of the compounds isolated from these plants, the dosage to be used, the toxicity and possible biological activities [5]. Secondary metabolites are organic compounds produced by microorganisms or plants that are not directly involved in the growth, development, and reproduction of the organism. Secondary metabolites with bioactive properties are used especially in the fields of medicine and pharmacy. Production of secondary metabolites depends on meteorological conditions, geographical location, and growing conditions, and many plants can only grow and mature in certain seasons [6-7]. These metabolites have different biological activities such as anti-inflammatory, antioxidant, antihelminthic, larvicidal, anticancer, antimicrobial, anti-mutagenic, wound healing, and anti-tumor [8]. Oxidative stress, by definition, is the disorganization of the redox balance with an increase in the level of ROS in the cell. Redox homeostasis must be balanced, as excessive oxidation and reduction of cells can have harmful consequences. For this purpose,

compounds that provide antioxidant activity in plants are abundant. Although antioxidant activity is undoubtedly found in all plants, it may differ from species to species. Antioxidants are molecules that can eliminate free radical reactions, prevent cell damage, and delay oxidation at a lower concentration than the oxidized substrate. The most common antioxidants investigated in plants are ascorbate, glutathione, phenols, tocopherols, and carotenoids [9]. Geophyte is a plant species that is resistant to adverse climatic and environmental conditions since it has bulb organs such as onions, tubers, and rhizomes in the plant structure [10]. *Ornithogalum* L. (Liliaceae) genus belongs to the Asparagaceae family and is a geophyte plant that generally grows near South Africa and the Mediterranean and includes more than 140 species around the world. The Asparagaceae family, whose general distribution is in South America, Europe, Africa, and Asia, is a bulbous plant community consisting of approximately 41-70 genera and 770-1000 species. The most well-known genus in Asparagaceae is *Ornithogalum*, a subspecies of *Ornithogaleae* with 280 species, which is also widely distributed in Anatolia and Asia. There are 42 species of this genus in Turkey, and according to research, 17 of them are defined as endemic to Turkey [11-12]. While *Ornithogalum* L. is used as a medicinal plant in traditional medicine, it can also be used for commercial purposes in the ornamental plant or cut flower sector with its interesting white color [13]. In a study, the toxicity (brine shrimp lethality test) and anthelmintic (*Tubifex tubifex*) activities of the aerial and bulb methanol extracts of *Ornithogalum nutans* L. were investigated. *O. nutans* showed high anthelmintic activity in aerial parts. In addition, they found the lowest toxicity against *Artemia salina* in the aerial extract [14]. In this study, antioxidant (DPPH, ABTS,  $\beta$ -carotene CUPRAC, and FRAP) and enzyme inhibitory activity (Acetylcholinesterase, and Tyrosinase), as well as total substance amount (Phenolic, and Flavonoid) of *O. nutans* aerial and bulb methanol extracts were determined.

## 2. Material and methods

### 2.1. Chemicals

DPPH, ABTS, Trolox, BHA, Sodium carbonate, TPTZ, Sodium acetate, Neocuproine, Folin-Ciocalteu, gallic acid, Ammonium acetate, and quercetin were obtained from Sigma-Aldrich (USA).

### 2.2. Plant material and extract preparation

*Ornithogalum nutans* species were collected from Babadağ district of Denizli in 2021 and were diagnosed by Prof. Dr. Olcay DÜŞEN (HERBARIUM NO: 2010000003688). The collected plant samples were dried and cut into small pieces with a blender. Then, 20 g of samples were weighed into Erlenmeyer bottles and 100 mL of methanol was added. Afterwards, the Erlenmeyer bottle was kept in a shaking incubator at 50 °C for 6 hours, and after this procedure, it was filtered into a balloon jug with the help of blotting paper. Then the solvent was added again and left for another 6 hours. After the filtration process was completed, the filtered samples were taken to the rotary evaporator (Heindolph LABOROTA 4011) to remove the solvent. In order to remove the water in the samples, they were kept in a lyophilizer (Thermo Savant) at -54 °C for 8 hours. After the lyophilization process, the samples were scraped from Petri dishes with the help of a spatula and transferred to glass bottles. The samples were stored at -20 °C until they were used during the experiment [15].

### 2.3. Determination of antioxidant activity

#### 2.3.1 DPPH free radical scavenging activity

Extract solutions of different concentrations (0.2 mg/mL, 0.4 mg/mL, 0.8 mg/mL, 1.0 mg/mL) were added to 4 mL of DPPH (2,2-Diphenyl-1-Picryl hydrazil) (0,004%) solutions and incubated for 30 minutes at room temperature. After incubation, absorbance measurement was taken at 517 nm. Calculated IC<sub>50</sub> (half the maximum inhibitory concentration) values of each extract were determined [15].

#### 2.3.2 ABTS free radical scavenging activity

Extract solutions of different concentrations were added to 4.5 mL ABTS (2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) solution and incubated for 30 minutes at room temperature. After incubation, the absorbance at 734 nm was measured and the IC<sub>50</sub> value was calculated [16].

#### 2.3.3 Determination of total antioxidant Activity by $\beta$ -carotene/linoleic acid method

24 mL of  $\beta$ -carotene/linoleic acid solution was added to 1 mL of the extract solution and the initial absorbance at 470 nm was measured. It was then incubated at 50 °C for two hours. After incubation, the absorbance was measured at 470 nm and the total antioxidant activity (%AA) was calculated using the formula below [17].

$$\% \text{ AA} = [1 - (A_{S0} - A_{K0}) / (A_{S120} - A_{K120})] \times 100$$

A<sub>S0</sub> is the absorbance of the sample at minute 0, A<sub>K0</sub> is the absorbance of the control at minute 0, A<sub>S120</sub> is the absorbance of the sample at minute 120, and A<sub>K120</sub> is the absorbance of the control at minute 120.

#### 2.3.4 CUPRAC (copper ion reducing power) method

After adding 0.5 mL of the extract solution (1 mg/mL) dissolved in its solvent, onto 3 mL of CUPRAC solution (1 mL CuCl<sub>2</sub>, 1 mL Neocuproine, 1 mL ammonium acetate), it was left to incubate at room temperature for 30 minutes. It was measured at 450 nm after incubation. For the trolox equivalent (mg TE/g extract) results, the formula  $y = 0.078 - 0.0029x$  ( $R^2 = 0.992$ ) was used [18].

#### 2.3.5 FRAP ( $Fe^{+3}$ ion reducing power) assay

The extract solution was added to 2 mL of FRAP reagent solution (3.6 pH, 0.3 M acetate buffer, 10 mM TPTZ, and 20 mM FeCl<sub>3</sub>) and incubated for 30 minutes at room temperature. After incubation, absorbance was measured at 595 nm. For the trolox equivalent (mg TE/g extract) results, the formula  $y = 0.336 - 0.038x$  ( $R^2 = 0.9986$ ) was used [19].

### 2.4. Determination of enzyme inhibitory activity

#### 2.4.1 Acetylcholinesterase

It is based on the formation of a yellow-colored chromophore TNB (5-thio-2-nitrobenzoic acid) from the reaction of thiocholine with acetylcholinesterase hydrolysis of acetylthiocholine with DTNB (5,5-dithio-bis-2-nitrobenzoic acid). The resulting TNB is directly proportional to the AChE activity at 405 nm. 125  $\mu$ L of DTNB reagent (0.3 mM) and 25  $\mu$ L of anticholine esterase (0.026 U/mL) enzyme solution were mixed onto 50  $\mu$ L (1 mg/mL) extract solution and incubated at 25 °C for 15 minutes. To initiate the reaction, 25  $\mu$ L of acetylthiocholine iodide (ATCI) substrate (1.5 mM) was added and incubated at 25 °C for 10 minutes. After incubation, the absorbance value at 405 nm was measured and the % inhibition (AA) was calculated using the following formula [20].

$$\% \text{ AA} = [(A_k - A_s) / A_k] \times 100$$

$A_k$  is the absorbance value of the control and  $A_s$  is the absorbance value of the extract.

#### 2.4.2 Tyrosinase

Tyrosinase inhibitor activity will be carried out using L-DOPA as a substrate. 40  $\mu$ L of extract solution was taken from 120  $\mu$ L of phosphate buffer (20 mM pH: 6.8 phosphate buffer) and 20  $\mu$ L of tyrosinase enzyme (480 U/mL) solution, mixed and incubated at 25 °C for 15 minutes. After incubation, 20  $\mu$ L of L-DOPA (2.5 mM) was added and incubated at 25 °C for another 10 minutes. After incubation, absorbance values were measured at 492 nm and % inhibition (AA) values were calculated using the following formula [21].

$$\% \text{ AA} = [(A_k - A_s) / A_k] \times 100$$

$A_k$  is the absorbance value of the control and  $A_s$  is the absorbance value of the extract.

### 2.5. Quantification analysis of extracts

#### 2.5.1 Determination of total phenolic content

1 mL of FCR (Folin- ciacelciu Reagent) and 46 mL of distilled water were added to the extract solution and kept at room temperature for 3 minutes. Afterward, 3 mL of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  solution was added and incubated at room temperature for two hours. After incubation, its absorbance was measured at 760 nm. For the gallic acid equivalent (mg GAE/g extract) results, the formula  $y=0.0033-0.0002$  ( $R^2=0.9826$ ) was used [22].

#### 2.5.2 Determination of total flavonoid content

After adding 0.2 mL of sodium acetate, 1 mL of aluminum chloride, and 5.6 mL of distilled water to the extract solution, it was incubated at room temperature for 30 minutes. After incubation, its absorbance was measured at 415 nm. For the quercetin equivalent (mg QE/g extract) results, the formula  $y=0,0737+0,0369$  ( $R^2=0,997$ ) was used [23].

### 2.6. Statistical analysis

All assays were performed in 3 replicates. The mean  $\pm$  standard error was analyzed with Microsoft Excel. In studies conducted to determine free radical scavenging activity, the  $\text{IC}_{50}$  value was calculated using the Minitab 16 statistical program.

### 3. Results and discussion

Due to the search for new resources in the pharmaceutical industry, modern science is investigating all possible origins. The potential antioxidant activities of natural products have been a source of interest for researchers due to their use as additives and preservatives in food, medicine, and cosmetics [24]. Antioxidant activities of aerial and bulb methanol extracts obtained from *O. nutans* species were determined using DPPH, ABTS,  $\beta$ -carotene/linoleic acid, CUPRAC, and FRAP methods (Table 1). DPPH and ABTS free radical scavenging activities were determined by calculating  $\text{IC}_{50}$  values. A low  $\text{IC}_{50}$  value indicates high radical scavenging activity. Both methods showed higher activity than the standard BHA extracts. The aerial part extract ( $1.82 \pm 0.126 / 0.32 \pm 0.007$  mg/mL,  $\text{IC}_{50}$ , respectively) showed higher scavenging activity in both methods than the bulb extract. In terms of % inhibition values of the extracts, it is lower than standard BHA ( $94.98 \pm 0.70$  %). However, it was determined that the aerial extract ( $50.00 \pm 1.24$  %) exhibited a higher % inhibition than the bulb extract ( $36.67 \pm 2.30$  %). CUPRAC of the extract were calculated as trolox equivalent. The aerial extract ( $4.59 \pm 0.03 / 0.78 \pm 0.04$  mg TE/g, respectively) was determined to have a higher reducing power capacity.



Table 1. Antioxidant activity of bulb and aerial methanol extract of *O. nutans*

Solvent/Assay	DPPH (IC <sub>50</sub> , mg/mL)	ABTS (IC <sub>50</sub> , mg/mL)	β-carotene/ linoleic acid (%)	FRAP (mg TE/g)	CUPRAC (mg TE/g)
Bulb	2.11±0.004	0.83±0.007	36.67±2.30	0.38±0.01	1.10±0.02
Aerial	1.82±0.126	0.32±0.007	50.00±1.24	0.78±0.04	4.59±0.03
BHA	0.01±0.02	0.019±0.001	94.98±0.70	-	-

In a study, DPPH and ABTS free radical scavenging activities of *O. lanceolatum* ethanolic (80%) extract were investigated. They determined that the aerial extract (12.53±0.03/11.08±0.01 mg/mL, IC<sub>50</sub>, respectively) exhibited higher antioxidant activity than the bulb extract [25]. Aydın (2020) determined that the total antioxidant capacity of the extract obtained from the root and flower parts of *O. umbelletum* was the highest at 105.50±0.025 µg AAE/mL [26]. Renda et al. (2018) [27] determined in their study that the extract obtained from the aerial parts of *O. orthophyllum* exhibited higher free radical scavenging activity than other extracts. In a study, *O. sintenisii* revealed that the free radical scavenging activities of aerial and bulb methanol extracts were 368 ± 15 µg/mL, IC<sub>50</sub> and 669 ± 25 µg/mL, IC<sub>50</sub>, respectively [28]. Zengin et al. (2015) [29] investigated the antioxidant activities of the extracts obtained from different parts of *O. narbonense* with three different solvents in their study. They revealed that the bulb ethyl acetate extract exhibited the highest antioxidant activity for most studies. In a study, the antioxidant activities of *O. sigmoideum* hexane, ethanol, and water extracts were determined by CUPRAC and ABTS experiments. The highest free radical scavenging activity was observed in the water extract (106.01 ± 0.42 µg/mL, IC<sub>50</sub>). They determined that the highest activity in terms of copper-reducing power capacity was in the ethanol extract (190.03 ± 0.04 µg/mL, A<sub>0.50</sub>) [30]. In a study, the antioxidant activity (β-carotene, DPPH) of *O. alpigenum* aerial and bulb methanol, ethanol, acetone, and benzene extracts was investigated. Methanol extracts (88.12 ± 0.9 %) exhibited high activity [31]. Taşkın et al., (2021) [32] investigated the antioxidant activity (DPPH, ABTS, FRAP, CUPRAC) of *O. orthophyllum* extracts obtained with different solvents in their study. The aerial methanol extract has high antioxidant activity. Our study is supported by other studies in the literature.

Table 2. Acetylcholinesterase enzyme inhibitory activity of the extracts

Plant/Standart	25 µg/mL	50 µg/mL	100 µg/mL	200 µg/mL
Bulb	11.25±0.10	20.31±0.18	34.73±0.32	48.67±0.70
Aerial	-	-	12.55±0.25	21.45±0.17
Galantamine	73.09±0.05	79.08±0.47	84.76±0.08	89.41±0.05

Acetylcholinesterase and tyrosinase enzyme inhibitory activities of the extracts were determined (Table 2 and Table 3). In enzyme inhibitor studies, the % inhibition value increases depending on the increase in concentration. Aerial and bulb extracts showed lower % inhibition compared to galantamine (89.41±0.05 %) and kojic acid (73.93±0.10%) used in the studies. The bulb extract (48.67±0.70 %) showed higher acetylcholinesterase enzyme inhibition activity than the aerial extract (21.45±0.17 %). At low concentrations of tyrosinase enzyme inhibition activity, both extracts didn't exhibit an inhibitory activity. The aerial extract (25.54±0.40 %) exhibited a higher tyrosinase enzyme inhibitory activity than the bulb (21.47±0.31 %) extract.

Table 3. Tyrosinase enzyme inhibitory activity of the extracts

Plant/Standart	25 µg/mL	50 µg/mL	100 µg/mL	200 µg/mL
Bulb	-	-	12.66±0.20	21.47±0.31
Aerial	-	-	14.80±0.27	25.54±0.40
Kojic acid	45.52±0.14	54.81±0.17	61.73±0.05	73.93±0.10

In a study, the tyrosinase enzyme inhibitory activity of *O. narbonense* extracts was determined. Bulb ethyl acetate extract (33.88 mg KAEs/g extract) showed the highest activity, followed by root (21.46 mg KAEs/g extract) and seed ethyl acetate (15.78 mg KAEs/g extract) extract [29]. Kurt et al., (2018) [30] investigated the acetylcholinesterase (AChE) and butyrylcholinesterase (BChE) enzyme inhibitory activities of *O. sigmoideum* extracts prepared with three different solvents (hexane, ethanol, water). In the studies, ethanol (154.01 ± 0.93 µg/mL, IC<sub>50</sub>) and hexane (40.85 ± 0.68 µg/mL, IC<sub>50</sub>) extract showed the highest activity, respectively. In a study, urease, and acetylcholinesterase enzyme inhibitory activities of *O. orthophyllum* extracts obtained with three different solvents were determined. Petroleum ether (0.038±0.019 mg/mL, IC<sub>50</sub>) extract showed the highest urease inhibitory activity. The methanol extract (0.019±0.008 mg/mL, IC<sub>50</sub>) showed the highest AChE inhibitory activity [32].

Total phenolic and flavonoid amounts of the methanol extracts of *O. nutans* species obtained from bulb and aerial were determined (Table 4).

