

# Balıkesir Üniversitesi FBE Dergisi

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

Balıkesir Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Cilt:26 Sayı:2 Temmuz 2024

JOURNAL OF BALIKESIR UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Volume : 26 Number : 2 July 2024

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ | Cilt : 26 Sayı : 2 Temmuz 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)

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



Balıkesir  
Üniversitesi  
FBE  
Dergisi

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

Cilt 26 Sayı 2 Temmuz 2024

ISSN 1301-7985  
eISSN 2536-5142



Journal of Balıkesir University  
Institute of Science and Technology

Volume 26 Number 2 July 2024

ISSN 1301-7985  
eISSN 2536-5142

# BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

CİLT: 26 SAYI: 2

Temmuz 2024

ISSN 1301-7985  
eISSN 2536-5142

**Sahibi Balıkesir Üniversitesi Adına**

Prof. Dr. Yücel OĞURLU  
Balıkesir Üniversitesi Rektörü

## Baş Editör

Doç. Dr. Dilek TÜRKER

Balıkesir Üniversitesi

## Editör Kurulu

Doç. Dr. Alaaddin TOKTAŞ

Balıkesir Üniversitesi

Doç. Dr. Sümeyye AYDOĞAN TÜRKÖĞLU

Balıkesir Üniversitesi

Prof. Dr. Hüseyin KÜÇÜKÖZER

Balıkesir Üniversitesi

Prof. Dr. Fırat EVİRGEN

Balıkesir Üniversitesi

Doç. Dr. Nuray GEDİK

Doç. Dr. Kaan TÜRKER

Balıkesir Üniversitesi

## Danışma & Yayın Kurulu

Prof. Dr. Murat Erhan BALCI

Balıkesir Üniversitesi

Prof. Dr. Ali ORAL

Balıkesir 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. Bedriye ASIMGİL

İzmir Demokrasi Üniversitesi

Prof. Dr. Gaye BİROL

İzmir Demokrasi Üniversitesi

Prof. Dr. Serdar KALE

İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü

Prof. Dr. Derya BOSTANCI

Ordu Üniversitesi

Prof. Dr. Savaş YILMAZ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

---

Prof. Dr. Rařsan ILIKÇI SAĐKAN

Uřak Üniversitesi

Doç. Dr. Sema ÇARIKÇI

İzmir Demokrasi Üniversitesi

Doç. Dr. Recep Tuđrul ERDEM

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Doç. Dr. Meltem ALPER

Dokuz Eylül Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Derya OKUYAN

Bandırma Onyedİ Eylül Üni.

Dr. Öğr. Üyesi Serkan SAĐIROĐLU

Bursa Uludağ Üniversitesi

---

### **Sekretarya**

Arř. Gör. Harun Mert İLBEYLİ

Balıkesir Üniversitesi

---

### **Mizanpaj&Yayın Editörü**

Arř. Gör. Dr. 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>

# BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

CİLT: 26 SAYI: 2

Temmuz 2024

ISSN 1301-7985  
eISSN 2536-5142

## 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.

**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>

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makalesi / Research Article

**A study on two fourth-order fuzzy problems with fuzzy coefficients**

Fuzzy katsayılı iki dördüncü-mertebeden fuzzy problem üzerine bir çalışma 345-355

**Hülya GÜLTEKİN ÇİTİL**

**The effect of food microbiology course on the knowledge and practice levels of nutrition and dietetics students studying in different universities in Turkey on food safety and microbiology**

Türkiye’de farklı üniversitelerde öğrenim gören beslenme ve diyetetik öğrencilerinin besin güvenliği ve mikrobiyolojisi konusundaki bilgi ve uygulama düzeylerine besin mikrobiyolojisi dersi’nin etkisi 356-372

**Hasan Fatih AKGÖZ, Halime SELEN, Aylin SEYLAM  
KÜŞÜMLER**

**Kent içi karayolu ağlarında yedek kapasite ve taşıt emisyonu problemlerinin eş zamanlı çözümü**

Simultaneous solution for reserve capacity maximization and vehicle emission minimization problems in urban road networks 373-392

**Cenk OZAN, Özgür BAŞKAN**

**Biomimetic approach for energy-efficient building envelope design in Doha**

Doha’da enerji verimli bina kabuğu tasarımı için biyomimetik yaklaşım 393-419

**Berkay NALÇAKAN, Başak KUNDAKCI KOYUNBABA**

**Effect of adhesive thickness and loading speed on bonding strength in single-lap adhesive joints with aluminum 5754-H111**

Alüminyum 5754-H111 ile oluşturulan tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarında yapıştırıcı kalınlığı ve yükleme hızının yapışma dayanımına etkisi 420-430

**Ali İŞIKTAŞ, Fatih BALİKOĞLU, Tayfur Kerem  
DEMİRCİOĞLU**

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makalesi / Research Article

**Optimization of contraction cone length in an open circuit wind tunnel**

Açık devre rüzgar tüneline daralma konisi uzunluğunun optimizasyonu

431-440

**Seyhun DURMUŞ**

**Kompozit levhaların mekanik özelliklerindeki değişkenliği üzerinde üretim prosesi ve malzeme parametrelerinin etkisinin incelenmesi**

Investigation of the effect of production process and material parameters on the variability of mechanical properties of composite sheets

441-454

**Raif SAKİN**

**Activated carbon assisted cobalt catalyst for hydrogen production: synthesis and characterization**

Hidrojen üretimi için aktif karbon destekli kobalt katalizörü: sentez ve karakterizasyon

455-471

**Selma EKİNCİ, Erhan ONAT**

**Weekly Ill-posed integral geometry problems of Volterra type in three-dimensional space**

Üç boyutlu uzayda Volterra tipindeki, zayıf nokorrekt integral geometri problemi

472-478

**Akram BEGMATOV, Alisher ISMAILOV**

**Investigation of otolith mass asymmetry of Squalius sp. populations sampled from different freshwater sources in Samsun Province (Türkiye)**

Samsun (Türkiye) ilindeki farklı tatlı su kaynaklarından örneklenen Squalius sp. populasyonlarında otolit kütle asimetrisinin incelenmesi

479-494

**Canan İMAMOĞLU, Nazmi POLAT, Semra SAYGIN, Melek ÖZPİÇAK, Savaş YILMAZ**

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makalesi / Research Article

**The catch amount of Mediterranean horse mackerel *Trachurus mediterraneus* (Steindachner, 1868) gillnets in the Sea of Marmara**

Marmara Denizi'nde sarıkuyruk istavrit *Trachurus mediterraneus* (Steindachner, 1868) uzatma ağlarının av miktarı 495-506

**Yusuf ŞEN, Ceyda KALEMLİ, Uğur ÖZEKİNCİ**

**Analytical solution of the (2+1)-dimensional Zoomeron equation by rational sine-Gordon Method**

Rasyonel sine-Gordon metodu ile (2+1) boyutlu Zoomeron denkleminin analitik çözümü 507-517

**Beyhan KEMALOĞLU, Gülnur YEL, Hasan BULUT**

**A novel undersampling method based on data classification method**

Veri sınıflandırma yöntemine dayalı yeni bir alt örnekleme yöntemi 518-526

**Nur UYLAŞ SATI**

**Fizik tutum ölçeğinin Türkçe'ye uyarlanması**

Adaptation of the physics attitude scale into Turkish 527-540

**Nilay KORKMAZ, Vahide Nilay KIRTAK AD**

**Effects of triple alpha and CNO reaction rates on the evolution of low-mass stars**

Üçlü alfa ve CNO reaksiyon oranlarının küçük kütleli yıldızların evrimi üzerindeki etkileri 541-548

**Gülay İNLEK, Salih ELÇİ**

**Molecular form factor data for tissue equivalent materials**

Doku eşdeğeri materyaller için moleküler form faktör verileri 549-555

**Aysun BÖKE**



İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makalesi / Research Article

**Use of oriental spruce gum (*Picea orientalis* (L.) Link) in gluten-free milk based dessert**

Glutensiz süt bazlı tatlıda Çam sakızının (*Picea orientalis* (L.) Link) kullanımı 556-567

**Berrak DELİKANLI KIYAK, Tülay ÖZCAN**

**Edremit Körfezi (Balıkesir/Türkiye) nar bahçelerinde Akdeniz meyve sineği (*Ceratitis capitata* Wiedemann) (Diptera: Tephritidae)'nin farklı tuzak tipleriyle popülasyon dalgalanması ve zarar oranının belirlenmesi**

Determination of population fluctuation of Mediterranean fruit fly (*Ceratitis capitata* Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) with different trap types and damage rate in Edremit Bay (Balıkesir/Turkey) pomegranate orchards 568-580

**Gonca VATANSEVER SAKİN**

**Pimaran iskeletine sahip leusofleoksol bileşiğinin yapısal, spektroskopik ve elektronik özelliklerinin DFT/HF yöntemleriyle incelenmesi**

The theoretical investigation of structural, spectroscopic and electronic properties of leucophleoxol compound having pimarane skeleton with DFT/HF methods 581-593

**Alper KAYA, Akın AZİZOĞLU**

**Heyelan duyarlılığı değerlendirmelerinde akarsulara uzaklık parametresinin kullanımına yönelik yeni bir yaklaşım**

A new approach to utilization of distance to stream parameter in landslide susceptibility assessments 594-614

**Murat ERCANOĞLU, Pınar AVCI**

**Taraşçı kireçtaşının biyostratigrafik özellikleri (Orta Toroslar, Türkiye)**

Biostratigraphical features of the Taraşçı limestone (Central Taurides, Türkiye) 615-634

**Ali Murat KILIÇ, Gencer ŞENTÜRK, Saniye ŞENTÜRK**

**İÇİNDEKİLER / CONTENTS**

**Derleme Makalesi / Review Article**

**Toksik organik kirleticilerin mekanokimyasal Parçalanması**

Mechanochemical destruction of toxic organic pollutants

635-649

**Volkan PELİTLİ**

**Salt stress and exclusion mechanism in woody plants**

Odunsu türlerde tuz stresi ve dışlama mekanizmaları.

650-661

**Banu GÜNGÖR,Sevinç Uslu KIRAN, Yeşim OKAY**

# A study on two fourth-order fuzzy problems with fuzzy coefficients

Hülya GÜLTEKİN ÇİTİL\*

Giresun University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics, Giresun, Turkey.

Geliş Tarihi (Received Date): 23.10.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 24.01.2024

## Abstract

*This study is on the solutions of two fourth-order fuzzy problems with positive and negative fuzzy number coefficients. The solutions are found using the fuzzy Laplace transform method. Main results are given. Two examples are solved to illustrate the problems. Graphics of the found solutions are drawn for alpha level sets. Also, the graphics are interpreted and conclusions are given.*

**Keywords:** *Fourth-order fuzzy problem, fuzzy function, fuzzy Laplace transform method.*

## Fuzzy katsayılı iki dördüncü-mertebeden fuzzy problem üzerine bir çalışma

### Öz

*Bu çalışma, pozitif ve negatif fuzzy sayı katsayılı iki dördüncü-mertebeden fuzzy problemin çözümleri üzerinedir. Çözümler fuzzy Laplace dönüşüm metodu kullanılarak bulundu. Temel sonuçlar verildi. Problemleri göstermek için iki örnek çözüldü. Alfa seviye setleri için bulunan çözümlerin grafikleri çizildi. Ayrıca, grafikler yorumlandı ve sonuçlar verildi.*

**Anahtar kelimeler:** *Dördüncü-mertebe fuzzy problem, fuzzy fonksiyon, fuzzy Laplace dönüşüm metodu.*

---

\*Hülya GÜLTEKİN ÇİTİL, hulya.citil@giresun.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-3543-033X>

## 1. Introduction

Fuzzy differential equation is useful for solving differential equations in the fields of engineering, physical mathematics, mathematics. So, many researchers study fuzzy differential equation [1-15]. Fuzzy Laplace transform was introduced by Allahviranloo and Ahmadi in 2010 [16]. They used the strongly generalized differentiability. Allahviranloo et al. obtained a new method for solving fuzzy linear differential equations. [17]. Fuzzy Laplace transform method is practically important method. So, fuzzy Laplace transform method was used by many researchers to solve fuzzy differential equations [18-23].

The aim of this study is to investigate the solutions of two fourth-order fuzzy problems with fuzzy number coefficients and to present the comparison results of the solutions.

In this study, we find the solutions directly with the fuzzy Laplace transform method and see the effect of the coefficients on the solutions.

In this work, we research the problems

$$u^{(iv)}(t) = [\mu]^\alpha u''(t), \quad (1)$$

$$u(0) = [\varphi]^\alpha, u'(0) = [\psi]^\alpha, u''(0) = [\chi]^\alpha, u'''(0) = [\omega]^\alpha \quad (2)$$

and

$$u^{(iv)}(t) = -[\mu]^\alpha u''(t), \quad (3)$$

$$u(0) = [\varphi]^\alpha, u'(0) = [\psi]^\alpha, u''(0) = [\chi]^\alpha, u'''(0) = [\omega]^\alpha, \quad (4)$$

by the fuzzy Laplace transform method, where

$$[\mu]^\alpha = [\underline{\mu}_\alpha, \bar{\mu}_\alpha], [\varphi]^\alpha = [\underline{\varphi}_\alpha, \bar{\varphi}_\alpha], [\psi]^\alpha = [\underline{\psi}_\alpha, \bar{\psi}_\alpha], [\chi]^\alpha = [\underline{\chi}_\alpha, \bar{\chi}_\alpha], [\omega]^\alpha = [\underline{\omega}_\alpha, \bar{\omega}_\alpha]$$

are symmetric triangular fuzzy numbers,  $t > 0$ ,  $u(t)$  is positive fuzzy function,  $L(u(t)) = U(s)$  is the Laplace transform of fuzzy function  $u(t)$ . Throughout the work,  $u, u', u'', u'''$  are (i)-differentiable.

## 2. Preliminaries

**Definition 1.** [10] A fuzzy number is a mapping  $u: \mathbb{R} \rightarrow [0,1]$  verifying the following properties:

$u$  is normal,  $u$  is upper semi-continuous on  $\mathbb{R}$ ,  $u$  is convex fuzzy set and  $cl\{x \in \mathbb{R} | u(x) > 0\}$  is compact, where  $cl$  denotes the closure of a subset.

**Definition 2.** [10] Let  $u \in \mathbb{R}_F$ , where  $\mathbb{R}_F$  is the space of fuzzy numbers.

$[u]^\alpha = \{x \in \mathbb{R} | u(x) \geq \alpha\}$ ,  $0 < \alpha \leq 1$  is the  $\alpha$ -level set of  $u$ .

**Definition 3.** [12] A fuzzy number  $u$  is a pair  $[\underline{u}_\alpha, \bar{u}_\alpha]$   $0 \leq \alpha \leq 1$ , which satisfy the requirements:

$\underline{u}_\alpha$  is right-continuous at  $\alpha = 0$  and bounded non-decreasing left-continuous in  $(0,1]$ ,  
 $\bar{u}_\alpha$  is right-continuous at  $\alpha = 0$  and bounded non-increasing left-continuous in  $(0,1]$  and  
 $\underline{u}_\alpha \leq \bar{u}_\alpha, 0 \leq \alpha \leq 1$ .

**Definition 4.** [10] The  $\alpha$ -level set of symmetric triangular fuzzy number  $W$  is

$$[W]^\alpha = \left[ \underline{w} + \left(\frac{\bar{w}-\underline{w}}{2}\right) \alpha, \bar{w} - \left(\frac{\bar{w}-\underline{w}}{2}\right) \alpha \right],$$

where  $[\underline{w}, \bar{w}]$  is support of  $W$ .

**Definition 5.** [12] Let  $u, v \in \mathbb{R}_F$ . If  $u = v + w$  such that  $w \in \mathbb{R}_F$ , then  $w$  is the H-difference of  $u$  and  $v$ .  $w$  is denoted as  $u \ominus v$ .

**Definition 6.** [22] Let  $g: (a, b) \rightarrow \mathbb{R}_F$  and  $t_0 \in (a, b)$ . If there exists  $g'(t_0) \in \mathbb{R}_F$  such that for all  $h > 0$  sufficiently small, there exist  $g(t_0 + h) \ominus g(t_0), g(t_0) \ominus g(t_0 - h)$  and the limits

$$\lim_{h \rightarrow 0} \frac{g(t_0 + h) \ominus g(t_0)}{h} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{g(t_0) \ominus g(t_0 - h)}{h} = g'(t_0),$$

$g$  is said to be Hukuhara differentiable at  $t_0$ .

**Definition 7.** [22] Let  $g: (a, b) \rightarrow \mathbb{R}_F$  and  $t_0 \in (a, b)$ . If there exists  $g'(t_0) \in \mathbb{R}_F$  such that for all  $h > 0$  sufficiently small, there exist  $g(t_0 + h) \ominus g(t_0), g(t_0) \ominus g(t_0 - h)$  and the limits

$$\lim_{h \rightarrow 0} \frac{g(t_0 + h) \ominus g(t_0)}{h} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{g(t_0) \ominus g(t_0 - h)}{h} = g'(t_0),$$

$g$  is (i)-differentiable at  $t_0$ .

If there exists  $g'(t_0) \in \mathbb{R}_F$  such that for all  $h > 0$  sufficiently small, there exist  $g(t_0) \ominus g(t_0 + h), g(t_0 - h) \ominus g(t_0)$  and the limits

$$\lim_{h \rightarrow 0} \frac{g(t_0) \ominus g(t_0 + h)}{-h} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{g(t_0 - h) \ominus g(t_0)}{-h} = g'(t_0),$$

$g$  is (ii)-differentiable.

**Theorem 1.** [12] Let  $g: [a, b] \rightarrow \mathbb{R}_F$  be fuzzy function.

$$[g(x)]^\alpha = [\underline{g}_\alpha(x), \bar{g}_\alpha(x)], \text{ for each } \alpha \in [0,1].$$

1. If  $g$  is (i)-differentiable,  $\underline{g}_\alpha, \bar{g}_\alpha$  are differentiable,

$$[g'(x)]^\alpha = [\underline{g}'_\alpha(x), \bar{g}'_\alpha(x)],$$

2. If  $g$  is (ii)-differentiable,  $\underline{g}_\alpha, \bar{g}_\alpha$  are differentiable,

$$[g'(x)]^\alpha = [\bar{g}'_\alpha(x), \underline{g}'_\alpha(x)].$$

**Theorem 2.** [12] Let  $g': [a, b] \rightarrow \mathbb{R}_F$  be fuzzy function.

$$[g(x)]^\alpha = [\underline{g}_\alpha(x), \overline{g}_\alpha(x)], \text{ for each } \alpha \in [0,1],$$

$g$  is (i)-differentiable or (ii)-differentiable.

1. If  $g, g'$  are (i)-differentiable,  $\underline{g}'_\alpha, \overline{g}'_\alpha$  are differentiable,

$$[g''(x)]^\alpha = [\underline{g}''_\alpha(x), \overline{g}''_\alpha(x)],$$

2. If  $g'$  is (ii)-differentiable and  $g$  is (i)-differentiable,  $\underline{g}'_\alpha, \overline{g}'_\alpha$  are differentiable,

$$[g''(x)]^\alpha = [\overline{g}''_\alpha(x), \underline{g}''_\alpha(x)],$$

3. If  $g'$  is (i)-differentiable and  $g$  is (ii)-differentiable,  $\underline{g}'_\alpha, \overline{g}'_\alpha$  are differentiable,

$$[g''(x)]^\alpha = [\overline{g}''_\alpha(x), \underline{g}''_\alpha(x)],$$

4. If  $g$  and  $g'$  are (ii)-differentiable,  $\underline{g}'_\alpha, \overline{g}'_\alpha$  are differentiable,

$$[g''(x)]^\alpha = [\underline{g}''_\alpha(x), \overline{g}''_\alpha(x)].$$

**Definition 8.** [24]

$$G(s) = L(g(t)) = \int_0^\infty e^{-st} g(t) dt = \left[ \lim_{\rho \rightarrow \infty} \int_0^\rho e^{-st} \underline{g}(t) dt, \lim_{\rho \rightarrow \infty} \int_0^\rho e^{-st} \overline{g}(t) dt \right]$$

is the fuzzy Laplace transform of fuzzy function  $g$ , where

$$G(s, \alpha) = L([g(t)]^\alpha) = \left[ L(\underline{g}_\alpha(t)), L(\overline{g}_\alpha(t)) \right],$$

$$L(\underline{g}_\alpha(t)) = \int_0^\infty e^{-st} \underline{g}_\alpha(t) dt = \lim_{\rho \rightarrow \infty} \int_0^\rho e^{-st} \underline{g}_\alpha(t) dt,$$

$$L(\overline{g}_\alpha(t)) = \int_0^\infty e^{-st} \overline{g}_\alpha(t) dt = \lim_{\rho \rightarrow \infty} \int_0^\rho e^{-st} \overline{g}_\alpha(t) dt.$$

**Theorem 3.** [25] Let  $g, g', \dots, g^{(n-1)}$  be continuous fuzzy-valued functions on  $[0, \infty)$  and of exponential order and let  $g^{(n)}$  be piecewise continuous fuzzy-valued function on  $[0, \infty)$ . If  $g, g', \dots, g^{(n-1)}$  are (i)-differentiable,

$$L(g^{(n)}(t)) = s^n L(g(t)) \ominus s^{n-1} g(0) \ominus s^{n-2} g'(0) \ominus s^{n-3} g''(0) \ominus \dots \ominus g^{(n-1)}(0),$$

if  $g, g', \dots, g^{(n-2)}$  are (i)-differentiable and  $g^{(n-1)}$  is (ii)-differentiable,

$$L(g^{(n)}(t)) = \ominus \left( g^{(n-1)}(0) \right) \ominus (-s^n) L(g(t)) \ominus s^{n-1} g(0) \ominus s^{n-2} g'(0) \ominus \dots \ominus s^{n-(n-1)} g^{(n-2)}(0),$$

if  $g, g', \dots, g^{(n-3)}$  are (i)-differentiable and  $g^{(n-1)}, g^{(n-2)}$  are (ii)-differentiable,

$$L(g^{(n)}(t)) = \ominus (s^{n-(n-1)} g^{(n-2)}(0)) \ominus g^{(n-1)}(0) \ominus (-s^n) L(g(t)) \ominus s^{n-1} g(0) \ominus s^{n-2} g'(0) \ominus \dots \ominus (s^{n-(n-2)}) g^{(n-3)}(0).$$

Similarly, if  $g$  is (ii)-differentiable and  $g', \dots, g^{(n-1)}$  are (i)-differentiable,

$$L(g^{(n)}(t)) = \ominus (s^{n-1}g(0)) \ominus (-s^n)L(g(t)) \ominus s^{n-2}g'(0) \ominus \dots \ominus g^{(n-1)}(0).$$

Continuing the process until we obtain  $2^n$  system of differential equations, if  $g, g', \dots, g^{(n-1)}$  are (ii)-differentiable, the last equation is

$$L(g^{(n)}(t)) = s^n L(g(t)) \ominus s^{n-1}g(0) \ominus s^{n-2}g'(0) \ominus s^{n-3}g''(0) \dots - g^{(n-1)}(0).$$

**Theorem 4.** [16] If  $g(t), h(t)$  are continuous fuzzy-valued functions and  $c_1$  and  $c_2$  are constants, then

$$L(c_1g(t) + c_2h(t)) = c_1L(g(t)) + c_2L(h(t)).$$

### 3. Main Results

#### 3.1. The problem (1)-(2)

From the equation (1), using the fuzzy Laplace transform method, we have the equations

$$\begin{aligned} s^4 \underline{U}_\alpha(s) - s^3 \underline{u}_\alpha(0) - s^2 \underline{u}'_\alpha(0) - s \underline{u}''_\alpha(0) - \underline{u}'''_\alpha(0) \\ = \underline{\mu}_\alpha \left( s^2 \underline{U}_\alpha(s) - s \underline{u}_\alpha(0) - \underline{u}'_\alpha(0) \right), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s^4 \bar{U}_\alpha(s) - s^3 \bar{u}_\alpha(0) - s^2 \bar{u}'_\alpha(0) - s \bar{u}''_\alpha(0) - \bar{u}'''_\alpha(0) \\ = \bar{\mu}_\alpha \left( s^2 \bar{U}_\alpha(s) - s \bar{u}_\alpha(0) - \bar{u}'_\alpha(0) \right). \end{aligned}$$

Using the initial conditions (2),

$$\underline{U}_\alpha(s) = \frac{\varphi_\alpha}{s} + \frac{\psi_\alpha}{s^2} + \frac{\chi_\alpha}{s(s^2 - \underline{\mu}_\alpha)} + \frac{\omega_\alpha}{s^2(s^2 - \underline{\mu}_\alpha)},$$

$$\bar{U}_\alpha(s) = \frac{\bar{\varphi}_\alpha}{s} + \frac{\bar{\psi}_\alpha}{s^2} + \frac{\bar{\chi}_\alpha}{s(s^2 - \bar{\mu}_\alpha)} + \frac{\bar{\omega}_\alpha}{s^2(s^2 - \bar{\mu}_\alpha)}$$

are obtained. From this, the solution is

$$\begin{aligned} \underline{u}_\alpha(t) &= \underline{\varphi}_\alpha + \underline{\psi}_\alpha t + \frac{\underline{\chi}_\alpha}{\underline{\mu}_\alpha} \left( \cosh \left( \sqrt{\underline{\mu}_\alpha} t \right) - 1 \right) + \frac{\underline{\omega}_\alpha}{\underline{\mu}_\alpha} \left( \frac{\sinh \left( \sqrt{\underline{\mu}_\alpha} t \right)}{\sqrt{\underline{\mu}_\alpha}} - t \right), \\ \bar{u}_\alpha(t) &= \bar{\varphi}_\alpha + \bar{\psi}_\alpha t + \frac{\bar{\chi}_\alpha}{\bar{\mu}_\alpha} \left( \cosh \left( \sqrt{\bar{\mu}_\alpha} t \right) - 1 \right) + \frac{\bar{\omega}_\alpha}{\bar{\mu}_\alpha} \left( \frac{\sinh \left( \sqrt{\bar{\mu}_\alpha} t \right)}{\sqrt{\bar{\mu}_\alpha}} - t \right), \end{aligned}$$

$$[u(t)]^\alpha = [\underline{u}_\alpha(t), \bar{u}_\alpha(t)].$$

**Example 1.** Consider the problem

$$u^{(iv)}(t) = [1]^\alpha u''(t),$$

$$u(0) = [0]^\alpha = [-1 + \alpha, 1 - \alpha],$$

$$u'(0) = [1]^\alpha = [\alpha, 2 - \alpha],$$

$$u''(0) = [2]^\alpha = [1 + \alpha, 3 - \alpha],$$

$$u'''(0) = [3]^\alpha = [2 + \alpha, 4 - \alpha].$$

The solution is

$$\begin{aligned} \underline{u}_\alpha(t) = & -1 + \alpha + \alpha t + \left(\frac{1}{\alpha} + 1\right) (\cosh(\alpha^{1/2}t) - 1) \\ & + \left(\frac{2}{\alpha} + 1\right) \left(\frac{\sinh(\alpha^{1/2}t)}{\alpha^{1/2}} - t\right), \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned} \bar{u}_\alpha(t) = & \left(\frac{1}{2 - \alpha} + 1\right) (\cosh((2 - \alpha)^{1/2}t) - 1) \\ & + \left(\frac{2}{2 - \alpha} + 1\right) \left(\frac{\sinh((2 - \alpha)^{1/2}t)}{(2 - \alpha)^{1/2}} - t\right) + (2 - \alpha)t + 1 - \alpha, \end{aligned} \tag{6}$$

$$[u(t)]^\alpha = [\underline{u}_\alpha(t), \bar{u}_\alpha(t)]. \tag{7}$$

According to Definition 3 and since  $u(t)$  is positive fuzzy function,  $u(t)$  is a valid fuzzy function for  $t > 0.5051162150589951$  in Figure 1.

### 3.2. The problem (3)-(4)

From the equation (3), the equations

$$\begin{aligned} s^4 \underline{U}_\alpha(s) - s^3 \underline{u}_\alpha(0) - s^2 \underline{u}'_\alpha(0) - s \underline{u}''_\alpha(0) - \underline{u}'''_\alpha(0) = & -s^2 \bar{\mu}_\alpha \bar{U}_\alpha(s) - s \bar{\mu}_\alpha \bar{u}_\alpha(0) \\ & - \bar{\mu}_\alpha \bar{u}'_\alpha(0), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s^4 \bar{U}_\alpha(s) - s^3 \bar{u}_\alpha(0) - s^2 \bar{u}'_\alpha(0) - s \bar{u}''_\alpha(0) - \bar{u}'''_\alpha(0) = & -s^2 \underline{\mu}_\alpha \underline{U}_\alpha(s) - s \underline{\mu}_\alpha \underline{u}_\alpha(0) \\ & - \underline{\mu}_\alpha \underline{u}'_\alpha(0). \end{aligned}$$

are obtained. Using the initial conditions (4), we have the equations

$$s^2 \underline{U}_\alpha(s) + \bar{\mu}_\alpha \bar{U}_\alpha(s) = s \underline{\varphi}_\alpha + \underline{\psi}_\alpha + \frac{\chi_\alpha}{s} + \frac{\omega_\alpha}{s^2} - \frac{\bar{\mu}_\alpha \bar{\varphi}_\alpha}{s} - \frac{\bar{\mu}_\alpha \bar{\psi}_\alpha}{s^2}, \tag{8}$$

$$s^2 \bar{U}_\alpha(s) + \underline{\mu}_\alpha \underline{U}_\alpha(s) = s \bar{\varphi}_\alpha + \bar{\psi}_\alpha + \frac{\bar{\chi}_\alpha}{s} + \frac{\bar{\omega}_\alpha}{s^2} - \frac{\underline{\mu}_\alpha \underline{\varphi}_\alpha}{s} - \frac{\underline{\mu}_\alpha \underline{\psi}_\alpha}{s^2}. \tag{9}$$



From the equations (8) and (9),  $\underline{U}_\alpha(s)$  is obtained as

$$\begin{aligned} \underline{U}_\alpha(s) &= \frac{(\underline{\mu}_\alpha \underline{\bar{\mu}}_\alpha \underline{\psi}_\alpha - \underline{\bar{\omega}}_\alpha \underline{\bar{\mu}}_\alpha)}{s^2 (s^4 - \underline{\mu}_\alpha \underline{\bar{\mu}}_\alpha)} + \frac{\underline{\mu}_\alpha \underline{\bar{\mu}}_\alpha \underline{\varphi}_\alpha - \underline{\bar{\chi}}_\alpha \underline{\bar{\mu}}_\alpha}{s (s^4 - \underline{\mu}_\alpha \underline{\bar{\mu}}_\alpha)} + \frac{\underline{\omega}_\alpha - 2 \underline{\bar{\mu}}_\alpha \underline{\bar{\psi}}_\alpha}{(s^4 - \underline{\mu}_\alpha \underline{\bar{\mu}}_\alpha)} \\ &+ \frac{(\underline{\chi}_\alpha - 2 \underline{\bar{\mu}}_\alpha \underline{\bar{\varphi}}_\alpha) s}{(s^4 - \underline{\mu}_\alpha \underline{\bar{\mu}}_\alpha)} + \frac{\underline{\psi}_\alpha s^2}{(s^4 - \underline{\mu}_\alpha \underline{\bar{\mu}}_\alpha)} + \frac{\underline{\varphi}_\alpha s^3}{(s^4 - \underline{\mu}_\alpha \underline{\bar{\mu}}_\alpha)}. \end{aligned}$$

From this, the lower solution is obtained as

$$\begin{aligned} \underline{u}_\alpha(t) &= \frac{1}{2} \left( \frac{\underline{\omega}_\alpha - 2 \underline{\bar{\mu}}_\alpha \underline{\bar{\psi}}_\alpha}{\sqrt{\underline{\mu}_\alpha \underline{\bar{\mu}}_\alpha}} + \frac{\underline{\bar{\omega}}_\alpha}{\underline{\mu}_\alpha} - \underline{\psi}_\alpha \right) \left( \sinh \left( \sqrt[4]{\underline{\mu}_\alpha \underline{\bar{\mu}}_\alpha} t \right) - \sin \left( \sqrt[4]{\underline{\mu}_\alpha \underline{\bar{\mu}}_\alpha} t \right) \right) \\ &+ \frac{1}{2} \left( \frac{\underline{\chi}_\alpha - 2 \underline{\bar{\mu}}_\alpha \underline{\bar{\varphi}}_\alpha}{\sqrt{\underline{\mu}_\alpha \underline{\bar{\mu}}_\alpha}} + \frac{\underline{\bar{\chi}}_\alpha}{\underline{\mu}_\alpha} - \underline{\varphi}_\alpha \right) \left( \cosh \left( \sqrt[4]{\underline{\mu}_\alpha \underline{\bar{\mu}}_\alpha} t \right) - \cos \left( \sqrt[4]{\underline{\mu}_\alpha \underline{\bar{\mu}}_\alpha} t \right) \right) \\ &+ \frac{\underline{\psi}_\alpha}{2} \left( \sinh \left( \sqrt[4]{\underline{\mu}_\alpha \underline{\bar{\mu}}_\alpha} t \right) + \sin \left( \sqrt[4]{\underline{\mu}_\alpha \underline{\bar{\mu}}_\alpha} t \right) \right) + \frac{\underline{\varphi}_\alpha}{2} \left( \cosh \left( \sqrt[4]{\underline{\mu}_\alpha \underline{\bar{\mu}}_\alpha} t \right) + \cos \left( \sqrt[4]{\underline{\mu}_\alpha \underline{\bar{\mu}}_\alpha} t \right) \right) \\ &+ \frac{1}{\underline{\mu}_\alpha} \left( (\underline{\mu}_\alpha \underline{\psi}_\alpha - \underline{\bar{\omega}}_\alpha) t + (\underline{\mu}_\alpha \underline{\varphi}_\alpha - \underline{\bar{\chi}}_\alpha) \right). \end{aligned}$$

Similarly, we obtain the upper solution as

$$\begin{aligned} \bar{u}_\alpha(t) &= \frac{1}{2} \left( \frac{\underline{\bar{\omega}}_\alpha - 2 \underline{\mu}_\alpha \underline{\psi}_\alpha}{\sqrt{\underline{\mu}_\alpha \underline{\bar{\mu}}_\alpha}} + \frac{\underline{\omega}_\alpha}{\underline{\bar{\mu}}_\alpha} - \underline{\bar{\psi}}_\alpha \right) \left( \sinh \left( \sqrt[4]{\underline{\mu}_\alpha \underline{\bar{\mu}}_\alpha} t \right) - \sin \left( \sqrt[4]{\underline{\mu}_\alpha \underline{\bar{\mu}}_\alpha} t \right) \right) \\ &+ \frac{1}{2} \left( \frac{\underline{\bar{\chi}}_\alpha - 2 \underline{\mu}_\alpha \underline{\varphi}_\alpha}{\sqrt{\underline{\mu}_\alpha \underline{\bar{\mu}}_\alpha}} + \frac{\underline{\chi}_\alpha}{\underline{\bar{\mu}}_\alpha} - \underline{\bar{\varphi}}_\alpha \right) \left( \cosh \left( \sqrt[4]{\underline{\mu}_\alpha \underline{\bar{\mu}}_\alpha} t \right) - \cos \left( \sqrt[4]{\underline{\mu}_\alpha \underline{\bar{\mu}}_\alpha} t \right) \right) \\ &+ \frac{\underline{\bar{\psi}}_\alpha}{2} \left( \sinh \left( \sqrt[4]{\underline{\mu}_\alpha \underline{\bar{\mu}}_\alpha} t \right) + \sin \left( \sqrt[4]{\underline{\mu}_\alpha \underline{\bar{\mu}}_\alpha} t \right) \right) + \frac{\underline{\bar{\varphi}}_\alpha}{2} \left( \cosh \left( \sqrt[4]{\underline{\mu}_\alpha \underline{\bar{\mu}}_\alpha} t \right) + \cos \left( \sqrt[4]{\underline{\mu}_\alpha \underline{\bar{\mu}}_\alpha} t \right) \right) \\ &+ \frac{1}{\underline{\bar{\mu}}_\alpha} \left( (\underline{\bar{\mu}}_\alpha \underline{\bar{\psi}}_\alpha - \underline{\omega}_\alpha) t + (\underline{\bar{\mu}}_\alpha \underline{\bar{\varphi}}_\alpha - \underline{\chi}_\alpha) \right). \end{aligned}$$

Consequently, the solution is

$$[u(t)]^\alpha = [\underline{u}_\alpha(t), \bar{u}_\alpha(t)].$$

**Example 2.** Consider the problem

$$u^{(iv)}(t) = -[1]^\alpha u''(t),$$

$$u(0) = [0]^\alpha, u'(0) = [1]^\alpha, u''(0) = [2]^\alpha, u'''(0) = [3]^\alpha.$$

The solution of the problem is

$$\begin{aligned} \underline{u}_\alpha(t) = & \frac{1}{2} \left( \frac{9\alpha - 2\alpha^2 - 6}{(\alpha(2 - \alpha))^{1/2}} - \alpha + \frac{4}{\alpha} - 1 \right) \left( \sinh((\alpha(2 - \alpha))^{1/4} t) \right. \\ & \left. - \sin((\alpha(2 - \alpha))^{1/4} t) \right) \\ & + \frac{1}{2} \left( \frac{7\alpha - 2\alpha^2 - 3}{(\alpha(2 - \alpha))^{1/2}} + \frac{3}{\alpha} - 1 \right) \left( \cosh((\alpha(2 - \alpha))^{1/4} t) - \cos((\alpha(2 - \alpha))^{1/4} t) \right) \\ & + \frac{\alpha}{2} \left( \sinh((\alpha(2 - \alpha))^{1/4} t) + \sin((\alpha(2 - \alpha))^{1/4} t) \right) \\ & + \left( \frac{\alpha - 1}{2} \right) \left( \cosh((\alpha(2 - \alpha))^{1/4} t) + \cos((\alpha(2 - \alpha))^{1/4} t) \right) \\ & + \frac{1}{\alpha} ((\alpha^2 + \alpha - 4)t + \alpha^2 - 3), \end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned} \bar{u}_\alpha(t) = & \frac{1}{2} \left( \frac{4 - \alpha - 2\alpha^2}{\sqrt{\alpha(2 - \alpha)}} + \frac{2\alpha}{2 - \alpha} + \alpha - 1 \right) \left( \sinh((\alpha(2 - \alpha))^{1/4} t) \right. \\ & \left. - \sin((\alpha(2 - \alpha))^{1/4} t) \right) \\ & + \frac{1}{2} \left( \frac{3 + \alpha - 2\alpha^2}{\sqrt{\alpha(2 - \alpha)}} + \frac{1 + \alpha}{2 - \alpha} + \alpha - 1 \right) \left( \cosh((\alpha(2 - \alpha))^{1/4} t) \right. \\ & \left. - \cos((\alpha(2 - \alpha))^{1/4} t) \right) \\ & + \left( 1 - \frac{\alpha}{2} \right) \left( \sinh((\alpha(2 - \alpha))^{1/4} t) + \sin((\alpha(2 - \alpha))^{1/4} t) \right) \\ & + \left( \frac{1 - \alpha}{2} \right) \left( \cosh((\alpha(2 - \alpha))^{1/4} t) + \cos((\alpha(2 - \alpha))^{1/4} t) \right) \end{aligned}$$

$$+ \left(\frac{1}{2-\alpha}\right) ((\alpha^2 - 5\alpha + 2)t + \alpha^2 - 4\alpha + 1), \tag{11}$$

$$[u(t)]^\alpha = [\underline{u}_\alpha(t), \bar{u}_\alpha(t)]. \tag{12}$$

According to Definition 3 and since  $u(t)$  is positive fuzzy function,  $u(t)$  is a valid fuzzy function for  $t > 2.364610903068273$  in Figure 2.

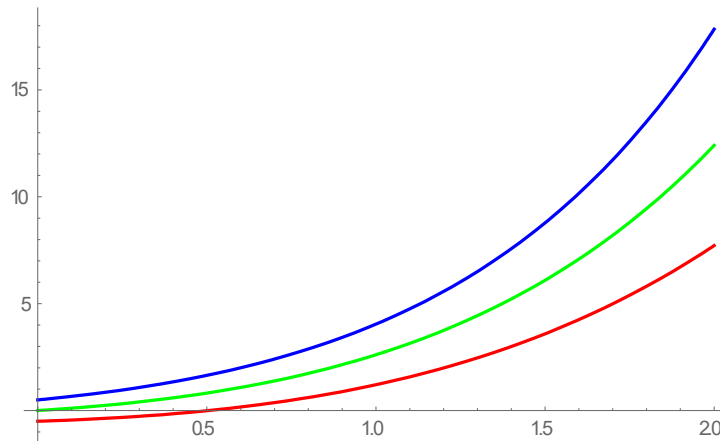


Figure 1. Graphic of solution (5)-(7) for  $\alpha = 0.5$

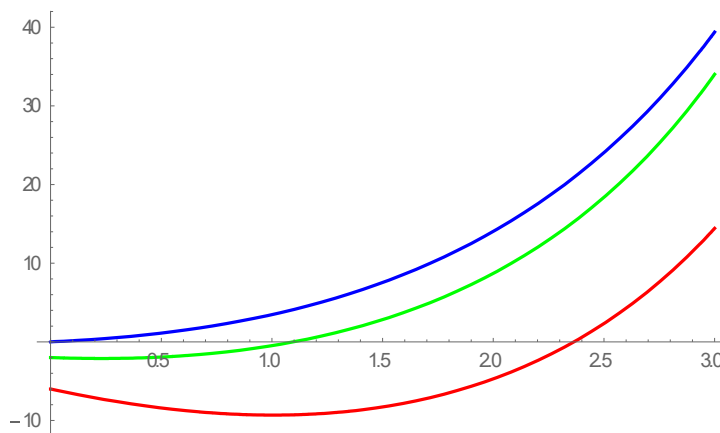


Figure 2. Graphic of solution (10)-(12) for  $\alpha = 0.5$

Red  $\rightarrow \underline{u}_\alpha(t)$ , Green  $\rightarrow \bar{u}_1(t) = \underline{u}_1(t)$ , Blue  $\rightarrow \bar{u}_\alpha(t)$ .

#### 4. Conclusions

In this paper, we research two different fourth-order fuzzy problems. The fuzzy Laplace transform method is used. Solutions are found directly by the fuzzy Laplace transform method. Comparison results of the solutions are given. We give two examples. We draw graphics of the found solutions for alpha level sets. It is seen that the solutions are valid fuzzy functions in different intervals for each of  $\alpha$ -level sets. Also, we see that the fuzzy

problem with positive fuzzy coefficient is a valid fuzzy function over a wider interval than the fuzzy problem with negative fuzzy coefficient.

## References

- [1] Akin O., Khaniyev T., Oruc O., Turksen I.B., An algorithm for the solution of second order fuzzy initial value problems, **Expert Systems with Applications**, 40, 3, 953-957, (2013).
- [2] Akin O., Bayeg S., Intuitionistic fuzzy initial value problems-an application, **Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics**, 48, 6, 1682-1694, (2019).
- [3] Allahviranloo T., Hooshangian L., A new method to find fuzzy nth order derivation and applications to fuzzy nth order arithmetic based on generalized h-derivation, **An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications**, 4, 2, 105-121, (2014).
- [4] Bayeg S., Mert R., Akin O., Khaniyev T., On a type-2 fuzzy approach to solution of second-order initial value problem, **Soft Computing**, 26, 4, 1671-1683, (2022).
- [5] Gasilov N., Amrahov S. E., Fatullayev A. G., Solution of linear differential equations with fuzzy boundary values, **Fuzzy Sets and Systems**, 257, 169–183, (2014).
- [6] Gasilov N., Amrahov S. E., Fatullayev A. G., A geometric approach to solve fuzzy linear systems of differential equations, **Applied Mathematics and Information Sciences**, 5, 3, 484-499, (2011).
- [7] Gültekin Çitil H., Comparison results of linear differential equations with fuzzy boundary values, **Journal of Science and Arts**, 1, 42, 33-48, (2018).
- [8] Gültekin Çitil H., On a boundary value problem with fuzzy forcing function and fuzzy boundary values, **International Journal of Mathematical Combinatorics** 2, 1-16, (2021).
- [9] Gültekin Çitil H., The problem with fuzzy eigenvalue parameter in one of the boundary conditions, **An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications**, 10, 2, 159-165, (2020).
- [10] Liu H.-K., Comparison results of two-point fuzzy boundary value problems, **International Journal of Computational and Mathematical Sciences**, 5, 1, 1-7, (2011).
- [11] Jafari R., Yu W., Razvarz S., Gegov A., Numerical methods for solving fuzzy equations: A survey, **Fuzzy Sets and Systems** 404, 1–22, (2021).
- [12] Khastan A., Nieto J. J., A boundary value problem for second order fuzzy differential equations, **Nonlinear Analysis**, 72, 9-10, 3583-3593, (2010).
- [13] Samuel M.Y., Tahir A., Solution of first order fuzzy partial differential equations by fuzzy Laplace transform method, **Bayero Journal of Pure and Applied Sciences**, 14, 2, 37-51, (2021).
- [14] Saqib M., Akram M., Bashir S., Allahviranloo T., Numerical solution of bipolar fuzzy initial value problem, **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems** 40, 1, 1309-1341, (2021).
- [15] Sheergojri A. R., Iqbal P., Agarwal P., Ozdemir N., Uncertainty-based Gompertz growth model for tumor population and its numerical analysis, **An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications**, 12, 2, 137-150, (2022).

- [16] Allahviranloo T., Barkhordari Ahmadi M., Fuzzy Laplace transforms, **Soft Computing**, 14, 3, 235-243, (2010).
- [17] Allahviranloo T., Abbasbandy S., Salahshour S., Hakimzadeh A.,. A new method for solving fuzzy linear differential equations, **Computing** , 92, 181–197, (2011).
- [18] Gültekin Çitil H., On third-order fuzzy differential equations by fuzzy Laplace transform, **J. BAUN Inst. Sci. Technol.**, 22, 1, 345-353, (2020).
- [19] Gültekin Çitil H., Solving the fuzzy initial value problem with negative coefficient by using fuzzy Laplace transform, **Facta Universitatis, Series: Mathematics and Informatics**, 35, 1, 201-215, (2020).
- [20] Gültekin Çitil H., On a fuzzy problem with variable coefficient by fuzzy Laplace transform, **Journal of the Institute of Science and Technology**, 10, 1, 576-583, (2020).
- [21] Muhammad Ali H. F., Haydar A. K., On fuzzy Laplace transforms for fuzzy differential equations of the third order, **Journal of Kerbala University** , 11, 3, 251-256, (2013).
- [22] Patel K. R., Desai N. B., Solution of fuzzy initial value problems by fuzzy Laplace transform, **Kalpa Publications in Computing**, 2, 25-37, (2017).
- [23] Patel K. R., Desai N. B., Solution of variable coefficient fuzzy differential equations by fuzzy Laplace transform, **International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication**, 5, 6, 927-942, (2017).
- [24] Salahshour S., Allahviranloo T., Applications of fuzzy Laplace transforms, **Soft Computing**, 17, 1, 145-158, (2013).
- [25] Ahmad L., Farooq M., Abdullah S., Solving fourth order fuzzy differential equation by fuzzy Laplace transform, **Annals of Fuzzy Mathematics and Informatics**, 12, 3, 449-468, (2016).

# The effect of food microbiology course on the knowledge and practice levels of nutrition and dietetics students studying in different universities in Turkey on food safety and microbiology

Hasan Fatih AKGÖZ<sup>\*1</sup>, Halime SELEN<sup>2</sup>, Aylin SEYLAM KÜŞÜMLER<sup>3</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Gelişim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>1</sup>İstanbul Okan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Ağrı, Türkiye

<sup>3</sup>İstanbul Okan Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye

Geliş Tarihi (Received Date): 22.02.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 02.02.2024

## Abstract

*In today's society, the increase in dining out, the consumption of ready to eat food, transportation opportunities, and the changes in lifestyles have highlighted the importance of food safety and health issues. This study aimed to assess the impact of an undergraduate Food Microbiology course on the knowledge and practices of Nutrition and Dietetics students regarding food safety and microbiology. A total of 291 students of from three Turkish universities received training in food safety, safe food preparation and food microbiology, and their knowledge levels were measured before and after the education. Results showed that students who received the training on food safety, safe food preparation, and food microbiology demonstrated a significant increase in their knowledge levels ( $p < 0.05$ ). Furthermore, 95.2% of the participants reported that the training was beneficial, contributing to their knowledge and practices. These findings suggest that food safety education should be provided to all individuals involved in food processing to prevent food-related health issues.*

**Keywords:** Food microbiology, food safety, knowledge level, university students.

\*Hasan Fatih AKGÖZ, h.fatihakgoz@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8076-9965>

Halime SELEN, halimeselen@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3705-0875>

Aylin SEYLAM KÜŞÜMLER, aylin.seylam@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4705-8042>

## Türkiye’de farklı üniversitelerde öğrenim gören beslenme ve diyetetik öğrencilerinin besin güvenliği ve mikrobiyolojisi konusundaki bilgi ve uygulama düzeylerine besin mikrobiyolojisi dersi’nin etkisi

### Öz

*Günümüz toplumunda dışarıda yemek yeme alışkanlığının artması, hazır gıda tüketimi, ulaşım olanakları ve yaşam tarzındaki değişiklikler gıda güvenliği ve sağlığı konularının önemini ön plana çıkarmıştır. Bu çalışma, lisans düzeyinde verilen Gıda Mikrobiyolojisi dersinin Beslenme ve Diyetetik öğrencilerinin gıda güvenliği ve mikrobiyolojisine ilişkin bilgi ve uygulamaları üzerindeki etkisini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Türkiye’deki üç üniversiteden toplam 291 öğrenci gıda güvenliği, güvenli gıda hazırlama ve gıda mikrobiyolojisi konularında eğitim almış ve eğitim öncesi ve sonrasında bilgi düzeyleri ölçülmüştür. Sonuçlar gıda güvenliği, güvenli gıda hazırlama ve gıda mikrobiyolojisi eğitimi alan öğrencilerin bilgi düzeylerinde anlamlı bir artış olduğunu göstermiştir ( $p<0.05$ ). Ayrıca, katılımcıların %95,2’si eğitimin faydalı olduğunu, bilgi ve uygulamalarına katkıda bulunduğunu bildirmiştir. Bu bulgular, gıda kaynaklı sağlık sorunlarının önlenmesi için gıda güvenliği eğitiminin gıda işleme sürecinde yer alan tüm bireylere verilmesi gerektiğini göstermektedir.*

**Anahtar kelimeler:** Besin mikrobiyolojisi, besin güvenliği, bilgi düzeyi, üniversite öğrencileri.

### 1. Introduction

Ensuring and maintaining food safety and security is essential for a healthy life. "Food security exists when all people, at all times, have physical, social, and economic access to sufficient, safe, and nutritious food that meets their food preferences and dietary needs for an active and healthy life" [1]. Food safety, on the other hand, refers to the food that is suitable for consumption in terms of physical, chemical, and microbiological properties and has not lost its nutritional value [2].

Food microbiology, is the study of microorganisms that inhibit, produce, or contaminate the growth of food. In other words, food microbiology studies all types of microorganisms, such as microorganisms that are naturally present in foods or that cause deterioration after a while due to unhygienic conditions, disease-causing pathogens that can be eliminated with proper cooking and storage conditions, microorganisms used to produce fermented foods such as cheese, yogurt, bread, beer, or wine, and other beneficial microorganisms [3].

Changes in people's lifestyles have increased the importance of food safety. The decrease in the time spent on cooking at home due to the increase in the working population, the rise in eating out and the consumption of ready-to-eat food, and the increase in transportation opportunities have caused countries around the world to prioritize food

security [4]. Furthermore, the increased awareness of healthy food has led to an increase in food safety awareness and has influenced the food sector.[5].

Despite the recent technological advancements, local policies, and investments, food security has not been fully achieved [6]. Unhygienic food consumption, drought, famine, barren lands, and water pollution in underdeveloped countries and the increase in the frequency of eating out due to the rise in the working population, diversity in the service sector, the hygiene deficiencies in food preparation, and the disruption in the implementation and inspection of food safety systems in developed countries, all point to food safety being a common problem for all countries. Despite quality control measures such as HACCP, ISO, risk analysis, Six Sigma, hurdle technology, and descriptive microbiology developed to ensure food safety, food-borne problems cannot be completely prevented. According to the 2018 food poisoning report by the Nutrition Working Group of the Occupational Health and Safety (OHS) Assembly in our country, there were 104 food poisoning incidents across the country, which affected 13,190 people and resulted in 18 deaths [7]. The 2019 report by the European Food Safety Authority (EFSA) and the European Center for Disease Prevention and Control (ECDC) indicates that there were 5,146 food-borne outbreaks in 2018, affecting 48,365 people in the European Union (EU) member states [8].

Field observations conducted in five EU countries- Norway, Portugal, France, the United Kingdom, and Romania- have shown that food safety relies not only on hygiene practices at home but also on food shopping behaviors. [9]. According to WHO's 2015 estimate of the global burden of food-borne diseases, one in ten people fall ill every year from consuming contaminated food, resulting in 33 million disability-adjusted life years and 420,000 deaths, one-third of which are children under the age of five [10].

Food safety is an issue that should be addressed from biological, social, and economic perspectives, because it causes economic losses such as loss of workforce and health costs, and health problems [11]. Studies have reported that many food-borne outbreaks are related with consumers' lack of knowledge about food safety practices, which can lead to cross-contamination and improper cooking [12,13]. Therefore, a significant number of studies in the literature highlight the importance of education in reducing food-borne diseases and state that the techniques used for education are essential in the development of consumer behavior [14-19]. Food safety education is a planned process aims to change knowledge, attitudes, and behaviors through a learning experience [19,20].

Based on these points, the present study aims to examine the effect of the Food Microbiology course on the knowledge and practice level of students of the Department of Nutrition and Dietetics studying at different Turkish universities. The training is expected to improve students' knowledge of food microbiology, food safety, and food hygiene, raise awareness, and enable them contribute to their environment with the knowledge they have acquired. This study can be beneficial for the development of training programs on food safety throughout the country.

## **2. Materials and methods**

The study sample consisted of 330 second-year students from the Department of Nutrition and Dietetics at Istanbul Okan University (111 students), Ağrı İbrahim Çeçen University (100 students), and Istanbul Gelişim University (119 students) during the 2020-2021



academic year's spring semester. The sample size of 178 was calculated with a 95% confidence interval and a 5% margin error [21]. The stratified sampling method was used to select the sample due to differences in the number of students at each university. A total of 291 students volunteered to participate in the study, after obtaining approval from Istanbul Okan University Ethics Committee (Decision No: 31.03.21/155) and official permission from Istanbul Gelisim University Faculty of Health Sciences and Ağrı İbrahim Çeçen University School of Health. The study data were collected by online questionnaire method.

The food microbiology course was given for 14 weeks (4 hours/week) during one semester in the relevant universities included in the study. Course content, introduction to food microbiology and basic concepts, factors affecting the development of microorganisms in foods, microbiological spoilage in foods, foodborne infections and poisoning, food preservation methods, food safety. The course was taught online due to the Covid-19 pandemic. Students were surveyed before and after the course.

Due to the Covid-19 pandemic in data collection, the questionnaire forms presented to the participants via Google Forms consist of 4 parts. The first part includes a personal information form including demographic characteristics (e.g. gender, age, department).

The second and third parts include items related to food safety knowledge and food safety practices. The items related to food safety knowledge and food safety practices were adapted from Şanlıer's (2009) study (22).

Food safety knowledge was measured with items consisting of 10 questions. These items were graded as 1 point for correct answers and 0 points for incorrect answers. Scores related to food safety knowledge are between 0-10. In the scale, there are negative sentences (1,6,7,10) as well as positive sentences. Responses to positive sentences are "almost never", 1 point; "sometimes", 2 points; "often", 3 points; and "always", 4 points. For the negative sentences, the scores are given in reverse order. Scores related to food safety practices vary between 11-44 (22).

In the fourth part, questions related to the level of food microbiology knowledge were formed by the researchers through the topics covered in the food microbiology course. In this part, the level of knowledge was measured.

### **2.1. Statistical analysis**

The data obtained from the study were analyzed using the IBM Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) version 24.00. Statistical significance was set at  $p < 0.05$ . Independent Samples t-Test was used to compare the means of two independent groups with a normal distribution, while the Mann-Whitney U test was used for those without normal distribution. For comparing of the means of more than two groups with normal distribution, One-Way Analysis of Variance (ANOVA) was performed, followed by Tukey's Multiple Comparison Test to identify which groups had significant differences. The results were analyzed at a confidence interval of 95% and a significance level of 5%.

## **3. Results and discussion**

A total of 291 Nutrition and Dietetics second year students participated in the study.

Table 1. Demographic characteristics of the participants

		n %	
Gender	Male	31	10.7
	Female	260	89.3
Age	18-20	132	45.3
	21-23	137	47
	≥24	22	7.4
Marital Status	Single	280	96.2
	Married	11	3.8
Working Status	Employed	27	9.3
	Unemployed	264	90.7
Following the news in the media about food safety	Yes	162	55.7
	No	129	44.3
Having a foodborne illness	Yes	28	9.6
	No	263	90.4
Previous illness	Food poisoning	27	9.3
	Reflux	1	0.3
Having concern about the safety of the food eaten	Yes	233	80.1
	No	58	19.9
Paying attention to the instructions on the packaging when using the products	Yes	239	82.1
	No	52	17.9
Finding the education about food microbiology useful	Yes	277	95.2
	No	14	4.8

Table 1 shows, the demographic characteristics of the participants. Of these, 89.3% were female and 10.7% were male. 45.3% of the participants were in the age range of 18-20. 47% of the participants are in the age group of 21-23, while 7.4% are 24 years old and above. The proportion of the individuals classified as overweight was 13.4%, while 67% had a normal BMI and 19.6% were classified as underweight. Most participants (96.2%) were single, and the majority (90.7%) reported being unemployed. Regarding income, 28.9% stated having a good income, and 68% reported their income as average. More than half of the participants (55.7%) reported following news about food safety in the media. Only 9.6% of the participants reported having food-borne illness, with food poisoning being the most common. 80.1% of the participants expressed concerns about the safety of the foods that they consume. 82.1% of the participants stated that they pay attention to the instructions on the package when using packaged products. Nearly all participants (95.2%) found the training on food microbiology to be beneficial.

Table 2. Food safety knowledge levels of participants

Questions	Before Course (%)		After Course (%)		P
	True	False	True	False	
To see if it is safe, it is necessary to test the milk instead of looking at the expiration date.	229 (78.7)	62 (21.3)	253 (86.9)	38 (13.1)	<b>0.008</b>
If the lid of the can is swollen or tight, it is wrong to eat canned food.	231 (79.4)	60 (20.6)	260 (89.3)	31 (10.7)	<b>0.001</b>
The safest way to check if meat is well-done is to check its internal temperature with a food thermometer.	226 (77.7)	65(22.3)	262 (90)	29 (10)	<b>0.000</b>
For safe cooking, the internal temperature of the chicken should be high.	208 (71.5)	83 (28.5)	245 (84.2)	46 (15.8)	<b>0.000</b>
Pasteurized milk can be stored at refrigerator temperature for a maximum of 3 days without opening the package.	119 (40.9)	172 (59.1)	141 (48.5)	150 (51.5)	0.067
The optimum temperature for bacteria to grow is (4-7°C) refrigerator temperature.	188 (64.6)	103 (35.4)	210 (72.2)	81 (27.8)	0.050
If a cutting board is to be used to cut different types of food, such as vegetables and meat, the board should be cleaned with a clean towel to prevent bacterial growth.	234 (80.4)	57(19.6)	233 (80.1)	58 (19.9)	0.917
Raw chicken, fish and meat should not come into contact with each other.	280 (96.2)	11 (3.8)	279 (95.9)	15 (4.1)	0.832
Bacteria transmitted from hands to food can cause harmful microorganisms to grow in food.	278 (95.5)	13 (4.5)	285 (97.9)	6 (2.1)	0.103
To get rid of bacteria, simply wash your hands under cold tap water before touching food.	237 (81.4)	54 (18.6)	237(81.4)	54 (18.6)	1.000

After the education, the participants' level of food safety knowledge significantly increased, as shown by the questions used to assess their knowledge. Specifically, there was a statistically significant improvement in knowledge related to the safety of canned, meat, and dairy products after the training ( $p < 0.05$ , Table 2).

Table 3. Food safety practices levels of participants

Questions	Before Course (%)				After Course (%)				p
	Hardly ever	Sometimes	Frequently	Always	Hardly ever	Sometimes	Frequently	Always	
I wash my hands before preparing and eating food at home.	0 (0.0%)	1 (0.3%)	18 (6.2%)	272 (93.5%)	0 (0.0%)	4 (1.4%)	5 (1.7%)	282 (96.9%)	<b>0.037</b>
I wash my hands before eating in the school canteen/restaurant.	0 (0.0%)	35 (12.0%)	80 (27.5%)	176 (60.5%)	1 (0.3%)	12 (4.1%)	63 (21.6%)	215 (73.9%)	<b>0.000</b>
I dry my hands with a paper towel.	11 (3.8%)	34 (11.7%)	83 (28.5%)	163 (56.0%)	1 (0.3%)	23 (7.9%)	54 (18.6%)	213 (73.2%)	<b>0.000</b>
I wash my hands before preparing food containing raw meat and processed meat products.	1 (0.3%)	10 (3.4%)	27 (9.3%)	253 (86.9%)	0 (0.0%)	1 (0.3%)	15 (5.2%)	275 (94.5%)	<b>0.000</b>
I clean surfaces with chlorine based cleaners after each use and before preparing food.	67 (23.0%)	108 (37.1%)	72 (24.7%)	44 (15.1%)	45 (15.5%)	63 (21.6%)	74 (25.4%)	109 (37.5%)	<b>0.034</b>
I put the leftover in the refrigerator in 2 hours.	4 (1.4%)	32 (11.0%)	99 (34.0%)	156 (53.6%)	2 (0.7%)	12 (4.1%)	63 (21.6%)	214 (73.5%)	<b>0.000</b>
I check the expiration date on the food packaging.	0 (0.0%)	8 (2.7%)	48 (16.5%)	235 (80.8%)	1 (0.3%)	6 (2.1%)	44 (15.1%)	240 (82.5%)	0.442
I taste the food to see if it's safe.	105 (36.1%)	114 (39.2%)	53 (18.2%)	19 (6.5%)	153 (52.6%)	90 (30.9%)	33 (11.3%)	15 (5.2%)	0.367

Table 3. (Continued)

I eat meat after it is well cooked, I do not consume undercooked meat.	18 (6.2%)	44 (15.1%)	62 (21.3%)	167 (57.4%)	3 (1.0%)	20 (6.9%)	60 (20.6%)	208 (71.5%)	<b>0.000</b>
I do not eat raw eggs or food made from raw eggs.	43 (14.8%)	56 (19.2%)	41 (14.1%)	151 (51.9%)	26 (8.9%)	31 (10.7%)	46 (15.8%)	188 (64.6%)	<b>0.000</b>
As soon as I buy perishable foods, I put them in the refrigerator.	4 (1.4%)	10 (3.4%)	35 (12.0%)	242 (83.2%)	1 (0.3%)	2 (0.7%)	30 (10.3%)	258 (88.7%)	<b>0.000</b>

Table 3 presents the results of the examination of the food safety practice levels of the participants., There was a significant improvement in the absence of information regarding the statements "I wash my hands before eating at the school canteen/restaurant." and "I put the leftover in the refrigerator for 2 hours". The difference before and after the training in the overall of food safety practices was statistically significant (p=0.001).

Table 4. Food microbiology knowledge levels of participants

Questions	Before Education (%)			After Education (%)			p
	Right Answer	Wrong Answer	No Idea	Right Answer	Wrong Answer	No Idea	
At what temperature does bacteria reproduce more rapidly?	116 (%39.9)	71 (24.3%)	104 (35.6%)	209 (%71.8)	60 (20.5%)	22 (7.5%)	<b>0.000</b>
Which degree is appropriate for the refrigerator or cooler temperature?	174 (%59.8)	57 (19.5%)	60 (20.5%)	235 (%80.8)	53 (18.2%)	3 (1.0%)	<b>0.000</b>
What should be the minimum degree of the deep freeze temperature?	124(% 42.6)	107 (36.6%)	60 (20.5%)	204 (%70.1)	72 (24.7%)	15 (5.1%)	<b>0.000</b>
What is the risk of storing cooked and raw food together?	166 (%57)	51 (17.5%)	74 (25.3%)	252 (%86.6)	26 (8.9%)	13 (4.5%)	<b>0.000</b>

Table 4. (Continued)

At what temperature are hot meals served?	77 (%26.5)	131 (44.9%)	83 (28.4%)	150 (%51.5)	109 (37.3%)	32 (11.0%)	<b>0.000</b>
How is the bacterial food poisoning detected in food?	58 (%19.9)	187 (64.0%)	46 (15.8%)	68 (%23.4)	210 (71.9%)	13 (4.5%)	0.314
What happens to bacteria at 37 °C?	103 (%35.4)	84 (28.8%)	104 (35.6%)	189 (%64.9)	83 (28.4%)	19 (6.5%)	<b>0.000</b>
Which one should be applied to destroy the bacteria effectively?	187 (%64.3)	74 (25.3%)	30 (10.3%)	215 (%73.9)	62 (21.2%)	14 (4.8%)	<b>0.012</b>
What are the most common symptoms of food poisoning?	194 (%66.7)	47 (16.1%)	50 (17.1%)	241 (%82.8)	44 (15.1%)	6 (2.1%)	<b>0.000</b>
What are the sterile foods that do not contain pathogenic microorganisms?	193 (%66.3)	52 (17.8%)	46 (15.8%)	254 (%87.3)	19 (6.5%)	18 (6.2%)	<b>0.000</b>
What should be the order of use of the stored foods from the warehouse?	194 (%66.7)	44 (15.1%)	53 (18.2%)	234 (%80.4)	41 (14.0%)	16 (5.5%)	<b>0.000</b>
After which process should hands be washed?	266 (%91.4)	23 (7.9%)	2 (0.7%)	272 (%93.5)	13 (4.5%)	6 (2.1%)	0.347
How many seconds should hand washing continue?	175 (%60.1)	116 (39.7%)	0 (0.0%)	209 (%71.8)	78 (26.7%)	4 (1.4%)	<b>0.003</b>
What is the best way for drying hands?	248 (%85.2)	40 (13.7%)	3 (1.0%)	241 (%82.8)	39 (13.4%)	11 (3.8%)	0.428
What bacteria can be found in raw milk if not cooked properly?	91 (%31.3)	102 (34.9%)	98 (33.6%)	154 (%52.9)	112 (38.4%)	25 (8.6%)	<b>0.000</b>
What are the factor(s) affecting the reproduction of bacteria?	223 (%76.6)	53 (18.2%)	15 (5.1%)	255 (%87.6)	28 (9.6%)	8 (2.7%)	<b>0.001</b>
Which of the following is true about bacteria?	123 (%42.3)	58 (19.9%)	110 (37.7%)	204 (%70.1)	59 (20.2%)	28 (9.6%)	<b>0.000</b>

Table 4. (Continued)

What should be the ideal cooler temperature for products such as meat, fish, chicken?	187 (%64.3)	25 (8.6%)	79 (27.1%)	245 (%84.2)	29 (9.9%)	17 (5.8%)	<b>0.000</b>
In which situations would there be a risk of foodborne illness?	190 (%65.3)	84 (28.8%)	17 (5.8%)	238 (%81.8)	50 (17.1%)	3 (1.0%)	<b>0.000</b>
What is the most common bacteria found on nails, nose, and pimples?	58 (%19.9)	64 (21.9%)	169 (57.9%)	125 (%43)	69 (23.6%)	97 (33.2%)	<b>0.000</b>

Table 4 presents the assessment of participants' food microbiology knowledge levels. The most significant knowledge gaps were observed in relation to statements such as 'At what temperature does bacteria reproduce more rapidly?', 'At what temperature are hot meals served?', and 'What bacteria can be found in raw milk if it is not cooked properly?'. Following the training, there was a noticeable improvement in the knowledge levels regarding these topics. In 17 out of the 20 questions asked, it was observed that the participants' knowledge increased after the training compared to before. The difference in the overall evaluation of food microbiology knowledge before and after the training was statistically significant ( $p=0.000$ )."

Table 5. The effect of course on food safety, practices and microbiology knowledge levels

	n	Mean±SD		t	p
		Before Education	After Education		
Food Safety Knowledge Level	291	7.66 ±1.46	8.26±1.52	-4.835	.000
Food Safety Practices Level	291	27.87±2.58	28.52±2.13	-3.441	.001
Food Microbiology Knowledge Level	291	10.81±3.56	14.41±3.79	-11.595	.000

Food safety knowledge, safe food preparation and food microbiology knowledge levels were examined based on the total correct knowledge averages before and after the course. There was a significant increase in all knowledge levels after the course ( $p < 0.05$ , Table 5).

It is well-known that a lack of information on food safety contributes to many of the food-borne outbreaks, and providing training on these topics can significantly reduce such incidents [12,13]. In this study conducted among university students to evaluate the effectiveness of food microbiology courses, 95.2% of the participants reported that the course was beneficial (Table 1). In addition, there was a significant improvement before and after the training ( $p < 0.05$ ) in food safety knowledge, safe food preparation practices and food microbiology knowledge,

In a separate study involving 401 university students from various faculties in Turkey revealed that 4.2% had low, 67.8% moderate, and 27.9% had high levels of food safety knowledge [23].

Another study conducted with 200 university students aged 19-24 found incomplete knowledge on food safety and identified incorrect attitudes and behaviors [24].

In a research study, involving 205 university students, the impact of undergraduate education in food and beverage management on food safety knowledge was examined. The group of 145 students who received the training were compared to a control group of 60 individuals. The study revealed that the students who received the training demonstrated a higher level of knowledge compared to the control [25].

Another study found that the level of food safety awareness among students studying in higher education institutions was 50% [26].



Abdulatif Al-Shabib *et al.* (2017) conducted a study assessing the food safety knowledge of 808 students, which revealed that the students possessed sufficient knowledge regarding food safety [27].

In Lebanon, a research aimed at assessing the food safety and processing knowledge and practices of the university students showed that students had a generally low level of knowledge, and highlighted the need for education to improve food awareness [28].

In the food safety awareness and attitude study conducted with dietitian students in Lebanon, England and the USA revealed that the students in all three countries had incomplete knowledge about basic food safety concepts, emphasizing the importance of comprehensive food safety education for dietetics students [29].

A study conducted with 215 students in the Culinary Department of Mengen School in Turkey investigated food safety knowledge and practices, identifying deficiencies in the knowledge levels and food safety practices of the students who received culinary education [30].

Şanlıer *et al.* (2017) conducted a study at Gazi University in Turkey involving a total of 250 students, including 140 students from health sciences, 46 students from social sciences, and 64 students from sciences. The study measured students' knowledge levels of food safety and hygiene practices, revealing that students majoring in health sciences had a higher knowledge level compared to those majoring in science or social sciences [31].

In a recent study conducted with 163 students from natural sciences (36.6%), health sciences (48.2%) and social sciences (15.2%) in Kyrgyzstan, the awareness levels of students on food safety were examined and compared. 75% of the participants stated that they had heard about the concept of food safety before, and the food safety awareness level was found to be higher among students studying in health sciences [32].

Lazou *et al.* (2012) conducted research at Aristotle University Thessaloniki in Greece, involving 375 students from health sciences departments and 375 students from other faculties. The students were surveyed about food microbiology and food processing methods. The study found that health science students had higher knowledge of food processing and food safety compared to students from other faculties. Veterinary medicine students from health sciences departments achieved the highest correct answer rate, which was attributed to the curriculum's inclusion of food hygiene lectures in the veterinary department [33].

At Amasya University in Turkey, a study involving 470 students examined the knowledge, attitudes and behaviors related to the concepts of food safety and food literacy. The results showed that only 15.3% of the answers regarding food safety and 14.7% of the answers regarding food literacy were correct, indicating that students had insufficient knowledge about these concepts [34].

In a recent study involving 606 students from 24 universities in Sweden, the level of food safety knowledge was assessed. The research data indicated that the food safety knowledge level was determined to be 63.4%. It was observed that students who had

received food safety, food hygiene and microbiology education had higher knowledge levels [35].

Studies in the literature have consistently shown that students who did not receive food safety education have low levels of knowledge in this area, highlighting the importance of food safety education.

In a study conducted in Istanbul, food safety and hygiene knowledge level of 115 students from the gastronomy and cookery departments was assessed. The results revealed deficiencies in the knowledge of food safety and hygiene rules, but it was found that they had high knowledge and adherence to hand hygiene and kitchen equipment hygiene. For example, 94.8% of the participants used the statement "The food that should be stored in the cupboards should be stored at +4°C" and 97.4% of the participants gave the correct answer to the statement "I wash my hands with hot water and soap after touching raw meat and hands should be washed with hot water and soap before touching the food". 98.3% of the participants gave the correct answer by stating that different chopping boards and knives should be used for meat, kebab and vegetables [36].

The hygiene knowledge levels of 260 students from a cookery program at a university in Muğla, Turkey were measured. According to the food groups of the students (meat, vegetables, etc.), the level of knowledge in the statements "I use different chopping boards and knives, I wash fresh vegetables and fruits abundantly underwater, I regularly clean the tools I use in food preparation" was found to be higher [37].

In this study, it was found that 80.4% of the students used the statement "If a cutting board is to be used to cut different types of food such as vegetables and meat, the board should be cleaned with a clean towel to prevent bacteria formation", 96.9% always used the statement "At home, I wash my hands before preparing and eating food", 73.2% always used the statement "I dry my hands with a paper towel", 71.8% used the statement "Hand washing should take 20 seconds", 73.5% used the statement "I put the leftover in the refrigerator in 2 hours". 86.6% of the students stated that it is risky to store cooked and raw food together, 71.8% stated that bacteria reproduce faster at 25°C, and 82.8% stated that diarrhea is the most common symptom of food poisoning.

In another study examining the risk perceptions and behavior of food engineering students regarding food safety, 74.79% of the students stated that they always looked at the expiration date of the products while shopping [38].

In this study, 82.5% of the students stated that they always checked the expiry date written on the food packaging. All the results obtained through this study revealed that the students have some idea and knowledge about food preparation, safety, and microbiology since they are educated at the nutrition and dietetics department. However, the food microbiology lecture has more impact on the reinforcement of the information because one of the main roles of the dietitians is to educate the public.

#### **4. Conclusion**

In today's ever-changing food consumption habits, ensuring food safety is crucial for maintaining a high quality of life. Insufficient knowledge about food preparation

conditions can lead to food-related health issues and financial losses. Therefore, it is necessary to include courses on food safety and food microbiology in the curricula of not only health-related departments but also other faculties in the universities across Turkey. Thorough Food microbiology education, it was aimed to teach food-related microorganisms, the causes of food spoilage and food-borne infections the prevention methods, and importance of food safety and food hygiene. It is thought that the fact that the course content is comprehensive, the education is one semester, the lectures are open to discussion, the students make presentations about the content of the course, and the exams during and at the end of the semester increase the level of food microbiology and food safety knowledge of the students.

The course provided to students should be sustainable, continuous, and reinforced with practica applications. While undergraduate students generally have a higher awareness of food safety, food hygiene and food microbiology compared to the general population, there are still some deficiencies in certain areas. The data evaluated in this study indicated that education should cover all the topics related to food safety, preservation and storage to prevent food-borne infections and poisoning. It is particularly important to assessthe effectiveness of the courses routinely offered to students pursuing careers in the health and food related fields and make necessary adjustments to the programs. Surveys can be conducted at the end of the semester to evaluate the efficiency of these courses. In general, organizing training sessions on healthy and safe food practices and food preservation for university students can contribute to raising awareness and informing the broader society.

Studies on food microbiology and food safety have been conducted with university students (23-26). There is a lack of extensive research on food safety and microbiology among university students, especially in health-related departments. This study represents the second piece of literature assessing the food safety knowledge and attitudes of nutrition and dietetics students. Considering the significant role of dietitians in shaping nutritional habits and public health, further exploration of this topic is warranted. Awareness-raising initiatives targeting the society should be organized, covering various aspects such as factors to be considered when choosing foods, food storage conditions, cooking methods, and food hygiene. Education provided to students in the nutrition department which combines health and food, holds great importance as these students will be involved in future public health awareness activities. Therefore, the effectiveness of such training programs must be ensured.

More studies are needed to demonstrate the importance of food microbiology and food safety. It is especially important for nutrition and dietetics students working in the field of health to be aware of food preservation and hygiene and to follow new information. The effectiveness of the courses given for this purpose should be followed up with detailed studies.

## References

- [1] WHO, The First Action Plan for Food and Nutrition Policy-**WHO European Region** 2000-2005, Roma, (2001).
- [2] Republic of Turkey Ministry of Health, (2017), <https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/beslenme/besin-guvenligi-ve-hijyen.html>
- [3] Ray, B. **Fundamental Food Microbiology** 3rd Edn, CRC Press, FL, ISBN: 0-8493-1610-3, 439-534, (2004).

- [4] Artık, N., Konar, N., Toplu Tüketim Yerleri İçin Hijyen ve HACCP Uygulamaları, **Turizm, Sağlık ve Hukuk Sempozyumu**, Nevşehir, Türkiye, 03-05 Nisan (2015).
- [5] Gaaloul, I., Riabi, S., Ghorbel, R.E., Implementation of ISO 22000 in Cereal Food Industry “SMID” in Tunisia, **Food Control** 22, 59-66, (2011).
- [6] da Cunha, D.T., Improving food safety practices in the foodservice industry, **Current Opinion in Food Science**, 38:127-133, (2021).
- [7] Anonymous1 2019, <https://sendika.org/2019/01/isig-meclisi-beslenme-calisma-grubu-2018-yilinda-en-az-13-bin-190-kisi-gida-zehirlenmesi-yasadi-525658/>
- [8] EFSA & ECDC (European Food Safety Authority and European Centre for Disease Prevention and Control), Scientific report on the European union one health 2018 zoonoses report, **EFSA Journal** 17(12):5926, (2019).
- [9] Skuland, S.E., Borda, D., Didier, P., et al. European food safety: Mapping critical food practices and cultural differences in France, Norway, Portugal, Romania and the UK. **SIFO Report**, 6–2020. Oslo: Consumption research Norway, Oslo Metropolitan University.
- [10] Anonymous2, 2015, [https://reliefweb.int/report/world/estimates-global-burden-foodborne-diseases?gclid=CjwKCAjw0qOIBhBhEiwAyvVcf8XMbpULav\\_blWC6O6lpwybK2t1H4E\\_3sL5esoso8DbVM6llycmfxoCjBEQAvD\\_BwE](https://reliefweb.int/report/world/estimates-global-burden-foodborne-diseases?gclid=CjwKCAjw0qOIBhBhEiwAyvVcf8XMbpULav_blWC6O6lpwybK2t1H4E_3sL5esoso8DbVM6llycmfxoCjBEQAvD_BwE)
- [11] Focker, M., Van Der Fels-Klerx, H.J., Economics applied to food safety, **Current Opinion in Food Science**, 36:18-23, (2020).
- [12] Langiano, E., Ferrara, M., Lanni, L., Viscardi, V., Abbatecola, A.M., De Vito, E., Food safety at home: Knowledge and practices of consumers, **Journal of Public Health**, 20(1): 47-57, (2012).
- [13] Wu, Y., Liu, X., Chen, Q., Liu, H., Dai, Y., Zhou, Y., Wen, J., Tang, Z., Chen, Y., Surveillance for foodborne disease outbreaks in China, 2003 to 2008, **Food Control**, 84:382–388, (2018).
- [14] McFarland, P., Checinska Sielaff, A., Rasco, B., Smith, S., Efficacy of food safety training in commercial food service, **Journal of Food Science**, 84(6):1239-1246, (2019).
- [15] Medeiros, C.O., Cavalli, S.B., Salay, E., Proença, R.P.C., Assessment of the methodological strategies adopted by food safety training programmes for food service workers: A systematic review, **Food Control**, 22(8):1136-1144, (2011).
- [16] Young, I., Waddell, L.A., Wilhelm, B.J., Greig, J.A., systematic review and meta-regression of single group, pre-post studies evaluating food safety education and training interventions for food handlers, **Food Research International**, 128, 108711, (2020).
- [17] Yu, H., Neal, J., Dawson, M., Madera, J.M., Implementation of behavior-based training can improve food service employees’ handwashing frequencies, duration, and effectiveness, **Cornell Hospitality Quarterly**, 59(1): 70–77, (2018).
- [18] Yu, H., Sirsat, S.A., Neal, J.A., Linking food safety training with whistle-blowing: The mediation roles of job satisfaction and self-efficacy, **International Journal of Contemporary Hospitality Management**, 31(1): 141-160, (2019).
- [19] Zanin, L.M., da Cunha, D.T., De Rosso, V.V., Capriles, V.D., Stedefeldt, E., Knowledge, attitudes and practices of food handlers in food safety: An integrative review, **Food Research International**, 100: 53–62, (2017).
- [20] Griffith, C.J., Developing and maintaining a positive food safety culture (1st ed.) Doncaster: Highfield, (2014).