Table 4. Total phenolic and flavonoid amount of bulb and aerial methanol extract of *O. nutans* species

Plant/Assay	Total Phenolic (mg GAE/g)	Total Flavonoid (mg QE/g)
Bulb	1,43±0,01	0,33±0,01
Aerial	3,05±0,04	1,79±0,02

The amounts of phenolic substances were found as gallic acid equivalents. The total flavonoid amount was determined as quercetin equivalent. While the total phenolic content of the extracts ranged between 1.43±0.01/3.05±0.04 mg GAE/g extract

equivalent, the total flavonoid amount varied between  $0.33\pm 0.01/1.79\pm 0.02$  mg QE/g. In a study, the total phenolic and flavonoid content of *O. lanceolatum* ethanolic (80 %) extract obtained from bulb and aerial was investigated. They found that the aerial extract contained higher phenolics ( $835\pm 79$  mg GAE/100 g) and flavonoids ( $886\pm 91$  mg QE/100 g) [25]. In a study, they determined the total phenolic and flavonoid amounts of the methanol extract (80%) obtained from the shoot of *O. narbonense* as  $173.26\pm 13.5$  µg/mL gallic acid and  $22.13\pm 0.9$  µg/mL quercetin equivalent, respectively [33]. In their study, they determined that the total phenolic content of the extract obtained from the root and flower parts of *O. umbelletum* was  $19.26\pm 0.001$  µg GAE/mL, and  $18.96\pm 0.001$  µg GAE/mL, respectively [26]. Renda et al. (2018) [27] determined the total phenolic content of three different *Ornithogalum* L. species in a study they conducted. They revealed that the aerial extract of *O. orthophyllum* (11.0 mg GAE/g extract) had the highest phenolic content. In a study, the total phenolic content of ethyl acetate, methanol, and water extracts obtained from stems, bulbs, and seeds was determined. It was determined that the highest content was in the bulb ethyl acetate extract (21.05 mg GAEs/g extract) [29]. The aerial extract has a higher amount of substance than the bulb extract. There is a positive correlation between phenolic compounds and antioxidant activity [34-35]. Phenolic compounds can quench radicals because they contain one or more hydroxyl groups in their structure. However, the amount of phenolic does not directly affect antioxidant activity. Flavonoids are secondary metabolites that can show different antioxidant properties depending on the location of the hydroxyl groups in their structures [36-37]. Different properties of the material, such as chemical or physical, whose antioxidant activity is determined, may also have an effect. Within the scope of the study, there is a positive correlation between the total phenolic content of bulb and aerial extracts and their antioxidant activities.

#### 4. Conclusion

The antioxidant and enzyme inhibitory activities of the aerial and bulb methanol extracts of *O. nutans*, as well as the total phenolic and flavonoid amounts were evaluated. There is a correlation between the total phenolic and flavonoid amounts and the higher antioxidant activity of the aerial extract than the bulb extract. *O. nutans* revealed that surface and underground methanol extracts are species that can be evaluated in future pharmacological studies due to their antioxidant and enzyme inhibitory activities. This study will contribute to the literature for the next detailed molecular biological studies. This study will contribute to future literature studies.

#### Acknowledgments

This study was supported by TUBITAK as a 2209 A license project. (Project number: 1919B012102441).

#### References

- [1] Şekercioğlu, Ç. H., Anderson, S., Akçay, E., Bilgin, R., Can, Ö. E., Semiz, G., Tavşanoğlu, Ç., Yokeş, M. B., Soyumert, A., İpekdağ, K., Sağlam, İ. K., Yücel,

- M. And Dalfes H. N., Turkey's globally important biodiversity in crisis, **Biological Conservation**, 144(12), 2752-2769, (2011).
- [2] Gross, M., Turkey's biodiversity at the crossroads, **Current Biology**, 22(13), R503-R505, (2012).
- [3] Demir, A., Sürdürülebilir gelişmede yükselen değer; biyolojik çeşitlilik açısından Türkiye değerlendirmesi, **İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 12(24), 67-74, (2013).
- [4] Wachtel-Galor, S., and Benzie, I. F., **Herbal Medicine**. CRC Press, 1, New York, (2011).
- [5] Plančić, M., Božin, B., Kladar, N., Rat, M., and Srđenović, B., Phytochemical profile and biological activities of the genus *Ornithogalum* L. (Hyacinthaceae), **Biologia Serbica**, 36 (1-2), 3-17, 2015.
- [6] Güven, A., and Gürsul, I., Bitki doku kültürlerinde sekonder metabolit sentezi, **Gıda**, 39(5), 299-306, (2014).
- [7] Tiring, G., Satar, S., and Özkaya, O., Sekonder Metabolitler, **Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, 35(1), 203-215, (2020).
- [8] Aydın, Ç., Özay, C., and Mammadov, R., Türkiye’de yayılış gösteren *Cyclamen* L. türleri üzerinde yapılan çalışmalar. **Hacettepe University Journal of Faculty of Pharmacy**, 34(2), 96-112, (2014).
- [9] Dumanović, J., Nepovimova, E., Natić, M., Kuča, K., and Jačević, V., The significance of reactive oxygen species and antioxidant defense system in plants: a concise overview, **Frontiers in Plant Science**, 11, 552969, (2021).
- [10] Sargın, S., Selvi, S., Akçiçek, E., Alaşehir (Manisa) ve çevresinde yetişen bazı geofitlerin etnobotanik açıdan incelenmesi, **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi**, 29 (2), 170-178, (2013).
- [11] Uysal, T., Ertuğrul, K., and Dural, H., A new species of *Ornithogalum* (Liliaceae) from south Anatolia, Turkey, **Botanical Journal of the Linnean Society**, 148(4), 501-504, (2005).
- [12] Meriç, Ç., Aksoy, Ö., and Dane, F., Morphological and anatomical contributions to the taxonomical identification of two *Ornithogalum* taxa (*O. nutans* and *O. boucheanum*) from Flora of Turkey, **Biologia**, 66(1), 68-75, (2011).
- [13] Yılmaz, G., Seed micromorphology of *Ornithogalum refractum* and *Ornithogalum fimbriatum* Hyacinthaceae from Turkey, **Biyolojik Çeşitlilik ve Koruma**. 7(2), 110-114, (2014).
- [14] Atay, M. Ö., Ardıl, B., Alper, M., and Ceylan, O., Determination of toxic and anthelmintic activities of *Ornithogalum nutans* L., *Sternbergia lutea* (L.) Ker-Gawl. ex Spreng. and *Allium stylosum* O. Schwarz, **Natural Products and Biotechnology**, 1(1), 38-48, (2021).
- [15] Turan, M., and Mammadov, R., Antioxidant, antimicrobial, cytotoxic, larvicidal and anthelmintic activities and phenolic contents of *Cyclamen alpinum*, **Pharmacology & Pharmacy**, 9(04), 100, (2018).
- [16] Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., and Rice-Evans, C., Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay, **Free Radical Biology and Medicine**, 26(9-10), 1231-1237, (1999).
- [17] Amarowicz, R., Pegg, R. B., Rahimi-Moghaddam, P., Barl, B., and Weil, J. A., Free-radical scavenging capacity and antioxidant activity of selected plant species from the Canadian prairies, **Food Chemistry**, 84(4), 551-562, (2004).
- [18] Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M., and Karademir, S. E., Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric

- ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC method, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 52(26), 7970-7981 (2004).
- [19] Benzie, I. F., and Strain, J. J., The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: the FRAP assay, **Analytical Biochemistry**, 239(1), 70-76, (1996).
- [20] Ellman, G. L., Courtney, K. D., Andres Jr, V., and Featherstone, R. M., A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity, **Biochemical Pharmacology**, 7(2), 88-95, (1961).
- [21] Sharaf, O. Z. and Orhan, M. F., An overview of fuel cell technology: Fundamentals and application, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 32, 810-853, (2014).
- [22] Singleton, V. L., and Rossi, J. A., Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents, **American Journal of Enology and Viticulture**, 16(3), 144-158, (1965).
- [23] Aryal, B., and Suárez, Y., Non-coding RNA regulation of endothelial and macrophage functions during atherosclerosis, **Vascular Pharmacology**, 114, 64-75, (2019).
- [24] Rat, M. M., Gavarić, N. S., Kladar, N. V., Andrić, A. M., Anackov, G. T., and Božin, B. N., The phenolics of the *Ornithogalum umbellatum* L. (Hyacinthaceae): phytochemical and ecological characterization, **Chemistry & Biodiversity**, 13(11), 1551-1558, (2016).
- [25] Temiz, M. A. Investigation of phenolic composition, antioxidant capacity, and antidiabetic effect of *Ornithogalum lanceolatum* L.: An in vitro study, **International Journal of Secondary Metabolite**, 8(2), 94-103, (2021).
- [26] Aydin, S., Total phenolic content, antioxidant, antibacterial and antifungal activities, FT-IR analyses of *Brassica oleracea* L. var. *acephala* and *Ornithogalum umbellatum* L, **Genetika**, 52(1), 229-244, (2020).
- [27] Renda, G., Özel, A., Turumtay, E. A., Barut, B., Korkmaz, B., Ayvaz, M. Ç., and Demir, A., Comparison of phenolic profiles and antioxidant activity of three *Ornithogalum* L. species, **Turkish Journal of Biochemistry**, 44(3), 299-306, (2019).
- [28] Ebrahimzadeh, M. A., Nabavli, S. M., Nabavli, S. F., and Eslami, B., Antioxidant activity of the bulb and aerial parts of *Ornithogalum sintenisii* L (Liliaceae) at flowering stage, **Tropical Journal of Pharmaceutical Research**, 9(2), 141-148, (2010).
- [29] Zengin, G., Uysal, S., Ceylan, R., and Aktumsek, A., Phenolic constituent, antioxidative and tyrosinase inhibitory activity of *Ornithogalum narbonense* L. from Turkey: A phytochemical study, **Industrial Crops and Products**, 70, 1-6, (2015).
- [30] Kurt, B. Z., Gazioğlu, I., Sevgi, E., and Sönmez, F., Anticholinesterase, antioxidant, antiaflatoxigenic activities of ten edible wild plants from Ordu area, Turkey, **Iranian Journal of Pharmaceutical Research: IJPR**, 17(3), 1047, (2018).
- [31] Makasçı, A. A., Mammadov, R., Düşen, O., and Işık, H., Antimicrobial and antioxidant activities of medicinal plant species *Ornithogalum alpigenum* stapf. from Turkey, **Journal of Medicinal Plants Research**, 4(16), 1637-1642, (2010).
- [32] Taşkın, D., Şentürk, Ş., Güler, E. M., Doğan, A., Omurtag, G. Z., Ermanoğlu, M., and Taşkın, T., Biological activities of the *Ornithogalum orthophyllum* and its in silico ADMET profile. **Traditional Medicine Research**, 6(6), (2021).

- [33] Gönel, A., Akdağ, A., and Yilmaz, M. A., Identification of phenolic compounds, antioxidant activity and anti-cancer effects of the extract obtained from the shoots of *Ornithogalum narbonense* L., **Cellular and Molecular Biology**, 64(1), 75-83, (2018).
- [34] Lim, T.Y., Lim, Y.Y., and Yule, C.M., Evaluation of antioxidant, antibacterial and anti-tyrosinase activities of four *Macaranga* species, **Food Chemistry**, 114 (2), 594–599, (2009).
- [35] Delazar, A., Nazifi, E., Movafeghi, A., Nazemiyeh, H., Hemmati, S., Nahar, L., and Sarker, S. D., Analyses of phytosterols and free radical scavengers in the bulbs of *Ornithogalum cuspidatum* Bertol, **Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas**, 9(2), 87-92, (2010).
- [36] Stankovic, M.S., Total phenolic content, flavonoid concentration, and antioxidant activity of *Marrubium peregrinum* L. extracts, **Kragujevac Journal of Sciences**, 33, 63-72, (2011).
- [37] Baba, S. A., and Malik, S. A., Determination of total phenolic and flavonoid content, the antimicrobial and antioxidant activity of a root extract of *Arisaema jacquemontii* Blume, **Journal of Taibah University for Science**, 9(4), 449-454, (2015).

# Comprehensive checklist and distribution analysis of marine harpacticoids in Türkiye coastal waters

Alper KABACA\*

Balıkesir University, Necatibey Faculty of Education, Department of Biology Education, Balıkesir

Geliş Tarihi (Received Date): 15.08.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 09.10.2023

## Abstract

This study aims to provide a comprehensive checklist of marine harpacticoid copepod species found in Turkish coastal waters. The study encompasses a detailed list comprising 247 species/subspecies, 34 families, and 113 genera. Families with the highest number of species are Miraciidae (43 species), Ameiridae (37 species), Laophontidae (31 species), Ectinosomatidae (23 species), and Paramesochridae (12 species). The remaining families contain fewer than 10 species each. The distribution of species and genera highlights the Aegean Sea as the most diverse, hosting 195 species/subspecies. It is followed by the Sea of Marmara (107 species), the Mediterranean (43 species), and the Black Sea (30 species). Notably, five species including *Canuella perplexa*, *Ectinosoma melaniceps*, *Eoschizopera (Praeoschizopera) gligici*, *Euterpina acutifrons*, and *Microsetella rosea* are recorded across all four seas of Türkiye. In conclusion, this study presents a resource that could contribute to faunistic and ecological studies aiming to comprehend marine harpacticoid diversity along Turkish coasts.

**Keywords:** Taxonomy, biodiversity, copepoda, meiofauna

## Türkiye kıyı suları denizel harpaktikoidlerinin kapsamlı kontrol listesi ve dağılım analizi

### Öz

Bu çalışma, Türkiye kıyı sularında bulunan denizel harpaktikoid kopepod türlerinin kapsamlı bir kontrol listesini sağlamayı amaçlamaktadır. Çalışma, 247 tür/alt tür, 34 familya ve 113 cinsten oluşan ayrıntılı bir liste içermektedir. En fazla tür içeren familyalar Miraciidae (43 tür), Ameiridae (37 tür), Laophontidae (31 tür), Ectinosomatidae (23 tür) ve Paramesochridae'dir (12 tür). Kalan familyaların her biri 10'dan az tür içerir. Türlerin ve cinslerin dağılımı, 195 tür/alt tür barındıran Ege

\*Alper KABACA, alper.kabaca.10@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8090-471X>

*Denizi'nin en çeşitli olduğunu göstermektedir. Bunu Marmara Denizi (107 tür), Akdeniz (43 tür) ve Karadeniz (30 tür) izlemektedir. Türkiye'nin dört denizinde Canuella perplexa, Ectinosoma melaniceps, Eoschizopera (Praeoschizopera) gligici, Euterpina acutifrons ve Microsetella rosea olmak üzere beş tür kayda değerdir. Sonuç olarak bu çalışma, Türkiye kıyılarındaki denizel harpaktikoid çeşitliliğini anlamaya yönelik faunistik ve ekolojik çalışmalara katkı sağlayabilecek bir kaynak sunmaktadır.*

**Anahtar kelimeler:** Taksonomi, biyoçeşitlilik, kopepoda, mayofauna

## 1. Introduction

Faunal checklists play a role in facilitating taxonomic studies by offering up to date data. These data include the latest and most precise scientific nomenclature for organisms within the targeted taxonomic group. Additionally, they encompass a comprehensive evaluation of the undertaken research thus far. Moreover, these checklists often encompass tools for identification, such as identification keys [1], accompanied by a variety of photographs [2] and illustrations [3] designed to simplify the identification process. These resources are further enriched with novel findings [4] and taxonomic revisions [5].

The main purpose of most checklists is to compile an inventory of species belonging to the focal organism group within a specific geographic region [6-10]. This attempt fosters a deeper comprehension of ecological dynamics [11] and extends support to the foundational framework essential for conservation biology research. Therefore, establishing comprehensive faunal checklists assumes paramount importance in strategizing species conservation initiatives at local and regional scales [12].

Copepods are a group of micro-crustaceans that live abundant in aquatic ecosystems, encompassing free-living, parasitic, and symbiotic forms in association with various organisms. Among the free-living copepods, the order Harpacticoida assumes prominence in marine benthic habitats, showcasing a remarkable array of body adaptations modified for diverse environmental conditions [13]. Notably, Wells [5] provided an identification key detailing around 4400 harpacticoid species, encompassing 671 genera within 58 families. Subsequently, Ah Yong et al., [14] observed a significant growth in taxonomic richness, reporting approximately 6000 harpacticoid species distributed across 645 genera within 59 families in their investigation conducted five years later.

Faunistic studies of marine harpacticoids along the coasts of Türkiye have primarily focused on specific regions e. g., [6-10, 15]. The primary aim of these studies is to elucidate the diversity of harpacticoids inhabiting these areas. These investigations yield valuable materials that contribute not only to identifying new records along the Turkish coastlines [8, 10] but also to the description of novel species [16, 17]. In addition to faunistic studies, taxonomic revisions have been undertaken concerning marine harpacticoids in Türkiye [18, 19], encompassing redescriptions of previously characterized species [20, 21]. Also, ecological investigations along the Turkish coasts have furnished insights into the ecological attributes of harpacticoid copepods [22, 23].



Apart from these diverse studies, a singular checklist study has embraced the marine harpacticoids of Türkiye [24]. This comprehensive effort documented a total of 146 harpacticoid species/subspecies distributed along the Turkish coasts. Subsequent to 2014, a plethora of new articles has surfaced, contributing over a hundred novel records to the Turkish faunal compilation. Furthermore, taxonomic revisions have prompted updates to the systematic classification of species documented in earlier studies. Consequently, an updated checklist of Turkish marine harpacticoids emerges as a relevant effort aimed at enhancing our understanding of the local biodiversity.

## 2. Materials and methods

### 2.1 Data collection

Data compilation encompassed a comprehensive review of 52 previously published articles centred on marine harpacticoids in Türkiye. These articles were meticulously obtained and categorized based on their primary focus. Fourteen of these studies contributed to faunistic insights [6-10, 15, 25-32], while thirteen studies were dedicated to the description of novel species from Turkish waters [16-18, 33-42]. Four studies were dedicated to revisions [19, 43-45], two for redescriptions [20, 21] and two explored ecological dimensions [22, 23].

In Table 1, species are accurately arranged in alphabetical order within the taxonomic hierarchy. Corresponding seas where these species were identified are documented in the adjacent column. The final column provides the relevant reference for each species. Notably, this checklist exclusively features species-level records from the pertinent literature, thereby omitting genus-level entries.