- [21] Anonymous3, 2004, <http://www.raosoft.com/samplesize.html>
- [22] Şanlıer, N., The knowledge and practice of food safety by young and adult consumers, **Food Control**, 20:538-542, (2009).
- [23] Açıkalın, B., Knowledge, attitude and behavior of university students about food safety, Master Thesis, (Istanbul) Biruni University Institute of Health Sciences, (2019).
- [24] Avşar, İ.O., Determination of knowledge attitudes and behaviors of university students on food safety, Master Thesis, (Gaziantep) Hasan Kalyoncu University Institute of Health Sciences, (2019).
- [25] Kocaman, E.M., The Effect of Food and Beverage Management Education on the Knowledge Level of Students Regarding Food Safety, **Kastamonu Education Journal**, 23(1):269-280, (2015).
- [26] Gündüz, O., Aydoğan, C., A Research on Awareness Level of Food Safety of Vocational School Students, **Journal Of Academic Approaches**, 6(1):34-44, (2015).
- [27] Al-Shabib, N.A., Husain, F.M., Khan, J.M., Study on food safety concerns, knowledge and practices among university students in Saudi Arabia, **Food Control**, 73: 202-208, (2017).
- [28] Hassan, H.F., Dimassi, H., Food safety and handling knowledge and practices of Lebanese university students, **Food Control**, 40:127-133, (2014).
- [29] Evans, E.W., Redmond, E.C., Alwan, N., Ilic, S., Awareness and attitudes of student dietitians in Lebanon, UK and USA towards food safety, **Foods**, 10, 1875, (2021).
- [30] Aratoğlu, C., Information and application levels on food safety of the students who receive culinary education in "Vocational and technical Anatolian high school and vocational higher school", Master Thesis, (Ankara) Gazi University Institute Of Education Sciences, (2015).
- [31] Şanlıer, N., Adanur, E., Uyar, G.Ö., Elibol, E., Coşkun, A.B., Erdoğan, R., Bozbaş, E., Evaluation of The Nutrition and Food Safety Knowledge and Behaviour of The Young, **Kastamonu Education Journal**, 25(3), 941-956, (2017).
- [32] İstanbullugil, F.R., Gürbüz, Ü., Determining the Level of Food Safety Awareness of University Students in Bishkek; A Case Study, **Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences**, 9(2):85-90, (2019).
- [33] Lazou, T., Georgiadis, M., Pentieva, K., McKeivitt, A., Iossifidou, E., Food safety knowledge and food-handling practices of Greek university students: A questionnaire-based survey, **Food Control**, 28(2): 400-411, (2012).
- [34] İncedal-Sonkaya, Z., Balcı, E., Ayar, A., University students food literacy and food safety knowledge, attitudes and behaviors "Example of Amasya University Sabuncuoğlu Şerefeddin Health Services Vocational School", **Turkish Bulletin of Hygiene & Experimental Biology**, 75(1): 53-64, (2018).
- [35] Marklinder, I., Ahlgren, R., Blücher, A., Börjesson, S.M.E., Hellkvist, F., Moazzami, M., Schelin, J., Zetterström, E., Eskhult, G., Danielsson-Tham, M.L., Food safety knowledge, sources thereof and self-reported behaviour among university students in Sweden, **Food Control**, 113, 107130, (2020).
- [36] Özcan, F.Ö., Cookery and Gastronomy Students Food Safety-Determination of Knowledge Level for Hygiene Online Cross-Sectional Study, **Saffron Journal of Culture and Tourism Researches**, 3(2):116-124, (2020).

- [37] Ertopcu, İ., Avcıkurt, A., Çetinkaya, T.A., Study on Hygiene Knowledge Levels of Cooking Program Students, **Journal of Tourism and Gastronomy Studies**, 2187-2203, (2019).
- [38] Çelik, A.D., Risk Perceptions and Behaviours of Food Engineering Students About Food Safety: The Case Study of Hatay Mustafa Kemal University, **Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology**, 9(7): 1237-1241, (2021).

# Kent içi karayolu ağlarında yedek kapasite ve taşıt emisyonu problemlerinin eş zamanlı çözümü

Cenk OZAN<sup>1\*</sup>, Özgür BAŞKAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Müh. Fak. İnşaat Müh. Böl., Efeler, Aydın.

<sup>2</sup>Pamukkale Üniversitesi Müh. Fak., İnşaat Müh. Bölümü, Kınıklı kampüsü, Denizli.

Geliş Tarihi (Received Date): 23.01.2024

Kabul Tarihi (Accepted Date): 05.03.2024

## Öz

Kent içi karayolu ağlarında oluşan trafik sıkışıklıkları ve bunun beraberinde getirdiği problemler uzun yıllardır araştırmacıların ilgisini çekmiş ve bu konuda birçok çalışma yapılmıştır. Trafik sıkışıklığının azaltılması amacıyla yerel yönetimlerin ilk olarak başvurduğu yöntemler yol genişletme ve kavşak kontrol tipinin değiştirilmesi olmaktadır. Ancak özellikle ışıklı kavşakların büyük çoğunlukta olduğu gelişmekte olan ülkelerde kent içi ulaşım ağlarında ışık sürelerinin optimizasyonu ile ulaşım ağlarında yedek kapasite yaratılabilmektedir. Diğer taraftan yedek kapasite yaratılması ulaşım ağında oluşan taşıt emisyon miktarının artması sonucunu beraberinde getirmekte ve bu durum çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Bu nedenle ışık sürelerinin optimizasyonu ile yedek kapasite yaratılırken aynı zamanda taşıt emisyon miktarlarının da belli bir seviyede tutulması gerekliliği açıktır. Bu amaçla çalışmada, kent içi ulaşım ağlarında yedek kapasite en büyükleme ve taşıt emisyonları en küçükleme problemlerinin eş zamanlı çözümü amacıyla çok amaçlı iki seviyeli bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Model 9 adet ışıklı kavşaktan oluşan bir test ulaşım ağına uygulanmıştır. Sonuçlar ulaşım ağının fiziksel ve işletimsel özelliklerinin izin verdiği kapasite kullanımının taşıt kaynaklı emisyon miktarında ciddi oranlarda artışa yol açtığını göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Yedek kapasite, taşıt emisyonları, ışıklı kavşak, iki-seviyeli programlama, kent içi karayolu ağları.

\*Cenk OZAN, cenk.ozan@adu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-0690-6033>

Özgür BAŞKAN, obaskan@pau.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-5016-8328>

# Simultaneous solution for reserve capacity maximization and vehicle emission minimization problems in urban road networks

## Abstract

*The traffic congestion in urban road networks and the arising problems have attracted the attention of researchers for many years, and many studies have been carried out on this subject. The first practices applied by local authorities to reduce congestion are road expansion and changes in intersection control type. However, it is possible to reveal reserve capacity in urban road networks by optimising the timing of traffic signals, particularly in developing countries where most intersections are controlled by traffic signals. The release of reserve capacity, on the other hand, causes an increase in vehicle emissions in the urban road network, which has a negative impact on the environment and human health. For this reason, it is clear that, while releasing reserve capacity by optimizing the timing of traffic signals, it is also necessary to keep vehicle emissions at a certain level. For this purpose, in this study, a multi-objective bi-level optimisation model is developed for the simultaneous solution of reserve capacity maximisation and vehicle emissions minimization problems in urban road networks. The developed model has been applied to a road network consisting of 9 signalized intersections. The results show that the capacity utilisation allowed by the physical and operational characteristics of the road network leads to a significant increase in vehicle emissions.*

**Keywords:** Reserve capacity, vehicle emissions, signalized intersections, bi-level programming, urban road networks.

## 1. Giriş

Gelişmekte olan ülkeler başta olmak üzere tüm dünyada kentsel nüfus hızlı bir biçimde artmaktadır. Kentsel nüfusun artması, özellikle toplu taşıma sistemlerinin daha az kullanıldığı kentlerde artan özel taşıt kullanımı neticesinde trafik sıkışıklığının ve bunun beraberinde getirdiği problemlerin artmasına neden olmaktadır. Artan ulaşım talebinin karşılanması noktasında yerel yöneticiler/karar vericiler yol genişletme, şerit ekleme, kavşak geometrisini iyileştirme ve kavşak kontrol tipinin değiştirilmesi şeklinde yüksek maliyetli önlemler almaktadırlar. Ancak bu tür önlemler alınmadan önce ulaşım ağının mevcut kapasitesinin yanında, uygun olmayan ışık sürelerinin kullanılmasına bağlı olarak atıl durumda bekleyen yedek kapasitesinin kullanılması çok daha az maliyetli ve verimli bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır [1]. Yedek kapasite kavramı ulaştırma literatüründe uzun yıllardır kullanılmaktadır. Yedek kapasite en büyükleme problemi ışıklı kavşaklardan oluşan bir ulaşım ağında Başlangıç-Variş (B-V) talep matrisi çarpanının en yüksek değerinin elde edildiği ışık sürelerinin elde edilmesi olarak ifade edilebilmektedir. Elde edilen optimum ışık süreleri kullanılarak ulaşım ağındaki bağların kapasiteleri aşılmadan daha fazla ulaşım talebine hizmet edilebilmektedir. Diğer bir deyişle B-V matrisi çarpanının en yüksek değerinin elde edilmesi ile ulaşım ağında yüksek maliyetli iyileştirme çalışmaları yapılmadan önce ışık sürelerinin en uygun değerlerinin belirlenmesi ile yedek kapasite yaratılabilmektedir.

Bu konuda literatürde yapılan çalışmalar Webster ve Cobbe [2] tarafından yapılan çalışma ile başlamıştır. Bu çalışmada ışık sürelerinin kavşak kapasitesi üzerindeki etkileri



birçok açıdan ele alınmış ve ışıklı kavşaklardaki kapasite tahmini üzerine bir metot geliştirilmiştir. Webster ve Cobbe [2] tarafından yapılan çalışmadaki eksikliklere dikkate çeken Allsop [3] yapmış olduğu çalışmada neredeyse tüm kavşak tiplerine ve devre sürelerine uygun yeni bir kapasite tahmin modeli geliştirmiştir. Wattelworth ve Ingram [4] benzer şekilde ışıklı kavşaklarda kapasitenin en büyüklenmesi için doğrusal programlama metodu geliştirmiştir. Yagar [5] literatürde önceki çalışmaların eksikliklerine dikkat çekerek ışıklı kavşaklarda bir devre süresi içinde fazlar arasında farklı doygun akım değerlerinin kullanılabilmesine olanak sağlayan yeni bir kapasite tahmin modeli önermiştir. Allsop [3] tarafından ortaya atılan yedek kapasite tanımlamasından yolan çıkan Wong [6] çalışmasında öncelikli kavşaklar ve modern dönel kavşaklar için kullanılabilir yeni bir model ve formülasyon önermiştir. Sayısal uygulamaların sonuçları önerilen formülasyonun geçerliliğini göstermiştir. Wong ve Yang [7] tarafından yapılan çalışmada, o zamana kadar performans kriteri ve kavşak ışık sürelerinin tasarımı konularında kullanılan yedek kapasite kavramı bu çalışmada ilk olarak ulaşım ağı düzeyinde kullanılmıştır. Bu çalışmada ayrıca yedek kapasite en büyükleme probleminde ışık sürelerinin belirlenmesinde iki seviyeli programlama modeli kullanılmıştır. Ziyou ve Yifan [8] ilk olarak kavşak bazında yedek kapasite en büyükleme kavramı ile sürekli ulaşım ağ tasarım problemi olarak ele alınan bağ kapasite artırım problemini birlikte ele almıştır. Yedek kapasiteyi etkileyen parametreleri inceleyen Ge ve diğ. [9] tarafından yapılan çalışmada iki seviyeli programlama modeli kullanılmıştır. Üst seviyede B-V talep matrisi çarpanının en büyük değeri belirlenmeye çalışılırken alt seviyede ise deterministik trafik atama probleminin çözümü yapılmıştır. Sonuçlar kullanıcı bilgi seviyesi arttıkça yedek kapasitenin aynı oranda artmadığını göstermiştir.

Chen ve diğ. [10] yedek kapasite formülasyonunun içine güvenilirlik indeksini dahil etmeyi amaçladıkları çalışmalarında farklı trafik koşulları altında hizmet veren ulaşım ağındaki bağların kapasitelerinin altında işletilebilme olasılıklarını ortaya koymuşlardır. Miandoabchi ve Farahani [11] ulaşım ağlarındaki tek yön ve şerit ekleme uygulama problemlerini yedek kapasite kavramı altında ifade etmişlerdir. Chiou [12] çalışmasında iki seviyeli programlama modeli kullanarak ulaşım ağındaki yedek kapasiteyi maksimum yaparken aynı zamanda taşıt gecikmelerini de minimum yapan optimum ışık sürelerini elde etmiştir. Wang ve diğ. [13] ulaşım ağındaki yedek kapasite en büyükleme probleminde stokastik kullanıcı davranışlarını dikkate almışlardır. Çalışmada iki adet iki seviyeli programlama modeli önerilmiştir. İlk olarak ışık sürelerinin optimum değerleri elde edilerek ağıdaki yedek kapasitenin maksimum değeri elde edilmiştir. Sonrasında ise problem sürekli ağ tasarım problemi kapsamında genişletilerek bağ kapasite genişletme stratejileri uygulanmış ve yedek kapasitenin daha ne kadar artırılabilirliği belirlenmeye çalışılmıştır. Baskan ve Ozan [14] ışık sürelerinin eniyilenmesinde eşitlik kavramını dikkate alarak yedek kapasite en büyükleme problemini çözmeyi amaçlamışlardır. Çözümde sezgisel optimizasyon algoritmalarından olan Armoni Araştırması Tekniğini kullanarak iki seviyeli programlama modeli geliştirmişlerdir. Sonuçlar yedek kapasite en büyükleme probleminde eşitlik kavramının dikkate alınmasının anlamlı sonuçlar ortaya koyduğunu göstermiştir. Son olarak Baskan ve diğ. [15] yedek kapasite en büyükleme ve taşıt gecikmeleri en küçükleme problemlerini eş zamanlı olarak çözebilen çok amaçlı iki seviyeli programlama modeli geliştirmişlerdir. Sonuçlar B-V matrisi çarpanının belli bir değerinden sonra taşıt gecikmelerinin ciddi oranlarda artmaya başladığını bu nedenle yedek kapasite en büyükleme probleminin çözümünde taşıt gecikmelerinin dikkate alınmasının önemli olduğunu göstermiştir.

Baskan ve diğ. [15] tarafından yapılan çalışmada belirtildiği üzere taşıt gecikmelerini dikkate almadan yedek kapasitenin en büyüklenmesi taşıt gecikmelerinin ciddi miktarda artmasına neden olabilmektedir. Benzer şekilde ulaşım ağında ortaya çıkarılan yedek kapasite ile ağın daha fazla taşıta hizmet edebilmesi sağlanırken diğer taraftan ise taşıt emisyonları artan taşıt sayısına bağlı olarak ciddi miktarda artabilmektedir. Bir başka ifadeyle ulaşım ağının daha fazla taşıta hizmet etmesi hedeflenirken diğer taraftan çevre kirliliği ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri bilinen taşıt emisyonlarının artırılması problemi ile karşı karşıya kalınabilmektedir. Bu nedenle taşıt emisyonlarını dikkate alarak yedek kapasitenin en büyüklenmesi oldukça önemlidir. Literatüre bakıldığında problemi bu açıdan değerlendiren çalışma sayısı oldukça azdır. Kwak ve diğ. [16] çalışmalarında bir kent içi arterde ışık sürelerinin yakıt tüketimi ve emisyonlar üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Işık sürelerinin eniyilenmesi için trafik benzetim yazılımı, emisyon/yakıt tüketimi modeli ve genetik algoritma metodu birleştirilerek bir model önerilmiştir. Sonuçlar geliştirilen modelin literatürdeki modellerden daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Ferguson ve diğ. [17] tarafından yapılan çalışmada ağ tasarım problemi taşıt emisyonları göz önüne alınarak ifade edilmiş ve yapılan analizler emisyonları dikkate almadan taşıt gecikmelerinin azaltılmasının ağ genelinde taşıtlardan kaynaklı emisyonları artırdığını göstermiştir. Zhang ve diğ. [18] koordine ışık sistemi ile yönetilen bir kent içi arterde taşıtlardan kaynaklı emisyonları dikkate alan iki amaçlı bir optimizasyon modeli önermişlerdir. Önerilen model simülasyon tabanlı genetik algoritma ile çözümlenmiş ve pareto optimum sonuçlar elde edilmiştir. Li ve Ge [19] yedek kapasite en büyükleme ve taşıt emisyonları en küçükleme problemlerini beraber ele almıştır. Çözüm için tavlama benzetimi yöntemi tabanlı iki seviyeli programlama modeli kullanılmış ve alt seviyede deterministik bağ akımları dikkate alınmıştır. Son olarak Baskan [20] yedek kapasite en büyükleme probleminin çözümünde aynı zamanda ulaşım ağındaki taşıt emisyon miktarlarını da minimuma indirmeyi amaçlayan iki seviyeli bir programlama modeli geliştirmiştir. Sonuçlar birbiri ile çelişen iki amaç fonksiyonu arasında pareto optimum sonuçların elde edilmesinin sürdürülebilir ulaşım ağ yönetimi konusunda karar vericilere yol gösterici nitelikte olduğunu göstermektedir.

Önceki çalışmalardan görülebileceği üzere ulaşım ağ tasarımında yedek kapasite ve taşıt emisyonlarını ayrı olarak ele alan birçok çalışma olmasına rağmen bu iki kavramın beraber ele alındığı az sayıda çalışma bulunmaktadır. Ayrıca gerek yedek kapasite gerekse taşıt emisyonları kavramlarını farklı açılardan ele alan ve sonuçların beraber değerlendirildiği çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada yedek kapasite en büyükleme ve taşıt emisyonları en küçükleme problemlerini eş zamanlı olarak çözebilen iki seviyeli bir optimizasyon modeli geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma beş bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde problem formülasyonu verilmiştir. Sonraki bölümde problemin çözümü amacıyla önerilen model detaylı olarak açıklanmıştır. Dördüncü bölümde önerilen modelin test ulaşım ağına uygulanması ile elde edilen sonuçlar verilmiştir. Son bölümde çalışmanın sonuçları ve öneriler yer almaktadır.

## 2. Problem formülasyonu

Ulaşım ağlarından sorumlu yerel yöneticiler ulaşım talebine karşılık verebilmek için uygun olmayan ışık sürelerinden dolayı kullanılmayan yedek kapasiteyi en büyükleme çalışabilmektedirler. Diğer taraftan ulaşım talebindeki artışla beraber artacak olan taşıt emisyon miktarlarını en küçükleme için çeşitli çözüm yolları aramaktadırlar. Yerel yöneticilerin ulaşmak zorunda olduğu bu iki hedef arasında bir

çelişki bulunmaktadır. Ayrıca, yerel yöneticilerin bu hedefler doğrultusunda ulaşım ağı ile ilgili alacağı kararlar ağı kullanan kullanıcıları da etkilemektedir. Ulaşım ağı kullanıcıları yukarıda bahsedilen problemleri dikkate almadan kendi ulaşım maliyetlerini en küçükleyerek en kısa sürede seyahatlerini tamamlamayı amaçlamaktadırlar. Bu çalışmada, yerel yöneticiler ile ulaşım ağı kullanıcıları arasındaki karşılıklı etkileşimi ortaya koyan çok amaçlı iki seviyeli optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Modelin alt seviyesinde karar vericilerin ağ üzerinde yaptığı değişikliklere karşılık kullanıcıların verdikleri tepkileri dikkate alabilmek için stokastik trafik atama problemi çözülmeye çalışılırken, üst seviyede ise yedek kapasite en büyükleme ve taşıt emisyon miktarlarının en küçükleme problemleri eş zamanlı olarak çözümlenmeye çalışılmıştır.

Bir ulaşım ağında düğümler,  $m \in M$ , bağlar,  $a \in A$ , rotalar,  $p \in P$ , B-V çiftleri,  $k \in K$  olmak üzere problem aşağıda verildiği gibi ifade edilebilmektedir.

$$\max_{x^*, \Omega} \Psi \quad (1)$$

$$\min_{\Psi, x^*, \Omega} Y = \sum_{a \in A} x_a^* e_a \quad (2)$$

Kısıtlar:

$$\Omega(c, \varphi) \in \Omega_0; \begin{cases} c_{\min}^i \leq c^i \leq c_{\max}^i \\ \sum_{j=1}^z (\varphi_j + I) = c^i \quad i = 1, 2, \dots, N \end{cases} \quad (3)$$

$$x_a^*(\Psi, \Omega) \leq C_a(\Omega, s_a) \quad (4)$$

Burada Denklem (1) yedek kapasite en büyükleme problemini,  $\Psi$  B-V matrisi çarpanını Denklem (2) toplam taşıt emisyon maliyeti en küçükleme problemini ve  $Y$  ise ağdaki toplam emisyon maliyetini ifade etmektedir.  $e_a$   $a$  bağının emisyon maliyetini ve  $x_a^*$   $a$  bağındaki denge trafik akımını temsil etmektedir. Denklem (3) ışık süre kısıtlarını ifade etmektedir. Burada,  $\Omega$  ışık süreleri vektörünü,  $\Omega_0$  ışık süreleri çözüm kümesini,  $c^i$   $i$ . kavşağın devre süresini,  $c_{\min}$  ve  $c_{\max}$  devre süresinin alt ve üst sınırlarını,  $\varphi$  faz yeşil süresini,  $\varphi_{\min}$  minimum faz yeşil süresini,  $I$  yeşiller arası süreyi,  $z$  kavşaktaki faz sayısını ve  $N$  ise ağdaki kavşak sayısını temsil etmektedir. Denklem (4)'de verilen ifade herhangi bir  $a$  bağı denge akımının ilgili bağın kapasitesine eşit veya ondan daha küçük olması şartını sağlamak için kullanılmaktadır. Burada,  $C_a$   $a$  bağının kapasitesini ve  $S_a$  doymuş akım değerini temsil etmektedir. Ulaşım ağındaki herhangi bir  $a$  bağının emisyon maliyeti ise şu şekilde hesaplanabilmektedir [21].

$$e_a = \sum_k \phi_k Q_a^k \quad (5)$$

Burada;  $\phi_k$   $k$  kirletici türünün birim ağırlık başına maliyetini ve  $Q_a^k$   $a$  bağından yayılan  $k$  kirletici türünün kg cinsinden miktarını temsil etmektedir. Szeto vd. [21], herhangi bir  $a$  bağından yayılan farklı kirletici türlerinin ağırlığını  $a$  bağının uzunluğu  $l_a$  (km) ve bağ ortalama hızının  $\bar{V}_a$  (km/sa,  $\bar{V}_a = l_a/t_a$ ) bir fonksiyonu olarak ifade etmişlerdir. Bu çalışmada, taşıt emisyon maliyetini hesaplamak için Baskan [20] tarafından yapılan

çalışmadan farklı olarak insan sağlığı ve çevre üzerindeki önemli etkileri nedeniyle CO, HC ve NO<sub>x</sub> kirleticileri seçilmiştir [21]. Kirleticilere ait bağıntılar Denklem (6-8)'de verilmiştir.

$$Q_a^{CO} = \frac{10.15225e^{0.015977\bar{V}_a} l_a}{\bar{V}_a} \quad (6)$$

$$Q_a^{HC} = \frac{9132.504e^{0.016527\bar{V}_a} l_a}{10972.8\bar{V}_a} \quad (7)$$

$$Q_a^{NO_x} = \frac{5155.504e^{0.044694\bar{V}_a} l_a}{10972.8\bar{V}_a} \quad (8)$$

Denklem (1)'de verilen B-V matrisi çarpanı ile Denklem (2)'de verilen ulaşım ağı toplam taşıt emisyon maliyetinin belirlenebilmesi için bağ trafik akımlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bağ akımları Denklem (9-10) ile ifade edilen stokastik trafik atama probleminin çözümü ile belirlenebilmektedir.

$$\min_{x(\Omega)} F(x(\Omega), \Omega) = -\Psi^T q + x^T t(x(\Omega), \Omega) - \sum_{a \in A} \int_0^{x_a(\Omega)} t_a(\Omega, w) dw \quad (9)$$

Kısıtlar:

$$\Psi q = \partial h, \quad x(\Omega) = \delta h, \quad h \geq 0 \quad (10)$$

Burada  $\partial$  B-V/rota belirleme matrisini  $[\partial_p; \forall p \in P]$ ,  $h$  rota akım vektörünü,  $\delta$  bağ/rota belirleme matrisini,  $x(\Omega)$  bağ trafik akımları vektörünü,  $q$  talep vektörünü,  $t$  ve  $y$  ise bağ ve rota seyahat süre vektörlerini temsil etmektedir. Bell ve Shield [22] tarafından önerilen ve logit rota seçim modeline dayanan Rota Akım Tahmin (RAT) algoritması ile stokastik trafik atama problemi çözülebilmektedir. RAT algoritmasının en önemli avantajı rota numaralandırmaya ihtiyaç duymadan trafik atama probleminin çözüm kümesini sınırlandırması ve çözüm süresini azaltması nedeniyle birçok çalışmada kullanılmaktadır [1, 15, 20, 23-26].

Geliştirilen çok amaçlı iki seviyeli optimizasyon modeli, eşzamanlı olarak ulaşım ağının yedek kapasitesini en büyükmeyi ve ulaşım ağındaki toplam taşıt emisyonlarının maliyetini en küçükmeyi amaçlamaktadır. Bu iki amaç karşılıklı olarak etkileşim içinde bulunduğundan, Pareto-optimum çözümler arasından uygun bir çözüm bulunmalıdır. Çok amaçlı optimizasyon problemlerinin Pareto-optimum çözüm kümesini belirlemek için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan, ağırlıklı toplam yöntemi, çok amaçlı optimizasyon problemini tek amaçlı optimizasyon problemine dönüştürmek için kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. Ancak, ağırlıklı toplam yöntemini kullanabilmek için her amaç fonksiyonunun aynı birimde veya birimsiz olması gerekmektedir. Bu çalışmada her bir amaç fonksiyonu farklı birime sahip olduğundan ağırlıklı toplam yöntemi uygulanmadan önce Denklem (11) ve (12)'deki gibi normalizasyon işlemi yapılarak edilerek birimsiz hale getirilmişlerdir.

$$P_1 = \frac{\Psi^*}{\Psi} \quad (11)$$

$$P_2 = \frac{Y}{Y^*} \quad (12)$$

Burada  $\Psi^*$  ve  $Y^*$  Denklem (1) ve (2)'de verilen amaç fonksiyonlarının alt ve üst sınırlarını temsil etmektedir. Bu durumda, Denklem (1) ve (2)'de verilen yedek kapasite en büyükleme problemi ile taşıt emisyon maliyeti en küçükleme problemi ağırlıklı toplam yöntemi kullanılarak Denklem (3-4)'de verilen kısıtlara bağlı olarak aşağıda verildiği şekilde tek amaçlı en küçükleme problemine dönüştürülebilmektedir.

$$\min P(\Psi, \Omega, x^*) = \lambda P_1 + (1 - \lambda) P_2 \quad (13)$$

Burada  $\lambda$ ,  $P_1$  ve  $P_2$  ile ifade edilen amaç fonksiyonları arasındaki Pareto-optimum çözümleri bulmak için kullanılan ağırlık faktörünü temsil etmektedir ve değeri 0-1 arasında değişmektedir. Ulaşım ağlarından sorumlu yerel yöneticiler tarafından 1'e yakın ağırlık faktörü değeri kullanıldığında, yerel yöneticilerin ulaşım ağının yedek kapasitesinin iyileştirilmesine daha fazla özen gösterdikleri, bunun tersine, 0'a yakın bir ağırlık faktörü değeri kullanıldığında ise, ulaşım ağındaki taşıt emisyon maliyetini en küçüklemeye odaklandıkları anlamına gelmektedir.

### 3. Model geliřimi

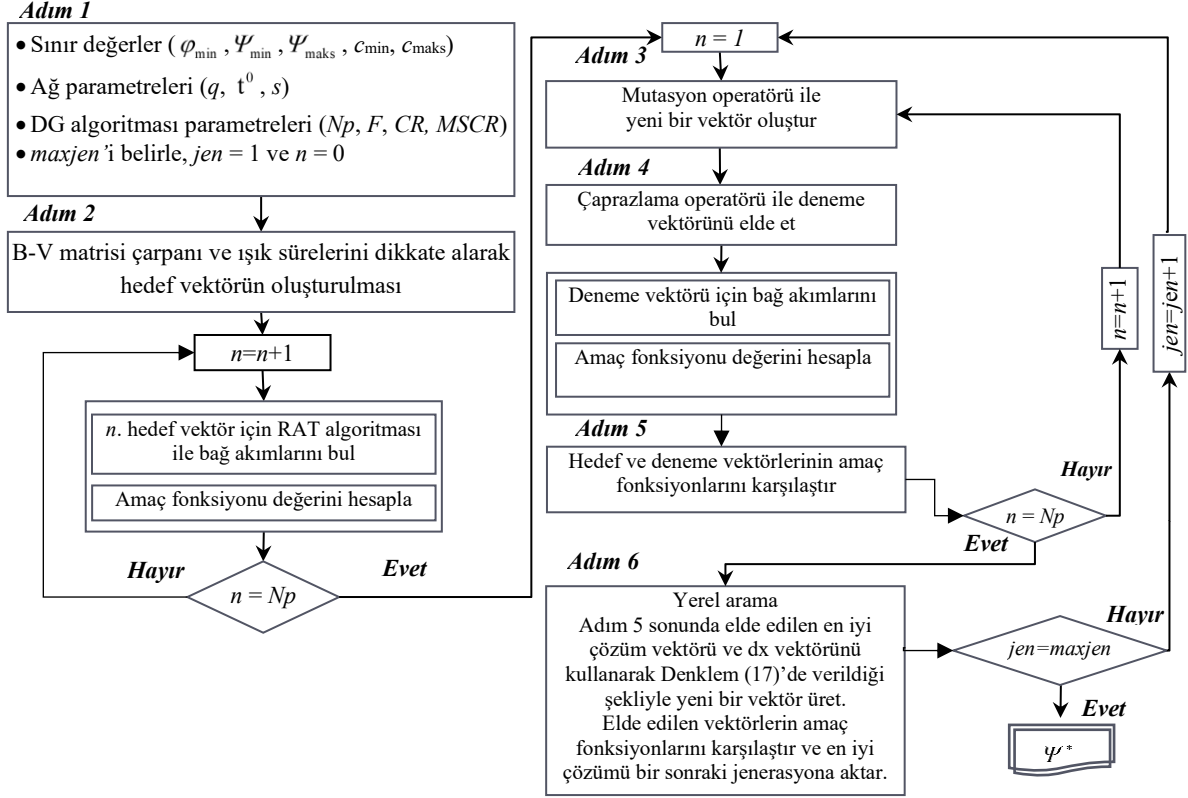
Bu çalışmada, geliştirilen çok amaçlı iki seviyeli optimizasyon modeli Baskan ve Ceylan [27] tarafından geliştirilen İyileştirilmiş Diferansiyel Gelişim (İDG) algoritması kullanılarak çözülmüştür. Storn ve Price [28] tarafından geliştirilen ve en güçlü meta sezgisel yöntemlerden biri olan popülasyon temelli Diferansiyel Gelişim (DG) algoritması karmaşık optimizasyon problemlerinin çözümünde literatürde birçok farklı alanda uzun yıllardır kullanılmaktadır [29-32]. DG algoritması herhangi bir optimizasyon probleminin çözümünde en uygun veya en uyguna yakın sonuçlara ulaşmak için mutasyon, çaprazlama ve seçim operatörlerini kullanmaktadır.  $F$  ile belirtilen mutasyon faktörü ve  $CR$  olarak ifade edilen çaprazlama oranı algoritmada kullanılan kontrol parametreleridir. Bunun dışında tüm toplum temelli meta-sezgisel algoritmalarda olduğu gibi  $N_p$  ile belirtilen toplum büyüklüğü parametresi de kullanılmaktadır [28]. İDG algoritmasında standart DG algoritmasında kullanılan mutasyon stratejisine ek olarak her bir jenerasyonda en iyi çözüm vektörünün etkisini sürece dahil eden bir mutasyon mekanizması kullanılmıştır. Ayrıca İDG algoritmasında her bir jenerasyon sonunda elde edilen en iyi çözüm vektörünü iyileştirebilmek ve sonraki jenerasyona daha iyi bir çözüm aktarabilmek adına yerel arama adı verilen bir iyileştirme mekanizması eklenmiştir. Denklem (13)'de verilen çok amaçlı optimizasyon modelinin çözümü için ilk olarak B-V matris çarpanının maksimum değeri  $\Psi^*$  ve taşıt emisyon maliyetinin minimum değeri  $Y^*$  değerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için öncelikle her iki problem ayrı ayrı İDG algoritması tabanlı iki seviyeli optimizasyon modeli yardımı ile çözülmüştür.

#### 3.1. Yedek kapasite en büyükleme modeli

Yedek kapasite en büyükleme problemini çözebilmek için, Denklem (1)'de verilen amaç fonksiyonu Denklem (3-4)'deki kısıtlara bağlı olarak İDG algoritmasının en küçükleme yapabilmesinden dolayı Denklem (14)'de verildiği gibi ifade edilmiştir.

$$\min U(x^*, \Omega) = \frac{1}{\Psi} + \sigma \left[ \sum_{a \in A} \max(x_a^*(\Psi, \Omega) - C_a(\Omega, s_a), 0) \right] \quad (14)$$

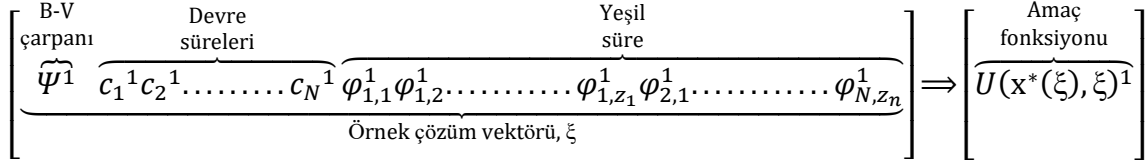
Denklem (14)'ün ikinci bileşeni, bağ akımlarının kapasite değerlerini aşmamasını sağlayan ceza fonksiyonunu,  $\sigma$  ise ceza ağırlık katsayısını temsil etmektedir. Yedek kapasite en büyükleme probleminin çözümü için geliştirilen İDG algoritması tabanlı çözüm yönteminin akış şeması Algoritma-1 olarak Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Algoritma-1.

**Adım 1:** Başlangıç olarak adlandırılan bu adımda Denklem (14)'te verilen yedek kapasite en büyükleme probleminin amaç fonksiyonu, karar değişkenlerinin sınır değerleri, ulaşım ağı ile ilgili parametreler ve İDG algoritmasının parametreleri tanımlanmaktadır. Ayrıca  $n$  ile belirtilen sayaç değeri 0 ve  $jen$  olarak ifade edilen jenerasyon sayısı ise 1 olarak alınırken maksimum jenerasyon sayısı olan  $maxjen$  belirlenmektedir.

**Adım 2:** Bu adımda B-V matris çarpanı ile ışık sürelerinin alt ve üst sınır değerleri dikkate alınarak başlangıç toplumu rastgele oluşturulmaktadır. Oluşturulan matrisin satır sayısı  $Np$  olarak ifade edilen toplum büyüklüğü kadar sütun sayısı ise probleme özgü olarak belirlenen karar değişkeni sayısı ( $Kd$ ) kadar olmaktadır. Adım 2 toplumdaki her bir çözüm vektörü için amaç fonksiyonu değeri hesaplanana kadar devam ettirilmektedir. Şekil 2'de başlangıç toplumu içinde ilk satırda verilen örnek bir çözüm vektörü gösterilmektedir. Burada  $\varphi_{i,j}$   $i$ . kavşağın  $j$ . fazının yeşil süresini,  $N$  ulaşım ağındaki kavşak sayısını,  $z_n$  ise  $n$ . kavşaktaki faz sayısını temsil etmektedir ( $i=1,2,\dots, N$  ve  $j=1,2,\dots, z_n$ ).



Şekil 2. Algoritma 1 örnek çözüm vektörü.

**Adım 3:** Bu adımda rastgele ve birbirinden farklı olarak toplum içinden seçilen üç adet çözüm vektörü ve  $F$  faktörü kullanılarak mutasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu aşamada seçilen üç farklı vektör aynı zamanda hedef vektörden de farklı olmaktadır. İDG algoritmasında önceki jenerasyonda elde edilen en iyi çözüm vektörünün optimizasyon sürecine dahil edilebilmesi için MSCR parametresi kullanılmaktadır. Eğer (0,1) aralığında rastgele olarak üretilen değer MSCR parametresinden küçük ise standart mutasyon stratejisi kullanılmakta diğer durumda ise bir önceki jenerasyonda elde edilen en iyi çözüm vektörü mutasyon sürecinde kullanılmaktadır. MSCR parametresinin değeri bu çalışmada 0,90 olarak alınmıştır [27]. Mutasyona uğramış vektör Denklem (15)'de verilen ifade ile elde edilebilmektedir. Burada  $r_0$ ,  $r_1$  ve  $r_2$  rastgele seçilen vektörlerin indislerini temsil etmektedir.

$$\rho_{i,jen} = \begin{cases} \xi_{r_0,jen} + F \cdot (\xi_{r_1,jen} - \xi_{r_2,jen}) & \text{rastgele}(0,1) < \text{MSCR} \\ \xi_{r_0,jen} + F \cdot (\xi_{eniye,jen-1} - \xi_{r_2,jen}) & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (15)$$

**Adım 4:** Bu aşamada ise çaprazlama operatörü kullanılarak hedef vektör ve mutasyona uğramış vektörden deneme vektörü adı verilen yeni bir vektör Denklem (16)'da görüldüğü gibi oluşturulmaktadır.

$$E_{i,jen} = \varepsilon_{j,i,jen} = \begin{cases} \rho_{j,i,jen} & \text{rastgele}(0,1) \leq CR \text{ veya } i = i_{rastgele} \\ \xi_{j,i,jen} & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (16)$$

Burada  $\varepsilon_{j,i,jen}$ ,  $\rho_{j,i,jen}$  ve  $\xi_{j,i,jen}$  sırasıyla  $i$ . deneme, mutant ve hedef çözüm vektörlerinin  $j$ . elemanıdır. (0,1) arasında rastgele üretilen değer  $CR$  parametresinden küçük veya eşit ise  $E$  deneme vektörünün  $j$ . elemanı  $\rho$  mutant vektöründen aksi durumda ise  $\xi$  hedef vektöründen seçilir.  $i = i_{rastgele}$  koşulunun kullanılmasının amacı  $E$  deneme vektörünün en az bir elemanının  $\rho$  mutant vektöründen seçilmesini sağlamaktır. Deneme vektörü belirlendikten sonra, deneme vektörüne ait bağ akımları ve amaç fonksiyonu değeri hesaplanmaktadır.

**Adım 5:** Bu adımda hedef ve deneme vektörlerinin amaç fonksiyonu değerleri karşılaştırılmakta ve daha küçük değer veren vektör o ana kadar elde edilen en iyi çözüm vektörü olarak saklanmaktadır.

**Adım 6:** Yerel arama olarak adlandırılan bu adımda o ana kadar elde edilen toplum içindeki en iyi çözüm vektörü  $\xi_{jen}^{eniye}$ ,  $[\alpha_1, \alpha_2]$  aralığında rastgele olarak üretilen  $dx$  vektörü ile toplanarak çözümün iyileştirilmesine çalışılmaktadır. Bu işlem sonucunda daha iyi çözüm elde edilmesi durumunda elde edilen vektör toplum içinde en iyi çözüm vektörü olarak saklanmakta ve bir sonraki jenerasyona aktarılmaktadır. Eğer daha iyi bir çözüm elde edilememişse bu durumda en iyi vektörden  $dx$  vektörü çıkartılarak daha iyi bir çözüm

vektörüne ulaşılmaya çalışılmaktadır. Bu sayede toplum içinde o ana kadar elde edilmiş en iyi çözüm vektörünün etrafında yerel arama yapılarak daha iyi çözümlere ulaşılmak hedeflenmektedir. Her bir yerel arama süreci sonunda en iyi çözümün etrafındaki sıçrama uzunluğunu azaltmak için dx vektörü %90 oranında azaltılmaktadır. Yerel arama süreci Denklem (17)'de verilen ifade ile gerçekleştirilmektedir.  $[\alpha_1, \alpha_2]$  aralığı probleme özgü karar değişkenlerinin alt ve üst limitlerine göre belirlenmektedir. İDG algoritması seçilen maksimum jenerasyon sayısına ( $maxjen$ ) ulaşılan kadar devam ettirilmektedir.

$$\xi_{jen+1}^{eniye} = \begin{cases} \xi_{jen}^{yeni} = \xi_{jen}^{eniye} + dx & \text{eğer } U(\xi_{jen}^{yeni}) < U(\xi_{jen}^{eniye}) \\ \xi_{jen}^{yeni} = \xi_{jen}^{eniye} - dx & \text{eğer } U(\xi_{jen}^{yeni}) < U(\xi_{jen}^{eniye}) \\ \xi_{jen}^{eniye} & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (17)$$

### 3.2. Taşıt emisyon maliyeti en küçükleme modeli

Taşıt emisyon maliyeti en küçükleme probleminin çözümü için geliştirilen İDG algoritması tabanlı çözüm yöntemi, yedek kapasite en büyükleme modelinin çözüm algoritmasına benzer olarak altı adımdan oluşmaktadır. Algoritmanın ilk adımında Denklem (2) ile belirtilen emisyon maliyeti en küçükleme probleminin amaç fonksiyonu, karar değişkenleri olan ışık sürelerinin sınır değerleri, ulaşım ağı ile ilgili parametreler ve İDG algoritmasının parametreleri tanımlanmaktadır. Adım 2'de  $Np \times Kd$  büyüklüğündeki başlangıç toplumunu oluşturan ışık süreleri matrisi rastgele olarak oluşturulmaktadır. Sonrasında toplum içindeki her bir çözüm vektörüne ait bağ akımları ve Denklem (2)'de verilen amaç fonksiyonu değerleri hesaplanmaktadır. Şekil 3'te başlangıç toplumu içinde ilk satırda verilen örnek bir çözüm vektörü gösterilmektedir.

$$\left[ \begin{array}{c} \text{Devre} \\ \text{süreleri} \\ \hline c_1^1 c_2^1 \dots c_N^1 \\ \hline \text{Yeşil} \\ \text{süreler} \\ \hline \varphi_{1,1}^1 \varphi_{1,2}^1 \dots \varphi_{1,z_1}^1 \varphi_{2,1}^1 \dots \varphi_{N,z_n}^1 \\ \hline \text{Örnek çözüm vektörü, } \Lambda \end{array} \right] \Rightarrow \left[ \begin{array}{c} \text{Amaç} \\ \text{fonksiyonu} \\ \hline Y(x^*(\Lambda), \Lambda)^1 \end{array} \right]$$

Şekil 3. Taşıt emisyonları en küçükleme modeli çözüm algoritmasının örnek çözüm vektörü.

Adım 3'te birbirlerinden ve hedef vektörden farklı olarak toplum içinden rastgele seçilen üç adet çözüm vektörü ve  $F$  faktörü kullanılarak mutasyon işlemi Denklem (18)'deki verildiği şekliyle gerçekleştirilmektedir.

$$\rho_{i,jen} = \begin{cases} \Lambda_{r0,jen} + F \cdot (\Lambda_{r1,jen} - \Lambda_{r2,jen}) & \text{rastgele}(0,1) < MSCR \\ \Lambda_{r0,jen} + F \cdot (\Lambda_{eniye,jen-1} - \Lambda_{r2,jen}) & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (18)$$

Sonraki adımda çaprazlama operatörü kullanılarak hedef vektör ve mutasyona uğramış vektörden deneme vektörünün her bir elemanı Denklem (19)'da görüldüğü gibi oluşturulmaktadır.

$$\varepsilon_{j,i,jen} = \begin{cases} \rho_{j,i,jen} & \text{rastgele}(0,1) \leq CR \text{ veya } i = i_{rastgele} \\ \Lambda_{j,i,jen} & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (19)$$



Deneme vektörü belirlendikten sonra, deneme vektörüne ait bağ akımları ve amaç fonksiyonu değeri hesaplanmaktadır. Adım 5'te hedef ve deneme vektörlerinin amaç fonksiyonu değerleri karşılaştırılmakta ve daha küçük değer veren çözüm vektörü saklanmaktadır. Son adımda, Adım 5'te elde edilen en iyi çözüm vektörü üzerine yerel arama süreci gerçekleştirilerek elde edilen en iyi çözüm vektörü bir sonraki jenerasyona aktarılmaktadır. Algoritma maksimum jenerasyon sayısına ulaşıncaya kadar devam ettirilmektedir.

### 3.3. Çok amaçlı optimizasyon modeli

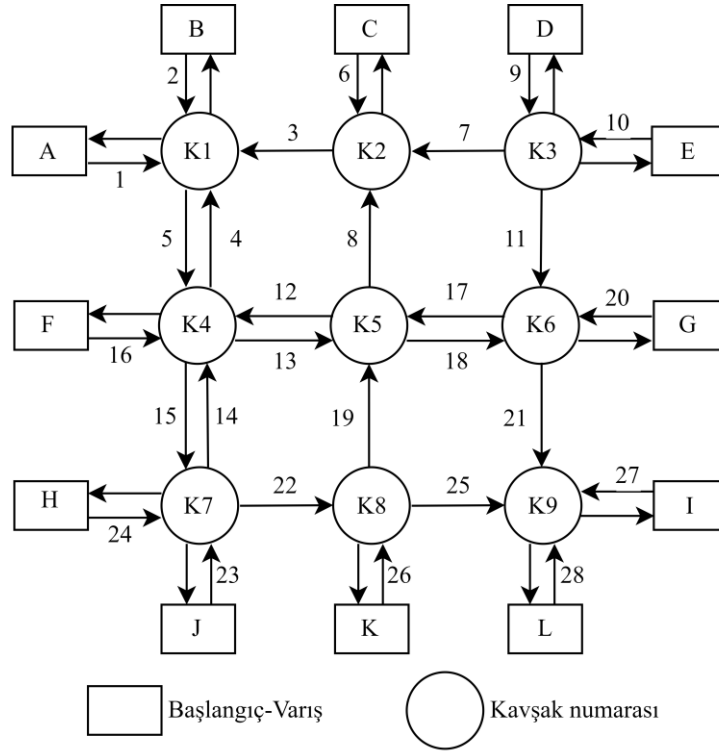
B-V matris çarpanının maksimum değeri  $\Psi^*$  ve toplam taşıt emisyon maliyetinin minimum değeri  $\gamma^*$  belirlendikten sonra, yedek kapasite en büyükleme ve taşıt emisyon maliyeti en küçükleme problemleri eş zamanlı olarak aşağıda adımları verilen İDG tabanlı çözüm algoritması ile çözümlenebilmektedir.

- (1) B-V matrisi çarpanı  $\Psi$  ve ışık süre vektörünü  $\Omega$  ilgili parametrelerin alt ve üst limitlerini dikkate alarak rastgele üret ve başlangıç toplumunu ( $N_p$ ) oluştur. Ağırlık faktörü değerini ( $\lambda$ ) belirle.  $jen = 1$  ve  $n = 0$  olarak ayarla.
- (2)  $n = n + 1$  yap. Ardından, toplum içindeki  $n$ . hedef vektörü için bağ akımlarını bul ve Denklem (13)'de verilen amaç fonksiyonunu hesapla.
- (3) Eğer  $n \neq N_p$  ise Adım 2'e git.
- (4)  $n = 1$  olarak ayarla.
- (5)  $n$ . hedef vektör için mutant vektör oluştur.
- (6) Hedef vektör ile mutant vektör arasında çaprazlama yaparak  $n$ . hedef vektör için deneme vektörünü oluştur.
- (7) (6)'da oluşturulan deneme vektörü için bağ akımlarını bul ve Denklem (13)'de verilen amaç fonksiyonunu hesapla.
- (8) Hedef ve deneme vektörlerinin amaç fonksiyonu değerlerini karşılaştır. Eğer deneme vektörünün amaç fonksiyonu değeri hedef vektörünün amaç fonksiyonu değerinden daha küçük ise deneme vektörünü hedef vektörünün yerine toplum içine dahil et.
- (9) Eğer  $n \neq N_p$  ise  $n = n + 1$  olarak ayarla ve Adım 5'e git.
- (10) Yerel arama sürecini gerçekleştir. En iyi çözümü bir sonraki jenerasyona aktar. dx vektörünü  $dx = dx \times 0,9$  ifadesini kullanarak azalt.
- (11) Eğer  $jen \neq maxjen$  ise  $jen = jen + 1$  olarak ayarla ve Adım 4'e git aksi takdirde algoritmayı sonlandır.

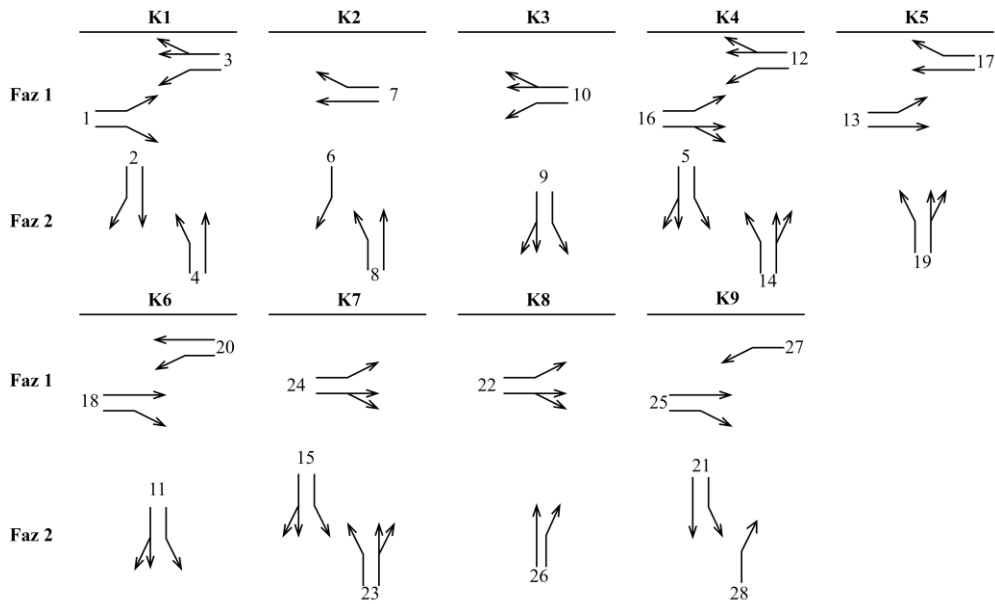
## 4. Sayısal uygulama

Yedek kapasite en büyükleme problemi ile taşıt emisyon maliyeti en küçükleme problemlerinin eş zamanlı çözümü için geliştirilen İDG tabanlı çözüm algoritması Gartner vd. [33] ve Jovanovic vd. [34] tarafından geliştirilen ulaşım ağına uygulanmıştır. 9 adet ışıklı kavşak ve 28 adet bağdan oluşan ulaşım ağı ışık sürelerinin optimizasyonunun hedeflendiği çalışmalarda sıkça kullanıldığı için tercih edilmiştir.

Ulaşım ağı ve faz planı sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmektedir. Şekil 5'ten görülebileceği üzere her kavşak iki fazlı olarak işletilmektedir. Devre süresinin alt ve üst limitleri sırasıyla 30 ve 120 sn, minimum faz yeşil süresi 7 sn, yeşiller arası süre 5 sn ve B-V matrisi çarpanının alt ve üst limitleri sırasıyla 1 ve 1,5 olarak alınmıştır.



Şekil 4. Ulaşım ağı.



Şekil 5. Faz planı.

Ulaşım ağı bağ parametreleri ve B-V matrisi sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmektedir. Bağların doygun akım değerleri 1800 ta/sa olarak alınmıştır. Ulaşım ağına giriş bağları (1, 2, 6, vd.) için serbest akım seyahat süreleri 1 sn olarak kabul edilmiştir.

Tablo 1. Bağ parametreleri.

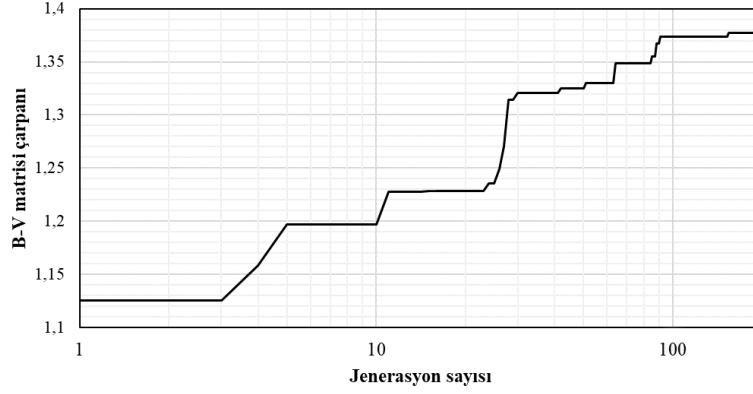
Bağ No.	Bağ uzunluğu $l_a$ (m)	Serbest akım seyahat süresi $t_a^0$ (sn)
3	183	13,18
4	305	21,96
5	305	21,96
7	244	17,57
8	305	21,96
11	305	21,96
12	183	13,18
13	183	13,18
14	168	12,10
15	168	12,10
17	244	17,57
18	244	17,57
19	168	12,10
21	168	12,10
22	183	13,18
25	244	17,57

Tablo 2. B-V matrisi (ta/sa).

B/V	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	--	90	90	--	--	90	90	90	90	90	90	90
B	54	--	54	--	--	54	54	54	54	54	54	54
C	54	54	--	--	--	54	54	54	54	54	54	54
D	54	54	54	--	54	54	54	54	54	54	54	54
E	36	36	36	36	--	36	36	36	36	36	36	36
F	45	45	45	--	--	--	45	45	45	45	45	45
G	63	63	63	--	--	63	--	63	63	63	63	63
H	99	99	99	--	--	99	99	--	99	99	99	99
I	81	81	81	--	--	81	81	81	--	81	81	81
J	27	27	27	--	--	27	27	27	27	--	27	27
K	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	41
L	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	62	--

Taşıt emisyon maliyetlerinin hesaplanmasında CO, HC ve NO<sub>x</sub> olarak dikkate alınan kirletici türlerinin birim ağırlık başına maliyetleri ( $\phi_k$ ) sırasıyla 0,51, 1,36 ve 1,03 olarak alınmıştır [21]. İDG algoritmasının kontrol parametrelerinin problemin çözüm başarımında oldukça büyük bir etkisi bulunmaktadır. Storn ve Price [27],  $F$  ve  $CR$  kontrol parametrelerinin alt ve üst limitlerini sırasıyla [0,5-1] ve [0,8-1] olarak önermişlerdir.  $F$  ve  $CR$  parametreleri literatürle uyumlu olarak 0,80 olarak seçilmiştir [15]. Ulaşım ağındaki B-V matrisi çarpanı, kavşak ve faz sayıları göz önüne alındığında optimizasyon probleminin karar değişkeni sayısı 27’dir. Bu nedenle çözüm algoritmasında toplum büyüklüğü sayısı ( $Np$ ) 60 ve maksimum jenerasyon sayısı ( $maxjen$ ) ise 300 olarak seçilmiştir.

Ulaşım ağının yedek kapasitesinin en büyüklenmesi amacıyla Denklem (14)'deki amaç fonksiyonu Denklem (3-4)'te verilen kısıtlara bağlı olarak Algoritma-1 kullanılarak çözümlenmiş ve B-V matrisi çarpanının en büyük değeri elde edilmiştir. En iyi amaç fonksiyonu değeri 300 jenerasyon sonrasında 0,725 olarak bulunmuştur. Bu sonuç ulaşım ağındaki bağların kapasiteleri aşılmadan B-V matrisi çarpanının en fazla 1,38 olabileceği anlamına gelmektedir. Diğer bir ifadeyle ulaşım ağı %38 oranında talep artışı olması durumunda uygun ışık sürelerinin kullanılması ile bağların kapasiteleri aşılmadan hizmet verebilmektedir. Şekil 6'da yedek kapasite en büyükleme problemi için uygulanan Algoritma-1'in yakınsama grafiği görülmektedir.



Şekil 6. Algoritma-1 yakınsama grafiği.

Elde edilen bağ akımları ( $x_a^*$ ), bağ kapasiteleri ( $C_a$ ), doygunluk dereceleri ( $d_s$ ) ve optimum ışık süreleri sırasıyla Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmektedir. Tablo 3'ten görülebileceği gibi 5, 15 ve 24 numaralı bağlar doygunluk derecesinin en fazla olduğu bağlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Elde edilen bu sonuca paralel olarak Tablo 4'te verilen optimum ışık sürelerine bakıldığı zaman doygunluk derecesinin yüksek olduğu bağların kullandığı 4, 5, 7 ve 8 numaralı kavşaklarda devre süresinin üst sınırına yaklaşıldığı görülmektedir.

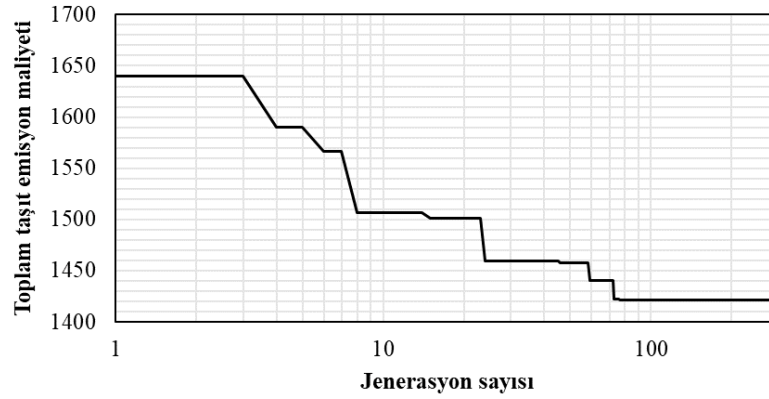
Tablo 3.  $\Psi^*$  için bağ akımları ve doygunluk dereceleri.

Bağ No.	$x_a^*$ (ta/sa)	$C_a$ (ta/sa)	$d_s$ (%)	Bağ No.	$x_a^*$ (ta/sa)	$C_a$ (ta/sa)	$d_s$ (%)
1	1107	1761	63	15	2029	2070	98
2	666	1448	46	16	549	931	59
3	1282	1761	73	17	847	2618	32
4	735	1448	51	18	946	1554	61
5	2341	2359	99	19	259	655	40
6	666	913	73	20	774	1554	50
7	616	1268	49	21	750	1507	50
8	749	1825	41	22	1608	2743	59
9	814	1636	50	23	990	2070	48
10	539	873	62	24	1215	1230	99
11	614	1667	37	25	896	1674	54
12	823	931	88	26	333	2743	12
13	1412	2618	54	27	56	837	7
14	1225	2359	52	28	85	753	11

Tablo 4.  $\Psi^*$  için optimum ışık süreleri.

Kavşak numarası	Devre Süresi (sn) $c^i$	Yeşil süreler (sn)	
		Faz 1 $\phi_1^i$	Faz 2 $\phi_2^i$
1	92	45	37
2	71	25	36
3	33	8	15
4	116	30	76
5	110	80	20
6	95	41	44
7	120	41	69
8	105	80	15
9	86	40	36

Ulaşım ağındaki taşıt emisyon maliyeti problemi Denklem (3-4) kısıtlarına bağlı olarak Denklem (2)'deki amaç fonksiyonunun en küçüklenmesi ile çözümlenebilmektedir. Şekil 7'den görülebileceği gibi, en iyi amaç fonksiyonu değeri 300 jenerasyon sonrası 1421 olarak bulunmuştur. Ulaşım ağının toplam taşıt emisyonunun maliyeti için elde edilen optimum ışık süreleri Tablo 5'te verilmektedir.



Şekil 7. Taşıt emisyon maliyeti en küçükleme modeli yakınsama grafiği.

Tablo 5.  $\gamma^*$  için optimum ışık süreleri.

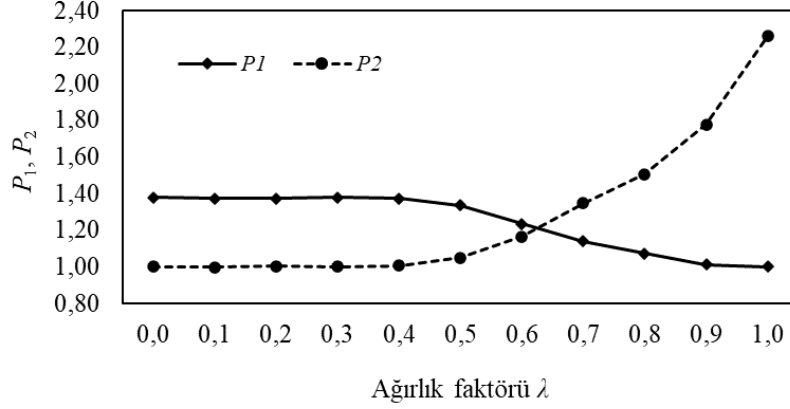
Kavşak numarası	Devre Süresi (sn) $c^i$	Yeşil süreler (sn)	
		Faz 1 $\phi_1^i$	Faz 2 $\phi_2^i$
1	35	12	13
2	32	10	12
3	30	10	10
4	57	15	32
5	32	12	10
6	32	10	12
7	46	14	22
8	41	20	11
9	30	10	10

$\Psi^*$  ve  $\gamma^*$  değerleri sırasıyla 1,38 ve 1421 olarak belirlendikten sonra yedek kapasite en büyükleme ve taşıt emisyon maliyeti en küçükleme problemleri eşzamanlı olarak Bölüm 3.3'te adımları verilen çok amaçlı optimizasyon modeli ile çözülmüştür. Farklı ağırlık faktörleri ( $\lambda$ ) için  $\Psi$ ,  $\gamma$ ,  $P_1$ ,  $P_2$  ve  $P$  değerleri Tablo 6'da verilmektedir. Tablodan görüleceği üzere, ağırlık faktörü değerinin 0 ile 0,4 arasında olduğu çözümlerde yerel yöneticiler ulaşım ağındaki taşıt emisyon maliyetini en küçükleme problemine daha fazla önem göstermekte ve bu nedenle ulaşım ağının yedek kapasitesi artırılmamaktadır. Bu durumda, Denklem (11) ile ifade edilen  $P_1$  değeri  $\Psi^*$  değerine eşit olmakta ve bu da B-V matrisi çarpanının 1 değerine eşit olduğu anlamına gelmektedir. Ayrıca,  $\gamma$  değeri  $\gamma^*$  değerine eşit olduğu için Denklem (12) ile ifade edilen  $P_2$  değeri 1 değerine eşit olmaktadır. Bu sonuç yerel yöneticilerin ulaşım ağının yedek kapasitesini artırmak yerine ışık sürelerinin en uygun değerlerini belirleyerek taşıt emisyon maliyetini en aza indirmeyi tercih ettikleri anlamına gelmektedir. Diğer taraftan ağırlık faktörünün 0,4 değerinden sonra yerel yöneticiler ulaşım ağının yedek kapasitesinin en büyükleme problemine önem vermeye başlamaktadırlar. Tablo 6'dan görüleceği üzere özellikle ağırlık faktörü 0,5 değerinden sonra ulaşım ağındaki yedek kapasite değeri giderek artmakta ve buna bağlı olarak da taşıt emisyon maliyetleri ciddi bir biçimde artmaktadır.

Tablo 6. Farklı ağırlık faktörleri için çok amaçlı optimizasyon modeli sonuçları.

$\lambda$	$\Psi$	$\gamma$	$P_1$	$P_2$	$P$
0,0	1,00	1421	1,380	1,000	1,000
0,1	1,00	1421	1,380	1,000	1,036
0,2	1,00	1421	1,380	1,000	1,078
0,3	1,00	1421	1,380	1,000	1,114
0,4	1,00	1421	1,380	1,000	1,154
0,5	1,03	1492	1,337	1,050	1,194
0,6	1,12	1655	1,235	1,165	1,208
0,7	1,21	1917	1,140	1,349	1,203
0,8	1,28	2140	1,074	1,506	1,161
0,9	1,36	2525	1,012	1,777	1,089
1,0	1,38	3210	1,000	2,259	1,000

Şekil 8'de farklı ağırlık faktörü değerleri için çok amaçlı optimizasyon modelinin Pareto-optimum çözümleri gösterilmektedir. Ağırlık faktörü ( $\lambda$ ) 0 değerini aldığı anda, yerel yöneticiler sadece taşıt emisyon maliyeti en küçükleme problemini dikkate almaktadırlar. Bu durumda,  $P_2$  değeri 1 olmakta ve ulaşım ağının toplam taşıt emisyon maliyetinin değeri ( $\gamma$ ) ise Tablo 6'dan görüldüğü gibi 1421 olmaktadır. Buna karşılık, ağırlık faktörü değeri 1'e eşit olduğunda ise yerel yöneticiler sadece ulaşım ağının yedek kapasitesini artırmaya odaklanmakta ve  $P_1$  değeri 1'e eşit olmaktadır. Bu durumda, B-V matrisi %38 artırılırken ulaşım ağındaki toplam taşıt emisyon maliyeti ( $\gamma$ ) ise 3210 değerine ulaşmaktadır. Şekil 8'den görülebileceği üzere, ağırlık faktörü 0,4 değerine kadar,  $P_1$  ve  $P_2$  değerlerinde değişiklik olmamakta ancak bu noktadan sonra  $P_1$  değerinin azalış eğilimine girdiği açıkça görülebilmektedir. Bu durum, yerel yöneticilerin ulaşım ağının yedek kapasitesini artırmaya daha fazla önem vermesi nedeniyle B-V matrisi çarpanının artması anlamına gelmektedir.



Şekil 8. Farklı ağırlık faktörü değerleri için  $P_1$ ,  $P_2$  değişimi.

Diğer taraftan  $P_1$  değerinin azalma eğilimine ters olarak ağırlık faktörü 0,4 değerinden sonra  $P_2$  değeri ise ciddi oranda artmaya başlamaktadır. Ağırlık faktörünün 0,5 değerinden sonra B-V matrisi çarpanını artırmak bir başka deyişle ulaşım ağının yedek kapasitesini artırmak ulaşım ağındaki taşıt emisyon maliyetinde önemli bir artışa yol açmaktadır. Elde edilen sonuçlar, ulaşım ağındaki emisyon maliyetlerini dikkate almadan sadece bağ kapasitelerinin aşılmaması kısıtına bağlı olarak yedek kapasitenin en büyüklenmesinin taşıt emisyonlarını ciddi miktarda artırdığını göstermektedir.

## 5. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada kent içi karayolu ağlarında yedek kapasite en büyükleme ve taşıt emisyon maliyeti en küçükleme problemlerinin eş zamanlı olarak çözülebilmesi için iki amaçlı iki seviyeli optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Modelin çözümü için İyileştirilmiş Diferansiyel Gelişim algoritmasından faydalanılmıştır. Modelin üst seviyesinde her bir probleme ait amaç fonksiyonu dikkate alınırken, alt seviyede ise üst seviyede yapılan her bir değişikliğe karşılık kullanıcıların tepkileri stokastik trafik atama problemi çözülerek ifade edilmiştir.

Birbiri ile çelişen iki amacı bulunan optimizasyon modelinin pareto-optimum çözümlerinin bulunabilmesi için öncelikle her bir problemin amaç fonksiyonu birimsiz hale getirilmiştir. Sonrasında ağırlıklı toplam metodu kullanılarak çok amaçlı optimizasyon modelinin pareto-optimum çözümleri elde edilmeye çalışılmıştır. Sayısal uygulamalarda 9 adet ışıklı kavşaktan oluşan bir ulaşım ağı kullanılmıştır. Farklı ağırlık faktörleri için yedek kapasite ve taşıt emisyon maliyet değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ağırlık faktörünün 0,5 değerinden sonra ulaşım ağında yedek kapasite yaratılmaya devam edilmesi durumunda taşıt emisyon maliyetleri ciddi oranda artış göstermektedir. Bu durum ulaşım ağlarında ışık sürelerinin en uygun değerlerinin belirlenmesi ile yedek kapasite sağlanması durumunda taşıt emisyonlarının göz ardı edilmemesi gerektiğini ve yedek kapasite en büyükleme ve taşıt emisyonu en küçükleme problemlerinin beraber ele alınmasının çevresel sürdürülebilirliğe katkı koyacağını göstermiştir.

**Kaynaklar**

- [1] Başkan, Ö., Ozan, C. ve Ceylan, H., Kent içi Karayolu Ağlarında Işık Süreleri Dikkate Alınarak Yedek Kapasitenin Eniyilenmesi, **Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi**, 7(4), 787-795, (2019).
- [2] Webster, F. V. ve Cobbe, B. M., Traffic signal, Road Research Technical Paper No. 56, HMSO, London, (1966).
- [3] Allsop, R. E., Estimating the traffic capacity of a signalized road junction, **Transportation Research**, 6, 3, 245–255, (1972).
- [4] Wattleworth J. A. ve Ingram, J. W., A capacity analysis technique for highway junctions, **Highway Research Board, Highway Research Report**, 398, 31- 36, (1972).
- [5] Yagar, S., Addressing errors and omissions in paper on intersection capacity maximization, **Transportation Research Part B: Methodological**, 19, 1, 81–84, (1985).
- [6] Wong, S. C., On the reserve capacities of priority junctions and roundabouts, **Transportation Research Part B: Methodological**, 30, 6, 441–453, (1996).
- [7] Wong, S. C. ve Yang, H., Reserve capacity of a signal-controlled road network, **Transportation Research Part B: Methodological**, 31, 5, 397–402, (1997).
- [8] Ziyou, G. ve Yifan, S., A reserve capacity model of optimal signal control with user-equilibrium route choice, **Transportation Research Part B: Methodological**, 36, 4, 313–323, (2002).
- [9] Ge, Y. E., Zhang, H. M. ve Lam, W. H. K., Network reserve capacity under influence of traveler information, **Journal of Transportation Engineering**, 129, 3, 262–270, (2003).
- [10] Chen, A., Chootinan, P. ve Wong, S. C., New reserve capacity model of signal-controlled road network, **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, 1964, 35–41, (2006).
- [11] Miandoabchi, E. ve Farahani, R. Z., Optimizing reserve capacity of urban road networks in a discrete network design problem, **Advances in Engineering Software**, 42, 12, 1041–1050, (2011).
- [12] Chiou, S.-W., Optimal signal-setting for road network with maximum capacity, **Information Sciences**, 273, 287–303, (2014).
- [13] Wang, J., Deng, W. ve Zhao, J., Road network reserve capacity with stochastic user equilibrium, **Transport**, 30, 1, 103–116, (2015).
- [14] Baskan, O. ve Ozan, C., **Reserve capacity model for optimizing traffic signal timings with an equity constraint**, in Yaghoubi, H. (Ed.), *Highway Engineering*, IntechOpen, 1-15, London, UK, (2017).
- [15] Baskan, O., Ceylan, H. ve Ozan, C., A simultaneous solution for reserve capacity maximization and delay minimization problems in signalized road networks, **Journal of Advanced Transportation**, 2019, Article ID 6203137, 18 pages, (2019).
- [16] Kwak, J., Park, B. ve Lee, J., Evaluating the impacts of urban corridor traffic signal optimization on vehicle emissions and fuel consumption, **Transportation Planning and Technology**, 35, 2, 145–160, (2012).
- [17] Ferguson, E. M., Duthie, J. ve Waller, S. T., Comparing delay minimization and emissions minimization in the network design problem, **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, 27, 4, 288–302, (2012).



- [18] Zhang, L., Yin, Y. ve Chen, S., Robust signal timing optimization with environmental concerns, **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, 29, 55–71, (2013).
- [19] Li, Z.-C. ve Ge, X.-Y., Traffic signal timing problems with environmental and equity considerations, **Journal of Advanced Transportation**, 48, 8, 1066–1086, (2014).
- [20] Baskan, O., A Multiobjective Bilevel Programming Model for Environmentally Friendly Traffic Signal Timings, **Advances in Civil Engineering**, 2019, Article ID 1638618, 13 pages, (2019).
- [21] Szeto, W. Y., Wang, Y. ve Wong, S. C., The chemical reaction optimization approach to solving the environmentally sustainable network design problem, **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, 29, 2, 140-158, (2014).
- [22] Bell, M. G. H. ve Shield, C. M., A log-linear model for path flow estimation, **Proceedings of the 4th International Conference on the Applications of Advanced Technologies in Transportation Engineering**, Stephanedes, Y.J. ve Filippi, F. (Eds.), 695-699, Capri, Italy, (1995).
- [23] Ceylan, H., A genetic algorithm approach to the equilibrium network design problem, Ph.D.Thesis, University of Newcastle upon Tyne, Newcastle, UK, (2002).
- [24] Ceylan, H. ve Bell, M. G. H., Reserve capacity for a road network under optimized fixed time traffic signal control, **Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations**, 8 (2), 87-99, (2004).
- [25] Dell’Orco, M., Baskan, O. ve Marinelli, M., A Harmony Search algorithm approach for optimizing traffic signal timings, **Promet—Traffic & Transportation**, 25, 4, 349–358, (2013).
- [26] Başkan, Ö., Ceylan, H. ve Ozan, C., Investigating Acceptable Level of Travel Demand Before Capacity Enhancement for Signalized Urban Road Networks, **Teknik Dergi**, 31 (2), 9897-9917, (2020).
- [27] Baskan, O. ve Ceylan, H., Modified Differential Evolution Algorithm for the Continuous Network Design Problem, **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, 111, 48-57, (2014).
- [28] Storn, R. ve Price, K., Differential evolution - a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces, **Journal of Global Optimization**, 11, 4, 341–359, (1997).
- [29] Deb, A., Roy, J. S. ve Gupta, B., Performance comparison of differential evolution, particle swarm optimization and genetic algorithm in the design of circularly polarized microstrip antennas, **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, 62, 8, 3920–3928, (2014).
- [30] Nolle, L., Zelinka, I., Hopgood, A. ve Goodyear, A., Comparison of a self-organizing migration algorithm with simulated annealing and differential evolution for automated waveform tuning, **Advances in Engineering Software**, 36, 10, 645–653, (2005).
- [31] Vincenzi, L., De Roeck, G. ve Savoia, M., Comparison between coupled local minimizers method and differential evolution algorithm in dynamic damage detection problems, **Advances in Engineering Software**, 65, 90–100, (2013).
- [32] Bracinik, P., Dezelak, K., Otcenasova, A. ve H`oger, M., Comparison between the particle swarm optimisation and differential evolution approaches for the optimal proportional–integral controllers design during photovoltaic power plantsmodelling, **IET Renewable Power Generation**, 10, 4, 522–530, (2016).

- [33] Gartner, N. H., Little, J. D. C. ve Gabbay, H., Optimization of traffic signal settings by mixed-integer linear programming, **Transportation Science**, 9, 4, 321–343, (1975).
- [34] Jovanovic, A., Nikolic, M. ve Teodorovic, D., Area-wide urban traffic control: a bee colony optimization approach, **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, 77, 329–350, (2017).

# Biomimetic approach for energy-efficient building envelope design in Doha

Berkay NALÇAKAN<sup>1,\*</sup>, Başak KUNDAKCI KOYUNBABA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Architecture, Faculty of Architecture, İzmir Institute of Technology, Turkey.

<sup>2</sup>Department of Architecture, Faculty of Architecture, Yasar University, Turkey.

Geliş Tarihi (Received Date): 24.11.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 19.03.2024

## Abstract

*In this study, an approach is proposed for building envelope designs that directly affect the energy consumption of buildings in response to the ever-increasing energy demand of the built environment due to the increasing population around the world. Within the scope of the study, it is aimed to improve the energy efficiency of the building envelope system created with a nature-inspired approach, by considering both the design and simulation processes together. The entire architectural integration process of this envelope system, developed for the office unit located on the south facade of a fictitious office building in Doha, Qatar, with extreme weather conditions, is discussed. The effects of the developed biomimetic envelope design on cooling load and daylight parameters are analyzed along with the simulation outputs generated throughout the study. As a result of the study, it was observed that the building envelope system created with the biomimetic approach improved the building in terms of energy efficiency.*

**Keywords:** Energy-efficiency, thermal analysis, daylight, biomimetic approach.

## Doha’da enerji verimli bina kabuğu tasarımı için biyomimetik yaklaşım

### Öz

*Bu çalışmada dünya genelinde artan nüfusa bağlı olarak yapılı çevrenin her geçen gün artan enerji talebine karşılık binaların enerji tüketimini doğrudan etkileyen bina kabuk tasarımları için bir yaklaşım önerilmektedir. Çalışma kapsamında doğadan ilham alan yaklaşımla oluşturulan bina kabuk sisteminin hem tasarım hem de simülasyon süreçleri*

\*Berkay NALÇAKAN, berkaynalcakan@iyte.edu.tr, <http://orcid.org/0009-0000-4742-3869>

Başak KUNDAKCI KOYUNBABA, basak.kundakci@yasar.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-8925-8897>

*birlikte ele alınarak enerji verimliliği noktasında iyileştirme hedeflenmektedir. Ekstrem hava koşullarına sahip Doha, Katar'da hayali bir ofis binasının güney cephesinde yer alan ofis birimi için geliştirilen bu kabuk sisteminin tüm mimari entegrasyon süreci ele alınmaktadır. Çalışma boyunca oluşturulan simülasyon çıktıları ile birlikte geliştirilen biyomimetik kabuk tasarımının soğutma yükü ve gün ışığı parametreleri üzerine etkileri analiz edilmektedir. Çalışma sonucunda biyomimetik yaklaşımla oluşturulan bina kabuk sisteminin binayı enerji verimliliği açısından iyileştirdiği gözlemlenmiştir.*

**Anahtar kelimeler:** Enerji verimliliği, termal analiz, gün ışığı, biyomimetik yaklaşım.

## 1. Introduction

The increase in the world population every year brings with it concerns about energy demand. Demologists expect world population growth to continue for several decades, let alone stop. Spanish researcher Gilles Pison predicts that the world population may increase by another 2 billion by the end of the 21st century [1]. The energy demand that emerged with the increase in the world population in the last half century is one of the main reasons for the sharp increase in energy consumption [2]. Changes in the basis of energy consumption arise from the need to improve living standards day by day along with technological developments [3]. On the other hand, rapidly increasing energy consumption, difficulty in accessing energy, depletion of natural resources and current global problems (climate change, global warming, carbon emissions, ozone layer depletion, etc.) have kept energy-related issues on the agenda in recent years [4].

Energy is an indispensable factor for all living things, especially humanity, to continue their vital activities. People need energy in most parts of their daily lives. For this reason, it should be considered normal that concerns about meeting the increasing energy demand around the world are increasing day by day. Because with technological developments, all vital functions of humanity are becoming more dependent on energy day by day. Changes in basic needs such as shelter, heating, cooking, production, communication and transportation, which directly affect people's daily lives, increase energy demand [5]. Countries with rich and developed economies have improved daily life by meeting the energy demand of the increasing population with clean and renewable energy sources as much as possible [6]. However, in order to meet the increasing energy demand worldwide, there is a trend towards non-renewable, environmentally harmful energy sources. A large part of the world's energy needs are met from environmentally harmful and non-renewable energy sources such as oil, coal and natural gas. In response to the increasing energy demand worldwide, serious measures need to be taken regarding the use of renewable and clean energy resources [7].

According to the International Energy Agency's 2021 report, existing buildings and building construction sectors have an undeniable impact on total global energy consumption. Increasing energy consumption along with the increasing population around the world directly triggers the increase in carbon emissions. As can be seen, these interrelated situations reveal what an active role the building sector plays in terms of both energy consumption and carbon emissions. Buildings are not sources of energy, but every building has the potential to save energy. Environmentally friendly building designs based on energy efficiency and supporting renewable energy sources play an important role at this point [8]. Thus, savings in final energy consumption of the building sector

can firstly reduce the energy demand worldwide and, accordingly, a serious reduction in carbon emissions can be seen in the global context.

Buildings must meet the energy needs of all the systems that make up them in order to fulfill their functions. For this reason, significant amounts of energy savings can be achieved in buildings whose entire systems are designed on the basis of energy efficiency [9]. In particular, facade or envelope systems, which are one of the most important building blocks of a building, directly affect the energy consumption of the building [10]. Just like living organisms, buildings also struggle with changing external environmental conditions through their envelope (facade) systems. Building envelope systems designed on the basis of energy efficiency reduce the energy consumed by the buildings they belong to for their needs such as heating, lighting, cooling and ventilation in order to keep the indoor comfort suitable and stable for the users [11].

Envelope systems, which act as a kind of buffer between the inside and outside of buildings, are decisive in the scope of energy efficient building designs. Building envelope systems, designed with inspiration from the methods and strategies used by living organisms to continue their vital activities with minimum energy consumption despite harsh conditions, play an active role in energy efficiency-based building designs. This is where the discipline of biomimicry comes into play. The discipline of biomimicry, which focuses on nature's most effective and proven solutions in many issues, especially energy efficiency, has become very popular in recent years. Biomimicry in architecture is a design tool that aims to use the superior power of nature with modern systems and methods [12].

Solutions and strategies developed by imitating the systems developed by nature provide inspiration for envelope systems, which are indispensable components of energy-efficient building designs [13-14]. Building envelopes created with biomimetic approaches can be tested in the most effective way, thanks to technological developments and computer-aided programs and software, before architectural integration and application processes [15]. Within the scope of this study, an envelope system was developed with a biomimetic approach. Within the scope of study, the entire architectural integration process of this envelope system, developed for the office unit located on the south facade of a fictitious office building in Doha, Qatar, with extreme weather conditions, is discussed. Unlike other studies, it is aimed to improve the energy efficiency of the building envelope system created with a nature-inspired approach in this study, by considering both the design and simulation processes together. The effects of the developed biomimetic envelope design on cooling load and daylight parameters are analyzed along with the simulation outputs generated throughout the study. The design process and evaluation criteria developed with the biomimetic approach within the scope of the study will inspire energy-efficient building envelope designs.

## **2. Method**

The study begins with a test box generative model simulation. This productive test box model allows the biomimetic envelope system developed within the scope of the study to be tested. The study continues with the design and simulation of the envelope system created with a biomimetic approach inspired by nature. A solution set consisting of different variations of the biomimetic envelope system with predetermined variables was

created. Then, all variations forming the solution set were tested separately on the test box. In summary, the flow sequence of the study is shown in detail in Figure 1.

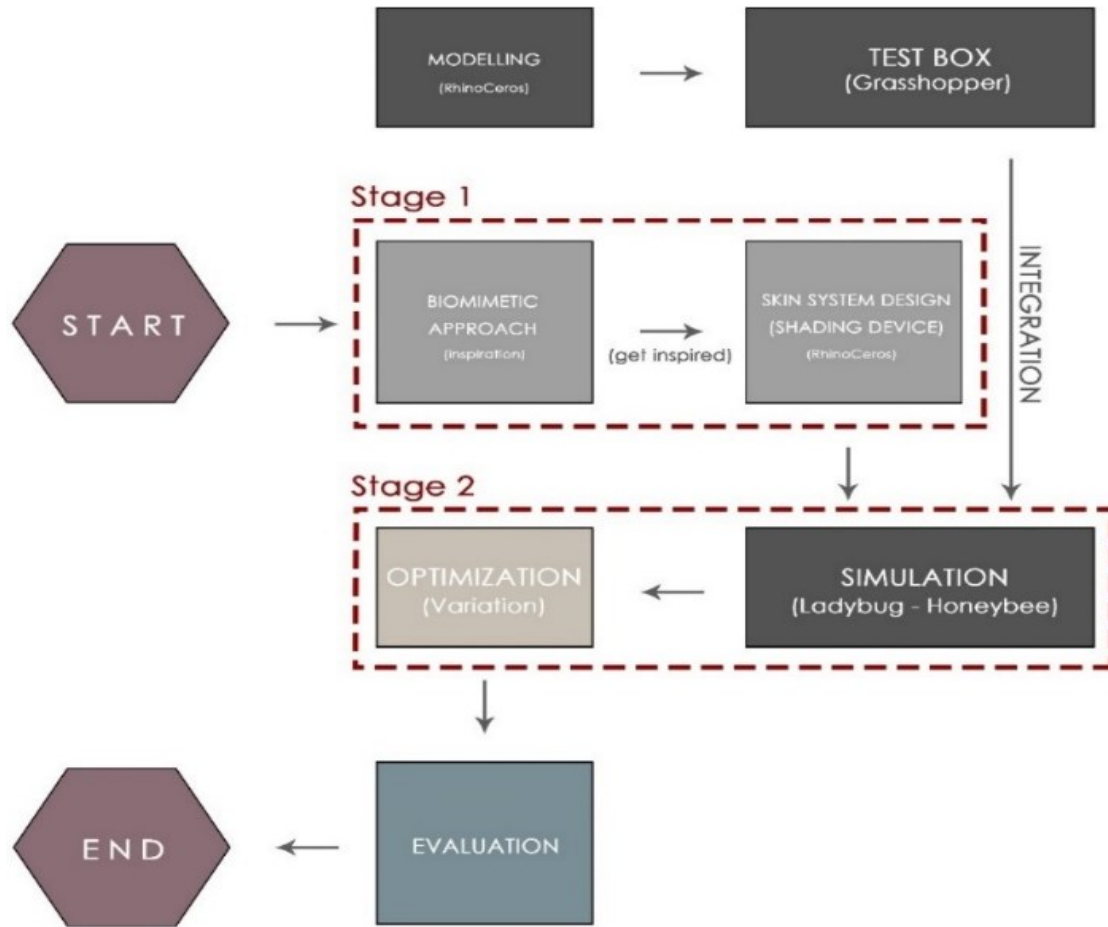


Figure 1. Flow chart about the methodology.

### 2.1. Tools

A lot of arguments and data are needed for simulation programs to work properly and produce the desired results. However, the more selective one is about the data selected for simulation, the shorter the process and the closer one gets to the targeted simulation [16].

In this study, first of all, the basic structure and form of the test box was created with the computer-aided modeling and design program RhinoCeros 3D and its plug-in Grasshopper software. Grasshopper is generally compatible with modeling programs and software in terms of ease of creating various geometries. It is also a useful tool with potential for energy simulation [17].

Secondly, the simulation of the biomimetic envelope system (shading device) integrated on the south side of the test box was also created with the help of the same tools. Additionally, Ladybug-Honeybee tools with Grasshopper plugins were used at this stage. With EPW data transferred to Ladybug-Honeybee vehicles, the test box and its surroundings reflect the regional characteristics of Doha, Qatar. An example visual of the interfaces of RhinoCeros and Grasshopper programs during the development process of this study (simulation model) is given in Figure 2 below.

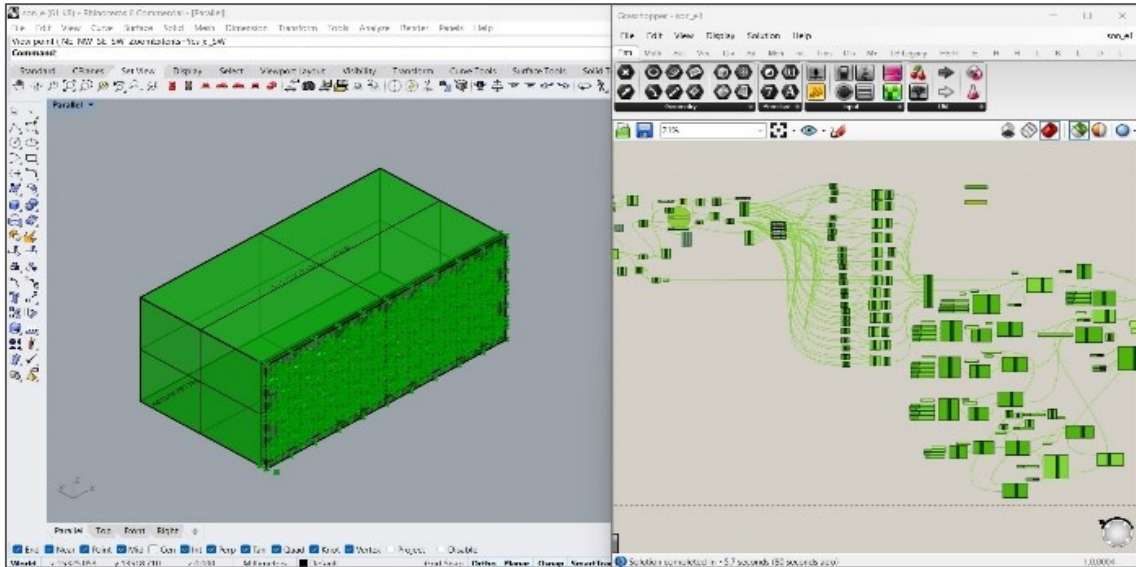


Figure 2. Simulation model creation process.

Finally, the outputs of the simulations were converted into graphics electronically using the Microsoft Excel program. These graphs allow analysis of simulation results. Thus, all tools used within the scope of the study help to analyze and test the targeted design accurately and quickly.

## 2.2. Climate characteristics

This test box is an office space located in Doha, Qatar, east of the Arabian Peninsula on the Asian continent. Doha, which has extreme weather conditions, was preferred in order to test the biomimetic shading device developed within the scope of the study under the most difficult conditions. According to the Köppen Geiger Climate Classification in Figure 3, Doha's climate type is BWh, which is a hot desert climate. A hot desert climate prevails in Doha, where summers are dry and humid and winters are mild and rainy [18].

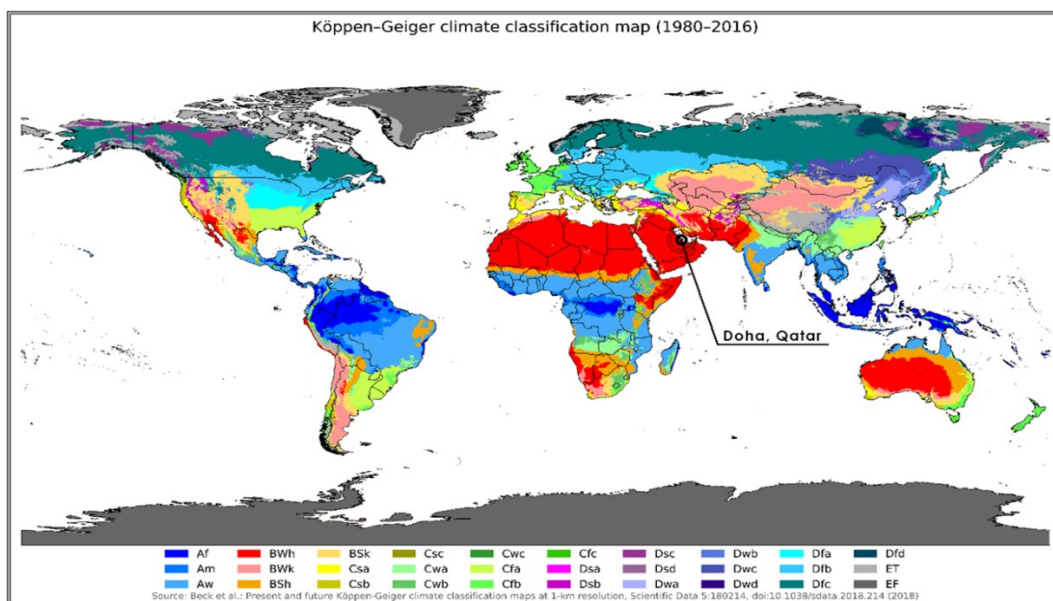


Figure 3. Global Köppen-Geiger Climate Classification Map (1980-2016)

### 2.3. Test box - base model

The test box-base model created within the scope of the study was designed to receive maximum daylight in terms of room depth and window opening. The test box is rectangular in shape, 10 meters wide, 5 meters deep and 5 meters high. The test box has a window size of 4.7 meters high and 9.6 meters long. In addition, in the simulation, all surfaces forming the test box are defined as structural elements (roof, wall, floor, glass facade) consisting of heat-permeable materials. The south-facing test box has a large window opening for maximum daylight. This allows the performance of the biomimetic envelope system developed for the purpose of the study to be tested under extreme conditions. The test box seen in Figure 4 is named T0. T0 is the non-integrated variation of the developed biomimetic envelope system.

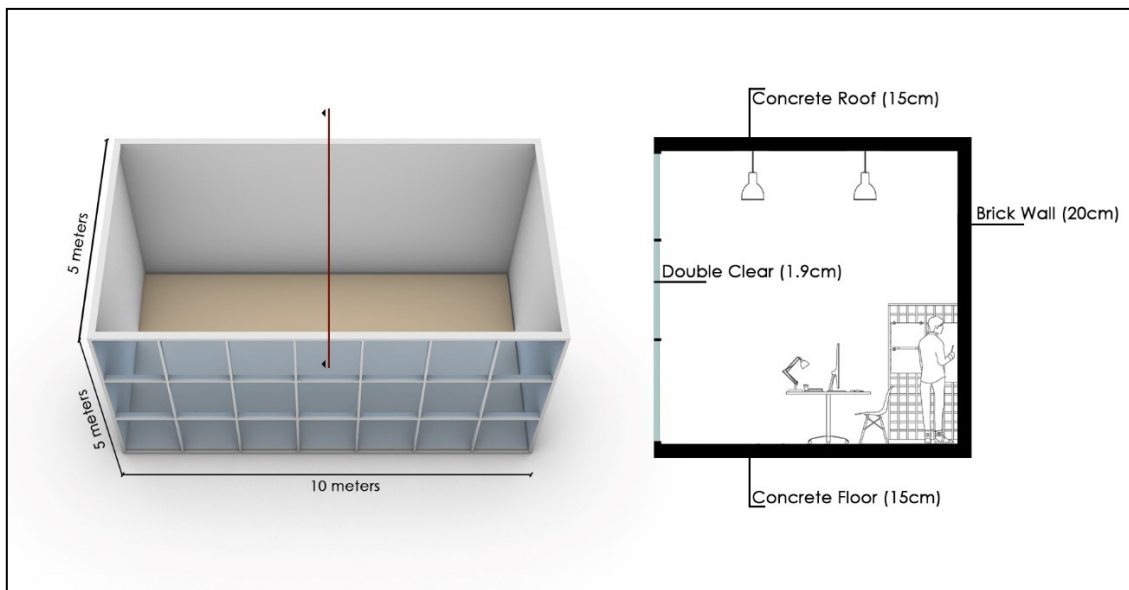


Figure 4. Test box – base model (T0)

### 2.4. Design process via biomimetic approach

In the design process of the building envelope targeted within the scope of the study, inspiration was taken from nature, which can produce sustainable strategies and solutions under challenging conditions. For this purpose, collaboration was made with the biomimicry discipline during the design process of the study. All living things that survive in nature develop some methods for the difficulties and problems they encounter. Biomimicry is a kind of bridge that makes it easier to transfer these methods to daily life. Based on this, the design of the envelope system developed within the scope of the study was inspired by the solutions and strategies that are effective in helping organisms survive at maximum efficiency with minimum energy consumption under extreme conditions. Production was carried out through a design process that comprehensively addressed the creation of the targeted energy efficiency-based envelope system. In summary, in this study, the envelope system (shading device) was developed within the design process based on the biomimetic approach. This envelope system (shading device) was designed to provide maximum comfort with minimum energy consumption despite the extreme outdoor conditions of Doha, Qatar. Figure 5 shows in detail the steps taken in the design process.



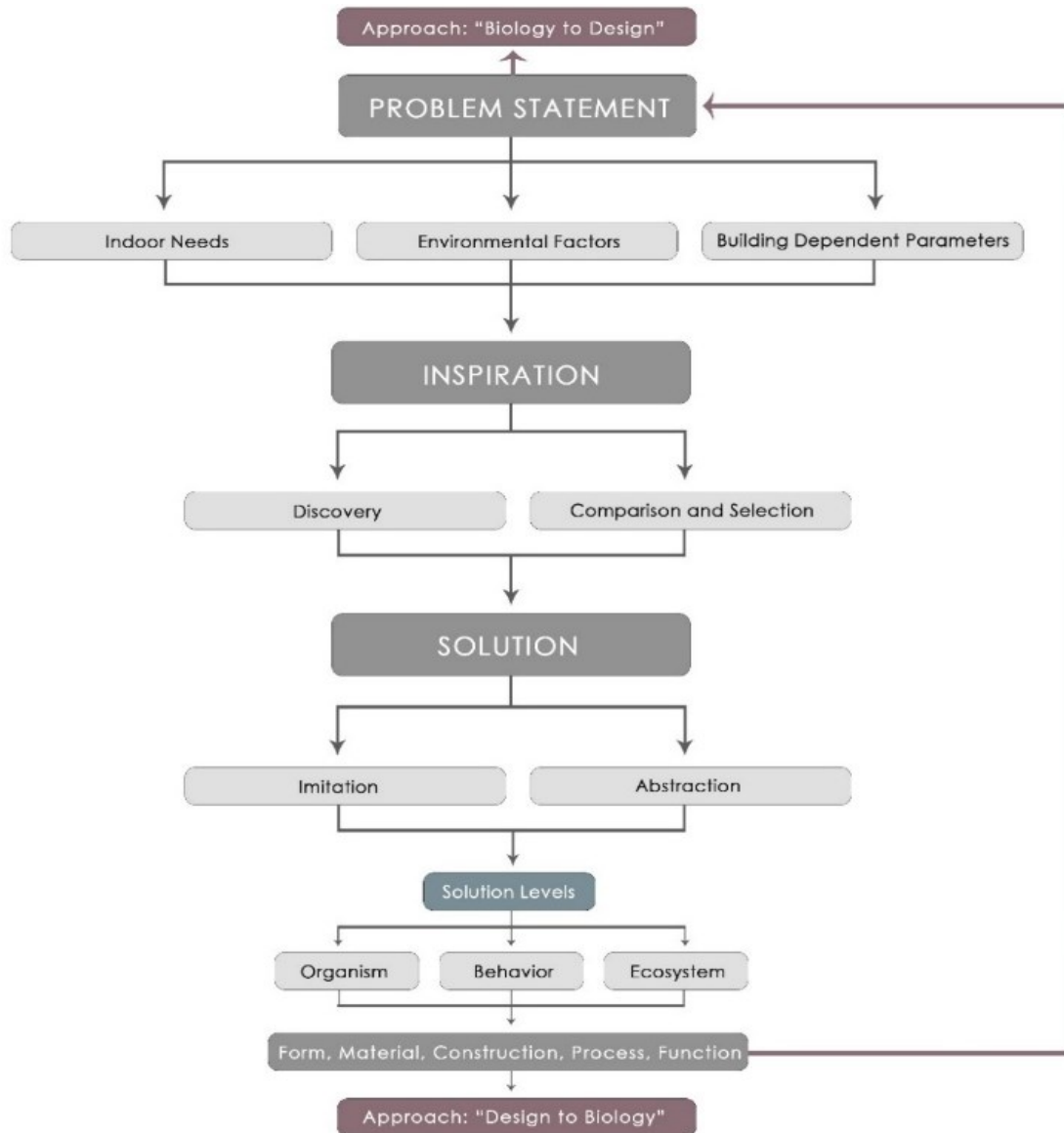


Figure 5. Flow Chart about the design process with biomimicry

In general context, energy efficiency should aim to minimize energy consumption without affecting the comfort level of building users. Because energy efficient buildings save energy without compromising their performance and function [19]. Based on this, it is very important that the office unit (test box) in Doha, Qatar, simulated within the scope of the study, provides maximum comfort for its users despite the hot and disturbing sun rays. One of the most important indoor comfort needs in office spaces is lighting. In addition, in extremely hot climates such as Doha, overheating, which increases the mechanical cooling energy load, should be prevented as much as possible. In summary, with this design process, it is aimed to reduce the energy consumption as well as the indoor comfort level of the simulated office unit (test box) in Doha, Qatar.

Nature's experience, which has been going on for millions of years, provides solutions to many problems today. Human beings have always been inspired by other creatures living in nature until today. In recent years, with studies on biomimetic approaches and technological developments, ways of imitating nature have changed and become easier [20]. Within the scope of the study, exploration was carried out in nature for the envelope

system design to be developed against the hot and scorching climate of Doha, Qatar. During this discovery, the organism with the most effective solution potential to the problems, function and environmental conditions of the test box was selected.

The potential of organisms proven in nature, living in similar climatic conditions such as Doha, to provide inspiration for producing effective and sustainable solutions was analyzed. The Arabian Desert was observed to directly match the conditions in Doha, Qatar, where the test box is located [21]. Ten different species adapted to living in these conditions were examined. It was analyzed how the strategies and solutions developed by living creatures for the harsh desert conditions contributed to their air, light, water and heat needs. In light of all this, it was determined that the thorny devil lizard was more successful in adapting to the desert than other creatures. It was observed that this lizard developed strategies to cope with parameters such as air, light, water and heat in terms of energy efficiency in the harsh desert environment. For this reason, the biomimetic envelope targeted in the study was developed with inspiration from the lizard.

The thorny devil lizard has developed many strategies to adapt to extremely hot desert conditions. For example, when the temperature of the surface in contact with the lizard increases, it minimizes its contact with the surface. Its sharp, spiky envelope both protects it from other creatures and prevents the burning rays of the sun like a shade device. The lizard can easily collect water droplets from the environment thanks to its thorn-like protruding scales [22]. The protrusions covering its envelope resemble mountains and help create airflow on the body surface [23]. Detailed analysis of the thorny devil lizard, which was inspired by the study, is given in Figure 6.

THORNY DEVIL LIZARD	
Reptile - animal	
<b>Life Strategy:</b>	
-They regulate body temperature	
-They can camouflage themselves	
-They can absorb moisture from the environment.	
-They cool off by keeping the water on the body surface	
Biomimicry Levels	
Organism Level	<input checked="" type="checkbox"/>
Behaviour Level	<input checked="" type="checkbox"/>
Ecosystem Level	<input type="checkbox"/>
Biomimicry Approach	
Design to Biology	<input checked="" type="checkbox"/>
Biology to Design	<input checked="" type="checkbox"/>
Energy Efficiency	
<b>Air:</b>	Thanks to their prickly and scaly skin, they cool by providing air flow on the body surface. <input checked="" type="checkbox"/>
<b>Light:</b>	They are protected from the sun's rays thanks to their barbed skin systems. They also adjust the standing positions according to the sun. <input checked="" type="checkbox"/>
<b>Water:</b>	Thanks to the scales on their prickly skin, they can absorb the fog, humidity and water drops in the environment as water. <input checked="" type="checkbox"/>
<b>Heat:</b>	They cool down by keeping the humidity, fog and water drops on the prickly skin surface. Thanks to their prickly skin, they balance their body temperature. <input checked="" type="checkbox"/>



Figure 6. Evaluation of the life strategies of the thorny devil lizard

**2.4.1. Form creation**

The geometry (form) of the units that make up the biomimetic envelope design is inspired by the skin of the thorny devil lizard. In form, a geometry tapering outwards from the building façade was created, similar to the thornies covering the body of a lizard. In this way, it has become easier to integrate the strategies developed by the lizard to survive against the hot and arid climate with minimum energy consumption into the envelope design. The formation process of biomimetic envelope units inspired by the skin of the thorny devil lizard is shown in Figure 7.

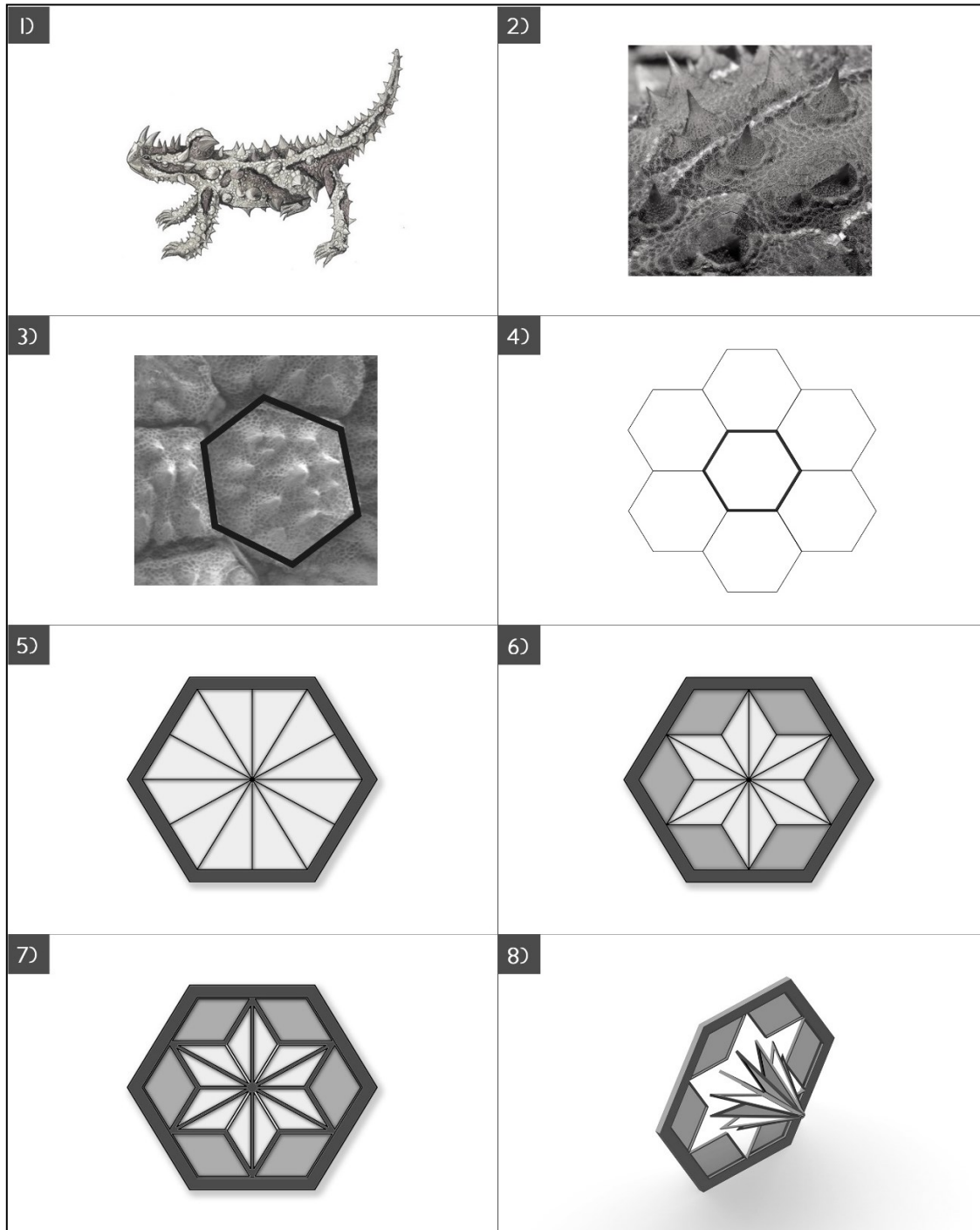


Figure 7. Inspired by the skin of the thorny devil lizard.

### 2.4.2. Material selection

The materials determined within the scope of design decisions play an active role in fulfilling its responsibilities despite the harsh conditions of the targeted biomimetic envelope system. Within the scope of the study, single-layer and double-layer ETFE were preferred as shading materials. In this study, ETFE was preferred because it is light, durable, flexible, transparent, fire resistant, recyclable and cost-effective. A team from MIT managed to create a giant three-dimensional form by compressing small pieces of graphene under heat and pressure. With this success, graphene is a candidate to be the best building material used to date [24]. Graphene has 5% the density of steel and is 10 times stronger. With its porous structure, it is light, durable and recyclable. Material details of the modules that make up the biomimetic envelope are given in Figure 8.

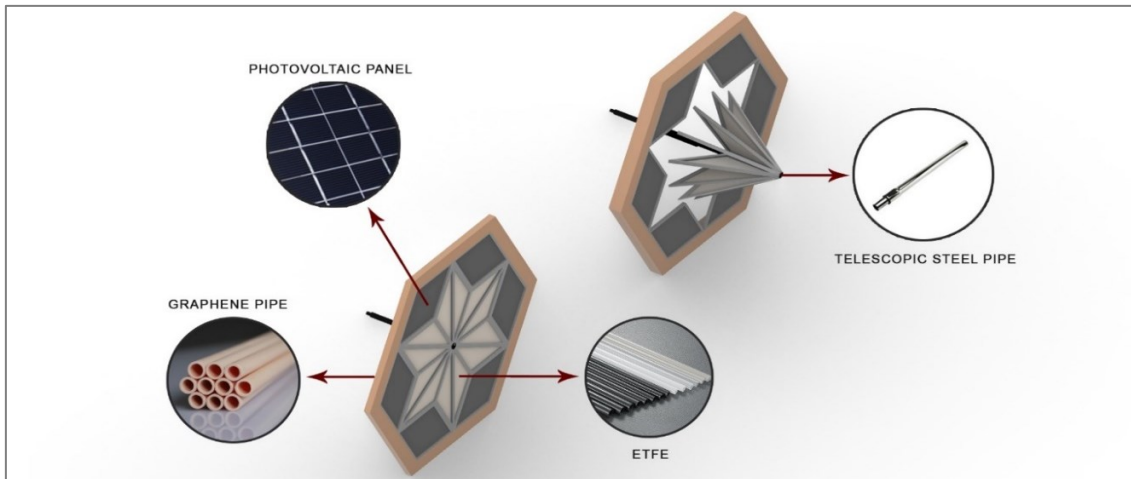


Figure 8. Material details of the biomimetic envelope modules.

### 2.4.3. Construction

Each module forming the biomimetic envelope system (shading device) has a side of 200 cm. These modules are surrounded by porous pipes made of graphene material. These pipes work like water channels that trap moisture in the air, just like in the spiny devil lizard. ETFE triangles have an umbrella-like moving mechanism that can open and close at certain degrees. As shown in Figure 9, there is a steel rod system at the center of each module that controls the opening and closing mechanism.

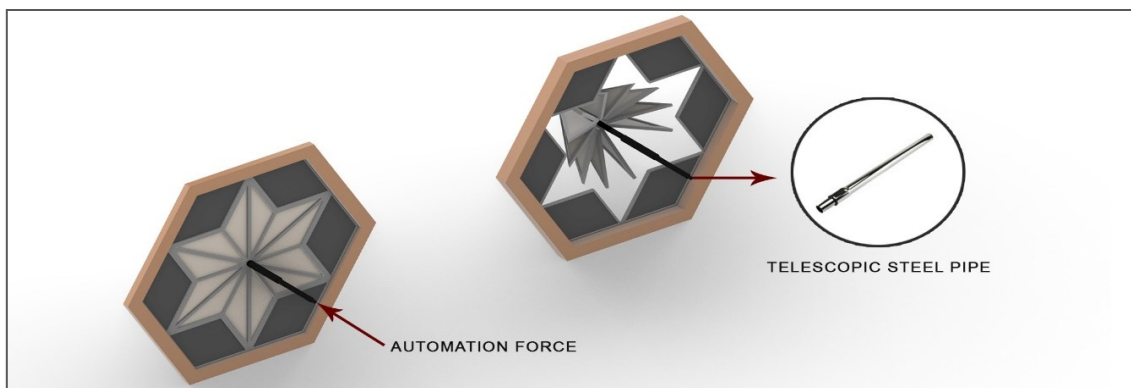


Figure 9. Mechanism of the biomimetic envelope modules.

This system also allows the modules to be mounted on the building. The biomimetic envelope modules are fixed to the glass facade laths in the test box as seen in Figure 10. The steel telescopic mechanism in the center of the modules can extend outwards perpendicular to the building facade with the automation of the building. This situation is similar to the skin form of the spiny devil lizard. The mechanism allows to be opened at 0°, 30°, 45°, 60° and 90° to benefit from daylight at different rates.

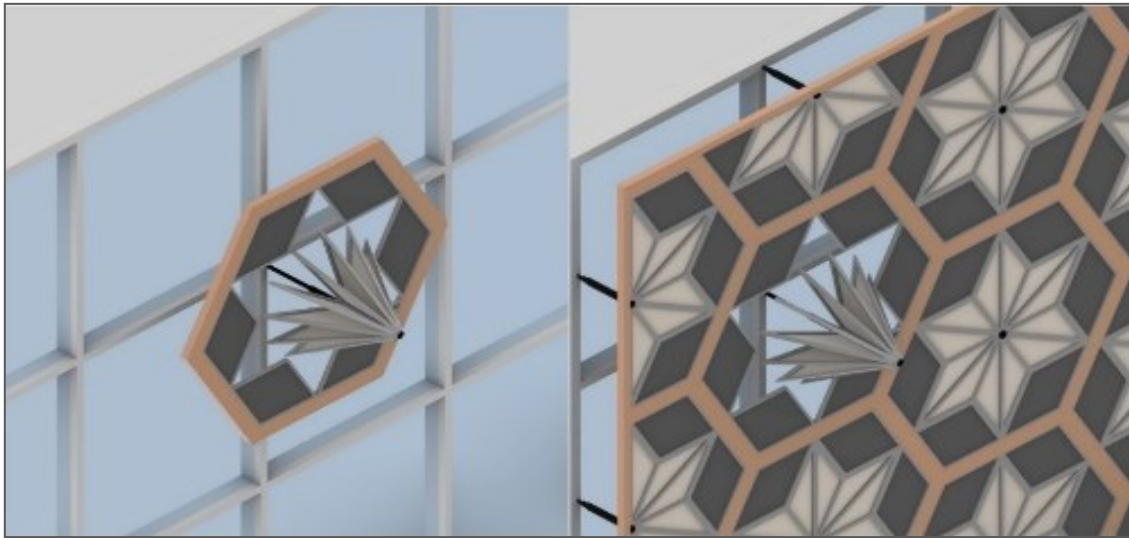


Figure 10. Relationship between biomimetic envelope and test box.

#### 2.4.4. Function

The design process of the biomimetic envelope system was inspired by the strategies and solutions developed by the thorny devil lizard in desert conditions regarding air, light, water and heat parameters, shown in Figure 11, within the scope of energy efficiency.

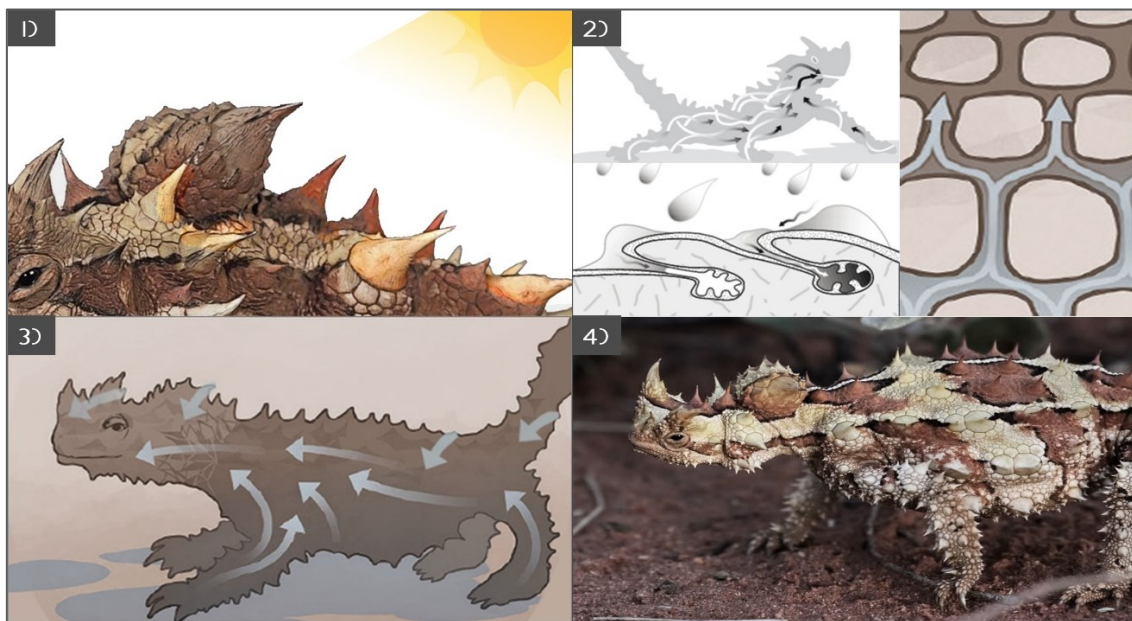


Figure 11. Strategies developed by the thorny devil lizard.  
1)Light, 2)Water, 3)Air, 4)Heat

In hot desert conditions, air circulation between the lizard's thornies helps cool its body. The developed biomimetic envelope system mimics the principle in thorny devil lizard to cool the surface of the building in which the system is integrated. The developed biomimetic envelope system blocks the sun's rays like the spiky skin of a lizard, preventing the building from heating up and allowing daylight to be let in in a controlled manner. Just as the thornies on the surface of the devil lizard's skin are covered with scales that absorb water and transfer it to the lizard's mouth through channels under the skin, the pores in the graphene pipe system in the biomimetic envelope system trap moisture in the air, allowing the building to cool down during the day. The devil lizard can extract water from both the air and the desert sand thanks to its thornies. This helps reduce body temperature despite the hot desert conditions. Based on this, biomimetic envelope system modules designed to open and close at certain angles help shade the building and prevent it from overheating.

#### 2.4.5. Envelope design alternatives

At this stage, different design alternatives are being developed for the biomimetic envelope system. In this context, a solution set consisting of differences in the number of ETFE layers and the opening angles of the modules, which provide the shading function of the biomimetic envelope system (shading device), was created. Biomimetic envelope variations integrated on the created test box (T0) are explained below.

As seen in Figure 12, the opening angle has been set to 30° while a single and double ETFE layers have been used for variation T1 and T2 respectively.

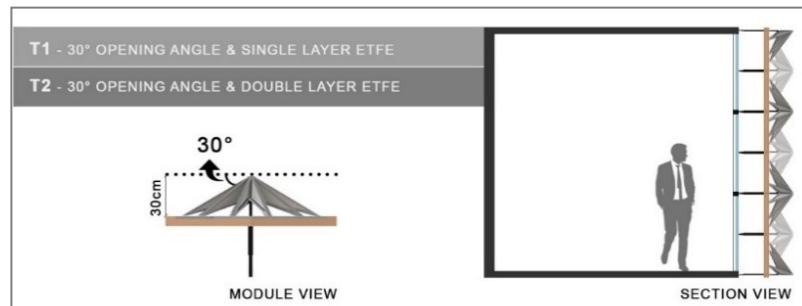


Figure 12. T1 and T2 – variation of biomimetic envelope system.

As seen in Figure 13, the opening angle has been set to 45° while a single and double ETFE layers have been used for variation T3 and T4 respectively.

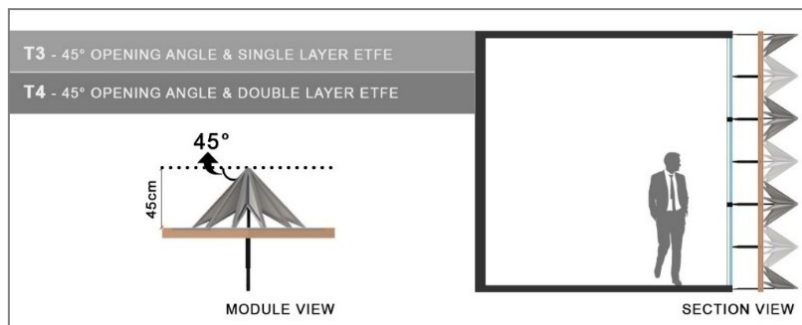


Figure 13. T3 and T4 – variation of biomimetic envelope system.

As seen in Figure 14, the opening angle has been set to  $60^\circ$  while a single and double ETFE layers have been used for variation T5 and T6 respectively.

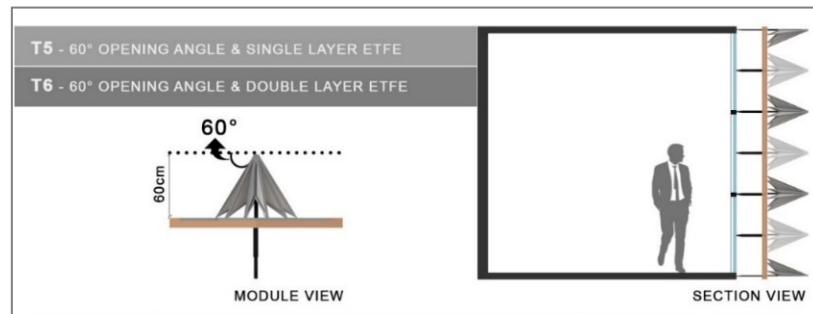


Figure 14. T5 and T6 – variation of biomimetic envelope system.

### 2.5. Simulation settings

The biomimetic envelope system (shading device) and test box (T0) developed within the scope of the study were modeled in the RhinoCeros 3D modeling program and then simulated by making the necessary adjustments via the Grasshopper plug-in. In addition, Grasshopper extension Ladybug and Honeybee tools were also used for energy and daylight simulation computations.

The glass surface (double clear window) located on the south side of the test box allows the performance of the biomimetic envelope system developed within the scope of the study to be analyzed. The double clear window has a 13 mm air gap and consists of 3 mm double clear glass. The U value of this glass material is  $2.556 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ . The other facades of the test box consist of wall material. Wall material is ASHRAE 189.1-2009 Extwall Climate Zone 3. The walls are 20 cm thick, white painted Radiance material and have an RGB reflectance value of 1. Floor material is ASHRAE 90.1-2010 Atticfloor Climate Zone 3 Semiheated. The floor is made of 15 cm thick, cream-painted Radiance material and has an RGB reflectance value of 0.763. The roof material is ASHRAE 90.1-2007 Extroof Climate Zone 3 Semiheated. The roof is 15 cm thick, has cream painted Radiance material, and its RGB reflectance value is 0.763. Among the materials used in the biomimetic envelope system, ETFE covers the most area in the system. The U value of a single ETFE layer is  $5.6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ . The double ETFE layer U value is  $2.9 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ . ETFE layers feature Radiance material painted white and have RGB reflectance values of 1. The other two materials (graphene and photovoltaic panels) that make up the biomimetic envelope system were adjusted adiabatically.

The climatic conditions of Doha, Qatar were taken as basis for the simulations. In this context, the EPW file reflecting Doha's annual average climate conditions was used. To compute the energy spent for cooling, the indoor conditions of the test box were accepted as 25 degrees dry bulb temperature and 50% relative humidity. The cooling load computation period was determined as one week (the first week of July). The daylight analysis was planned to be carried out in the first week of July between 07:30 and 19:30 (the time period when people spend the most time in the office in Doha, Qatar). The minimum threshold for daylight performance was defined as 300 lux and the maximum threshold was 1500 lux. The daylight simulation was set at table level with a height of 75 cm.

### 3. Results and discussion

In this section, simulation results of the current state of the test box (T0) and the integrated states of the biomimetic envelope system (shading device) are analyzed. Biomimetic envelope variations (T1 - T2 - T3 - T4 – T5 - T6) integrated into the office unit located on the south facade of a high-rise office building in Doha, Qatar were compared on cooling load, daylight and indoor temperature parameters. Results are discussed within all variations.

The graphs created within the scope of this study show seven days covering the first week of July (1<sup>th</sup> - 2<sup>th</sup> - 3<sup>th</sup> - 4<sup>th</sup> - 5<sup>th</sup> - 6<sup>th</sup> - 7<sup>th</sup> of July), the hottest month in Doha, Qatar. In this regard, some climate analyzes in Figure 15 were carried out for the test box (T0) before the simulation outputs of the biomimetic envelope system variations. This climate data allows the biomimetic envelope variations developed within the scope of the study to be tested realistically. In the light of the outdoor temperature, humidity percentage and wind speed data of Doha, Qatar, the location where the test box was simulated, the surface temperature, indoor temperature, cooling load and solar gain data of the test box were obtained. Within the framework of these data, the performance of biomimetic envelope system variations was evaluated with simulation outputs.

All energy (cooling load) and daylight simulations of the biomimetic envelope system (shading device) variations designed in the scope of the study were made in computer environment. The computer has 16.0GB RAM and 64 bit processor with Intel(R) Core(TM) i7-8750H CPU @ 2.20GHz. The operating system was Windows 11.

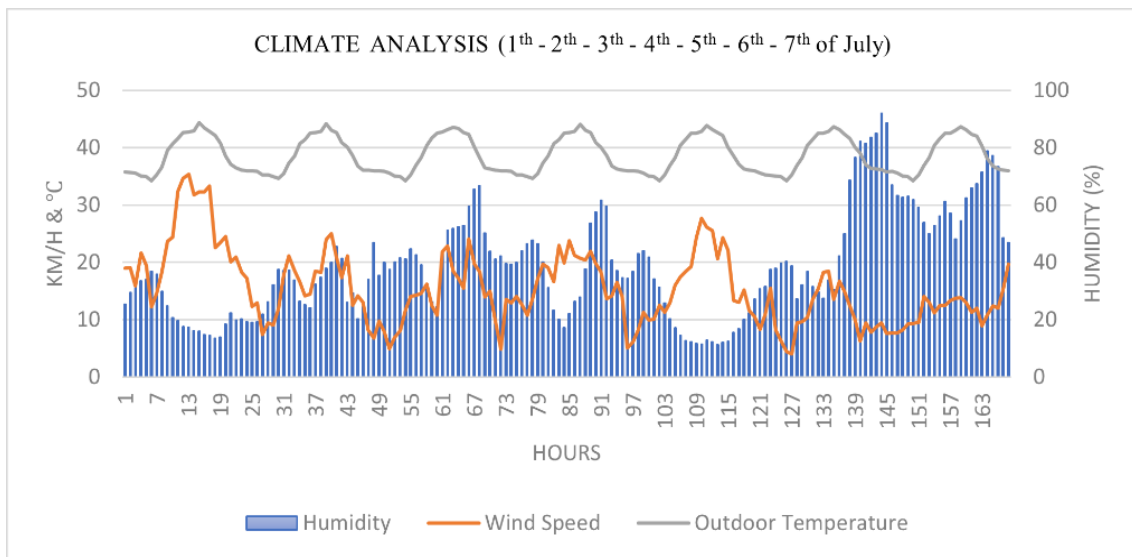


Figure 15. Climate data for Doha, Qatar.

#### 3.1. Cooling load

In this section, computations were made on the amount of energy consumed by the test box (office unit / T0) for cooling to balance the indoor temperature against the hot outdoor temperature. The indoor norms accepted for these computations are specified in the simulation settings section. Computations were made in the first week of July, which is the hottest week in Doha. The weekly cooling load computation for the current state of the test box (T0) was performed before integrating any variation (T1 - T2 - T3 - T4 – T5



- T6) of the biomimetic envelope system (shading device). For this, firstly, the outdoor temperature, surface temperature (glass front temperature), indoor temperature and solar gain data of the test box (T0) were determined. As a result of the simulation outputs created in the light of these data, the amount of energy spent for cooling for seven days (1<sup>th</sup> - 2<sup>th</sup> - 3<sup>th</sup> - 4<sup>th</sup> - 5<sup>th</sup> - 6<sup>th</sup> - 7<sup>th</sup> of July) was reached in Figure 16. The total energy (cooling load) consumed by the test box (T0) for one week, despite the external environmental conditions, is **398 kWh**.

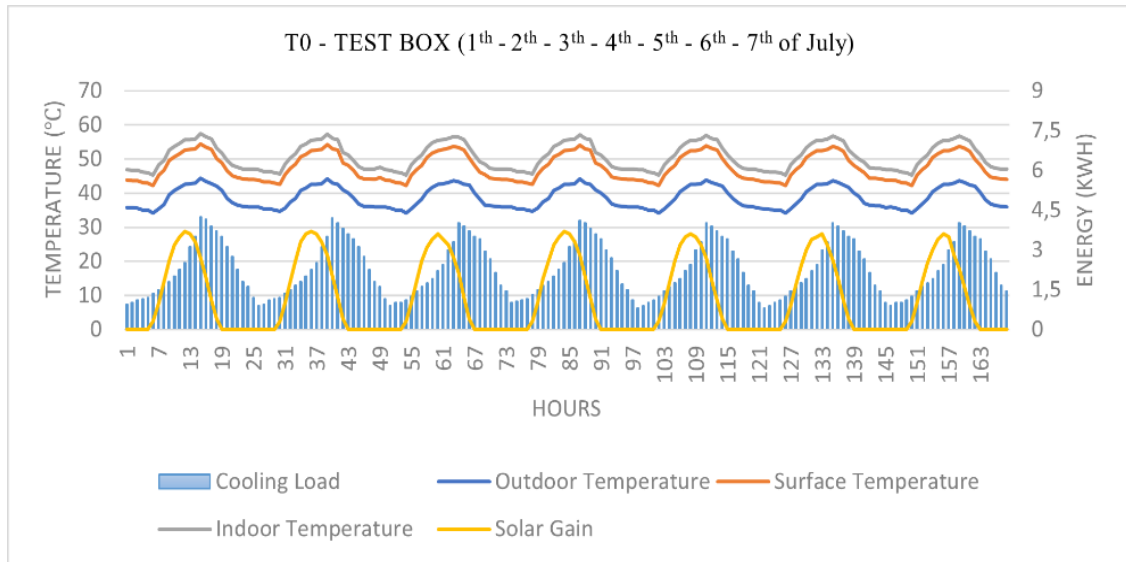


Figure 16. Test box (T0) – values.

### 3.1.1. T1 - 30° opening angle & single layer ETFE

The **opening angle** was set to **30°** in the **T1** variation and a **single ETFE layer** was used in this variation. Figure 17 shows that the total cooling load for a week, computed after integrating the T1 biomimetic envelope system variation into the test box, is **297.50 kWh**.

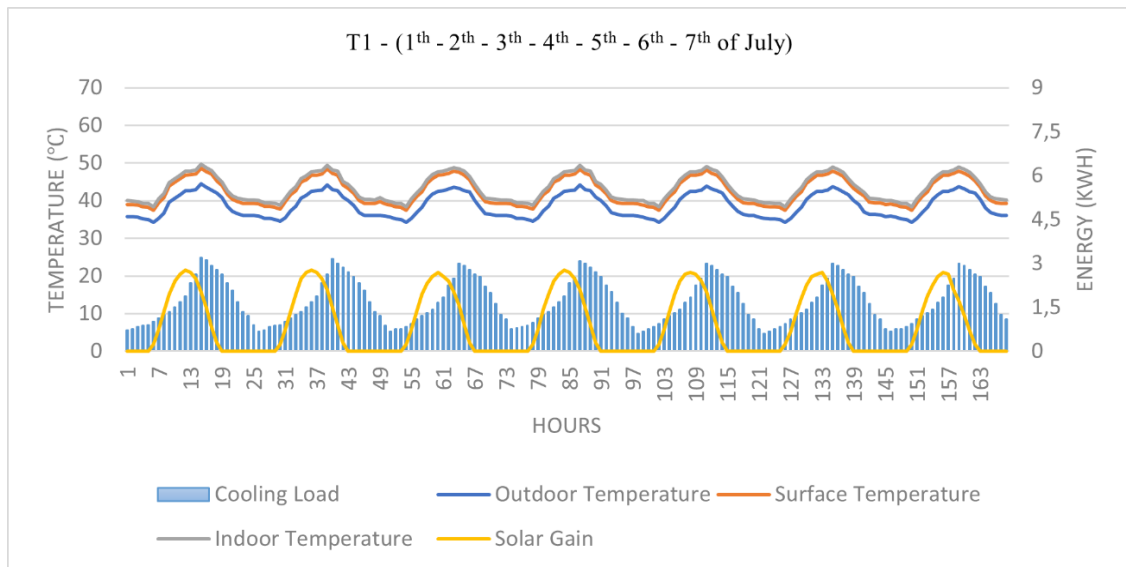


Figure 17. T1 – values.

### 3.1.2. T2 - 30° opening angle & double layer ETFE

The **opening angle** was set to **30°** in the **T2** variation and a **double ETFE layer** was used in this variation. Figure 18 shows that the total cooling load for a week, computed after integrating the T2 biomimetic envelope system variation into the test box, is **268.65 kWh**.

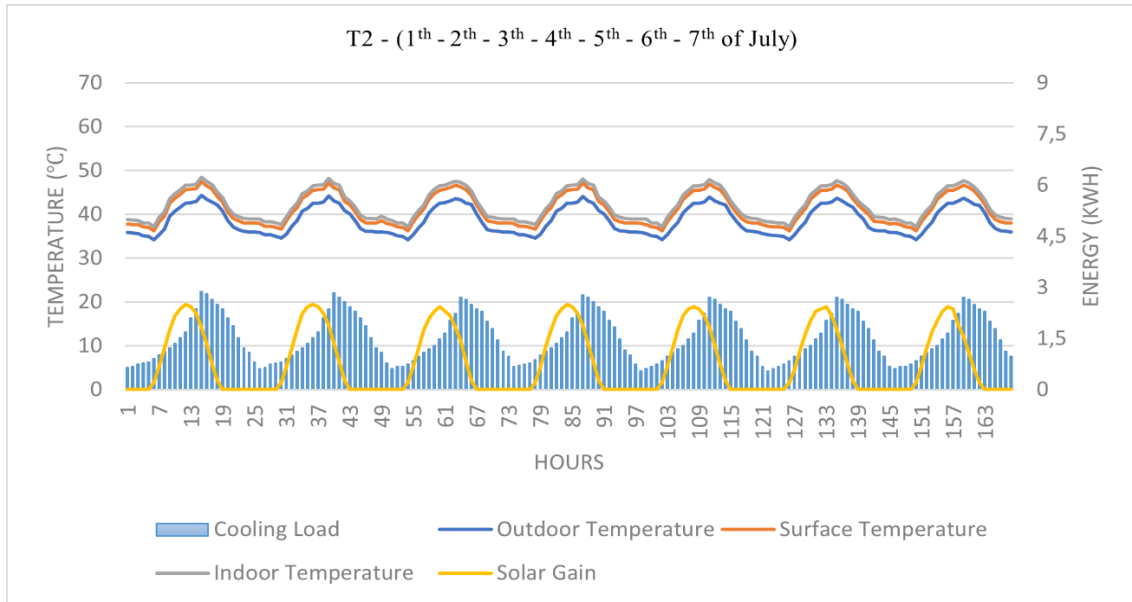


Figure 18. T2 – values.

### 3.1.3. T3 - 45° opening angle & single layer ETFE

The **opening angle** was set to **45°** in the **T3** variation and a **single ETFE layer** was used in this variation. Figure 19 shows that the total cooling load for a week, computed after integrating the T3 biomimetic envelope system variation into the test box, is **297.50 kWh**.

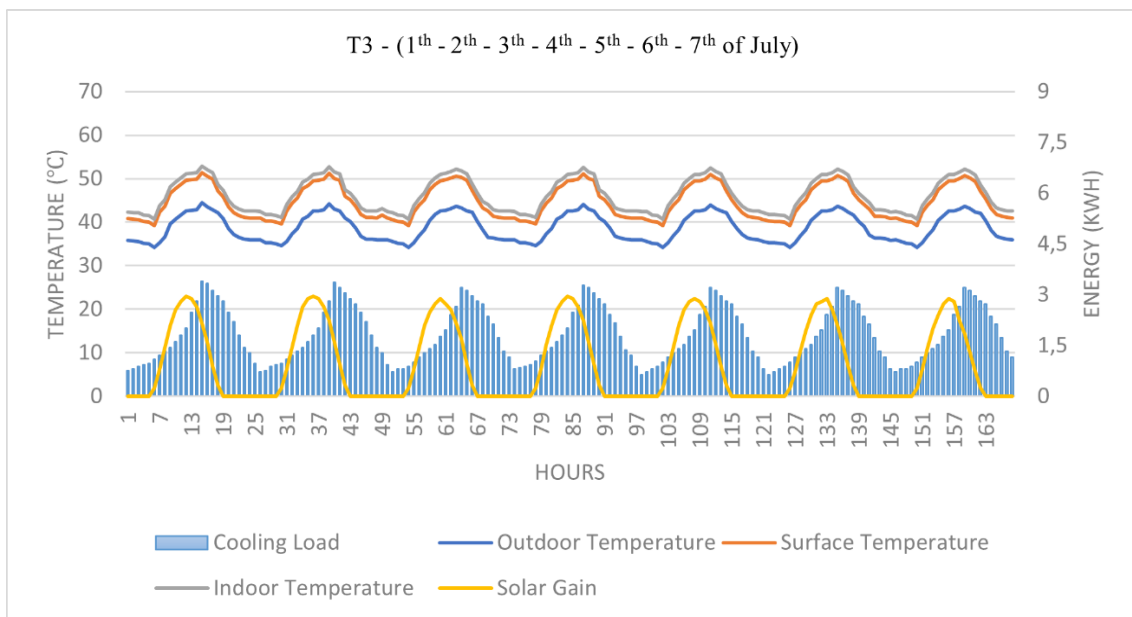


Figure 19. T3 – values.

### 3.1.4. T4 - 45° opening angle & double layer ETFE

The **opening angle** was set to **45°** in the **T4** variation and a **double ETFE layer** was used in this variation. Figure 20 shows that the total cooling load for a week, computed after integrating the T4 biomimetic envelope system variation into the test box, is **306.55 kWh**.

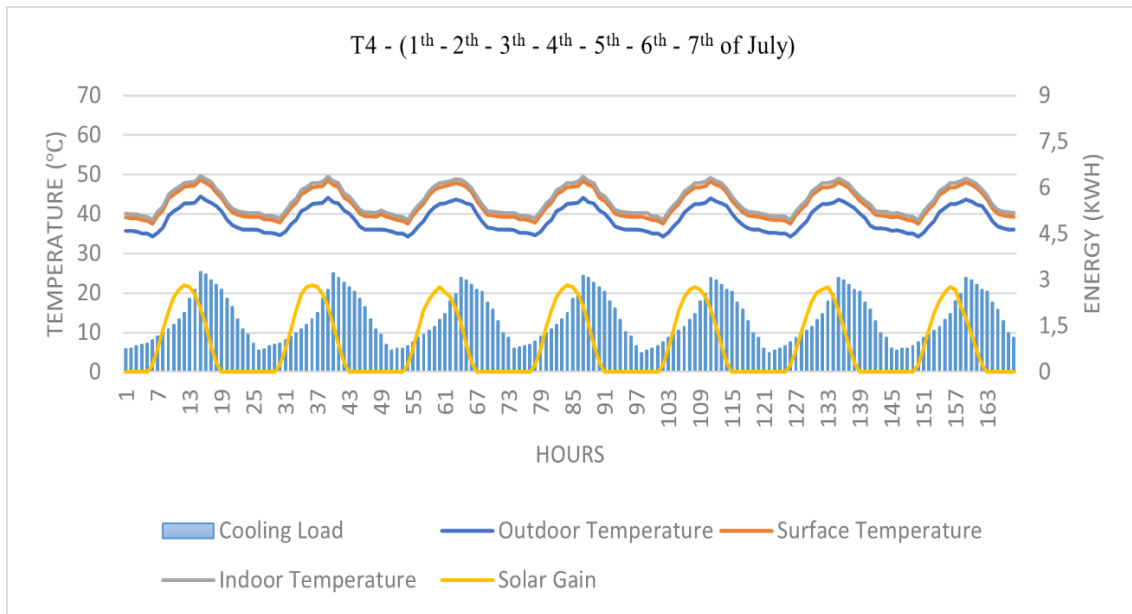


Figure 20. T4 – values.

### 3.1.5. T5 - 60° opening angle & single layer ETFE

The **opening angle** was set to **60°** in the **T5** variation and a **single ETFE layer** was used in this variation. Figure 21 shows that the total cooling load for a week, computed after integrating the T5 biomimetic envelope system variation into the test box, is **359.40 kWh**.

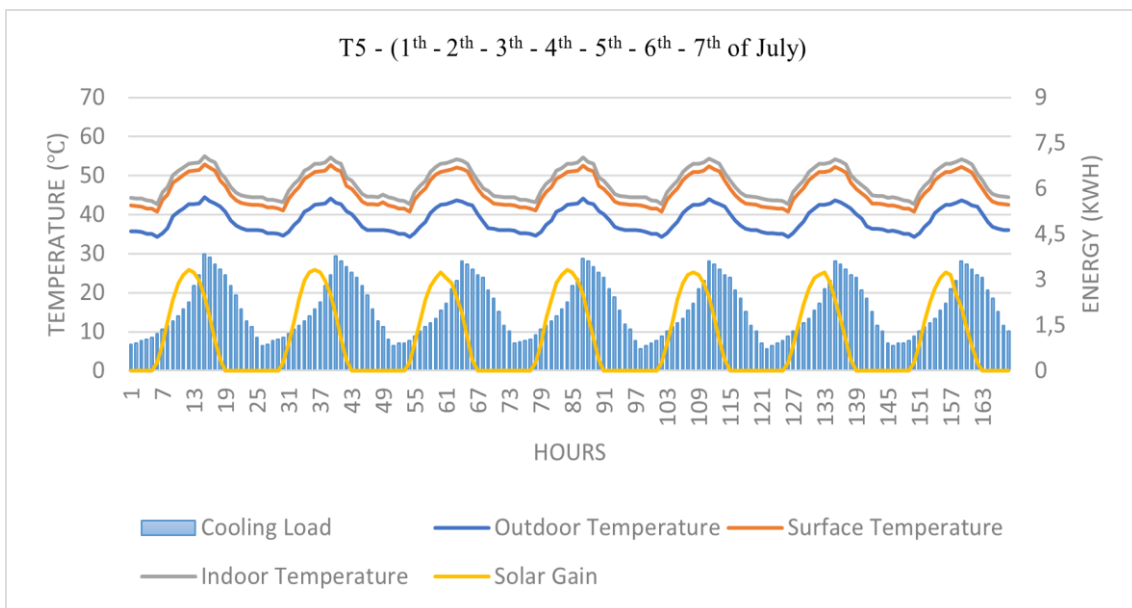


Figure 21. T5 – values.

### 3.1.6. T6 - 60° opening angle & double layer ETFE

The **opening angle** was set to **60°** in the **T6** variation and a **double ETFE layer** was used in this variation. Figure 22 shows that the total cooling load for a week, computed after integrating the T6 biomimetic envelope system variation into the test box, is **330.34 kWh**.

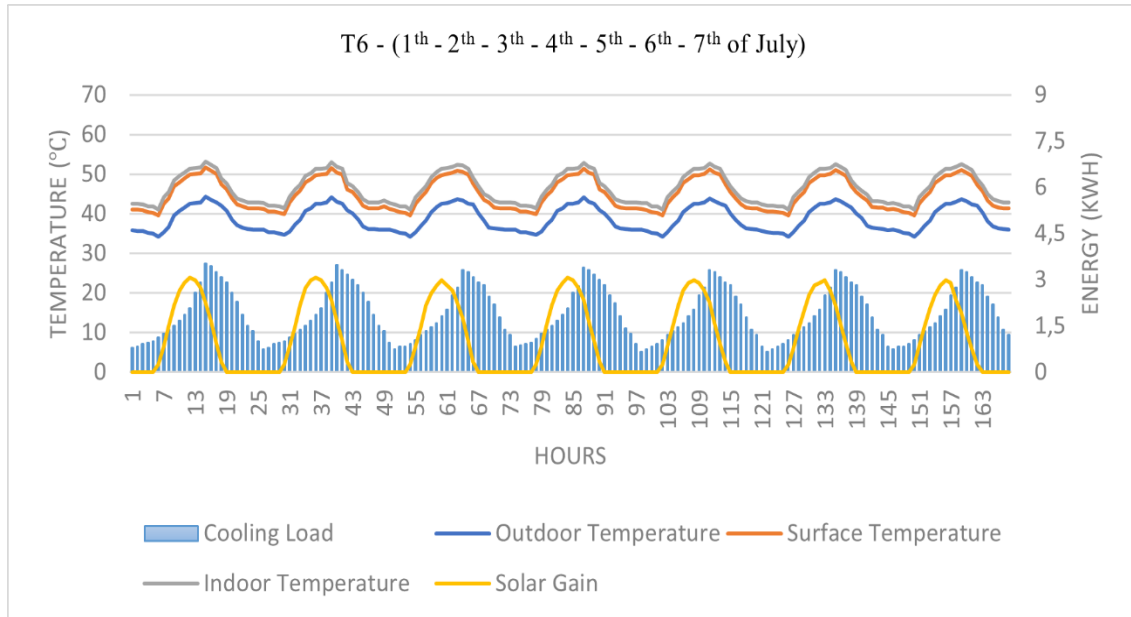


Figure 22. T6 – values.

### 3.2. Daylight

The test box (office unit / T0), located on the south façade of the high-rise office building in Doha, Qatar, needs both natural lighting for the working comfort of its users and shading to prevent overheating. For this reason, daylight analyzes were developed in order to determine the biomimetic envelope system variations (T1 - T2 - T3 - T4 - T5 - T6), which provide maximum daylight efficiency by providing sufficient shading.

For the simulation outputs, the time period in which users spent the most time in the office was accepted as 07:30-19:30. Daylight analysis of the current state of the test box (T0) was performed before integrating the biomimetic envelope system variations for the the first week of July July (1<sup>th</sup> - 2<sup>th</sup> - 3<sup>th</sup> - 4<sup>th</sup> - 5<sup>th</sup> - 6<sup>th</sup> - 7<sup>th</sup> of July).

For the analysis, the work table height (75cm) in the office (T0) unit was taken as a basis. For daylight performance, the minimum threshold was initially defined as 300lux and the maximum threshold as 1500lux. In the legend representation obtained, the points of the test box (T0) that provided and did not provide values between 300-1500lux during the year were expressed with the help of colors as percentages.

According to the daylight simulation analysis results, it is seen in Figure 23 that the disturbing daylight in Doha, where the test box is located, is much higher than the value of 300-1500 Lux. It is obvious that the test box within the scope of the study, does not offer daylight comfort for users in its current form. For this purpose, a secondary daylight analysis was made by changing the lux range.

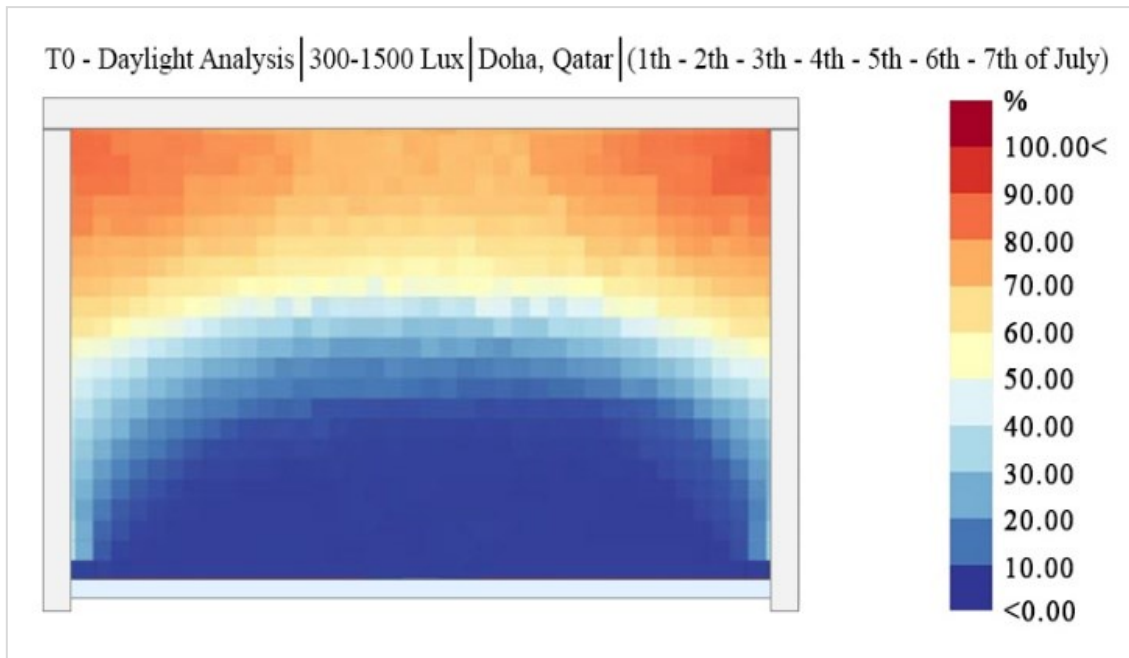


Figure 23. Test box (T0) – daylight analysis (300-1500 Lux).

Then, the range of 300-1500 lux determined in the first daylight simulation was changed and the range of 300-5000 lux was adjusted. In summary, the minimum lux value is kept constant at 300 lux. The maximum lux value has been increased to 5000 lux. Thus, it can be seen in Figure 24 that the daylight values for the south side of the test box (T0) are over 1500 lux. The south side of the simulated test box (office unit) in Doha, Qatar is exposed to disturbing sunlight. Against the this unfavorable situation for the working comfort of office users, it was analyzed how much daylight the test box benefited from in a controlled manner, thanks to the biomimetic envelope variations (T1 - T2 - T3 - T4 - T5 - T6) developed.

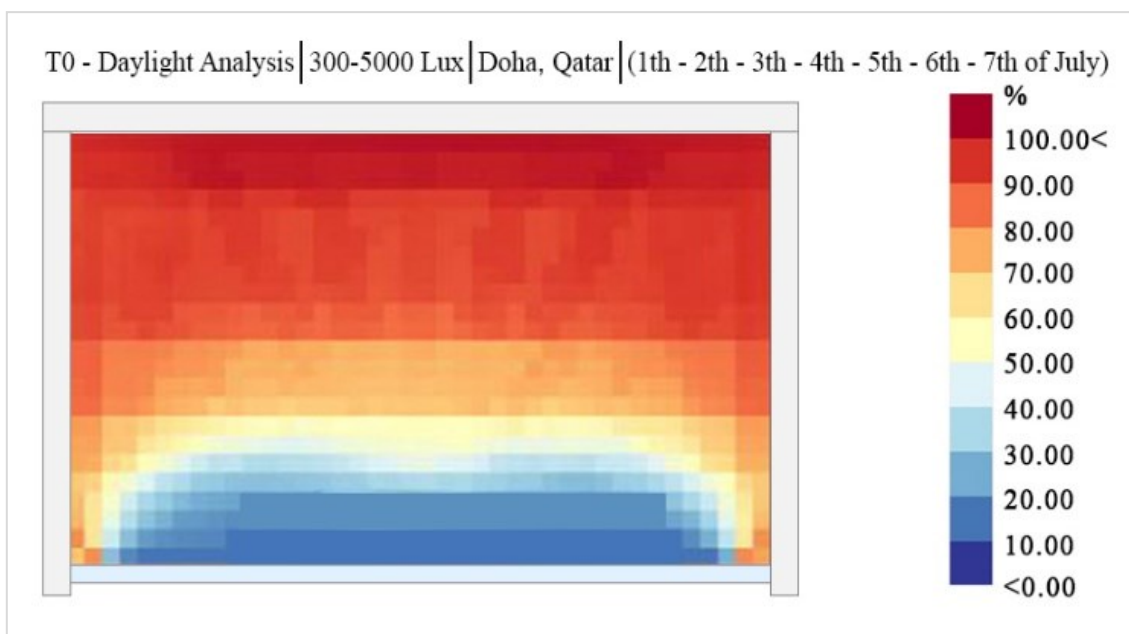


Figure 24. Test box (T0) – daylight analysis (300-5000 Lux).

### 3.2.1. T1 - 30° opening angle & single layer ETFE

The **opening angle** was set to **30°** in the **T1** variation and a **single ETFE layer** was used in this variation (T1). Figure 25 displays the one-week daylight simulation output after the T1 biomimetic envelope system variation is integrated onto the test box.

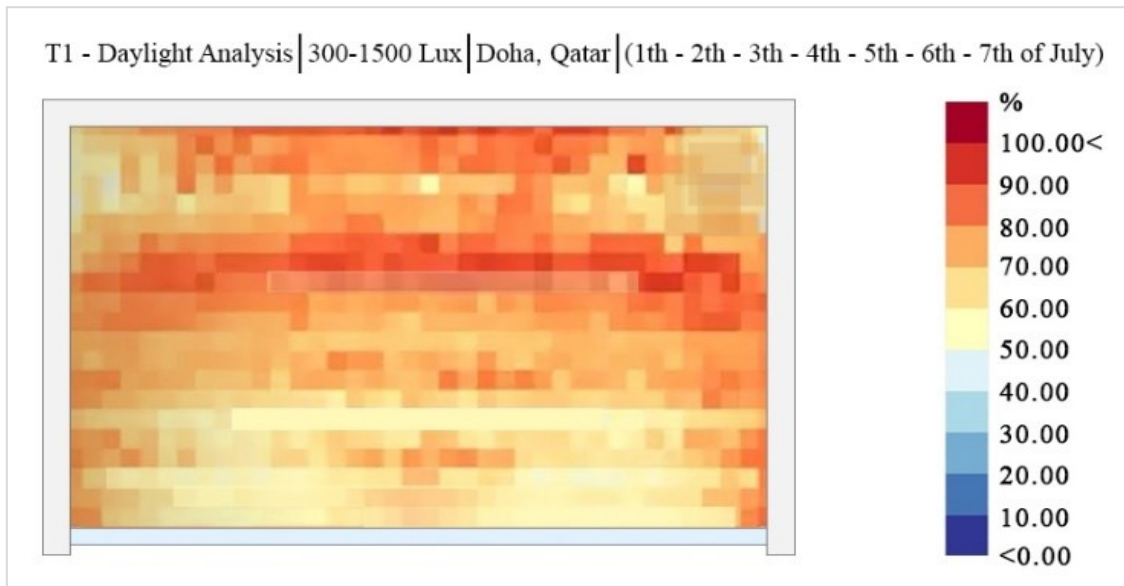


Figure 25. T1 – daylight analysis (300-1500 Lux).

### 3.2.2. T2 - 30° opening angle & double layer ETFE

The **opening angle** was set to **30°** in the **T2** variation and a **double ETFE layer** was used in this variation (T2). Figure 26 displays the one-week daylight simulation output after the T2 biomimetic envelope system variation is integrated onto the test box.

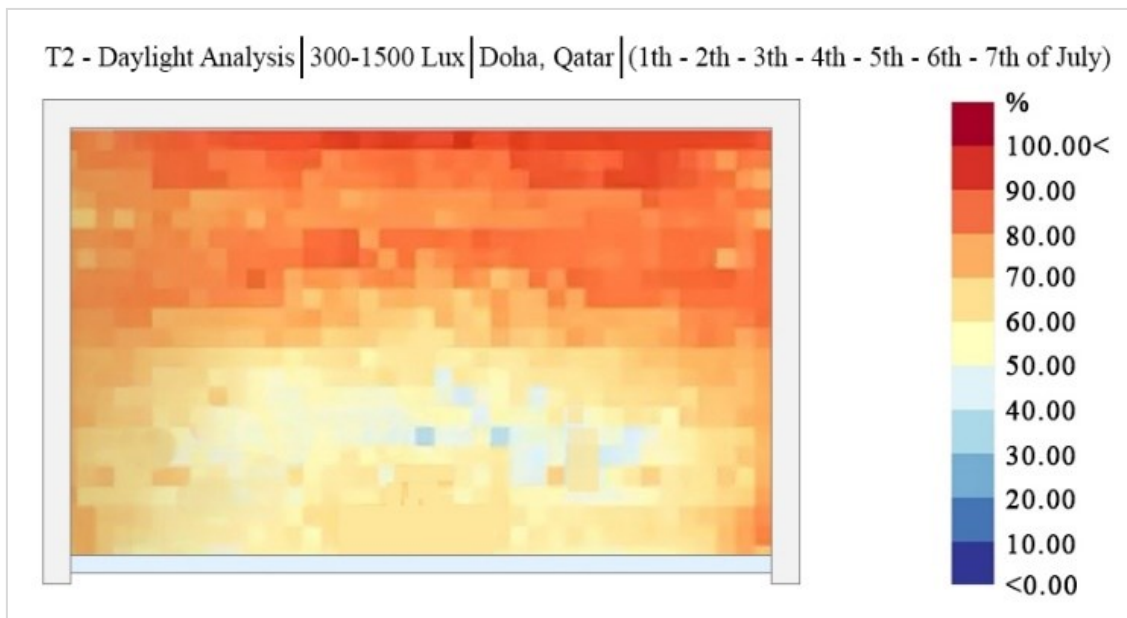


Figure 26. T2 – daylight analysis (300-1500 Lux).

### 3.2.3. T3 - 45° opening angle & single layer ETFE

The **opening angle** was set to 45° in the T3 variation and a **single ETFE layer** was used in this variation (T3). Figure 27 displays the one-week daylight simulation output after the T3 biomimetic envelope system variation is integrated onto the test box.

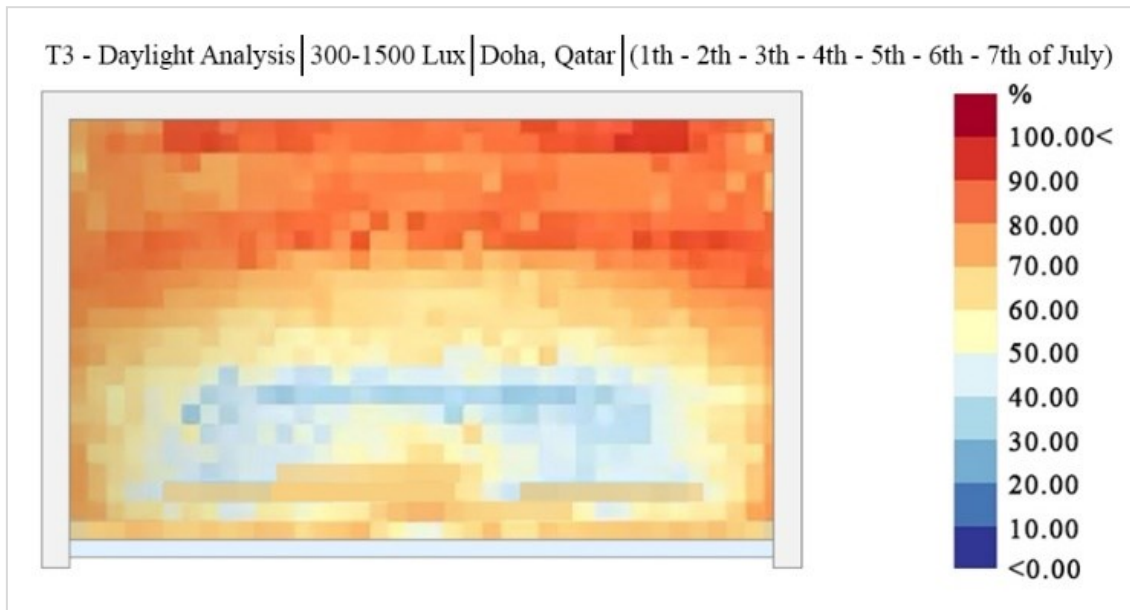


Figure 27. T3 – daylight analysis (300-1500 Lux).

### 3.2.4. T4 - 45° opening angle & double layer ETFE

The **opening angle** was set to 45° in the T4 variation and a **double ETFE layer** was used in this variation (T4). Figure 28 displays the one-week daylight simulation output after the T4 biomimetic envelope system variation is integrated onto the test box.

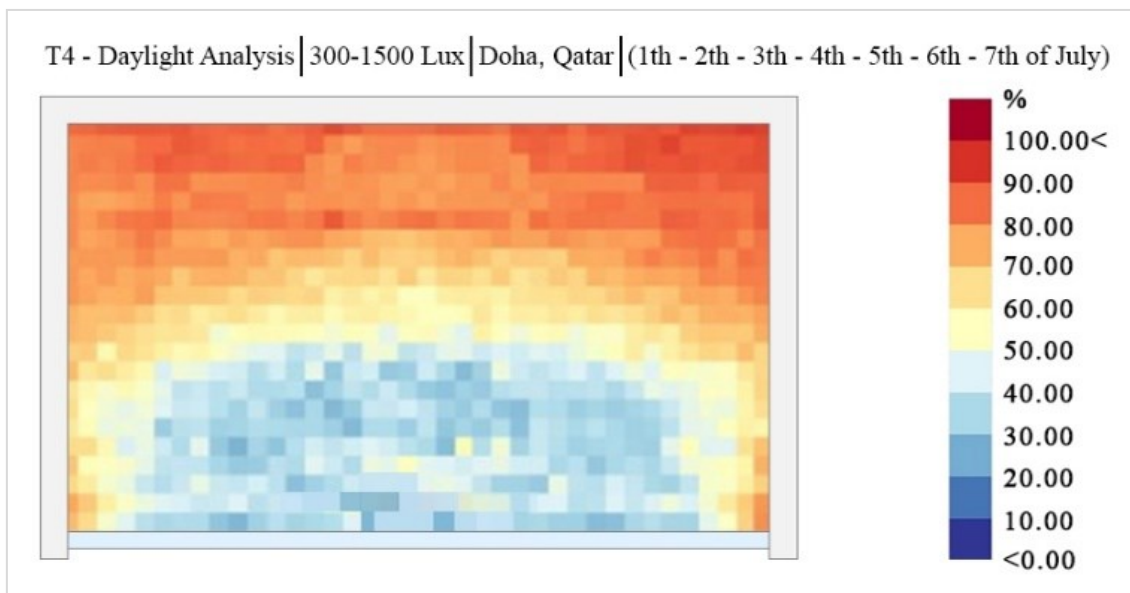


Figure 28. T4 – daylight analysis (300-1500 Lux).