### 2.2 Data analysis

Türkiye's coasts are surrounded by four distinct seas: the Black Sea, the Sea of Marmara, the Aegean Sea, and the Mediterranean Sea. To acquire knowledge about the distribution patterns of marine harpacticoids in Türkiye, illustrative pie, and column charts, depicting the species count within these seas, have been incorporated.

## 3. Results

The checklist comprises 247 marine harpacticoid copepod species/subspecies, encompassing 34 families and 113 genera (Table 1). In terms of genera, the family Miraciidae was found to be the most diverse group (20 genera), followed by Ameiridae (14 genera), Laophontidae (10 genera), Ectinosomatidae (9 genera), Leptastacidae (7 genera), Paramesochridae (6 genera), Parastenheliidae (4 genera), Arenopontiidae, Canthocamptidae, Dactylopusiidae, Peltidiidae, Tetragnonicipitidae, Thalestridae, and Tisbidae (3 genera each). Moreover, Cletodidae and Idyanthidae encompass 2 genera each, while the remaining families are represented by only 1 genus.

In terms of species diversity (Fig. 1), the family Miraciidae maintains its distinction as the most diverse family, housing 43 species/subspecies. Following this, Ameiridae presents 37 species/subspecies, Laophontidae accounts for 31 species/subspecies, and Ectinosomatidae records 23 species. The remaining families contain fewer than 10 species/subspecies each. Among genera, *Ameira* exhibits the highest diversity with 9 species/subspecies, succeeded by *Harpacticus* (8 species), *Laophonte* and *Nitokra* (7

species each), *Heterolaophonte*, *Sarsamphiascus*, and *Phyllopodopsyllus* (6 species each). The remaining genera encompass 4 or fewer species/subspecies.

Table 1. Checklist of marine harpacticoid copepods of Türkiye: key references; AS: Aegean Sea; SM: Sea of Marmara; BS: Black Sea; MS: Mediterranean Sea.

Group/Species	Locality	References
HARPACTICOIDA (Order)	-	-
AMEIRIDAE Boeck, 1865	-	-
<i>Ameira aff. spinipes</i> Nicholls, 1939	AS	[23]
<i>Ameira atlantica mediterranea</i> Kunz, 1975	AS, SM	[9, 10]
<i>Ameira atlantica</i> Noodt, 1958	AS	[7, 8]
<i>Ameira divagans</i> Nicholls, 1939	SM	[9]
<i>Ameira longipes</i> Boeck, 1865	AS, SM	[6]
<i>Ameira minuta</i> Boeck, 1865	AS	[10]
<i>Ameira parvula</i> (Claus, 1866)	AS, SM, BS	[6-10, 15, 22, 23]
<i>Ameira reducta</i> Petkovski, 1954	AS, SM	[9]
<i>Ameira tenuicornis</i> Scott T., 1902	AS	[8, 32]
<i>Ameiropsis reducta</i> Apostolov, 1973	AS	[7, 10]
<i>Filexilia attenuata</i> (Thompson I.C., 1893)	AS	[6, 10]
<i>Filexilia brevipes</i> (Kunz, 1954)	AS	[9, 10, 23]
<i>Filexilia intermedia</i> (Galhano, 1970)	MS	[9]
<i>Filexilia marinovi</i> Conroy-Dalton & Huys, 1997	AS, SM	[8-10, 23]
<i>Interleptomesochra attenuata</i> (Scott A., 1896)	AS	[6]
<i>Leptomesochra eulitoralis</i> Noodt, 1952	AS	[10, 23]
<i>Leptomesochra infima</i> Monard, 1928	AS	[32]
<i>Nitokra affinis</i> Gurney, 1927	AS, SM	[7, 9, 10]
<i>Nitokra cari</i> Petkovski, 1954	AS, SM	[9, 23]
<i>Nitokra hibernica</i> (Brady, 1880)	MS	[46]
<i>Nitokra pontica</i> Jakubisiak, 1938	AS	[10]
<i>Nitokra sewelli</i> Gurney, 1927	AS	[9]
<i>Nitokra spinipes</i> Boeck, 1865	AS, SM	[6, 10, 15]
<i>Nitokra typica</i> Boeck, 1865	AS, SM	[8-10, 23]
<i>Parevansula elegans</i> (Marinov, 1974)	AS	[7]
<i>Parevansula mediterranea</i> Guille & Soyer, 1966	AS	[10]
<i>Proameira psammophila</i> Wells, 1963	AS	[23]
<i>Pseudameira breviseta</i> Klie, 1950	AS	[9, 32]
<i>Pseudoameiropsis suphankaraytugi</i> Sönmez, 2019	MS	[41]
<i>Pseudoleptomesochrella halophila</i> (Noodt, 1952)	AS, SM, BS	[9, 10, 20, 23]
<i>Pseudoleptomesochrella marina</i> (Chappuis & Rouch, 1961)	AS	[32]
<i>Psyllocamptus eridani</i> Ceccherelli, 1988	AS, SM	[8-10, 32]
<i>Psyllocamptus minutus</i> Sars G.O., 1911	SM	[6, 10, 15]
<i>Psyllocamptus propinquus</i> (Scott T., 1895)	AS	[8]
<i>Psyllocamptus tahuesensis</i> Gómez, 2002	AS	[8]
<i>Sarsameira parva</i> (Boeck, 1873)	BS	[47]

<i>Sicameira leptoderma</i> Klie, 1950	AS	[23]
ANCORABOLIDAE Sars G.O., 1909		
<i>Bicorniphontodes bicornis</i> (Scott A., 1896)	SM	[15]
ARENOPONTIIDAE Martínez Arbizu & Moura, 1994	-	-
<i>Arenopontia nesaie</i> Cottarelli, 1975	AS, SM	[8-10, 19, 23]
<i>Arenopontia subterranea</i> Kunz, 1937	AS, SM	[7, 15]
<i>Neoleptastacus acanthus</i> Chappuis, 1954	AS	[7-9, 32]
<i>Psammoleptastacus barani</i> Sak, Huys & Karaytuğ, 2008	AS, SM, BS	[8-10, 19]
CANTHOCAMPTIDAE Brady, 1880	-	-
<i>Mesochra aestuarii</i> Gurney, 1921	BS	[48, 49]
<i>Mesochra pygmaea</i> (Claus, 1863)	AS, SM	[8-10, 15]
<i>Nannomesochra arupinensis</i> (Brian, 1925)	AS, SM	[7, 15]
<i>Nannomesochra erythraiensis</i> Alper, Karaytuğ & Sak, 2023	AS	[45]
<i>Nannomesochra gebekumensis</i> Alper, Karaytuğ & Sak, 2023	AS	[45]
<i>Nannomesochra giziri</i> Alper, Karaytuğ & Sak, 2023	MS	[45]
<i>Taurocletodes tumenae</i> Karaytuğ & Huys, 2004	AS, BS	[10, 18, 23]
CANUELLIDAE Lang, 1944	-	-
<i>Canuella furcigera</i> Sars G.O., 1903	AS, MS	[31, 50]
<i>Canuella perplexa</i> Scott T. & Scott A., 1893	AS, SM, BS, MS	[6, 31, 46, 51]
CLETODIDAE Scott T., 1904	-	-
<i>Cletodes longicaudatus</i> (Boeck, 1872)	AS	[23]
<i>Cletodes spinulipes</i> Por, 1967	AS	[7]
<i>Enhydrosoma propinquum</i> (Brady, 1880)	SM	[15]
<i>Enhydrosoma serdarsaki</i> Sönmez, Yıldız & Karaytuğ, 2019	BS	[42]
CLETOPSYLLIDAE Huys & Willems, 1989	-	-
<i>Isocletopsyllus tertius</i> (Por, 1964)	AS	[31]
CYLINDROPSYLLIDAE Sars G.O., 1909	-	-
<i>Stenocaris gracilis</i> Sars G.O., 1909	AS	[23]
<i>Stenocaris minor</i> (Scott T., 1893)	AS	[23]
DACTYLOPUSIIDAE Lang, 1936	-	-
<i>Dactylopusia micronyx</i> Sars G.O., 1905	AS	[6]
<i>Dactylopusia tisboides</i> (Claus, 1863)	AS, SM	[7, 8, 15, 27]
<i>Diarthrodes aegidaeus</i> (Brian, 1927)	AS	[8]
<i>Diarthrodes brevipes</i> Wells & Rao, 1987	AS	[7]
<i>Diarthrodes ponticus</i> (Krichagin, 1877)	AS	[7, 8]
<i>Diarthrodes pygmaeus</i> (Scott T. & Scott A., 1895)	SM	[15]
<i>Paradactylopodia brevicornis</i> (Claus, 1866)	AS, SM	[8, 15, 27]
DARCYTHOMPSONIIDAE Lang, 1936	-	-
<i>Leptocaris biscayensis</i> (Noodt, 1955)	AS, SM, MS	[8-10, 23, 32, 35]
<i>Leptocaris emekdasi</i> Köroğlu, Kuru & Karaytuğ, 2015	AS, MS	[35]
<i>Leptocaris igneus</i> Cottarelli & Baldari, 1982	AS, MS	[35]
<i>Leptocaris insularis</i> (Noodt, 1958)	AS	[10]
ECTINOSOMATIDAE Sars G.O., 1903	-	-
<i>Arenosetella germanica</i> Kunz, 1937	AS, SM, MS	[6, 7, 9, 10, 23, 29]

<i>Arenosetella lanceorostrata</i> Sönmez, Sak & Karaytuğ, 2016	AS, SM, MS	[9, 23, 38]
<i>Arenosetella tenuissima</i> (Klie, 1929)	AS	[7]
<i>Bradyellopsis subniger</i> Brian, 1925	SM	[15]
<i>Ectinosoma dentatum</i> Steuer, 1940	SM	[15]
<i>Ectinosoma melaniceps</i> Boeck, 1865	AS, SM, BS, MS	[6, 9, 10, 15, 22, 29, 46]
<i>Ectinosoma normani</i> Scott T. & Scott A., 1896	SM	[15]
<i>Ectinosoma reductum</i> Bozic, 1955	AS, SM, MS	[8-10, 29]
<i>Ectinosoma soyeri</i> Apostolov, 1975	AS, SM, MS	[7-10, 23, 29]
<i>Glabrotelson bodini</i> (Apostolov, 1974)	AS, MS	[7, 8, 10, 29]
<i>Glabrotelson bozici</i> (Soyer, 1974)	AS, MS	[23, 29]
<i>Glabrotelson leptoderma</i> (Klie, 1929)	AS	[23]
<i>Glabrotelson psammae</i> (Noodt, 1955)	AS, SM	[6]
<i>Halectinosoma herdmani</i> (Scott T. & Scott A., 1896)	AS, BS, MS	[10, 22, 29]
<i>Microsetella norvegica</i> (Boeck, 1865)	AS, SM, MS	[7-10, 23, 29, 31, 50, 52, 53, 54]
<i>Microsetella rosea</i> (Dana, 1847)	AS, SM, BS, MS	[9, 29, 52, 54-57]
<i>Noodtiella enertha</i> Lindgren, 1975	AS	[9]
<i>Noodtiella intermedia</i> Wells, 1967	SM	[9]
<i>Noodtiella wellsii</i> Apostolov, 1974	SM	[9]
<i>Pseudobradya beduina</i> Monard, 1935	SM	[15]
<i>Pseudobradya pelobates</i> Jakobi, 1954	AS	[32]
<i>Pseudobradya robusta</i> Sars G.O., 1910	AS	[32]
<i>Sigmatidium kunzi</i> Mielke, 1979	AS	[23]
HARPACTICIDAE Dana, 1846	-	-
<i>Harpacticus aff. obscurus</i> T. Scott, 1895	AS	[8, 31]
<i>Harpacticus aff. tenellus</i> G. O. Sars, 1920	AS	[8]
<i>Harpacticus compsonyx</i> Monard, 1926	AS, SM	[7, 9]
<i>Harpacticus flexus</i> Brady & Robertson, 1873	SM	[15]
<i>Harpacticus gracilis</i> Claus, 1863	AS, SM	[6, 15]
<i>Harpacticus littoralis</i> Sars G.O., 1910	AS, SM	[6-9, 31]
<i>Harpacticus pacificus</i> Lang, 1965	AS	[8]
<i>Harpacticus pulex</i> Humes, 1964	AS	[32]
IDYANTHIDAE Lang, 1948	-	-
<i>Idyella tenuis</i> (Brady, 1910)	AS	[7]
<i>Tachidiella minuta</i> Sars G.O., 1909	BS	[47]
LAOPHONTIDAE Scott T., 1904	-	-
<i>Afroloaophonte pori</i> Masry, 1970	AS	[7-10, 23, 32]
<i>Asellopsis hispida</i> Brady & Robertson, 1873	SM	[15]
<i>Asellopsis intermedia</i> (Scott T., 1895)	SM	[9]
<i>Asellopsis sarmatica</i> Jakubisiak, 1938	BS	[28]
<i>Echinolaophonte armiger</i> (Gurney, 1927)	AS	[32]
<i>Echinolaophonte hystrix</i> (Brian, 1928)	AS	[8]
<i>Esola longicauda</i> Edwards, 1891	SM	[15]
<i>Heterolaophonte brevipes</i> Roe, 1958	SM	[9]
<i>Heterolaophonte curvata</i> (Douwe, 1929)	AS, BS	[8, 28]

<i>Heterolaophonte stroemii</i> (Baird, 1837)	AS	[7, 8, 10]
<i>Heterolaophonte stroemii paraminuta</i> Noodt, 1955	SM	[15]
<i>Heterolaophonte stroemii stroemii</i> (Baird, 1934)	AS	[6]
<i>Heterolaophonte uncinata</i> (Czerniavski, 1868)	AS, BS	[7, 9, 28, 31]
<i>Klieonychocamptus kliei</i> (Monard, 1935)	AS, SM	[6, 10, 23, 32]
<i>Klieonychocamptus kliei adriaticus</i> (Petkovski, 1954)	AS, SM, BS	[7, 9, 28, 32]
<i>Klieonychocamptus kliei confluens</i> Noodt, 1958	AS	[9]
<i>Klieonychocamptus ponticus</i> (Serban & Plesa, 1957)	AS, SM, BS	[8-10, 23, 28]
<i>Laophonte cornuta</i> Philippi, 1840	AS	[8, 27, 31, 32]
<i>Laophonte elongata barbata</i> Lang, 1934	AS	[10]
<i>Laophonte inornata</i> A. Scott, 1902	AS, SM	[6, 9, 15]
<i>Laophonte lignosa</i> Hicks, 1988	AS, SM	[8, 9]
<i>Laophonte plana</i> Fiers, 1986	AS	[8, 31]
<i>Laophonte setosa</i> Boeck, 1865	SM, BS	[9, 15, 28]
<i>Laophonte triarticulata</i> Monard, 1928	BS	[28]
<i>Lipomelum adriaticum</i> (Petkovski, 1955)	AS	[8-10, 32]
<i>Paralaophonte (Loureirophonte) cesareae</i> (Por, 1964)	AS	[7]
<i>Paralaophonte (Paralaophonte) asellopsiformis</i> Lang, 1965	AS	[10]
<i>Paralaophonte (Paralaophonte) brevirostris</i> (Claus, 1863)	AS, SM	[6-10, 15, 27, 32]
<i>Paralaophonte (Paralaophonte) quaterspinata</i> (Brian, 1917)	AS	[7, 8, 27, 31]
<i>Pseudechinolaophonte minuta</i> (Cottarelli & Forniz, 1991)	AS	[23]
<i>Pseudechinolaophonte mordoganensis</i> (Kuru, Sönmez & Karaytuğ, 2019)	AS	[40]
LATIREMIDAE Božić, 1969	-	-
<i>Delamarella obscura</i> Huys, Karaytuğ & Cottarelli, 2005	AS, SM, BS	[6-10, 23, 33]
LEPTASTACIDAE Lang, 1948	-	-
<i>Ciplakastacus mersinensis</i> Sak, Karaytuğ & Huys, 2008	AS, SM	[9, 43]
<i>Leptastacus laticaudatus</i> Nicholls, 1935	BS	[25]
<i>Leptastacus uncinatus</i> Cottarelli & Venanzetti, 1989	AS	[23]
<i>Minervella baccettii</i> Cottarelli & Venanzetti, 1989	AS	[9, 23]
<i>Paraleptastacus holsaticus</i> Kunz, 1937	AS	[10]
<i>Paraleptastacus kliei</i> (Gagern, 1923)	AS	[6, 7]
<i>Psammastacus confluens</i> Nicholls, 1935	SM	[9]
<i>Schizothrix pontica</i> (Griga, 1963)	AS	[23]
<i>Stereoxiphos operculatus</i> (Masry, 1970)	AS	[9]
LEPTOPONTIIDAE Lang, 1948	-	-
<i>Psammopsyllus ertunci</i> Karaytuğ & Sak, 2005	BS	[16, 25]
<i>Psammopsyllus operculatus</i> Nicholls, 1945	SM, BS	[15]
LONGIPEDIIDAE Boeck, 1865	-	-
<i>Longipedia coronata</i> Claus, 1863	AS	[10]
<i>Longipedia helgolandica</i> Klie, 1949	AS	[31]
<i>Longipedia minor</i> Scott T. & Scott A., 1893	AS	[31]
<i>Longipedia scotti</i> Sars G.O., 1903	AS	[31]
<i>Longipedia weberi</i> Scott A., 1909	AS, SM	[6, 15]

LOURINIIDAE Monard, 1927	-	-
<i>Lourinia armata</i> (Claus, 1866)	AS	[44]
<i>Lourinia gocmeni</i> Karaytuğ, Sak, Alper & Sönmez, 2021	AS	[7, 44]
<i>Lourinia wellsii</i> Karaytuğ, Sak, Alper & Sönmez, 2021	AS	[8, 31, 44]
METIDAE Boeck, 1873	-	-
<i>Metis ignea</i> Philippi, 1843	AS, SM	[6, 9]
MIRACIIDAE Dana, 1846	-	-
<i>Amonardia perturbata</i> Lang, 1965	AS	[6, 7, 23]
<i>Amonardia phyllopus</i> (Sars G.O., 1906)	AS	[8, 30]
<i>Amphiascoides brevifurca</i> (Czerniavsky, 1868)	AS, SM, BS	[9, 10, 15, 30]
<i>Amphiascoides subdebilis</i> (Willey, 1935)	SM	[15]
<i>Amphiascopsis cinctus</i> (Claus, 1866)	AS	[6-8, 10, 30]
<i>Amphiascus thalestroides</i> Sars G.O., 1911	AS	[8, 31]
<i>Bulbamphiascus imus</i> (Brady, 1872)	AS, SM, MS	[6, 10, 30]
<i>Delavalia normani</i> Scott T., 1905	SM	[15]
<i>Delavalia oblonga</i> (Lang, 1965)	AS, BS	[7, 30]
<i>Diosaccus tenuicornis</i> (Claus, 1863)	AS, MS	[8, 30]
<i>Diosaccus varicolor pentasetosus</i> (Noodt, 1955)	SM	[15]
<i>Eoschizopera (Praeoschizopera) gligici</i> (Petkovski, 1957)	AS, SM, BS, MS	[6, 8, 9, 23, 30]
<i>Haloschizopera marmarae</i> Noodt, 1955	AS, SM, MS	[15, 30, 31]
<i>Macrosetella gracilis</i> (Dana, 1846)	AS, SM, MS	[7, 56, 58]
<i>Metamphiascopsis hirsutus bermudae</i> (Willey, 1930)	AS, MS	[8, 30]
<i>Oculosetella gracilis</i> (Dana, 1849)	MS	[50]
<i>Paramphiascella bulbifer</i> Guille & Soyer, 1966	AS	[31]
<i>Paramphiascella mediterranea</i> Lang, 1948	AS	[7]
<i>Paramphiascella robinsonii</i> (Scott A., 1902)	AS, MS	[30]
<i>Paramphiascella vararensis</i> (Scott T., 1903)	SM	[15]
<i>Psammotopa vulgaris</i> Pennak, 1942	AS, SM, MS	[8-10, 30]
<i>Pseudamphiascopsis attenuatus</i> (Sars G.O., 1906)	AS, SM	[7, 9]
<i>Pseudamphiascopsis attenuatus orientalis</i> Noodt, 1955	AS, SM	[15, 23]
<i>Robertgurneya oligochaeta</i> (Noodt, 1955)	SM, BS	[15, 22]
<i>Robertgurneya remanei</i> (Klie, 1950)	AS	[31]
<i>Robertgurneya rostrata</i> (Gurney, 1927)	SM	[15]
<i>Robertgurneya similis bulbamphiascoides</i> Noodt, 1955	SM	[15]
<i>Robertgurneya smithi</i> (Hamond, 1973)	AS, MS	[8, 10, 30]
<i>Robertsonia knoxi</i> (Thompson I.C. & Scott A., 1903)	AS, SM, MS	[10, 15, 30]
<i>Robertsonia monardi</i> (Klie, 1937)	SM	[15]
<i>Robertsonia normani</i> (Brady, 1910)	SM	[15]
<i>Sarsamphiascus angustipes</i> (Gurney, 1927)	AS, SM, MS	[8, 10, 15, 23, 30, 32]
<i>Sarsamphiascus kawamurai</i> (Ueda & Nagai, 2005)	AS, MS	[8, 30]
<i>Sarsamphiascus minutus</i> (Claus, 1863)	AS, SM, MS	[6-10, 15, 30]
<i>Sarsamphiascus parvus</i> (Sars G.O., 1906)	SM	[15]
<i>Sarsamphiascus tenuiremis</i> (Brady & Robertson, 1876)	AS	[31]
<i>Sarsamphiascus varians</i> (Norman & Scott T., 1905)	SM	[15]

<i>Schizopera brusinae</i> Petkovski, 1954	AS, BS, MS	[6-10, 30]
<i>Schizopera karanovici</i> Sönmez, Sak & Karaytuğ, 2015	AS, MS	[9, 30]
<i>Schizopera minuta</i> Noodt, 1955	AS, SM	[9]
<i>Schizopera pontica</i> Chappuis & Serban, 1953	AS	[10]
<i>Schizopera pratensis</i> Noodt, 1958	AS	[10, 30]
<i>Typhlamphiascus confusus</i> (Scott T., 1902)	AS	[31]
NORMANELLIDAE Lang, 1944	-	-
<i>Normanella reducta</i> Noodt, 1955	SM	[15]
ORTHOPSYLLIDAE Huys, 1990	-	-
<i>Orthopsyllus linearis</i> (Claus, 1866)	AS, SM	[6, 9]
<i>Orthopsyllus linearis bulbosus</i> Noodt, 1955	SM	[15]
<i>Orthopsyllus sarsi</i> Klie, 1941	AS	[32]
PARAMESOCHRIDAE Lang, 1944	-	-
<i>Apodopsyllus arenicolus</i> (Chappuis, 1954)	AS, SM	[9, 10]
<i>Apodopsyllus perplexus</i> (Wells, 1963)	SM	[6]
<i>Diarthrodella ergeneae</i> Sönmez, Karaytuğ & Sak, 2015	AS, MS	[10, 36]
<i>Diarthrodella orbiculata</i> Klie, 1949	AS	[23]
<i>Diarthrodella secunda</i> Kunz, 1954	AS	[23]
<i>Emertonia constricta</i> (Nicholls, 1935)	AS, SM	[6, 7, 8, 10, 15, 23]
<i>Emertonia constricta orotavae</i> (Noodt, 1958)	AS, SM	[9]
<i>Emertonia holsatica</i> (Klie, 1929)	AS, SM	[6]
<i>Emertonia masryi</i> (Bodin, 1979)	AS	[10]
<i>Leptopsyllus punctatus</i> Mielke, 1984	AS, SM	[7-9, 23]
<i>Paramesochra helgolandica</i> Kunz, 1936	AS	[8, 32]
<i>Wellsopsyllus (Scottopsyllus) robertsoni</i> (Scott, T. & Scott A., 1895)	AS	[6, 7]
PARASTENHELIIDAE Lang, 1936	-	-
<i>Karaytugia aydini</i> (Kuru & Karaytuğ, 2015)	MS	[37]
<i>Parastenhelia hornelli</i> Thompson I.C. & Scott A., 1903	AS, SM	[6, 15]
<i>Parastenhelia spinosa</i> (Fischer, 1860)	AS, SM	[7-10, 32]
<i>Penicillicaris pectinimana</i> (Car, 1884)	AS, BS, MS	[21]
<i>Thalestrella ornatissima</i> Monard, 1935	AS	[23]
PELTIDIIDAE Claus, 1860	-	-
<i>Alteutha depressa</i> (Baird, 1837)	AS	[8]
<i>Clytemnestra scutellata</i> Dana, 1847	MS	[57]
<i>Goniopsyllus rostratus</i> Brady, 1883	AS, SM	[52, 53, 57, 59]
PORCELLIDIIDAE Boeck, 1865	-	-
<i>Porcellidium fimbriatum</i> Claus, 1863	AS, SM	[8, 9]
PSEUDOTACHIDIIDAE Lang, 1936	-	-
<i>Dactylopodella flava</i> (Claus, 1866)	SM	[15]
RHIZOTRICHIDAE Por, 1986	-	-
<i>Tryphoema gallipoliensis</i> Alper, Sak & Metin, 2018	AS	[10, 39]
TACHIDIIDAE Sars G.O., 1909	-	-
<i>Euterpina acutifrons</i> (Dana, 1847)	AS, SM, BS, MS	[23, 26, 51, 60-62, 59]
TEGASTIDAE Sars G.O., 1904	-	-

<i>Tegastes satyrus</i> (Claus, 1860)	AS	[7]
TETRAGONICIPITIDAE Lang, 1944	-	-
<i>Odaginiceps korykosensis</i> Karaytuğ, Sak & Alper, 2010	MS	[34]
<i>Phyllopodopsyllus berrieri</i> Monard, 1936	SM	[9]
<i>Phyllopodopsyllus bradyi</i> (Scott T., 1892)	AS	[8]
<i>Phyllopodopsyllus briani</i> Petkovski, 1955	AS, SM	[6, 9, 10, 32]
<i>Phyllopodopsyllus gracilipes</i> Wells & Rao, 1987	AS	[8]
<i>Phyllopodopsyllus pauli</i> Crisafi, 1960	AS	[6]
<i>Phyllopodopsyllus thiebaudi</i> Petkovski, 1955	AS, SM	[6, 9, 32]
<i>Pteropsyllus plebeius furcatus</i> Kunz, 1938	AS	[9]
THALESTRIDAE Sars G.O., 1905	-	-
<i>Eudactylopus latipes</i> (Scott T., 1893)	SM	[15]
<i>Eudactylopus robustus</i> (Claus, 1863)	AS	[8, 31]
<i>Eudactylopus spectabilis</i> (Brian, 1923)	AS	[7, 8]
<i>Parathalestris harpactoides</i> (Claus, 1863)	SM	[15]
<i>Phyllothalestris mysis</i> (Claus, 1863)	AS	[27, 31]
TISBIDAE Stebbing, 1910	-	-
<i>Paraidya occulta</i> Humes & Ho, 1969	AS	[7]
<i>Scutellidium arthuri</i> Poppe, 1884	AS	[6]
<i>Scutellidium ligusticum</i> (Brian, 1920)	AS, SM	[8, 9]
<i>Scutellidium longicaudum</i> (Philippi, 1840)	AS, SM	[7, 9, 23]
<i>Scutellidium longicaudum acheloides</i> Itô Tat, 1976	AS	[8]
<i>Tisbe angusta</i> (Sars G.O., 1905)	AS	[7]
<i>Tisbe furcata</i> (Baird, 1837)	AS, SM	[6, 8, 15]
<i>Tisbe perplexa</i> Volkmann, 1979	AS	[7]

It is also possible to examine the harpacticoid copepod species in the checklist in terms of the seas in which they are distributed (Fig. 2). Among these, the Aegean Sea possesses the highest species diversity, hosting 194 species/subspecies (96 genera in 30 families). The Sea of Marmara's coasts are documented to have 107 species/subspecies (65 genera in 26 families), while the Mediterranean coasts record 43 species/subspecies (33 genera in 9 families).

On the other hand, the Black Sea coasts feature 30 species/subspecies (26 genera in 12 families). Intriguingly, only 5 species (*Canuella perplexa*, *Ectinosoma melaniceps*, *Eoschizopera (Praeoschizopera) gligici*, *Euterpina acutifrons*, *Microsetella rosea*) are encountered along the coasts of all four seas, making up a mere 2.02% of the total recorded species. Moreover, 25 species (equivalent to 10.12% of the reported species) are found along coasts of three seas, whereas 65 species (constituting 26.31%) are distributed across two seas, and 152 species (accounting for 61.53%) are exclusively documented from the coasts of a single sea.



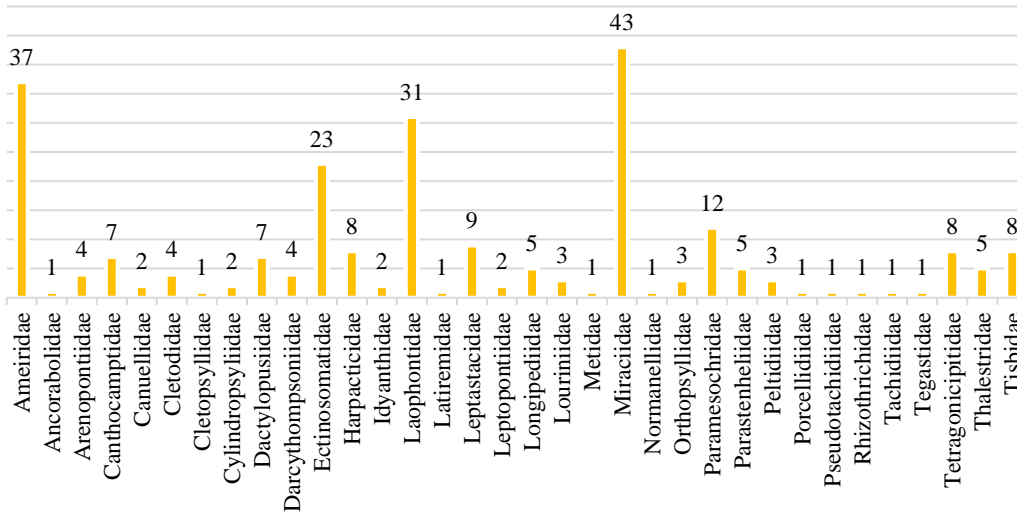


Figure 1. Distribution of marine harpacticoid copepod species across families in Türkiye.

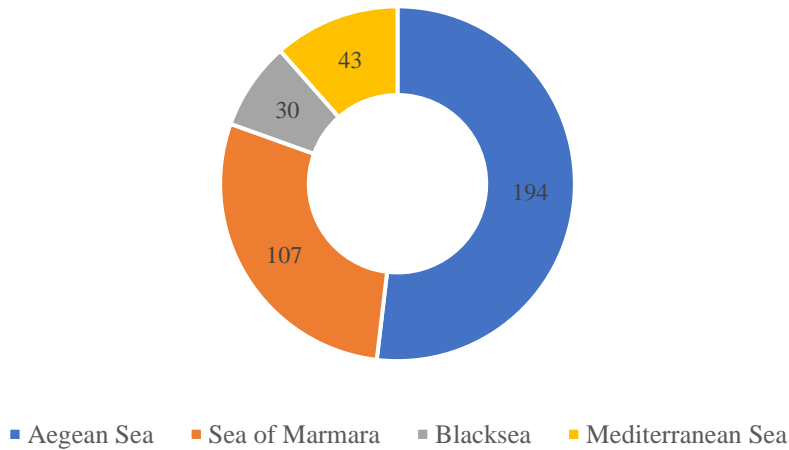


Figure 2. Species number of marine harpacticoid copepods of Turkish coasts.

#### 4. Discussion

##### 4.1 Faunal studies in Turkish coasts

The history of harpacticoid copepod research in Turkish seas traces back to Noodt's initial report in 1955. Subsequently, a total of 51 research articles have been published up to the present day. Despite the initiation of marine harpacticoid studies in Türkiye as early as 1955, the quantity remained limited, with a mere eight studies published until the turn of the millennium. However, the 21st century witnessed a marked acceleration in studies concerning marine harpacticoids along the Türkiye coast. These endeavours expanded beyond faunistic studies to encompass descriptions of new species, redescriptions, and taxonomic revisions, contributing to a comprehensive understanding of the local fauna. Moreover, a checklist encompassing Turkish marine harpacticoids was published [24]. However, the subsequent publication of 23 additional articles led to a significant increase in the reported marine harpacticoid species along the Turkish coast from 146 to 247

species. The infusion of more than a hundred new records, coupled with advancements in the classification of harpacticoid copepods found along Turkish coasts, underscores the necessity for an updated checklist for marine harpacticoid copepods in Türkiye.

#### **4.2 Faunal distribution in Turkish coasts**

Considering the number of marine harpacticoid copepods in Türkiye, the records unveil a total of 247 species/subspecies across 34 families and 113 genera (Table 1). Notably, the families Miraciidae, Ameiridae, Laophontidae, Ectinosomatidae, and Paramesochridae exhibit a notable presence, each encompassing over 10 species. The cumulative count of species within these families stands at 146, constituting 59.1% of the total species reported along Turkish coasts. These families collectively embody a substantial portion of the marine harpacticoid diversity in Türkiye, eclipsing more than half of the recorded species. In contrast, 10 out of the remaining 29 families are each represented by a single species (Fig. 1).

In the context of harpacticoid diversity across various seas in Türkiye, the Aegean Sea stands out, featuring a recorded total of 195 species/subspecies. This is followed by the Sea of Marmara with 107 species/subspecies, the Mediterranean with 43 species/subspecies, and the Black Sea with 30 species/subspecies. The high number of harpacticoid records along the Aegean Sea's coasts is perhaps attributable to the coastline's length and the heightened frequency of field studies conducted there. Interestingly, several species have been documented from multiple seas in Türkiye. Notably, *Canuella perplexa*, *Ectinosoma melaniceps*, *Eoschizopera (Praeoschizopera) gligici*, *Euterpina acutifrons*, and *Microsetella rosea* have been reported from all Turkish seas. Furthermore, 25 harpacticoid species have been identified from three seas, potentially indicating a broad distribution for these species. Conversely, the remaining species are primarily restricted to only one or two sea regions. However, it's important to note that the limited number of faunistic studies and samples available can hinder definitive conclusions. In summation, the exploration of marine harpacticoid diversity along Turkish coasts has yielded this comprehensive checklist. This resource is ready to enhance future faunistic and ecological studies. The true marine harpacticoid copepod diversity in Türkiye will likely become clearer through the combined efforts of various researchers focusing on diverse study areas.

#### **Acknowledgments**

I would like to thank Asst. Prof. Dr. Alp Alper for his help in missing literature and great contributions to the checklist.