### 3.2.5. T5 - 60° opening angle & single layer ETFE

The **opening angle** was set to **60°** in the **T5** variation and a **single ETFE layer** was used in this variation (T5). Figure 29 displays the one-week daylight simulation output after the T5 biomimetic envelope system variation is integrated onto the test box.

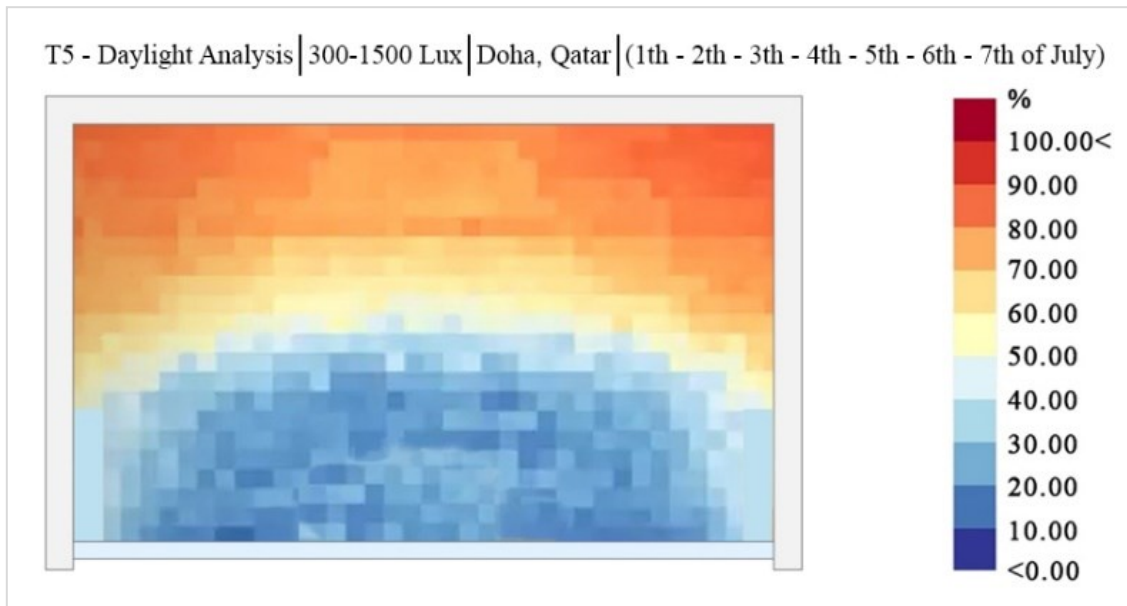


Figure 29. T5 – daylight analysis (300-1500 Lux).

### 3.2.6. T6 - 60° opening angle & double layer ETFE

The **opening angle** was set to **60°** in the **T6** variation and a **double ETFE layer** was used in this variation (T6). Figure 30 displays the one-week daylight simulation output after the T6 biomimetic envelope system variation is integrated onto the test box.

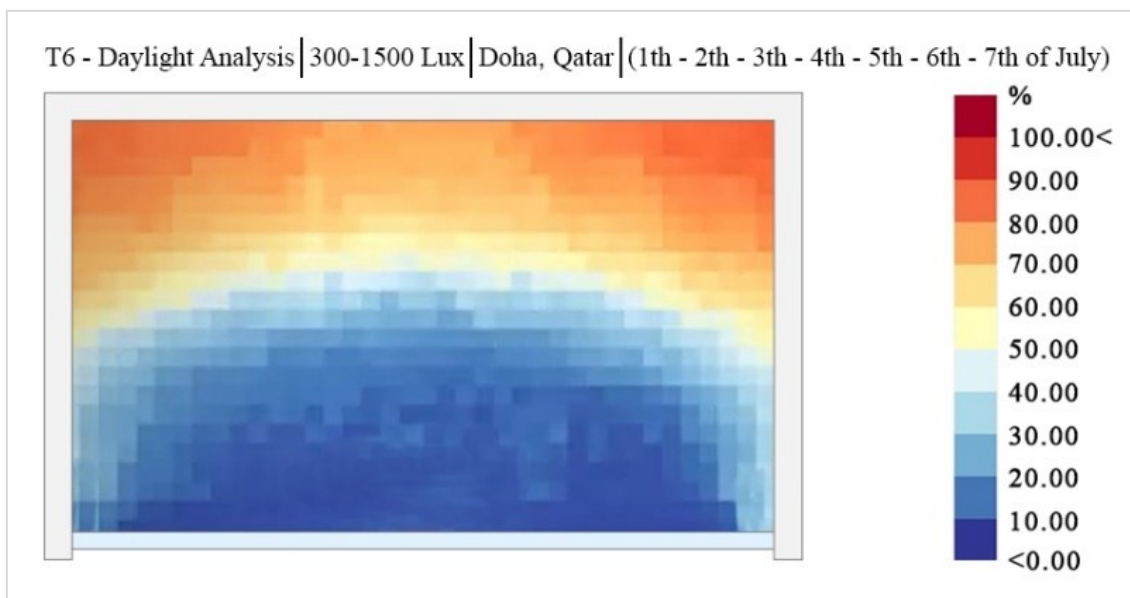


Figure 30. T6 – daylight analysis (300-1500 Lux).



### 3.3. Comparison of the simulations

The variations (T1 - T2 - T3 - T4 - T5 - T6) are compared with each other in terms of cooling load values, daylight efficiency and indoor temperature by looking at the outputs of their simulations. The results are for the first week (1<sup>th</sup> - 2<sup>th</sup> - 3<sup>th</sup> - 4<sup>th</sup> - 5<sup>th</sup> - 6<sup>th</sup> - 7<sup>th</sup> of July) of July for all variations.

#### 3.3.1. Cooling load values

As the opening angles of the modules increase, the south side of the test box is exposed to more direct sunlight. This causes the test box to overheat. Thus, the test box consumes more energy for cooling in order to balance the indoor temperature. As the number of ETFE layers, which is another variable parameter of the modules, increases, the opacity of the modules increases, thus blocking the sun rays more. In this case, the test box heats up more in the variations with modules with single layer ETFE, since they absorb less sunlight compared to the variations with double layer ETFE. Thus, the test box consumes more energy for cooling.

Figure 31 shows that the comparison of the existing variation of the test box (T0) with the integrated variations of the developed biomimetic envelope system (shading device) variations. These data show the total cooling load values for a week for the existing test box and the versions with biomimetic envelope variations (T1 - T2 - T3 - T4 - T5 - T6) integrated into the test box.

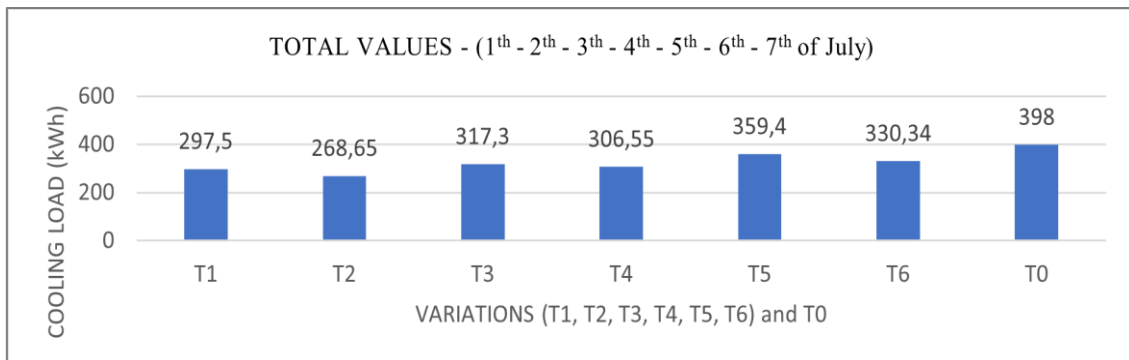


Figure 31. Comparison of cooling load values

As a result, when the total cooling load values during the week (1<sup>th</sup> - 2<sup>th</sup> - 3<sup>th</sup> - 4<sup>th</sup> - 5<sup>th</sup> - 6<sup>th</sup> - 7<sup>th</sup> of July) were compared separately for all biomimetic envelope system variations, T2 variation was determined to be the most efficient. The modules that make up the T2 variation use a 30 degree opening angle and double layer ETFE. The most inefficient variation was found to be T5. The modules that make up the T5 variation use a 60 degree opening angle and single layer ETFE.

Thus, as the opening angle of the modules forming the biomimetic envelope system increases and the number of ETFE layers decreases, the amount of energy consumed by the test box for cooling also increases. On the other hand, as the opening angle of the modules forming the biomimetic envelope system decreases and the number of ETFE layers increases, the amount of energy consumed by the test box for cooling also decreases.

### 3.3.2. Daylight efficiency

Comparing the existing variation of the test box (T0) with the integrated variations of the developed biomimetic envelope system (shading device) variations, it is observed that Doha, Qatar needs any envelope system variation against the extremely hot climate and extremely sun rays.

As a result, when daylight efficiencies during the first week of July (1<sup>th</sup> - 2<sup>th</sup> - 3<sup>th</sup> - 4<sup>th</sup> - 5<sup>th</sup> - 6<sup>th</sup> - 7<sup>th</sup> of July) were compared separately for all biomimetic envelope system variations, it was determined that T1 and T2 variations were the most efficient. Considering the knowledge that an ideal office lighting should be between 300/550 lux lighting levels, it has been determined that T1 and T2 (30° Opening Angle & Single or Double Layer ETFE) variations are the most efficient in terms of controlled daylight gain without much need for artificial lighting sources. According to daylight performance, the most inefficient variations were T5 and T6 (60° Opening Angle and Single or Double Layer ETFE). When using these variations, indoor comfort decreases when the test box is exposed to uncontrolled daylight.

Thus, as the opening angle of the modules forming the biomimetic envelope system decreases, the daylight gain increases. On the other hand, as the opening angle of the modules forming the biomimetic envelope system increases, the daylight gain decreases.

### 3.3.3. Indoor temperature

As seen in Figure 32, the outdoor temperature of the test box and the indoor temperature values after all biomimetic envelope system variations (T1 - T2 - T3 - T4 - T5 - T6) are integrated into the test box are given during the week covering the first seven days of July.

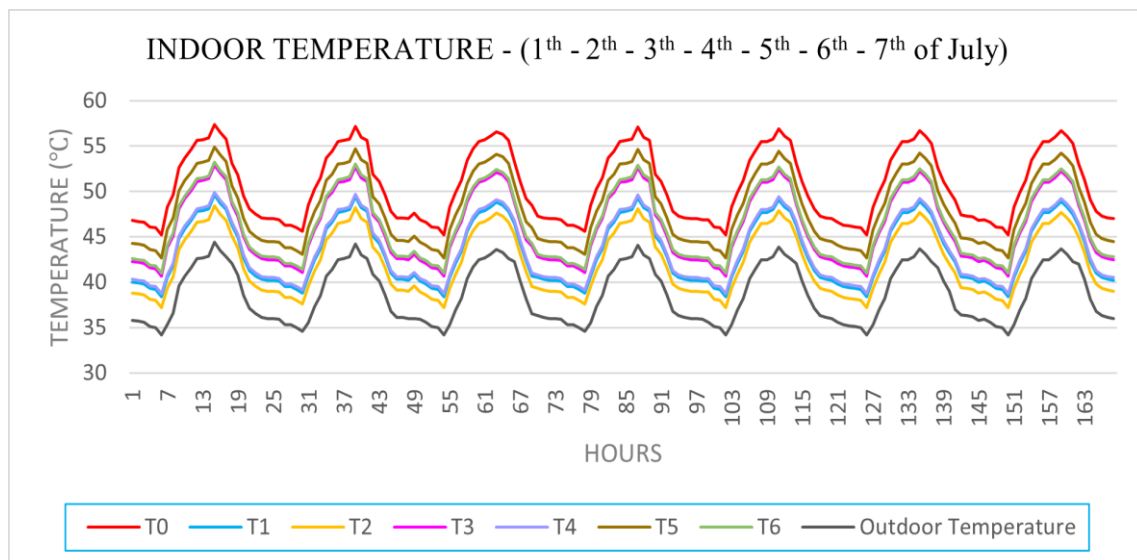


Figure 32. Comparison of indoor temperatures with outdoor temperature

The average outdoor temperature in the hottest week (1<sup>th</sup> - 2<sup>th</sup> - 3<sup>th</sup> - 4<sup>th</sup> - 5<sup>th</sup> - 6<sup>th</sup> - 7<sup>th</sup> of July) in Doha, Qatar, where an office unit (T0) is located on the south side of a high-rise office building within the scope of the project, was computed as 38.60 degrees Celsius. The average indoor temperature of the test box (T0) without any shading device integrated was 50.5 degrees Celsius. The reason for the difference between the outdoor temperature

and the indoor temperature is that the test box is positioned towards the south and has a glass front. In short, the test box (T0) heats up by being exposed to extremely hot sunlight.

As a result, when weekly indoor temperatures were compared for the test box (T0) and after the integration of all biomimetic envelope system variations (T1 - T2 - T3 - T4 - T5 - T6), it was seen that all biomimetic envelope system variations reduced the indoor temperature. T2 variation is the most efficient that can reduce the indoor temperature the most compared to other variations. When the T2 variation is integrated into the test box, the average indoor temperature drops to 42.1 degrees Celsius. A 30 degree opening angle and double layer ETFE are used in the modules that make up the T2 variation. T5 variation is the most inefficient that reduces the indoor temperature the least compared to other variations. When integrated into the test box of the T5 variation, the average indoor temperature was 48 degrees Celsius. A 60 degree opening angle and a single layer of ETFE are used in the modules that make up the T5 variation.

#### **4. Conclusion**

In this study, a biomimetic envelope system was developed with a nature-inspired approach for the south facade of an test box (office unit / T0) located in a fictitious high-rise office building in Doha, Qatar. Both the design process and the performance of the energy efficiency-based biomimetic envelope system developed within the scope of the study were discussed. Briefly, the main findings from this study are:

- The cooling load value before integrating the envelope variations into the test box (T0) is at least 40 kWh higher than the cooling load value after integrating the biomimetic envelope variations into the test box. This shows that the biomimetic envelope system variations developed within the scope of the study significantly reduce the amount of energy consumed by the test box to reduce the indoor temperature.
- The daylight performance of the test box (T0) without integrating any envelope variations is quite low. Because Doha's disturbing and burning daylight needs to be controlled. Thanks to the biomimetic envelope systems developed within the scope of the study, the controlled daylight gain of the test box increased. Thus, the test box with office function becomes comfortable for its users.
- The indoor temperature of the test box (T0) decreases by a minimum of 2°C and a maximum of 8°C after the biomimetic envelope systems developed within the scope of the study are integrated. This shows that the developed biomimetic envelope system variations significantly reduce the indoor temperature of the test box and increase indoor comfort.
- T2 variation is the most efficient in terms of cooling load value compared to all other variations. After the T2 variation is integrated into the test box, the energy consumed for cooling decreases by 130 kWh.
- T1 and T2 varieties are the ones that provide the best opportunity for controlled

and efficient use of daylight compared to all other varieties. The T1 and T2 biomimetic envelope system variations integrated into the test box best meet the 300-550 Lux range in illuminating office spaces with daylight. When T1 and T2 are compared among themselves, the T1 variation is the most efficient in daylight. The T1 variation ensures that the test box (office unit) requires less artificial lighting sources during working hours compared to all other biomimetic envelope variations.

- T2 variation of biomimetic envelope systems reduces indoor temperature more than any other variation. The T2 variation reduces the indoor temperature of the test box into which it is integrated by up to 8°C. Thus, the test box requires less mechanical cooling resources.

After summarizing the all results of the study, **T2** variation is the most efficient among the envelope system variations created with the energy efficiency-based biomimetic approach within the scope of the study.

## References

- [1] Pison, G., World population: 8 billion today, how many tomorrow?. **Population Societies**, 604(9), 1-4, (2022).
- [2] National Energy Technology Laboratory, **Energy Predicament**, (2011).
- [3] Kadoshin, S., Nishiyama, T., & Ito, T., The trend in current and near future energy consumption from a statistical perspective, **Applied Energy**, 67(4), 407-417, (2000).
- [4] Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C., A review on buildings energy consumption information, **Energy and buildings**, 40(3), 394-398, (2008).
- [5] Radwan, G. A., & Osama, N., Biomimicry, an approach, for energy effecient building skin design, **Procedia Environmental Sciences**, 34, 178-189, (2016).
- [6] Golpour, H., Boravelli, T., Smith, J. D., & Safarpour, H. R., Production of syngas from biomass using a downdraft gasifier, **IJERA**, 7(6), 61-71, (2017).
- [7] Koç, E., & Kaya, K., Energy resources–state of renewable energy, **Mühendis ve Makina**, 56(668), 36-47, (2015).
- [8] 2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero - emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector, Nairobi, **United Nations Environment Programme**, (2020).
- [9] Chou, J. S., & Bui, D. K., Modeling heating and cooling loads by artificial intelligence for energy-efficient building design, **Energy and Buildings**, 82, 437-446, (2014).
- [10] Pacheco, R., Ordóñez, J., & Martínez, G., Energy efficient design of building: A review, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 16(6), 3559-3573, (2012).
- [11] Sandak, A., Sandak, J., Brzezicki, M., & Kutnar, A., Bio-based building skin (p. 183), **Springer Nature**, (2019).
- [12] Pawlyn, M., Biomimicry in architecture, 2nd edition, **RIBA Publishing**, (2016).
- [13] Gündoğdu, E., Cephe Sistemlerinin Enerji Etkinliği Üzerine Biyomimetik Bir Değerlendirme, (**Doctoral dissertation, Necmettin Erbakan University (Turkey)**), (2020).

- [14] Gündoğdu, E., & Arslan, H. D., Energy-Efficient Facade and Biomimicry in Architecture, **GU J Sci**, Part C, 8(4): 922-935, (2020).
- [15] Aziz, M. S., Biomimicry as an approach for bio-inspired structure with the aid of computation, **Alexandria Engineering Journal**, 55(1), 707-714, (2016).
- [16] Kalaycıoğlu, E., & Yılmaz, A. Z., Simülasyon Destekli Enerji Etkin Bina Tasarımında Uygulamalar, (2019).
- [17] Dal, A. Ö., Tomrukçu, G., Kızıldağ, H., Avgan, G., Ashrafiyan, T., Özdemir, E. K., & Sağlam, N. G., Bina Enerji Performans Analizi; Simülasyon, Doğrulama Ve Kalibrasyon Yöntemleri Üzerine Bir Araştırma, (2023).
- [18] Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F., Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution, **Scientific data**, 5(1), 1-12, (2018).
- [19] Knapp, T. ve Wagner, A., Whole Buildings: Sustainability and Energy Efficiency, 15 - 18 Haziran 2009, **4th International Building Physics Conference**, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Taşkışla, Taksim, (2009).
- [20] Lotfi, N., Nature-Inspired Design Processes: The Adaption of various Principles of Biology as the base for a Holistic Approach towards a New Strategy within the Design Process, Faculty of Postgraduate Studies and Scientific Research, German university in Cairo, 23, (2014).
- [21] Edgell, H. S., Arabian deserts: nature, origin and evolution, **Springer Science & Business Media**, (2006).
- [22] Withers, P. C., & Dickman, C. R., The role of diet in determining water, energy and salt intake in the thorny devil *Moloch horridus* (Lacertilia: Agamidae), **Journal of the Royal Society of Western Australia**, 78, (1995).
- [23] Joel, A. C., Linde, J. R., Comanns, P., Emonts, C., Weissbach, M., Flecks, M., & Rödder, D., Phylogenetic and morphological influence on habitat choice in moisture-harvesting horned lizards (*Phrynosoma* spp.), **Ecology and Evolution**, 11(20), 14146-14161, (2021).
- [24] Qin, Z., Jung, G. S., Kang, M. J., & Buehler, M. J., The mechanics and design of a lightweight three-dimensional graphene assembly, **Science advances**, 3(1), e1601536, (2017).

# Effect of adhesive thickness and loading speed on bonding strength in single-lap adhesive joints with aluminum 5754-H111

Ali İŞIKTAŞ<sup>1\*</sup>, Fatih BALİKOĞLU<sup>2</sup>, Tayfur Kerem DEMİRCİOĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Balıkesir Üniversitesi, Edremit Meslek Yüksekokulu, Balıkesir.

<sup>2</sup>Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Balıkesir.

Geliş Tarihi (Received Date): 09.02.2024

Kabul Tarihi (Accepted Date): 03.04.2024

## Abstract

*This study provides shear test results of single-lap adhesive joints with aluminum 5754-H111. To investigate the effect of adhesive thickness on joint strength in single-lap adhesive joints, three different thicknesses (0.2, 1, and 2 mm) were applied. Increasing the adhesive thickness from 0.2 mm to 1 mm and from 0.2 mm to 2 mm resulted in a reduction in shear load of roughly 36% and 44%, respectively. It has been observed that the joint strength decreases with increasing adhesive thickness in single-lap adhesive joints with aluminum 5754-H111. In addition, single-lap adhesive joints were tested at various loading rates (1, 10, and 100 mm/min), and the influence of loading speed on adhesive strength was studied. The shear load increased with the loading speed in the test results of single-lap adhesive joints.*

**Keywords:** Adhesive bonding, adhesive thickness, loading speed, single-lap joint

## Alüminyum 5754-H111 ile oluşturulan tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarında yapıştırıcı kalınlığı ve yükleme hızının yapışma dayanımına etkisi

## Öz

*Bu çalışma, alüminyum 5754-H111 ile oluşturulan tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarının kayma testi sonuçlarını sunmaktadır. Tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarında yapıştırıcı kalınlığının bağlantı mukavemeti üzerindeki etkisini araştırmak için üç farklı kalınlık (0.2, 1 ve 2 mm) uygulanmıştır. Yapıştırıcı kalınlığının*

\*Ali İŞIKTAŞ, ali86edu@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1532-4465>

Fatih BALİKOĞLU, fatih@balikesir.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-3836-5569>

Tayfur Kerem DEMİRCİOĞLU, tkerem@balikesir.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-0518-0739>

*0.2 mm'den 1 mm'ye ve 0.2 mm'den 2 mm'ye arttırılması, kayma yükünde sırasıyla yaklaşık %36 ve %44'lük bir azalmaya neden olmuştur. Alüminyum 5754-H111 ile oluşturulan tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarında yapıştırıcı kalınlığı arttıkça bağlantı mukavemetinin azaldığı görülmüştür. Ayrıca, tek bindirmeli yapıştırma bağlantıları çeşitli yükleme hızlarında (1, 10 ve 100 mm/dk) test edilmiş ve yükleme hızının yapışma dayanımına etkisi araştırılmıştır. Tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarının test sonuçlarında, kayma kuvveti yükleme hızıyla birlikte artmıştır.*

**Anahtar kelimeler:** *Yapıştırma işlemi, yapıştırıcı kalınlığı, yükleme hızı, tek bindirmeli bağlantı*

## 1. Introduction

Adhesive-based joining is a technique of joining two or more materials using a synthetic-based adhesive in such a way that the joint is unresolvable. Metal, polymer, ceramic, composite materials or combinations of these are used in joining [1, 2]. Joints made by adhesive method are preferred to other connection methods due to their advantages such as high strength, low cost, ease of assembly and lightweight [3]. In addition, adhesive-based joints do not cause changes in the crystal structure or create stress concentrations as a result of melting compared to rivet, welding and similar unresolvable traditional connections.

In recent years, the value of aluminum and its alloys for engineering applications where weight reduction is crucial has increased [4-6]. Particularly, Al 5754 aluminum alloy has a high strength value and superior resistance to corrosion [7, 8]. Besides the important application areas of Al 5754 in various sectors, its corrosion resistance and easy formability provide a great deal of potential of widen its usage not only in the automotive and aerospace industries but also in marine applications. Epoxy-based adhesives are used to join aluminum used in various applications in these industrial areas [9].

There are different joint types in the literature, such as single-lap joints (SLJ), double-lap joints (DLJ), stepped-lap joints, and scarf joints. However, single-lap bonding is the most preferred joint in practice due to its ease of design and manufacture, its effectiveness compared to other joint types. In the literature, there are many parameters that affect the bonding strength of single-lap adhesive joints, such as the material being joined, adhesive type, form of the bonded surface, part geometry, adhesive thickness, overlap area and test speed [10-14].

According to the majority of research on the relationship between adhesive thickness and single-lap joint strength, joint strength declines as adhesive thickness increases [15-17]. In addition, whether the adhesive is tough or ductile creates differences in bonding strength. The effect of increasing thickness on reducing bonding strength is greater in joints using tough adhesives compared to ductile adhesives. The maximum stresses occurred near the edge of the overlap zone in under tensile tests of single-lap joints. They stated that stresses increased with increasing overlap length and material thickness and stresses decreased with increasing adhesive thickness [18]. A parametric study conducted to determine the mechanical behavior of the lap joint they created using with an aluminum and a carbon fiber reinforced plate. In the test results, they stated that the shear load in the single-lap joints was impacted by changes in lap length and adhesive thickness [19].

Parts joined by adhesive bonding method cause changes in the bonding strength as they are exposed to loads at different rates in working environments. This makes it difficult to determine the load capacities that adhesive joints can safely carry. In the literature, different strength values were found by using different speeds in the tests of adhesive joints. The single-lap adhesive joint using carbon fiber reinforced plastic and aluminum at four different loading speeds were tested. The results of the research demonstrated that shear strength rose as loading speed increased [20]. The bonding strength between BFRP and aluminum alloy under various loading rates were investigated. Different bonding strength values were observed in the joints when the loading speed changed [21].

In this study, shear test results of single-lap joints with Al 5754-H111 material are presented. The effect of adhesive thickness on the bonding strength of Al 5754-H111 sheets joined by the single-lap method was examined. Additionally, single-lap adhesive joints were tested at different loading speeds and the effect of loading speed on joint strength was examined by comparing the experimental results.

## 2. Material and method

In this work, Araldite® AV138 epoxy adhesive was used to produce single-lap joints using Al 5754-H111 material. Aluminum 5754-H111 is a tempered aluminum alloy with excellent impact and wear resistance, as well as high strength and corrosion resistance. The single-lap joints were made in accordance with ASTM D1002-10 standards [22]. The example dimensions of the single-lap adhesive joining produced using Al 5754-H111 are displayed in Figure 1.

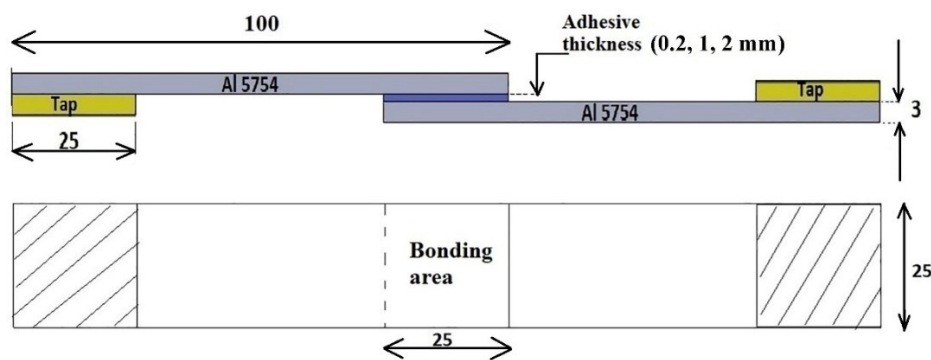


Figure 1. Single-lap joint geometry used in experiments.

Aluminum 5754-H111 plate, supplied with 1000×2000 mm dimensions, was cut to 25×100 mm in the rolling direction (0°) using a cutting bench (Figure 2).





Figure 2. Cutting process of aluminum 5754-H111 adherends

The mechanical properties of Al 5754-H111 are given in Table 1, and its chemical composition is given in Table 2. The properties of Al 5754-H111 given in Table 1 and Table 2 were taken from the datasheet provided by the manufacturer. The properties of Araldite® AV138 epoxy adhesive used in creating single-lap joints are presented in Table 3.

Table 1. Mechanical properties of aluminum 5754-H111

Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Strain (%)
212.9	135.2	15

Table 2. Chemical composition of aluminum 5754-H111

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Al
0.201	0.235	0.036	0.200	2.807	0.027	0.021	0.025	Bal.

Table 3. Properties of the Araldite® AV138 [23]

Young's modulus E (GPa)	Poisson's ratio $\nu$	Tensile stress $\sigma_y$ (MPa)	Shear modulus G (GPa)
$4.89 \pm 0.81$	0.35	$36.49 \pm 2.47$	1.81

To increase the microscopic adhesion area on the Al 5754-H111 sample surfaces, roughness was made with P120 silicon carbide sandpaper. This sandpaper was chosen considering the viscosity of the adhesive, and thus the adhesive was fully spread on the surface of the specimen. A surface cleaning solvent was used during the abrasion procedures to eliminate the metal particulates accumulated on the material surfaces. The roughness of the samples was checked following the sanding procedure, and the resulting Ra value of  $1.3 \pm 0.1 \mu\text{m}$  was measured (Figure 3).

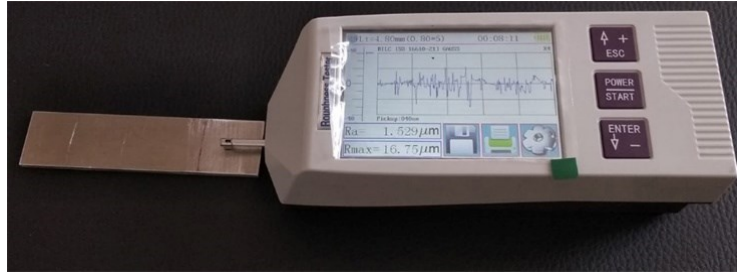


Figure 3. Measurement of surface roughness.

In single-lap adhesive joints, providing uniform adhesive thickness between the plates being connected in all samples is crucial. This standardization is essential for accurate analysis of the test parameters. For this purpose, the adhesive was applied in uniform thickness to the surfaces of the Al 5754-H111 adherends using a bonding fixture. The bonding fixture used in the joining process are given in Figure 4. Like similar studies in the literature, the adjustable wedges in this bonding fixture allow the adhesive thickness to be changed as desired [24-26].

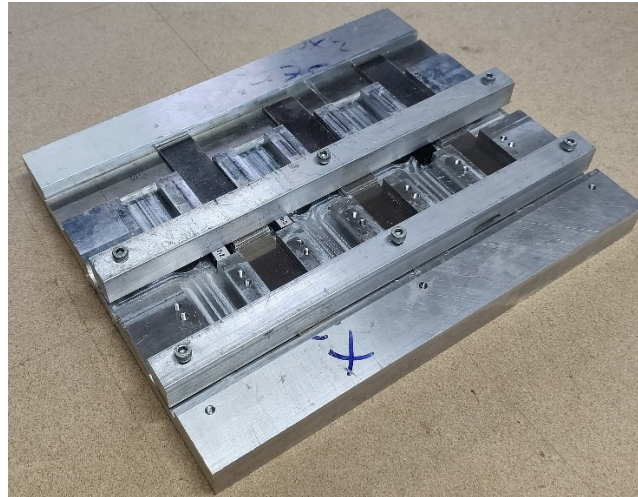


Figure 4. The fixture used in the bonding process.

In single-lap joints, aluminum adherends are joined using Araldite® AV138 epoxy adhesive. The Araldite® AV138 was preferred because it has high strength, low volatility, and excellent corrosion resistance. This structural adhesive consists of two components and cures at room temperature. The Araldite® AV138 adhesive was mixed with a hardener in a ratio of 4:10 (hardener/adhesive) using a precision scale in order to achieve a homogeneous composition. A thin layer of the produced mixture was applied to the aluminum surfaces. After applying the adhesive to the surfaces, the plates were placed in the bonding fixture and left to cure for 36 hours at room temperature under constant pressure. The production of uniform adhesive thickness on all surfaces was facilitated by the use of fixture throughout the bonding process. In this study, adhesive joints with thicknesses of 0.2, 1 and 2 mm were applied. Adhesives overflowing from the edges of the samples removed from the fixture were cleaned. The tabs were cut to the proper size and bonded to the samples in order to connect the samples to the device jaws on the same axis in the shear test. The prepared samples of single-lap joints were placed on to the jaw

of the tensile device, and experiments were conducted utilizing the interface program of the device. Image of the experimental setup is illustrated in Figure 5.

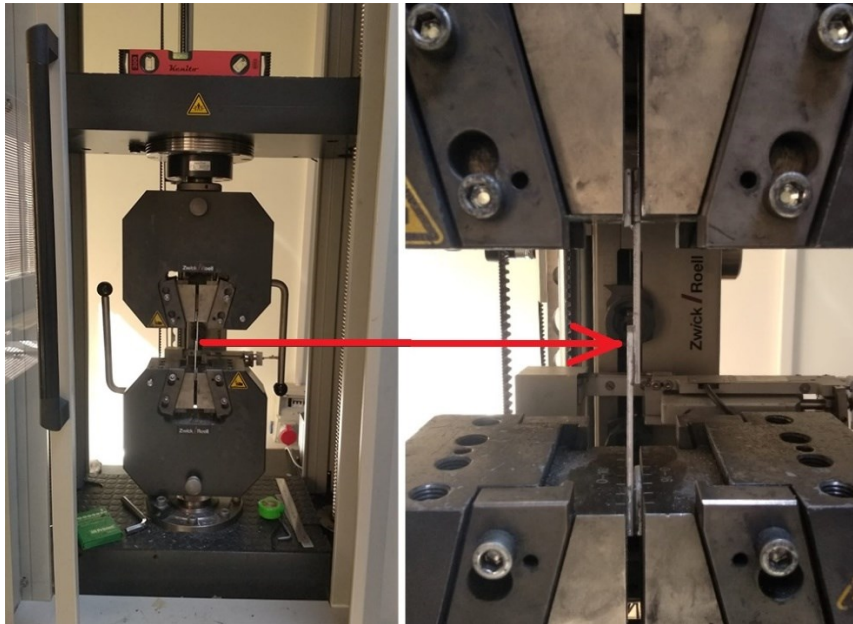


Figure 5. Shear test of single-lap joints.

Shear experiments were carried out at room temperature and at loading speeds of 1, 10, and 100 mm/min using a Zwick Roell Z020 tensile instrument. 5 (Five) samples were tested for each of the parameters that were used in the experiments.

### 3. Results and discussion

Shear tests were carried out to examine the effect of adhesive thickness and loading speed on bonding strength in single-lap adhesive joints with aluminum 5754-H111 and the outcomes were compared on graphs. The effect of adhesive thickness on joint strength in single-lap joints created from aluminum 5754-H111 is illustrated in the graph in Figure 6.

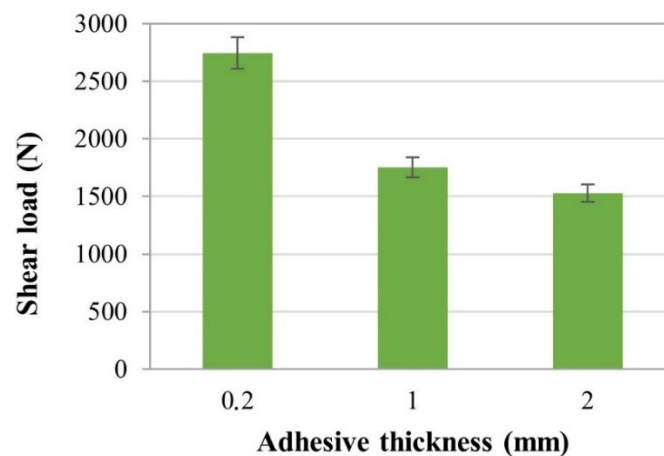


Figure 6. The effect of adhesive thickness on joint strength

The shear load was reduced by roughly 36% when the adhesive thickness was increased from 0.2 mm to 1 mm. As the adhesive thickness increased to 2 mm, the shear load decreased by roughly 44%. This can be explained as the defects caused by cavities and microcracks in the adhesive decrease the joint strength. This decrease varies depending on the fragility of the adhesive used in the joints [27]. This finding confirmed the literature by giving data parallel to the shear test results of joints made with different adhesives [28].

Figure 7 shows the force-displacement graph that resulted from the shear test of single-lap joints produced with various adhesive thicknesses.

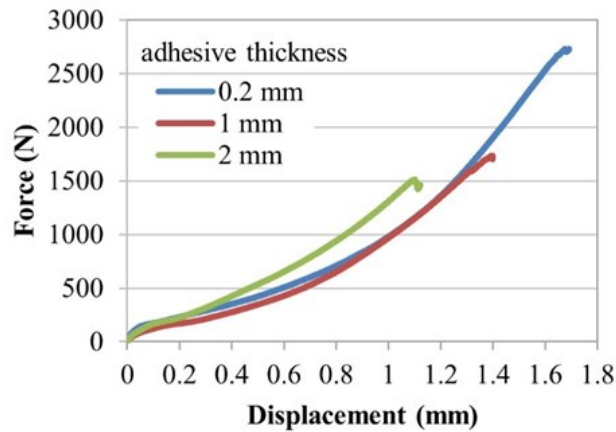


Figure 7. Force-displacement graph of joints produced with various adhesive thicknesses.

As seen in Figure 7, increasing the adhesive thickness reduces both the load-carrying and the displacement capacities in adhesive joints. In the graph, the area at the bottom of the force-displacement curve represents the absorption energy of adhesive joint. Accordingly, it can be concluded that the joints with 0.2 mm adhesive have higher absorbed energy than the joints with 1 mm and 2 mm adhesive.

Figure 8 shows the test results for single-lap joints produced with 3 mm aluminum adherend and 0.2 mm thick adhesive. The joints were tested at three different loading speeds: 1, 10, and 100 mm/min.

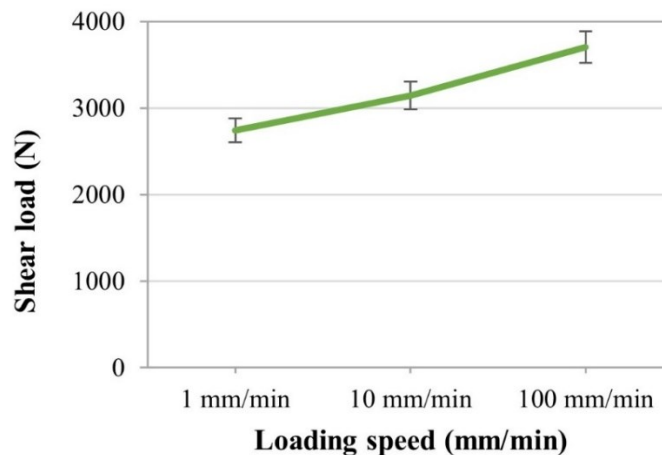


Figure 8. Effect of loading speed on joint strength.

By increasing the loading speed from 1 mm/min to 10 mm/min in the shear testing of single-lap adhesive joints, the joint was able to carry an additional load of approximately 14.6% (Figure 8). The shear load increased from 14.6% to 35.1% when loading speed increased from 10 to 100 mm/min. As a result, in the shear tests of single-lap joints with aluminum plate and 0.2 mm adhesive, an increase in the shear load was observed as the loading speed increased. As the loading speed increases, the breakage time is significantly shortened [20]. This causes the shear load to increase rapidly and reach the fracture energy in a shorter time. Therefore, the shear load of the joint was higher in high-speed tests. This finding confirmed the literature, which reported that the shear load increases as the loading speed increases in shear tests of single-lap adhesive joints with different materials [20]. In Figure 9, the fracture surfaces of adhesive joints after the shear tests are shown.

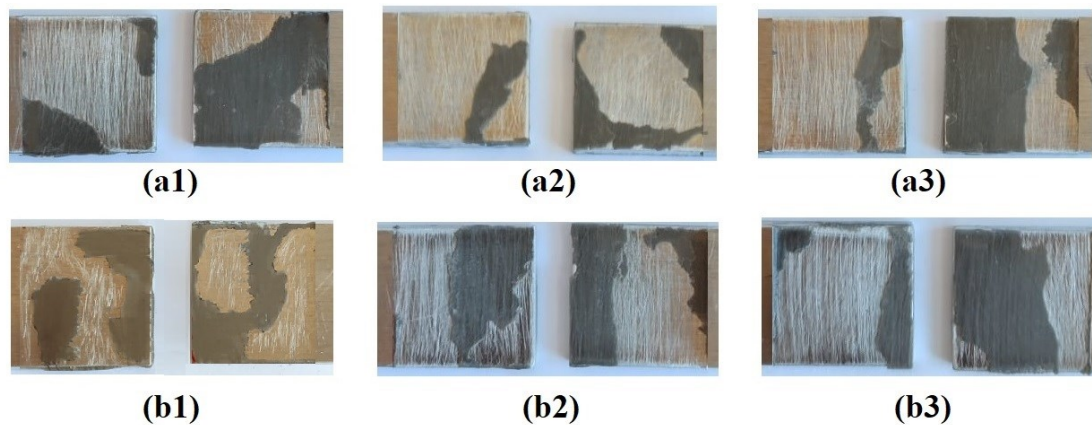


Figure 9. Surface damages of the samples; adhesive thicknesses (a1:0.2 mm, a2:1mm, a3:2 mm) and loading speeds (b1:1 mm/min, b2:10 mm/min, b3:100 mm/min)

Following a set of shear tests at different adhesive thicknesses and loading rates, the damaged surfaces of the adhesively bonded joints were evaluated. By examination of the damaged surfaces of the adhesive joints, it was seen that in all samples, some of the adhesives remained on the upper part and some on the lower part. As a result, it is seen that there is an adhesive failure on the damaged surfaces of all samples bonded with Araldite® AV138, which is damage between the adhesive layer and the interface of the adherend. Furthermore, it was noted that variations in adhesive thickness and loading rate did not influence the type of damage observed in the joint at the shear test.

#### 4. Conclusion

This study aimed to investigate the impact of adhesive thickness and loading speed on adhesive strength in single-lap adhesive joints made of aluminum 5754-H111. For aluminum 5754-H111 single-lap joints, changing the adhesive thickness and loading speed has significant effects on the joint strength. Increasing the adhesive thickness from 0.2 mm to 1 mm and from 0.2 mm to 2 mm resulted in a reduction in shear load of roughly 36% and 44%, respectively. According to this result, the joint strength decreased as the adhesive thickened in single-lap adhesive joints with aluminum 5754-H111. As the adhesive thickness increased, the load-carrying and displacement capacities of the adhesive joints decreased. By increasing the loading speed from 1 mm/min to 10 mm/min in the shear testing of single-lap adhesive joints, the joint was able to carry an additional

load of approximately 14.6%. The shear load increased from 14.6% to 35.1% when the loading speed increased from 10 to 100 mm/min. As a result, it was observed that the shear load increased with the loading speed in the shear tests of single-lap joints. Additionally, it was observed that changes in adhesive thickness and loading rate did not affect the type of damage that occurred in the joint after the shear test.

### Acknowledgement

I would like to thank Balıkesir University for funding our research. This study was financially supported by the Balıkesir University Scientific Research Projects Unit (BAÜNBAP) with the project number 2023/90.

### References

- [1] Nečasová, B., Liška, P. ve Šlanhof, J., Analysis of temperature effect on deformation behaviour and bond strength of adhesive joints with steel and composite substrates, **Industrial Applications of Adhesives: 1st International Conference on Industrial Applications of Adhesives**, 107-125, Springer, (2021).
- [2] Shore, D., Wilson, J., Matthews, A. ve Yerokhin, A., Adhesive bond strength of PEO coated AA6060-T6, **Surface Coatings Technology**, 428, 127898, (2021).
- [3] Tutunchi, A., Kamali, R. ve Kianvash, A., Adhesive strength of steel–epoxy composite joints bonded with structural acrylic adhesives filled with silica nanoparticles, **Journal of Adhesion Science Technology**, 29, 3, 195-206, (2015).
- [4] Haghshenas, M., Abdel-Gwad, A., Omran, A. M., Gökçe, B., Sahraeinejad, S. ve Gerlich, A. P., Friction stir weld assisted diffusion bonding of 5754 aluminum alloy to coated high strength steels. **Materials & Design**, 55, 442-449, (2014).
- [5] Gassaa, R., Hemmouche, L., Badji, R., Gilson, L., Rabet, L. ve Mimouni, O., Effect of rotational speed and copper interlayer on the mechanical and fracture behaviour of friction stir spot welds of 5754 aluminium alloy, **Metallurgical Research & Technology**, 120(1), 118, (2023).
- [6] Kessentini, I., Zouari, S., Bakir, A. ve Bargui, M., Comparative study of mechanical and tribological properties of alumina coatings formed on 5754 aluminium alloy under various conditions, **Surface Engineering and Applied Electrochemistry**, 54, 524-533, (2018).
- [7] Patel, N., Manani, S. ve Pradhan, A. K., Effect of addition of cu on microstructure and some properties of 5754 aluminum alloy, **Transactions of the Indian Institute of Metals**, 76(7), 1929-1936, (2023).
- [8] Mroczkowska, K. M., Antończak, A. J. ve Gąsiorek, J., The corrosion resistance of aluminum alloy modified by laser radiation, **Coatings**, 9(10), 672, (2019).
- [9] Adarsh, S. J. ve Natarajan, A., Studies on process parameter optimization and surface modification for joint strength enhancement of laser welded Aluminium 5754-polyamide hybrid joints, **Materials Today Communications**, 37, 107198, (2023).
- [10] Akhavan-Safar, A., Ayatollahi, M. R. ve da Silva, L., Strength prediction of adhesively bonded single lap joints with different bondline thicknesses: a critical longitudinal strain approach, **International Journal of Solids and Structures**, 109, 189-198, (2017).

- [11] Kadioglu, F., Avil, E., Ercan, M. E. ve Aydogan, T., Effects of different overlap lengths and composite adherend thicknesses on the performance of adhesively-bonded joints under tensile and bending loadings, **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, 369, 1, 012034, IOP Publishing, (2018).
- [12] Hasheminia, S. M., Park, B. C., Chun, H. J., Park, J. C. ve Chang, H. S., Failure mechanism of bonded joints with similar and dissimilar material, **Composites Part B: Engineering**, 161, 702-709, (2019).
- [13] Rudawska, A., Comparison of the adhesive joints' strength of the similar and dissimilar systems of metal alloy/polymer composite, **Applied Adhesion Science**, 7, 1, 1-17, (2019).
- [14] Butt, J., Mebrahtu, H. ve Shirvani, H., Microstructure and mechanical properties of dissimilar pure copper foil/1050 aluminium composites made with composite metal foil manufacturing, **Journal of Materials Processing Technology**, 238, 96-107, (2016).
- [15] Banea, M. D., da Silva, L. ve Campilho, R. D., The effect of adhesive thickness on the mechanical behavior of a structural polyurethane adhesive, **The Journal of Adhesion**, 91, 5, 331-346, (2015).
- [16] Han, X., Jin, Y., da Silva, L. F., Costa, M. ve Wu, C., On the effect of adhesive thickness on mode I fracture energy-an experimental and modelling study using a trapezoidal cohesive zone model, **The Journal of Adhesion**, (2019).
- [17] Sekiguchi, Y. ve Sato, C., Experimental investigation of the effects of adhesive thickness on the fracture behavior of structural acrylic adhesive joints under various loading rates, **International Journal of Adhesion Adhesives**, 105, 102782, (2021).
- [18] Fernández-Cañadas, L. M., Ivañez, I., Sanchez-Saez, S. ve Barbero, E., Effect of adhesive thickness and overlap on the behavior of composite single-lap joints, **Mechanics of Advanced Materials Structures**, 28, 11, 1111-1120, (2021).
- [19] Seong, M. S., Kim, T. H., Nguyen, K. H., Kweon, J. H. ve Choi, J. H., A parametric study on the failure of bonded single-lap joints of carbon composite and aluminum, **Composite structures**, 86, 1-3, 135-145, (2008).
- [20] Wang, S., Liang, W., Duan, L., Li, G. ve Cui, J., Effects of loading rates on mechanical property and failure behavior of single-lap adhesive joints with carbon fiber reinforced plastics and aluminum alloys, **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 106, 2569-2581, (2020).
- [21] Chen, H., Wang, D., Na, J., Chen, X. ve Zhang, J., Effect of loading rate on the failure of bfrp-aluminum alloy single lap joints after hygrothermal aging, **Journal of Adhesion Science and Technology**, 37(18), 2626-2641, (2023).
- [22] ASTM, D1002-10. Standard test method for apparent shear strength of single-lap joint adhesively bonded metal specimens by tension loading (Metal-to-metal). West Conshohocken, PA: ASTM International; 2019.
- [23] Barbosa, N., Campilho, R., Silva, F. ve Moreira, R., Comparison of different adhesively-bonded joint types for mechanical structures, **Applied Adhesion Science**, 6, 1, 1-19, (2018).
- [24] Şentürk, B., Çetin, K., Ürküt, S. N., Anaç, N. ve Koçar, O., Jig design and manufacturing for adhesive thickness control in adhesive joints, **Journal of Materials and Manufacturing**, 1(2), 17-23, (2022).
- [25] Anaç, N., Koçar, O. ve Hazer, B., Katmanlı imalatla üretilen parçaların birleştirilmesinde yapıştırma bağlantı dayanımının incelenmesi, **International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry**, 6(3), 449-458, (2022).

- [26] Polat Ç. N., Anaç, N. ve Mert, F., Eklemeli imalat ile üretilen pla parçaların yapıştırılmasında yapıştırma parametrelerinin mekanik dayanımına etkisinin incelenmesi, **Journal of Polytechnic**, 26(3), (2023).
- [27] Da Silva, L., Rodrigues, T., Figueiredo, M., De Moura, M. ve Chousal, J., Effect of adhesive type and thickness on the lap shear strength, **The journal of adhesion**, 82, 11, 1091-1115, (2006).
- [28] Da Silva, L., Carbas, R., Critchlow, G. W., Figueiredo, M. ve Brown, K., Effect of material, geometry, surface treatment and environment on the shear strength of single lap joints, **International Journal of Adhesion and Adhesives**, 29, 6, 621-632, (2009).



# Optimization of contraction cone length in an open-circuit wind tunnel

Seyhun DURMUŞ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Balıkesir Üniversitesi, Edremit Sivil Havacılık Yüksekokulu, Balıkesir

Geliş Tarihi (Received Date): 08.08.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 04.04.2024

## Abstract

*The studies in the literature mostly focus on the curvature of the contraction cone, while research regarding the impact of contraction length on flow characteristics is limited. This study aims to determine the optimal length of the contraction cone, which ensures uniform flow at the outlet section, considering the wall shear factor. Four contraction cones of varying lengths were designed based on the hydraulic radius of the inlet. Numerical analysis was conducted to obtain static pressure and velocity distributions for the designed geometries. It was observed that wind tunnels designed with contraction cone lengths 2, 3, and 3.5 times the inlet hydraulic radius exhibited similar flow patterns. However, a longer contraction curve minimizes flow disturbances and turbulence, thereby enhancing flow uniformity and steadiness, while thicker boundary layers result from increased wall shears due to boundary layer growth. Consequently, it was concluded that a wind tunnel configured with a contraction cone length of 2 times the inlet hydraulic radius (square contraction cone) is the optimal choice, considering the combined effects of wall shear and flow uniformity.*

**Keywords:** Contraction cone length, wind tunnel, nozzle design, flow uniformity, CFD.

## Açık devre rüzgar tüneline daralma konisi uzunluğunun optimizasyonu

### Öz

*Bu çalışmada literatürdeki çalışmalar çoğunlukla daralma konisinin eğriliğine odaklanırken, daralma uzunluğunun akış özellikleri üzerindeki etkisine ilişkin çalışmalar azdır. Çalışma, duvar kesme gerilme faktörünü birlikte dikkate alarak daralma konisinin çıkış bölümünde düzgün akış sağlayan daralma konisinin optimum uzunluğunu ortaya*

\*Seyhun Durmuş, [drmsyhn@gmail.com](mailto:drmsyhn@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-1409-7355>

çıkarmayı amaçlamaktadır. Giriş hidrolik yarıçapının uzunluğuna bağlı olarak, farklı uzunlukta dört daralma konisi tasarlanmıştır. Tasarlanan geometriler için sayısal analiz yapılarak statik basınç ve hız dağılımları elde edilmiştir. Giriş hidrolik yarıçapının 2, 3 ve 3,5 katı daralma konisi uzunluğu ile tasarlanan rüzgar tüneline de benzer bir akış patterni elde edildiği bulunmuştur. Bununla birlikte, daha uzun bir daralma eğrisi, akış bozukluklarını ve türbülansı en aza indirir ve bu, akış düzgünlüğüne yardımcı olur, oysa sınır tabakası büyümesi nedeniyle duvardaki kesme gerilmesi daha kalın sınır tabakası ile sonuçlanır. Bu nedenle, duvar kesme ve akış homojenliğinin birlikte etkisi göz önüne alındığında giriş hidrolik yarıçapının (kare daralma konisi) 2 katı daralma konisi uzunluğu ile yapılandırılmış rüzgar tüneline en iyi seçim olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Daralma konisi uzunluğu, rüzgar tüneli, nozul tasarımı, düzün akış, HAD.

## 1. Introduction

There are many parameters that affect the flow pattern in an open circuit wind tunnel. Among the main parameters are the contraction curve profile, convergent angle, contraction cone length, contraction ratio, diffuser length, diffuser angle, and diffuser area ratio. The existing body of literature primarily directs its attention towards investigating the curvature of the contraction cone within various flow systems. However, there remains a notable scarcity in research concerning the influence of contraction length on flow characteristics.

There are numerous studies in the literature focusing on the curve profile of the contraction cone in wind tunnels. Common curves used for the contraction cone include the Witoszynski curve [1], the bicubic curve, and the fifth-order polynomial curve [2]. The bicubic (two arc) contraction curves were initially suggested by Morel [3], while the fifth-order polynomial was proposed by Bell and Mehta [4]. Zanon [5] experimentally tested three profiles (fifth-order polynomial contraction, two-cubic arcs, Witoszynski second-order polynomial contractions) and concluded that the fifth-order polynomial contraction performs the best in terms of flow uniformity. Lastra et al. [6] designed a new logarithmic contraction cone profile aimed at achieving flow homogeneity and separation of the boundary layer. Ahmed and Eljack [7] studied five different contraction geometries using computational fluid dynamics (CFD). Hoghooghi et al. [8] (2016) numerically examined Rouse's [9], Bell's [4], and Sargison's [10] nozzle, considering the wall pressure distribution, outlet velocity profiles, and pressure losses. Repeated studies have consistently shown that the contraction curve formed by fifth-order polynomials is the most effective in achieving flow uniformity [11-13].

Very little work has been done on determining the optimal length of the contraction cone. When examining the literature concerning contraction cone length, it is noted that the length of the contraction cone varies between 0.15 and 1 times the inlet hydraulic radius for low-cost wind tunnels [14]. Additionally, Mikhail [15] stated that the contraction section length ranges between 2 and 2.5 times the inlet hydraulic radius. Contraction cones designed as square (where the contraction cone length is 2 times the inlet hydraulic radius) are quite common in the literature [16-17]. In addition to considering the contraction cone length, the effect of the aspect ratio of the contraction cone on flow parameters has also been studied [18]. It is claimed that, to control flow separation, the area ratio of the diffuser should be less than 2.5, and the diffuser angle should be between 5° and 7° [19]. The contraction curve composed of two cubic 5th order polynomials has

repeatedly been verified as the most effective form in achieving flow uniformity [3-4,13]. Additionally, contraction curves generated by sixth-order polynomials have also been examined in the literature [10,20]. Passman et al. [21] studied two-stage contraction cones, consisting of a three-dimensional section and a piece-wise section, aiming to achieve minimal flow deviation.

Lakshman and Basak [22] studied the Brassard's transformed model using OpenFOAM, focusing on airflow uniformity, wall shear stress, and turbulence intensity. Results indicate the transformed model offers better uniformity and turbulence control compared to the original polynomial design. İsmail et al. [23] optimizes the design of an open circuit wind tunnel suction type using TEA (Task Episode Accumulation) and Computational Fluid Dynamics (CFD) with Ansys 15.0. Variation 6 emerges as the best performer, featuring dimensions of 5.015 m length, 15.0 m/s speed, Reynolds number of  $8.1 \times 10$ , and turbulence intensity between 10.25-10.75%.

Abdelhamed et al. [24] studied the redesign of the three-dimensional geometry of an open circuit wind tunnel contraction using CFD and optimization tools. The study achieves the recommended contraction ratio, uniformity at the working section, and minimizes boundary layer thickness. Hasselmann et al. [25] applied CFD and a geometrical approach to optimize a piece-wise conical contraction zone in a high-pressure wind tunnel, focusing on minimizing flow deviation and separation.

In the existing literature, the length of the constriction cone is generally taken as 2 times the hydraulic diameter, but the justification for this is always explained based on 1 time the hydraulic diameter; what kind of effects will occur in contraction cones with a length of 3 or 4 times the hydraulic diameter has not been examined in the literature. Thus, the focal objective of this study is to elucidate the optimal length parameter for the contraction cone through a comprehensive Computational Fluid Dynamics (CFD) analysis.

In this investigation, we have designed four distinct lengths for the contraction cones, corresponding to specific inlet hydraulic radius profiles, utilizing a sophisticated 5th degree polynomial approach. Subsequently, employing the ANSYS Fluent CFD Package, we meticulously scrutinized the flow properties associated with each of these contraction cone configurations. Through this detailed analysis, we aim to provide valuable insights into the intricate interplay between contraction length and flow behavior, thereby contributing to the enhancement of engineering practices and fluid dynamics understanding.

## **2. Material and method**

The contraction cone area ratio, contraction curve profile, contraction cone length, diffuser length, and diffuser area ratio are the main parameters that affect the flow properties in an open circuit wind tunnel. A schematic diagram of an open-circuit wind channel is provided in Fig. 1. The optimum area ratio of the contraction cone ( $A_1/A_2$ ) falls between 6 and 9 in wind tunnels [26]. The area ratio value of the wind tunnel design used in the current study is 8. The minimum diffuser length ( $L_D$ ) is a function of the inlet hydraulic radius ( $R_i$ ) and the diffuser angle ( $\theta$ ). Since the optimum total diffuser angle is  $6^\circ$ , a half angle of  $3^\circ$  is used in the present study. The optimum area ratio ( $A_3/A_2$ ) ranges

between 2 and 2.5; thus, the value of  $A_3/A_2$  chosen for the current study is 2. The relationship between diffuser length ( $L_D$ ), hydraulic radius ( $R_i$ ), optimum area ratio, and diffuser angle ( $\theta$ ) is given in Eq. 1.

$$L_D = R_i \frac{\sqrt{A_3/A_2 - 1}}{\tan(\theta)} \quad (1)$$

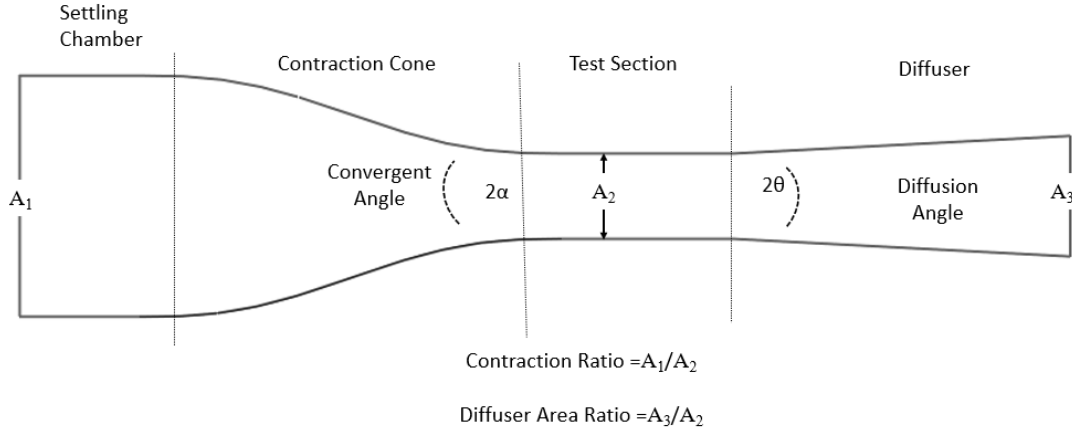


Figure 1. Schematic diagram of an open-circuit wind channel.

The 5<sup>th</sup> order polynomial proposed by Bell and Mehta [4] for the contraction cone curvature is given in Eq. 2, where  $h$  is height of contraction cone,  $H_i$  is the inlet height of contraction cone,  $H_o$  is the outlet height of contraction cone, and  $\xi$  is dimensionless length ( $X/\text{length}$ ).

$$h = (H_i - H_o) [-6\xi^5 + 15\xi^4 - 10\xi^3] + H_i \quad (2)$$

The study aimed to determine the optimum contraction cone length ( $L_{CC}$ ) according to the outlet velocity distribution of the contraction cone through CFD analysis. The design properties of the wind tunnel are provided in the Table 1.

Table 1. Design properties of wind tunnel

Parameter List	Value
Inlet hydraulic radius ( $R_i$ )	70.71 cm
Contraction ratio ( $A_1/A_2$ )	8
Contraction cone lengths ( $L_{CC}$ )	$R_i, 2R_i, 3R_i, 4R_i$
Contraction cone angle ( $2\alpha$ )	$2 \times 10.5^\circ$
Test section height X length	0.5 m X 1 m
Total diffuser angle ( $2\theta$ )	$6^\circ$
Area ratio of diffuser ( $A_3/A_2$ )	2
Diffuser length	197.59 cm

Fig. 2 displays the curves of the lower wall of the contraction cones obtained using the 5<sup>th</sup> order polynomial. Since the test length is set at 50 cm, the corresponding height of the

contraction cone is calculated as 45.71 cm. The length of the contraction cone is determined based on the inlet hydraulic radius ( $R_i$ ) and this value is 70.71 cm. During the design process of the computer-aided drawing of the wind tunnel section, the length of the settling chamber was set to  $R_i$  (70.71 cm), and the length of the test section was fixed at 50 cm.

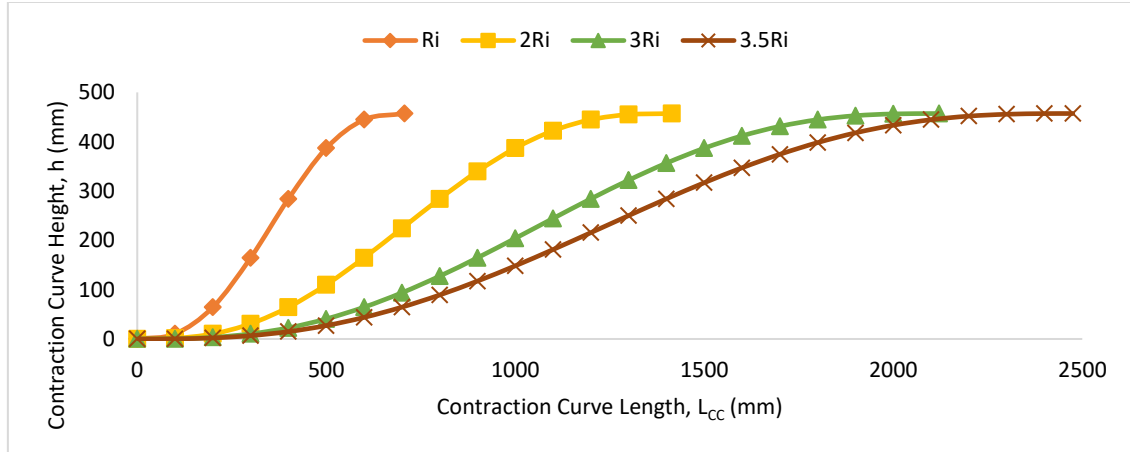


Figure 2. Contraction cone profiles with different lengths obtained with the 5<sup>th</sup> order polynomial proposed by Bell and Mehta [4].

ANSYS Fluent CFD package was used for numerical simulation, while the CFD-Post package was employed for monitoring of analysis results. The continuity equation and conservation momentum are the primary governing equations and the governing equation groups were discretized with second order scheme and SIMPLEC algorithm were used. The standard  $k-\epsilon$  turbulence model was selected to model turbulence in wind tunnels as it is widely used in such studies in the literature [7,12]. John et al. [27] were employed turbulence models such as the  $k-\epsilon$ ,  $k-\omega$ , RSM, SST  $k-\omega$ , and LES. Simulation outcomes reveal that the  $k-\epsilon$  model yields the lowest turbulence intensity. Therefore, in this study, this model was deemed more appropriate to work. The convergence criterion was set to  $1 \times 10^{-4}$ . The mass flow inlet boundary condition was applied for settling chamber inlet and mass flow outlet boundary condition was selected for diffuser outlet. The no slip condition was selected as boundary for walls. A grid independence test was performed considering the static pressure values. Mesh sensitivity test is given in Table 2. All quad mesh options with the fine (node numbers=1200X1200), medium mesh (900X900) and coarse (node numbers=600X600) mesh options were applied to a chosen profile ( $L_{cc}=3R_i$ ) and analyses were performed with the fine mesh option.

Table 2. Mesh sensitivity test.

	Coarse Mesh	Medium Mesh	Fine Mesh
Node Number	600X600	900X900	1200X1200
Static pressure at midline of outlet region of test section	-516.2 Pa	-514,1 Pa	-513.3 Pa
Change in result.	0.57%	0.15%	-

Recognizing that the mesh in the near-wall region strongly affects the wall shear, a higher density mesh near the tunnel walls was implemented. The consideration for the near-wall mesh ( $y^+$ ) ensured that the first cell adjacent to the contraction cone wall remained under 1.

### 3. Results

In the research findings of numerical analysis, static pressure and velocity distribution contours were obtained for four types of wind tunnels with different lengths of contraction cones. Static pressure distributions for contraction cones of different lengths are shown in Fig. 3. In the test section, the static pressure values decreased significantly and recovered in the diffuser section, but due to losses it reaches a value lower than initial value. An obvious difference was observed in static pressure changes in the vertical direction of outlet of contraction cone. In the first design ( $L_{CC}=R_i$ ) very low static pressure values are observed locally on the walls of the contraction cone for the and sudden pressure losses are partially observed in the second design ( $L_{CC}=2R_i$ ). A more uniform pressure distribution occurs in the 3<sup>rd</sup> ( $L_{CC}=3R_i$ ) and 4<sup>th</sup> ( $L_{CC}=3.5R_i$ ) design case. Average static pressure distribution values along the symmetry (mid-section) line are similar for the 3<sup>rd</sup> design ( $L_{CC}=3R_i$ ) and the 4<sup>th</sup> ( $L_{CC}=3.5R_i$ ).

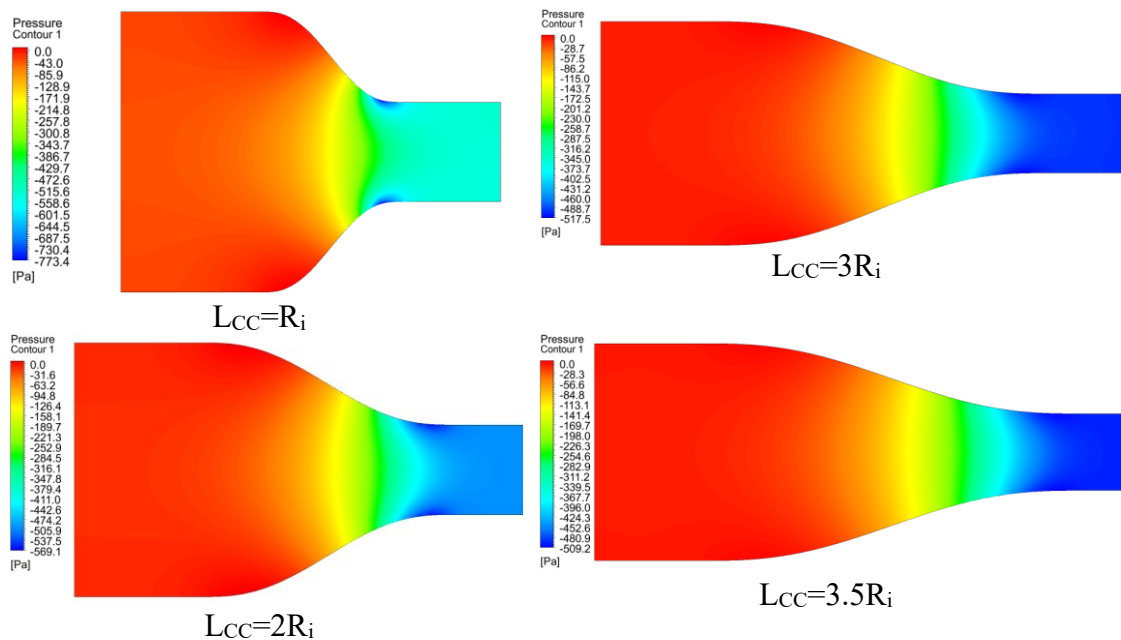


Figure 3. Static pressure distribution contours in contraction cones of different lengths

Velocity contours of contraction cones of different lengths are depicted in Fig. 4. Regarding velocity values, the highest velocity value is observed in the test section, while the velocity decreases slightly in the diffuser. Although the velocity magnitude values are not locally homogeneous in the first design, depending on the sudden pressure losses, it is possible to talk about a more uniform velocity distribution for the third design ( $L_{CC}=3R_i$ ) and fourth design ( $L_{CC}=3.5R_i$ ). The velocity magnitudes values are more regular at the outlet of the test section. However, the speed values are relatively more irregular at the exit of the contraction cone, specifically at the entrance of the test section.

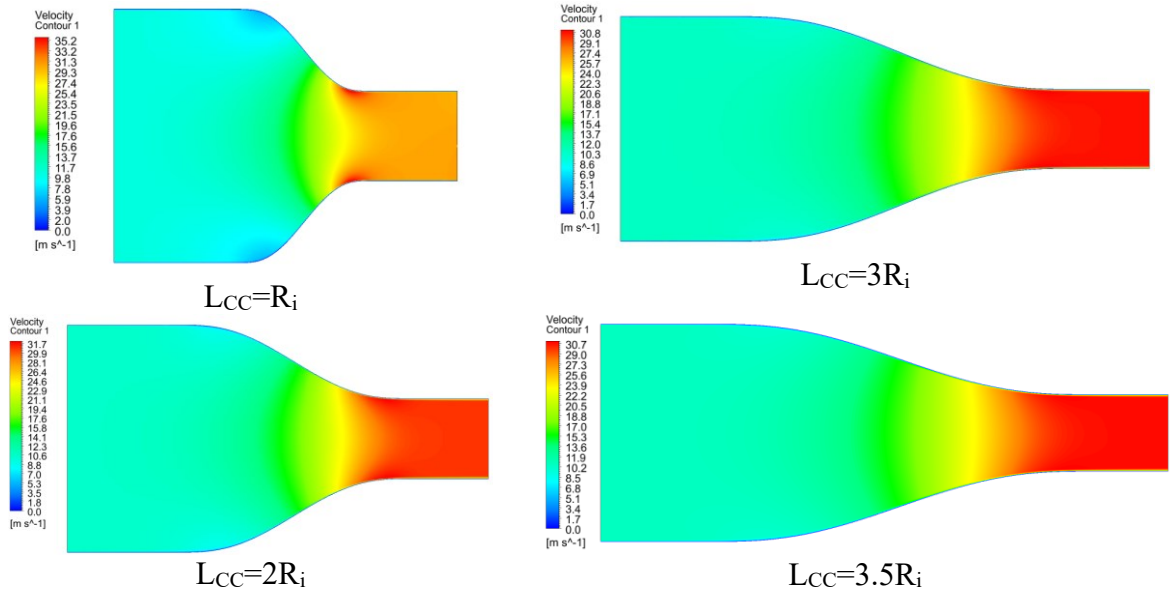


Figure 4. Velocity distribution contours in contraction cones of different lengths

Whether the optimum contraction cone length is advantageous can be questioned based on the uniformity of the velocity distributions at the outlet section of the contraction cone. The distribution of the velocity components taken from the vertical axis (Y axis) at the outlet section of the contraction cone of all cases is shown in Fig. 5. To discern the differences between the velocity values, the image is provided with zooming. It can be observed that the contraction cone with  $L_{CC}=3R_i$  and  $L_{CC}=3.5R_i$  provide more uniform flow pattern, considering the velocity inlet profile of the test section. The results presented in Fig. 5 align well with the findings from a study conducted by Arifuzzaman and Mashud, specifically involving a square contraction cone, as referenced by [14].

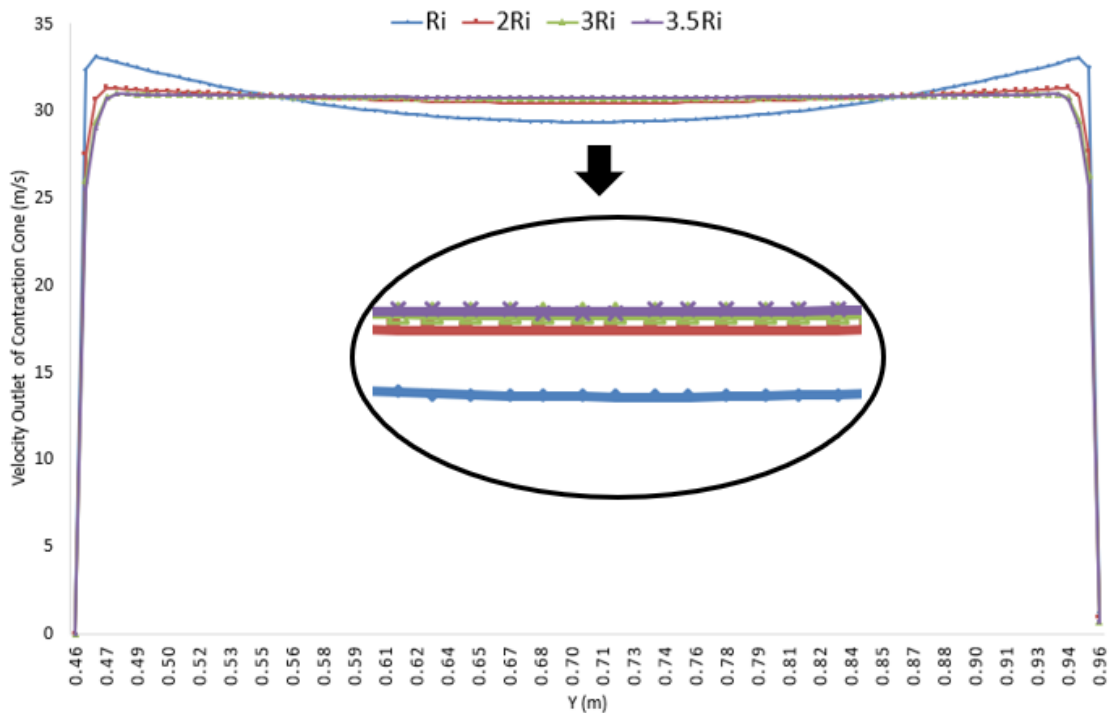


Figure 5. Outlet velocity profile of contraction cones with different lengths

Furthermore, the presence of a longer contraction curve mitigates the impact of wall shears caused by boundary layer growth. In fluid dynamics, as fluid moves along a surface, such as the walls of a conduit, a thin layer of fluid called the boundary layer forms [11]. This boundary layer can grow thicker as the flow progresses, leading to increased wall shears. However, with a longer contraction curve, the boundary layer growth is more gradual, resulting in a thinner boundary layer and reduced wall shears. According to the computational fluid dynamics (CFD) analysis results, it appears that a contraction length-to-diameter ratio of 3.5 times the radius of the inlet ( $L_{CC}=3.5R_i$ ) initially seems to offer the most favorable conditions. However, it is noted that this configuration suffers from a disadvantageous increase in wall shear due to the thicker boundary layer associated with its longer length. Therefore, despite its seemingly optimal flow characteristics, the  $L_{CC}=3.5R_i$  design is deemed less desirable due to the heightened wall shear. Consequently, the configuration with an  $L_{CC}$  of 2 times the radius of the inlet ( $L_{CC}=2R_i$ ), represented by a square contraction cone, emerges as the superior choice when considering both the effects of wall shear and flow uniformity in tandem. In summary, a longer contraction curve proves advantageous in minimizing flow disturbances and turbulence, as well as reducing the impact of wall shears caused by boundary layer growth. Despite initially appearing optimal, the design with the longest contraction curve is ultimately deemed less favorable due to increased wall shear, leading to the selection of a shorter contraction curve configuration for optimal flow uniformity and steadiness.

#### 4. Conclusion

In the study, numerical analyzes were performed for the design of the contraction cone with 4 different lengths in order to determine the optimum length of the contraction cone that provides smooth flow in test section of wind tunnels. The results present pressure and velocity distribution contours for the four design cases. The optimal geometry value is determined based on the criterion of achieving uniform velocity distributions at the outlet of the contraction cone. It was found that flow forms were not uniform in the contraction cones designed with  $L_{CC}=R_i$ . However, uniform flow forms were obtained in contraction cones designed with  $L_{CC}=2R_i$ ,  $L_{CC}=3 R_i$  and  $L_{CC}=3.5 R_i$ . Nonetheless, a longer contraction curve minimizes flow disturbances and turbulence, thereby enhancing flow uniformity and steadiness. However, the increase in wall shears due to boundary layer growth results in a thicker boundary layer. Therefore, the  $L_{CC}=2R_i$  configuration (square contraction cone) is considered the best choice, considering the combined effects of wall shear and flow uniformity.

#### Nomenclature

$A_1$	area of contraction cone inlet of wind tunnel
$A_2$	area of contraction cone outlet of wind tunnel
$A_3$	area of diffuser outlet of wind tunnel
$D$	inlet diameter of venturi tube
$d$	throat diameter of venturi tube
$H_i$	inlet height of contraction cone
$H_o$	inlet height of contraction cone
$L_{CC}$	contraction cone length
$L_D$	minimum diffuser length
$R_i$	inlet hydraulic radius



$y^+$	dimensionless near wall distance
$\alpha$	convergent angle
$\theta$	Diffuser angle
$\xi$	dimensionless length value of contraction cone

## References

- [1] Witoszynski, C., Votraege aus dem gebiet der hydro- und aerodynamik, aus Stroemungstechnisches Messwesen bei S.G. Popow, **VEB Verlag Technik** Berlin, (1960).
- [2] Li, H., Chen, C., Liu, B., & Zhang, L., Flow quality analysis of contraction section and test section of low-speed wind tunnel based on CFD numerical simulation. **Journal of Physics: Conference Series**, vol. 1176, no. 5, p. 052064. IOP Publishing, (2019).
- [3] Morel, T. Design of two-dimensional wind tunnel contractions. **ASME Journal of Fluids Engineering**, vol. 99, pp. 371-378, (1977).
- [4] Bell, J. H., and Mehta, R. D. Contraction Design for Small Low Speed Wind Tunnels. **NASA Contractor Rep. No. NASA-CR-177488**, (1988).
- [5] Zanoun, E. S. Flow characteristics in low-speed wind tunnel contractions: Simulation and testing. **Alexandria engineering journal**, vol. 57, no. 4, , pp. 2265-2277, (2018).
- [6] Lastra, M. R. et al. Novel design and experimental validation of a contraction nozzle for aerodynamic measurements in a subsonic wind tunnel. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, vol. 118, pp. 35-43, (2013).
- [7] Ahmed, D. E., & Eljack, E. M. Optimization of model wind-tunnel contraction using CFD. International Conference on Heat Transfer, **Fluid Mechanics and Thermodynamics**, (2014).
- [8] Hoghooghi, H., Ahmadabadi, M. N., & Manshadi, M. D. Optimization of a subsonic wind tunnel nozzle with low contraction ratio via ball-spine inverse design method. **Journal of mechanical science and technology**, vol. 30, no. 5, pp. 2059-2067, (2016).
- [9] Rouse, H. Cavitation-free inlets and contractions (Electrical analogy facilitates design problem). **Mech. Engng.**, vol. 71, pp. 213-416, (1949).
- [10] Sargison, J. E., Walker, G. J., & Rossi, R. Design and calibration of a wind tunnel with a two dimensional contraction., **15th Australasian Fluid Mechanics Conference**, The University of Sydney, Sydney, Australia, (2004).
- [11] Barlow, J. B., Rae, W. H., & Pope, A. Low-speed wind tunnel testing. **John Wiley & Sons**, (1999).
- [12] Doolan, C. J. Numerical evaluation of contemporary low-speed wind tunnel contraction designs., **J. Fluids Eng.** (2007).
- [13] Ramaeshan, S., Ramaswamy, M.A. A rational method to choose optimum design for two dimensional contractions. **ASME Journal of Fluids Engineering**, vol. 124, pp. 544-546, (2002).
- [14] Arifuzzaman, M., & Mashud, M. Design construction and performance test of a low cost subsonic wind tunnel. **IOSR Journal of Engineering**, vol. 2, no. 10, pp. 83-92, (2012).
- [15] Mikhail, M. N. Optimum design of wind tunnel contractions. **AIAA journal**, vol. 17, no. 5, pp. 471-477, (1979).