#### **References**

- [1] Almeida, A. O., Costa-Souza, A. C., Cunha, A. M., Santos, P. S., Oliveira, M. V., ve Soledade, G. O., Estuarine caridean shrimps (Crustacea: Decapoda) from Ilhéus, Bahia, Brazil: Updated checklist and a key for their identification, **Check List**, 9, 6, 1396-1405, (2013).
- [2] Araujo, R., ve Wirtz, P., The decapod crustaceans of Madeira Island—an annotated checklist, **Spixiana**, 38, 2, 205-218, (2015).

- [3] Angyal, D., Simões, N., ve Mascaró, M., Updated checklist, historical overview and illustrated guide to the stygobiont Malacostraca (Arthropoda: Crustacea) species of Yucatan (Mexico), **Subterranean Biology**, 36, 83-108, (2020).
- [4] Kondylatos, G., Crocetta, F., Corsini-Foka, M., ve Froglija, C., Crustacea Decapoda from the Rhodes Island area (eastern Mediterranean): new records and an updated checklist, **Diversity**, 12, 6, 246, (2020).
- [5] Wells, J. B. J., An annotated checklist and keys to the species of Copepoda Harpacticoida (Crustacea), **Zootaxa**, 1568, 1-872, (2007).
- [6] Karaytuğ, S., ve Sak, S., A contribution to the marine harpacticoid (Crustacea, Copepoda) fauna of Turkey, **Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 23, 3, (2006).
- [7] Alper, A., Karaytuğ, S., ve Sak, S., Interstitial and phytal harpacticoida (Crustacea: Copepoda) inhabiting the mediolittoral zone of the Datça-Bozburun Peninsulas (Muğla, Turkey), **Süleyman Demirel University Faculty of Arts and Science Journal of Science**, 5, 16-28, (2010).
- [8] Alper, A., Sönmez, S., Sak, S., ve Karaytuğ, S., Marine harpacticoid (Copepoda, Harpacticoida) fauna of the Dilek Peninsula (Aydın, Turkey), **Turkish Journal of Zoology**, 39, 4, 580-586, (2015).
- [9] Kabaca, A., Sak, S., ve Alper, A., Interstitial and Phytal Harpacticoid (Copepoda, Harpacticoida) Fauna of the Mediollittoral Zone of the Biga Peninsula (Çanakkale, Turkey), **Adıyaman University Journal of Science**, 12, 1, 120-141, (2022).
- [10] Metin, O., Alper, A., ve Sak, S., Interstitial harpacticoid (Copepoda, Harpacticoida) fauna inhabiting mediolittoral zone of the Gulf of Saros (Turkey), **Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 24, 2, 779-790, (2022).
- [11] Suarez-Morales, E., De Troch, M., ve Fiers, F., A checklist of the marine Harpacticoida (Copepoda) of the Caribbean Sea, **Zootaxa**, 1285, 1-19, (2006).
- [12] Iannella, M., Fiasca, B., Di Lorenzo, T., Biondi, M., Di Cicco, M., ve Galassi, D. M., Jumping into the grids: mapping biodiversity hotspots in groundwater habitat types across Europe, **Ecography**, 43, 12, 1825-1841, (2020).
- [13] Huys, R., ve Boxshall, G.A., **Copepod evolution**, 468, The Ray Society, London, (1991).
- [14] Ahyong, S.T., Lowry J.K., Alonso M., Bamber R.N., Boxshall A.G., Castro P., Gerken S., Karaman G.S, Goy, J.W., Jones D.S., Meland K., Rogers D.C. ve Svavarsson J., *Subphylum Crustacea Brünnich, 1772. Animal biodiversity: an outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness*, **Zootaxa**, 3148, 165–191, (2011).
- [15] Noodt, W., *Marine Harpacticoiden (Crust. Cop.) aus dem Marmara Meer*, **Review of the Faculty of Science, University of Istanbul**, 20, 1-2, 49-94, (1955).
- [16] Karaytuğ, S., ve Sak, S., A new record of *Psammopsyllus* Nicholls, 1945 (Copepoda, Harpacticoida, Leptopontiidae), with a description of a new species from the Black Sea, **Israel Journal of Ecology and Evolution**, 51, 2, 135-146, (2005).
- [17] Sönmez, S., Sak, S., ve Karaytuğ, S., A new species of the genus *Schizopera* Sars, 1905 (Copepoda: Harpacticoida: Miraciidae) from the Mediterranean coast of Turkey, **Marine Biodiversity**, 45, 413-418, (2014).
- [18] Karaytuğ, S., ve Huys, R., Taxonomic position of and generic distinction between *Parepactophanes* Kunz, 1935 and *Taurocletodes* Kunz, 1975 (Copepoda, Canthocamptidae *incertae sedis*), with description of a new species from the Black Sea, **Zoological Journal of the Linnean Society**, 140, 4, 469-486, (2004).

- [19] Sak S., Huys R., ve Karaytuğ S., Disentangling the subgeneric division of *Arenopontia* Kunz, 1937: resurrection of *Psammoleptastacus* Pennak, 1942, re-examination of *Neoleptastacus spinicaudatus* Nicholls, 1945 and proposal of two new genera and a new generic classification (Copepoda, Harpacticoida, Arenopontiidae), **Zoological Journal of the Linnean Society**, 152, 3, 409-458, (2008).
- [20] Sak, S., Karaytuğ, S., ve Huys, R., A review of *Pseudoleptomesochrella* Lang, 1965 (Copepoda, Harpacticoida, Ameiridae), including a redescription of *P. halophila* (Noodt, 1952) from the Black Sea and a key to species, **Zootaxa**, 1758, 45-60, (2008).
- [21] Kuru, S., ve Karaytuğ, S., Redescription of *Penicillicaris pectinimana* (Car, 1884) (Copepoda, Harpacticoida, Parastenheliidae), **Adıyaman University Journal of Science**, 12, 2, 244-268, (2022).
- [22] Ürkmez, D., Sezgin, M., Karaçuha, M. E., ve Öksüz, İ., Meiobenthic Assemblages from the Southwestern Coast of the Black Sea, İğneada (Turkey), **Biologia**, 71, 1017-1026, (2016).
- [23] Alper, A., Faunistic and ecological assessment of interstitial Harpacticoida (Crustacea, Copepoda) on a sandy beach in Balıkesir (Turkey), **Nauplius**, 30, (2022).
- [24] Bakır, A. K., Katağan, T., Aker, H. V., Özcan, T., Sezgin, M., Ateş, A. S., Koçak, C. ve Kırkım, F., The marine arthropods of Turkey, **Turkish Journal of Zoology**, 38, 6, 765-831, (2014).
- [25] Băcescu, M., **Le role des îles dans la dispersion récente des espèces indo-pacifiques en Méditerranée occidentale et quelques observations sur la faune marine de L'île des serpents, en comparaison avec celle peuplant les parages prébosphoriques de la Mer Noire** in *V Le peuplement des îles Méditerranéennes et la problème de l'insularité*, Banyuls-sur-Mer, Centre National de la Recherche Scientifique, 241–253, Paris France, (1961).
- [26] Toklu, B., ve Sarıhan, E., The Copepoda and Cladocera (Crustacea) Fauna Along the Yumurtalık-Botaş Coastline in Iskenderun Bay, **Su Ürünleri Dergisi**, 20, 63-68, (2003).
- [27] Pulat, İ., Özel, İ., ve Aker, H. V., Gümüldür Sahili (Ege Denizi) Mediolittoral Kayalık Biyotoplarından Tespit Edilen Thalestridae ve Laophontidae (Copepoda, Harpacticoida) Türleri, **Su Ürünleri Dergisi**, 26, 55–58, (2009).
- [28] Kaymak, N. B., Karaytuğ, S., ve Sak, S., Laophontidae fauna (Crustacea: Copepoda: Harpacticoida) of the Turkish Black Sea coast, **Journal of Anatolian Natural Sciences**, 3, 23-36, (2012).
- [29] Sönmez, S., Sak, S., ve Karaytuğ, S., Meiobenthic ectinosomatids (Crustacea: Copepoda: Harpacticoida) of the Mediterranean sea coasts of Turkey, **Journal of Anatolian Natural Sciences**, 3, 1-14, (2012).
- [30] Sönmez, S., Sak, S., ve Karaytuğ, S., Marine interstitial and phytal Miraciidae Dana, 1846 (Crustacea: Copepoda: Harpacticoida) inhabiting along the mediolittoral zone of Turkish coasts, **Journal of Anatolian Natural Sciences**, 5, 52-87, (2014).
- [31] Karaytuğ, S., ve Koçak, C., Faunistic assessment of the marine Harpacticoida (Crustacea: Copepoda) fauna of Turkey with remarks on harpacticoid diversity in the eastern Mediterranean Sea, **Marine Biodiversity**, 48, 273-280, (2018).
- [32] Yıldız, N. Ö., ve Karaytuğ, S., Harpacticoida (Crustacea: Copepoda) of the three islands on Aegean Sea (Turkey) with eight new records, **Mediterranean Fisheries and Aquaculture Research**, 1, 2, 57-65, (2018).

- [33] Huys, R., Karaytuğ, S., ve Cottarelli, V., On the synonymy of *Delamarella* Chappuis and *Latiremus* Božić (Copepoda, Harpacticoida, Latiremidae), including the description of *D. obscura* sp. nov. from the Black Sea, **Zoological Journal of the Linnean Society**, 145, 3, 263-281, (2005).
- [34] Karaytuğ, S., Sak, S. ve Alper, A., A new species of *Odaginiceps* Fiers, 1995 (Copepoda, Harpacticoida, Tetragonicipitidae) from the Mediterranean coast of Turkey, **ZooKeys**, 53, (2010).
- [35] Köroğlu, N.Ö., Kuru, S., ve Karaytuğ, S., Marine darcythompsoniids of the Turkish coasts with a description of *Leptocaris emekdasi* sp. nov. (Copepoda: Harpacticoida: Darcythompsoniidae) from the Aegean coast of Turkey, **Marine Biodiversity**, 45, 383-390, (2014).
- [36] Sönmez, S., Karaytuğ, S. ve Sak, S., First record of the genus *Diarthrodella* Klie, 1949 (Copepoda, Harpacticoida, Paramesochridae) from the Mediterranean Sea, with description of a new species from Turkey, **Turkish Journal of Zoology**, 39, 174-181, (2015).
- [37] Kuru, S., ve Karaytuğ, S., A new species of *Parastenhelia* Thompson & A. Scott, 1903 (Copepoda, Harpacticoida, Parastenheliidae) from Turkey, **Biharean Biologist**, 9, (2015).
- [38] Sönmez, S., Sak, S., ve Karaytuğ, S., A new species of *Arenosetella* Wilson, 1932 from Turkey with notes on the genus (Copepoda, Harpacticoida, Ectinosomatidae), **Zoosystematics and Evolution**, 92, 119-129, (2016).
- [39] Alper, A., Sak, S., ve Metin, O., First record of the family Rhizotrichidae (Copepoda, Harpacticoida) from Turkey with description of a new species, **Marine Biodiversity**, 48, 1, 357-365, (2018).
- [40] Kuru, S., Sönmez, S., ve Karaytuğ, S., A new species of the genus *Echinolaophonte* Nicholls, 1941 (Copepoda, Harpacticoida, Laophontidae) from the Aegean Sea coast of Turkey, **Turkish Journal of Zoology**, 43, 2, 171-184, (2019).
- [41] Sönmez, S., Description of *Pseudoameiropsis suphankaraytugi* sp. nov. (Copepoda: Harpacticoida: Ameiridae) with the first report of the genus *Pseudoameiropsis* Pallares, 1982 outside of the South Atlantic Ocean, **Turkish Journal of Zoology**, 43, 3, 255-264, (2019).
- [42] Sönmez, S., Yıldız, I., ve Karaytuğ, S., A new species of *Enhydrosoma* Boeck, 1872 (Copepoda: Harpacticoida: Cletodidae) from the Black Sea Coast of Turkey with some remarks on the taxonomic status of *E. wellsi* Bodin, 1968, **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 19, 10, 817-823, (2019).
- [43] Sak, S., Karaytuğ, S., ve Huys, R., *Ciplakastacus* gen. nov., a primitive genus of Leptastacidae (Copepoda, Harpacticoida) from the Mediterranean coast of Turkey, **Journal of Natural History**, 42, 37-38, 2443-2459, (2008).
- [44] Karaytuğ, S., Sak, S., Alper, A., ve Sönmez, S., Resolving the *Lourinia armata* (Claus, 1866) complex with remarks on the monophyletic status of Louriniidae, Monard 1927 (Copepoda: Harpacticoida), **Zootaxa**, 5051, 1, 346-386, (2021).
- [45] Alper, A., Karaytuğ, S., ve Sak, S., Taxonomic revision of the genus *Nannomesochra* Gurney, 1932 (Copepoda, Harpacticoida) with description of three new species, **Marine Biodiversity**, 53, 1, 19, (2023).
- [46] Yalın, F. B., Emre, Y., ve Koçer, M. A. T., Community structure of rotifera, cladocera and copepoda in Beymelek Lagoon and Kaynak Lake (Antalya, Turkey): A preliminary study, **Pakistan Journal of Zoology**, 43, 5, 947-955, (2011).

- [47] Sergeeva, N. G., ve Mazlumyan S. A., Deep-water hypoxic meiobenthic Protozoa and Metazoa taxa of the Istanbul Strait's (Bosporus) outlet area of the Black Sea, **Ecologica Montenegrina**, 2, 3, 255-270, (2015).
- [48] Gündüz, E., A new record of *Mesochra aestuarii* Gurney, 1921 (Copepoda, Harpacticoida) for Turkey, **Doğa Turkish Journal of Zoology**, 13, 3, 228-232, (1989).
- [49] Özdemir, C. D., Saygı, Y., Gündüz, E., Demirkalp, F. Y., ve Karacaoğlu, Ç., Assessment of the zooplankton community structure of the coastal Uzungöl Lagoon (Kızılırmak Delta, Turkey) based on community indices and physicochemical parameters, **Turkish Journal of Zoology**, 45, 1, 33-45, (2021).
- [50] Uysal, Z., Kideys, A. E., Shmeleva, A. A., Zagorodnyaya, J. A., ve Gubanova, A. D., Checklist of copepods (Calanoida and Podoplea) from the northern Levantine basin shelf waters, **Hydrobiologia**, 482, 15-21, (2002).
- [51] Deniz, E., ve Gönülol, A., Temporal changes of copepod abundance and species compositions in the coastal water of Samsun, the southern Black Sea (Turkey), **Journal of Black Sea/Mediterranean Environment**, 20, 3, 164-183, (2014).
- [52] Nalbantoğlu, Ü., Uskumru balıklarının mide muhteviyatı, **İstanbul Üniversitesi Hidrobiyoloji Mecmuası Seri A**, 3, 1-9, (1955).
- [53] Özel, İ., Ege Denizinin başlıca planktonik kopepodları, **Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi**, 9, 236-256, (1992).
- [54] Bayhan, B., ve Sever, T. M., Feeding of the round sardinella *Sardinella aurita* Valenciennes, 1847 (Osteichthyes: Clupeidae) in the Turkish Aegean Sea, **International Journal of Fauna and Biological Studies**, 2, 4, 38-42, (2015).
- [55] Kovalev, A., Beşiktepe, S., Zagorodnyaya, J., ve Kideys, A. E., Mediterraneanization of the Black Sea zooplankton is continuing. Ecosystem Modeling as a Management Tool for the Black Sea: Proceedings of the NATO TU Black Sea Project, Ecosystem Modeling as a Management Tool for the Black Sea, Zori Rossii, 199, Ukraine (1998).
- [56] Benli, H. A., Tarkan, A. N., ve Sever, T. M., Comparison of the mesozooplankton composition the southwestern Black Sea, Sea of Marmara and eastern Aegean Sea, **Turkish Journal of Marine Sciences**, 7, 3, 163-179, (2001).
- [57] Uysal, Z., ve Shmeleva, A. A., Species composition, abundance and biomass of Copepoda in plankton of the Northern Levantine Basin (Eastern Mediterranean), **Crustaceana**, 909-935, (2012).
- [58] Tarkan, A. N., ve Ergüven, H., Marmara Denizi'nde önemli kopepod türleri, **İstanbul Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi**, 2, 71-84, (1988).
- [59] Beşiktepe, S., Kurt, T. T., ve Gubanova, A., Mesozooplankton composition and distribution in Izmir Bay, Aegean Sea: With special emphasis on copepods, **Regional Studies in Marine Science**, 55, 102567, (2022).
- [60] Ergen, Z., The main planktonic organisms found in the Bay of Izmir, **Ege Üniversitesi. Fen Fakültesi. İlmi Raporlar. Serisi**, 47, 1-15, (1967).
- [61] Gürkan, S., ve Uncumusaoğlu, A. A., Food compositions of some Syngnathid species (*Syngnathus* sp., *Nerophis* sp., *Hippocampus* sp.) from coastal waters of Sinop peninsula (southern Black Sea), **The Black Sea Journal of Sciences**, 2, 7, 29-38, (2012).
- [62] Uncumusaoğlu, A. A., Gürkan, S., ve Taşkavak, E., Seasonal variation in the diet of Big-Scale Sand Smelt *Atherina boyeri* from the coast of Candarli Bay (North Aegean Sea, Turkey), **Cahiers de Biologie Marine**, 59, 131-135, (2018).