- [16] Fang, F. M., Chen, J. C., & Hong, Y. T. Experimental and analytical evaluation of flow in a square-to-square wind tunnel contraction. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, vol. 89, no. 3-4, pp. 247-262, (2001).
- [17] Liu, J. S. Numerical Simulation and Optimization of Small low-speed Wind Tunnel Contraction flow. **Applied Mechanics and Materials**, vol. 733, pp. 595-598. Trans Tech Publications Ltd., (2015).
- [18] Callan, J., & Marusic, I. Effects of changing aspect ratio through a wind-tunnel contraction. **AIAA journal**, vol. 39, no. 9, pp. 1800-1803, (2001).
- [19] Mikel, Russell, ed. Wind Tunnels: Models, Aerodynamics and Applications. **Clanrye International**, (2015).
- [20] Javed, K., & Ali, M., Design & Construction of subsonic wind Tunnel focusing on two-dimensional contraction cone profile using sixth order polynomial., **Scientific Cooperations International Workshops on Engineering Branches**,(2014)
- [21] Passmann, M., Reinker, F., Hasselmann, K., aus der Wiesche, S., & Joos, F., Development and Design of a Two-Stage Contraction Zone and Test Section of an Organic Rankine Cycle Wind Tunnel. In Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air (Vol. 49743, p. V003T25A006). **American Society of Mechanical Engineers**, (2016).
- [22] Lakshman, R., and Ranjan Basak. Analysis of transformed fifth order polynomial curve for the contraction of wind tunnel by using OpenFOAM. **IOP conference series: materials science and engineering**. Vol. 377. No. 1. (2018).
- [23] Ismail, J., et al. Optimization Design of Open Circuit Wind Tunnel Suction Type. **Int. J. Mech. Mechatronics Eng** 17.06 121. (2017).
- [24] Abdelhamed, A. S., Y. El-S. Yassen, and M. M. ElSakka. Design optimization of three dimensional geometry of wind tunnel contraction. **Ain Shams Engineering Journal**. 6,1. 281-288. (2015).
- [25] Hasselmann, Karsten, et al. Numerical optimization of a piece-wise conical contraction zone of a high-pressure wind tunnel. **American Society of Mechanical Engineers**, Vol. 57212. 2015.
- [26] Bradshaw, P., Pankhurst, R. C., The design of low-speed wind tunnels. **Progress in Aerospace Sciences**, 5, 1-69, (1964).
- [27] John, Johanis, İsmail.İ., Pane E. Computational fluid dynamics simulation of the turbulence models in the tested section on wind tunnel. **Ain Shams Engineering Journal** 11.4 1201-1209. (2020).

# Kompozit levhaların mekanik özelliklerindeki değişkenliği üzerinde üretim prosesi ve malzeme parametrelerinin etkisinin incelenmesi

Raif SAKİN<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Balıkesir Üniversitesi, Edremit Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Makina Programı, Tuzcumurat Mah. Yaylaönü Cad. 10300, Edremit, Balıkesir

<sup>2</sup>Balıkesir Üniversitesi, Kompozit Araştırma Eğitim-Simülasyon Uygulama ve Araştırma Merkezi, Makine Mühendisliği Bölüm Laboratuvarı, Çağış yerleşkesi, 10145, Altıeylül, Balıkesir

Geliş Tarihi (Received Date): 30.03.2024

Kabul Tarihi (Accepted Date): 25.04.2024

## Öz

Bu çalışmada reçine transfer kalıplama (RTM) yöntemiyle üretilen kompozit levhaların mekanik özelliklerindeki değişkenliğinde proses ve malzeme parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, kompozit levhaların üretimi için bir RTM prosesinden yararlanılmıştır. Proseste kullanılan kalıp, ısıtmalı, tam kapalı, tek veya çift noktadan enjeksiyon uygulanabilen metal bir kalıp olup vakum desteği sayesinde kalıp içindeki hava proses süresince boşaltılabilmektedir. Çalışmada kullanılan proses parametreleri ise enjeksiyon basıncı, kürleme basıncı, enjeksiyon nokta sayısı ve ortam sıcaklığıdır. Kompozit plaka imalatı için matris olarak düşük viskoziteli ticari bir polyester reçine, fiber olarak ise 500 g/m<sup>2</sup>'lik iki-yönlü cam-dokuma kumaş kullanılmıştır. Proses sonunda kalıptan her biri 6 tabakalı, 0.5×0.5 m boyutlarında, farklı kalınlık ve fiber hacimlerinde toplam 10 adet kompozit levha üretilmiştir. Levhalardan 0°/90°, 15°/75°, 30°/60° ve 45°/45° fiber oryantasyonlarında standartlara uygun numuneler kesilmiştir. Numuneler, mekanik özelliklerini belirlemek için çekme ve eğme testlerine tabi tutulmuştur. Toplam 367 adet numune test edilmiş ve elde edilen veriler SPSS-24 yazılımıyla istatistik olarak analiz edilmiştir. Mekanik özelliklerin, enjeksiyon basıncı, enjeksiyon nokta sayısı ve ortam sıcaklığı gibi proses parametreleri ile fiber oryantasyonu ve levha kalınlığı gibi malzeme parametrelerinden etkilendiği tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Cam-dokuma kumaş, kompozit levha üretimi, mekanik özellikler, proses ve malzeme parametreleri

\* Raif SAKİN, rsakin@balikesir.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-6009-9573>

# Investigation of the effect of production process and material parameters on the variability of mechanical properties of composite sheets

## Abstract

*This study investigated the effect of process and material parameters on the variability of mechanical properties of composite sheets produced by resin transfer molding. For this purpose, an RTM process was utilized for the production of composite sheets. The mold used in the process is a heated, fully closed metal mold that can be used for single or double point injection, and thanks to the vacuum support, the air in the mold can be evacuated during the process. The process parameters used in the study were injection pressure, curing pressure, number of injection points and ambient temperature. The composite sheets were fabricated using low-viscosity commercial polyester resin as the matrix and bidirectional woven-glass fabric of 500 g/m<sup>2</sup> as the fiber. A total of 10 composite sheets which have six layers, 0.5×0.5 m in size and of various thicknesses and fiber volumes, were produced at the end of the process. Standard test specimens were cut from the sheets at 0°/90°, 15°/75°, 30°/60° and 45°/45° fiber orientations. The specimens were subjected to tensile and flexural tests to determine their mechanical properties. SPSS-24 software was used to statistically analyze the data from a total of 367 samples. Mechanical properties are influenced by process and material parameters such as injection pressure, number of injection points, ambient temperature, fiber orientation and sheet thickness, respectively.*

**Keywords:** *Woven-glass fabric, production of composite sheet, mechanical properties, process and material parameters*

## 1. Giriş

Birçok polimer matrisli kompozit malzeme, genelde daha yüksek özgül mukavemet (mukavemet/ağırlık) ve mükemmel korozyon dirençleri göz önüne alındığında; kara, hava ve deniz araçları ile inşaat uygulamalarında metaller dâhil birçok malzemeden daha fazla popülerlik kazanmıştır. Ayrıca, oldukça geniş bir malzeme seçeneği ve üretim kolaylığı da polimer matrisli kompozitleri mühendislik uygulamaları için ideal hale getirmiştir [1-3]. Bu grubun içinde yer alan elyaf takviyeli polimer kompozitler (FRP) ise yüksek mekanik özellikleri, kontrol edilebilir elektrik iletkenliği ve düşük termal genleşme katsayısı, iyi yorulma direnci ve karmaşık şekilli malzemelerin üretimi için uygunluk gibi birçok mükemmel özelliğe sahiptir. Bu olumlu özellikleri sayesinde, FRP'ler birçok uygulamada ahşap, plastik veya metaller gibi geleneksel yapısal malzemelerin alternatifi haline gelmiştir. Özellikle cam elyafı hafif ve dayanımı yüksek bir malzemedir. Mukavemet özellikleri karbon elyafından biraz daha düşük olsa da, cam elyafı tipik olarak çok daha az kırılmandır ve daha ucuzdur. Cam-dokuma kumaş takviyeli polimer kompozitler (GFRP) ise, bu özelliklerin iyi bir kombinasyonu olmaları nedeniyle özellikle otomotiv ve uçak endüstrilerinde, savunma, uzay ve deniz araçlarında kullanılmaktadır [1, 3-5]. Ancak bütün bu olumlu özelliklerine rağmen genel olarak FRP'ler anizotropik ve heterojen yapılarından dolayı mekanik özellikleri oldukça fazla değişkenlik göstermektedir [6]. Örneğin; 0°/90° fiber oryantasyonuna sahip iki-yönlü

dokuma kumaş takviyeli kompozit bir bileşenin yapısındaki fiberlerin oryantasyonu  $\pm 45^\circ$  döndürülerek test edildiğinde, ilgili parçanın nihai çekme mukavemetinin %67-71 düzeyine azaldığı görülmüştür [7, 8]. Mekanik özelliklerdeki bu ciddi değişkenlik sadece fiber oryantasyonu gibi malzeme parametresiyle değil aynı zamanda, sıcaklık ile nem gibi çevre şartlarıyla ve kompozit üretim proses parametreleriyle de ilgilidir [9-12]. Bazı çalışmalarda malzeme parametresi olarak fiber tipi ve tabaka sayısı, proses parametreleri olarak ise belirli bir basınçta reçine enjeksiyonu sağlayan pistonun strok boyu, enjeksiyon basıncı, enjeksiyon noktasının kalıptaki yeri (merkez veya köşede gibi) ve kalıp sıcaklığı gibi farklı parametrelerin üretilen kompozit parçanın mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır [13]. Bu çalışma kapsamında olan ve Reçine transfer kalıplama yöntemiyle imal edilen cam-dokuma kumaş takviyeli polimer kompozitlerin mekanik özellikleri de birçok faktörden etkilenmektedir. Örneğin kullanılan reçinenin cinsi ve viskozitesi, dokumanın örgü tipi, kumaş geometrisi, elyaf hacim oranı, laminat konfigürasyonu, laminat içinde kalan hava boşluğu miktarı ve dokuma kumaşın birim alan yoğunluğu ( $\text{g/m}^2$ ) da önemli bazı malzeme parametrelerindedir [1, 11, 14]. Global olarak imalat endüstrilerindeki hızlı büyüme, malzemelerin mukavemet, rijitlik, özgül mukavemet ve daha düşük maliyetle daha iyi sürdürülebilirlik açısından iyileştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. En başta karbon (CFRP) ve cam (GFRP) gibi elyaflarla takviyeli polimer kompozitler ise günümüzde birçok sektöre hizmet eden ve mekanik özellikleri bu tür iyileştirmelere uygun malzemeler olarak ortaya çıkmıştır [3]. Mevcut literatürde olduğu gibi bu çalışma kapsamında ve muhtemelen gelecek çalışmalarda da FRP'lerin fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyen faktörleri anlama ve amaca göre iyileştirme çabaları devam edecek gibi görünüyor. Bu çalışmada ise reçine transfer kalıplama yöntemiyle üretilen kompozit levhaların çekme ve üç nokta eğilme gibi temel mekanik özelliklerindeki değişkenliğinde proses ve malzeme parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışma sonuçları istatistiksel olarak yorumlanarak literatüre katkı sağlamaya çalışılmıştır.

## 2. Malzeme ve metot

### 2.1. Cam-dokuma elyaf takviyeli kompozit (GFRP) levha üretimi

Bu çalışmada, GFRP levhaların üretimi için  $500 \text{ g/m}^2$  birim alan ağırlığına sahip E-camı dokuma fitil (WR) tipinde elyaflar kullanılmıştır. WR elyaflar Fibroteks A.Ş. tarafından üretilmiş iki eksenli cam-dokuma kumaşlardır. Reçine enjeksiyonu için Poliya A.Ş. tarafından üretilen RTM tipi düşük viskoziteli (300 Cp) ortoftalik polyester reçine (Polipol™ 336) ile metil etil keton peroksit (MEKP) ve kobalt naftenat (CoNa) katalizörleri kullanılmıştır. Tablo 1'de kompozit levha imalatında kullanılan fiber, matris ve katalizörlerin detayları görülmektedir.

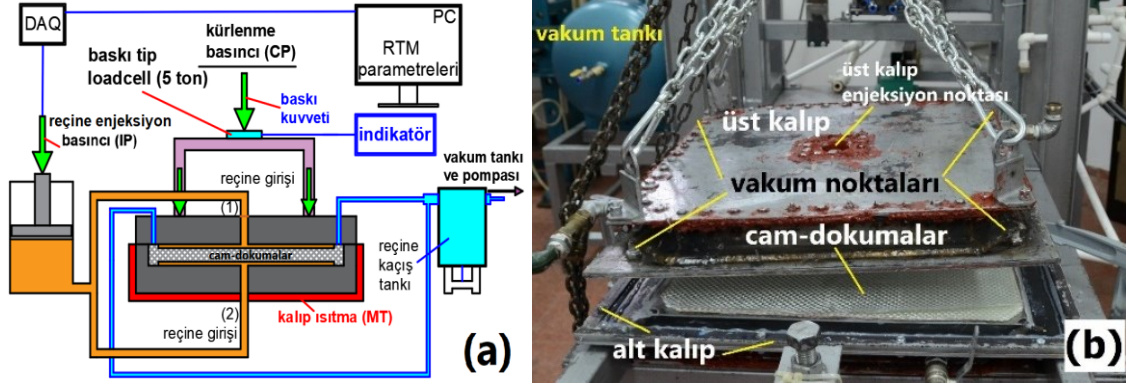
Tablo 1. GFRP levha bileşenleri ve özellikleri [15, 16]

Matris (reçine)	Fiber (WR elyaf)
Özgül ağırlık ( $\rho_m$ )=1.094 $\text{g/cm}^3$	E-camı dokuma
Çekme dayanımı=64 MPa	Özgül ağırlık ( $\rho_f$ )=2.54 $\text{g/cm}^3$
Elastisite modülü=2.8 GPa	Lif çapı=12–17 $\mu\text{m}$
Eğilme dayanımı=113 MPa	Çekme dayanımı=2306 MPa
Eğilme modülü=3.1 GPa	Elastisite modülü=72.4–81.5 GPa
Poisson oranı=0.36	Poisson oranı=0.22
Maks. deformasyon=%2.8 (çekme), %4.3 (eğilme)	Maks. deformasyon =%2.97 (çekme)
Sertleştirici	Hızlandırıcı
matris hacminin %0.5'i kadar MEKP	matris hacminin %0.1'i kadar CoNa

RTM, elyaf takviyeli kompozit parçaların üretimi için çok yönlü bir prosestir. Tipik bir RTM prosesiyle kompozit parça üretimindeki işlem sırası şu şekildedir: a) alt kalıp boşluğuna elyafların yerleştirilmesi, b) üst kalıp kapatılarak tam-kapalı bir kalıp sistemi oluşturulması, c) düşük viskoziteli reaktif bir reçinenin kapalı kalıba belirli bir basınçla enjekte edilmesi, d) kalıptaki parçanın belirli bir sıcaklık ve sürede kürleme işlemine tabii tutulması ve e) kalıp açılarak üretilen kompozit parçanın çıkarmasıdır. RTM'de, üretilen kompozit parçanın kalitesini etkileyen birçok proses parametresi vardır. Bunlardan bazı önemlileri; reçine enjeksiyon basıncı, kalıp sıcaklığı, reçine giriş ve tahliye noktalarının konumu, elyaf hacim oranı ve yapısı, vakum uygulaması ve kürleme işlemi olarak sayılabilir [17].

Literatürde, RTM prosesinde farklı parametreler kullanılarak iyi ıslanma ve RTM parametrelerinin levha kalitesi üzerine etkisi gibi bazı deneysel çalışmalar yapılmıştır [18, 19]. Ancak bu çalışmanın amacı; reçine enjeksiyon basıncı (IP), enjeksiyon nokta sayısı (NIP) ve kürleme basıncı (CP) gibi proses parametrelerine ilaveten ortam sıcaklığı (AT) gibi çevre faktörü ile fiber oryantasyonu (FO) ve levha kalınlığı (ST) gibi malzeme parametrelerinin levhaların mekanik özelliklerindeki değişkenliği üzerindeki etkisini araştırmaktır. Bu amaçla Şekil 1(a) ve (b)'de görülen, ısıtmalı, vakumlu, gövde çelik, içi krom saçtan yapılmış rijit bir RTM prosesinden yararlanılmıştır. Şekil 1(a)'da görüldüğü gibi reçine enjeksiyonu, kalıba sadece üstten (1) veya aynı anda hem üst hem alttan (2) olarak iki farklı noktadan (NIP) uygulanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Kalıp içindeki cam-dokumalar arasında sıkışabilecek hava boşluklarını gidermek için enjeksiyona başlamadan önce kalıp köşelerinden -0.95 bar basınçla vakum uygulanmıştır. Şekil 2(b)'de görüldüğü gibi iki-yönlü cam-dokuma elyaflar kalıp boşluğuna altı kat olacak şekilde ve  $[0^{\circ}/90^{\circ}]_6$  diziliminde simetrik olarak yerleştirilmiştir. Daha sonra, alt ve üst kalıplar sızdırmazlık sağlanarak kapatılmıştır. Kalıp, ortalama 45 °C ısıtılmış ve her bir levhanın imalatı esnasındaki laboratuvar ortam sıcaklıkları (AT) dijital bir sıcaklık ölçerle ile ölçülerek ve kaydedilmiştir. Tablo 2'deki sıcaklık değerleri, her bir levhanın imalat aşamasında ortalama 112 dakikalık reçine transferi süresince ölçülen ortam sıcaklıklarıdır. Çalışma kış döneminde yapıldığı için ortam sıcaklıkları oda sıcaklığından (20 °C) daha düşüktür. Ortam sıcaklığının reçine viskozitesi üzerinde etkisi olduğundan el yatırması, vakum infüzyon ve RTM gibi proseslerde etkili bir parametredir [20]. Hatta literatürdeki bazı çalışmalarda kompozit üretimine başlamadan önce reçineye "ön ısıtma" gibi işlemler uygulanmaktadır [21].

Bu çalışmada reçine, RTM'ye uygun düşük viskoziteli ve amaca yönelik bir polyeester olduğundan ön ısıtma yapılmadan ortam sıcaklığında enjeksiyona hazır hale getirilmiştir. Enjeksiyon sonunda, metal kalıba üstten 132–136 kPa'lık aralığında farklı kürleme basınçları (CP) uygulanmıştır. Daha sonra levhalar, sıcak kalıp içinde ve sabit basınç altında 22–48 saat aralığında kürlemeye tabii tutulmuştur. Böylece Tablo 2'de verilen farklı proses ve malzeme parametreleri kullanılarak 0.5×0.5 m boyutlarında toplam 10 adet kompozit levha üretilmiştir. Tablo 2'de görüldüğü gibi her levha, farklı kalınlık ve farklı fiber hacmine sahiptir.



Şekil 1. a) RTM proses şematığı, b) cam-dokumaların yerleştirilmesi ve kalıbın kapanışı

Her bir levha için kullanılan cam-dokuma katmanı altı adet olup, % olarak fiber hacim oranları (VF) denklem (1)'de verildiği gibi hesaplanmıştır [22].

$$VF = \frac{n A_w}{\rho_f t} 100 \quad (1)$$

Burada,  $n$ : katman sayısı (adet),  $A_w$ : bir katmandaki cam-dokumanın alansal ağırlığı ( $\text{kg/m}^2$ ),  $\rho_f$ : fiberlerin özgül ağırlığı ( $\text{kg/m}^3$ ) ve  $t$ : kalıptan çıkan levhanın kalınlığıdır

(m).

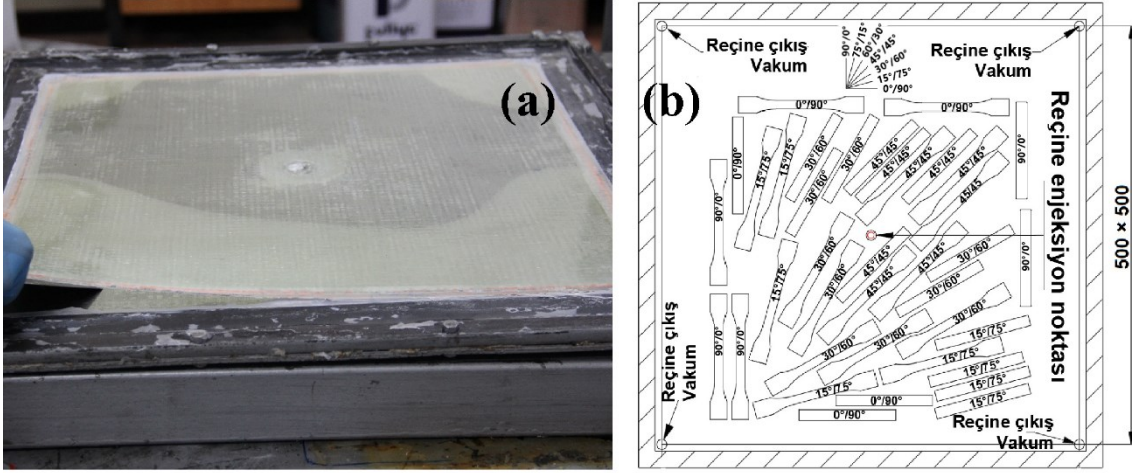
Tablo 2. Proses ve malzeme parametreleri ( $N=367$  adet veri)

Parametre, kısaltma (birim)	Levha no									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Enjeksiyon basıncı, IP (bar)	2.39	1.67	2.64	5.50	3.46	4.76	4.83	3.47	4.90	5.08
Enjeksiyon noktası, NIP (adet)	2	2	2	1	2	1	2	2	1	1
Kürleme basıncı, CP (kPa)	136	134	136	132	133	133	135	134	132	130
Ortam sıcaklığı, AT ( $^{\circ}\text{C}$ )	18.8	19.1	19.8	13.5	16.3	15.7	15.3	15.5	18.0	16.0
Fiber hacmi, VF (%)	44.3	44.0	43.9	42.8	41.7	41.6	41.2	40.5	38.1	37.2
Ort. levha kalınlığı, ST (mm)	2.71	2.73	2.73	2.81	2.87	2.87	2.93	2.97	3.13	3.22
Veri sayısı (N)	38	38	38	38	38	36	31	35	38	37

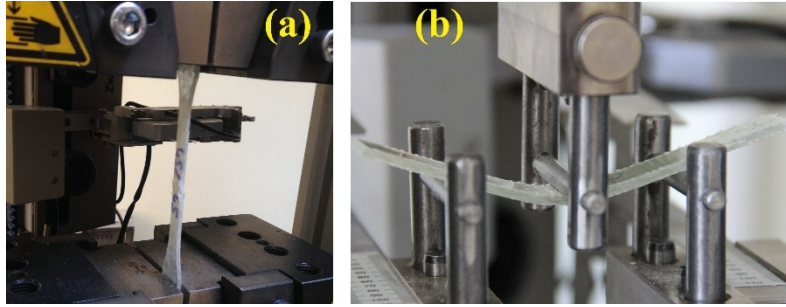
### 2.3. Çekme ve üç noktadan eğme testleri

Bu çalışmada üretilen kompozit levhalar, kürleme süresi sonunda Şekil 2(a)'da görüldüğü gibi kalıptan çıkarılmıştır. Kürlenmiş levhalardan  $\text{Ø}1.5$  mm kesici takımla CNC router ile Şekil 2(b)'de görüldüğü gibi  $0^{\circ}/90^{\circ}$ ,  $15^{\circ}/75^{\circ}$ ,  $30^{\circ}/60^{\circ}$  ve  $45^{\circ}/45^{\circ}$  yönlerinde, EN-ISO-527-4 standardına uygun olarak çekme numuneleri ( $20 \times 150$  mm) ve ASTM-D7264/D7264M standardına uygun olarak ise eğme numuneleri ( $13 \times 115$  mm) kesilmiştir [23, 24]. Şekil 3'de görüldüğü gibi toplam 367 adet numune çekme ve üç-noktadan eğme testlerine tabii tutularak sırasıyla; maksimum çekme mukavemeti ( $\sigma_{tu}$ ), elastisite modülü ( $E_t$ ), maksimum çekme deformasyonu ( $\epsilon_t$ ), maksimum eğilme mukavemeti ( $\sigma_{fu}$ ), eğilme modülü ( $E_f$ ) ve maksimum eğilme deformasyonu ( $\epsilon_f$ ) gibi mekanik özellikler elde edilmiştir. Çekme ve eğme testleri Zwick Roell Z250 (250 kN) marka test cihazı ile

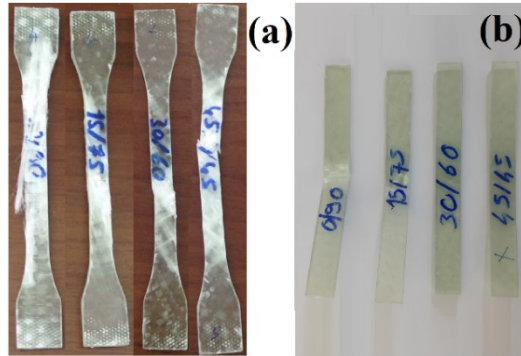
standartlara uygun olarak oda sıcaklığında ve 1 mm/dak hızda gerçekleştirilmiştir. Şekil 4'de ise hasara uğrayan bazı numuneler görülmektedir.



Şekil 2. a) levhanın alt kalıptan çıkarılışı, b) numunelerin kesim yönleri



Şekil 3. a) çekme ve b) üç noktadan eğme testi



Şekil 4. (a) çekme ve (b) eğilme testi sonucu hasarına uğrayan bazı numuneler

#### 2.4. İstatistik analizler

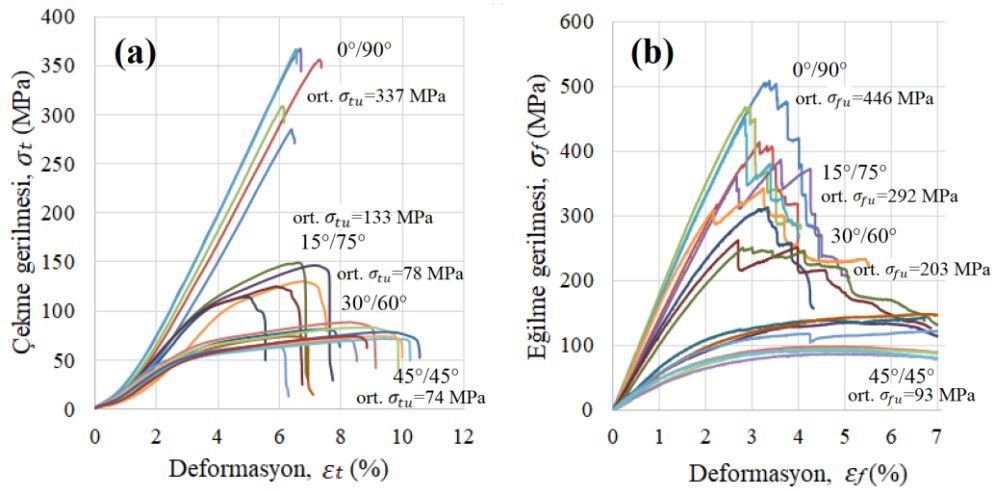
İstatiksel değerlendirmeye geçmeden önce bütün veriler “normallik ve varyansın homojenliği” açısından test edilmiştir. Mekanik özelliklerin proses ve malzeme parametreleriyle arasındaki iki yönlü ilişkilerin anlaşılabilmesi için önce Pearson korelasyon analizleri yapılmıştır. Daha sonra, istatistiksel olarak en etkili parametreler ile mekanik özellikler arasındaki regresyon denklemlerinin eldesi için Stepwise metodu ile çoklu regresyon analizleri yapılmıştır. Ayrıca, mekanik özelliklerdeki değişkenliği



sayısal olarak daha iyi anlayabilmek için mekanik özellikler ile onları en fazla etkileyen parametreler arasında üçlü kontur grafikleri çizilmiştir. Çekme testleri için 180 ve eğilme testleri için ise 187 adet veri analiz edilmiş olup çalışmada adı geçen istatistiksel analizler SPSS-24 yazılımı ile yapılmıştır.

### 3. Sonuçlar ve tartışma

Öncelikle, dört adet proses (IP, NIP, CP, AT) ve üç adet malzeme (ST, VF, FO) parametreleri ile altı adet mekanik özelliklere ( $\sigma_{tu}$ ,  $E_t$ ,  $\varepsilon_t$ ,  $\sigma_{fu}$ ,  $E_f$ ,  $\varepsilon_f$ ) ait veriler için normallik testleri yapılmıştır. Bütün verilerin çarpıklık (Skewness) ve basıklık (Kurtosis) değerleri -2 ile +2 aralığında olduğundan verilerin normal dağıldığı varsayılmıştır [25].



Şekil 5. Mukavemetleri en yüksek numunelere ait (a) çekme gerilmesi-deformasyon ve (b) eğilme gerilmesi-deformasyon eğrileri

Şekil 5(a) ve (b)'de hem çekme hem de eğilme mukavemeti ortalaması en yüksek seviyede elde edilen 1-nolu levhadan elde edilen numunelerin gerilme-deformasyon eğrileri görülmektedir. Tablo 2'deki parametrelere göre; enjeksiyon basıncı ve levha kalınlığı en düşük, fiber hacmi ve kütleme basıncı ise en yüksek seviyede olan numuneler 1-nolu levhadan elde edilmiştir. Özellikle fiber oryantasyonlarına göre mekanik özelliklerindeki değişim net görülmektedir. Kompozit laminatların anizotropik yapısı gereği doğal olarak mukavemet ve modül değerleri 0°/90° yönlerde en yüksek, 45°/45° yönlerde ise en düşük seviyededir. Farklı olarak, fiber oryantasyonu 0°/90° dan 45°/45°'e doğru değiştikçe deformasyon miktarlarının da arttığı görülmektedir. Hatta Şekil 4(c)'de görüldüğü gibi 45°/45° fiber oryantasyonundaki bazı numunelerin çok fazla deformasyona uğradığı, hasar gördüğü ancak nihai olarak kırılmadığı gözlenmiştir. 0°/90° fiber oryantasyonuna sahip numunelerin ortalama deformasyonlar ise en düşük seviyededir.

#### 3.1. Mekanik özellikler ve parametreler arasındaki ilişkiler

Mekanik özelliklerle parametreler arasındaki ikili ilişkilere ait korelasyon değerleri Tablo 3'de verilmiştir. Tablodaki bu rakamlar Pearson korelasyon katsayılarını ( $r$ ) göstermektedir. İki değişken arasında hesaplanan korelasyon katsayısının ( $r$ ) yorumu şöyledir:  $r < 0.20$  ve sıfıra yakın değerler ilişkinin olmadığı yada çok zayıf ilişkiyi,  $r = 0.21 - 0.40$  arasında ise zayıf ilişkiyi,  $r = 0.41 - 0.60$  arasında ise orta düzeyde ilişkiyi,  $r = 0.61 - 0.80$  arasında ise yüksek düzeyde ilişkiyi ve  $r = 0.81 - 1.0$  ise çok yüksek ilişkiyi ifade eder

[26]. Ayrıca korelasyon katsayılarının önündeki işarete bakarak mekanik özellikleri hangi yönde (pozitif veya negatif) etkiledikleri anlaşılabilir. Parametreler ile ilişkili olarak mekanik özelliklere ait test verilerinin saçılımına en uygun lineer regresyon denklemleri çıkarılmıştır (Tablo 4). Daha sonra Şekil 6’da, mekanik özellikler üzerinde etkili olan parametrelerin etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi adına için kontur grafikler çizilmiştir.

Tablo 3. Mekanik özellikler ile parametreler arasındaki iki yönlü korelasyon katsayıları

	IP (bar)	NIP (adet)	CP (kPa)	AT (°C)	VF (%)	ST (mm)	FO (°)
$\sigma_{tu}$ (MPa)	-0.153*	0.129	0.156*	0.149*	0.136	0.089	-0.841**
$E_t$ (MPa)	-0.071	0.145	0.062	0.042	0.059	0.063	-0.813**
$\varepsilon_t$ (%)	-0.576**	0.569**	0.568**	0.485**	0.399**	-0.215**	0.440**
$\sigma_{fu}$ (MPa)	-0.118	0.119	0.115	0.113	0.036	-0.391**	-0.897**
$E_f$ (MPa)	-0.024	0.034	0.057	0.023	0.058	-0.433**	-0.898**
$\varepsilon_f$ (%)	-0.153*	0.087	0.136	0.175*	0.038	0.195**	0.670**

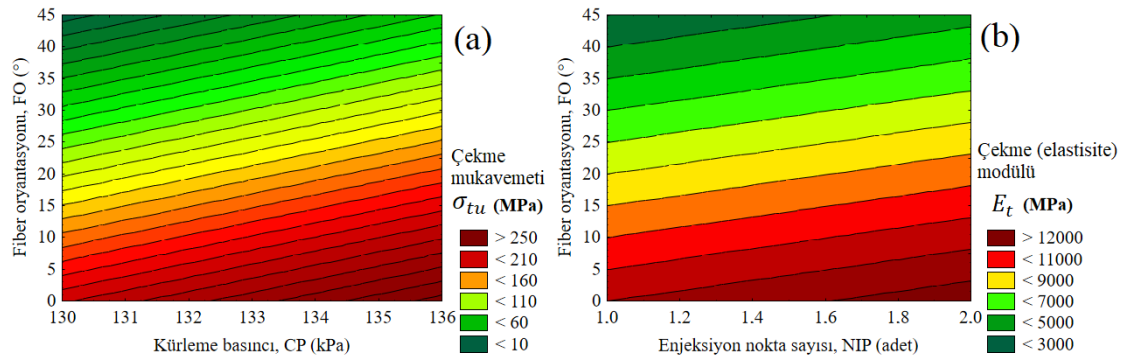
\*\*Pearson korelasyonu  $P < 0.01$  düzeyinde ve \* $P < 0.05$  düzeyinde anlamlıdır (2-yönlü). IP (bar): enjeksiyon basıncı, NIP (adet): enjeksiyon noktası sayısı, CP (kPa): kürlenme basıncı, AT (°C): ortam sıcaklığı, VF (%): fiber hacmi, ST (mm): plaka kalınlığı, FO (°): fiber oryantasyonu.

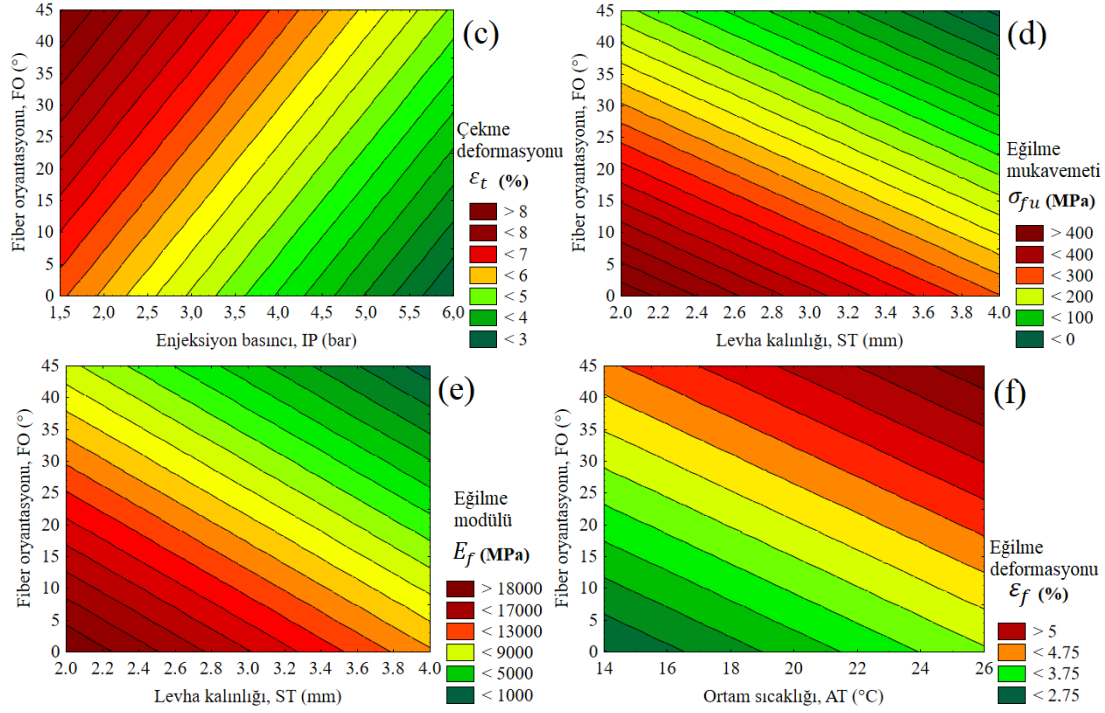
Her ne kadar Tablo 3’deki korelasyonlarda bazı mekanik özellikleri fazlaca etkileyen parametreler olduğu görülse de esasen çoklu regresyon analizinde hepsinin aynı anda ilgili lineer regresyon denklemlerine girecek kadar etkili olmadığı anlaşılabilir. Örneğin ilk bakışta Tablo 3’deki ikili ilişkilere göre;  $\varepsilon_t$ ’nin sırasıyla 7 adet parametreden de pozitif veya negatif yönde, zayıf, orta veya yüksek düzeyde etkilendiği (\*\*) görülmektedir. Buna rağmen, Tablo 4’deki çoklu regresyon analizine göre anlamlı olup denklemlerde yerini alan etkili parametrelerin sadece FO, NIP ve IP olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 4. Mekanik özellikleri ile parametreler arasındaki regresyon denklemleri

Mekanik özellikler	Regresyon denklemleri*	df (reg)	df (top)
Çekme mukavemeti (MPa)	$\sigma_{tu} = 237 - 4.39 \text{ FO}$	1	179
Çekme modülü (MPa)	$E_t = 10363 - 195.1 \text{ FO} + 1521 \text{ NIP}$	2	179
Çekme deformasyonu (%)	$\varepsilon_t = 5.281 + 0.042 \text{ FO} + 0.785 \text{ NIP} - 0.498 \text{ IP}$	3	179
Eğilme mukavemeti (MPa)	$\sigma_{fu} = 625 - 6.434 \text{ FO} - 85.01 \text{ ST}$	2	183
Eğilme modülü (MPa)	$E_f = 26075 - 241.2 \text{ FO} - 3617 \text{ ST}$	2	183
Eğilme deformasyonu (%)	$\varepsilon_f = 1.297 - 0.046 \text{ FO} + 0.095 \text{ AT}$	2	181

\* Regresyon denklemleri birkaç uç değer çıkarılarak elde edilmiştir ve  $P < 0.01$  düzeyinde anlamlıdır. Sınır şartlar:  $0 \leq \text{FO} \leq 45$ ,  $1 \leq \text{NIP} \leq 2$ ,  $1.67 \leq \text{IP} \leq 5.5$ ,  $2.21 \leq \text{ST} \leq 3.86$





Şekil 6. Mekanik özellikler üzerinde en etkili olan parametreler için kontur grafikler

Tablo 3'deki korelasyon ve Tablo 4'deki çoklu lineer regresyon sonuçları ile birlikte Şekil 6'daki kontur grafikleri aynı anda analiz edildiğinde, mekanik özelliklerin değişkenliği üzerindeki en etkili olan FO, CP, NIP, IP, ST ve AT parametreleri aşağıdaki şekilde yorumlanmıştır.

### 3.1.1. Fiber oryantasyonunun (FO) etkisi

Dokuma-kumaş elyaf kullanılan polimer kompozitlerde fiber oryantasyonu  $0^\circ/90^\circ$  den  $45^\circ/45^\circ$  doğru değiştikçe mukavemet değerleri de ciddi oranda azalmaktadır [7]. Şekil 5, Tablo 3-4 ve Şekil 6 (a, b, c, d, e ve f)'de de görüldüğü gibi elyaf takviyeli polimer kompozitlerin yapısı gereği fiber oryantasyonu (FO), incelenen bütün mekanik özellikler üzerinde en etkili parametredir. Maksimum mukavemetler ( $\sigma_{tu}$ ,  $\sigma_{fu}$ ) ile modüller ( $E_t$ ,  $E_f$ ) üzerinde FO ters yönde (-) etkili iken deformasyonlar ( $\epsilon_t$ ,  $\epsilon_f$ ) üzerinde ise pozitif yönde (+) etkilidir.

### 3.1.2. Kürlenme basıncının (CP) etkisi

Kürlenme basıncı uygulaması ve basıncın artmasıyla birlikte laminat içindeki hava boşlukları azaldığı için mukavemet ve modül değerlerini de artmaktadır. Literatürdeki bazı çalışma sonuçlarında da ifade edildiği gibi uygun enjeksiyon basıncının seçilmesi ve reçine transfer kalıplama işlemi sonrası kürlenme basıncı (CP) uygulamasının, elde edilen parçaların mekanik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermektedir [27]. Regresyon denkleminde yansımasa da Tablo 3 ve özellikle Şekil 6(a)'ya incelendiğinde, kürlenme basıncının (CP) artması ( $\uparrow$ ), başta çekme mukavemeti ( $\sigma_{tu}$ ) ve çekme deformasyonu ( $\epsilon_t$ ) olmak üzere mekanik özellikleri zayıf düzeyde de olsa arttırdığı ( $\uparrow$ ) anlaşılmaktadır.

### 3.1.3. Enjeksiyon nokta sayısının (NIP) etkisi

Kompozit kalitesi için kullanılan fiberlerin boyutu ve oranı ile birlikte enjeksiyon noktasının yeri ve sayısı, kalıp tasarımında hayati bir rol oynamaktadır [28]. Enjeksiyon noktalarının sayısı arttıkça fiberlerin tam ıslanması için gereken enjeksiyon basıncı azalır. Örneğin, dört enjeksiyon noktası konfigürasyonunda tam ıslatma elde etmek için 3.4 bar'lık bir enjeksiyon basıncı gerekirken, tek bir nokta konfigürasyonu için bu değer 11.4 bar'dır [29]. Enjeksiyon basınçlarının azaltılması hem güvenlik hem de ekipman açısından arzu edilen bir durumdur. Bu nedenle birden fazla enjeksiyon noktasının kullanılması avantajlıdır [29]. Bu çalışmada da enjeksiyon noktasının birden ikiye çıkmasıyla, enjeksiyon süresinin azaldığı cam-dokumalar içindeki hava boşluklarının hızlıca uzaklaştırılıp iyi ıslanma sağladığı gözlenmiştir. Dolayısıyla Tablo 4 ve Şekil 6(b)'de görüldüğü gibi enjeksiyon nokta sayısının (NIP) artması ( $\uparrow$ ), çekme modülü ( $E_t$ ) ve çekme deformasyonunu ( $\varepsilon_t$ ) arttırmıştır ( $\uparrow$ ).

### 3.1.4. Enjeksiyon basıncının (IP) etkisi

Genel itibariyle RTM ve VARTM gibi tam-kapalı veya yarı-kapalı reçine enjeksiyon proseslerinde enjeksiyon basıncının artması ile laminat içinde hava boşlukları da artmaya başlamaktadır. Bu durumda ise kompozit parça mukavemeti de orantılı olarak düşmektedir. Bazı literatür çalışmalarında, RTM prosesinde hava boşluklarını minimum seviyede tutan ideal enjeksiyon basıncı 3.43 bar olarak tespit edilmiştir [30, 31]. Bu çalışmada ise Tablo 2'den de anlaşılacağı gibi ideal enjeksiyon basıncının 2.39 bar olduğu söylenebilir. Tablo 4'deki regresyon denkleminde görüldüğü gibi enjeksiyon basıncı, çekme deformasyonu ( $\varepsilon_t$ ) üzerinde negatif (-) yönde etkilidir. Her ne kadar regresyon denkleminde yansımaya da Tablo 3 ve Şekil 6(c)'ye göre enjeksiyon basıncının (IP) artması ( $\uparrow$ ), bütün mekanik özellikleri zayıf düzeyde de olsa düşürdüğü ( $\downarrow$ ) görülmektedir.

### 3.1.5. Levha kalınlığının (ST) etkisi

Elyaf takviyeli kompozitlerin mukavemetinin artan numune kesiti veya boyutu ile azalma eğiliminde olduğu iyi bilinmektedir ve buna "kesit veya boyut etkisi" denilmektedir [32, 33]. RTM prosesiyle ilgili yapılan çalışmalarda da, imal edilen kompozit levha kalınlığı arttıkça parça mukavemetinin azaldığı görülmüştür [34]. Ayrıca levha kalınlığının artması, kompozit yapıya ekstra ağırlık eklediği gibi ara yüzey kusurlarında da artışa ve delaminasyona yol açabilmektedir [35]. Literatürdeki çalışmalarda; kompozit eğilme mukavemetinin, kullanılan reçine tipinin yanında nihai laminat kalınlığına bağlı olduğu [36], levha kalınlığı azaldıkça eğilme mukavemeti ve modülünün arttığı [37], hatta daha ince katmanların laminatın mekanik performansını arttırdığı tespit edilmiştir [38]. Bu çalışmada da Tablo 3-4 ve Şekil 6(d-e)'de görüldüğü gibi, levha kalınlığının (ST) artması ( $\uparrow$ ) anlamlı düzeyde ( $P < 0.01$ ) özellikle eğilme mukavemeti ( $\sigma_{fu}$ ) ve eğilme modülünü ( $E_f$ ) düşürmüştür ( $\downarrow$ ).

### 3.1.6. Ortam sıcaklığının (AT) etkisi

Reçine transferiyle kalıplama (RTM), vakum destekli reçine infüzyonu (vakum torbalama, VARTM) yöntemi gibi kalıplama ve otoklav gibi kürlenme işlemlerinde kalıp ve ortam sıcaklığının artması reçine viskozitesini düşürüp akışkanlığı kolaylaştırır. Kalıba ısı uygulaması veya ortam sıcaklığının artması reçine akışı ve elyafın ıslanmasını kolaylaştırdığı gibi laminatın doldurulma süresi de azalır [20, 39, 40]. Yaklaşık 40-60 °C arasındaki sıcaklık olumlu etki göstererek laminat içindeki hava boşluklarını azaltır, fiberlerin iyi ıslanmasını sağlar, nihai ürünün fiber hacmini arttırıp kalınlığını da azaltarak mekanik özellikleri iyileştirir [20, 40]. Doymamış polyeester ve epoksi reçinelerin kullanıldığı uygulamalarda optimal ortam sıcaklığı sırasıyla 24 °C ve 31 °C, kalıp

doldurma sıcaklığı ise her iki reçine için de 40-60 °C'dir [41, 42]. Bu çalışmada da benzer şekilde AT ile ST'nin ikili korelasyon analizi yapıldığında, çekmede -0.214\*\* eğilme de ise -0.205\*\* katsayıları elde edilmiş ve ortam sıcaklığının artması ile levha kalınlığının düştüğü görülmüştür. Levha kalınlığının düşmesi ise mukavemet ve modül gibi mekanik özellikleri arttırdığı gibi eğilme deformasyonunu da arttırmaktadır. Bu nedenle ortam sıcaklığının (AT) artması (↑), regresyon denkleminde girecek seviyede eğilme deformasyonunu anlamlı düzeyde ( $P<0.01$ ) arttırmıştır (↑).

Bu analizlerdeki en dikkat çekici durum ise fiber hacminin (VF) etkisinin dikkate alınmamasıdır. Normalde fiber hacim oranının artması kompozitlerin mekanik özelliklerini pozitif yönde etkilediği bilinmektedir [43, 44]. Ancak, bu çalışmadaki analizler çoklu regresyon ve ortalamaların çoklu karşılaştırılması, yani birbirini etkileyen parametrelerin de analizi esasına dayanmaktadır. Fiber hacmi ile levha kalınlığı arasındaki ilişkiyi anlamak için regresyon analizi yapıldığında; çekmede  $ST=5.82-0.069VF$ , eğilmede  $ST=5.92-0.074VF$  şeklinde yüksek düzeyde anlamlı ( $P<0.01$ ) denklemler elde edilir. Dolayısıyla fiber hacminin artması levha kalınlığını düşürdüğü gibi istatistiksel analizlerde levha kalınlığı fiber hacminden daha etkili bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Sonuç olarak RTM yöntemiyle kompozit levha üretimindeki bazı proses parametreleri, fiber-matris malzemelerinin farklı özellikleri ve çalışma ortamına bağlı birçok değişkenin varlığı nihai ürünün temel mekanik özellikleri üzerinde çoklu seviyede etkili olmaktadır. Bu durumda kompozit levhalardaki olumlu/olumsuz değişkenlerin bu çalışmada olduğu gibi istatistiksel olarak karakterize edilmesi en mantıklı yoldur [32]. Çalışma sonunda, Şekil 5(a) ve (b)'de görüldüğü gibi ortalama çekme mukavemeti 337 MPa ve ortalama eğilme mukavemeti 446 MPa olarak elde edilen 1-nolu levha en ideal levha olarak tercih edilebilir.

## Kısaltmalar

Kısaltma	İngilizce	Türkçe
RTM	Resin transfer molding	Reçine transferiyle kalıplama
VARTM	Vacuum assisted resin transfer molding	Vakum destekli reçine infüzyonu (vakum torbalama)
FRP	Fiber reinforced polymer composite	Elyaf takviyeli polimer kompozit
GFRP	Glass fiber reinforced polymer composite materials	Cam elyaf takviyeli polimer kompozit malzeme
CFRP	Carbon fiber reinforced polymer composite materials	Karbon elyaf takviyeli polimer kompozit malzeme
WR	Woven roving	Dokuma fitil
IP	Injection pressure	Enjeksiyon basıncı
NIP	Number of injection points	Enjeksiyon noktası sayısı
CP	Curing pressure	Kürleme basıncı
AT	Ambient temperature	Ortam sıcaklığı
FO	Fiber orientation	Fiber oryantasyonu
ST	Sheet thickness	Levha kalınlığı
VF	Fiber volume fraction	Fiber hacim oranı

**Kaynaklar**

- [1] Gao G., ve Li Y., Mechanical properties of woven glass fiber-reinforced polymer composites, **Emerging Materials Research**, 5, 2, 201-208, (2016).
- [2] Rajak D.K., Pagar D.D., Kumar R., ve Pruncu C.I., Recent progress of reinforcement materials: a comprehensive overview of composite materials, **Journal of Materials Research and Technology**, 8, 6, 6354-6374, (2019).
- [3] Rajak D.K., Pagar D.D., Menezes P.L., ve Linul E., Fiber-reinforced polymer composites: Manufacturing, properties, and applications, **Polymers**, 11, 10, 1667-1704, (2019).
- [4] Diniță A., Ripeanu R.G., Ilincă C.N., Cursaru D., Matei D., Naim R.I., Tănase M., ve Portoacă A.I., Advancements in Fiber-Reinforced Polymer Composites: A Comprehensive Analysis, **Polymers**, 16, 1, 2-50, (2023).
- [5] Karim M.A., Abdullah M.Z., Deifalla A.F., Azab M., ve Waqar A., An assessment of the processing parameters and application of fibre-reinforced polymers (FRPs) in the petroleum and natural gas industries: A review, **Results in Engineering**, 18, 101091, 1-20, (2023).
- [6] Zhang W., ve Evans K.E., Numerical prediction of the mechanical properties of anisotropic composite materials, **Computers & structures**, 29, 3, 413-422, (1988).
- [7] Seshaiyah T., ve Reddy V.K., Effect of fiber orientation on the mechanical behavior of e-glass fibre reinforced epoxy composite materials, **International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development**, 8, 8, 379-396, (2018).
- [8] Kumar N., ve Singh A., Study the effect of fiber orientation on mechanical properties of bidirectional basalt fiber reinforced epoxy composites, **Materials Today: Proceedings**, 39, 1581-1587, (2021).
- [9] Sayam A., Rahman A.M., Rahman M.S., Smriti S.A., Ahmed F., Rabbi M.F., Hossain M., ve Faruque M.O., A review on carbon fiber-reinforced hierarchical composites: mechanical performance, manufacturing process, structural applications and allied challenges, **Carbon Letters**, 32, 5, 1173-1205, (2022).
- [10] Fu Y., ve Yao X., A review on manufacturing defects and their detection of fiber reinforced resin matrix composites, **Composites Part C: Open Access**, 8, 100276, 1-24, (2022).
- [11] Mishra R.K., Petru M., Behera B.K., ve Behera P.K., 3D woven textile structural polymer composites: effect of resin processing parameters on mechanical performance, **Composite Interfaces**, 31, 1, 1-28, (2022).
- [12] Örcen G., Turan K., ve Bingöl S., Mechanical properties of composite plates at different conditions, **European Journal of Technique**, 10, 1, 13-24, (2020).
- [13] Karbhari V., Slotte S., Steenkamer D., ve Wilkins D., Effect of material, process, and equipment variables on the performance of resin transfer moulded parts, **Composites Manufacturing**, 3, 3, 143-152, (1992).
- [14] Kim J.-H., Kwon D.-J., Shin P.-S., Beak Y.-M., Park H.-S., DeVries K.L., ve Park J.-M., Interfacial properties and permeability of three patterned glass fiber/epoxy composites by VARTM, **Composites Part B: Engineering**, 148, 61-67, (2018).
- [15] <https://plasto.com.tr/wp-content/uploads/2023/05/POLIPOL-336-RTM-Tipi-Polyester-Recine-tds.pdf>, (25.04.2024).
- [16] Subaşı A., Reaktif termoplastik reçine ile sürekli elyaf takviyeli kompozit üretilmesi ve alev geciktiricilerin etkilerinin tespiti, Y.Lisans Tezi, İstanbul

- Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği ABD, İstanbul, (2017).
- [17] Kaynak C., ve Kas Y.O., Effects of injection pressure in resin transfer moulding (RTM) of woven carbon fibre/epoxy composites, **Polymers and Polymer Composites**, 14, 1, 55-64, (2006).
- [18] Han S.H., Cho E.J., Lee H.C., Jeong K., ve Kim S.S., Study on high-speed RTM to reduce the impregnation time of carbon/epoxy composites, **Composite Structures**, 119, 50-58, (2015).
- [19] Chang C.-Y., Hourng L.-W., ve Chou T.-Y., Effect of Process Variables on the Quality of Compression Resin Transfer Molding, **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, 25, 10, 1027-1037, (2006).
- [20] Hickey C., The influence of variation in process parameters on the manufacturing of advanced fibre composites, PhD Thesis, Department of Mechanical Engineering, The University of Auckland, (2014).
- [21] Lee C.L., ve Wei K.H., Effect of material and process variables on the performance of resin-transfer-molded epoxy fabric composites, **Journal of Applied Polymer Science**, 77, 10, 2149-2155, (2000).
- [22] Olodu D.D., ve Ihenyen O., Fibre Volume Fraction and Impact Strength Analysis of Reinforced Polyester Composites, **European Mechanical Science**, 5, 2, 80-85, (2021).
- [23] EN-ISO-527-4, Plastics - Determination of tensile properties - Part 4: Test conditions for isotropic and orthotropic fibre-reinforced plastic composites, CH-1214 Vernier, Geneva, Switzerland, 2021.
- [24] ASTM-D7264/D7264M, Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials, Pennsylvania 19428-2959, USA, 2007.
- [25] George D., ve Mallery P., SPSS for windows step by step: A simple study guide and reference, 17th ed., New York: Allyn & Bacon, (2010).
- [26] Landis J.R., ve Koch G.G., The measurement of observer agreement for categorical data, **Biometrics**, 159-174, (1977).
- [27] Olivero K.A., Barraza H.J., O'Rear E.A., ve Altan M.C., Effect of injection rate and post-fill cure pressure on properties of resin transfer molded disks, **Journal of Composite Materials**, 36, 16, 2011-2028, (2002).
- [28] Salokhe S., Rahmati M., ve Masoodi R., Numerical modelling of the flow in a swelling preform during LCM mould filling, **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, 40, 13-14, 490-504, (2021).
- [29] Jeswani A., ve Roux J., Numerical modelling of design parameters for manufacturing polyester/glass composites by resin injection pultrusion, **Polymers and Polymer Composites**, 14, 7, 651-670, (2006).
- [30] Vengalrao K., Kumar K.P., Shanker D.V.R., Srinivasababu N., ve Yadav A.K.K., An Investigation on the Quality of the Laminates Produced by VARTM Process and Process parameters, **Materials Today: Proceedings**, 4, 8, 9196-9202, (2017).
- [31] Kopparthi P.K., Kundavarapu V.R., Dasari V.R., ve Pathakokila B.R., Determination of flow front velocity and optimal injection pressures for better impregnation of E-glass with polyester in resin transfer mold, **INCAS Bulletin**, 11, 3, 87-98, (2019).
- [32] Wisnom M.R., The effect of specimen size on the bending strength of unidirectional carbon fibre-epoxy, **Composite Structures**, 18, 1, 47-63, (1991).
- [33] Fortin-Simpson J., Effect of Thickness and Ply Orientation on the Flexural Bending Behaviour of Thick Composite Laminates, MSc Theses, The Department of Mechanical and Industrial Engineering, Concordia University, (2019).

- [34] Wang Y., ve Soutis C., Modelling the effect of tufted yarns in composite T-joints, **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering and Computational Mechanics**, 169, 4, 158-170, (2016).
- [35] Naresh K., Alia R.A., Cantwell W.J., Umer R., ve Khan K.A., Influence of face sheet thickness on flexural strength characteristics of carbon/epoxy/Nomex honeycomb sandwich panels, **Journal of Sandwich Structures & Materials**, 25, 5, 537-554, (2023).
- [36] Babukiran B., ve Harish G., Influence of resin and thickness of laminate on flexural properties of laminated composites, **International Journal of Engineering Science and Innovative Technology**, 3, 1, (2014).
- [37] Kumar M.S., Krishna S.G., ve Rajanna S., Study on effect of thickness and fibre orientation on a tensile and flexural properties of a hybrid composite, **Int J Eng Res Appl**, 4, 8, 56-66, (2014).
- [38] Liu H., Ma X., Jiang L., Sang L., Hou W., Zhang Z., ve Wu H., Effect of ply thickness on tensile and bending performances of carbon fiber reinforced thermoplastic unidirectional laminate, **Polymer Composites**, 44, 3, 1889-1901, (2023).
- [39] Da Gama M., ve Soares C.M., Defects tracking in Out-of-Autoclave composite materials, MSc Thesis, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Porto, (2017).
- [40] Kedari V.R., Farah B.I., ve Hsiao K.-T., Effects of vacuum pressure, inlet pressure, and mold temperature on the void content, volume fraction of polyester/e-glass fiber composites manufactured with VARTM process, **Journal of composite materials**, 45, 26, 2727-2742, (2011).
- [41] Cairns D.S., Shramstad J.D., ve Mandell J.F. Evaluation of hand lay-up and resin transfer molding in composite wind turbine blade manufacturing, **Proceedings, 20th 2001 ASME Wind Energy Symposium.**, American Institute of Aeronautics & Astronautics, Reno, NV, USA, (2001).
- [42] Yu H.-W., ve Young W.-B., Optimal design of process parameters for resin transfer molding, **Journal of Composite Materials**, 31, 11, 1113-1140, (1997).
- [43] Oleiwi J.K., Al-Hassani E.S., ve Abd Mohammed A., Experimental Investigation and Mathematical Modeling of Tensile Properties of Unsaturated Polyester Reinforced by Woven Glass Fibers, **Eng. & Tech. Journal**, 32, 3, 653-666, (2014).
- [44] Jariwala H., Jain P., ve Maisuriya V., Experimental and statistical analysis of strength of glass fiber reinforced polymer composite for different fiber architecture, **Polymer Composites**, 42, 3, 1407-1419, (2021).



# Activated carbon assisted cobalt catalyst for hydrogen production: synthesis and characterization

Selma EKİNCİ<sup>1,\*</sup>, Erhan ONAT<sup>2</sup>

<sup>1,\*</sup>Batman University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Chemistry and Chemical Process Technology, Batman, Turkey.

<sup>2</sup> Bitlis Eren University, Vocational School of Organized Industrial Zone, Department of Electrical and Energy, Bitlis, Turkey.

Geliş Tarihi (Received Date): 15.05.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 01.05.2024

## Abstract

*In this work, a cobalt catalyst supported by activated carbon was used to produce hydrogen through the hydrolysis of sodium borohydride (NaBH<sub>4</sub>). First, hydrochar was produced from MDF powder by hydrothermal pretreatment. Then, ideal parameters (activator percentage, activation time, baking time, and temperature) for activated carbon production were determined. The best conditions for the synthesis of activated carbon were found to be a 70% activator rate, 24 hours of activation time, 45 minutes of baking time, and 700 °C temperature, according to iodine number measurements. The iodine number was measured as 929 mg/g under optimum conditions. Activated carbon (as a support) produced under optimum conditions was combined with the cobalt catalyst. DT/TGA, FT-IR, SEM, and EDX analyses were used to evaluate the catalyst's structure. Supporting material ratio, NaOH concentration, catalyst amount, and NaBH<sub>4</sub> concentration are the variables studied in catalyst synthesis. The trials led to the identification of the optimal catalyst parameters as being 70% support material, 5% NaOH, 40 mg catalyst, and 2% NaBH<sub>4</sub> concentration. The hydrogen production rate with the catalyst synthesized in these conditions was determined as 8592.8 ml/g.min. As a result of the hydrolysis reactions carried out at different temperatures, it was determined that the reaction was n. order and the reaction activation energy was 31.19 kJ/mol. Even after the sixth use, 100% efficiency was attained when the catalyst activity was tested repeatedly.*

**Keywords:** Co@AC catalyst, supported catalyst, hydrogen, sodium borohydride

\*Selma EKİNCİ, selma.ekinci@batman.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-7835-4832>

Erhan ONAT, eonat@beu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-1638-0151>

## Hidrojen üretimi için aktif karbon destekli kobalt katalizörü: sentez ve karakterizasyon

### Öz

*Bu çalışmada, sodyum borhidrürün ( $\text{NaBH}_4$ ) hidrolizi yoluyla hidrojen üretmek için aktif karbonla desteklenen bir kobalt katalizörü kullanıldı. İlk olarak, hidrotermal ön işlem ile MDF tozundan hidrokömür üretildi. Daha sonra, aktif karbon üretimi için ideal parametreler (aktifleştirici yüzdesi, aktivasyon süresi, fırınlanma süresi ve sıcaklık) belirlendi. Aktif karbon sentezi için en iyi koşullar iyot sayısı ölçümlerine göre %70 aktifleştirici oranı, 24 saat aktivasyon süresi, 45 dakika fırınlanma süresi ve 700 °C sıcaklık olarak belirlendi. İyot sayısı optimum koşullarda 929 mg/g olarak ölçüldü. Kobalt katalizörü ile optimum koşullarda üretilmiş aktif karbon (destek maddesi) birleştirildi. Katalizörün yapısını değerlendirmek için DT/TGA, FT-IR, SEM ve EDX analizleri kullanıldı. Destekleyici malzeme oranı, NaOH konsantrasyonu, katalizör miktarı ve  $\text{NaBH}_4$  konsantrasyonu, katalizör sentezinde incelenen değişkenlerdir. Katalizör sentezi için optimum parametreler, %70 destek malzemesi, %5 NaOH, 40 mg katalizör ve %2  $\text{NaBH}_4$  konsantrasyonu olarak belirlendi. Bu koşullarda sentezlenen katalizör ile hidrojen üretim hızı 8592.8 ml/g.dk olarak hesaplandı. Farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen hidroliz reaksiyonları sonucunda reaksiyonun n. dereceden ve aktivasyon enerjisinin de 31.19 kJ/mol olduğu belirlendi. Altıncı kullanımdan sonra bile katalizör aktivitesi tekrar tekrar test edildiğinde %100 verim elde edildi.*

**Anahtar kelimeler:** Co@AC katalizörü, destekli katalizör, hidrojen, sodyum borhidrür

### 1. Introduction

Fossil fuels are the main source of energy, which is one of the needs for the continued development of humanity. The limited supply of these fuels and the harm their byproducts cause to the environment have prompted humanity to look for alternate energy sources. One of the topics that scientists are now conducting the most study on is energy sources that could replace fossil fuels. The most intriguing study topic among these alternate sources is hydrogen, which can transport energy [1,2].

The fact that hydrogen may be supplied from a variety of sources is the main justification for using it as a transporter of energy. Water, coal, natural gas, oil, boron hydrides, organic compounds, and inorganic materials make up the majority of these resources [3,4].

Another benefit of using hydrogen as an energy source is that, unlike fossil fuels, its byproducts are environmentally neutral and help reduce the greenhouse gas effect. Hydrogen, which is used in energy production through fuel cells called Proton Exchange Membrane (PEM), releases water vapor to nature as a waste material. Despite being actively used in the creation of energy from hydrogen, PEM fuel technology is still evolving. The issue of transportation and storage is the main barrier to using hydrogen as a direct energy carrier in fuel cells. Since these cells currently use gaseous hydrogen, doing so incurs additional costs and safety risks. The chemical deposition of hydrogen in metal hydride complexes effectively solves this issue [5]. Due to these advantages,

boron (B) based metal hydrides ( $\text{NaBH}_4$ ,  $\text{KBH}_4$ ,  $\text{Ca}(\text{BH}_4)_2$ ,  $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ ) have been studied intensively since the early 2000s [6,7].

In general, Equation 1 describes the controlled decomposition reaction of metal hydrides produced from boron in the presence of a catalyst [8].



Sodium boron hydride ( $\text{NaBH}_4$ ) provides chemical storage of hydrogen. The storage and transportation issues associated with using hydrogen for energy production are mostly resolved by this feature.  $\text{NaBH}_4$ , one of the most used metal hydrides, is also employed in the production of many steroids and vitamin A. It is also used as a reducing agent in the production of gold nanoparticles. However, since it already has hydrogen in its structure, the most crucial application is as a hydrogen storage facility. Theoretically, it contains 10.8% hydrogen in its structure.



Equation 2 demonstrates how the sodium borohydride hydrolysis reaction makes it possible to extract as much hydrogen from water as is present in its structure. As a result, the issues with hydrogen storage and transportation are solved, and water can also be used to produce some of the flexible hydrogen needed for hydrogen fuel cells. With the help of the catalyst, the rate of the reaction shown in Equation 2 can be controlled [9-10].

Catalysts are substances that speed up a chemical reaction that is thermodynamically voluntary. In most cases, catalysts alter the reaction's activation energy ( $E_a$ ), enabling it to proceed via a different pathway. Sometimes, a change in the mechanism takes the form of adding or subtracting reaction steps. The key elements that determine the catalyst's efficiency include parameters like the surface area of the catalyst and the activity of the chemicals used [11]. Depending on how it interacts with the substrate it operates on, the catalyst is referred to as either a homogeneous or a heterogeneous catalyst. In general, a catalyst is referred to as homogeneous if it is in the same state as the substrate, and a heterogeneous catalyst if it is in a different state. Heterogeneous catalysts are utilized more frequently in terms of facile recovery and reaction rate control among these catalyst types, which each have advantages and disadvantages. Although catalysts are generally substances that increase the reaction rate, some catalysts decrease the reaction rate. Catalysts that reduce the reaction rate are called inhibitors [12].

An effective catalyst needs to have a great deal of surface area. The materials that give the catalysts more surface area can differ greatly in their characteristics. Support materials are those substances that boost the catalyst's efficiency and surface area [13]. The most popular support materials are graphene oxide, activated carbon,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , and various polymer compounds. These components decrease the cost of the catalyst while also improving its effectiveness. Because, in addition to their high efficiency, the materials used as catalysts are expensive economically. Low-cost support materials are obtained at reasonable prices [14]. Since the low cost, easy synthesis, and non-toxicity of carbon quantum dots provide significant advantages in terms of practical application, their use as catalyst support material in hydrogen fuel technology is expected to increase rapidly. [15-18].

The major qualities sought after in a support material for catalysts are inertness, porosity, stable components, and the ability to allow surface width [19]. One of the structures utilized as a support material in catalytic processes is activated carbon, which has the listed qualities.

In the context of this investigation, while the pore structure of the hydrothermally produced activated carbon expands more, this circumstance also permits the catalyst's active surface to expand more. The various metal loading to activated carbon ratios helps to clarify this case.

## **2. Method**

The waste product (MDF powder) used in the production of activated carbon was obtained from the furniture industry. First, the hydrothermal process was used to produce the hydrochar. Hydrochar was generated by hydrothermally preserving MDF powder in an autoclave with distilled water for six hours at 180 °C. Then, to produce activated carbon, different activator ratios, activation times, and baking temperatures were altered with the aid of a sodium hydroxide (NaOH) activator. The best activation conditions were determined according to the iodine number determination (ASTM D 4607 standard). By adding various amounts of cobalt metal to activated carbon after it has been created, catalyst manufacturing is made possible [20].

The support material and catalyst have been integrated using the impregnation technique [21]. For this, distilled water was stirred with the specified amounts of metal and activated carbon at 750 rpm for 24 hours. Then, the reduction of the catalyst was achieved by the reduction process under NaBH<sub>4</sub> at the determined ratios. Following the necessary cleaning and filtration steps, the catalyst was dried in an oven at 70 °C for 8 hours so that it could be used in the hydrolysis procedure.

The factors affecting catalyst efficiency (solution medium, amount of catalyst, concentration of hydrogen source, and temperature) were identified once the optimum metal ratio was established. The amount of hydrogen produced by hydrolysis was used to calculate the catalyst's efficiency. Figure 1 shows the experimental setup used to calculate the hydrogen ratio.

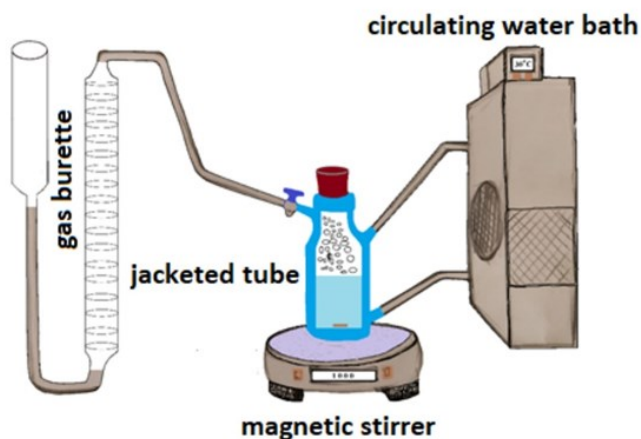


Figure 1. Hydrolysis reaction setup.

A rotating water bath that regulates temperature, a magnetic stirrer, a jacketed tube, a graduated burette, and hoses make up the hydrolysis experiment setup. The jacketed tube offers the experimental setting, while the magnetic stirrer gives the reaction at the standard value. The amount of hydrogen gas released over time is measured with the help of a graduated burette.

### 3. Results and discussion

#### 3.1. Activated carbon production parameters

The ideal parameters for the production of activated carbon (activator ratio, activation time, baking time, and temperature) were examined [22]. NaOH at concentrations of 20%, 50%, 70%, and 100% was used in experiments to determine the optimum activator ratio while the sample was kept a room temperature for 24 hours. After the activation (impregnation) process, activated carbon was produced at 500 °C with a 45 min baking time. The resulting activated carbon's iodine number was measured after washing and drying. Figure 2(a) shows the results of the iodine number of activated carbon. Accordingly, the best activator ratio was determined as 70% NaOH. The activation time parameter was investigated for 12, 24, 36, and 48 hours in room conditions, and it was found that 24 hours was the ideal activation period (Figure 2(b)). The samples were baked for several amounts of time (30, 45, 60, and 90 minutes) in the gas oven to assess the influence of baking time (Figure 2(c)).

According to Figure 2(c), the ideal baking time was determined as 45 minutes. The impact of temperature was then investigated. For this, the samples were kept at various temperatures (400, 500, 600, and 700 °C) in an oven (Figure 2d). Figure 2(d) shows that the iodine number rises as a result of the rising temperature. As a result, it was determined that 700 °C was the ideal temperature.

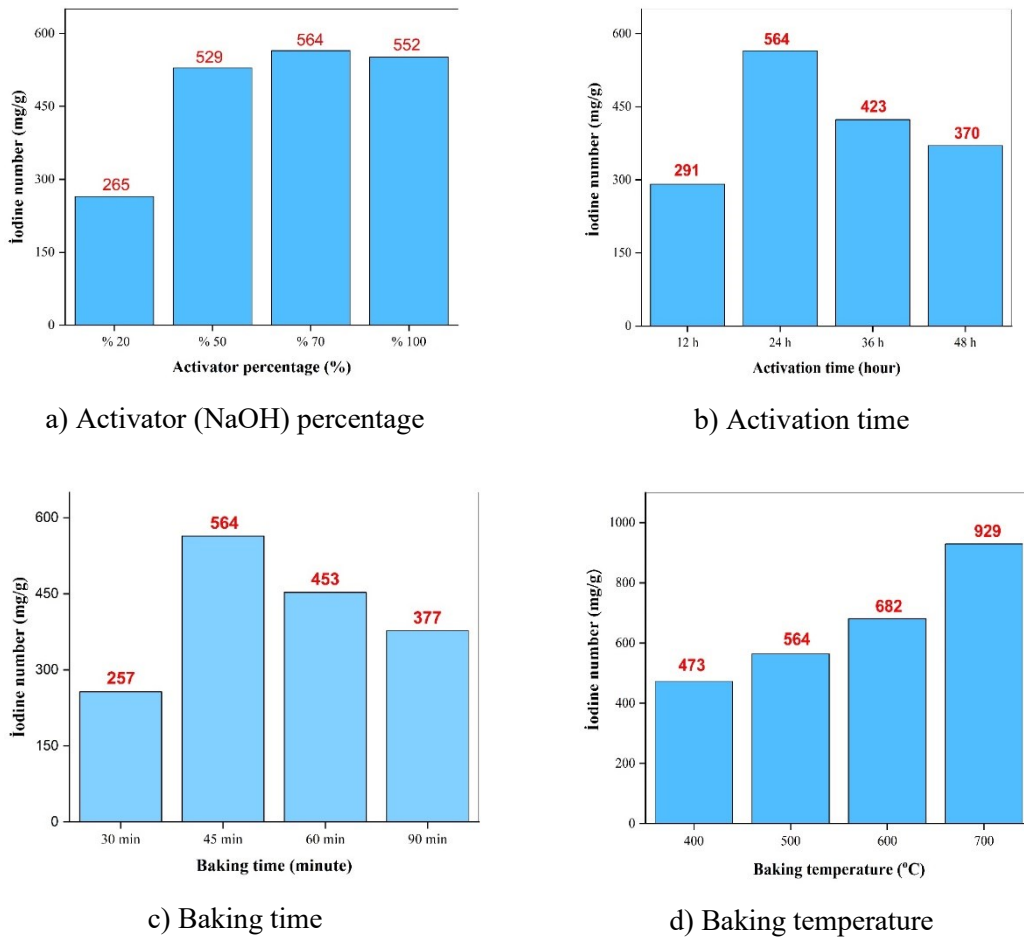


Figure 2. Activated carbon production conditions.

### 3.2. Characterization of activated carbon

After determining the optimum conditions, the structural analysis of the activated carbon produced under these conditions was examined. TG/DTA, EDX, and SEM analyses were carried out. Figure 3 shows the TG/DTA analysis of MDF powder utilized as an activated carbon source. Accordingly, at 472 °C, 99.9% of the MDF powder by mass was removed from the atmosphere.

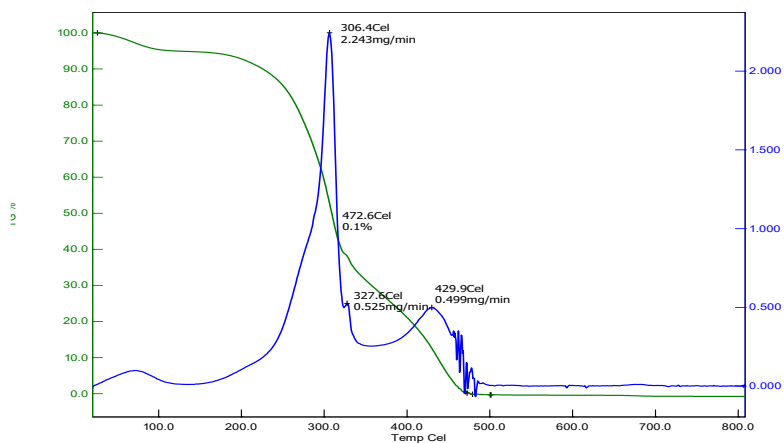


Figure 3. TG/DTA analysis of MDF powder.

The TG/DTA analysis of hydrochar obtained after hydrothermal pretreatment is given in Figure 4(a). It is clear from Figure 4(a) that the decomposition temperature of the entire hydrochar is higher even though the temperature-dependent decomposition values of hydrochar exhibit similar properties to MDF powder. Figure 4(b) shows the results of the TG/DTA analysis of the generated activated carbon. Figure 4(b) shows that the amount of temperature-related decomposition in MDF powder and hydrochar is expressed in mg, but the value for activated carbon is expressed in g. This shows that the structure of activated carbon is resistant to temperature. The decomposition accelerates above 700 °C, the temperature at which activated carbon is produced. Reference researches also highlight similar degradation curves [23,24].

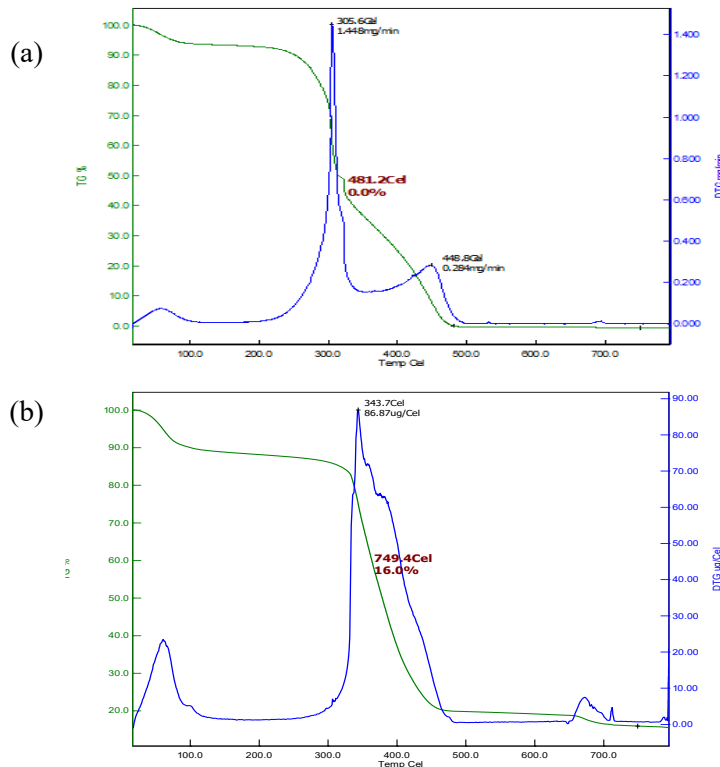


Figure 4. TG/DTA analysis of a) hydrochar b) activated carbon.

Figure 5 displays the outcomes of the EDX analysis carried out to ascertain the element ratio in the structure of activated carbon. According to Figure 5, the carbon element makes up the majority of active carbon (70%). Additionally, NaOH, which is used as an activator, is successfully attached to the surface of the activated carbon. Calcium in the structure of activated carbon is the heteroatom in the organic structure [25].

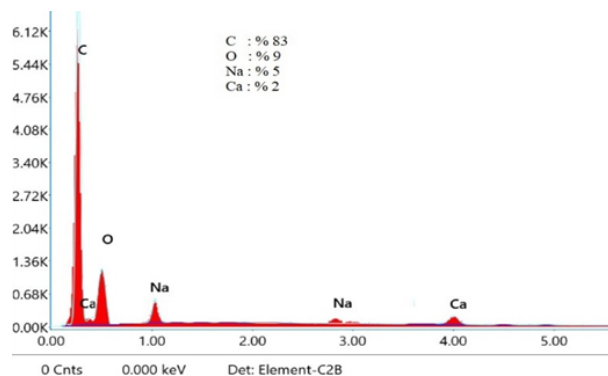


Figure 5. EDX analysis of activated carbon.

Figure 6 shows SEM images of activated carbon in sizes of 1 and 10  $\mu\text{m}$ . Activated carbon has a large porous surface structure.