# Mikronükleus (MN) ve Comet Assay testlerinin farklı hayvan türlerindeki uygulamalarına örnekler

Gülşah KURUCU<sup>1\*</sup>, Derya BOSTANCI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bahçeşehir Koleji Ordu-Giresun Enver Yücel Kampüsü, Ordu

<sup>2</sup> Ordu Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Ordu

Geliş Tarihi (Received Date): 31.08.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 12.10.2023

## Öz

Farklı hayvanların dokularında biriken pek çok kirletici faktör canlıda genotoksik etki göstermektedir. Bu etkinin değerlendirilmesinde kullanılan genotoksisite testleri; kirlilik ajanlarının hayvanlarda DNA hasarına neden olup olmadığının belirlenmesine olanak sağlar. Bu faktörlerin etkilerini belirleyebilmek için farklı hayvan dokularında pek çok test sistemi geliştirilmiş ve genotoksisite testleri büyük önem kazanmıştır. Bu çalışmada, genotoksik hasarın belirlenmesinde çok yaygın olarak kullanılan iki test yöntemi olan Mikronükleus ve Comet Assay testleri karşılaştırılmış, avantaj ve dezavantajları belirlenerek farklı hayvan türlerinde yapılan çalışmaların değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Genotoksisite, genotoksik test yöntemleri, mikronükleus testi, comet assay

## Examples of the applications of Micronucleus (MN) and Comet Assay tests in different animal species.

### Abstract

Many pollutants accumulate in the tissues of various animals and exhibit genotoxic effects in living organisms. Genotoxicity tests, used to assess this effect, allow for the determination of whether pollutants cause DNA damage in the organism. To determine the effects of these factors, various test systems have been developed in different animal

\*Gülşah KURUCU, gulsahkeskinn@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5556-6568>  
Derya BOSTANCI, deryabostanci@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3052-9805>

*tissues, and genotoxicity tests have gained significant importance. In this study, two widely used test methods for assessing genotoxic damage, Micronucleus and Comet Assay tests, were compared, their advantages and disadvantages were determined, and the evaluation of studies conducted in different animal species was aimed.*

**Keywords:** Genotoxicity, genotoxic test methods, micronucleus test, comet assay

## 1. Giriş

İnsan popülasyonundaki artış, endüstri ve sanayideki gelişmelerle birlikte kimyasalların yoğun bir şekilde üretimi, kullanımı ve buna bağlı olarak da bu maddelerin hem sucul hem de karasal ekosistemde birikimi artmıştır [1-3].

Genotoksik etkileri olan çevresel kirleticilerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi; kirlilik durumunun, kirlilik kaynaklarının kontrolünün ve kirliliğin izlenmesinde çok önemlidir. Bu nedenle pratik, kolay uygulanabilen, kısa sürede sonuçlanabilecek, ayrıca hassas yöntem ve tekniklere ihtiyaç duyulmaktadır [3-4]. Bu tekniklerin başında comet assay ve mikronükleus testi (MN) gelmekte ve en yaygın kullanılan biyoizleme testleri olarak karşımıza çıkmaktadır [3, 5-6]. Bu testlerin sonuçları farklı birçok türde kirlilik maruziyetinin ve kirliliğin etkisinin biyoizlemine amaçlayarak yapılan *in vivo* ve *in vitro* çalışmalara göre, kirlilik ve genotoksik hasar arasında önemli derecede pozitif bir korelasyon olduğunu ortaya koymaktadır [3, 7-9].

## 2. Materyal ve metod

Çevresel kirliliğin belirlenmesinde kullanılan biyogöstergeler; birçok faktör hakkında bilgi sahibi olunmasını sağlarlar. Bu faktörler; ekosistemdeki canlıların toleransı, türlerin kirliliğe verdiği cevap, bu cevabın popülasyon, komünite ve ekosistem üzerine etkisi, tüm bunların insan sağlığı üzerindeki zararlı etkilerinin belirlenebilmesidir [3,10].

Genotoksisite; çekirdek (nükleus), kromozomlar veya DNA'nın yapısında meydana gelen gen mutasyonları, kromozom anomalileri, DNA kırıkları veya DNA eklentileri gibi hasarları tespit etmektedir. Genetik toksikoloji; fiziksel ve kimyasal ajanların ve radyasyon gibi kirleticilerin; kalıtsal materyaller, DNA ve hücreler üzerindeki toksik etkilerini inceler [11-12].

Genotoksikolojide kullanılan comet assay (tek hücre jel elektroforezi) [13] ve MN testi [14-16] kısa ve uzun dönem etkinin belirlenmesinde önemli role sahip iki tekniktir [3, 17].

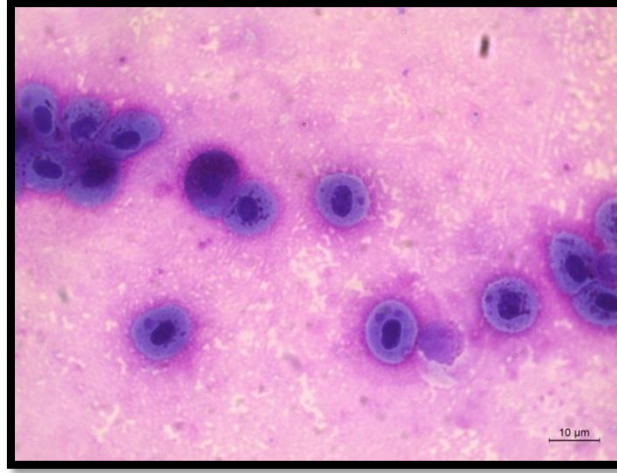
Birçok farklı hayvan türünde kullanılan bu test yöntemlerinde aranan en belirgin özellikler; basit uygulanabilirlik, hızlı sonuç alabilme, ekonomik olması, az sayıda örnek ile çalışılabilirlik, hasarın tespitinde tercih edilir olması şeklinde sıralanabilir [18].



### 1.1. Mikronükleus (MN) testi

Mikronükleus testi ilk kez 70'li yıllarda sunulmuştur [16, 19]. Şekil 1'de gösterildiği gibi mikronükleuslar; mitotik hücre bölünmesinin farklı geçiş aşamaları sırasında oluşmuş sitoplazma içerisinde ana nükleusun yanında gözlenen fakat ana nükleusa dahil olmayan ikinci bir küçük nükleus yapısı olarak tanımlanmaktadır [16, 18, 20].

MN, hücre bölünmesi esnasında ana çekirdeğe dâhil olmayan, kromozomların ortamda serbest kalmasıyla oluşan nükleoplazma ile sarılı bir yapıdır [21]. MN çoğunlukla; mitotik iğdeki hatalardan, kromozomal hasarlardan, hücre döngüsünü kontrol eden genlerdeki eksikliklerden, kinetokor ya da mitotik evrenin diğer parçalarından kaynaklanmaktadır [12].



Şekil 1. Eritrosit hücrelerinde genel mikronükleus oluşumu (X100) [18].

MN miktarındaki artış ne kadar fazla ise genetik düzensizliğin o kadar fazla olduğu anlamına gelir ki bu test hem klastojenik hem de anojenik etkileri birlikte belirleyebilmek için kullanılan önemli bir testtir [22]. Anojenler etkisi altında oluşan MN'lar hücrenin çekirdeğine çok yakın büyüklükte olabilirler. Çünkü anojenler etkisi ile oluşan MN'lar tam bir kromozom içerebilir. Klastojenler etkisi altında oluşan MN'lar ise genellikle daha küçük boyutlu olmaktadır çünkü kromozomların parçalanması veya kopmasına neden olurlar [23-24]. MN'lar gen farklılaşması (mutasyon) ve mitoz bölünme sırasında kromozom kırılması sonucu oluşan sitoplazma içerisinde çekirdek ile aynı özelliği taşıyan küçük çekirdekçik görünümündeki oluşumlardır [22].

Kromozomların genomlarındaki çevresel kirleticilerin etkileri iğ ipliklerinde işlevsel bozukluklara, sentromerde bölünme sorunlarına neden olarak bu sayısal artış veya azalış şeklindeki durumlar MN oluşumunu ortaya çıkarır [23-26].

MN testi kimyasal ve fiziksel ajanların oluşturduğu genotoksik etkilerin *in vivo* ve *in vitro* olarak belirlenmesinde çoğunlukla kullanılan bir testtir. Bu test araştırmacıların geliştirdiği yeni yöntemler sonucu artık sadece kandaki kimyasal maddelerin sebep olduğu anormalileri *in vitro* olarak saptamak için değil başka dokularda da uygulama alanı bulmaya başlamıştır [26]. MN testinin memelilerin birçok türündeki hücrelerin

kromozomal hasarlarını belirlemek için geliştirildiği ve hassas ve güvenilirliği yüksek bir test yöntemi olduğu bildirilmiştir [27].

İnsanlarda DNA hasarının ölçülmesi ve MN frekansını belirlenmesi için MN test yöntemleri kullanılmıştır [28]. Bu test yöntemi kromozom anormalilerini gösteren diğer yöntemlere göre basit ve hızlı bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Farklı hayvanların dokularında karşılaşılan MN'lar dokunun alındığı canlının herhangi bir genotoksik etki altında olup olmadığının anlaşılmasında oldukça önemli göstergelerdir [18, 29].

Farklı hayvan türleri ile balık MN testlerinde hücre tipleri ve onların tanımlanma kriterleri Tablo 1'de gösterilmektedir. Eko-genotoksikolojik çalışmalar göstermektedir ki sucul canlılarda dahil farklı hayvan dokularının eritrositlerinde MN testi kirliliğin önemli bir belirteçidir [10, 30-37].

MN'ların belirlenmesi ve sınıflandırılması farklı örneklerde, farklı laboratuvarlarda ve farklı gözlemcilerde değişiklik gösterebilir:

- MN'ların değerlendirilme aşamasında laboratuvarda yapılan diğer değerlendirme sonuçlarıyla karşılaştırma yapılmalıdır.
- İlk aşamada lamlar kodlanarak grupların deney mi yoksa kontrol grubu mu olduğuna bakılmaksızın 'kör' olarak mikroskopta değerlendirilmelidir.
- Hasarlı, çok fazla iç içe geçmiş, sayımı zor hücreler dikkate alınmamalı boyama sırasında da hata ya da boya kalıntıları olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.
- Üst üste birikmiş ve hasarlı hücreler sayım sırasında dikkate alınmamalıdır. Ayrıca boyamadan kaynaklanan durumlar veya boya kalıntıları MN olarak değerlendirilip hücrelerin sayımında hatalara neden olabilmektedir.
- Doğru bir sayım iyi bir değerlendirme için boyanmış preparatlar x1000 büyütmede mikroskop altında incelenmelidir. Dikkat edilmesi gereken bu hususlar değerlendirme sırasında hem laboratuvarlar arasındaki farklılıkların hem de okuyuculardan doğabilecek hataların en aza indirilmesine olanak sağlayacaktır [5].

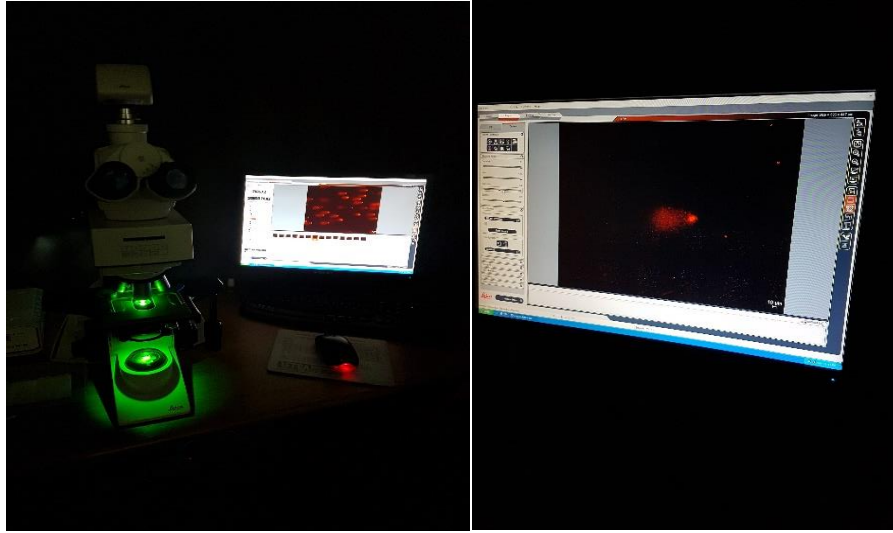
### ***1.2. Comet Assay***

DNA hasarını ve bu hasarın seviyesini belirlemeye yardımcı tek hücre jel elektroforezi olarak da adlandırılan comet assay ilk olarak Sing ve arkadaşları [38] tarafından ortaya çıkarılmıştır [13, 39]. DNA'ların hasar derecesinin durumuna göre kuyruklu yıldız benzer formlarda farklı uzunluklarda görüntüler oluşturmalarıyla hasarın belirlendiği bu yöntem İngilizce "kuyruklu yıldız" anlamına gelen "comet assay" adı verilmiştir [13, 18] (Şekil 2). Comet yöntemindeki temel prensip, fiziksel ve kimyasal etkiler sonucu oluşmuş genotoksik ajanların oluşturduğu mutasyonların organizmanın DNA'sında ayrı ayrı incelenerek tespit edilmesidir [18, 40]. Yapılan son çalışmalarda kullanımı giderek artan comet assay, çevresel kirliliği ve bu kirliliğin organizmada meydana getirdiği hasarın belirlenmesinde oldukça yaygın olarak kullanılan bir genotoksisite testi haline gelmiştir [3, 41-44].

Farklı elektriksel yük ve molekül ağırlıklarına sahip DNA moleküllerinin elektriksel alanda göç etmeleri esasına dayanan yöntemde DNA'lar canlı hayvan dokularından izole

edilerek agaroz jel içerisine fikse edildikten sonra yürütme işlemine tabi tutulurlar [3, 38, 45-46]. Yöntemin prosedür aşamaları tamamlandıktan sonra DNA molekülleri farklı boya ile boyanarak hazırlanan preparatlar flüoresan mikroskopta incelenmeye tabi tutulur. Bu yöntemde DNA hasarlarının değerlendirilmesinde; kuyruktaki DNA yüzdesi, kuyruk uzunluğu, kuyruk momenti ve baştaki DNA yüzdesi gibi parametreler yaygın olarak tercih edilmektedir [13, 18].

Comet assay, tüm ökaryotik hücrelere uygulanabilmekte olup birçok memeli hücresinde de çeşitli ajanların yol açtığı DNA hasarı ve onarım bozukluğunun belirlenmesini amaçlayan çalışmalarda kullanılmaktadır. Genotoksik hasar, ilk etki bölgelerinde değerlendirilebilir ve hemen hemen tüm ökaryotik hücrelere uygulanabilir [3]. Son zamanlarda comet yöntemi diğer test sistemlerine göre DNA hasarlarını belirlemedeki hassasiyetinden ve çalışma süresinin nispeten kısa olmasından dolayı toksisite çalışmalarında oldukça fazla tercih edilmektedir [5, 18, 47-51].



Şekil 2. Comet assay örneği [18].

## 2. Bulgular ve tartışma

Farklı organizma türlerinde kirleticilerin genotoksik etkilerinin araştırıldığı birçok çalışmada (Tablo 1 ve Tablo 2) görülmektedir ki kirlilik tüm canlı organizmalar için genotoksik bir risk olarak karşımıza çıkmaktadır. Her iki test yönteminden yola çıkarak sonuçlar dikkate alındığında kirliliğin hayvanlar için genotoksik bir risk olmaktan öte sürekli izlenmesi ve derinlemesine değerlendirilmesi gereken bir durum olduğu görülmektedir. Bu kirleticilerin veya herhangi bir kimyasalın genotoksitesini araştırılırken bir tür üzerinde birkaç farklı test sistemi uygulanabildiği gibi birkaç tür üzerinde farklı test sistemlerinin kombine değerlendirilmesi sonuçların güvenilirliklerinin artması açısından önemlidir.