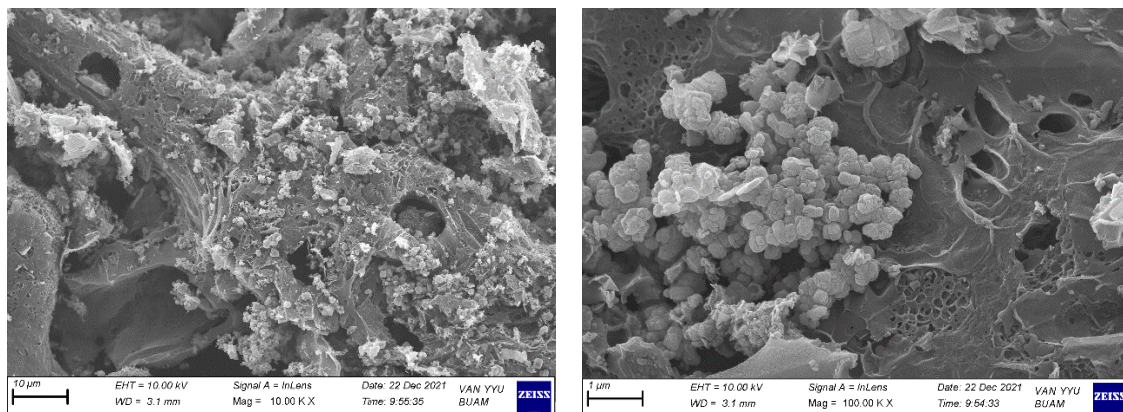


Figure 6. SEM images of activated carbon.

### 3.3. Synthesis of catalyst and examination of hydrolysis data

#### 3.3.1. Determining the metal ratio for the catalyst

Cobalt (Co) metal was selected as the metal for catalyst manufacture because of its low cost and great efficiency. First, the sodium borohydride ( $\text{NaBH}_4$ ) hydrolysis tested in the presence of a pure cobalt catalyst resulted in a hydrogen generation rate of 3872.8 ml/g.min. at 303 K.

Metal ratios of 10%, 20%, 30%, and 40% were investigated to study the impact of metal content on catalyst effectiveness by using 5 and 50 mg catalysts. The influence of the metal ratio on hydrogen production by hydrolysis reaction (in the presence of 5% NaOH at 30 °C) is depicted in Figures 7 (with 5 mg catalyst) and 9 (with 50 mg catalyst). Figures 7 and 8 show that using 70% activated carbon and 30% cobalt led to the best hydrogen production rate.

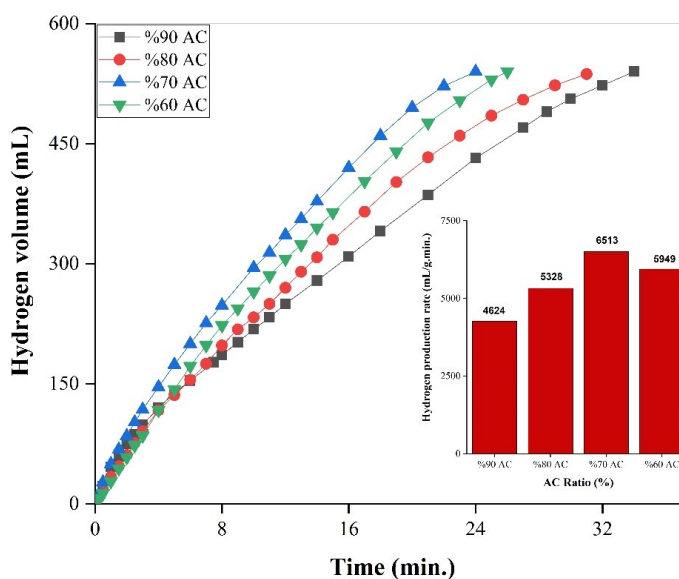


Figure 7. Effect of different metal ratios on hydrogen production (with 5 mg catalyst).



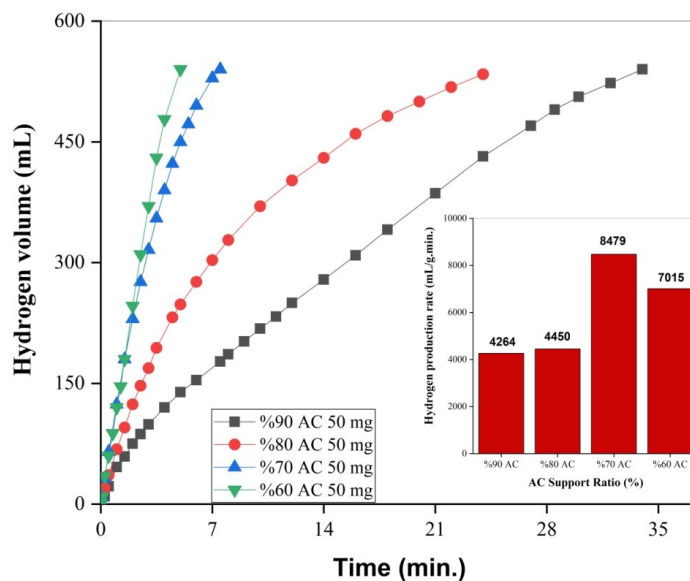


Figure 8. Effect of different metal ratios on hydrogen production (with 50 mg catalyst).

### 3.3.2. Characterization of Co@AC catalyst

The catalyst's FT-IR spectrum is displayed in Figure 9. The weak band at  $630\text{ cm}^{-1}$  is hypothesized to be caused by a putative Co and oxygen interaction [26]. The C=C and C=O vibrations are responsible for the peaks at around  $2000\text{-}2100\text{ cm}^{-1}$  [27].

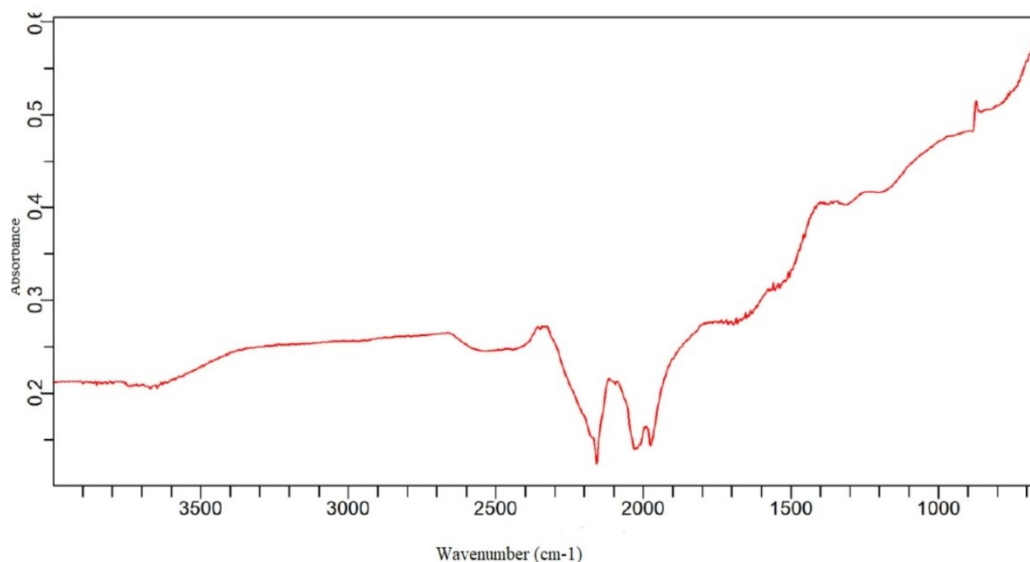


Figure 9. FT-IR spectrum of catalyst (70% Activated carbon 30% Cobalt).

Figure 10 presents the results of the catalyst's EDX examination. The results of the EDX analysis show that the activated carbon-supported cobalt catalyst has been synthesized successfully.

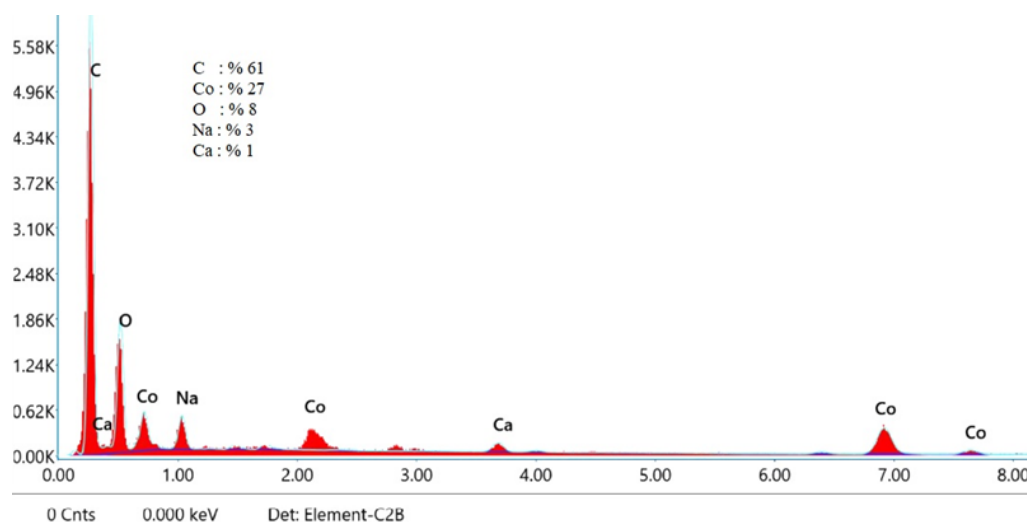


Figure 10. EDX analysis of catalyst.

Figure 11 shows SEM images of pure cobalt catalysts and cobalt catalysts supported by activated carbon. The SEM images show that the pure cobalt catalyst is clumped together, but this clumping is not present in the cobalt catalyst supported by activated carbon. As a result, the catalyst's active surface was enhanced by the activated carbon support, increasing the rate of hydrogen production.

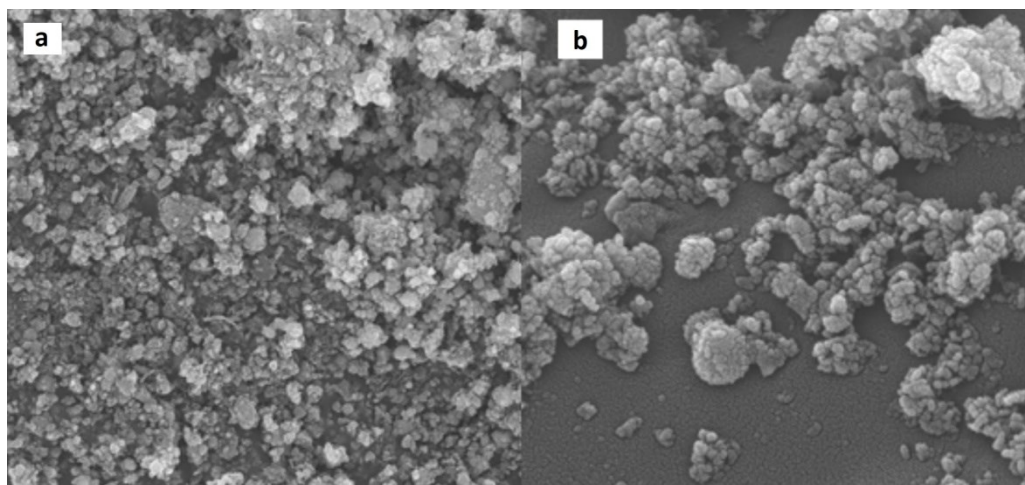


Figure 11. SEM images of a) pure cobalt b) activated carbon@cobalt catalyst.

### 3.3.3. Effect of solution ratio

In addition to acting as the hydrogen source, sodium borohydride ( $\text{NaBH}_4$ ) was used as the solvent. Figure 12 provides a graph illustrating how the concentration of  $\text{NaOH}$  affects hydrolysis. As a result of hydrolysis experiments performed to prevent sodium borohydride from spontaneously hydrolyzing, even slightly, and to ascertain the solvent effect on the catalyst activity, it was found that a sodium hydroxide ratio of 5% produced the best hydrogen production rate per gram of catalyst.

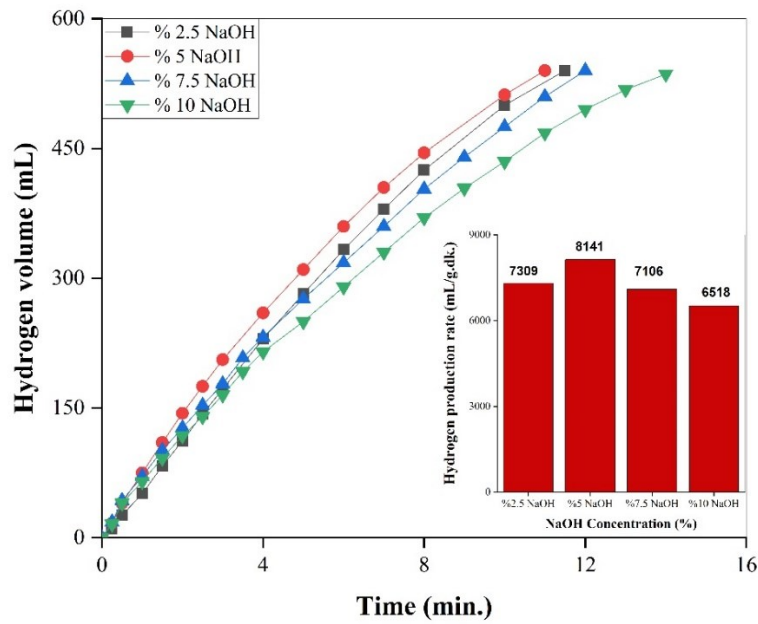


Figure 12. The effect of solution ratio on hydrogen production.

### 3.3.4. The effect of catalyst amount

Different catalyst amounts were used in hydrolysis processes to test the impact of catalyst amount on the rate of hydrogen production (Figure 13). Figure 13 illustrates how the amount of catalyst used causes the hydrolysis reactions to complete more quickly. Additionally, the catalyst dose of 40 mg produced the most hydrogen at the best rate. This is due to the optimal value being provided by the substrate density that corresponds to the catalyst surface [28].

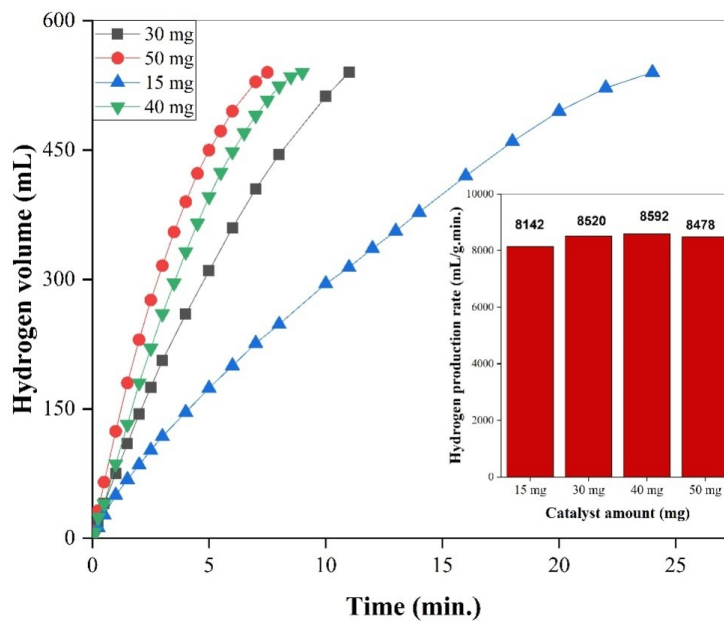


Figure 13. Effect of catalyst amount on hydrogen production.

### 3.3.5. The effect of the concentration of $\text{NaBH}_4$

Using  $\text{NaBH}_4$  at ratios of 1%, 2%, 3%, and 4%, experiments were conducted to ascertain the impact of  $\text{NaBH}_4$  concentration on hydrogen production (Figure 14). According to Figure 14, a slight decrease in the rate of hydrogen production was observed with the increase in the amount of  $\text{NaBH}_4$ . Because, the catalytic activity is inhibited as a result of sodium metaborate, which is a product of the hydrolysis reaction [29]. The best hydrogen production rate depending on the concentration change was obtained with the use of 2%  $\text{NaBH}_4$  [30,31].

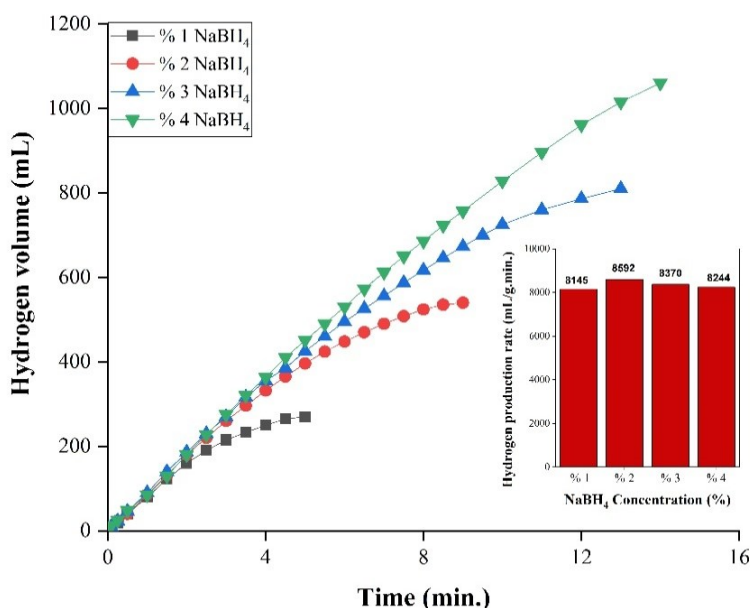


Figure 14. Effect of  $\text{NaBH}_4$  concentration on hydrogen production.

### 3.3.6. The effect of the temperature

Temperature is a key factor being researched in the creation of hydrogen. The measurement of the temperature effect serves two basic objectives. To possibly use it, the catalyst's effect is first observed at various temperatures, and then the reaction kinetics are established. To examine the temperature effect, the hydrolysis reaction was studied at 30 and 60 °C temperatures. Figure 15 shows this effect. Figure 15 shows that the rate of hydrogen production increased with temperature. While the hydrogen production rate was 8592 ml/g.min at 30 °C, it increased to 38012 ml/g.min at 60 °C.

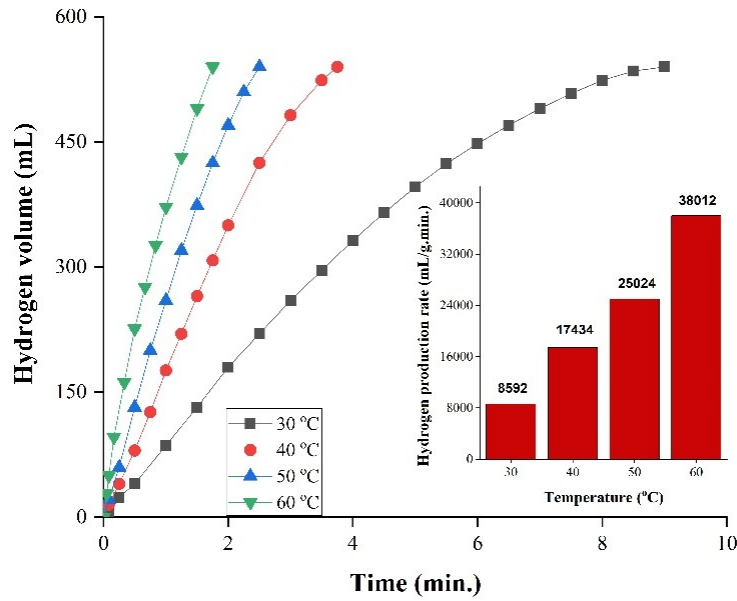


Figure 15. The effect of temperature on hydrogen production.

**3.4. Reaction kinetics and repeated use of catalyst**

The results of the studies at various temperatures showed that the hydrolysis reaction follows the n. order reaction kinetics. The catalysis reaction of NaBH<sub>4</sub> hydrolysis can be described by the Arrhenius equation given in Equation 3.

$$\ln k = \ln A - E_a / RT \tag{3}$$

Here;

k is the rate constant (min<sup>-1</sup>), A is an Arrhenius factor, R is the universal gas constant (8.314 kJ K<sup>-1</sup> mol<sup>-1</sup>), and T is the absolute temperature (K). The data from the hydrolysis reaction carried out at various temperatures were used to plot the 1/T graph against ln k and produce Figure 16. The activation energy (E<sub>a</sub>) of the reaction is determined to be 31.19 kJ mol<sup>-1</sup> by substituting the slope value of the curve in Figure 16 into the Arrhenius equation [32,33].

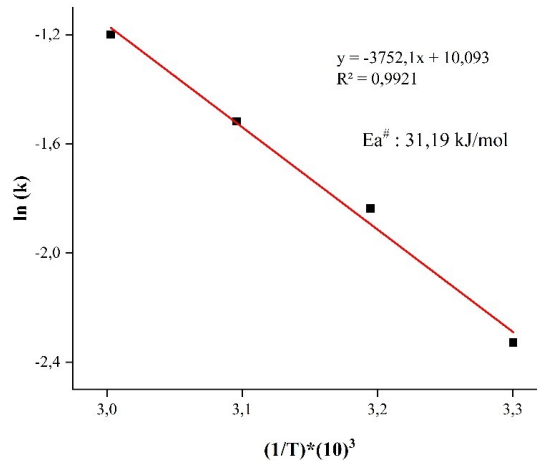


Figure 16. The plot of 1/T vs. ln k.

Table 1 provides information on the catalytic process and temperature-dependent values of hydrogen production under ideal circumstances.

Table 1. Hydrolysis reaction data

Temperature (°C)	Hydrogen production rate (ml/g min)	Reaction degree	R <sup>2</sup>	k
30	8592.5	n. degree	0.9998	0.0974
40	17434.17	n. degree	0.9983	0.1594
50	25024.17	n. degree	0.9992	0.2193
60	38012.5	n. degree	0.9982	0.3016

The liquid that remained on the top of the catalyst after each usage was allowed to collapse was permitted to be removed from the environment by decantation, ensuring that the catalyst could be used repeatedly. By incorporating the amount of solution taken from the environment, the hydrolysis of the Co@AC catalyst product up until the sixth use was examined [34]. It has been determined that it provides 100% efficiency until the end of the 6th use (Figure 17).

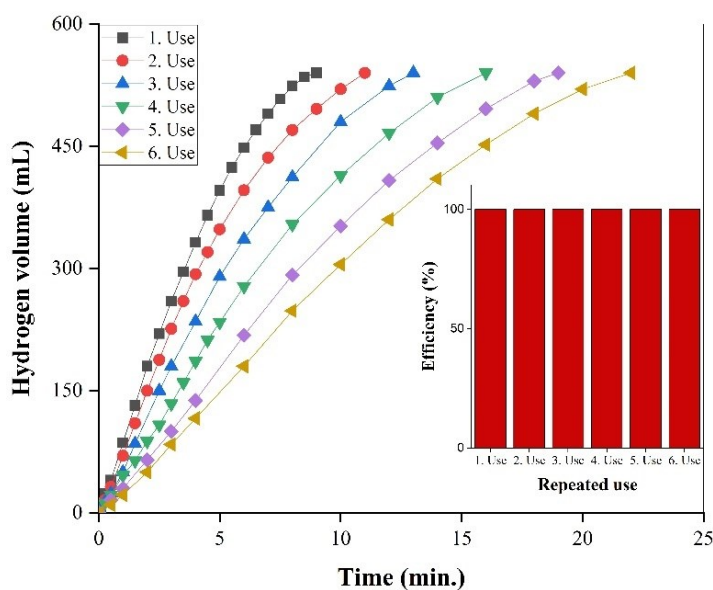


Figure 17. Hydrogen production by repeated use of the catalyst.

#### 4. Conclusion

Activated carbon was produced in this study to provide support material for the cobalt catalyst in the hydrolysis reaction of NaBH<sub>4</sub>. Catalyst synthesis was performed at different metal and active carbon ratios, and the best combination value was determined as 70% activated carbon and 30% metal. Concerning the sodium borohydride hydrolysis data, the effectiveness of the produced catalysts was evaluated. When a catalyst containing 70% active carbon was used in the hydrolysis reaction instead of a catalyst

composed wholly of cobalt, the production rate of hydrogen rose from 3872.8 to 6513.6 ml/g min. As a result of the optimization studies of the catalyst, it was determined that the best hydrogen production rate was at 30 °C, using 5% NaOH, 40 mg catalyst, and 2% NaBH<sub>4</sub> by mass. The hydrogen production rate under these conditions was determined as 8592.5 ml/g min. The kinetic route of the hydrolysis reaction was found to be of the n. order, with an activation energy of 31.19 kJ/mol. The increased rate of hydrogen production indicates that using activated carbon as a support material greatly enhances the cobalt catalyst's capacity to perform its function.

## References

- [1] Arsad, A. Z., Hannan, M. A., Al-Shetwi, A. Q., Mansur, M., Muttaqi, K. M., Dong, Z. Y. and Blaabjerg, F., Hydrogen energy storage integrated hybrid renewable energy systems: A review analysis for future research directions, **International Journal of Hydrogen Energy**, 47, 17285-17312, (2020).
- [2] İzgi, M. S., Ece, M. Ş., Kazici, H. Ç., Şahin, Ö. and Onat, E., Hydrogen production by using Ru nanoparticle decorated with Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@ SiO<sub>2</sub>-NH<sub>2</sub> core-shell microspheres, **International Journal of Hydrogen Energy**, 45, 55, 30415-30430, (2020).
- [3] İzgi, M. S., Şahin, Ö., Onat, E. and Saka, C., Epoxy-activated acrylic particulate polymer-supported Co-Fe-Ru-B catalyst to produce H<sub>2</sub> from hydrolysis of NH<sub>3</sub>BH<sub>3</sub>, **International Journal of Hydrogen Energy**, 45, 43, 22638-22648, (2020).
- [4] Boretti, A., Production of hydrogen for export from wind and solar energy, natural gas, and coal in Australia, **International Journal of Hydrogen Energy**, 45, 7, 3899-3904, (2020).
- [5] Kim, K. C. & Sholl, D. S., Crystal structures and thermodynamic investigations of LiK (BH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, KBH<sub>4</sub>, and NaBH<sub>4</sub> from first-principles calculations, **The Journal of Physical Chemistry C**, 114, 1, 678-686, (2010).
- [6] Dincer, İ., Technical, environmental and energetic aspects of hydrogen energy systems, **International Journal of Hydrogen Energy**, 27, 3, 265-285, (2002).
- [7] Onat, E., Aslan, M. and İzgi, M. S., Kobalt bazlı bimetalik nanokatalizörün potasyum borhidrür hidroliz tepkimesi üzerindeki katalitik etkisinin incelenmesi, **Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 9, 200-212, (2021).
- [8] Jain, I. P., Jain, P. and Jain, A., Novel hydrogen storage materials: A review of lightweight complex hydrides, **Journal of Alloys and Compounds**, 503, 2, 303-339, (2010).
- [9] Şahin, Ö., İzgi, M. S., Onat, E. and Saka, C., Influence of the using of methanol instead of water in the preparation of Co-B-TiO<sub>2</sub> catalyst for hydrogen production by NaBH<sub>4</sub> hydrolysis and plasma treatment effect on the Co-B-TiO<sub>2</sub> catalyst, **International Journal of Hydrogen Energy**, 41, 4, 2539-2546, (2016).
- [10] Muir, S. S. & Yao, X., Progress in sodium borohydride as a hydrogen storage material: Development of hydrolysis catalysts and reaction systems, **International Journal of Hydrogen Energy**, 36, 10, 5983-5997, (2011).
- [11] Török, B., Schäfer, C. and Kokel, A., **Heterogeneous Catalysis in Sustainable Synthesis**, eBook ISBN: 9780128178263, 23-80, (2022).
- [12] Armarego, W. L. F., Purification of Laboratory Chemicals (Ninth edition), Butterworth-Heinemann, eBook ISBN: 978-0-323-90968-6, 241-363, (2022).

- [13] Taştaban, M., Katalitik ıslak peroksit oksidasyonu yoluyla azo boyar madde gideriminde kullanılmak üzere bentonit destekli katalizör sentezi ve karakterizasyonu, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, (2019).
- [14] Mehrabadi, B. A. T., Eskandari, S., Khan, U., White, R. D. and Regalbuto, J. R., A Review of Preparation Methods for Supported Metal Catalysts, **Advances in Catalysis**, 61, 1-35, (2017).
- [15] Onat, E., Horoz, S., Şahin, Ö. and İzgi, M. S., Revolutionary carbon quantum dot supported-Co catalyst for record-breaking hydrogen production rate, **Journal of the Australian Ceramic Society**, 1-10, (2024).
- [16] Onat, E., İzgi, M. S., Şahin, Ö. and Saka, C., Highly active hydrogen production from hydrolysis of potassium borohydride by caffeine carbon quantum dot-supported cobalt catalyst in ethanol solvent by hydrothermal treatment, **International Journal of Hydrogen Energy**, 51, 362-375, (2024).
- [17] İzgi, M. S., Onat, E., Şahin, Ö. and Saka, C., Green and active hydrogen production from hydrolysis of ammonia borane by using caffeine carbon quantum dot-supported ruthenium catalyst in methanol solvent by hydrothermal treatment, **International Journal of Hydrogen Energy**, 51, 180-192, (2024).
- [18] Onat, E., İzgi, M. S., Şahin, Ö. and Saka, C., Nickel/nickel oxide nanocomposite particles dispersed on carbon quantum dot from caffeine for hydrogen release by sodium borohydride hydrolysis: Performance and mechanism, **Diamond and Related Materials**, 141, 110704, (2024).
- [19] Hagen, J., **Industrial catalysis: a practical approach**, John Wiley & Sons, eBook ISBN: 978-3-527-33165-9, (2015).
- [20] Yaslı, M.A., Antep fıstığı kavlatma tesisi atıklarından hidrotermal yöntemle aktif karbon üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, (2005).
- [21] White, R.J., Luque, R., Budarin, V. L., Clark, J. H., Macquarrie, D. J., Supported metal nanoparticles on porous materials. Methods and applications, **Chemical Society Reviews**, 38, 2, 481-494, (2009).
- [22] Mahanim, S. M. A., Asma, I. W., Rafidah, J., Puad, E. and Shaharuddin, H., Production of activated carbon from industrial bamboo wastes, **Journal of Tropical Forest Science**, 417-424, (2011).
- [23] Le Van, K. and Thi, T. T. L., Activated carbon derived from rice husk by NaOH activation and its application in supercapacitor, **Progress in Natural Science: Materials International**, 24, 3, 191-198, (2014).
- [24] Oliveira, A. V., Vilaça, R., Santos, C. N., Costa, V. and Menezes, R., Exploring the power of yeast to model aging and age-related neurodegenerative disorders, **Biogerontology**, 18, 1, 3-34, (2017).
- [25] Shin, D. Y., Sung, K. W. and Ahn, H. J., Synergistic effect of heteroatom-doped activated carbon for ultrafast charge storage kinetics, **Applied Surface Science**, 478, 499-504, (2019).
- [26] Nakamoto, K., **Infrared spectra of Inorganic and Coordination Compounds**, 2nd ed. New York, John Wiley and Sons, (1963).
- [27] Liu, Y., Liu, X., Dong, W., Zhang, L., Kong, Q. and Wang, W., Efficient Adsorption of Sulfamethazine onto Modified Activated Carbon: A Plausible Adsorption Mechanism, **Scientific Reports**, 7, 12437, (2017).
- [28] Onat, E., Şahin, Ö., İzgi, M. S. and Horoz, S., An efficient synergistic Co@ CQDs catalyst for hydrogen production from the hydrolysis of  $\text{NH}_3\text{BH}_3$ , **Journal of Materials Science: Materials in Electronics**, 32, 27251-27259, (2021).



- [29] İzgi, M. S., Effect of microwave irradiated Co-B-Cr catalyst on the hydrolysis of sodium borohydride, **Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects**, 38, 17, 2590-2597, (2016).
- [30] Li, Z., Li, H., Wang, L., Liu, T., Zhang, T., Wang, G. and Xie, G., Hydrogen generation from catalytic hydrolysis of sodium borohydride solution using supported amorphous alloy catalysts (Ni-Co-P/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), **International journal of hydrogen energy**, 39, 27, 14935-14941, (2014).
- [31] Demirci, U. B., Akdim, O., Hannauer, J., Chamoun, R. and Miele, P., Cobalt, a reactive metal in releasing hydrogen from sodium borohydride by hydrolysis: A short review and a research perspective, **Science China Chemistry**, 53, 1870-1879, (2010).
- [32] Onat, E., & Ekinici, S., A new material fabricated by the combination of natural mineral perlite and graphene oxide: Synthesis, characterization, and methylene blue removal, **Diamond and Related Materials**, 110848, (2024).
- [33] İzgi, M. S., Şahin, Ö., Onat, E. and Horoz, S., Metanolde sentezlenen Co-B katalizörün sodyum hidrolizi üzerine etkisi, **Journal of the Institute of Science and Technology**, 7, 4, 151-160, (2017).
- [34] Lee, J., Shin, H., Choi, K. S., Lee, J., Choi, J. Y. and Yu, H. K., Carbon layer supported nickel catalyst for sodium borohydride (NaBH<sub>4</sub>) dehydrogenation, **International Journal of Hydrogen Energy**, 44, 5, 2943-2950, (2019).

# Weekly Ill-posed integral geometry problems of Volterra type in three-dimensional space

Akram BEGMATOV<sup>1\*</sup>, Alisher ISMAILOV<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Joint Belarusian-Uzbek Intersectoral Institute of Applied Technical Qualifications in Tashkent, Tashkent, Uzbekistan

<sup>2</sup>Uzbek-Finnish pedagogical institute, Samarkhand, Uzbekistan

Geliş Tarihi (Received Date): 01.04.2024

Kabul Tarihi (Accepted Date): 05.05.2024

## Abstract

In this paper considers the problem of recovering a function from families of spheres in space. The uniqueness of the solution of the problem is proved by reducing it to the Volterra integral equation of the first and then the second kind. Fourier transform methods are also used. Uniqueness theorems are proved for some new classes of operator equations of Volterra type in three-dimensional space.

**Keywords:** Integral geometry problem, Fourier transform, uniqueness theorem, Volterra integral equation.

## Üç boyutlu uzayda Volterra tipindeki, zayıf nokorrekt integral geometri problemi

### Öz

Bu makalede küre ailesinden uzaydaki bir fonksiyonu kurtarılma problemi ele alınmaktadır. Volterrannin önce birinci sonra ikinci tür integral denklemine getirmek yoluyla kanıtlanır. Furier değiştirme yöntemleri de kullanılmaktadır. Üç boyutlu uzayda Volterra tipindeki operatör denklemlerinin bazı yeni sınıfları için teklik teoremleri kanıtlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** İntegral geometri problemi, Fourier değiştirilmesi, teklik teoremi, Volterra integral denklemi.

---

\*Akram BEGMATOV, akrambegmatov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2813-7653>  
Alisher ISMOILOV, alisher\_8778@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2552-4519>

## 1. Introduction

Integral geometry problems naturally arise in the study of many mathematical models in seismology, in the interpretation of geophysical and aerospace observations, and in the study of various processes described by kinetic equations and others. The methods developed here are the mathematical foundations of computed tomography. As you know, computed tomography is a rapidly developing field of modern science. One of the central problems of integral geometry is also the problem of restoring a function from its integrals from given manifolds.

Let us give the definition of the problem of integral geometry [1].

Let  $x \in R^n$ ,  $x = (x_1, \dots, x_n)$ ,  $S(y)$  - a family of manifolds in  $x \in R^n$ , depending on  $m$ ,  $\dim S = p$  the dimension parameter  $y$ . Let  $u(x)$  be a function defined in some  $D \subset R^n$ ,  $\rho(x, y)$  - domain as a function of variables measure  $x, y$ ,  $\omega(y)$  - on a manifold  $S(y)$ .

Consider the function

$$\int_{S(y)} \rho(x, y) u(x) d\omega = f(y). \quad (1)$$

Integral geometry is a branch of mathematics that studies various relationships between the elements included in (1).

We will assume that in (1)  $S(y)$ ,  $\rho(x, y)$ ,  $f(y)$  are given and consider (1) as a linear operator equation with respect to the function  $u(x)$ .

Integral geometry problems of Volterra type are those problems that can be reduced to the study of Volterra operator equations in the sense of the definition given by M.M. Lavrentev [1]. We also give definitions of weak and strong ill-posed problems of an integral geometry. The problem of solving equation (1) is called weakly ill-posed if for the given problem and its solution it is possible to choose a pair of function spaces in which a finite number of derivatives are involved in determining the norm such that the inversion operator for this pair of spaces is continuous. If such a pair of spaces does not exist, then the problem is strongly ill-posed [1].

The first results on the uniqueness and stability of integral geometry problems in the case when the manifolds over which the integration is carried out have the form of paraboloids and are invariant under the group of all motions parallel to the  $(n - 1)$ -dimensional hyperplane were obtained by V.G. Romanov [2,3].

In the work of M.M.Lavrentev [6], a very fruitful idea of reducing a wide class of problems of integral geometry to the study of an equation of evolutionary type for some auxiliary function was proposed. In particular, this made it possible to prove the uniqueness theorem for the solution of the original problem. Note that the problem of determining a function from its spherical mean by reducing it to a certain differential equation was studied in the monograph [5]. Mention should

also be made of the work [4], in which other classes of Volterra equations in integral geometry were studied.

New classes of problems in integral geometry were developed in the works of A.Kh.Begmatov [7-9]. In his works, problems of integral geometry of Volterra type were studied on the plane and in space.

In [10-12], new classes of problems of integral geometry were studied and new approaches were introduced to the study of problems of recovering a function from weight functions with a singularity.

The paper considers the problem of recovering a function from families of spheres in space. The uniqueness of the solution of the problem is proved by reducing it to the Volterra integral equation of the first and then the second kind. Fourier transform methods are also used. Uniqueness theorems are proved for some new classes of operator equations of Volterra type in three-dimensional space.

## 2. Results and discussion

**Formulation of the problem.** Consider the problem of integral geometry for a family of surfaces in half-space  $z \geq 0$ . The surface over which the integration is carried out is a sphere

$$z^2 - \zeta^2 = (x - \xi)^2 + (y - \eta)^2.$$

We denote  $L_D = \{(x, y, z) : x \in R, y \in R, 0 \leq z \leq D\}$ .

The function  $u(\cdot)$  is assumed to be finite at  $x, y$ , that is  $u(x, y, z) = 0$ , for,  $(x, y) \notin D$ , where  $D$  is a bounded area on the plane  $z = 0$ .

**Problem 1.** In half-space  $L_D$ , restore a function of three variables  $u(x, y, z)$  if the integrals of it over the surfaces of the family  $\{Y(x, y, z)\}$  are exist:

$$f(x, y, z) = \int_{Y(x, y, z)} q(z, \zeta) u(\xi, \eta, \zeta) d\omega, \tag{2}$$

where an arbitrary surface of the family is represented by the expression

$$Y(x, y, z) = \{(\xi, \eta, \zeta) : z^2 - \zeta^2 = (x - \xi)^2 + (y - \eta)^2, 0 \leq \zeta \leq z \leq D\}.$$

Let us investigate the uniqueness of solution (2) by reducing it to the Volterra integral equation of the first and then the second type.

**Theorem.** Let the function  $f(x, y, z)$  exist for all  $x, y, z$  in the half-space  $L_D$ , the weight function  $q(z, \zeta) = \frac{1}{\sqrt{z^2 - \zeta^2}}$ . Then the solution of equation (2) is unique in the class of twice continuously differentiable finite functions supported in half-spaces  $L_D$ .

**Proof.** Let us write equation (2) in the following form:

$$\int_0^z \int_{-\pi}^{\pi} \frac{1}{\rho} u(x + \rho \cos \varphi, y + \rho \sin \varphi, \zeta) d\varphi d\zeta = f(x, y, z), \quad (3)$$

where 
$$\rho = \frac{1}{\sqrt{z^2 - \zeta^2}}.$$

We apply to both sides of equation (4) the Fourier transform in the variable x:

$$\begin{aligned} \hat{f}(\lambda, y, z) &= \int_0^z \int_{-\pi}^{\pi} \left( \int_{-\infty}^{+\infty} e^{i\lambda x} \frac{1}{\rho} u(x + \rho \cos \varphi, y + \rho \sin \varphi, \zeta) dx \right) d\varphi d\zeta = \\ &= \int_0^z \int_{-\pi}^{\pi} \frac{1}{\rho} e^{-i\lambda \rho \cos \varphi} \hat{u}(\lambda, y + \rho \sin \varphi, \zeta) d\varphi d\zeta. \end{aligned} \quad (4)$$

We apply to both sides of equation (4) the Fourier transform in the variable y:

$$\begin{aligned} \hat{f}(\lambda, \mu, z) &= \int_0^z \int_{-\pi}^{\pi} \frac{1}{\rho} e^{-i\lambda \rho \cos \varphi} \left( \int_{-\infty}^{+\infty} e^{i\mu y} \hat{u}(\lambda, y + \rho \sin \varphi, \zeta) dy \right) d\varphi d\zeta = \\ &= \int_0^z \hat{u}(\lambda, \mu, \zeta) \int_{-\pi}^{\pi} \frac{1}{\sqrt{z^2 - \zeta^2}} e^{-i\sqrt{z^2 - \zeta^2}(\lambda \cos \varphi + \mu \sin \varphi)} d\varphi d\zeta. \end{aligned}$$

We have obtained the Volterra integral equation of the first type for the function  $\hat{u}(\lambda, \mu, \zeta)$

$$\int_0^z \hat{u}(\lambda, \mu, \zeta) \frac{I(\lambda, \mu, z, \zeta)}{\sqrt{z - \zeta}} d\zeta = \hat{f}(\lambda, \mu, z) \quad (5)$$

where

$$I(\lambda, \mu, z, \zeta) = \int_{-\pi}^{\pi} \frac{1}{\sqrt{z + \zeta}} e^{-i\sqrt{z^2 - \zeta^2}(\lambda \cos \varphi + \mu \sin \varphi)} d\varphi \quad (6)$$

Let us prove equation (6).

$$\lambda \cos \varphi + \mu \sin \varphi = \gamma \sin(\varphi + k), \quad \gamma = \sqrt{\lambda^2 + \mu^2}, \quad k \in \left[-\frac{\pi}{2}; 0\right) \cup \left(0; \frac{\pi}{2}\right].$$

Thus, equation (6) takes the form

$$I(\lambda, \mu, z, \zeta) = \frac{1}{\sqrt{z + \zeta}} \int_{-\pi}^{\pi} e^{-i\gamma \sqrt{z^2 - \zeta^2} \sin(\varphi + k)} d\varphi = \frac{1}{\sqrt{z + \zeta}} (I_1(z, \zeta, \lambda, \mu) + I_2(z, \zeta, \lambda, \mu)).$$

$$I_1(z, \zeta, \lambda, \mu) = \int_{-\gamma \sin k}^{\gamma \sin k} e^{-i(\sqrt{z^2 - \zeta^2})v} \frac{dv}{\gamma \sqrt{1 - \frac{v^2}{\gamma^2}}}. \quad (7)$$

We calculate the integral (7)

$$|I_1(z, \zeta, \lambda, \mu)| = \left| \int_{-\gamma \sin k}^{\gamma \sin k} e^{-i(\sqrt{z^2 - \zeta^2})v} \frac{dv}{\gamma \sqrt{1 - \frac{v^2}{\gamma^2}}} \right| \leq 2 \int_0^{\gamma \sin k} \frac{dv}{\gamma \sqrt{1 - \frac{v^2}{\gamma^2}}} = \frac{2}{\gamma} (\arcsin(\sin k) - \arcsin 0) = \frac{2k}{\gamma}.$$

Thus,

$$|I_1(z, \zeta, \lambda, \mu)| \leq \frac{2k}{\gamma}.$$

Also for  $I_2(z, \zeta, \lambda, \mu)$ , if we do the same as above, we get the expression

$$|I_2(z, \zeta, \lambda, \mu)| \leq \frac{2k}{\gamma}.$$

Thus,

$$|I(z, \zeta, \lambda, \mu)| \leq \frac{1}{\sqrt{z+\zeta}} (|I_1(z, \zeta, \lambda, \mu)| + |I_2(z, \zeta, \lambda, \mu)|) \leq \frac{4k}{\gamma\sqrt{z+\zeta}}$$

or

$$I(z, \zeta, \lambda, \mu) = \frac{4k}{\sqrt{\lambda^2 + \mu^2} \sqrt{z+\zeta}}. \tag{8}$$

Equation (5) has an integrable singularity on the diagonal  $z = \zeta$ . As can be seen from formula (8), the function  $I(\lambda, \mu, z, \zeta)$  is continuous in the region  $0 < \zeta \leq z < D$  and

$$I(\lambda, \mu, z, z) = \frac{4k}{\sqrt{2z} \sqrt{\lambda^2 + \mu^2}} \neq 0.$$

Using expression (5) for the function  $I(\lambda, \mu, z, \zeta)$ , it is easy to show that the first-order partial derivative with respect to the variable  $z$  of this function does not have a weak singularity on the diagonal  $z = \zeta$ :

$$I_z'(\lambda, \mu, z, \zeta) = -\frac{2k dz}{\sqrt{\lambda^2 + \mu^2} \sqrt{(z+\zeta)^3}}.$$

We can reduce equation (5) to the Volterra equation of the second type, using the Abel method [13]. To do this, we multiply equality (5) by  $1/\sqrt{t-z}$  and integrate over  $z$  in the range from zero to  $t$ . Changing the order of integration in the resulting iterated integral, we find

$$\int_0^t \frac{\hat{f}(\lambda, \mu, z)}{\sqrt{t-z}} dz = \int_0^t \frac{dz}{\sqrt{t-z}} \int_0^z \hat{u}(\lambda, \mu, \zeta) I(\lambda, \mu, z, \zeta) \frac{d\zeta}{\sqrt{z-\zeta}} = \int_0^t \hat{u}(\lambda, \mu, \zeta) \left[ \int_{\zeta}^t \frac{I(\lambda, \mu, z, \zeta)}{\sqrt{t-z} \sqrt{z-\zeta}} dz \right] d\zeta. \tag{9}$$

The function under the integral in square brackets here

$$T(t, \zeta, \lambda, \mu) = \int_{\zeta}^t \frac{I(\lambda, \mu, z, \zeta)}{\sqrt{t-z} \sqrt{z-\zeta}} dz$$

has a finite nonzero value at  $t = \zeta$ . To verify this, let's change the variable  $z = t \cos^2 \varphi + \zeta \sin^2 \varphi$ .

Then the function  $T(t, \zeta, \lambda, \mu)$  will take the following form:

$$T(t, \zeta, \lambda, \mu) = \int_{\zeta}^t \frac{4k}{\sqrt{\lambda^2 + \mu^2} \sqrt{z+\zeta} \sqrt{t-z} \sqrt{z-\zeta}} dz = 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{4k d\varphi}{\sqrt{\lambda^2 + \mu^2} \sqrt{t \cos^2 \varphi + (1 + \sin^2 \varphi) \zeta}}.$$

or

$$T(t, \zeta, \lambda, \mu) = 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} I(\lambda, \mu, t \cos^2 \varphi + \zeta \sin^2 \varphi, \zeta) d\varphi, \tag{10}$$

where

$$I(\lambda, \mu, t \cos^2 \varphi + \zeta \sin^2 \varphi, \zeta) = \frac{4k}{\sqrt{\lambda^2 + \mu^2} \sqrt{t \cos^2 \varphi + (1 + \sin^2 \varphi) \zeta}}.$$

From here, assuming  $\zeta = t$ , we find

$$I(\lambda, \mu, t, t) = 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{4k}{\sqrt{\lambda^2 + \mu^2} \sqrt{t \cos^2 t + (1 + \sin^2 \varphi) t}} d\varphi =$$

$$= 2 \frac{4k}{\sqrt{\lambda^2 + \mu^2}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\varphi}{\sqrt{2t}} = 2 \frac{4k}{\sqrt{2t}\sqrt{\lambda^2 + \mu^2}} \varphi \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} = \frac{4k\pi}{\sqrt{2t}\sqrt{\lambda^2 + \mu^2}} \neq 0.$$

Using formula (10), it is also easy to verify that  $T(t, \zeta, \lambda, \mu)$  has a continuous derivative with respect  $t$  to the variable everywhere except for the diagonal  $\zeta = t$ . On the diagonal  $T_t(t, \zeta, \lambda, \mu)$  has an integrable singularity of the form  $\frac{1}{\sqrt{t-z}}$ . Differentiating equality (9) and dividing by  $T(t, t, \lambda, \mu)$ , we obtain for each fixed  $\lambda$  and  $\mu$  integral Volterra equation of the second kind:

$$\hat{u}(\lambda, \mu, t) + \int_0^t \hat{u}(\lambda, \mu, t) \frac{T_t(\lambda, t, t)}{T(\lambda, t, t)} d\zeta = \frac{1}{T(\lambda, t, t)} \frac{\partial}{\partial t} \int_0^t \frac{\hat{f}(\lambda, \mu, z)}{\sqrt{t-z}} dz$$

with a kernel, an integrable singularity on the diagonal. As follows from the general theory, the solution of such equations is unique [13].

### 3. Conclusion

The paper considers the problem of recovering a function from families of spheres in space. The uniqueness of the solution of the problem is proved by reducing it to the Volterra integral equation of the first and then the second kind. The proof of the uniqueness theorem is based on the researching of boundary value problems for auxiliary functions. Fourier transform methods are also used. Uniqueness theorems are proved for some new classes of operator equations of Volterra type in three-dimensional space. Problems of such kind arise in geophysics and computerized tomography. The practical significance of the article lies in the fact that the results obtained can be used in the numerical solution of problems of determining the internal structure of objects, arising in the field of medicine and geophysics.

### References

- [1] Lavrentyev M.M. and Savelyev L.Y., Operator Theory and Ill-Posed Problems. Moscow: Publ **House of the Inst Math** (2010).
- [2] Romanov V. G. "Reconstructing a function by means of integrals along a family of curves", **Soviet Math. Dokl.**, 8:5, 923-925 (1967).
- [3] Romanov V.G. Some inverse problems for hyperbolic equations. — **Novosibirsk: Nauka**, 164 p. (1972). (in Russian).
- [4] Buchheim A.L. On Some Problems of Integral Geometry. **Siberian Math J**, 13 (1),34 (1972).
- [5] Yon F. Plane waves and spherical means as applied to partial differential equations. - **M.: Izd-vo inostr. lit., (1958), 158 p.**
- [6] Lavrentiev M.M. Inverse problems and special operator equations of the first kind // *Mezhdunar. mat. kongress v v Nitstse, 1970.* - M.: Nauka, S. 130-136 (1972). (in Russian).
- [7] Begmatov Akram H. "Two classes of weakly ill-posed problems of integral geometry on the plane", **Siberian Math. J.**, 36:2, 213–218 (1995).

- [8] Begmatov Akram H. “The integral geometry problem for a family of cones in the n-dimensional space”, **Siberian Math. J.**, **37**:3, 430–435 (1996).
- [9] Begmatov Akram. H. “Volterra problems of integral geometry in the plane for curves with singularities”, **Siberian Math. J.**, **38**:4, 723-737 (1997).
- [10] Begmatov Akram Kh., Ismoilov A.S. Restoring the function set by integrals for the family of parabolas on the plane // Bulletin of National University of Uzbekistan: **Mathematics and Natural Sciences**, Vol. 3, issue 2., pp. 246-254 2020.
- [11] Begmatov A.Kh., Ismoilov A.S. On a problem of integral geometry over a family of parabolas with perturbation. **Journal of the Balkan Tribological Association** 27 (4), 497-509 (2021).
- [12] Begmatov A.Kh., Ismoilov A.S., Khudayberdiev D.G. Weakly ill-posed problems of integral geometry on the plane with perturbation. **Journal of the Balkan Tribological Association**, Vol. 29, No 3, 273–289 (2023).
- [13] Tricomi F. Integral equations / F. Triкоми. – M.: Izdatel'stvo inostrannoy literatury, (1960) 301 p.



# Investigation of otolith mass asymmetry of *Squalius* sp. populations sampled from different freshwater sources in Samsun Province (Türkiye)

Canan İMAMOĞLU<sup>1,\*</sup>, Nazmi POLAT<sup>1</sup>, Semra SAYGIN<sup>1</sup>, Melek ÖZPİÇAK<sup>1</sup>, Savaş YILMAZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ondokuz Mayıs University Faculty of Sciences, Biology Department, Samsun

Geliş Tarihi (Received Date): 03.05.2024

Kabul Tarihi (Accepted Date): 21.05.2024

## Abstract

This research aimed to determine and compare the otolith mass asymmetry (OMA) of *Squalius* sp. species sampled from ten different freshwater sources in Samsun province. In this context, fish samples obtained from Abdal Stream, Akçay Stream, Engiz Stream, Istavloz Stream, Kaynatma Stream, Mert River, Taşkelik Stream, Terme Stream, Tersakan Stream, Yeşilpınar Stream. The difference between the right and left otoliths were found to be statistically significant in the Istavloz Stream and Tersakan Stream for the asteriscus and in the Abdal Stream for the lapillus ( $p < 0.05$ ). OMA ( $x$ ) and absolute mass asymmetry ( $|x|$ ) for the asteriscus otolith and lapillus otolith were estimated separately by locality. In all localities, the mean mass asymmetry ( $x \pm SE$ ) values for *Squalius* sp., for the asteriscus otolith and lapillus otolith were  $0.00835 \pm 0.00280$  and  $-0.00088 \pm 0.00246$ , and the absolute mass asymmetry ( $|x| \pm SE$ ) values were  $0.03669 \pm 0.00216$  and  $0.03324 \pm 0.00182$ , respectively. OMA-fish length and absolute mass asymmetry-fish length relationships for asteriscus and lapillus otoliths were determined using the linear relationship equation. According to the results of this study, there were no statistically significant differences among the localities in terms of asteriscus OMA/absolute mass asymmetry and lapillus OMA/absolute mass asymmetry (Kruskal Wallis Test,  $p > 0.05$ ). This is the first study in which OMA and absolute otolith mass asymmetry of *Squalius* sp. living in the freshwaters of Samsun province were investigated, and their relationships with fish length were evaluated.

**Keywords:** Leuciscidae, *Squalius*, otolith, mass asymmetry, Samsun

\*Canan İMAMOĞLU, canansimsekimamoglu@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9923-1316>

Nazmi POLAT, npolat@omu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-9785-9927>

Semra SAYGIN, semra.saygin@omu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-3249-5074>

Melek ÖZPİÇAK, melek.zengin@omu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-3506-4242>

Savaş YILMAZ, savas.yilmaz@omu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-2859-4886>

## Samsun (Türkiye) ilindeki farklı tatlı su kaynaklarından örneklenen *Squalius* sp. populasyonlarında otolit kütle asimetrisinin incelenmesi

### Öz

*Bu araştırmada Samsun ilindeki on farklı tatlısu kaynağından örneklenen Squalius sp. türünün otolit kütle asimetrisinin (OMA) belirlenmesi ve lokasyonlar arasında karşılaştırılması hedeflenmiştir. Bu kapsamda balık örnekleri Abdal Çayı, Akçay, Engiz Çayı, Istavloz Çayı, Kaynatma Deresi, Mert Irmağı, Taşkelik Deresi, Terme Çayı, Tersakan Çayı, Yeşilpınar Deresi'nden yakalanmıştır. Sağ ve sol otolitler arasındaki fark asteriskus için Istavloz Çayı ve Tersakan Çayı'nda; lapillus için Abdal Çayı'nda istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). Her bir lokalitede, OMA ( $x$ ) ve mutlak kütle asimetrisi ( $|x|$ ) asteriskus ve lapillus için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Asteriskus ve lapillus için ortalama kütle asimetrisi ( $x \pm SE$ ) değerleri sırasıyla  $0,00835 \pm 0,00280$ ,  $-0,00088 \pm 0,00246$ ; mutlak kütle asimetrisi ( $|x| \pm SE$ ) ise  $0,03669 \pm 0,00216$  ve  $0,03324 \pm 0,00182$  olarak hesaplanmıştır. Asteriskus otolit ve lapillus otolit için OMA-balık boyu ve mutlak kütle asimetrisi-balık boyu ilişkisi linear ilişki denklemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, asteriskus OMA/mutlak otolit kütle asimetrisi ve lapillus OMA/mutlak otolit kütle asimetrisi açısından lokaliteler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır (Kruskal Wallis Testi,  $p > 0,05$ ). Bu çalışma, Samsun ili tatlısularında yaşayan Squalius sp. türünün OMA ve mutlak otolit kütle asimetrisinin incelendiği ve balık boyu ile ilişkilerinin ele alındığı ilk çalışmadır.*

**Anahtar kelimeler:** Leuciscidae, Squalius, otolit, kütle asimetrisi, Samsun

### 1. Introduction

Otoliths are calcified structures in the inner ear of the teleost fish and play a significant role in both balance and hearing senses [1-4]. The otolith is markedly species-specific and continues to grow throughout the life of the fish [5, 6]. Otoliths identify fish species but also have the ability to record life histories and reflect environmental pressures at different stages of their lives [7-9]. There are three pairs of otoliths, the lapillus, sagitta, and asteriscus, which connect to sensory cells (macula) in the utriculus, sacculus, and lagena, respectively [2, 4, 10]. In most Teleost fishes, the sagitta is the largest otolith; however, in Cypriniformes, Characiformes, Gymnotiformes, and Siluriformes, the asteriscus and/or lapillus are larger than the sagitta [5, 11]. Otoliths generally have a bilaterally symmetrical structure in fish, but their weights are different between the left and right otoliths, and this is called otolith mass asymmetry [12]. Otolith asymmetry occurs when the mass and shape of the paired otoliths of an individual are not equal [13-15]. This variability in weight asymmetry is presumed to reveal the growth anomalies caused by genetic or environmental pressures on fish [16]. Although it is known that there is a significant impairment in vestibular and auditory functions, it is observed that the precise quantitative, morphological, and physiological basis of otolith asymmetry is still unclear [17]. In recent years, teleost fish have been playing an important role in the study of asymmetry in otolith mass because they are a very suitable biological model to assess the physiological role of otolith mass [17, 18]. When the literature was examined,

it was found that there were studies on otolith mass asymmetry (OMA), absolute mass asymmetry and fish size-OMA/ absolute mass asymmetry relationships in many different marine and freshwater fish [14, 17, 19-30].

*Squalius* (Bonaparte, 1837) genus, commonly known as chub, belongs to the family Leuciscidae [31]. The genus *Squalius* is one of the most widely distributed inland fishes in the freshwaters of Türkiye and comprises a number of medium-sized fishes widely [32-34]. Due to their omnivorous feeding behavior, they have the ability to consume a wide variety of plant and animal-based foods. There are many different studies such as feeding, age and growth, genetics, and systematics of *Squalius* [35- 41]. The number of studies on otolith mass and shape asymmetries conducted in Turkey is quite low [23- 25, 28- 30]. There is no study on the OMA of *Squalius* in Türkiye in the current literature. In this study, OMA and absolute mass asymmetry were investigated in ten different *Squalius* sp. populations living in Samsun province. In addition, both OMA and absolute otolith mass asymmetry relationships of total length were examined.

## 2. Materials and methods

*Squalius* sp. samples were obtained from ten different locations identified in some freshwater sources in the Samsun province of Türkiye. 40 samples were captured in each location, including Abdal Stream, Akçay Stream, Engiz Stream, Istavloz Stream, Kaynatma Stream, Mert River, Taşkelik Stream, Terme Stream, Tersakan Stream, Yeşilpınar Stream between May and November 2022. The electroshock device (SAMUS 725MP) was used for capturing the samples. Fish samples obtained from fieldwork were transported to the Ichthyology Research Laboratory of Ondokuz Mayıs University in containers with ice belonging to the respective locality, and foreign materials on them were removed by washing.

The total lengths of each fish were measured ( $\pm 0.1$  cm). The otolith pairs of the utricular (asteriscus) and lagenar (lapillus) were removed, distinguishing between right and left. Undamaged pairs of otoliths were cleaned and stored in eppendorf tubes. Left and right otoliths were weighted ( $\pm 0.0001$  g). Otolith mass asymmetry (x) was calculated from equation 1, where  $M_R$  and  $M_L$  are the otolith masses of the right and left otoliths, respectively.  $M$  is the mean mass of  $M_R$  and  $M_L$ . The otolith mass asymmetry value is 0 (zero) when the right and left otolith masses are equal ( $M_R = M_L$ ). A value of zero indicates the absence of otolith mass asymmetry. However, this value can vary between -2 and +2. When the value of X is negative, the left otolith mass is greater than the right otolith mass, and when it is positive, the opposite is true [27].

$$x = (M_R - M_L) / M \quad (1)$$

In this study, the equation 2 was used to establish the linear relationships between (x)-total length and absolute otolith mass asymmetry (|x|)-total length. In this formula, “b” is the coefficient characterizing the growth rate of the otolith, TL is the total length of the fish, and “a” is a constant (intercept) for the given species [18].

$$X = b \cdot TL + a \quad (2)$$

When comparing the otolith weight values of the right and left otoliths, a normality test was applied to the data. If the data were normally distributed, paired sample t test was used for comparisons, and if the data was not normally distributed, the non-parametric Wilcoxon test was applied. The Kruskal-Wallis test, which is used when data are not normally distributed, was used to compare whether there were differences in otolith mass asymmetry and absolute mass asymmetry between localities. SPSS 21.0 software package and the Microsoft Excel packages were used for all statistical analyses.

### 3. Results

In the study, a total of 400 fish individuals belonging to *Squalius* sp. living in the freshwater resources of Samsun province were caught. The total length of the fish ranged from between 6.5-36.80 cm (13.62±0.17). Right asteriscus, left asteriscus, right lapillus, and left lapillus otolith weight ranged from 0.0005-0.0183 g, 0.0005-0.0186 g, 0.0006-0.0280 g and 0.0006-0.0281 g, respectively. Descriptive statistics of total length, asteriscus otolith, and lapillus otolith weights of *Squalius* sp. according to localities were given in Table 1. There were statistically significant differences between localities in terms of total length (Kruskal-Wallis test, P<0.05).

Table 1. Descriptive statistics of total length, asteriscus otolith, and lapillus otolith weights of *Squalius* sp. according to localities (TL: Total length, N: Number of samples, Min.: Minumum; Max.: Maximum; SE: Standard error, SD: Standard deviation)

Locality	Variable	N	Min.	Max.	Mean	±SE	±SD
Abdal Stream	TL (cm)	40	9.30	36.80	15.66	0.80	5.04
	Right asteriscus (g)	40	0.0012	0.0183	0.0034	0.0004	0.0028
	Left asteriscus (g)	40	0.0011	0.0186	0.0034	0.0005	0.0029
	Right lapillus (g)	40	0.0018	0.0280	0.0050	0.0007	0.0044
	Left lapillus (g)	40	0.0019	0.0281	0.0051	0.0007	0.0044
Akçay Stream	TL (cm)	40	10.20	22.30	13.38	0.39	2.47
	Right asteriscus (g)	40	0.0014	0.0054	0.0026	0.0002	0.0010
	Left asteriscus (g)	40	0.0014	0.0053	0.0025	0.0002	0.0010
	Right lapillus (g)	40	0.0017	0.0069	0.0035	0.0002	0.0013
	Left lapillus (g)	40	0.0017	0.0069	0.0035	0.0002	0.0013
Engiz Stream	TL (cm)	40	6.50	23.20	13.40	0.58	3.67
	Right asteriscus (g)	40	0.0005	0.0073	0.0027	0.0002	0.0015
	Left asteriscus (g)	40	0.0005	0.0073	0.0027	0.0002	0.0015
	Right lapillus (g)	40	0.0006	0.0079	0.0032	0.0003	0.0017
	Left lapillus (g)	40	0.0006	0.0081	0.0033	0.0003	0.0017
İstavloz Stream	TL (cm)	40	7.50	20.00	13.27	0.53	3.38
	Right asteriscus (g)	40	0.0006	0.0050	0.0020	0.0001	0.0009
	Left asteriscus (g)	40	0.0006	0.0050	0.0019	0.0001	0.0009
	Right lapillus (g)	40	0.0007	0.0069	0.0026	0.0002	0.0013
	Left lapillus (g)	40	0.0007	0.0066	0.0026	0.0002	0.0013
Kaynatma Stream	TL (cm)	40	8.60	21.50	13.08	0.40	2.53
	Right asteriscus (g)	40	0.0009	0.0055	0.0020	0.0001	0.0009
	Left asteriscus (g)	40	0.0009	0.0054	0.0020	0.0001	0.0008
	Right lapillus (g)	40	0.0010	0.0070	0.0026	0.0002	0.0012
	Left lapillus (g)	40	0.0011	0.0072	0.0026	0.0002	0.0012

Table 1. (Continued)

Mert River	TL (cm)	40	10.10	21.00	13.63	0.45	2.85
	Right asteriscus (g)	40	0.0010	0.0045	0.0021	0.0001	0.0009
	Left asteriscus (g)	40	0.0010	0.0047	0.0021	0.0001	0.0009
	Right lapillus (g)	40	0.0014	0.0067	0.0029	0.0002	0.0014
	Left lapillus (g)	40	0.0014	0.0067	0.0029	0.0002	0.0013
Taşkelik Stream	TL (cm)	40	6.60	27.70	13.20	0.64	4.04
	Right asteriscus (g)	40	0.0005	0.0120	0.0025	0.0003	0.0019
	Left asteriscus (g)	40	0.0005	0.0120	0.0025	0.0003	0.0019
	Right lapillus (g)	40	0.0007	0.0165	0.0034	0.0004	0.0026
	Left lapillus (g)	40	0.0007	0.0166	0.0034	0.0004	0.0026
Terme Stream	TL (cm)	40	6.60	17.60	11.30	0.35	2.21
	Right asteriscus (g)	40	0.0005	0.0041	0.0019	0.0001	0.0007
	Left asteriscus (g)	40	0.0005	0.0040	0.0019	0.0001	0.0007
	Right lapillus (g)	40	0.0006	0.0059	0.0029	0.0002	0.0011
	Left lapillus (g)	40	0.0007	0.0062	0.0029	0.0002	0.0011
Tersakan Stream	TL (cm)	40	13.10	19.60	15.75	0.20	1.29
	Right asteriscus (g)	40	0.0017	0.0040	0.0026	0.0001	0.0005
	Left asteriscus (g)	40	0.0017	0.0040	0.0026	0.0001	0.0005
	Right lapillus (g)	40	0.0019	0.0056	0.0034	0.0001	0.0007
	Left lapillus (g)	40	0.0019	0.0056	0.0034	0.0001	0.0008
Yeşilpınar Stream	TL (cm)	40	10.30	17.60	13.55	0.25	1.56
	Right asteriscus (g)	40	0.0016	0.0040	0.0027	0.0001	0.0005
	Left asteriscus (g)	40	0.0016	0.0042	0.0027	0.0001	0.0005
	Right lapillus (g)	40	0.0020	0.0059	0.0038	0.0001	0.0009
	Left lapillus (g)	40	0.0021	0.0057	0.0038	0.0001	0.0009

As a result of the analyses, there were no statistically significant differences between the right and left otoliths of asteriscus in terms of otolith weight for Abdal Stream (Wilcoxon test,  $P=0.928$ ), Akçay Stream (Wilcoxon test,  $P=0.212$ ), Engiz Stream (Wilcoxon test,  $P=0.086$ ), Kaynatma Stream (Wilcoxon test,  $P=0.413$ ), Mert River (Wilcoxon test,  $P=0.741$ ), Taşkelik Stream (Wilcoxon test,  $P=0.317$ ), Terme Stream (Wilcoxon test,  $P=0.699$ ), and Yeşilpınar Stream (Paired samples t-test,  $P=0.897$ ). However, significant differences were found between samples from the Istavloz Stream (Wilcoxon test,  $P=0.018$ ) and the Tersakan Stream (Paired samples t-test,  $P=0.028$ ).

For lapillus in terms of otolith weight, there were no statistically significant differences between the right and left otoliths of samples from Akçay Stream (Wilcoxon test,  $P=0.811$ ), Engiz Stream (Wilcoxon test,  $P=0.169$ ), Kaynatma Stream (Wilcoxon test,  $P=0.736$ ), Mert River (Wilcoxon test,  $P=0.664$ ), Taşkelik Stream (Wilcoxon test,  $P=0.944$ ), Terme Stream (Paired samples t-test,  $P=1.000$ ), Tersakan Stream (Wilcoxon test,  $P=0.856$ ), and Yeşilpınar Stream (Paired samples t-test,  $P=0.856$ ). However, significant differences were found between samples from Abdal Stream (Wilcoxon test,  $P=0.016$ ).

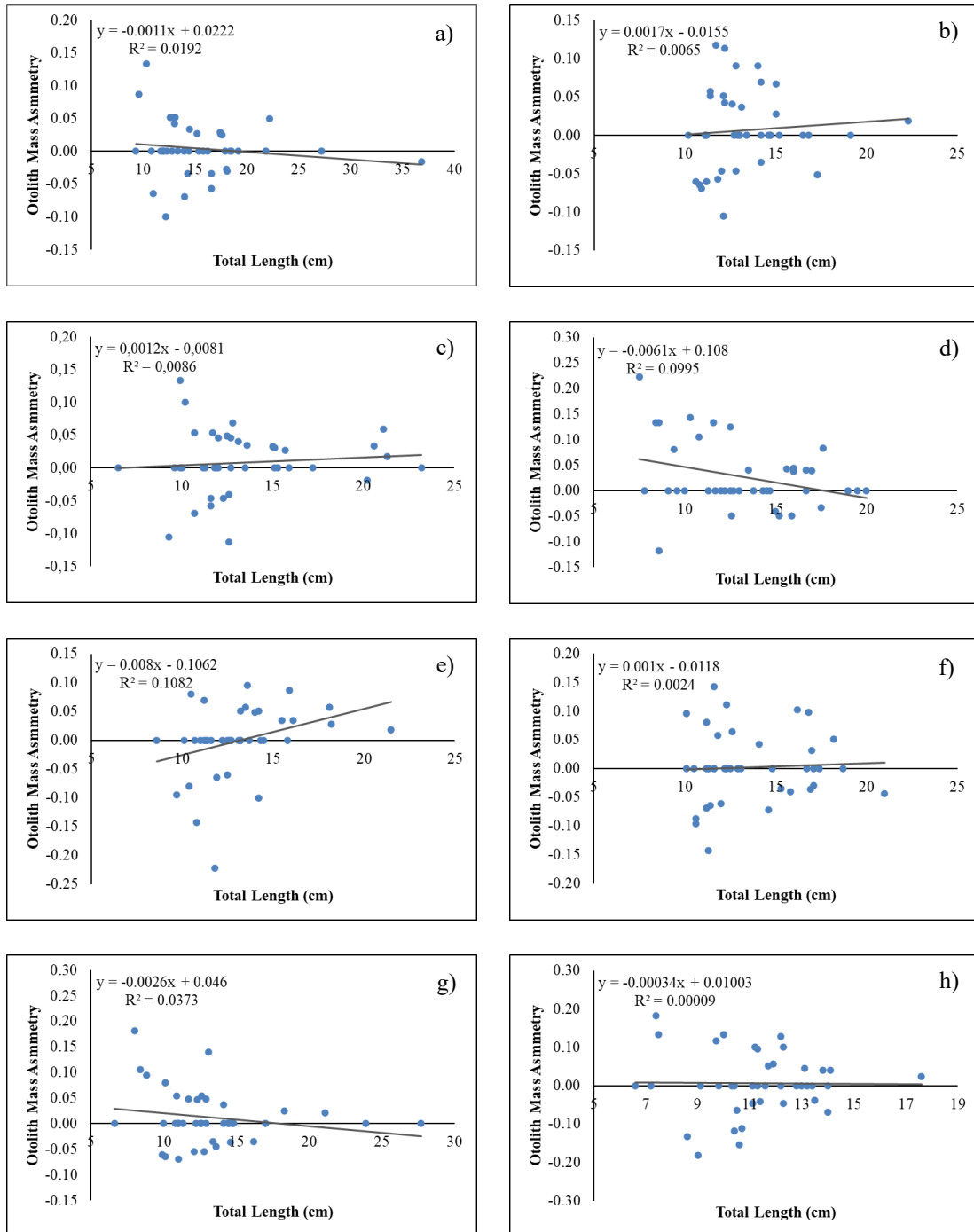
Descriptive statistics of asteriscus otolith mass/absolute mass asymmetry and lapillus otolith mass/absolute mass asymmetry according to localities were given in Table 2. The asteriscus OMA and absolute otolith mass asymmetry were calculated within the range of  $-0.22222 \leq x \leq +0.22222$  and  $0.00000 \leq |x| \leq +0.22222$  for *Squalius* sp. populations, respectively. The lapillus OMA and absolute otolith mass asymmetry were calculated within the range of  $-0.15385 \leq x \leq +0.22222$  and  $0.00000 \leq |x| \leq +0.22222$  for *Squalius* sp. populations, respectively. The mean OMA values for asteriscus and lapillus otoliths were calculated as 0.00835 and -0.00088, respectively.

Table 2. Descriptive statistics of asteriscus otolith mass/absolute mass asymmetry and lapillus otolith mass/absolute mass asymmetry according to localities (x: Otolith mass asymmetry, |x|: Absolute otolith mass asymmetry)

Locality	Otolith type	Variable	Min.	Max.	Mean	±SE	±SD
Abdal Stream	Asteriscus	x	-0.10000	0.13333	0.00436	0.00656	0.04148
		x	0.00000	0.13333	0.02596	0.00512	0.03239
	Lapillus	x	-0.07407	0.10000	-0.01106	0.00538	0.03402
		x	0.00000	0.10000	0.02584	0.00387	0.02446
Akçay Stream	Asteriscus	x	-0.10526	0.11765	0.00693	0.00815	0.05156
		x	0.00000	0.11765	0.03676	0.00575	0.03636
	Lapillus	x	-0.10526	0.10526	0.00264	0.00625	0.03950
		x	0.00000	0.10526	0.02530	0.00477	0.03018
Engiz Stream	Asteriscus	x	-0.11321	0.13333	0.00829	0.00765	0.04836
		x	0.00000	0.13333	0.03316	0.00566	0.03579
	Lapillus	x	-0.11765	0.11111	-0.01748	0.00811	0.05126
		x	0.00000	0.11765	0.04245	0.00523	0.03306
Istavloz Stream	Asteriscus	x	-0.11765	0.22222	0.02667	0.01039	0.06574
		x	0.00000	0.22222	0.04355	0.00881	0.05573
	Lapillus	x	-0.09524	0.22222	0.01143	0.00914	0.05782
		x	0.00000	0.22222	0.03488	0.00746	0.04721
Kaynatma Stream	Asteriscus	x	-0.22222	0.09524	-0.00138	0.00975	0.06168
		x	0.00000	0.22222	0.03689	0.00776	0.04909
	Lapillus	x	-0.11321	0.08451	-0.00404	0.00696	0.04402
		x	0.00000	0.11321	0.03142	0.00485	0.03069
Mert River	Asteriscus	x	-0.14286	0.14286	0.00251	0.00956	0.06047
		x	0.00000	0.14286	0.04132	0.00691	0.04373
	Lapillus	x	-0.11111	0.10526	-0.00144	0.00705	0.04457
		x	0.00000	0.11111	0.03003	0.00516	0.03262
Taşkelik Stream	Asteriscus	x	-0.06897	0.18182	0.01212	0.00850	0.05375
		x	0.00000	0.18182	0.03478	0.00671	0.04241
	Lapillus	x	-0.07407	0.19355	0.00718	0.00715	0.04524
		x	0.00000	0.19355	0.02826	0.00566	0.03578
Terme Stream	Asteriscus	x	-0.18182	0.18182	0.00614	0.01279	0.08089
		x	0.00000	0.18182	0.05628	0.00913	0.05773
	Lapillus	x	-0.15385	0.20000	0.00606	0.01216	0.07689
		x	0.00000	0.20000	0.05404	0.00859	0.05436
Tersakan Stream	Asteriscus	x	-0.07143	0.11321	0.01531	0.00671	0.04245
		x	0.00000	0.11321	0.02875	0.00547	0.03457
	Lapillus	x	-0.09231	0.10526	0.00312	0.00652	0.04122
		x	0.00000	0.10526	0.02781	0.00479	0.03027
Yeşilpınar Stream	Asteriscus	x	-0.07407	0.08696	0.00251	0.00674	0.04261
		x	0.00000	0.08696	0.02940	0.00484	0.03058
	Lapillus	x	-0.12658	0.08955	-0.00525	0.00678	0.04289
		x	0.00000	0.12658	0.03235	0.00446	0.02819

There were no significant differences between localities in terms of asteriscus otolith mass asymmetry (x) (Kruskal-Wallis test,  $P > 0.05$ ) and absolute otolith mass asymmetry (|x|) (Kruskal-Wallis test,  $P > 0.05$ ) for *Squalius*. The relationship between OMA-total length was found to be significant ( $p < 0.05$ ) in Istavloz Stream and Kaynatma Stream locations. However, there was no relationship between OMA and total length in all other

locations ( $p>0.05$ ). When the relationship between otolith absolute mass asymmetry and total length was evaluated, a significant relationship was found in Istavloz Stream, Terme Stream, and Tersakan Stream locations. In contrast, no significant relationship was found in all other locations. Linear relationship equations for asteriscus otolith mass asymmetry-total length in Figure 1 and asteriscus otolith absolute mass asymmetry- total length in Figure 2 for all localities were shown. Regression coefficient values of asteriscus x- total length and  $|x|$ -total length relationships were found  $0.0001 \leq r^2 \leq 0.1082$ ;  $0.0009 \leq r^2 \leq 0.1703$ , respectively.



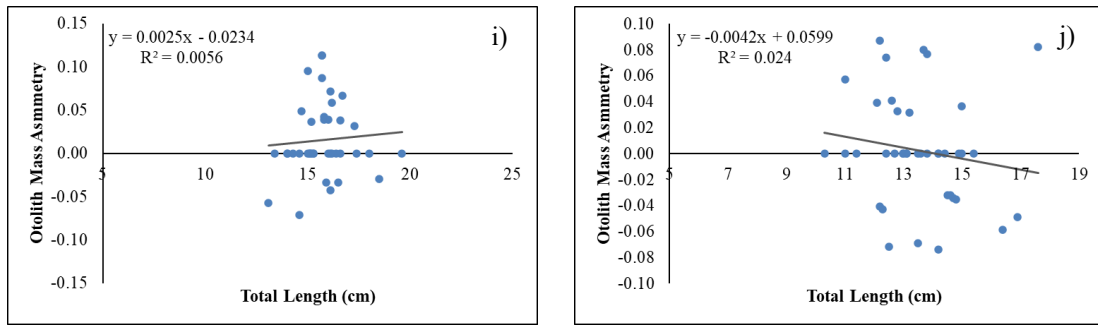
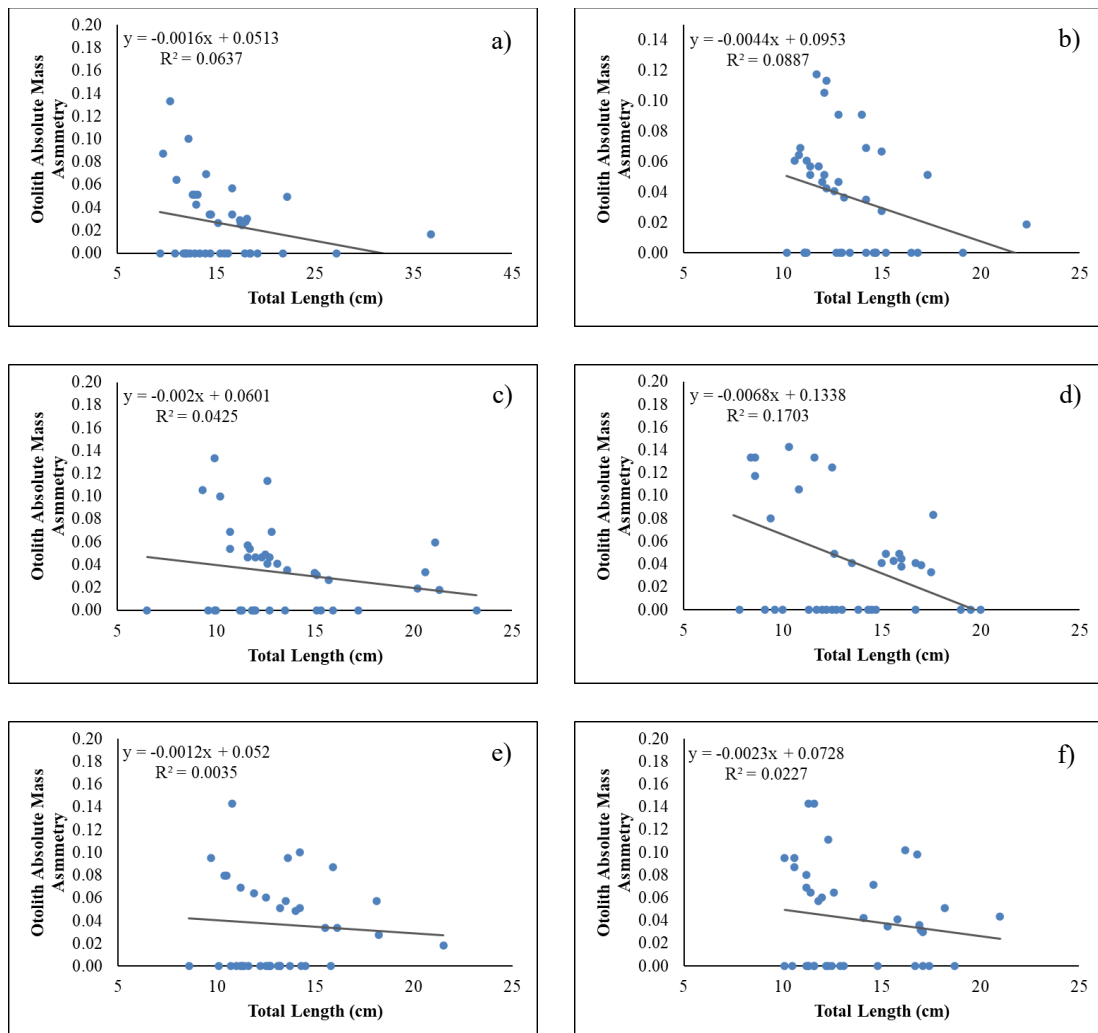


Figure 1. The relationships between asteriscus otolith mass asymmetry and total length in *Squalius* sp. a) Abdal Stream, b) Akçay Stream, c) Engiz Stream, d) Istavloz Stream, e) Kaynatma Stream, f) Mert River, g) Taşkelik Stream, h) Terme Stream, i) Tersakan Stream, j) Yeşilpınar Stream.