Tablo1. Farklı hayvanlarda kullanılan genotoksisite çalışmalarına mikronükleus örnekleri

Organizma Türü	Lokalite	Hücre Tipi	Araştırılan Kirlilik Kaynağı	Kaynak
<i>Salmo trutta fario</i> (balık)	-	Eritrositler	PCB 77	7
<i>Labidochromis caeruleus</i> (balık)	Aydın, Türkiye	Eritrositler	Titanyum Dioksit	12
<i>Carassius auratus</i> (balık)	Türkiye	Periferel kan eritrositler	Herbisit (Roundup), glifosfat formülasyonu	48
<i>Salmo trutta</i> <i>Anguilla anguilla</i> <i>Phoxinus phoxinus</i> (balık)	İspanya	Böbrek, eritrositler	Siklofosamid, kolşisin ve kadmiyum	52
<i>Cyprinus carpio</i> (balık)	İtalya, Perugia, Trasimeno Gölü	Periferel kan	Dezenfektanlar (sodyum hipoklorit, perasetik asit ve klorid dioksit)	53
<i>Mugil sp.</i> <i>Netuma sp.</i> (balık)	Güney Brezilya	Periferel Kan	Çevresel kontaminantlar, mevsimsel değişiklikler	54
<i>Carassius auratus auratus</i> (balık)	Türkiye	Periferel kan eritrositleri, solungaç ve yüzgeç epitel hücreleri	Civa clorid, kurşun asetat	55
<i>Capoeta capoeta</i> (balık)	Kars Çayı, Türkiye	Periferel kan eritrositleri	Akrilamid	56
<i>Mytilus galloprovincialis</i> (akdeniz midyesi), <i>Ruditapes decussatus</i> (akivades) <i>Pecten maximus</i> (deniz tarağı) <i>Ostrea edulis</i> (Avrupa yassı istiridyesi)	Çanakkale, Türkiye	Hemolenf hücreleri		57
<i>Mus musculus var. albinos</i> (Albino fare)	Giresun, Türkiye	normakromatik eritrositler	Dinikanazol	58
At ve Domuz	Bosna Hersek	Lenfositler		59
<i>Rana ridibunda</i> (kurbağa)	Porsuk Çayı, Türkiye	Eritrosit hücreleri	Çeşitli faktörler	60
<i>Gnorimopsar chopi</i> (kuş)	Brezilya	Eritrosit		61
Civciv	Türkiye	Perifer kan hücreleri	Fipronil	62
<i>Sprague-Dawley</i> (sıçan)	Türkiye	Kemik İliği Hücreleri	Bakır Asetoarsenit	63
Şap aşılı sığırlar	Türkiye	Kan serumları		64

Tablo 2. Farklı hayvanlarda kullanılan genotoksisite çalışmalarına Comet örnekleri

Tür	Çalışma Bölgesi	Hücre Tipi	Kontaminasyon Nedeni	Kaynak
<i>Salmo trutta fario</i> (balık)	-	Eritrositler	PCB 77	7
<i>Zoarces viviparus</i>	Göteborg Limanı	Eritrositler	PAH metabolitleri	41
<i>Danio rerio</i> (balık)	Almanya, Rhine ve Elbe nehirleri	Hepatositler ve solungaçlar	-	44
<i>Carassius auratus</i> (balık)	Türkiye	Periferal kan eritrositler	Herbisit (Roundup), glifosfat formülasyonu	48
<i>Cyprinus carpio</i> (balık)	İtalya, Perugia, Trasimeno Gölü	Periferal kan	Dezenfektanlar (sodyum hipoklorit, perasetik asit ve klorid dioksit)	53
<i>Mugil sp.</i> <i>Netuma sp.</i> (balık)	Güney Brezilya	Eritrositler	Metil metan sülfonat (MMS)	54
<i>Anguilla anguilla</i> <i>L. caged eel</i> (balık)	Portekiz, Aveiro Lagünü	Karaciğer ve böbrek hücreleri	-	65
<i>Limnoperna fortunei</i> (golden midye)	Guaíba Gölü (Brezilya)	Hemositler	Endüstriyel, kentsel, kırsal kirleticiler	66
<i>Microtus guentheri</i> (tarla faresi)	Antalya, Türkiye	Kan lenfositleri	Ağır metal	67
<i>Apodemus sylvaticus</i> (dağ faresi)	Portekiz	Kan hücreleri	Radyonükleidler ve metallere	68
<i>Apodemus flavicollis</i> (dağ faresi)	Bulgaristan	Kan hücreleri	Hava kirliliği	69
<i>Capoeta banarescui</i> (balık)	Türkiye	Eritrosit	Ağır metal	70
<i>Ciconia ciconia</i> (leylek)	İspanya	Kan hücreleri	Arsenik	71
<i>Milvus migrans</i> (kara çaylak)	İspanya	Kan hücreleri	Arsenik	71
<i>Xenopus laevis</i> <i>Pleurodeles waltl</i> (kurbağa)		Eritrositler	Kadmiyum	72

Farklı hayvan türlerinde meydana gelen DNA hasarlarının belirlenmesi ve izlenmesinde nispeten ucuz bir yöntem olan Comet Assay oldukça önem kazanmış uzun yıllardan beri genotoksikolojide önemli testlerden biri haline gelmiştir [73-76]. Aynı şekilde MN testleri de kısa zamanlı, kolay uygulanabilir, duyarlı bir test sistemi olması nedeniyle canlılarda sıkça tercih edilmektedir. Tüm kirlilik etkilerinin belirlenmesi için büyük çaplı araştırma çalışmalarında da güvenle kullanılabilir. Çevresel kirleticilerin genotoksik etkilerinin hayvan türleri üzerinde MN testi ve Comet Assay ile araştırıldığı bu çalışmadan hareketle; kullanılan test sistemlerinin yanı sıra farklı yöntemler de

uygulanmalı, değerlendirilmeli ve birbirleriyle karşılaştırılarak sonuçlar desteklenmelidir.

### Kaynaklar

- [1] Hutzinger, O., Tulp, M.T.M., ve Zitko, V., Chemicals with pollution potential. Aquatic Pollutants: Transformation and Biological Effects, 1, p.13 (2015).
- [2] Martins, M., Ferreira, A.M., Costa, M.H., ve Costa, P.M., Comparing the genotoxicity of a potentially carcinogenic and a noncarcinogenic PAH, singly, and in binary combination, on peripheral blood cells of the European sea bass. **Environmental toxicology** (2015).
- [3] Göney, G., Çevre Kirliliğinin Biyoizlenmesinde Balıklarda Genotoksisite Testleri. **Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi**, (1), 43-49, (2016).
- [4] Wells, P.G., Biomonitoring the health of coastal marine ecosystems—the roles and challenges of microscale toxicity tests. **Marine Pollution Bulletin**, 39(1), 39- 47, (1999).
- [5] Al-Sabti, K., ve Metcalfe, C.D., Fish micronuclei for assessing genotoxicity in water. **Mutation Research/Genetic Toxicology**, 343(2), 121-135, (1995).
- [6] De Flora, S., Vigano, L., D’agostini, F., Camoirano, A., Bagnasco, M., Bennicelli, C., Melodia, F. ve Arillo, A., Multiple genotoxicity biomarkers in fish exposed in situ to polluted river water. **Mutation Research/Genetic Toxicology**, 319(3), 167-177, (1993).
- [7] Belpaeme, K., Delbeke, K., Zhu, L., Kirsch-Volders, M., Cytogenetic studies of PCB77 on brown trout (*Salmo trutta fario*) using the micronucleus test and the alkaline comet assay. **Mutagenesis**, 11(5), 485-492, (1996).
- [8] Klobučar, G.I., Štambuk, A., Pavlica, M., Erben, R., Genotoxicity monitoring of freshwater environment: comet and micronucleus assays. **In Symposium Pollutant responses in marine organisms**, 62; 306-316, (2006).
- [9] Raisuddin, S., ve Jha, A.N., Relative sensitivity of fish and mammalian cells to sodium arsenate and arsenite as determined by alkaline single cell gel electrophoresis and cytokinesis block micronucleus assay. **Environmental and molecular mutagenesis**, 44(1), 83-89, (2004).
- [10] Obiakor, M., Okonkwo, J., Nnabude, P., ve Ezeonyejiaku, C., Eco-genotoxicology: micronucleus assay in fish erythrocytes as in situ aquatic pollution. **Journal of Animal Science Advances**, 2(1), pp.123-133, (2012).
- [11] Kutoğlu, S., Tatların Baraj Gölündeki su kirliliğinin bazı Cyprinidae türlerine genotoksik etkisinin mikronükleus testi ile belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir, (2017).
- [12] Bulut, B., Titanyum Dioksit’in (TiO<sub>2</sub>) Ergin *Labidochromis caeruleus* (Fryer, 1956) Türüne Genotoksik Etkileri: Mikronükleus Testi, Yüksek Lisans Tezi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın, (2021).
- [13] Güner, U. ve Gökalp Muranlı, F.D., Balıklarda tek hücre jel elektroforezi (comet assay). **Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi**, 3(9), 103-114, (2013).
- [14] Ma, TH., *Tredescantia* micronucleus bioassay and polen tube chromatidaberration test for in situ monitoring and mutagen screening, **Environmental Health Perspective**, 37, 85-90, (1981).

- [15] Scarpato, R., Migliore, L. Ve Barale, R., The micronucleus assay in Anadontacygnea for the detection of drinking water mutagenity. **Mutation Research**, 245, 231-237, (1990).
- [16] Düzel, S., Sentetik Piretroit Deltametrin'in *Pseudorasbora parva* (Temminck & Schlegel, 1846) Üzerindeki Akut ve Genotoksik Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2013).
- [17] Jha, A.N., Ecotoxicological applications and significance of the comet assay. **Mutagenesis**, 23(3), 207- 221, (2008).
- [18] Kurucu, G., Curi Deresi (Ordu) Su, Sediment ve *Alburnus chalcoides* Türünde Ağır Metal Birikimi ve Genotoksik Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu, (2020).
- [19] Fenech, M. ve Crott, JW., Micronuclei, nucleoplasmic bridges and nuclear buds induced in folic acid deficient human lymphocytes-evidence for breakagefusion-bridge cycles in the cytokinesis-block micronucleus assay. **Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis, Mutation Research**, 504, 131-136, (2002).
- [20] Heddle, JA., Hite, M., Kirkhart, B., Mavournn, K., Macgregor, JT., Newell, GW. ve Salamone, MF., The induction of micronuclei as a measure of genotoxicity. A report of the U.S. Environmental Protection Agency GeneTox Program, **Mutation Research**, 123, 61-118, (1983).
- [21] Yıldız, Y. ve Önen, Ö., Bazı kirleticilerin Teleostlar üzerindeki genotoksik etkileri. **Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 9(1):63-74, (2016).
- [22] Heddle, JA., Cimino, MC., Hayashi, M., Romagna, F., Shelby, MD., Tucker, JD., Vanparys, P., MacGregor, JT., Micronuclei as an index of cytogenetic damage: past, present, and future. **Environmental and Molecular Mutagenesis**, 18(4), 277-291, (1991).
- [23] Fenech, M., The in vitro micronucleus technique. **Mutation Research**, 455, 81-95, (2000).
- [24] Şekeroğlu, V. ve Şekeroğlu, ZA., Genotoksik hasarın belirlenmesinde mikronükleus testi. **Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi**, 68(4), 241-252, (2011).
- [25] Schiffmann, D. ve De Boni, U., Dislocation of chromatin elements in prophase induced by diethylstilbestrol: a novel mechanism by which micronuclei can arise. **Mutation Research**, 246(1), 113-122, (1991).
- [26] Yıldırım, A. ve Yıldırım, MS., Matbaa sanayinde çalışan işçilerin bukkal mukoza hücrelerinde mikronükleus ve binükleotid sıklığının belirlenmesi. **Tıp Araştırmaları Dergisi**, 9(1), 25-28, (2011).
- [27] Stopper, H. ve Müller, SO., Micronuclei as a biological endpoint for genotoxicity: a minireview. **Toxicology in Vitro**, 11, 661-667, (1997).
- [28] Fenech, M., Holland, N., Chang, WP., Zeiger, E., ve Bonassi, S., The human micronucleus project-an international collaborative study on the use of micronucleus technique for measuring DNA damage in humans. **Mutation Research**, 428, 271-283, (1999).
- [29] Gül, G., Endokrin Bozucu Kirleticilerin Bazı Ekonomik Balık Türlerinde Gonad Histopatolojisine ve Vitellogeninlerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2014).
- [30] Anbumani, S. ve Mohankumar, M.N., Nuclear and cytoplasmic abnormalities in the fish *Catla catla* (Hamilton) exposed to chemicals and ionizing radiation. **Research Journal of Environmental Sciences**, 5(12), p.867, (2011).

- [31] Hayashi, M., Ueda, T., Uyeno, K., Wada, K., Kinae, N., Saotome, K., Tanaka, N., Takai, A., Sasaki, Y.F., Asano, N., ve Sofuni, T., Development of genotoxicity assay systems that use aquatic organisms. **Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis**, 399(2), 125-133, (1998).
- [32] Bolognesi, C., ve Hayashi, M., Micronucleus assay in aquatic animals. **Mutagenesis**, 26(1), 205-213, (2011).
- [33] Schmidt, W., The micronucleus test, **Mutation Research**, 31, 9-15, (1975).
- [34] Ali, F., El-Shehawi, A.M., ve Seehy, M.A., Micronucleus test in fish genome: A sensitive monitor for aquatic pollution. **African journal of biotechnology**, 7(5), 606-612, (2008).
- [35] Ayllon, F., ve Garcia-Vazquez, E., Micronuclei and other nuclear lesions as genotoxicity indicators in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 49(3), 221-225, (2001).
- [36] Çavaş, T., ve Ergene-Gözükara, S., Micronucleus test in fish cells: a bioassay for in situ monitoring of genotoxic pollution in the marine environment. **Environmental and molecular mutagenesis**, 46(1), 64-70, (2005).
- [37] Obiakor, M.O., Okonkwo, J.C., ve Ezeonyejaku, C.D., Genotoxicity of freshwater ecosystem shows DNA damage in preponderant fish as validated by in vivo micronucleus induction in gill and kidney erythrocytes. **Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, 775, 20-30, (2014).
- [38] Singh, N.P., McCoy, M.T., Tice, R.R., ve Schneider, E.L., A simple technique for quantitation of low levels of DNA damage in individual cells. **Experimental cell research**, 175(1), 184-191, (1988).
- [39] Cotellet, S. ve Ferard, J.F., Comet assay in genetic ecotoxicology: a review. **Environmental and Molecular Mutagenesis**, 34, 246-255, (1999).
- [40] Rajaguru, P., Suba, S., Palanivel, M., ve Kalaiselvi, K., Genotoxicity of a polluted river system measured using the alkaline comet assay on fish and earthworm tissues. **Environmental and Molecular Mutagenesis**, 41(2), 85-91, (2003).
- [41] Frenzilli, G., Scarcelli, V., Del Barga, I., Nigro, M., Förlin, L., Bolognesi, C. ve Sturve, J., DNA damage in eelpout (*Zoarces viviparus*) from Göteborg harbour. **Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis**, 552(1), 187-195, (2004).
- [42] Frenzilli, G., Nigro, M., ve Lyons, B.P., The Comet assay for the evaluation of genotoxic impact in aquatic environments. **Mutation Research/Reviews in Mutation Research**, 681(1), 80-92, (2009).
- [43] Nagarani, N., Devi, V.J., ve Kumaraguru, A.K., Identification of DNA damage in marine fish *Therapon jarbua* by comet assay technique. **Journal of Environmental Biology**, 33(4), p.699, (2012).
- [44] Schnurstein, A., ve Braunbeck, T., Tail moment versus tail length—application of an in vitro version of the comet assay in biomonitoring for genotoxicity in native surface waters using primary hepatocytes and gill cells from zebrafish (*Danio rerio*). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 49(2), 187-196, (2001).
- [45] Kumaravel, T. S., ve Jha, A. N., Reliable Comet assay measurements for detecting DNA damage induced by ionising radiation and chemicals. **Mutation Research**, 605, 7-16, (2006).



- [46] Çavaş, T., In vivo genotoxicity evaluation of atrazine and atrazine-based herbicide on fish *Carassius auratus* using the micronucleus test and the comet assay. **Food and Chemical Toxicology**, 49(6), 1431-1435, (2011).
- [47] Tice, RR., Agurell, E., ve Anderson, D., Single cell gel/comet assay: guidelines for in vitro and in vivo genetic toxicology testing. **Environmental and Molecular Mutagenesis**, 35(3), 206-221, (2000).
- [48] Çavaş, T. ve Könen, S., Detection of cytogenetic and DNA damage in peripheral erythrocytes of goldfish (*Carassius auratus*) exposed to a glyphosate formulation using the micronucleus test and the comet assay. **Mutagenesis**, 22(4), 263-268, (2007).
- [49] Çavaş, T. ve Könen, S., In vivo genotoxicity testing of the amnesic shellfish poison (domoic acid) in piscine erythrocytes using the micronucleus test and the comet assay. **Aquatic Toxicology**, 90(2), 154-159, (2008).
- [50] Bopp, KS., Abicht, HK., ve Knauer, K., Copper-induced oxidative stress in rainbow trout gill cells. **Aquatic Toxicology**, 86(2), 197-204, (2008).
- [51] Kontaş, S., ve Bostancı, D., Genotoxic effects of environmental pollutant heavy metals on *Alburnus chalcoides* (Pisces: Cyprinidae) inhabiting lower Melet River (Ordu, Turkey). **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, 104, 763-769, (2020).
- [52] Rodriguez-Cea, A., Ayllon, F., ve Garcia-Vazquez, E., Micronucleus test in freshwater fish species: an evaluation of its sensitivity for application in field surveys. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 56(3), 442-448, (2003).
- [53] Buschini, A., Martino, A., Gustavino, B., Monfrinotti, M., Poli, P., Rossi, C., Santoro, M., Dörr, A.J.M. ve Rizzoni, M., Comet assay and micronucleus test in circulating erythrocytes of *Cyprinus carpio* specimens exposed in situ to lake waters treated with disinfectants for potabilization. **Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, 557(2), 119-129, (2004).
- [54] De Andrade, V.M., Da Silva, J., Da Silva, F.R., Heuser, V.D., Dias, J.F., Yoneama, M.L. ve De Freitas, T.R., Fish as bioindicators to assess the effects of pollution in two southern Brazilian rivers using the Comet assay and micronucleus test. **Environmental and molecular mutagenesis**, 44(5), 459-468, (2004).
- [55] Çavaş, T., In vivo genotoxicity of mercury chloride and lead acetate: micronucleus test on acridine orange stained fish cells. **Food and Chemical Toxicology**, 46(1), 352-358, (2008).
- [56] Kılıçle, P. A., ve Doğan, A., Akrilamidin *Capoeta capoeta* (Guldenstaedt 1773) Üzerindeki Genotoksik Etkileri. **Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 9(1), 75-81, (2016).
- [57] Özkurnaz, G., Çanakkale Boğazı Umurbey Kıyılarında Yetişen Bazı Çift Kabuklu Yumuşakçaların (*Bivalvia*) Solungaçlarındaki Ağır Metal Birikimleri ve Genotoksik Üzerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale, (2012).
- [58] Yalçın, E., Taşlı, B., Çiçek, F., Demırtaş, G., Yapar, K., ve Çavuşoğlu, K., Albino farelerde dinikanazol toksisitesine karşı üzüm çekirdeği özütünün koruyucu rolünün araştırılması. **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi**, 32(1), 1-6, (2016).
- [59] Hasanbašić, D., ve Rukavina, D., Micronuclei in lymphocytes of horses and pigs after in vitro irradiation. **Acta veterinaria**, 57(4), 341-350, (2007).