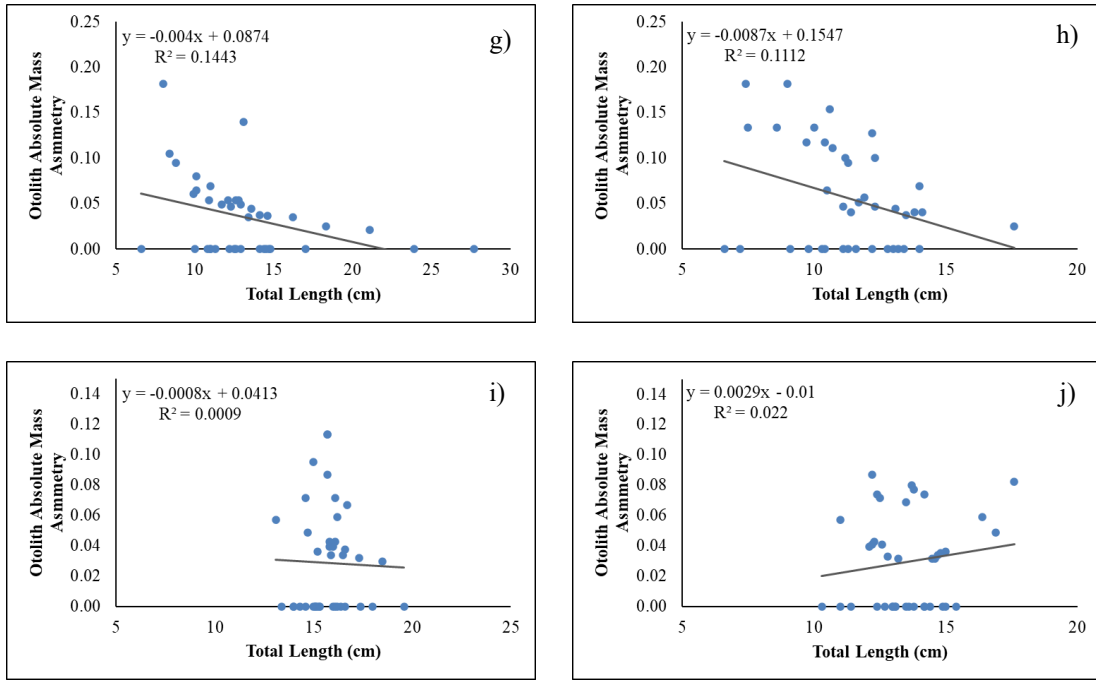


Figure 2. The relationships between asteriscus otolith absolute mass and total length in *Squalius* sp. a) Abdal Stream, b) Akçay Stream, c) Engiz Stream, d) Istavloz Stream, e) Kaynatma Stream, f) Mert River, g) Taşkelik Stream, h) Terme Stream, i) Tersakan Stream, j) Yeşilpınar Stream.

There were no significant differences between localities in terms of lapillus otolith mass asymmetry ( $x$ ) (Kruskal-Wallis test,  $P > 0.05$ ) and absolute otolith mass asymmetry ( $|x|$ ) (Kruskal-Wallis test,  $P > 0.05$ ) for *Squalius*. The relationship between OMA- total length was found to be significant ( $p < 0.05$ ) in the Akçay Stream, but there was no relationship between otolith mass asymmetry and total length in all other locations ( $p > 0.05$ ). When the relationship between otolith absolute mass asymmetry and total length was evaluated, a significant relationship was found in the Abdal Stream, Akçay Stream, Taşkelik Stream, and Terme Stream locations, while no significant relationship was found in all other locations.

Linear relationship equations for lapillus otolith mass asymmetry- total length in Figure 3 and lapillus otolith absolute mass asymmetry- total length in Figure 4 for all localities were shown. Regression coefficient values of lapillus  $x$ - total length and  $|x|$ -total length relationships were found  $0.0014 \leq r^2 \leq 0.0502$ ;  $0.0000 \leq r^2 \leq 0.2391$ .

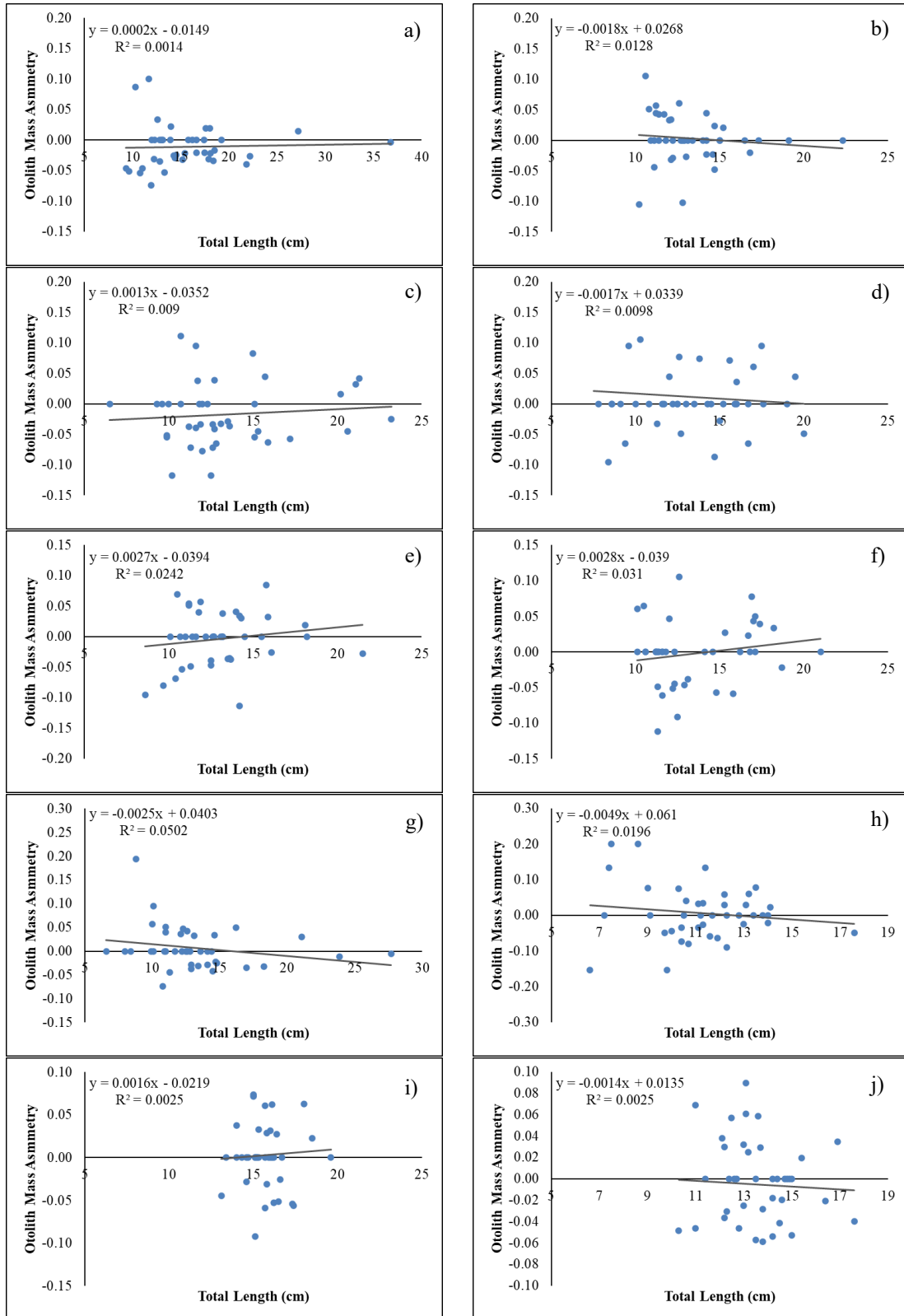


Figure 3. The relationships between lapillus otolith mass asymmetry and total length in *Squalius* sp. a) Abdal Stream, b) Akçay Stream, c) Engiz Stream, d) Istavloz Stream, e) Kaynatma Stream, f) Mert River, g) Taşkelik Stream, h) Terme Stream, i) Tersakan Stream, j) Yeşilpınar Stream.

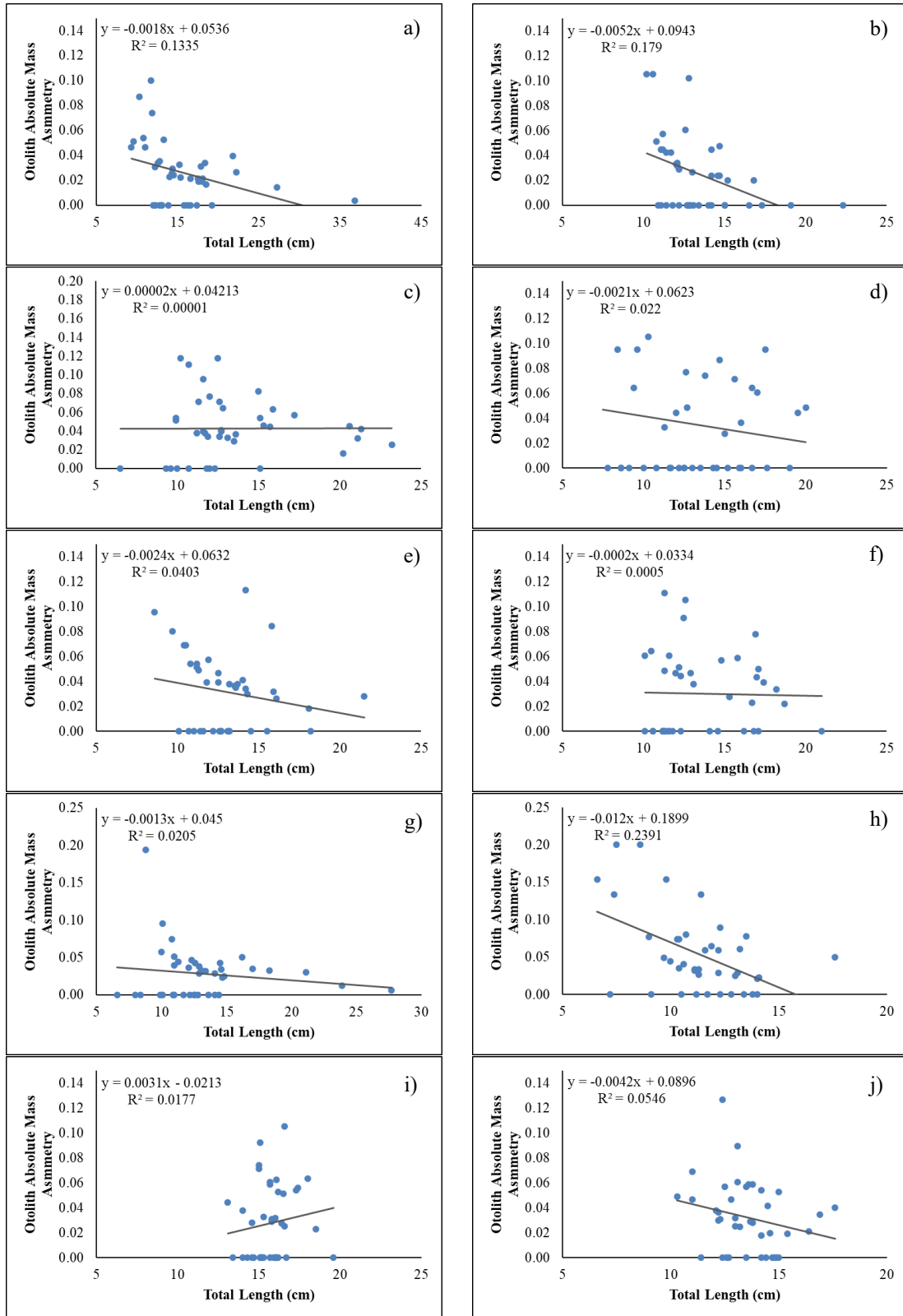


Figure 4. The relationships between lapillus otolith absolute mass and total length in *Squalius* sp. a) Abdal Stream, b) Akçay Stream, c) Engiz Stream, d) Istavloz Stream, e) Kaynatma Stream, f) Mert River, g) Taşkelik Stream, h) Terme Stream, i) Tersakan Stream, j) Yeşilpınar Stream.

#### 4. Discussion

Otolith mass asymmetry in fish can vary during individual fish growth [24]. In fisheries research, there are many studies on OMA were found to be in the range of  $-0.2 < x < +0.2$  for marine and freshwater species [13, 17, 23, 24, 27, 29, 42-44]. According to the results of the present study, this value for asteriscus otolith and lapillus otolith was ranged from  $-0.22222 \leq x \leq +0.22222$  and  $-0.15385 \leq x \leq +0.22222$  for all localities, respectively. The results of our study demonstrated that both asteriscus otolith and lapillus otolith fell within that range across all populations. Asymmetry in the utricular and lagenar otolith organs of symmetric fish species is usually low [45]. Furthermore, Lychakov & Rebane [13] stated that, in principle, only fish with large otoliths and  $|x| > 0.2$  may experience difficulty in sound processing due to the improper and inconsistent movement of the two otoliths on both sides of the fish's head. In this study,  $|x|$  is very low for asteriscus otolith and lapillus otolith. When the literature was examined, no study was found in Türkiye, where OMA and absolute otolith mass asymmetry of *Squalius* were examined. The average otolith mass asymmetry for asteriscus otolith in different fish species living in Turkish freshwater was calculated as  $-0.00803 \pm 0.00642$  for *Capeota banarescui* [25];  $0.0685 \pm 0.0194$  for *Barbus tauricus* [24]. In the current literature, there are studies on OMA and absolute otolith mass asymmetry of different fish species [17, 23, 24, 27-30, 42-44, 46, 47].

GrønkJær [48] and Izzo et al. [49] have reported in their studies that otoliths are directly influenced by the environmental conditions of the habitats in which the fish reside. Both natural variations in environmental factors and anthropogenic influences have significant effects on the development of otoliths [50]. Asymmetry in otolith weight can impact and diminish the hearing functionality of a fish's ear [13]. In theory, a discrepancy in the movement of the right and left otoliths only occurs if the absolute value of  $X$  exceeds 0.2, and this condition can alter the acoustic functionality of a fish [13, 17]. Knowing the OMA value is helpful in predicting the natural and anthropogenic stresses to which fish species are exposed [24].

The OMA and otolith absolute mass asymmetry of *Squalius* sampled from ten different freshwater sources in Samsun province were found to be similar between locations ( $P > 0.05$ ). Otolith mass asymmetry could potentially result from various environmental stressors, accumulation issues within otoliths, as well as the crystal structures of otoliths (such as aragonitic or vateritic), diseases, genetic predispositions, or a combination of these factors [20].

In this research, both OMA ( $x$ ) and absolute otolith mass asymmetry ( $|x|$ ) were evaluated in relation to the total length for *Squalius* sp. populations. There is no relationship between fish size and OMA in eight locations for asteriscus otolith and six locations for lapillus otolith. The absence of a relationship may be due to the sample size being small in the study, the samples having the same size range or not differing significantly in terms of size, and possible endogenous reasons [17]. Lychakov et al. [17] were found the relationship between otolith mass asymmetry and fish length in *Sciaenops ocellatus* to be significant, but the  $r^2$  was low. The relationship between fish length and OMA is thought to be associated with a complex trend [29, 51].

This study is expected to contribute to future research on otolith mass asymmetry in freshwater fish species and provide researchers from Türkiye and abroad with the

opportunity to compare otolith mass asymmetry among different populations of *Squalius* sp.

## Acknowledgements

This study was financially supported by Ondokuz Mayıs University as a Scientific Research Project numbered PYO.FEN.1901.22.002.

## References

- [1] Popper, A.N. and Lu, Z., Structure–function relationships in fish otolith organs, **Fisheries Research**, 46, 1-3, 15-25, (2000).
- [2] Popper, A.N., Fay, R.R., Platt, C. and Sand, O., Sound detection mechanisms and capabilities of teleost fishes, **Sensory Processing In Aquatic Environments**, 3-38, (2003).
- [3] Quist, M.C., Pegg, M.A. and DeVries, D.R., **Age and growth**, in Zale, A.V., Parrish, D.L. and Sutton, T.M., Fisheries techniques, 3rd edition, American Fisheries Society, 677-731, Bethesda, Maryland, (2012).
- [4] Schulz-Mirbach, T., Ladich, F., Plath, M. and Heß, M., Enigmatic ear stones: what we know about the functional role and evolution of fish otoliths, **Biological Reviews**, 94, 2, 457-482, (2019).
- [5] Campana, S.E., **Photographic atlas of fish otoliths of the Northwest Atlantic Ocean (No. 133)**, NRC Research Press, (2004).
- [6] Tuset, V.M., Lombarte, A. and Assis, C.A., Otolith atlas for the western Mediterranean, north and central eastern Atlantic, **Scientia Marina**, 72, S1, 7-198, (2008).
- [7] Kennedy, B.P., Klaue, A., Blum, J.D., Folt, C.L. and Nislow, K.H., Reconstructing the lives of fish using Sr isotopes in otoliths, **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 59, 6, 925-929, (2002).
- [8] Koeberle, A.L., Arismendi, I., Crittenden, W., Leer, D. and Noakes, D.L., Fluctuating asymmetry of adult Chinook Salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) otoliths from wild and hatchery origins, **Aquatic Ecology**, 54, 1, 431-446, (2020).
- [9] Gao, S., Zhang, X., Shu, R., Zhang, S., Lu, J. and Fu, G., Bilateral fluctuation asymmetry of otoliths of *Collichthys lucidus* in different functional areas of Haizhou Bay, **Journal of Fish Biology**, 103, 3, 507-515, (2023).
- [10] Harvey, J.T., Loughlin, T.R., Perez, M. A. and Oxman, D.S., Relationship between fish size and otolith length for 63 species of fishes from the eastern North Pacific Ocean, NOAA Technical Report NMFS, A Technical Report of the Fishery Bulletin, (2000).
- [11] Schulz-Mirbach, T. and Plath, M., All good things come in threes—species delimitation through shape analysis of saccular, lagenar and utricular otoliths, **Marine and Freshwater Research**, 63, 10, 934-940, (2012).
- [12] Jawad, L. and Qasim, A., Otolith mass asymmetry in *Acanthopagrus arabicus* Iwatsuki, 2013 collected from the Iraqi marine waters, **Bollettino del Museo Civico di Storia Naturale di Verona, Botanica Zoologia**, 45, 33-39, (2021).
- [13] Lychakov, D.V. and Rebane, Y.T., Fish otolith mass asymmetry: morphometry and influence on acoustic functionality, **Hearing Research**, 201, 1-2, 55-69, (2005).

- [14] Mille, T., Mahe, K., Villanueva, M. C., De Pontual, H. and Ernande, B., Sagittal otolith morphogenesis asymmetry in marine fishes, **Journal of Fish Biology**, 87, 3, 646-663, (2015).
- [15] Quindazzi, M.J., Gaffney, L.P., Polard, E., Bohlender, N., Duguid, W. and Juanes, F., Otolith mineralogy affects otolith shape asymmetry: a comparison of hatchery and natural origin Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*), **Journal of Fish Biology**, 102, 4, 870-882, (2023).
- [16] GrønkJær, P. and Sand, M.K., Fluctuating asymmetry and nutritional condition of Baltic cod (*Gadus morhua*) larvae, **Marine Biology**, 143, 191-197, (2003).
- [17] Lychakov, D.V., Rebane, Y.T., Lombarte, A., Fuiman, L.A. and Takabayashi, A., Fish otolith asymmetry: morphometry and modeling, **Hearing Research**, 219, 1-2, 1-11, (2006).
- [18] Lychakov, D.V., Rebane, Y.T., Lombarte, A., Demestre, M. and Fuiman, L.A., Saccular otolith mass asymmetry in adult flatfishes, **Journal of Fish Biology**, 72, 10, (2008).
- [19] Jawad, L.A. and Sadighzadeh, Z., Otolith mass asymmetry in the mugilid fish, *Liza klunzingeri* (Day, 1888) collected from Persian Gulf near Bandar Abbas, **Anales de Biología**, 35, 105-107, (2013).
- [20] Bostancı, D., Kondaş, S., Yedier, S., Kurucu, G. and Polat, N., Otolith mass asymmetry of *Barbus tauricus* and *Capoeta banarescui* inhabiting Melet River, Ordu, Turkey, **International Ecology Symposium**, 11-13, (2017).
- [21] Bostancı, D., Türker, D., Yedier, S., Kondaş, S. ve Kurucu, G., Kuzey Ege Denizi Edremit Körfezi'nde yaşayan sarı kuyruk istavrit, *Trachurus mediterraneus* (Steindachner 1868)'un otolit karakterlerinde dalgalı asimetrisinin incelenmesi, **Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 8, 1, 69-78, (2018).
- [22] Mejri, M., Trojette, M., Allaya, H., Ben Faleh, A., Jmil, I., Tazarki, M., Chalh, A., Quignard, J.P. and Trabelsi, M., Stock discrimination of two local populations of *Pagellus erythrinus* (Actinopterygii, Sparidae, Perciformes) in Tunisian waters by analysis of otolith shape, **Cahiers de Biologie Marine**, 59, 6, 579-587, (2018).
- [23] Yedier, S., Bostancı, D., Kondaş, S., Kurucu, G. and Polat, N., Comparison of otolith mass asymmetry in two different *Solea solea* populations in Mediterranean Sea, **Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 8, 1, 125-133, (2018).
- [24] Kondaş, S., Bostancı, D. ve Polat, N., Aşağı Melet Irmağı (Ordu, Türkiye)'nda yaşayan *Barbus tauricus* Kessler, 1877 otolit kütle asimetrisinin belirlenmesi, **Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research**, 5, 3, 197-203, (2019).
- [25] Kurucu, G., Bostancı, D. ve Polat, N., Aşağı Melet Irmağı (Ordu, Türkiye)'nda yaşayan siraz balığı (*Capoeta banarescui*)'nın otolit kütle asimetrisinin belirlenmesi, **Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences**, 4, 2, 151-155, (2019).
- [26] Labidi, M.B., Mejri, M., Shahin, A.A., Quignard, J.P., Trabelsi, M. and Faleh, A.B., Otolith fluctuating asymmetry in *Boops boops* (Actinopterygii, Sparidae) from two marine stations (Bizerte and Kelibia) in Tunisian waters, **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, 100, 7, (2020).
- [27] Bouriga, N., Mejri, M., Dekhil, M., Bejaoui, S., Quignard, J.P. and Trabelsi, M., Investigating otolith mass asymmetry in six benthic and pelagic fish species (Actinopterygii) from the Gulf of Tunis, **Acta Ichthyologica et Piscatoria**, 51, 2, 193-197, (2021).
- [28] Özpiçak M., Saygın, S. ve Yılmaz, S., Altınkaya Barajı ve Bafra Balık Gölleri (Samsun, Türkiye)'nden örneklenen sudak, *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758)

- balığının otolit kütle asimetrisinin incelenmesi, **Ege 9th International Conference On Applied Sciences**, 588-597, (2023).
- [29] Özpiçak, M. and Saygın, S., Investigation of otolith mass asymmetry in three stocks of European sardine, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) from Türkiye, **Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 40, 3, 195-200, (2023).
- [30] Saygın, S. ve Özpiçak, M., Türkiye denizlerinde (Ege, Karadeniz ve Akdeniz) yayılış gösteren barbunya balığının (*Mullus barbatus*, Linnaeus, 1758) otolit kütle asimetrisi, **Ege 8th International Conference On Applied Sciences** , 506-516, (2023).
- [31] Stout, C.C., Tan, M., Lemmon, A.R., Lemmon, E.M. and Armbruster, J.W., Resolving Cypriniformes relationships using an anchored enrichment approach, **BMC Evolutionary Biology**, 16, 1-13, (2016).
- [32] Geldiay, R. ve Balık, S., **Türkiye tatlısu balıkları (VI. Baskı)**, Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları, (2009).
- [33] Turan, D., Yilmaz, B. T. and Kaya, C., *Squalius kottelati*, a new cyprinid species (Teleostei: Cyprinidae) from Orontes River, Turkey, **Zootaxa**, 2270, 53-62, (2009).
- [34] Bayçelebi, E., Türkiye'de dağılım gösteren *Squalius* cinsinin taksonomik revizyonu, Doktora Tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize, (2019).
- [35] Sanjur, O.I., Carmona, J.A. and Doadrio, I., Evolutionary and biogeographical patterns within Iberian populations of the genus *Squalius* inferred from molecular data, **Molecular Phylogenetics and Evolution**, 29, 1, 20-30, (2003).
- [36] Stefanova, E., Uzunova, E., Hubenova, T., Vasileva, P., Terziyski, D. and Iliev, I., Age and growth of the chub *Leuciscus cephalus* L., from the Maritz River (South Bulgaria), **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, 14, 2, 214-220, (2008).
- [37] Almada, V. and Sousa-Santos, C., Comparisons of the genetic structure of *Squalius* populations (Teleostei, Cyprinidae) from rivers with contrasting histories, drainage areas and climatic conditions based on two molecular markers, **Molecular Phylogenetics and Evolution**, 57, 2, 924-931, (2010).
- [38] Pompei, L., Carosi, A., Pedicillo, G., Rocchini, E. and Lorenzoni, M., Age and growth analysis of the chub, *Squalius squalus* (Bonaparte, 1837), in the Assino Creek (Umbria, Italy), **Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems**, 400, 09, (2011).
- [39] Ünver, B. and Erk'akan, F., Diet composition of chub, *Squalius cephalus* (teleostei: Cyprinidae), in Lake Tödürge, Sivas, Turkey, **Journal of Applied Ichthyology**, 27, 6, 1350-1355, (2011).
- [40] Perea, S., Sousa-Santos, C., Robalo, J. and Doadrio, I., Multilocus phylogeny and systematics of Iberian endemic *Squalius* (Actinopterygii, Leuciscidae), **Zoologica Scripta**, 49, 4, 440-457, (2020).
- [41] Doadrio, I., Sousa-Santos, C. and Perea, S., Description of two new species of the genus *Squalius* Bonaparte, 1837 (Actinopterygii, Leuciscidae) in the Iberian Peninsula, **Graellsia**, 79, 2, e205, (2023).
- [42] Al Balushi, A.H., Jawad, L.A. and Al Busaidi, H.K., Otolith mass asymmetry in *Lutjanus ehrenbergii* (Peters, 1869) collected from the Sea of Oman, **International Journal of Marine Science**, 7, 37, 366-370, (2017).
- [43] Jawad, L., Gnohossou, P. and Tossou, A.G., Bilateral asymmetry in the mass and size of otolith of two cichlid species collected from Lake Ahémé and Porto-Novo Lagoon (Bénin, West Africa), **Anales de Biología**, 42, 9-20, (2020).

- [44] Jawad, L. A. and Adams, N.J., Otolith mass asymmetry in the Australian anchovy *Engraulis australis* (White, 1790) predated by Australasian gannets *Morus serrator* (Gray, 1843), Hauraki Gulf, New Zealand, **Cahiers de Biologie Marine**, 63, 4, 371, (2022).
- [45] Jawad, L. A., Al-Mamry, J. M., Al-Mamary, D. and Al-Hasani, L., Study on the otolith mass asymmetry in *Lutjanus bengalensis* (Family: Lutjanidae) collected from Muscat City on the Sea of Oman, **Journal of FisheriesSciences.com**, 6, 1, 74, (2012).
- [46] Jawad, L.A., Mehanna, S.F., El-Regal, M.A.A. and Ahmed, Y.A., Otolith mass asymmetry in two parrotfish species, *Chlorurus sordidus* (Forsskål, 1775) and *Hipposcarus harid* (Forsskål, 1775) from Hurghada, Red Sea Coast of Egypt, **International Journal of Marine Science**, 7, (2017).
- [47] Jawad, L.A., Dörtbudak, M.Y., Yalçın, H. and Park, J.M., Bilateral Asymmetry in Asterisci Otoliths of *Cyprinion kais* and *C. macrostomum* (Cypriniformes, Cyprinidae) collected from Tigris River, Şırnak Region, Türkiye, **Zoodiversity**, 57, 5, 411-420, (2023).
- [48] GrønkJær, P., Otoliths as individual indicators: a reappraisal of the link between fish physiology and otolith characteristics, **Marine and Freshwater Research**, 67, 7, 881-888, (2016).
- [49] Izzo, C., Reis-Santos, P. and Gillanders, B. M., Otolith chemistry does not just reflect environmental conditions: A meta-analytic evaluation, **Fish and Fisheries**, 19, 3, (2018).
- [50] Munday, P.L., Hernaman, V., Dixon, D.L. and Thorrold, S.R., Effect of ocean acidification on otolith development in larvae of a tropical marine fish, **Biogeosciences**, 8, 1631-1641, (2011).
- [51] Jawad, L.A., Al-Mamry, J.M., Al-Mamari, H.M., Al-Yarubi, M.M., Al-Busaidi, H. K. and Al-Mamary, D.S., Otolith mass asymmetry in *Rhynchorhamphus georgi* (Valenciennes, 1846) (Family: Hemiramphidae) collected from the Sea of Oman, **Journal of Black Sea/Mediterranean Environment**, 17, 1, 47-55, (2011).



# The catch amount of Mediterranean horse mackerel *Trachurus mediterraneus* (Steindachner, 1868) gillnets in the Sea of Marmara

Yusuf ŞEN<sup>1\*</sup>, Ceyda KALEMLİ<sup>2</sup>, Uğur ÖZEKİNCİ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Çanakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Marine Marine Science and Technology, Department of Marine Biology, Çanakkale

<sup>2</sup>Faculty of Marine Science and Technology, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale

<sup>3</sup>Çanakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Marine Marine Science and Technology, Department of Fisheries and Fish Processing, Çanakkale

Geliş Tarihi (Received Date): 01.02.2024

Kabul Tarihi (Accepted Date): 21.05.2024

## Abstract

The small-scale fishermen in the coastal area of the Marmara Sea between April and June caught the Mediterranean horse mackerel *Trachurus mediterraneus* (Steindachner, 1868) with gillnets. This target species, *T. mediterraneus* and significant amounts of non-target species are caught in these nets. So, the technical and structural characteristics of the gillnets for a commercial fishermen were determined and the target and non-target species were evaluated in catching operations. The multifilament gillnet mesh size of 18 millimeters polyamid, twine thickness of 210d/2, hanging ratio of 0.33 and the total length of approximately 200 meters. Also, guarding nets were added to gillnets. The total amount was determined as 397.8 kilograms (kg) and 9204 individuals (ind). The weight of *T. mediterraneus* was constituted 39.3% of the total weight. The in of *T. mediterraneus* was constituted 43.4% of the total ind. While the catch per unit effort (CPUE) for *T. mediterraneus* was calculated at 0.026 kg/m.operation<sup>-1</sup> and 0.7 ind/m.operation<sup>-1</sup>, the CPUE for the total amount was calculated at 0.066 kg/m.operation<sup>-1</sup> and 1.5 ind/m.operation<sup>-1</sup>. The total economic value was calculated at 15814.4 Turkish Liras (TL), which 9390 TL from *T. mediterraneus* and 6424.4 TL from non-target species. This study is important in terms of revealing for the first time the catch efficiency of gillnets used by commercial fishermen to catch *T. mediterraneus* in the coastal area of the Marmara Sea, which is an important fishing area. These results will contribute to the creation of management plans and fisheries management for species-specific fishing gear used in a region.

**Keywords:** Coastal area, target species, non-target species, fisheries management, economic value

\*Yusuf ŞEN, yusuf.sen@comu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-0595-4618>

Ceyda KALEMLİ, ceydakalemli2001@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-4555-5365>

Uğur ÖZEKİNCİ, uozekinci@comu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-2207-0168>

## Marmara Denizi'nde sarıkuyruk istavrit *Trachurus mediterraneus* (Steindachner, 1868) uzatma ağlarının av miktarı

### Öz

Marmara Denizi'nde Nisan ve Haziran ayları arasında, kıyusal alanda küçük ölçekli balıkçılar uzatma ağları ile sarıkuyruk istavrit *Trachurus mediterraneus* (Steindachner, 1868) avcılığı gerçekleştirmektedir. Bu avcılıkta hedef türün istavritin yanında, önemli miktarlarda hedefdışı türlerde avlanmaktadır. Bunun için Marmara Denizi'nde ticari bir balıkçının istavrit avcılığında kullandığı uzatma ağlarının teknik özellikleri belirlenerek, avcılık operasyonlarında yakalanan hedef ve hedefdışı türler değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan multifilament uzatma ağının göz genişliği 18 mm, ip kalınlığı 210d/2, donam faktörü 0,33 ve ağın toplam uzunluğu ise yaklaşık 200 metre olarak belirlenmiştir. Ayrıca, uzatma ağlarının alt kısmına sardon ağı ilave edildiği belirlenmiştir. Avcılık operasyonlarında yakalanan hedef ve hedefdışı türlere ait toplam av miktarının 397,8 kg ve 9204 adet olduğu belirlenmiştir. Hedef tür *T. mediterraneus*'un ağırlık olarak toplam avın %39,3'unu oluşturduğu belirlenmiştir. Birey sayısı olarak ise *T. mediterraneus*, toplam avın %43,4'ünü oluşturmaktadır. Birim çabaya düşen av miktarı (CPUE) *T. mediterraneus* için ağırlık olarak 0,026 kg/m.operasyon<sup>-1</sup>, adet olarak ise 0,7 adet/m.operasyon<sup>-1</sup> hesaplanmıştır. Toplam avda ise ağırlık olarak 0,066 kg/m.operasyon<sup>-1</sup>, birey sayısı olarak 1,5 adet/m.operasyon<sup>-1</sup> hesaplanmıştır. Uzatma ağları ile *T. mediterraneus* hedeflenen bu avcılıkta hedef türden 9390 TL, hedefdışı ticari olarak değerlendirilebilen türlerden ise 6424,4 TL olmak üzere toplam 15814,4 TL kazanç sağlanabileceği hesaplanmıştır. Bu çalışma önemli bir balıkçılık alanı olan Marmara Denizi'nin kıyusal alanında ticari balıkçıların *T. mediterraneus* türünü avlamak için kullandıkları uzatma ağlarının av veriminin ilk kez ortaya konması bakımından önem taşımaktadır. Bu sonuçların türe özgü kullanılan av araçlarının yönetim planlarının oluşturmasına ve balıkçılık yönetimine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Kıyusal alan, hedef tür, hedef dışı tür, balıkçılık yönetimi, ekonomik değer

### 1. Introduction

The total catch consists of the target species and non-target species in a fishing operation. The target species is the species targeted to be caught with the fishing gear. The non-target species consist of "incidental caught species" that are commercial importance and caught completely by accident, "discard species" that are not commercial importance or uneconomic sizes of the target species [1]. It has been reported that catching non-target species is a serious problem in fisheries around the world [2]. Also, approximately 10 million tons of unwanted fishing products are not evaluated and thrown into the sea annually [3]. The non-target species include species that do not have commercial value such as sea mammals, seabirds, small fish that have not reached their first maturity size and some batoid fish species. It has been reported that discard species account for an average of 230 thousand tons per year or 18.6% of the total catch in the Mediterranean [4]. Also, almost all fishing gear catches non-target fish species [5]. Although some studies have shown that discard is a problem in Türkiye fisheries [6-8], the target and discard amounts of species-specific fishing gear are found to be inadequate studies. It is

reported that the gillnets from fishing gear have high impacts on the ecosystem [9]. Therefore, the characteristics and the catch efficiency of the gillnet used to catch *Trachurus mediterraneus* (Steindachner, 1868) must be defined.

The horse mackerel species (*Trachurus* sp.) are the food of many predatory species, so they have a very important role in ecological balance [10]. Some of the *T.mediterraneus* migrate to feed depending on the water temperature from the Aegean Sea to Marmara and from the Marmara Sea to the Black Sea in mid or late April [11, 12]. At the same time, the fishing ban for *T.mediterraneus* on purse seine fishing begins on April 15 in the Marmara Sea. So, small-scale fishermen increase economic gain by effectively using gillnets to catch *T.mediterraneus* in the coastal area with the passive fixed method after April 15. However, Doyuk [13] and Emirbuyuran and Çalık [14] emphasized that the fishing gear characteristics used effectively to catch one species should be identified in a region. The catch efficiency as an index of abundance is based on a fundamental relationship widely used and easily collected in quantitative fisheries analysis. So, the issue of the gillnet characteristics has used by commercial fishermen to catch *T.mediterraneus* in the coastal area of the Marmara Sea were described and their catching efficiency was investigated for the first time.

## 2. Material and methods

The current study was carried out between 8 May 2023 and 30 Jun 2023 with commercial fisherman in the Kemer Region in the south of the Marmara Sea (Figure 1). This small scale commercial fishing boat was used in the catching operations with a length of 7.6 meters (m) and engine power of 85 HP located in the Kemer fishing port.

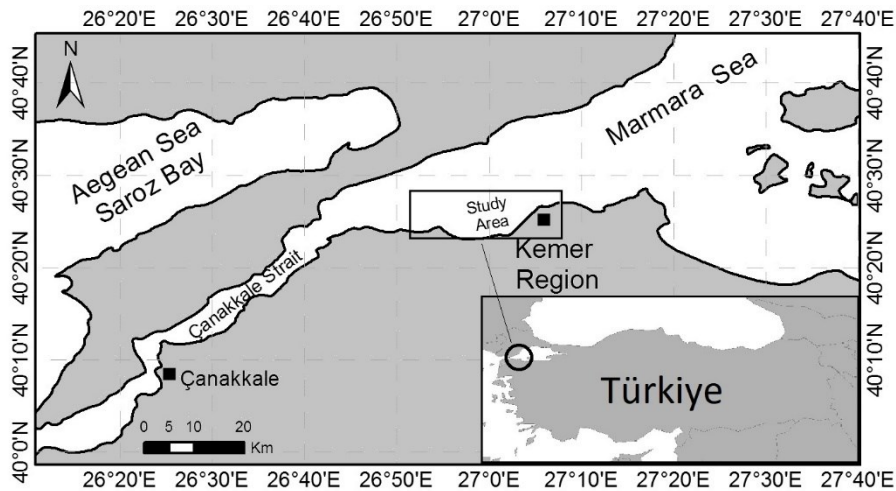


Figure 1. Study area

A total of 30 catching operations were utilized using the gillnets with the passive fixed method and these operations were in the coastal area of maximum 10 meters depth. The gillnets were set in the sea in the evening and collected them from the sea after 2 hours. The technical and structural characteristics of the gillnets were determined by measurement, and their technical plans were drawn to scale according to FAO standards with the use of the MS Visio 10.0 program [15-17].

After fishing operations, the target and non-target species have been removed from the gillnets. The catch composition of species were determined according to Bilecenoğlu et al. [18], Whitehead et al. [19] and Worms [20]. In each operation, the total number of target and non-target species was recorded in individuals (ind) and their weight were recorded with a digital scale in grams (gr). In this study, *T.mediterraneus* was considered as target species, and all other species were considered as non-target species. The non-target species are evaluated as commercial species and discard species depending on they have whether commercial value or not. All evaluations were made in the Microsoft Excel computer program.

To assess the catching efficiency, the catch per unit effort (CPUE) was calculated from the following equation:

$$CPUE = \Sigma \left( \frac{Y}{L} \right) / n \quad (1)$$

(Y: The weight (kg) or individuals (ind) of species in one operation, L: The length of nets (200 m), n: The number of operation (30 operations) [21, 22]. The CPUE value of the total and subtotal target and non-target species is calculated as kg/m.operation<sup>-1</sup> and ind/m.operation<sup>-1</sup>.

The economic evaluations were made for the unit price of target species and non-target species that can be evaluated commercially by commercial fishermen. In line with the interviews with fish middlemen, the unit price of the target species *T.mediterraneus* was determined to be 60 Turkish Liras (TL). The unit prices of commercial non-target species were evaluated *Boops boops* 35 TL, *Scomber scombrus* and *Scomber japonicus* 70 TL, *Alosa immaculata* and *Spicara sp.* 10 TL, *Mullus surmuletus* 200 TL. The discard non-target species were not evaluated commercially in line with the interviews conducted with commercial fishermen and fish middlemen. The discard non-target species individuals were determined to be quite small sizes and target of only *T.mediterraneus* in gillnets. The economic value was calculated from the following equation:

$$Economic\ value = Amount\ (kg) \times Unit\ price\ of\ species\ (TL) \quad (2)$$

### 3. Results

In this study, the *T.mediterraneus* gillnet was identified multifilament with mesh sizes (bar length) of 18 mm, twine thickness of 210d/4 polyamide (PA) and orange mesh color. Also, this net has floating material plastic with 2 numbers and sinker material lead with 50 grams. The total length was approximately 200 meters and 200 meshes in height (6.76 m). The hanging ratio of gillnet was E=0.33. In addition, it was determined that a guarding net was added on the sinker part of this gillnet. This net 18 mm mesh size (bar length), black color, 10 meshes (0.34 m) in height and twine thickness of 210d/6 PA. Other technical characteristics of the *T.mediterraneus* gillnet net are shown in Figure 2.

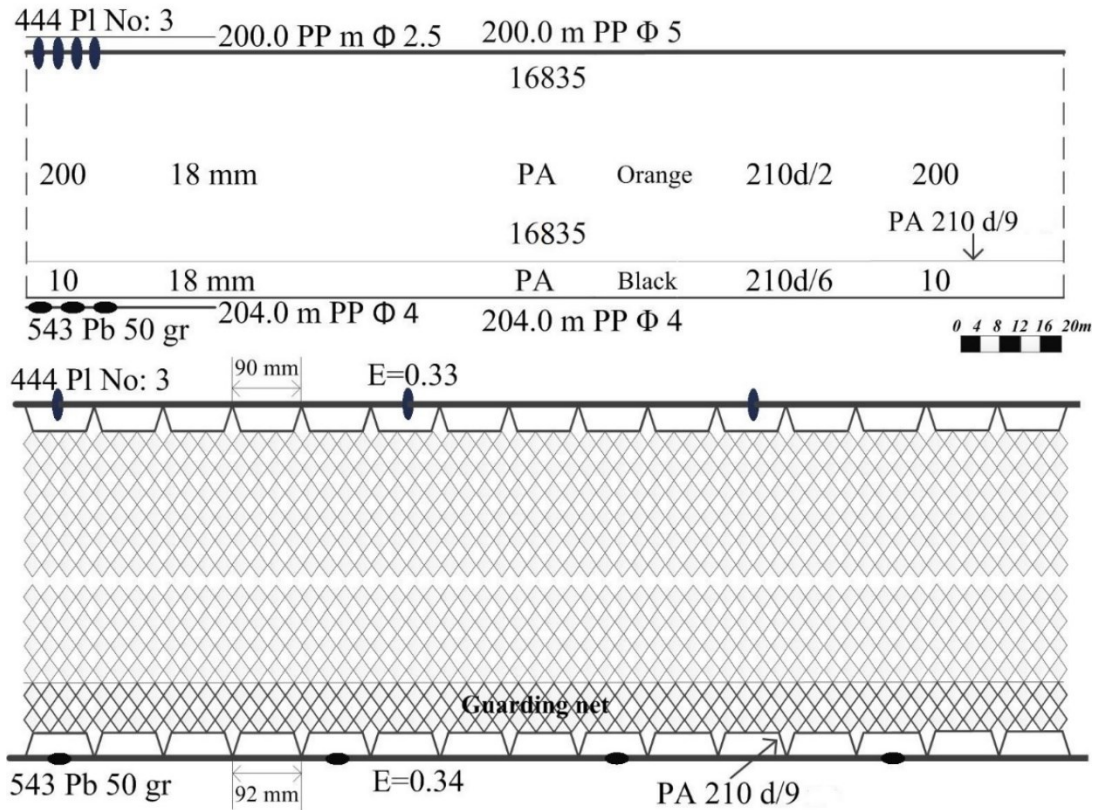


Figure 2. Technical plan and structural characteristics of gillnet

A total of 397.8 kg and 9204 ind belonging to target and non-target species were caught in the fishing operations. While the catch per unit effort (CPUE) for *T.mediterraneus* was calculated at  $0.026 \text{ kg/m.operation}^{-1}$  and  $0.7 \text{ ind/m.operation}^{-1}$ , the CPUE for the total amount was calculated at  $0.066 \text{ kg/m.operation}^{-1}$  and  $1.5 \text{ ind/m.operation}^{-1}$ . The highest CPUE (kg and ind) of commercial non-target species was detected for *Spicara* sp.. The highest CPUE (kg and ind) of discard non-target species *S. porcus* was determined.

The highest economic value of commercial non-target species was detected for *S.japonicus*. The amount, CPUE and economic value of target and non-target species are shown in Table 1.

Table 1. Amount, CPUE and economic value of caught species

Species	Amount				CPUE				Economic value	
	kg	%	Ind	%	kg	%	Ind	%	TL	%
<b>Target</b>										
<i>Trachurus mediterraneus</i>	156.5	39.3	3997	43.4	0.026	39.3	0.7	43.4	9390	59.4
<b>Subtotal</b>	156.5	39.3	3997	43.4	0.026	39.3	0.7	43.4	9390	59.4
<b>Non-target (Commercial)</b>										
<i>Alosa immaculata</i>	43.9	11.0	833	9.1	0.007	11.0	0.14	9.1	439	2.8
<i>Boops boops</i>	58	14.6	1115	12.1	0.010	14.6	0.2	12.1	2030	12.8
<i>Spicara sp.</i>	68.5	17.2	2298	25.0	0.011	17.2	0.4	25.0	685	4.3
<i>Scomber scombrus</i>	0.52	0.1	2	0.02	0.000	0.1	0.0	0.0	36.4	0.2
<i>Scomber japonicus</i>	43	10.8	245	2.7	0.007	10.8	0.0	2.7	3010	19.0
<i>Mullus surmuletus</i>	1.12	0.3	23	0.2	0.000	0.3	0.0	0.2	224	1.4
<b>Subtotal</b>	215	54.1	4516	49.1	0.036	54.1	0.75	49.1	6424.4	40.6
<b>Non-target (Discard)</b>										
<i>Belone belone</i>	0.43	0.1	2	0.0	0.000	0.1	0.0	0.0	-	-
<i>Merlangius merlangus</i>	0.25	0.1	8	0.1	0.000	0.1	0.0	0.1	-	-
<i>Pomatomus saltatrix</i>	1.27	0.3	14	0.2	0.000	0.3	0.0	0.2	-	-
<i>Chelidonichthys lucerna</i>	0.06	0.0	2	0.0	0.000	0.0	0.0	0.0	-	-
<i>Chromis chromis</i>	0.01	0.0	4	0.0	0.000	0.0	0.0	0.0	-	-
<i>Diplodus annularis</i>	1.19	0.3	33	0.4	0.000	0.3	0.0	0.4	-	-
<i>Diplodus vulgaris</i>	0.15	0.0	4	0.0	0.000	0.0	0.0	0.0	-	-
<i>Engraulis encrasicolus</i>	0.17	0.0	16	0.2	0.000	0.0	0.0	0.2	-	-
<i>Gaidropsarus mediterraneus</i>	0.27	0.1	6	0.1	0.000	0.1	0.0	0.1	-	-
<i>Gaidropsarus vulgaris</i>	0.06	0.0	1	0.0	0.000	0.0	0.0	0.0	-	-
<i>Gobius niger</i>	0.14	0.0	3	0.0	0.000	0.0	0.0	0.0	-	-
<i>Lithognathus mormyrus</i>	0.09	0.0	3	0.0	0.000	0.0	0.0	0.0	-	-
<i>Merluccius merluccius</i>	0.03	0.0	1	0.0	0.000	0.0	0.0	0.0	-	-
<i>Monochirus hispidus</i>	0.03	0.0	2	0.0	0.000	0.0	0.0	0.0	-	-
<i>Ophidion barbatum</i>	1.15	0.3	22	0.2	0.000	0.3	0.0	0.2	-	-
<i>Pagellus acerna</i>	0.12	0.0	3	0.0	0.000	0.0	0.0	0.0	-	-
<i>Pagellus erythrinus</i>	2.14	0.5	43	0.5	0.000	0.5	0.0	0.5	-	-
<i>Scorpaena porcus</i>	7.81	2.0	248	2.7	0.001	2.0	0.0	2.7	-	-
<i>Serranus scriba</i>	4.65	1.2	107	1.2	0.001	1.2	0.0	1.2	-	-
<i>Symphodus sp.</i>	2.69	0.7	99	1.1	0.000	0.7	0.0	1.1	-	-
<i>Symphodus mediterraneus</i>	2.75	0.7	63	0.7	0.000	0.7	0.0	0.7	-	-
<i>Trachinus draco</i>	0.82	0.2	7	0.1	0.000	0.2	0.0	0.1	-	-
<b>Subtotal</b>	26.3	6.6	691	7.5	0.004	6.6	0.12	7.5	0	0
<b>Total</b>	397.8	100.0	9204	100.0	0.066	100.0	1.5	100.0	15814.4	100.0

The target species *T.mediterraneus* was caught with the weight of 156.5 kg. This amount constitutes 39.3% all total weight. Apart from the target species *T.mediterraneus*, a total of 241.3 kg (60.7%) of non-target species, which are non-target species of commercial and discard. Among these commercial non-target species of *A.immaculata* accounts for 43.9 kg (11.0%), *B.boops* for 58 kg (14.6%), *Spicara sp.* for 68.5 kg (17.2%), *S.scombrus* for 0.52 kg (0.1%), *S.japonicus* for 43 kg (10.8%), and *M.surmuletus* for 1.12 kg (0.3%).

However, a total of 26.3 kg (6.6%) from the discard non-target species were determined (Figure 3; Table 1).

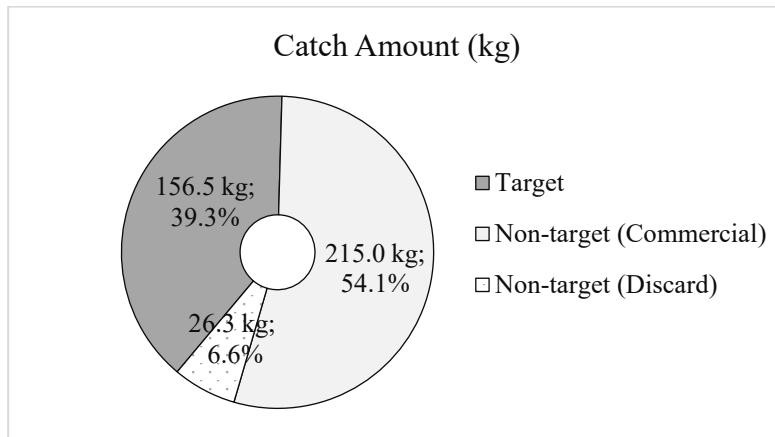


Figure 3. Total weight of target and non-target species

A total of 3997 individuals of the target species *T.mediterraneus* were caught. This amount constitutes 43.4% of all individuals. Apart from the target species *T.mediterraneus*, a total of 5207 individuals (56.6%) of non-target species, which are non-target species of commercial and discard. Among these commercial non-target species of 833 ind (9.1%), 1115 ind (12.1%), 2298 ind (17.2%), 2 ind (0.02%), 245 ind (2.7%) and 23 ind (0.3%) from *A.immaculata*, *B.boops*, *Spicara* sp., *S.scombrus*, *S.japonicus* and *M.surmuletus*, respectively. From the discard non-target species, a total of 691 ind (7.5%) were of determined (Figure 4; Table 1).

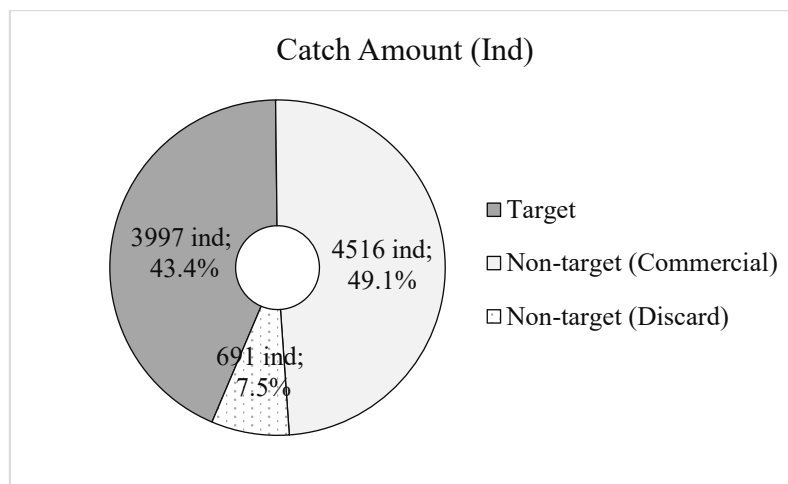


Figure 4. Total individuals of target and non-target species

The total economic value was calculated at 15814.4 TL. The economic value from the caught target species *T.mediterraneus* has been calculated at 9390 TL. This amount constitutes 59.4% of all economic value. Apart from the target species *T.mediterraneus*, it has been estimated that an economic value of 6424.4 TL (40.6%) can be generated from non-target species. Among these commercial non-target species, it is estimated that can be gained from *A.immaculata* of 439 TL (2.8%), *B.boops* of 2030 TL (12.8%), *Spicara*

sp. of 685 TL (4.3%), *S.scombrus* of 36.4 TL (0.2%), *S.japonicus* of 3010 TL (19%) and *M.surmuletus* of 224 TL (1.4%) (Figure 5; Table 1).

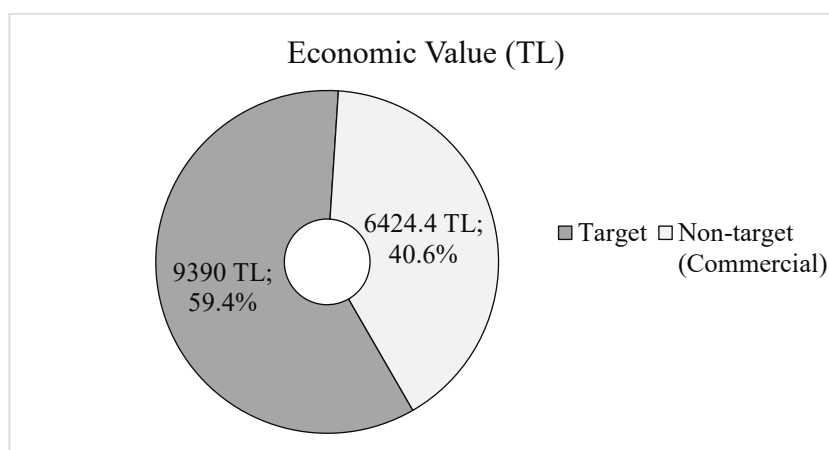


Figure 5. Economic value of target and non-target species

#### 4. Discussion

In this study, firstly the technical characteristics of the gillnets used to catch *T.mediterraneus* in the coastal area of the Marmara Sea was determined. It is seen that commercial fishermen tend to add guarding net in gillnets. This result may be explained by reducing non-target species and preventing unwanted discard species such as Crustacea and Mollusca species from damaging the gillnet. As a matter of fact, all caught non-target individuals consist of teleost fish and were not catch discard of Crustacea, Mollusca species in this study. Previous studies have shown that using guarding net decreases the discard rate [23, 24]. The twine thickness of the guarding net was 2010d/6, whereas the twine thickness of the gillnet was 2010d/2 in this study. Previous studies have shown that twine thickness affects catching efficiency and catch rates [25-27]. However, studies needed to explain comparing gillnet with guarding net and without guarding net twine thickness in detail.

The technical and structural characteristics of gillnets may vary in different areas. Özdemir and Erdem [28] caught 1391 individuals belonging to 13 species at depth of 15 to 50 meters with monofilament and multifilament nets with 18 mm mesh size monofilament and multifilament gillnets and trammel nets in Sinop, Black Sea. They reported that 41.19% of the individuals in multifilament net and 92.67% of the economic value in multifilament net. They stated that *Trachurus trachurus*, *Mullus barbatus ponticus*, *Merlangius merlangus euxinus* species were targeted in their study. In our study, only *T.mediterraneus* was targeted in the coastal area. It is thought that the area where gillnets are used, depth and mesh height are effective in the number of caught individuals and species diversity. Yıldız and Karakulak [29] reported that *Trachurus* sp. gillnet on the coast of Istanbul was the twine thickness of 210d/2-3, the mesh sizes of 17-18 mm, the mesh height of 50-100 and the hanging ratio of 0.68. At the same time, they also stated that *Trachurus* sp. gillnet was used at depth of 3-30 meters, that is, in the coastal area and deep sea. Akyol and Perçin [30] determined the mesh sizes as 16-17 mm, the mesh height as 100-300 and the twine thickness as 210d/3-4 of *Trachurus* sp. gillnet used in May-July on the coast of Tekirdağ. Erdem et al. [31] stated that the mesh



size was 18 mm, the twine thickness was 210d/1, the mesh height was 50-70-100 for *Trachurus* sp. gillnet in the Central Black Sea. Although the same species are targeted, it can be seen that there may be differences in the design of fishing gear depending on the knowledge and experience of the fishermen, environmental conditions and region conditions. Because catching operations carried out in the coastal area and in short time in this study.

In this study, the discard non-target species such as Crustacea and Mollusca were not caught. This situation is thought to be related to the soaking time of the gillnet. The gillnet was soaking time only 2 hours. Dickson [32] and Engas [33] reported that increasing the soaking time of the gillnets would indirectly increase their impact on the ecosystem. While targeting a species in fisheries, it is of course not possible to completely prevent the catch of non-target species. In the study, 29 non-target teleost fish species were caught, while the targeted *T.mediterraneus* was caught. The non-target species were constituted 60.7% of the total weight and 56.6% of the total individuals. Within this amount, it was determined that the commercial non-target species that were present constituted 54.1% of the weight and 49.1% of the individuals. In other words, the discard of non-target species is only 6.6% of the weight and 7.5% of the individuals. In addition to, the high individual and weight of commercial non-target species is a positive result in terms of economic value. As a matter of fact, 40.6% of the total economic value was obtained from commercial non-target species. However, no data on the length distribution of these individuals was presented in the study. In this case, there is a need to investigate the length distribution of the individuals caught. Because catching individuals above the legal catch length and first reproductive length of the species in the gillnets used will contribute to the preservation of stocks. The number of individuals and their length may vary depending on the body shape and length distribution of the species caught in the nets [34, 35]. The species are caught snagged, gilled, wedged in gill nets [36]. In this case, the technical and structural characteristics of fishing gear should be planned according to the biological and morphological features of the target species.

As a result, the technical and structural characteristics of the gillnet used in *T.mediterraneus* target were defined and the target and non-target catch efficiency of these nets were investigated for the first time. There is a need for further studies to reveal how changes in catch efficiency of target and non-target species by making changes these net characteristics. For the sustainability of *T.mediterraneus* stocks, it is necessary to determine the behavior of other species sharing the same environment as the target species and to plan the fishing gear. It is thought that these results further support to the creation of management plans and fisheries management for species-specific fishing gears used in a region.

### **Acknowledgment**

This study was supported by TUBITAK 2209-A University Students Research Projects with application number 1919B012300624. The authors grateful to captain Ahmet ŞEN of Yusuf Kaptan 17 fishing boat for providing the fishing operations. The study was presented as oral presentation at “The 2nd International Conference and the 4th National Conference on Marine Sustainable Development” in Iranian.

## References

- [1] Sinclair, M., and Valdimarsson, G., **Responsible fisheries in the marine ecosystem** in Cook, R., *Impact of By-catch mortality by Fishing Gear*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, CABI Publishing, (2003).
- [2] Alverson, D. L., Freeberg, M. H., Murawski, S. A. and Pope, J. G., **A global assessment of fisheries bycatch and discards**, 339, Food and Agriculture Organization of the United Nation, Rome, Italy, 233 p, (1994).
- [3] Zeller, D., Cashion, T., Palomares, M. and Pauly, D., Global marine fisheries discards: A synthesis of reconstructed data, **Fish and Fisheries**, 19, 1, 30-39, (2018).
- [4] Tsagarakis, K., Palialexis, A. and Vassilopoulou, V., Mediterranean fishery discards: review of the existing knowledge. **ICES Journal of Marine Science**, 71, 5, 1219–1234, (2013).
- [5] Gillett, R., **Global study of shrimp fisheries**, 475, Food and Agriculture Organization of the United Nation Fisheries Technical Paper, 25-29, (2008).
- [6] Bayhan, Y. K., Çiçek, E., Ünlüer, T. and Akkaya, M., Catch and by-catch composition of the shrimp fishery by beam trawl in the southeastern Marmara Sea. **Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 23, 3, 277-283, (2006).
- [7] Bozaoğlu, A. S., Akkuş, M. and Eryaşar, A. R., Catch Composition and By-Catch of Commercial Trammel Nets for Cuttlefish (*Sepia officinalis*, Linné, 1758) in Mersin Bay (north-eastern Mediterranean). **Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences**, 7, 2, 122-127, (2022).
- [8] Soyer, M. F., Analyzing the bottom trawl fisheries as targetted and untargetted catch in Unye (Ordu) – Terme (Samsun) trawling area, Master's Thesis, Ordu University, Institute of Natural and Applied Sciences, Department of Fisheries Technology Engineering, Ordu, 2018.
- [9] Cochrane, K. L. **Fishery manager's guidebook, management measures and their application**, 424, Food and Agriculture Organization of the United Nation Fisheries Technical Paper, Rome, Italy, 223 p, (2002).
- [10] Da Ros, Z., Fanelli, E., Cassatella, S., Biagiotti, I., Canduci, G., Menicucci, S., de Felice, A., Malavolti, A. and Leonori, I., Resource Partitioning among “Ancillary” Pelagic Fishes (*Scomber* spp., *Trachurus* spp.) in the Adriatic Sea. **Biology**, 12, 2, 272, (2023).
- [11] Demir, M., **Sarı kuyruk istavrit balığı (*Trachurus mediterraneus* LUTKEN, 1880)'nın üremesi hakkında**. I- Karadenizde, Hidrobiologi Mecmuası, Seri: A, IV (3-4), 94-102, (1958).
- [12] Demir, N. **Karadeniz populasyonuna ait *Trachurus mediterraneus* LTKN. (Sarıkuyruk istavrit balığı) yumurta ve larvalarının morfolojik hususiyetleri hakkında**. Hidrobiologi Mecmuası, Seri: A, IV (3-4), 85-92, (1958).
- [13] Doyuk, S. A., Determination of the technical specifications of fishing gears used in Çanakkale Region, Master's Thesis, Çanakkale Onsekiz Mart University, Institute of Natural and Applied Sciences, Çanakkale, (2006).
- [14] Emirbuyuran, Ö. and Çalık, S., Technical Characteristics of Drag Nets and Surrounding Nets Used in The Region of Samsun-Ordu-Giresun. **Anadolu University Journal of Science and Technology–C Life Sciences and Biotechnology**, 4, 2, 49-56, (2016).
- [15] Nedelec, C., **FAO Catalogue of Small-Scale Fishing Gear**, Fishing News Ltd. Surrey, England, 191, (1975).

- [16] Nomura, M., and Yamazaki T., **Fishing Techniques**, Japan International Cooperation Agency, Tokyo, 39-125, (1975).
- [17] FAO., **FAO Catalogue of Fishing Gear Designs**, Fishing News Books Ltd. FAO Fisheries and Technical Paper, England, 160, (1978).
- [18] Bilecenoğlu, M., Kaya, M., Cihangir, B. and Çiçek, E., An updated checklist of the marine fishes of Turkey. **Turkish Journal of Zoology**, 38, 6, 901-929, (2014).
- [19] Whitehead, P. J. P., Bauchot, M. L., Hureau, J. C., Nielsen J. and Tortonese, E., **Fishes of the North-eastern Atlantic and the Mediterranean**, Paris, UNESCO, Vol I, II, III, 1-1473, (1986).
- [20] WORMS., World Register of Marine Species, (2023). <https://www.marinespecies.org/> (20.06.2023).
- [21] Balık, İ., and Çubuk, H., Catching efficiency of gillnets on capture of some fish species in Lake Uluabat. **Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 18, 3-4, 399-405, (2001).
- [22] Hyvärinen, P. and Salojärvi. K., **The applicability of catch per unit effort (CPUE) statistics in fisheries management in Lake Dulujärvi, Northern Finland** in Cowx I. G., *Catch Effort Sampling Strategies*, Fishing News Books, Oxford, UK, 241-261, (1991).
- [23] Gökçe, G., Research on reduction of non-target species in shrimp trammel net, Doctoral thesis, Ege University, Institute of Natural and Applied Sciences, İzmir, (2004).
- [24] Aksu, H., The effect of using sardon in trammel nets on prevent catching of discarded species, Master' Thesis, Ondokuz Mayıs University, Institute of Natural and Applied Science, Fisheries Catching and Processing Technology Department, (2006).
- [25] Yokota, K., Fujimori, Y., Shiode, D. and Tokai, T., Effect of thin twine on gill net size-selectivity analyzed with the direct estimation method. **Fisheries Science**, 67, 851-856, (2001).
- [26] Ayaz, A., Altınagac, U., Ozekinci, U., Ozen, O., Altın, A. and Ismen, A. Effect of twine thickness on selectivity of gillnets for bogue, *Boops boops*, in Turkish waters. **Mediterranean Marine Science**, 12, 2, 358-36, (2011).
- [27] Dereli, H., Kebapçioğlu, T., Şen, Y., Ölçek, Z. S., Dinçtürk, E. and Ulman, A., The effect of gillnet twine thickness on catching efficiency and selectivity for common carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) fishery in Marmara Lake. **Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 39, 2, 88-96, (2022).
- [28] Özdemir, S. and Erdem, Y., Effect on catchability of species and species selectivity of structure properties and net material of gillnets. **Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 23, 3, 429-433, (2006).
- [29] Yıldız, T. and Karakulak, F. S., Technical characteristics of demersal set nets, used in Istanbul artisanal fisheries. **Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 27, 1, 19-24, (2010).
- [30] Akyol, O. and Perçin, F., The coastal fisheries and problems in Tekirdağ Province (Marmara Sea). **Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 23, 3, 423-426, (2006).
- [31] Erdem, Y., Özdemir, S., Özsandıkçılı, U. and Büyükdeveci, F., Technical plans of fishing gears used in the central Black Sea coastal fisheries (Sinop-Samsun). **Marine and Life Sciences**, 2, 2, 85-96, (2020).
- [32] Dickson, W., Cod gillnet effectiveness related to local abundance, availability and fish movement. **Fisheries Research**, 7, 1-2, 127-148, (1989).

- [33] Engas, A., **Abundance estimation using bottom gillnet and longline the role of fish behaviour**, Marine Fish Behaviour in Capture and Abundance Estimation. Fishing News Books, Oxford, UK, 134-160, (1994).
- [34] Kitahara, T., On selectivity curve of gill-net. **Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries**, 37, 4, 289-296, (1971).
- [35] Millner, R. S., **The use of anchored gill and tangle nets in the sea fisheries of England and Wales**, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Directorate of Fisheries Research, Laboratory Leaflet No:57 Lowesoft, (1985).
- [36] Brinkhof, I., Herrmann, B., Larsen, R. B., Brinkhof, J., Grimaldo, E. and Vollstad, J., Effect of gillnet twine thickness on capture pattern and efficiency in the Northeast-Arctic cod (*Gadus morhua*) fishery. **Marine Pollution Bulletin**, 191, 114927, (2023).

# Analytical solution of the (2+1)-dimensional Zoomeron equation by rational sine-Gordon Method

Beyhan KEMALOĞLU<sup>1,\*</sup>, Gülnur YEL<sup>2</sup>, Hasan BULUT<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Mathematics, Fırat University, Elazığ, Turkey

<sup>2</sup>Faculty of Educational Science, Fırat International University, Kyrenia, Mersin 10, Turkey

Geliş Tarihi (Received Date): 25.10.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 06.06.2024

## Abstract

The current study is about the solution of the Zoomeron equation, one of the important models of mathematics and physics. In this study, the rational Sine-Gordon expansion method (RSGEM) is used to obtain various analytical solutions of the model. Compared to other methods, this method is quite effective and the desired results were obtained. Although there are many analytical solutions to the model used in the literature, we present rational type solutions for the first time with this method. We obtained rational hyperbolic function solutions, and also classified all soliton solutions (kink-like, kink, singular kink, anti-kink, dark, bright). In addition, geometric representations of the solutions in two-, and three-dimensional space and contour shape are made with the Mathematica software program.

**Keywords:** RSGEM; Zoomeron equation; Analytical method

## Rasyonel sine-Gordon metodu ile (2+1) boyutlu Zoomeron denkleminin analitik çözümü

## Öz

Mevcut çalışma, matematiğin ve fiziğin önemli modellerinden biri olan Zoomeron denkleminin çözümü ile ilgilidir. Bu çalışmada, modelin çeşitli analitik çözümlerini elde etmek için rasyonel Sinüs-Gordon açılım yöntemi (RSGEM) kullanılmıştır. Kullanılan modelin literatürde birçok analitik çözümü bulunmasına rağmen, bu yöntemle ilk kez rasyonel tip çözümler sunuyoruz. Rasyonel hiperbolik fonksiyon çözümleri elde ettik ve ayrıca tüm soliton çözümlerini (kıvrımlı benzeri, kıvrımlı, tekil kıvrımlı, ters kıvrımlı,

\*Beyhan Kemaloğlu, beyhanozturk1980@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-9671-0562>

Gülnur Yel, gulnur.yel@final.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-5134-4431>

Hasan Bulut, hbulut@firat.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-6089-1517>

koyu, parlak) sınıflandırdık. Ayrıca, Mathematica yazılım programı ile çözümlerin iki ve üç boyutlu uzayda ve kontur şeklinde geometrik gösterimleri yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Rasyonel Sine-Gordon açılım metodu, Zoomeron denklemi, Analitik metot

## 1. Introduction

Differential equations are important mathematical models because they are used to represent problems in various fields such as science and engineering. The capacity of differential equations to model intricate systems is one of their most important advantages. It is frequently impossible to comprehend a system's behavior without the use of differential equations. Differential equations describe natural life problems; for instance, they are employed in fluid dynamics to simulate the movement of fluids through pipes and other structures. And they are also used to simulate how gases and other materials behave under various conditions.

Non-linear partial differential equations have wave solutions such as soliton, compaction etc. and these solitons make it easier to create physical interpretations of problems.

Solitons are strengthening their wave bundles that keep their structure as they travel at a constant velocity in various environments. Solitons appear when nonlinear and dispersive effects in the medium are removed. Dispersive effects are characteristics of some systems in which the frequency of a wave affects its speed. Solitons are also physical system solutions to several nonlinear dispersive PDEs. They have been observed in water waves, the study of solid-state, plasma physics, particle physics, biological systems, nonlinear optics, and etc. [2,3,9,27].

There are techniques for solving partial differential equations in addition to ordinary differential equations, although these techniques may not work for all equations. Finding an approach to solving the provided partial differential equation is crucial in this situation. This is particularly valid for non-linear equations. The numerical method can be applied in certain situations in which the analytical method is inapplicable. This method solves mathematical problems on a computer-aided level [4,5,11,12,14,16,17,20,22-31,34-36].

In this study, we use the RSGEM, which is an analytical method. The method considers the solutions of the nonlinear partial differential equation (NPDE) as polynomials of trigonometric functions. To facilitate the search for these polynomials in the next step, we use a transformation with the help of the sine-Gordon (SG) equation. The literature shows that this method is quite effective and leads to the desired results [8,15,19,32,33].

## 2. A brief introduction to the RSGEM method

In order to proceed to the main part of this study, we must present some conclusions about the characteristics of the method we will use. These features have also been reported in the literature [8,15,19,32,33].

Considering the SG equation as

$$\varphi_{xx} - \varphi_{tt} = m^2 \sin(\varphi), \tag{2.1}$$

where  $\varphi = \varphi(x, t)$ ,  $m$  is a constant number. By applying  $\varphi = \varphi(x, t) = \Phi(\xi)$ ,  $\xi = \mu(x - ct)$  transform to (2.1), we have

$$\Phi'' = \frac{m^2}{\mu^2(1-c^2)} \sin(\Phi), \tag{2.2}$$

where  $\Phi = \Phi(\xi)$ ,  $\mu$  and  $c$  are physical parameters. Then, we can see easily

$$\left[ \left( \frac{\Phi}{2} \right)' \right]^2 = \frac{m^2}{\mu^2(1-c^2)} \sin^2 \left( \frac{\Phi}{2} \right) + C, \tag{2.3}$$

here  $C$  is an integration constant different from above  $c$ . By replacing  $C = 0$ ,  $\varpi(\xi) = \frac{\Phi}{2}$

and  $a^2 = \frac{m^2}{\mu^2(1-c^2)}$  in (2.3) gives,

$$\varpi' = a \sin(\varpi), \tag{2.4}$$

taking  $a=1$  in Eq.(2.4), we have easily

$$\varpi' = \sin(\varpi). \tag{2.5}$$

If we apply the separation of variables, a classical method in the theory of differential equations, to (2.5), we easily obtain the following equations.

$$\sin(\varpi) = \sin(\varpi(\xi)) = \frac{2pe^\xi}{p^2e^{2\xi} + 1} \Big|_{p=1} = \operatorname{sech}(\xi), \tag{2.6}$$

$$\cos(\varpi) = \cos(\varpi(\xi)) = \frac{p^2e^{2\xi} - 1}{p^2e^{2\xi} + 1} \Big|_{p=1} = \tanh(\xi). \tag{2.7}$$

Now, we will consider a NPDE in general form as

$$P(\varphi, \varphi_x, \varphi_t, \varphi_{xx}, \varphi_{tt}, \varphi_{xt}, \varphi_{xxx}, \varphi_{xxt}, \dots) = 0, \tag{2.8}$$

$$N\left(\Phi, \frac{d\Phi}{d\xi}, \frac{d^2\Phi}{d\xi^2}, \dots\right) = 0. \tag{2.9}$$

The solution form for Equation (2.8) in SGEM is given below.

$$\Phi(\xi) = \sum_{i=1}^N \tanh^{i-1}(\xi) [b_i \operatorname{sech}(\xi) + a_i \tanh(\xi)] + a_0. \tag{2.10}$$

If we rewrite (2.9) with (2.6) and (2.7), we have

$$\Phi(\varpi) = \sum_{i=1}^N \cos^{i-1}(\varpi) [b_i \sin(\varpi) + a_i \cos(\varpi)] + a_0. \tag{2.11}$$

It would be more appropriate to look for solutions rationally because mathematically rational functions are more general than polynomial functions. Consequently, the wave solutions we are searching for will have the shape that we want. Let us consider the following solution form [8,15,19,32,33],

$$\Phi(\xi) = \frac{\sum_{i=1}^N \tanh^{i-1}(\xi) [a_i \operatorname{sech}(\xi) + c_i \tanh(\xi)] + a_0}{\sum_{j=1}^M \tanh^{j-1}(\xi) [b_j \operatorname{sech}(\xi) + d_j \tanh(\xi)] + b_0}, \quad (2.12)$$

which is also written as

$$\Phi(\varpi) = \frac{\sum_{i=1}^N \cos^{i-1}(\varpi) [a_i \sin(\varpi) + c_i \cos(\varpi)] + a_0}{\sum_{j=1}^M \cos^{j-1}(\varpi) [b_j \sin(\varpi) + d_j \cos(\varpi)] + b_0}. \quad (2.13)$$

$a_i, b_i, c_i, d_i, a_0, b_0$  are constants which will be obtained in next steps. It appears that not all constants are zero simultaneously. At this stage, we consider the balance principle between the nonlinear term with the highest power and the highest derivative in the NPDE. Then  $M$  and  $N$  are specified. The next step consists of a set of algebraic equations for  $a_i, b_i, c_i, d_i, a_0, b_0$ . We solve this system and find the values using the software. Finally, we put them into (2.13) and get the new travelling wave solutions for (2.8).

### 3. Application of RSGEM method

The aim of this section is to present the solution of the Zoomeron equation, which has an important place in the class of NPDE, using the RSGEM method. Let us consider Zoomeron equation

$$\left(\frac{U_{xy}}{U}\right)_{tt} - \left(\frac{U_{xy}}{U}\right)_{xx} + 2(U^2)_{xt} = 0. \quad (3.1)$$

A well-liked model for illustrating the new phenomena associated with boomerons and trappons, the Zoomeron equation is also frequently employed to explain the development of a single scalar field [1,10,13,18,21]. Historically, this equation has always attracted the attention of people working in the field of applied mathematics. The reason for this is that it provides the desired results by some methods and also represents a physical event as a model. However, in recent times, this type of equations has been defined and the desired solutions have been obtained [1,10,13,18,21]. Let us look briefly at the literature on this equation. In [1], author gave explicit traveling wave solutions the Zoomeron equation, by using the another method, in [18,32], it was shown that the solution of the Zoomeron equation was related to the dromion solutions of Davey-Stewartson-III equation.

Assume that the wave transformation is in the form

$$U(x, y, t) = u(\xi), \quad \xi = x + \eta y - wt \quad (3.2)$$

where  $\eta, w$  are constants and we obtain value of them later.

By using (3.2), we obtain the partial derivative of  $U$  respect to  $x, y$  and  $t$  and accordingly inserting them in (3.1), we have an ordinary differential equation



$$\eta(w^2 - 1)\left(\frac{u''}{u}\right)'' - 2w(u^2)'' = 0 \tag{3.3}$$

Integrating (3.3) two times with respect to  $\eta$  and getting the integration constant to zero, then we obtain

$$\eta(w^2 - 1)u'' - ku - 2wu^3 = 0 \tag{3.4}$$

Regarding the balance between the nonlinear term  $u^3$  and the highest order term  $u''$  in (3.3), we obtain easily that  $M = 1$  and  $N = 1$ . Therefore, we can write the solutions of this equation as

$$\Phi(\xi) = \frac{a_1 \operatorname{sech}(\xi) + c_1 \tanh(\xi) + a_0}{b_1 \operatorname{sech}(\xi) + d_1 \tanh(\xi) + b_0},$$

In below, we get diagrams of the wave solutions for different cases in 2D and 3D. These graphs are very important to better understand the physical meaning of both the solution and the equation. It is possible to draw graphs when different constants are considered.