- [60] Saleh, K., Mikronükleus Testi ile Bazı Kimyasal Maddelerin ve Çevre Kirlenmelerinin Neden Olduğu Klastojenik Etkilerin Araştırılması, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, (2015).
- [61] Silveira, E. D. R., Benvindo-Souza, M., Assis, R. A., Dos Santos, C. G. A., de Lima Amorim, N. P., Borges, R. E., ve de Souza Santos, L. R., Micronucleus and different nuclear abnormalities in wild birds in the Cerrado, Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, 1-9, (2022).
- [62] Özparlak, H., Arslan, A., ve Güler, G. Ö., Organik insektisit Fipronil'in genotoksik etkilerinin civciv mikronükleus test sisteminde belirlenmesi. **Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi**, 2(37), 1-8, (2011).
- [63] Türkez, H., Tatar, A., Geyikoğlu, F., Togar, B., ve Keleş, M., Bakır Asetoarsenit'in İn Vivo Genotoksik Etkilerinin Değerlendirilmesi. **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 13(2), 132-136, (2014).
- [64] Gürhan, B., Şenel, E., Dakılır, G., ve Öztürkmen, H., Şap Aşılı Sığırlarda Mikronötralizasyon ve ELİSA ile Antikor Düzeylerinin Saptanması. **Etlik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi**, 7(5), 99-108, (1994).
- [65] Maria, V. L., Correia, A. C., ve Santos, M. A., Genotoxic and biochemical responses in caged eel (*Anguilla anguilla* L.) after short-term exposure to harbour waters. **Environment International**, 29, 923-929, (2003).
- [66] Villela I. V., de Oliveira I. M., Silveira J. C., Dias J. F., Henriques J. A. P. ve da Silva J., Assessment of Environmental Stress by the Micronucleus and Comet Assays on Limnoperna fortunei Exposed to Guaíba Hydrographic Region Samples (Brazil) Under Laboratory Conditions. **Mutation Research**, 628: 76-86, (2007).
- [67] Turna Demir, F., Farklı Kirlilik Potansiyellerine Sahip Lokalitelerde Yaşayan *Microtus guentheri* Örneklerindeki Ağır Metal Birikim Seviyelerinin Saptanması ve Genetik Hasarın Araştırılması. Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, (2018).
- [68] Lourenço, J., Pereira, R., Gonçalves, F. ve Mendo, S., Metal bioaccumulation, genotoxicity and gene expression in the European wood mouse (*Apodemus sylvaticus*) inhabiting an abandoned uranium mining area. **Science of the Total Environment**, 443: 673-680, (2013).
- [69] Mitkovska, V., Chassovnikarova, T., Atanasov, N. ve Dimitrov, H., DNA damage detected by Comet assay in *Apodemus flavicollis* (Melchior, 1834) from Strandzha Natural Park. **Acta Zoologica Bulgarica**, 4: 155-158, (2012).
- [70] Kontaş, S., ve Bostancı, D., Balıklarda genotoksik hasarın belirlenmesine yönelik bir araştırma: *Capoeta banarescui* örneği. **Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research**, 6(2), 144-152, (2020).
- [71] Baos R, Jovani R, Pastor N, Tella JL, Jiménez B., ve Gómez G., Evaluation of genotoxic effects of heavy metals and arsenic in wild nestling white storks (*Ciconia ciconia*) and black kites (*Milvus migrans*) from southwestern Spain after a mining accident. **Environmental Toxicological Chemical**, 25(10):2, 794-803, (2006).
- [72] Mouchet F, Gauthier L, Baudrimont M, Gonzalez P, Mailhes C., ve Ferrier V. Comparative evaluation of the toxicity and genotoxicity of cadmium in amphibian Larvae (*Xenopus laevis* and *Pleurodeles waltl*) using the Comet assay and the micronucleus test, **Environmental Toxicology**, 22(4):422- 35, (2007).
- [73] Møller, P., The comet assay: ready for 30 more years. **Mutagenesis**, 33(1), 1-7, (2018).

- [74] Jiang, N., Naz, S., Ma, Y., Ullah, Q., Khan, M. Z., Wang, J., Lu, X., Luosang, D. Z., Tabassum, S., Cahtha, A. M. M., ve Basang, W. D., An Overview of Comet Assay Application for Detecting DNA Damage in Aquatic Animals. **Agriculture**, 13(3), 623, (2023).
- [75] Cordelli, E., Bignami, M., ve Pacchierotti, F., Comet assay: a versatile but complex tool in genotoxicity testing. **Toxicol Research** 10: 68–78, (2021).
- [76] Azqueta, A., Slyskova, J., Langie, S. A., O’Neill Gaivão, I., ve Collins, A., Comet assay to measure DNA repair: approach and applications. **Frontiers in genetics**, 5, 288, (2014).

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ  
MAKALE YAZIM KURALLARI

- Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (Journal of Balıkesir University Institute of Science and Technology) bütün Fen, Mühendislik ve Mimarlık Anabilim Dallarını ilgilendiren konulardaki önemli, özgün, kaliteli araştırma ve çalışma makalelerini yayımlayan **hakemli ve bilimsel** bir dergidir. Ocak ve Temmuz aylarında olmak üzere yılda iki kez yayınlanır.
- Dergide yayımlanan makaleler başka hiçbir yerde yayımlanamaz veya bildiri olarak sunulamaz. Kısmen veya tamamen yayımlanan makaleler kaynak gösterilmeden hiçbir yerde kullanılamaz. Dergiye gönderilen makalelerin içerikleri özgün, daha önce herhangi bir yerde yayımlanmamış veya yayımlanmak üzere gönderilmemiş olmalıdır. Değerlendirmeye sunulacak çalışmaların bir başka dergiye gönderilmediği veya basılmadığı ön yazı ile **mutlaka belirtilmelidir**.
- Dergi yazım kuralları aynı zamanda baskı formatıdır.** Bu nedenle yazım kurallarının yazar veya yazarlarca dikkatle uygulanması gerekmektedir. Yazım kurallarına uygun olmayan yazılar, yazarlara geri gönderilecektir. **Göstereceğiniz ilgi için teşekkür ederiz.**

<b>Sayfa boyutu, sayısı ve kenar boşlukları</b>	A4 formatında, en fazla (eğer mümkünse) 12 sayfa olmalıdır. Sol ve Sağ : 3 cm, Üst ve Alt: 2,5 cm.
<b>Sayfa numaraları</b>	Sayfa numaraları sayfa altında ve ortada verilmelidir.
<b>Satır boşlukları</b>	Bütün satır boşlukları Times New Roman karakterinde ve 12 punto olmalıdır.
<b>Metin</b>	Times New Roman karakterinde 12 punto ile, sağa ve sola dayalı olarak tek aralıklı yazılmalıdır. Noktadan sonra 2 boşluk, virgülden sonra 1 boşluk bırakılmalıdır.

<b>Paragraf</b>	Her paragraf arasında bir satır boşluk bırakılmalı, paragraf başlarında içerden başlanmamalıdır (Tab tuşu kullanılmamalıdır).
<b>Makale başlığı</b>	Sayfa başından 5 satır boşluk bırakıldıktan sonra, Times New Roman, 20 punto (koyu olmayacak) ile başlığın sadece ilk harfi büyük olacak şekilde sayfa ortalanarak yazılmalıdır.
<b>Yazar adı veya adları</b>	Başlıktan sonra 2 satır boşluk bırakılarak, ünvan belirtilmeden, Adın ilk harfi ve SOYAD'ın tamamı büyük harf ile, birden fazla yazarlarda aralarına virgöl konularak, Times New Roman, 12 punto, <b>koyu</b> ve sayfa ortalanarak yazılmalıdır.
<b>Yazarın/ların adresi/leri</b>	Yazar adının hemen altına boşluk bırakılmadan, Times New Roman, 10 punto ve <i>italik</i> olarak yazılmalıdır. Adresleri aynı olan yazarlar için tek adres, farklı yazar adresleri alt alta boşluk bırakılmadan yazılmalıdır.
<b>İletişim yazarının bilgileri</b>	Bütün yazarlar için Sorumlu yazar ilk sırada olacak şekilde; Ünvensiz Ad SOYAD, e-mail adresi, ORCID ID numarası ( <a href="http://orcid.org/xxxx-xxxx-xxxx-xxxx">http://orcid.org/xxxx-xxxx-xxxx-xxxx</a> .) aralarına virgöl konularak 1. sayfanın altına dipnot olarak, Times New Roman, 10 punto ile yazılmalıdır.
<b>Türkçe özet</b>	Adres/ler den 3 satır boşluk bırakıldıktan sonra, <b>Özet</b> kelimesi Times New Roman yazı karakterinde, 12 punto, <b>koyu</b> ve sola dayalı olarak yazılmalıdır. <i>Özet metni</i> Times New Roman yazı karakterinde, 12 punto ve <i>italik</i> olarak yazılmalıdır. Özet metninin 200 kelimeyi geçmemesine özen gösterilmelidir. Özet kelimesi ile özet metni arasında bir satır boşluk bırakılmalıdır.
<b>Anahtar kelimeler Keywords</b>	<b>Anahtar kelimeler:</b> ve <b>Keywords:</b> kelimeleri Türkçe özetin ve İngilizce özetin altına bir satır boşluk bırakılarak, Times New Roman, 12 punto, <b>koyu</b> ve <i>italik</i> olarak yazılmalıdır. En az 3 en fazla 6 adet anahtar kelime verilmeli, anahtar kelimelerin birincisinin ilk harfi büyük diğerleri küçük harfle ve aralarına virgöl konularak verilmelidir.

---

<b>İngilizce başlık ve Abstract</b>	Türkçe anahtar kelimelerin altına 2 satır boşluk bırakılarak, Times New Roman, 16 punto (koyu olmayacak) ile başlığın sadece ilk harfi büyük olacak şekilde sayfa ortalanarak yazılmalıdır. Abstract, Türkçe özet formatında yazılmalıdır.
<b>Ana başlıklar</b>	Ana Başlıklar sırasıyla numaralandırılmalıdır ( <b>1. Giriş</b> <b>2. Deneysel çalışmalar</b> gibi). <b>Tüm başlıklar</b> sola dayalı Times New Roman, 12 punto, <b>koyu</b> ve sadece ilk kelimenin ilk harfi büyük olacak şekilde yazılmalıdır. Ana başlıklardan önce 2 satır, sonra 1 satır boşluk bırakılmalıdır.
<b>Alt başlıklar</b>	Alt başlıklar ana başlık numarasına uygun olarak numaralandırılmalıdır. <b>Tüm alt başlıklar</b> sola dayalı Times New Roman, 12 punto, <b>koyu</b> ve <b>italik</b> olarak sadece ilk kelimenin ilk harfi büyük olacak şekilde yazılmalıdır ( <b>2.1. Malzeme</b> <b>2.2. Isıl işlemler</b> gibi). Alt başlıklardan önce tek satır boşluk bırakılmalı, sonra ise boşluk bırakılmadan metine geçilmelidir.
<b>Şekiller Resimler Fotoğraflar</b>	Sayfa sınırlarını aşmayacak şekilde ortalanarak, net ve okunaklı olmalıdır. Sıra ile numaralandırılmalıdır. Şekil no ve adları şeklin altında ortalanarak ve sadece ilk kelimenin ilk harfi büyük olarak verilmelidir. Şekiller ya bir çizim programı ile çizilmiş olmalı ya da en az 300 dpi çözünürlükte taranmış olmalıdır. Şekil olarak gösterilen grafik, resim ve metin kutularında yer alan yazı ve sayıların büyüklüğü makale içinde Times New Roman karakteri ile yazılmış 9 punto boyutundaki bir yazının büyüklüğünden az olmamalıdır. Şekilden önce, şekil adından önce ve sonra birer satır boşluk bırakılmalıdır. Şekiller metin içine yerleştirilirken mutlaka şekilden önce atıfta bulunulmalıdır.

---

---

<b>Tablolar</b>	<p>Sayfa sınırlarını aşmayacak şekilde ortalanarak konulmalıdır. Sıra ile numaralandırılmalıdır. Tablo no ve adları, tablonun üstünde tek satır boşluk ile sadece ilk kelimenin ilk harfi büyük olacak şekilde ortalanarak yazılmalıdır. Tablo adı yazılırken üstte ve altta birer satır, tablodan sonra yine bir satır boşluk bırakılmalıdır. Tablolara tablodan önce mutlaka metin içerisinde atıfta bulunulmalıdır. Tablo satır ve sütunlarındaki rakam ve yazılar Times New Roman 12 punto ile yazılmalıdır. Ancak zorunlu kalınan durumlarda yazı boyutu yazı sınırlarını geçmeyecek şekilde en az 9 puntoya kadar düşürülebilir.</p>
<b>Denklemler</b>	<p>Metin içerisine yazılacak denklemler, word yazım programındaki denklem editörü ile sola dayalı olarak yazılmalı ve eşitliklere sağa dayalı olarak parantez içerisinde sıra ile numara verilmelidir.</p>
<b>Semboller</b>	<p>Makale çok sayıda sembol içeriyor ya da makaledeki sembollerin açıklanması gerekiyorsa uluslararası standarda uygun olarak, semboller, kaynaklardan önce, Times New Roman 12 punto ile italik yazılmalıdır. Makalede ondalık gösterimde nokta kullanılmalı, binlikleri ayırırken virgül veya nokta kullanılmamalı gerekiyorsa tek boşluk kullanılmalıdır.</p>
<b>Kaynaklar</b>	<p>Kaynaklar metin içerisinde sıra ile numaralandırılmalıdır. Makalenin sonunda bulunan kaynaklar bölümündeki sıralama, metinde verilen sıraya uygun olarak yapılmalıdır.</p> <p>Atıfta bulunulan kaynaklar; ya ..... [1]. şeklinde cümlelerin sonunda ya da ..... [1], ..... şeklinde cümle içinde verilmelidir. İki veya daha fazla kaynak yazarken verilecek kaynaklar sıralı ise [1,2,3,4] şeklinde değil, [1-4] şeklinde verilmelidir. Sıralı değil ise [8,11,15] şeklinde verilmelidir.</p> <p>Kaynaklar, Times New Roman 12 punto ile yazılmalı, sadece dergi, kitap ya da sempozyum adı kalın yazılmalıdır. Kaynaklar kısmında yer alan ulusal-uluslararası makalelerin yer aldığı dergi adları kısaltılmış halleriyle değil, açık olarak yazılmalıdır (örnek: dergi adı Wat. Res. şeklinde değil Water Resources şeklinde yazılmalı).</p>

---

---

## **Ulusal - Uluslararası Makaleler**

- [1] Li, G., Hart, A. ve Gregory, J., Flocculation and sedimentation of high turbidity water, **Water Resources**, 25, 9, 1137-1143, (1998).

## **Ulusal - Uluslararası Bildiriler**

- [2] Li, G., Hart, A. ve Gregory, J., Flocculation and sedimentation of high turbidity waters, **Proceedings, 9th Biennial Conference**, International Association on Water Quality, 1137–1143, Vancouver, (1998).

## **Ulusal - Uluslararası Kitap**

- [3] Li, G., Hart, A. ve Gregory, J., **Flocculation and sedimentation**, 295, Technomics Press, Lancaster PA, (1998).

## **Kitap İçinde Bölüm**

- [4] Blackburn, T., **Flocculation and sedimentation** in Li, G., Hart, A. ve Gregory, J., Physical Processes, Technomics Press, 29-45, Lancaster PA, (1998).

## **Editörlük**

- [5] Li, G., Hart, A. ve Gregory, J., **Flocculation and sedimentation**, 295, Technomics Press, Lancaster PA, (1998).

## **Makaleler**

- [6] Li, G., Hart, A. ve Gregory, J., Flokülasyona hız gradyanı etkisi, **Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi**, 7, 4, 26–32, (1998).
- [7] Snell, F. D. ve Ettre, L. S., **Encyclopedia of Industrial Chemical Analysis**, 14, Interscience, New York, (1971).

## **Basılmış Bilimsel Rapor**

- [8] Li, G., Hart, A. ve Gregory, J., The effect of velocity gradient in flocculation, Technical Report, NATO Science for Stability Programme, 150, Brussels, (1998).

## **Mesleki Teknik Rapor**

- [9] Li, G., Hart, A. ve Gregory, J., Flokülasyona hız gradyanı etkisi, Teknik Rapor 45, İTÜ Geliştirme Vakfı, İstanbul, (1998).
-



---

## **Doktora, Y.Lisans Tezi**

- [10] Türker, K., Yapıların deprem davranışının belirlenmesi için çok modlu uyarlamalı yük artımı yöntemi, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, (2005).

## **Standartlar**

- [11] TS825, Binalarda ısı yalıtım kuralları, **Türk Standartları**, Ankara, (1998).

## **Güncel Yazı**

- [12] Li, G., Hart, A. ve Gregory, J., Flokülasyona hız gradyanı etkisi, **Bilim ve Teknik**, 363, 8, 23–45, (1998).
- [13] Li, G., Hart, A. ve Gregory, J., Flokülasyona hız gradyanı etkisi, **Milliyet Gazetesi**, sf.2, 3, 24, (1998).

## **Web adresleri**

- [14] Li, G., Hart, A. ve Gregory, J., Flokülasyona hız gradyanı etkisi, (1998). <http://www.server.com/projects/paper2.html>, (20.05.2004).
-