**CASE 1:** Regarding the coefficients' values,

$$a_0 = \frac{\sqrt{-1+w^2}\sqrt{\eta}d_1}{2\sqrt{w}}, a_1 = \frac{\sqrt{-1+w^2}\sqrt{\eta}b_1^2 + d_1^2}{2\sqrt{w}}, c_1 = 0, b_0 = 0, r = -\frac{1}{2}(-1+w^2)\eta.$$

We determine the solution and the accompanying contour, 2-D, and 3-D graphs.

$$u(x, y, t) = \frac{\sqrt{-1+w^2}\sqrt{\eta}\operatorname{Cosh}(tw-x-y\eta)d_1 + \sqrt{b_1^2 + d_1^2}}{2\sqrt{w}[b_1 - \operatorname{Sinh}(tw-x-y\eta)d_1]}$$

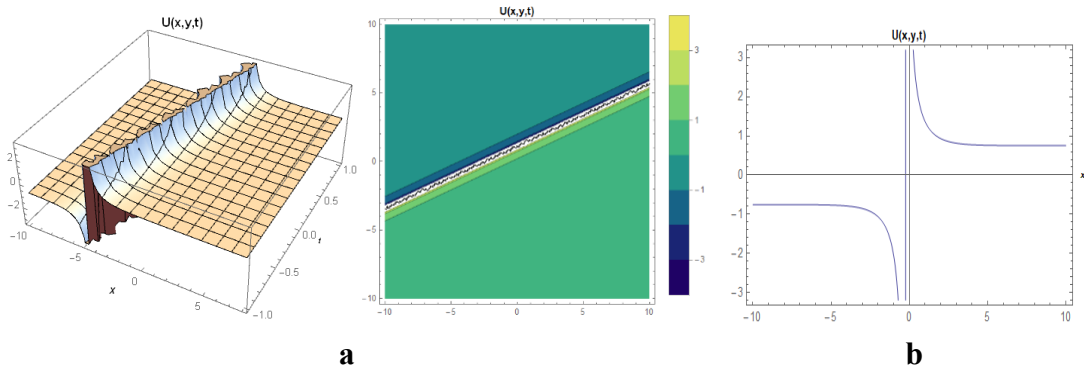


Figure.1. 3-D,2-D and contour graphs for a;  $\eta=1.3, w=2.2, b_1=0.7, d_1=0.5$  and for b;  $y=1, t=1$ .

**CASE 2**

Regarding the coefficients' values

$$a_0 = \frac{i\sqrt{r}d_1}{2\sqrt{w}}, a_1 = \frac{\sqrt{r}\sqrt{b_0^2 - b_1^2 - d_1^2}\sqrt{\eta}(b_1^2 + d_1^2)}{\sqrt{2w}}, c_1 = \frac{i\sqrt{r}b_0}{\sqrt{2w}}, \eta = -\frac{2r}{-1+w^2},$$

We determine the solution and the accompanying contour, 2-D, and 3-D graphs.

$$u(x, y, t) = \frac{\sqrt{r}(-i \operatorname{Sin} h\left(tw - x + \frac{2ry}{-1+w^2}\right)b_0 + i \operatorname{Cosh}(tw - x + \frac{2ry}{-1+w^2})d_1 + \sqrt{b_0^2 - b_1^2 - d_1^2})}{\sqrt{2w} \operatorname{Cosh}\left(tw - x + \frac{2ry}{-1+w^2}\right)b_0 + b_1 - \operatorname{Sin} h\left(tw - x + \frac{2ry}{-1+w^2}\right)d_1},$$

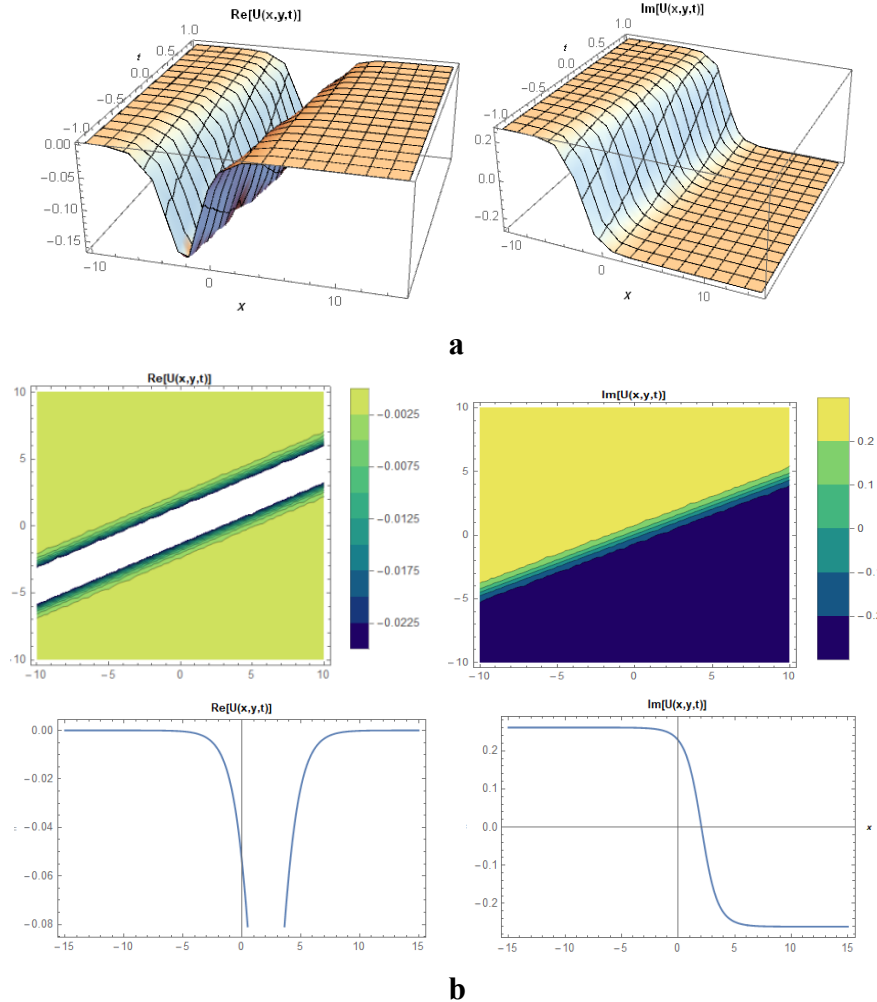


Fig.2. Graphs for a;  $r=0.3$ ,  $w=2.2$ ,  $b_0=1.7$ ,  $b_1=0.7$ ,  $d_1=0.5$  and for b;  $y=1$ ,  $t=1$ .

**CASE 3**

Regarding the coefficients' values as

$$a_0 = -\frac{\sqrt{\eta(-1+w^2)}d_1}{2\sqrt{w}}, a_1 = \frac{\sqrt{\eta(-1+w^2)}\sqrt{-b_0^2 + b_1^2 + d_1^2}}{2\sqrt{w}}, c_1 = -\frac{\sqrt{\eta(-1+w^2)}b_0}{2\sqrt{w}}, r = -\frac{1}{2}(-1+w^2)\eta,$$

We determine the solution and the accompanying contour, 2-D, and 3-D graphs.

$$u(x, y, t) = \frac{\sqrt{\eta(-1+w^2)}\left[\left(d_1 - \operatorname{Sech}(x + \eta y - wt)\right)\sqrt{-b_0^2 + b_1^2 + d_1^2} + b_0 \operatorname{Tanh}(x + \eta y - wt)\right]}{2\sqrt{w}\left[b_0 + \operatorname{Sech}(x + \eta y - wt)b_1 + d_1 \operatorname{Tanh}(x + \eta y - wt)\right]},$$

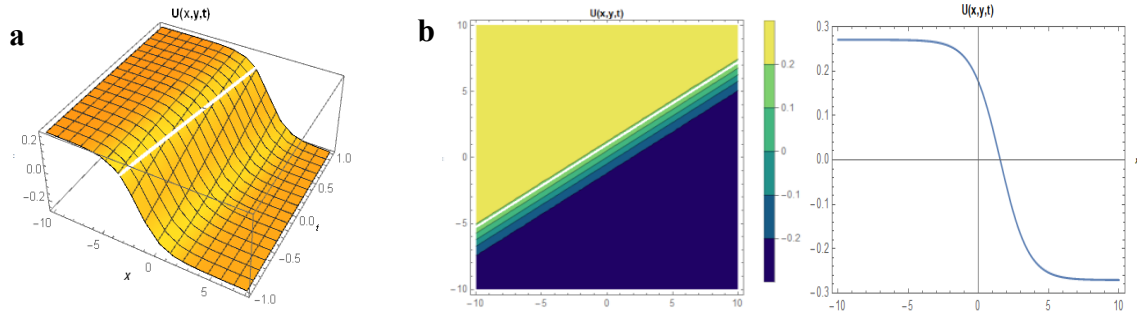


Figure.3. Graphs for a;  $\eta=0.3, w=1.6, b_0=0.7, b_1=1.1, d_1=1.5$  and for b;  $y=1, t=1$ .

**CASE 4**

Regarding the coefficients' values as,

$$a_0 = -\frac{c_1 d_1}{b_0}, a_1 = \frac{ic_1 \sqrt{b_0^2 - b_1^2 - d_1^2}}{b_0}, \eta = -\frac{4wc_1^2}{(-1+w^2)b_0^2}, r = -\frac{2wc_1^2}{b_0^2}.$$

We determine the solution and the accompanying contour, 2-D, and 3-D graphs.

$$u(x, y, t) = -\frac{c_1 (d_1 + i \operatorname{Sech}(x + \eta y - wt)) \sqrt{b_0^2 - b_1^2 - d_1^2} + b_0 \operatorname{Tanh}(x + \eta y - wt)}{b_0 [b_0 + \operatorname{Sech}(x + \eta y - wt) b_1 + d_1 \operatorname{Tanh}(x + \eta y - wt)]}.$$

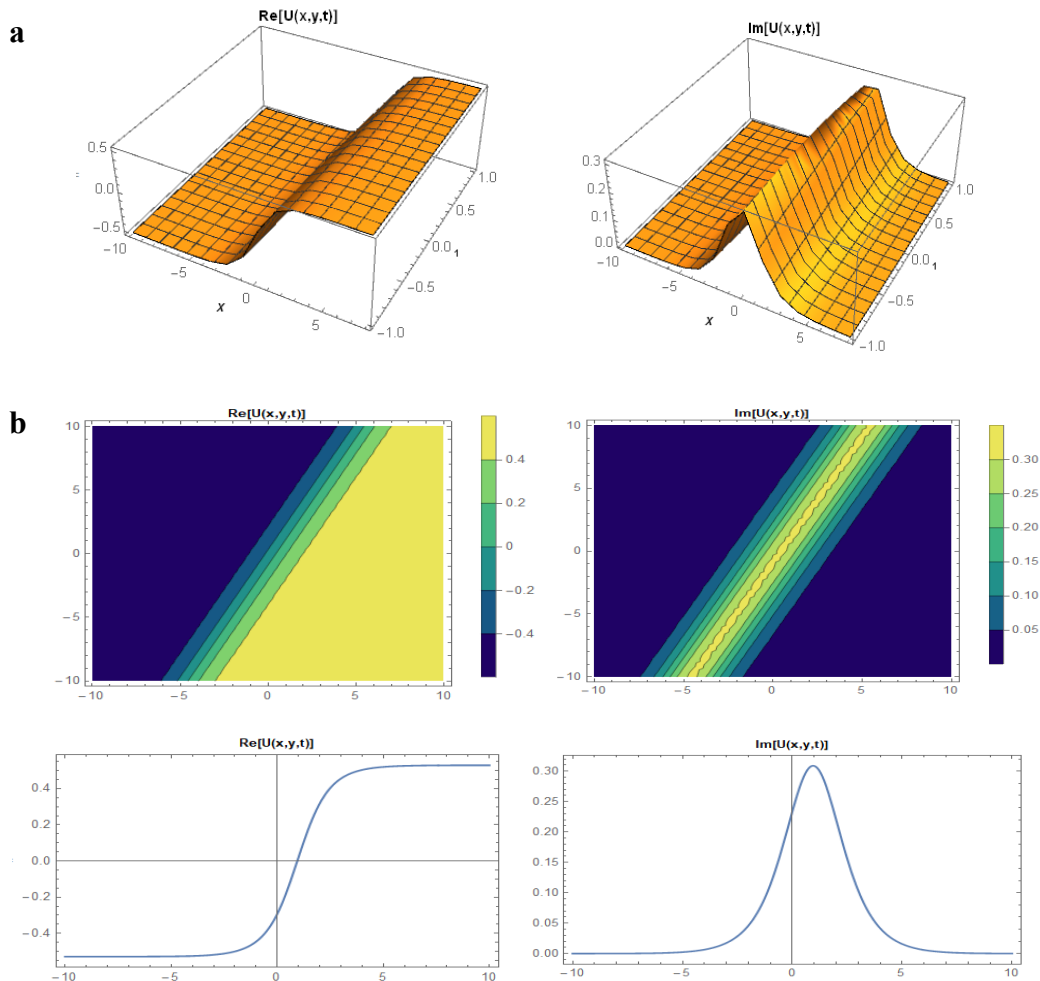


Figure.4. Graphs for a;  $w=0.5, b_0=1.7, b_1=0.8, d_1=0.5, c_1=0.9$  and for b;  $y=1, t=1$ .

**CASE 5**

Regarding the coefficients' values as

$$a_0 = 0, d_1 = 0, b_0 = -\frac{2\sqrt{w}c_1}{\sqrt{-1+w^2\eta}}, b_1 = \frac{2\sqrt{w(a_1^2+c_1^2)}}{\sqrt{-1+w^2\eta}}, r = -\frac{1}{2}(-1+w^2)\eta.$$

We determine the solution and the accompanying contour, 2-D, and 3-D graphs.

$$u(x, y, t) = \frac{\sqrt{(-1+w^2)\eta} (a_1 + c_1 \text{Sin } h(x + \eta y - wt))}{-2\sqrt{w}c_1 \text{Cos } h(x + \eta y - wt) + 2\sqrt{w(a_1^2 + c_1^2)}}.$$

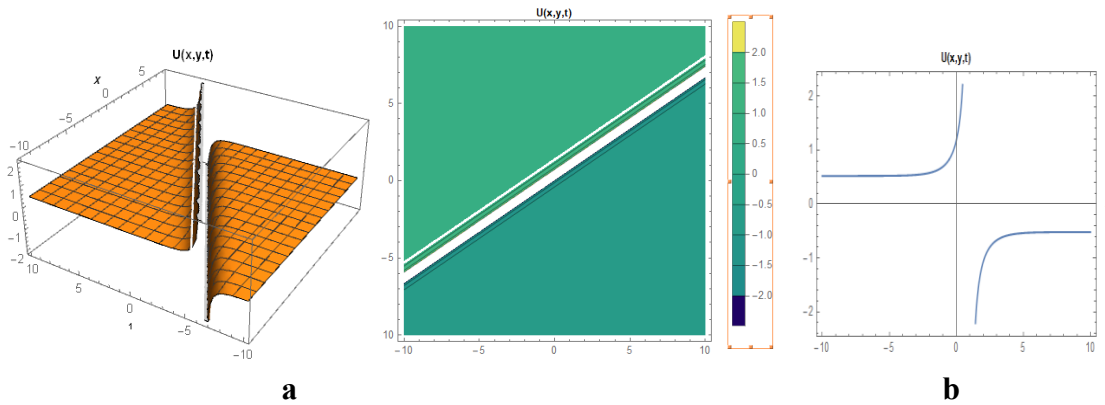


Figure.5. Graphs for a;  $\eta=1.3$ ;  $w=1.5$ ;  $a_1=1.3$ ;  $c_1=1.6$  and for b;  $y=1$ ;  $t=1$ .

**CASE 6**

Regarding the coefficients' values as,

$$a_0 = \frac{\sqrt{w(a_1^2+c_1^2)}}{w}, b_0 = \frac{2\sqrt{w}c_1}{\sqrt{-1+w^2\eta}}, b_1 = 0, d_1 = \frac{2\sqrt{w(a_1^2+c_1^2)}}{\sqrt{-1+w^2\eta}}, r = -\frac{1}{2}(-1+w^2)\eta.$$

We determine the solution and the accompanying contour, 2-D, and 3-D graphs

$$u(x, y, t) = \frac{\sqrt{(-1+w^2)\eta} \sqrt{w} \text{Sech}(x + \eta y - wt) (a_1 + c_1 \text{Sin } h(x + \eta y - wt)) + \sqrt{w(a_1^2 + c_1^2)}}{2wc_1 + 2\sqrt{w^2(a_1^2 + c_1^2)} \text{Tanh}(x + \eta y - wt)}.$$

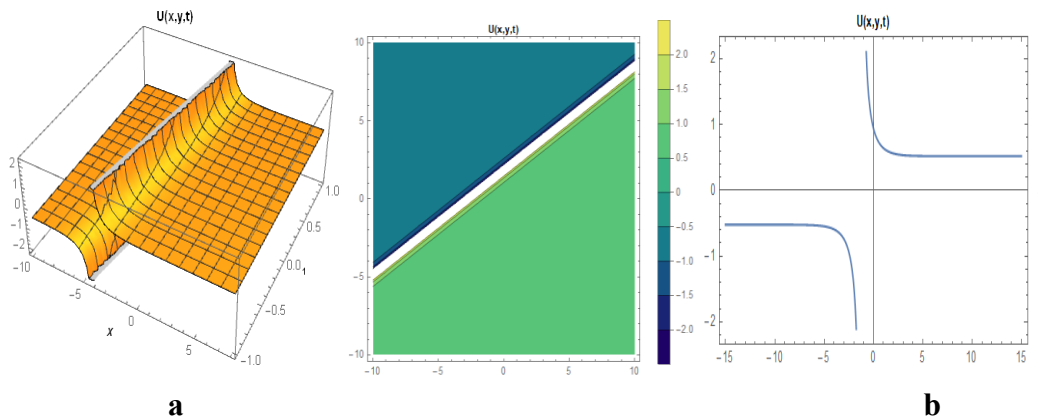


Figure.5. Graphs for a  $\eta=1.3$ ,  $w=1.5$ ,  $a_1=0.3$ ,  $c_1=0.6$  and for b  $y=1$ ,  $t=1$ .

#### 4. Conclusion

In this study, we examine a few new soliton solutions to the zoomeron equation. We concluded that certain new solutions to the Zoomeron problem are obtained by applying the efficient RSGEM approach, which uses the Mathematica program. We illustrated 2D, 3D, and contour simulations to more accurately depict the physical characteristics of the derived wave solution. Figure 1 represents kink-like soliton solution. For figure 2, the real part is dark soliton and the imaginary part is singular kink solitons. Figure 3 has an anti-kink wave soliton solution. Figure 4 represents singular kink soliton and bright soliton for the real part and the imaginary part of the solution, respectively. Figure 5 and 6 show solitary wave solutions. We used Wolfram Mathematica-12 to verify each solution. This method is a powerful and easy to apply method that can produce a wide range of different types of solutions to such mathematical models. The RSGEM has unveiled novel soliton solutions with applications in engineering and mathematical physics. The obtained soliton solutions may be useful in providing an expanded comprehension of the nonlinear physical phenomena described by the governing equation. The concept employed in this work can be used to solve further partial differential equations and various fractional models, in mathematical physics. Moreover, multiple solitons, rogue waves, breathers, bifurcation analysis can be studied and explored.

#### References

- [1] Abazari, R.: The solitary wave solutions of Zoomeron equation. **Appl. Math. Sci.** 5(59), 2943–2949 (2011)
- [2] Ablowitz, M.J., Clarkson, P.A.: Solitons, Nonlinear Evolution Equations and Inverse Scattering Transform. **Cambridge University Press, Cambridge** (1991)
- [3] Arshad, M., Seadawy, A.R., Lu, D.: Bright-dark solitary wave solutions of generalized higher-order nonlinear Schrödinger equation and its applications in optics. **J. Electromagn. Waves Appl.** 31, 1711–1721 (2017)
- [4] Ata E. Kıymaz O. New generalized Mellin transform and applications to partial and fractional differential equations, **International Journal of Mathematics and Computer in Engineering**, 1(2023)
- [5] Ata, E., & Kıymaz, İ. O. Generalized Gamma, Beta and Hypergeometric Functions Defined by Wright Function and Applications to Fractional Differential Equations. **Cumhuriyet Science Journal**, 43(4), 684-695, (2022)
- [6] Baskonus, H.M., Sulaiman, T.A., Bulut, H.: On the new wave behavior to the Klein–Gordon–Zakharov equations in plasma physics. **Indian J. Phys.** 93(3), 393–399 (2019)
- [7] Baskonus, H. M., Bulut, H., Atangana, A. On the complex and hyperbolic structures of the longitudinal wave equation in a magneto-electro-elastic circular rod. **Smart Materials and Structures**, 25(3), 035022 (2016)
- [8] Baskonus, H.M., Bulut, H., Sulaiman, T.A.: New complex hyperbolic structures to the Lonngren-wave equation by using sine-Gordon expansion method. **Appl. Math. Nonlinear Sci.** 4(1), 141–150 (2019)
- [9] Bulut, H., Sulaiman, T.A., Baskonus, H.M.: Dark, bright and other soliton solutions to the Heisenberg ferromagnetic spin chain equation. **Superlattices Microstruct.** 123, 12–19 (2018)

- [10] Degasperis, A., Rogers, C., Schief, W.K.: Isothermic surfaces generated via Bäcklund and Moutard Transformations: Boomeron and Zoomeron connections. **Stud. Appl. Math.** 109, 39–65 (2002)
- [11] Dokuyucu M. A., Çelik E., Bulut H., Baskonus H. M., Cancer treatment model with the Caputo-Fabrizio fractional derivative, **The European Physical Journal Plus**, 133, 1-6 (2018)
- [12] Durur, H., İlhan, E., Bulut, H. Novel Complex Wave Solutions of the (2+1)-Dimensional Hyperbolic Nonlinear Schrödinger Equation. **Fractal and Fractional**, 4(3), 41. (2020).
- [13] Gao W., Rezazadeh, H. Pinar Z., Baskonus H. M., Sarwar S. and Yel G., (2020) Novel explicit solutions for the nonlinear Zoomeron equation by using newly extended direct algebraic technique, **Optical and Quantum Electronics** 52:52 <https://doi.org/10.1007/s11082-019-2162-8>
- [14] İlhan OA., Sulaiman TA., Bulut H. and Baskonus HM, On the new wave solutions to a nonlinear model arising in plasma physics, **Eur. Phys. J. Plus** 133: 27 (2018)
- [15] Ismael, H. F. Bulut, H., Baskonus, H. M. Optical soliton solutions to the Fokas–Lenells equation via sine-Gordon expansion method and  $(m+(G'/G))$ -expansion method. **Pramana**, 94(1), 35 (2020).
- [16] Khalique, C.M., Mhlanga, I.E. Travelling waves and conservation laws of a (2+1)-dimensional coupling system with Korteweg-de Vries equation. **Appl. Math. Nonlinear Sci.** 3(1), 241–254 (2018)
- [17] Khalique, C.M., Adeyemo, O.D., Simbanefayi, I.: On optimal system, exact solutions and conservation laws of the modified equal-width equation. **Appl. Math. Nonlinear Sci.** 3(2), 409–418 (2018)
- [18] Khan, K., Akbar, A.M.: Traveling wave solutions of the (2+1)-dimensional Zoomeron equation and the Burgers equations via the MSE method and the exp-function method. **Ain Shams Eng. J.** 5, 247–256 (2014)
- [19] Kundu, P.R. Fahim Md. R. Islam Md. E. and Akbar, M.A. The sine-Gordon expansion method for higher-dimensional NLEEs and parametric analysis, **Heliyon**, 7(3), e06459 (2021)
- [20] Ma, W.X., Huang, T., Zhang, Y.: A multiple exp-function method for nonlinear differential equations and its application. **Phys. Scr.** 82(065003), 1–10 (2010)
- [21] Morris, M.R., Leach, P.G.L.: Symmetry reductions and solutions to the Zoomeron equation. **Phys. Scr.** 90(015202), 1–5 (2014)
- [22] Pandey, P.K.: A new computational algorithm for the solution of second order initial value problems in ordinary differential equations. **Appl. Math. Nonlinear Sci.** 3(1), 167–174 (2018)
- [23] Peng, Y. Z., & Shen, M. On exact solutions of the Bogoyavlenskii equation. **Pramana**, 67(3), 449-456. (2006)
- [24] Raza, N., Javid, A.: Optical dark and singular solitons to the Biswas–Milovic equation in nonlinear optics with spatio-temporal dispersion. **Optik** 158, 1049–1057 (2018)
- [25] Seadawy, A.R.: Exact solutions of a two dimensional nonlinear Schrödinger equation. **Appl. Math. Lett.** 25, 687–691 (2017)
- [26] Seadawy, A.R., Lu, D.: Bright and dark solitary wave soliton solutions for the generalized higher order nonlinear Schrödinger equation and its stability. **Results Phys.** 7, 43–48 (2017)

- [27] Sulaiman, T.A., Bulut, H., Yel, G., Atas, S.S.: Optical solitons to the fractional perturbed Radhakrishnan– Kundu–Lakshmanan model. **Opt. Quant. Electron.** 50(372), 372–378 (2018b)
- [28] Sulaiman, T.A., Bulut, H., Baskonus, H.M.: Optical solitons to the fractional perturbed NLSE in nano-fibers. **Discrete Contin. Dyn. Syst. S** 13(3), 925–936 (2020)
- [29] Veerasha, P., Prakasha, DG, Baskonus, HM. New numerical surfaces to the mathematical model of cancer chemotherapy effect in Caputo fractional derivatives, **Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science** 29 (1) (2019)
- [30] Wazwaz, A.M.: **Partial Diferential Equations: Methods and Applications.** Balkema, Leiden (2002)
- [31] Wazwaz, A.M.: **Partial Diferential Equations and Solitary Wave Theory.** Higher Education Press, Beijing and Springer-Verlag, Berlin Heidelberg (2009)
- [32] Yamgou, S.B., Deffo G.R. ,and Pelap, F. C., A new rational sine-Gordon expansion method and its application to nonlinear wave equations arising in mathematical physics, **Eur. Phys. J. Plus** 134: 380 (2019)
- [33] Yel, G., Baskonus, H.M., Bulut, H.: Novel archetypes of new coupled Konno-Oono equation by using sine– Gordon expansion method. **Opt. Quant. Electron.** 49(285), 1–10 (2017)
- [34] Yel, G., Baskonus, H.M., Bulut, H.: Regarding some novel exponential travelling wave solutions to the Wu– Zhang system arising in nonlinear water wave model. **Indian J. Phys.** 93(8), 1031–1039 (2019)
- [35] Yel, G., New wave patterns to the doubly dispersive equation in nonlinear dynamic elasticity, **Pramana – J. Phys.** 94(1):79 (2020)
- [36] Zhao, Z., Han, B.: Lump solutions of a (3+1)-dimensional B-type KP equation and its dimensionally reduced equations. **Anal. Math. Phys.** 9(1), 119–130 (2019)

# A novel undersampling method based on data classification method

Nur UYLAŞ SATI\*

Muğla Sıtkı Koçman University, Bodrum Vocational High School, Department of Motor Vehicles and Transportation Technologies, 48100, Muğla, Türkiye

Geliş Tarihi (Received Date): 05.03.2024

Kabul Tarihi (Accepted Date): 06.06.2024

## Abstract

Data mining is one of the most important research area in literature. Due to the increasing volume of data, which is directly proportional to technological advancements, the number of researches in this field is growing rapidly. The goal of data mining is to extract various insights and obtain information from raw data by leveraging machine learning techniques. The structural characteristics and also class distributions of the datasets used in machine learning techniques significantly affect the performances of the algorithms. In this study, our aim is balancing the imbalanced binary dataset, used in the machine learning techniques, with an undersampling approach including a classification method via polyhedral conic functions.

**Keywords:** Data mining, machine learning, undersampling, polyhedral conic functions.

## Veri sınıflandırma yöntemine dayalı yeni bir alt örnekleme yöntemi

### Öz

Veri madenciliği literatürdeki en önemli araştırma alanlarından biridir. Teknolojik gelişmelerle doğru orantılı olarak artan veri hacmi nedeniyle bu alanda yapılan araştırmaların sayısı da hızla artmaktadır. Veri madenciliğinin amacı, makine öğrenimi tekniklerinden yararlanarak çeşitli tahminlerde bulunmak ve ham verilerden bilgi elde etmektir. Makine öğrenmesi tekniklerinde kullanılan veri kümelerinin yapısal özellikleri ve sınıf dağılımları algoritmaların performanslarını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu çalışmada amacımız, dengesiz ikili veri kümelerini, çokyüzlü konik fonksiyonların kullanıldığı bir sınıflandırma yöntemini içeren yeni bir alt örnekleme yaklaşımıyla dengelemektir.

\* Nur UYLAŞ SATI, nursati@mu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-1553-9466>



**Anahtar kelimeler:** Veri madenciliği, makine öğrenme, alt örnekleme, çokyüzlü konik fonksiyonlar.

## 1. Introduction

Machine learning techniques used in data mining aims to find natural patterns in data that generate insight and help you make better decisions and predictions. They are used in variously real-world problems as in healthcare, agriculture, finance, retail, education, and more. In real-world data mining classification scenarios, imbalanced datasets are common, characterized by varying distributions of examples across different classes [1]. Researchers have increasingly focused on learning from such imbalanced data in recent years, with many attempting to address binary-class imbalanced problems [2]. A problem with a binary dataset is called imbalanced problem when the majority class (negative class) is significantly larger than the minority class (positive class). The straightforward method to solve the imbalanced machine learning problem is the resampling method by adding records to the minority class or deleting ones from the majority class [3]. In this paper, we have experimented a common approach, deleting the majority ones, called as undersampling.

The undersampling method typically employs random or clustering techniques to decrease the size of the majority class within the dataset, as certain data points within the majority class may not contribute significantly to the classification model [4].

The most commonly used undersampling method is Random Undersampling method that equalizes class distribution by randomly removing majority class instances. However, a significant drawback is the potential discarding of valuable samples from the majority class [5]. This approach has been integrated with various ensemble methods. UnderBagging, introduced by the authors in [6], combines a Random Undersampling technique with a bagging-based ensemble. In a similar vein, Seiffert et al. [7] introduced Rusboost, which integrates the Random Undersampling technique with boosting. Here, boosting adjusts the distribution of weights used to train the classifier towards the minority class and eliminates instances from the majority class. When recent years are investigated, in [8], a novel boosting-based algorithm named Oubost is proposed for learning from imbalanced datasets. It combines the Peak under-sampling algorithm with the over-sampling technique (SMOTE) within the boosting procedure. As a result, they created temporary new datasets with lower imbalance levels than the original dataset. A novel Schur decomposition class-overlap undersampling method (SDCU) is proposed in [9] to find the global similarity of datasets. They showed that the performance of SDCU has obvious advantages compared with other state-of-the-art methods on three different types of classifiers: SVM, CART, and 3NN.

As can be seen from the literature the researches on undersampling methods are based on decreasing the size of the majority class by deleting the most redundant ones. In this approach, it is important to note that the majority elements to be discarded should not be overlooked as valuable and significant. In this paper a novel undersampling algorithm via classification is proposed. The main aim in the algorithm is to find the redundant majority class elements that will be deleted. Firstly, previously defined classification via polyhedral conic functions algorithm is performed to separate the imbalanced binary classes. Then, the the separator function that separates the minority class from the

majority class is used to detect the majority class points that wrongly classified. These points can be thought as redundant data. After making some mathematical operations on them, the chosen ones are deleted from the original dataset for undersampling. To show the effectiveness of the proposed method, both imbalanced and balanced datasets are implemented on state of art classification algorithms.

The remainder of this paper is organized as follows: In section 2, previously defined polyhedral conic functions (pcfs) algorithm which is the basis of the suggested undersampling method is given. In section 3, the pseudocode of the suggested undersampling method is proposed and explained in detail. In section 4, the experimental results are presented and the results are discussed. And finally in section 5 the paper is finalized and future studies are suggested.

## 2. Polyhedral conic functions (PCFs)

Polyhedral conic functions (PCFs), initially proposed by Gasimov and Öztürk in 2006, were designed to separate two distinct datasets in  $R^n$ . Their definition is provided as follows in [10]:

**Definition 1:** A function  $g: R^n \rightarrow R$  is called polyhedral conic if its graph is a cone and all its sublevel sets  $S_\alpha = \{x \in R^n: g(x) \leq \alpha\}$ , for  $\alpha \in R$ , are polyhedrons.

Here, polyhedral conic function (pcf)  $g_{(w,\xi,\gamma,a)}: R^n \rightarrow R$  is described as:

$$g_{(w,\xi,\gamma,a)}: R^n \rightarrow R = w'(x-a) + \xi \|x-a\|_1 - \gamma \tag{1}$$

where  $x$  is an  $n$ -dimensional vector, and

$$x, w, a \in IR^n, \xi, \gamma \in IR, w'x = w_1x_1 + \dots + w_nx_n, \|x\|_1 = |x_1| + \dots + |x_n| .$$

### 2.1. PCFs method

Gasimov and Öztürk applied polyhedral conic functions within a linear programming context to distinguish between two separate sets, introducing the initial PCFs algorithm in [10], then to decrease running time and to prevent over-fitting, this algorithm is improved in [11-13]. These algorithms are used in various classification researches [14-17]. In this study, we used the one that allows misclassifications since our expectation from this algorithm is to detect the wrongly classified majority class elements. The used algorithm's pseudocode is given as follows [12]:

Consider two sets A and B, each comprising  $c$  and  $t$ ,  $n$ -dimensional vectors, respectively:

$$A = \{a^i \in R^n, i \in I\}, B = \{b^j \in R^n, j \in J\} \text{ where } I = \{1, \dots, c\}, J = \{1, \dots, t\} .$$

#### **Algorithm 1: Binary classification via PCFs**

**Step 0.** Perform a clustering algorithm on the set A. Let “s” denote the number of clusters, and set  $k=1$ .  $I_k=I$ .

**Step 1.** Let  $a_k$  denote the center of the  $k$ -th cluster. Solve the subproblem as follows:

$$(P_k) \quad \min \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i + C \frac{1}{p} \sum_{j=1}^p z_j \quad (2)$$

$$w(a^i - a_k) + \xi \|a^i - a_k\|_1 - \gamma + 1 \leq y_i, \quad i \in I_k \quad (3)$$

$$-w(b^j - a_k) - \xi \|b^j - a_k\|_1 + \gamma - 1 \leq z_j, \quad j \in J \quad (4)$$

$$y_i, z_j \geq 0, \quad C \geq 1, \quad w \in R^n, \quad \xi \in R, \quad \gamma \geq 1 .$$

Let  $w_k, \xi_k, \gamma_k, y_k$  be a solution of  $(P_k)$ . Let  $g_k(x) = g_{(w_k, \xi_k, \gamma_k, a_k)}(x)$ .

Step 2. If  $k < s$ , let  $k=k+1$ ,  $I_k = \{i \in I_{k-1} : g_{k-1}(a^i) > 0\}$  and go to *Step 1*.

Step 3. Define the function  $g(x)$  (separating the sets A and B) as  $g(x) = \min_k g_k(x)$  and **STOP**.

While combining this algorithm with the above proposed method, we call the A set as the majority class (number of data is larger than the other class elements' number), and the other set as B set. Here the defined number of clusters and the C penalty parameter used in the objective function is so important since they have a significant impact on the accuracy rate. In numerical experiments cluster number is defined as “2” and C penalty parameter is defined as “10”. If the number of majority class elements is much larger than the minority class elements, since in this case it allows more mislabeling of the majority class elements, C penalty parameter can be decreased

### 3. A novel undersampling method for imbalanced binary data

A novel undersampling method for imbalanced binary data is suggested in this section. In real-world, most of binary datasets are imbalanced that the number of elements in one is greater than the other. Balancing a dataset helps to create more reliable and fair models by ensuring that all classes are adequately represented during the model training process. It helps to get better accuracy results and also decreases the running times of the implementations. As mentioned in the Introduction section, undersampling is one of the techniques to balance the dataset, it uses deleting the redundant majority ones approach. Based on this approach the suggested algorithm is presented below in a detailed pseudocode (Algorithm2).

#### Algorithm 2: Undersampling of an imbalanced binary dataset via PCFs algorithm

Step 0: Consider two sets A and B, each comprising  $c$  and  $t$ , where  $c > t$ ,  $n$ -dimensional vectors, respectively:

, where  $I = \{1, \dots, c\}, J = \{1, \dots, t\}$  .

Define the minority and majority classes of the imbalanced dataset as follows:

Majority class:  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_c\}$  and Minority class:  $B = \{b_1, b_2, \dots, b_t\}$ .

Set the number of elements to be deleted as “ $nd$ ” =  $c-t$ .

Step 1. Apply **Algorithm 1** (Binary classification via PCFs) that allows mislabelling and separate minority from majority class. Define the separating function as  $g()$  function.

Step 2. Detect the mislabeled “a” majority points ( $g(a_i) \leq 0$ ).

Let  $Mislabeled = \{a_i, g(a_i) \leq 0\}$  and set “ $k$ ”, as the number of elements in Mislabeled set.

Step 3. If  $k < nd$ ,

Delete all the elements in Mislabeled from A set. Then call the new one as NewMajority.

$NewMajority = \{c_i, i = 1, \dots, c-k\}$ .

Let  $nd = nd - k$  and  $C1 = \{g(c_i), c_i \in NewMajority\}$ .

Order C1 set from max to min.

Delete first ‘ $nd$ ’ number of elements’ subjected  $c_i$  values in C1 from NewMajority.

Step 4. If  $k = nd$ ,

Delete all elements in Mislabeled from A set. Then call it as NewMajority.

Step 5. If  $k > nd$ ,

$C2 = \{g(a_i), a_i \in Mislabeled\}$ .

Order C2 set from min to max.

Delete first ‘ $nd$ ’ elements’ subjected  $a_i$  values in C2 from A set. And call it as NewMajority.

Step 6. Define the balanced set (BS) by combining NewMajority and Minority (B) sets as

$BS = NewMajority \cup Minority$ ,

and **STOP**.

In below algorithm’s initialization (*Step 0*), the dataset is parted as minority and majority classes and the number of elements to be deleted ( $nd$ ) are defined.

In Step 1, the PCFs algorithm was applied to define the crucial part of the algorithm, which is the separator function ( $g()$ ). Prior to this application, the main parameters of the algorithm1 (number of clusters and penalty parameter ( $C$ )) is determined.

In Step 2, a set called “Mislabeled” was defined for misclassified majority elements using the identified separator function. Then the number of the elements in this set is called as “ $k$ ”.

In Step 3 to 5, according to the difference between the number of elements in Mislabeled “ $k$ ” and number of elements to be deleted “ $nd$ ”, three different operations are performed.

If “ $k$ ” is less than “ $nd$ ”, it means that just deleting the mislabeled ones is not enough to get a balanced set so we need to find “ $nd-k$ ” number of elements that will be added to the delenda list. For this aim in Step 3 firstly NewMajority set is defined by deleting the mislabeled ones from Majority class (A)..Then first “ $nd-k$ ” elements that get the maximum value in the function  $g()$  is deleted from NewMajority. For the purpose of this operation on the algorithm, each value taken by the elements of NewMajority in the  $g()$

function was calculated, and a set C1 was defined by sorting these values in descending order. The first " $nd-k$ " indexed  $c_i$  elements of C1 subjected to the  $g()$  function are determined, and removed from the NewMajority set.

In Step 4, if " $k$ " is equal to the " $nd$ " then the whole Mislabeled set elements are deleted from Majority class (A) and new set is defined as NewMajority.

In Step 5, if " $k$ " is less than " $nd$ " then each value taken by the elements of Mislabeled in the  $g()$  function is calculated, and a set C2 is defined by sorting these values in ascending order. The " $a_i$ " elements subjected to the  $g()$  function for the first " $nd$ " elements are removed from the Majority set and the newly formed set is defined as NewMajority.

And finally in Step 6, the balanced dataset is defined as the combination of the NewMajority set and Minority set (B).

#### 4. Experimental results

In the experimental results section, we applied the proposed method to imbalanced datasets. To assess the effectiveness of the approach in classification applications, both imbalanced and balanced datasets are implemented on state-of-art classification methods.

To define the effectiveness; accuracy, cross validation and running time performance metrics are used. Accuracy is a measure of the proximity of each result ( $x_i$ ) obtained from the analytical method to the correct value ( $x_t$ ) and the correct accepted value. Accuracy is expressed in terms of absolute error ( $E$ ) or relative error ( $E_r$ ) [18]:

$$E = x_i - x_t$$

$$E_r = \frac{x_i - x_t}{x_t} \times 100$$

$k$ -fold cross-validation is one of the most commonly used methods in the literature. The basic idea of this method is to split the elements into  $k$  groups randomly [19,20]. In the experiments, " $k$ " parameter of  $k$ -fold cross-validation is defined as 10. The dataset B is randomly divided into 10 heterogeneous equal sized subsets (folds). The algorithm undergoes training and testing 10 times.

Also we consider the real running time consumption, where the computer is Casper Nirvana Intel(R) Core(TM) i5-8250U and the used software programs are Matrix Laboratory (MATLAB) and Waikato Environment for Knowledge Analysis (WEKA) for imbalancing the dataset and classification operations respectively.

The datasets were sourced from the UC Irvine (UCI) Machine Learning Repository [21]. Below in Table 1, the features (imbalance level, number of instances, number of attributes, number of minority elements and number of majority elements) of the used imbalanced datasets are presented.

Table 1. Imbalanced dataset details.

	Hearth	Iris	Pima	Vehicle	Haberman	Ecoli 0-1	Breast Cancer
Imbalance Level	1.25	2	1.86	3.25	2.77	1.85	1.68
Number of instances	270	150	768	846	225	220	539
Number of attributes	13	4	8	18	3	7	30
Number of majority class elements	150	100	500	647	144	143	357
Number of minority class elements	120	50	268	199	81	77	212

These datasets are implemented on Naive Bayes, Classification via Regression (ClsfViaReg.), Logistics, and J48 (a decision tree algorithm) state-of art classification algorithms. The cross-validation, accuracy and running time performances of these algorithms on both imbalanced and balanced datasets are presented in Table 2 and 3 respectively.

Table 2. Cross validation(%), accuracy(%) and running time(sec.) results of the classification algorithms on imbalanced datasets.

Algorithms	Performance Metrics	Ecoli 01	BreastCancer	Hearth	Iris	Pima	Vehicle	Haberman
Naive Bayes	Accuracy	97.72	93.84	85.18	100	76.30	65.72	75.81
	CrossVld.	97.27	92.97	83.70	100	76.30	66.07	74.50
	RunningTime	0.01	0	0.01	0	0.01	0.02	0
ClsfViaReg	Accuracy	99.09	98.41	85.15	100	77.34	99.05	74.50
	CrossVld.	98.63	94.02	80	100	76.69	95.5	71.24
	RunningTime	0.1	0.11	0.27	0.09	0.33	0.26	0.17
Logistics	Accuracy	98.64	100	85.55	100	78.25	97.99	74.83
	CrossVld.	98.18	93.84	83.70	100	77.25	97.16	74.83
	RunningTime	0.1	0.11	0.27	0.02	0.05	0.08	0.01
J48	Accuracy	98.63	99.12	91.48	100	84.11	98.69	77.12
	CrossVld.	99.09	93.32	76.66	100	73.82	93.26	71.56
	RunningTime	0.01	0.07	0.04	0.01	0.05	0.08	0.02

Table 3. Cross validation(%), accuracy(%) and running time(sec.) results of the classification algorithms on balanced datasets via Algorithm 2.

Algorithms	Performance Metrics	Ecoli 01	BreastCancer	Hearth	Iris	Pima	Vehicle	Haberman
Naive Bayes	Accuracy	96.75	<b>98.58</b>	<b>87.5</b>	<b>100</b>	74.62	<b>98.74</b>	72.22
	CrossVld.	95.45	<b>98.11</b>	<b>85</b>	<b>100</b>	71.26	<b>98.74</b>	70.37
	RunningTime	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0.01</b>	<b>0</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>0</b>
ClsfViaReg	Accuracy	98.70	<b>99.29</b>	<b>86.66</b>	<b>100</b>	73.88	<b>99.74</b>	<b>86.41</b>
	CrossVld.	98.05	<b>98.31</b>	<b>82.5</b>	<b>100</b>	72.76	<b>98.99</b>	<b>79.01</b>
	RunningTime	<b>0.1</b>	<b>0.07</b>	<b>0.16</b>	<b>0.08</b>	<b>0.32</b>	<b>0.11</b>	<b>0.04</b>
Logistics	Accuracy	98.05	<b>100</b>	<b>88.33</b>	<b>100</b>	73.88	<b>100</b>	75.30

	CrossVld.	98.05	<b>95.99</b>	<b>85.41</b>	<b>100</b>	73.50	<b>99.49</b>	74.69
	RunningTime	<b>0.02</b>	<b>0.01</b>	<b>0.03</b>	<b>0.01</b>	<b>0.05</b>	<b>0.06</b>	<b>0</b>
J48	Accuracy	98.70	<b>99.82</b>	<b>93.75</b>	<b>100</b>	83.58	<b>99.74</b>	<b>86.41</b>
	CrossVld.	98.05	<b>94.32</b>	<b>77.08</b>	<b>100</b>	71.26	<b>99.24</b>	<b>82.71</b>
	RunningTime	<b>0.01</b>	<b>0.06</b>	<b>0.03</b>	<b>0.01</b>	<b>0.04</b>	<b>0.02</b>	<b>0.01</b>

The main objective of the suggested undersampling method is to balance imbalanced datasets by removing required number of unnecessary major elements. To demonstrate that the removed elements are indeed useless, classification algorithms are applied to each balanced and imbalanced datasets, and the performance results of these algorithms are compared. In Table 3, the better or equal results are given in bold. The results indicate that balanced datasets via the suggested undersampling method (Algorithm 2) get better accuracy and cross validation performance results in most of the cases. And also it is seen that in the other cases the differences are negligibly small. When examining the computational efficiency on the running time it is seen that due to the decreasing of the instances on the dataset, all balanced dataset implementations need less running time than the imbalanced dataset implementations. Based on these results, it can be concluded that the proposed algorithm is beneficial and useful for addressing imbalanced datasets in the context of machine learning algorithms.

## 5. Conclusion

In conclusion, this study introduces a novel undersampling method for addressing imbalanced datasets in machine learning applications. By leveraging a classification approach based on polyhedral conic functions, the proposed method effectively balances labeled binary datasets. Through extensive experimentation on both imbalanced and balanced datasets across various classification algorithms, it is evident that the suggested undersampling technique yields promising results. The balanced datasets do not only achieved an improved performance in terms of accuracy but also demonstrate enhanced computational efficiency. These findings underscore the utility and efficacy of the proposed algorithm in mitigating the challenges posed by imbalanced datasets in machine learning tasks. Moving forward, further exploration and validation of this method in diverse real-world applications could provide valuable insights into its broader applicability and effectiveness. Also for future studies, this method can be developed for multi-class datasets instead of binary.

## References

- [1] Ayoub, S., Gulzar, Y., Rustamov, J., Jabbari, A., Reegu, F.A. and Turaev, S., Adversarial Approaches to Tackle Imbalanced Data in Machine Learning, **Sustainability**, 15, 7097, (2023).
- [2] Raghuvanshi, B.S. and Shukla, S., Class-Specific Extreme Learning Machine for Handling Binary Class Imbalance Problem, **Neural Networks**, 105, 206–217, (2018).
- [3] Mohammed R., Rawashdeh J. and Abdullah M., Machine learning with oversampling and undersampling techniques: Overview study and experimental results, **2020 11th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS)**, 243-248, Irbid, Jordan, (2020).

- [4] Hoyos-Osorio J., Alvarez-Meza A., G. Daza-Santacoloma, Orozco-Gutierrez A. and Castellanos-Dominguez G., Relevant information undersampling to support imbalanced data classification, **Neurocomputing**, 436, 136-146, (2021).
- [5] Sun Z., Song Q., Zhu X., Sun H., Xu B. and Zhou Y., A novel ensemble method for classifying imbalanced data, **Pattern Recognition**, 48, 5, 1623-1637, (2015).
- [6] Barandela R., Valdovinos R.M. and Sánchez J.S., New applications of ensembles of classifiers, **Pattern Analysis & Applications**, 6, 3, 245-256, (2003).
- [7] Seiffert C., Khoshgoftaar T.M., Van Hulse J. and Napolitano A., Rusboost: a hybrid approach to alleviating class imbalance, **IEEE Transactions on Systems, Man Cybernetics-Part A: Systems and Humans**, 40, 1, 185-197, (2010).
- [8] Mostafaei, S.H. and Tanha, J., OUBoost: boosting based over and under sampling technique for handling imbalanced data. **International Journal of Machine Learning and Cybernetics**, 14, 3393–3411 (2023).
- [9] Dai Q., Liu J. and Shi Y., Class-overlap undersampling based on Schur decomposition for Class-imbalance problems, **Expert Systems with Applications: An International Journal**, 221, C, 119735, (2023).
- [10] Gasimov R.N., and Öztürk G., Separation via polyhedral conic functions. **Optimization Methods and Software**, 21, 4, 527-540, (2006).
- [11] Uylas N., Methods based on mathematical optimization for data classification. PhD, Ege University, İzmir, Turkey, (2013).
- [12] Uylas Sati N., A binary classification algorithm based on polyhedral conic functions, **Düzce University Journal of Science and Technology**, 3, 152-161, (2015).
- [13] Öztürk G., and Çitfçi M., Clustering based polyhedral conic functions algorithm in classification, **Journal of Industrial and Management Optimization**, 11, 3, 921-932, (2015).
- [14] Uylas Sati N. and Ordin B., Application of the polyhedral conic functions method in the text classification and comparative analysis, **Scientific Programming**, vol. 2018, Article ID 5349284, 11 pages, (2018).
- [15] Acar M. and Kasimbeyli R., A polyhedral conic functions based classification method for noisy data, **Journal of Industrial and Management Optimization**, 17, 6, 3493-3508, (2021).
- [16] Çevikalp H. and Sağlamlar H., Polyhedral conic classifiers for computer vision applications and open set recognition, **IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence**, 43, 2, 608-622, (2021).
- [17] Çevikalp H., Uzun B., Köpüklü O. and Ozturk G., Deep compact polyhedral conic classifier for open and closed set recognition, **Pattern Recognition**, 119, 108080, ISSN 0031-3203, (2021).
- [18] Skoog D.A., West D.M., Holler F.J. and Crouch S.R., **Fundamentals of Analytical Chemistry**, Nelson Education, (2013).
- [19] Szeghalmy, S. and Fazekas, A., A Comparative study of the use of stratified cross-validation and distribution-balanced stratified cross-validation in imbalanced learning, **Sensors**, 23, 4, 2333, (2023).
- [20] Quinonero-Candela, J., Sugiyama, M., Schwaighofer, A. and Lawrence, N.D., **Dataset shift in machine learning**, MIT Press: Cambridge, MA, USA, (2022).
- [21] Dua D, and Graff C., UCI Machine Learning Repository 2019. <https://archive.ics.uci.edu/>, (12.02.2024).



# Fizik tutum ölçeğinin Türkçe'ye uyarlanması

Nilay KORKMAZ<sup>1,\*</sup>, Vahide Nilay KIRTAK AD<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi Susurluk Tarım ve Orman MYO. Gıda İşl. Böl., Susurluk, Balıkesir.

<sup>2</sup>Balıkesir Üniversitesi Necatibey Eğitim Fak. Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Böl., Balıkesir.

Geliş Tarihi (Received Date): 24.01.2024

Kabul Tarihi (Accepted Date): 10.06.2024

## Öz

Bu araştırmanın amacı, Kaur ve Zhao (2017) tarafından geliştirilen Fizik Tutum Ölçeği'ni (Physics Attitude Scale) Türkçe'ye uyarlamak ve ölçeğin psikometrik özelliklerini incelemektir. Araştırmaya ortaöğretim düzeyindeki 5 farklı okulda okumakta olan ve Fizik dersini alan 332 lise öğrencisi katılmıştır. Ölçeğin dil eşdeğerliliğe sahip olduğu görüldükten sonra SPSS 26 ve LISREL 8.80 programları kullanılarak geçerlik ve güvenilirlik analizleri yapılmıştır. Güvenilirlik analizi sonucunda ölçeğin Cronbach Alpha katsayısının 0.84 olduğu belirlenmiştir. Yapılan doğrulayıcı faktör analizi sonuçları, ölçeğin Türkçe formunun orijinal beş faktörlü yapıyı doğruladığını göstermiştir; ayrıca, uyum iyiliği indekslerinden üçünün kabul edilebilir, üçünün ise mükemmel uyum gösterdiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, uyarlanan ölçeğin lise öğrencilerinin fiziğe yönelik tutumlarını değerlendirmek için kullanılabilecek geçerli ve güvenilir bir ölçme aracı olduğunu göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Fizik, geçerlik, güvenilirlik, tutum, ölçek uyarlama.

## Adaptation of the physics attitude scale into Turkish

### Abstract

The aim of this study is to investigate the psychometric qualities of the Physics Attitude Scale, which was created by Kaur and Zhao (2017), and to translate it into Turkish. The investigation included 332 high school students from five different secondary schools who were studying physics. Following the discovery that the scale exhibited language equivalency, analyses of validity and reliability were carried out utilizing SPSS 26 and LISREL 8.80 software. The scale's Cronbach Alpha coefficient was found to be 0.84 as a result of the reliability investigation. The Turkish version of the scale validated the original five-factor structure, according to the results of the confirmatory factor analysis.

\*Nilay KORKMAZ, nkorkmaz@bandirma.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-6436-6699>

Vahide Nilay KIRTAK AD, nilaykirtak@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-9904-1261>

*Three of the goodness of fit indices were found to be acceptable, and three to be excellent. These findings demonstrate the validity and reliability of the modified scale as a tool for assessing high school students' attitudes about physics.*

**Keywords:** *Physics, validity, reliability, attitude, scale adaptation.*

## 1. Giriş

Gelecek nesilleri araştırmacı, bilgi üretebilen ve ülkenin kalkınmasına katkı sağlayabilecek bireyler olarak yetiştirmek için eğitim önemli bir rol oynamaktadır [1]. Bu hedefe ulaşmada kritik bir rol oynayan disiplinlerden biri de fen bilimleri alanlarıdır. Fen bilimleri dersi, öğrencilere karşılaştıkları problemleri çözebilme yeteneği kazandırarak, sorumluluk alabilen ve mantıklı düşünebilen bireylerin yetişmesine olanak tanırken aynı zamanda, topluma fayda sağlayan ve kalkınmaya katkıda bulunan öğrencilerin gelişimine etki etmektedir [2, 3]. Fizik eğitimi ise, fen bilimleri alanındaki en önemli disiplinlerden biri olup, evrenin temel yasalarını anlamamıza ve teknolojik gelişmelere katkı sağlamamıza yardımcı olan önemli bir bilim dalıdır [4-6]. Fizik eğitiminin önemi, öğrencilere sadece bilgi kazandırmakla kalmayıp, aynı zamanda öğrencilerin analitik düşünme yeteneklerini geliştirmesi olarak belirtilebilmektedir. Bu yetenek, öğrencilerin problem çözme becerilerini artırır ve kendi bilgi tabanlarını oluşturarak öğrenmelerine olanak tanır. Ayrıca, fizik eğitimi, öğrencilere bilimsel yöntemi öğrenme ve uygulama fırsatı sağlayarak bilimdeki temel prensipleri anlamalarına yardımcı olur [7, 8].

Temel bir bilim olarak Fizik, doğal dünyayı daha iyi anlama amacını taşıyan kritik bir araç olarak hizmet verir. Yüzyıllar boyunca fizikteki gelişmeler, sadece bilim ve teknolojiyi etkilemekle kalmayıp aynı zamanda günlük yaşantımızı da derinden etkilemiştir. Eğitim bilimleri de bu gelişmelerden önemli ölçüde etkilenmiştir. Ancak, araştırmalar, fizik başarısının diğer disiplinlere göre geride kaldığını göstermektedir, bu da etkili öğretim yöntemlerine odaklanmayı gerektirmiştir [9-14]. Öğrenme çıktılarının büyük bir kısmı bilişsel özelliklerle ilişkilendirilebilir. Bu durum, araştırmacıların özellikle derse yönelik tutum gibi duygusal özelliklere odaklanmalarına yol açmıştır. Tutum, temel bir duygusal bileşen olarak öğrenmede önemli bir rol oynamaktadır. Yapılan çalışmalar, öğrencilerin derse yönelik tutumlarının öğrenmede etkisi olduğunu göstermektedir [15-18]. Baron ve Byrne'ye [19] göre tutum, bireyin eğitim, meslek ve hayat tarzı gibi önemli konularda aldığı kararları etkileyen duyguları, önyargıları ve inançlarını içermektedir. Aynı zamanda, öğrenme sonuçlarını etkileyen en önemli duygusal faktör olarak kabul edilmektedir [20]. Tutum, bilişsel, duygusal ve davranışsal alanların etkileşimidir ve öğrencilerin davranışlarını ve seçimlerini etkiler. Öğrenciler için zorlu bir konu olan fizik, öğrenme ortamı ve buna karşı tutumun da dikkatli bir şekilde değerlendirilmesini gerektirir.

Alanyazın incelendiğinde, gerek fizik gerekse farklı alanlarda birçok ölçek geliştirme ya da uyarılma çalışması ile karşılaşmak mümkündür [21-28]. Fen bilimlerinin alt dallarından biri olan fizik dersi, öğrenciler tarafından sıklıkla monoton, zor ve soyut bir ders olarak nitelendirildiğinden, bu algının nedenleri ve fiziğe yönelik tutumun araştırılması önem arz etmektedir [29].

Fizik Tutum Ölçeği, öğrencilerin fizikle ilgili tutumlarını değerlendiren bir araçtır. Bu ölçek, öğrencilerin fizikle ilgili olumlu veya olumsuz duygularını, inançlarını ve tutumlarını ölçerek, eğitimcilerin öğrenci tutumlarına odaklanmalarına yardımcı olur. Türkçe'ye uyarlanması, Türk eğitim sistemi içerisinde fizik eğitiminin daha etkili bir şekilde planlanmasına ve uygulanmasına olanak tanır. Aynı zamanda, öğrencilerin fizikle ilgili tutumları üzerindeki etkileri anlamak, öğretim stratejilerini daha iyi uyarlamaya ve öğrenci motivasyonunu artırmaya yardımcı olacaktır.

Fizik tutumunu ölçmek, öğrencilerin eğitim sürecindeki duygusal durumlarını anlamak ve öğrenme sonuçlarını geliştirmek için kritik bir öneme sahiptir. Bu ölçümler, eğitimcilerin öğrencilere daha etkili bir şekilde ulaşmalarına, öğrenme stratejilerini uyarlamalarına ve öğrencilere fizikle ilgili olumlu bir bakış açısı kazandırmalarına yardımcı olabilir. Bu nedenle, fizik tutumunu değerlendirmek, eğitim sürecini iyileştirmek ve öğrenci başarısını artırmak için gerekli bir adımdır. Bu sebeplerle araştırmanın amacı, Fizik Tutum Ölçeği'ni (Physics Attitude Scale) Türkçe'ye uyarlamak, ölçeğin geçerliğini ve güvenilirliğini test etmektir. Araştırmada, "Fizik Tutum Ölçeği ortaöğretim öğrencilerinin tutumunu ölçmek için Türk kültürüne uygun mudur?" sorusuna yanıt aranmaktadır.

## 2. Yöntem

Bu araştırmada; ortaöğretim öğrencilerinin fiziğe yönelik tutumlarını ölçmek amacıyla Kaur ve Zhao [30] tarafından geliştirilen, "Physics Attitude Scale" (2017) ölçeğinin Türkçe'ye uyarlama çalışmaları doğrultusunda ölçeğin geçerlilik ve güvenilirliği incelenmiştir.

### 2.1. Çalışma grubu

Araştırmanın verileri, 2023-2024 eğitim öğretim yılında Türkiye'nin batısında yer alan bir ilin 5 farklı devlet okulunda öğrenimlerine devam eden 332 ortaöğretim öğrencisinden toplanmıştır. Faktör analizi çalışmalarında, literatürde önerildiği gibi, madde sayısının 5 katı büyüklüğünde bir örneklem elde etmek önemlidir [31]. Ayrıca Comrey ve Lee [32], örneklem büyüklüğünü belirli sınıflara ayırmış ve örneğin kalitesini değerlendirmiştir. Araştırmacıların sınıflandırmasına göre örneklem sayısı için; 50-çok az, 100-az, 200-uygun, 300-iyi, 500-çok iyi ve 1000-mükemmel olarak belirtilmiştir. Bu bağlamda, araştırmamızdaki 332 kişilik örneklem büyüklüğü, ölçekte bulunan madde sayısının 5 katından fazla olup, Comrey ve Lee'nin [32] "iyi" olarak sınıflandırdığı 300'ün üzerindedir. Bu nedenle, araştırma örnekleminin analiz için yeterli olduğu ve örneklem sayısının "iyi" ile "çok iyi" arasında olduğu söylenebilir. Hem Bryman ve Cramer'in [31] önerisi hem de Comrey ve Lee'nin [32] sınıflandırması göz önüne alındığında, örneklem sayısının uygun olduğu sonucuna varabiliriz. Ayrıca, ölçeğin daha geniş bir grubu temsil etmesini sağlamak için, çalışma grubunu belirlerken katılımcı çeşitliliğine özen gösterilmiştir. Bunun için farklı demografik özelliklere sahip beş okulda fizik dersini alan öğrenciler örnekleme dahil etmiştir. Bu yaklaşım, ölçeğin daha çeşitli bir öğrenci kitlesini temsil etmesini sağlamıştır. Bu çeşitlilik, elde edilen bulguların genellenebilirliğini artırarak araştırmanın sonuçlarının daha geniş bir kitleye uygulanabilirliğini güçlendirmektedir.

## 2.2. Veri toplama aracı

Fizik Tutum Ölçeği (Physics Attitude Scale), Kaur ve Zhao [30] tarafından *fiziğe karşı coşku (10 madde)*, *fizik öğrenme (14 madde)*, *bir süreç olarak fizik (11 madde)*, *fizik öğretmeni (14 madde)* ve *gelecekteki bir meslek olarak fizik (11 madde)* olmak üzere 5 alt boyuttan ve toplam 60 maddeden oluşan bir tutum ölçeği olarak geliştirilmiştir. Fiziğe karşı coşku alt boyutu, öğrencilerin fizikle ilgili duygusal tepkilerini ölçmektedir. Fiziğe karşı coşku duyguları, fizikle ilgili olumlu duyguları, merakı ve heyecanı içermektedir. Bu boyut, öğrencilerin fizikle ilgili konuları merak etme, keşfetme ve bu konularla ilgili olarak pozitif bir tutum geliştirme eğilimlerini de yansıtmaktadır. Fizik öğrenme alt boyutu, öğrencilerin fizik öğrenme süreciyle ilgili tutumlarını değerlendirmektedir. Öğrencilerin fizik öğrenme faaliyetlerine yönelik tutumları, fizik derslerine olan ilgi düzeyleri, fizik derslerindeki başarı beklentileri ve öğrenme motivasyonları bu boyutta değerlendirilmektedir. Bir süreç olarak fizik alt boyutu, fizik bilimini bir süreç olarak algılama düzeyini ölçmektedir. Fizik biliminin nasıl çalıştığını, bilimsel yöntemi ve araştırma sürecini anlama düzeyini içermektedir. Ayrıca, öğrencilerin fiziksel olayları açıklama ve tahmin etme becerilerine olan güven düzeyini de değerlendirmektedir. Fizik öğretmeni alt boyutu, öğrencilerin fizik öğretmenlerine yönelik tutumlarını ölçmektedir. Öğrencilerin öğretmenlerinden fizikle ilgili konularda ne kadar destek aldıklarını, öğretmenlerinin öğretim yöntemlerine yönelik görüşlerini, öğretmenlerinin derslerde ne kadar etkili olduklarını ve öğretmenlerinin fizikle ilgili motivasyonlarını içermektedir. Gelecekteki bir meslek olarak fizik alt boyutu ise öğrencilerin fizik alanında bir kariyer yapma niyetlerini ve fizikle ilgili mesleklere yönelik tutumlarını ölçmektedir. Fizik alanında bir meslek seçmeyi düşünme düzeyi, fizik mesleklerinin itibarı ve fizik mesleklerinin gelecekteki kariyer fırsatlarına yönelik algıları bu boyutta değerlendirilmektedir.

Ölçekte, öğrencilerin fiziğe yönelik tutumunu değerlendirmek için 5’li Likert tipi (5=tamamen katılıyorum, 4=katılıyorum, 3=kararsızım, 2=katılmıyorum, 1=tamamen katılmıyorum) derecelendirme kullanılmaktadır. Olumsuz ifadeler için puanlar ters kodlanmakta ve ölçekten alınabilecek en yüksek puan 300 en düşük puan ise 60 olarak belirtilmiştir. Araştırmacılar [30], ölçeğin orijinal yapısını ortaya çıkarmak amacıyla Açıklayıcı Faktör Analizi (AFA) yapmışlardır. Beş faktörden oluşan ölçeğin toplam ve alt faktörlerinin Cronbach Alfa değerleri Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1. Orijinal ölçeğin psikometrik özellikleri.

Faktörler	Cronbach alfa değeri	Madde numaraları
Faktör1: Fiziğe karşı coşku	0,86	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
Faktör2: Fizik öğrenme	0,78	11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24
Faktör3: Bir süreç olarak fizik	0,80	25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35
Faktör4: Fizik öğretmeni	0,75	36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49
Faktör5: Gelecekteki bir meslek olarak fizik	0,82	50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60
Toplam	0,89	

### 2.3. İşlem basamakları

Ölçeğin Türkçe'ye uyarlaması çalışmasında gerçekleştirilen işlem basamakları Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Uyarlama sürecinin işlem basamakları.

Fizik Tutum Ölçeği'nin Türkçe'ye uyarlama çalışmasında önce ölçeği geliştiren araştırmacılardan e-mail aracılığıyla gerekli izinler alınmış ve ölçeğin Türk öğrencilerden veri toplamaya uygun hale getirilebilmesi için Şekil 1'de görüldüğü gibi bir dizi işlem basamakları gerçekleştirilmiştir. Ölçeğin Türkçe'ye çeviri aşamasında çeviriden kaynaklanabilecek anlam kaymalarını ortadan kaldırmak amacıyla çeviri/geri çeviri yöntemi kullanılmıştır [33]. Ölçeğin İngilizce dilindeki orijinal hali, 3 İngilizce dil uzmanı tarafından Türkçe'ye çevrilmiş, çevrilen bu üç ölçek, yazarlar, bir İngilizce dil eğitimi uzmanı ve bir Türkçe dil eğitimi uzmanı anlaşması ile ortak tek bir ölçeğe dönüştürülmüş ve yabancı diller bölümünde akademik olarak görev yapmakta olan bir uzmana sunulmuş ve tekrar İngilizce'ye çevrilmiştir. Daha sonra İngilizce dili eğitimi ve fizik eğitimi alanında uzman olan yazar tarafından, geriye çevrilen ölçeğin orijinal formuyla karşılaştırılarak ölçeğin Türkçe yapısı oluşturulmuştur. Bu işlemler sonucunda ölçeğin Türkçe versiyonu ile orijinal versiyonu arasındaki uyumluluğu test etmek amacıyla test-tekrar test yöntemi ile dilsel eşdeğerlik analizi yapılmıştır [34]. Test-tekrar test yöntemi, Pearson momentler çarpım korelasyon katsayısına bakılarak ölçeğin belirli bir zaman aralığındaki kararlılığını ve güvenilirliğini tespit etmek için kullanılmaktadır [35]. Dilsel eşdeğerlik çalışması kapsamında, İngilizce Öğretmenliği Bölümü'nde öğrenim görmekte olan 44 öğrenciye, yaklaşık dört hafta arayla, önce ölçeğin İngilizce orijinal hali sonra da Türkçe'ye çevrilmiş hali uygulanmış ve öğrencilerin her iki uygulamadan aldıkları puanlar arasındaki tutarlılığı test etmek için Pearson momentler çarpım korelasyon katsayısına bakılmıştır. Tablo 2'de görüldüğü gibi İngilizce ve Türkçe ölçekler arasında yüksek düzeyde, pozitif ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmüştür ( $r_{(44)}=.822, p<.05$ ). Ölçeğin Türkçe versiyonu ile orijinal formu arasındaki güçlü ilişki nedeniyle çeviri süreci sonucunda dilsel eşdeğerliğe ulaşıldığı belirlenmiştir [36].

Tablo 2. Dilsel eşdeğerlik sonuçları.

		Orijinal ölçek	Türkçe ölçek
Orijinal ölçek	Pearson Correlation	1	,822*
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	44	44
Türkçe ölçek	Pearson Correlation	,822*	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	44	44

\*(p&lt;.01)

### 2.3. Veri analizi

Araştırmadan elde edilen veriler, SPSS 26 ve LISREL 8.8 paket programları kullanılarak analiz edilmiştir. İlk olarak veri setinin normal dağılım gösterip göstermediği incelenmiştir. Daha sonra Fizik Tutum Ölçeği'nin orijinalindeki beş boyutlu yapıyı doğrulamak amacıyla Doğrulayıcı Faktör Analizi (DFA) yapılmıştır. DFA ile; ölçeğin yapı geçerliliği incelenerek, araştırmanın amacına uygun olarak öğrencilerin fiziğe yönelik tutumlarını incelediği belirlenen beş boyutlu yapının Türk öğrenciler üzerinde doğrulanma durumu değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, faktörler ve uyum iyiliği indeksleri üzerinden elde edilen bulgular incelenmiştir. Ölçeğin güvenilirliğini değerlendirmek için ise Cronbach Alpha güvenilirlik katsayısı kullanılmıştır.

### 3. Bulgular

Fizik Tutum Ölçeği'nden elde edilen veri setinin normallik dağılımı incelenmiş, çarpıklık ve basıklık katsayılarına bakılmıştır. Bu doğrultuda örneklem sayısı 50'nin üstünde olduğu için Kolmogorov-Smirnov testi sonuçları dikkate alınmıştır [36-37]. Tablo 3'de gösterilen normallik analizi sonuçları incelendiğinde veri setinin normal dağılım gösterdiği bulunmuştur (p>.05). Tablo 4'te yer alan çarpıklık ve basıklık değerleri ise George ve Mallery 'e [38] göre mükemmel kabul edilen değerler ( $\pm 1.0$ ) arasında yer almaktadır. Ayrıca Şekil 2'de, veri setine ait normallik analizi sonucunda elde edilen Q-Q plot grafiği gösterilmektedir.

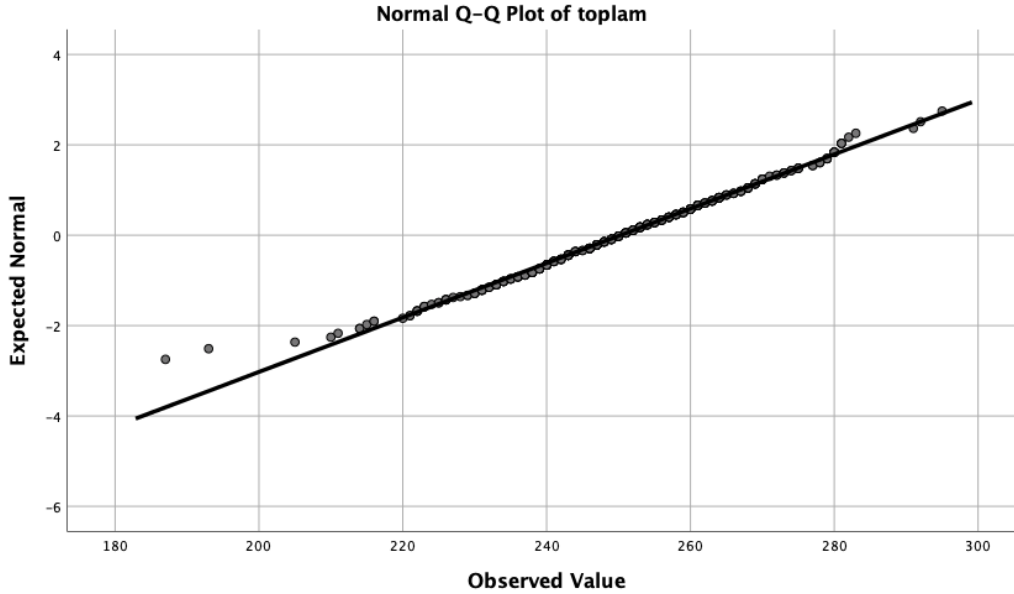
Tablo 3. Normallik analizi sonuçları.

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Toplam	.038	332	.200	.993	332	.102

<sup>a</sup>Lilliefors Significance Correction

Tablo 4. Veri setine ait çarpıklık ve basıklık değerleri.

	Statistic	Std. Error
Çarpıklık (Skewness)	-.266	.134
Basıklık (Kurtosis)	.527	.267



Şekil 2. Normal Q-Q plot grafiği.

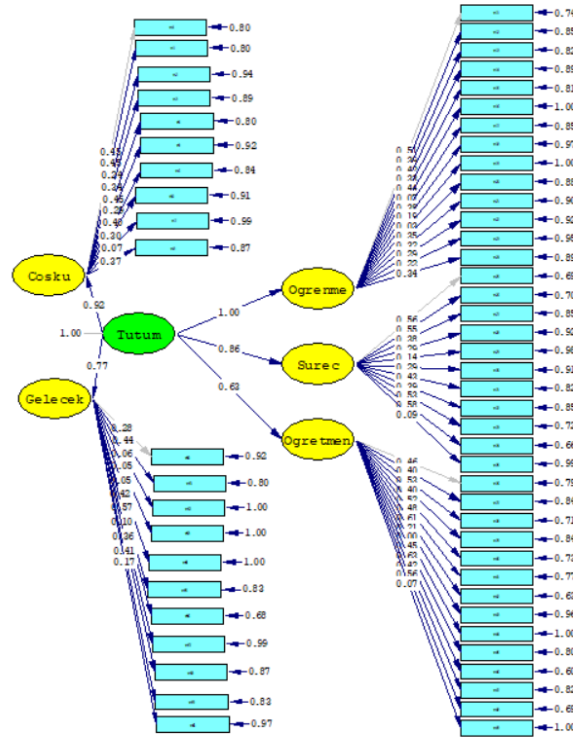
Doğrulayıcı Faktör Analizi (DFA), sosyal bilimler, psikoloji, eğitim ve diğer araştırma alanlarında kullanılan güçlü bir analiz yöntemidir. DFA, bir ölçüm aracının ya da yapısal bir modelin, önceden belirlenmiş bir teorik çerçeve veya varsayım üzerinde ne kadar iyi uyduğunu değerlendirmek için kullanılır [36, 39-41]. Ayrıca, bir ölçüm aracının geçerliliğini değerlendirmek için DFA kullanılır. Bu, aracın gerçekten ölçmek istediği şeyi ne kadar doğru ölçtüğünü anlamak için önemlidir [42]. Araştırmada, Kaur ve Zhao [30] tarafından geliştirilen ölçeğin orijinal yapısı temel alınarak, beş boyutlu yapının doğrulanması hedeflenmiştir. Analiz sonuçlarıyla belirlenen modelin veriyi ne kadar iyi açıkladığı, uyum indeksleri kullanılarak değerlendirilir. Bu indeksler, modelin kabul veya reddedilmesine yönelik karar verme sürecinde kritik öneme sahiptir [43]. Çoklu grup modellerinde uyum indekslerini test etmek için yaygın olarak kullanılan istatistikler arasında  $\chi^2/df$ , RMSEA, CFI, GFI ve SRMR değerleri bulunmaktadır [44]. Yapılan DFA sonucunda elde edilen uyum indeksi sonuçları Tablo 5'te gösterilmektedir.

Tablo 5. Fizik tutum ölçeği modelinin uyum indeksleri sonuçları.

Uyum indeksi	Modelinin sonucu	Modelin uyumu
$\chi^2$	2665.48	-
df	1705	-
$\chi^2/df$	1.56	Mükemmel uyum ( $0 \leq \chi^2/df \leq 2$ )
RMSEA	0.041	Mükemmel uyum ( $0 \leq RMSEA \leq 0.05$ )
CFI	0.86	Kabul edilebilir uyum ( $0.70 \leq CFI \leq 0.97$ )
GFI	0.80	Kabul edilebilir uyum ( $0.80 \leq GFI \leq 0.95$ )
RMR	0.050	Mükemmel uyum ( $RMR \leq 0.05$ )
SRMR	0.060	Kabul edilebilir uyum ( $0.06 \leq SRMR \leq 0.08$ )

Tablo 5 incelendiğinde, bu değerlerden  $\chi^2/df$  [43, 45], RMSEA [42, 46, 47] ve RMR [42, 48] değerlerinin mükemmel uyum, CFI [49] GFI [49] ve SRMR [50] değerlerinin kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar ile ölçeğin beş boyutlu yapısının doğrulandığı söylenebilmektedir.

DFA analizi sonucunda elde edilen path diyagramı Şekil 3'te verilmektedir. Bu diyagramda standardize edilmiş çözümlenme değerleri görülmektedir. Bu değerlerin hiç birinin birden büyük olmadığı görülmektedir. Ayrıca t değerleri incelendiğinde de sorunlu bir parametre değerinin olmadığı görülmüştür.



Chi-Square=2665.48, df=1705, P-value=0.00000, RMSEA=0.041

Şekil 3. Fizik tutum ölçeği için path diyagramı.



Doğrulayıcı faktör analizi tamamlandıktan sonra ölçeğin ve belirlenen faktörlerin güvenilirliklerini değerlendirmek önemlidir. Cronbach alpha katsayısı, bir ölçüm aracının iç tutarlılık ya da güvenilirliğini değerlendirmek için kullanılan istatistiksel bir ölçüdür [51]. Bu katsayı, bir testin veya ölçüm aracının içerdiği farklı maddelerin birbirleriyle ne kadar uyumlu olduğunu göstermektedir. Genel olarak, Cronbach alpha katsayısı 0 ile 1 arasında bir değer almaktadır. Genellikle .60 ile .80 arasındaki bir alpha değeri, ölçeğin oldukça güvenilir olduğunu göstermektedir [51]. Bu sonuç, ölçüm aracının genelde istikrarlı sonuçlar verdiği anlamına gelmektedir. Eğer Alpha değeri .80'in üzerindeyse, ölçeğin yüksek derecede güvenilir olduğu kabul edilmektedir [51]. Ancak bu değer alanında yapılan değerlendirmeler disiplin veya ölçüm bağlamına dayalı olarak değişebilmektedir. Yüksek bir Cronbach alpha katsayısı, ölçüm aracının güvenilir olduğunu ve maddelerin birbirleriyle uyumlu olduğunu göstermektedir [52]. Bu çalışmadaki Fizik Tutum Ölçeği'ne ait toplam ve alt boyutlarının iç tutarlılık katsayıları Tablo 6'da verilmiştir. Tablo 6 incelendiğinde; 60 maddelik ölçek ve alt faktörleri için elde edilen verilerin güvenilir olduğu söylenebilmektedir.

Tablo 6. Fizik tutum ölçeği modelinin iç tutarlılık sonuçları.

Alt faktörler	Madde sayısı	Cronbach alpha
Fiziğe karşı coşku	10	.65
Fizik öğrenme	14	.67
Bir süreç olarak fizik	11	.72
Fizik öğretmeni	14	.81
Gelecekteki bir meslek olarak fizik	11	.78
Toplam	60	.84

#### 4. Sonuçlar ve tartışma

Orta öğretim düzeyindeki fizik öğrenimi, öğrencilere bilimle ilgili temel kavramları anlama fırsatı sunar ve gelecekteki kariyerlerinde bilim ve teknolojiye dayalı kararlar almalarına yardımcı olur. Ancak, öğrencilerin fizikle olan ilişkisi, sadece bilgi seviyelerinden değil, aynı zamanda tutumlarından da etkilenir. Bu bağlamda, Fizik Tutum Ölçeği'nin Türkçe'ye uyarlanması çalışması, öğrencilerin fizikle olan tutumlarını anlama ve iyileştirmeye yönelik önemli bir adımdır. Bu çaba, öğrencilerin fizikle olan tutumlarını anlamamıza ve geliştirmemize yardımcı olarak, bilimin genç nesiller arasında daha çekici hale gelmesine katkı sağlayabilir. Bu çalışmada, lise öğrenimi dönemindeki öğrencilerin fiziğe yönelik tutumlarını belirlemek amacıyla geliştirilen Fizik Tutum Ölçeği'nin Türkçe'ye uyarlama çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda, ölçeğin geçerlik ve güvenilirlik çalışmaları yapılmış ve elde edilen sonuçlar, yapılan analizler doğrultusunda sunulmuştur.

Ölçeğin geçerliliği, yapı geçerliliği yöntemi kullanılarak değerlendirilmiş ve bu bağlamda Doğrulayıcı Faktör Analizi (DFA) uygulanmıştır. Yapılan DFA sonucunda elde edilen uyum iyiliği indekslerinden üçünün kabul edilebilir (CFI, GFI, SRMR), üçünün ise mükemmel uyum ( $\chi^2/df$ , RMSEA, RMR) gösterdiği görülmektedir. Bu sonuçlar, ölçeğin 60 maddelik orijinal beş faktörlü yapısının doğrulandığı sonucuna ulaşılmasını sağlamıştır. Sonuç olarak, ölçeğin Türkçe'ye uyarlanması sürecinde maddelerin korunduğu, çıkarılmadığı ve Türk kültürüne uygunluğunun sağlandığı belirlenmiştir. Bu

bulgular, ölçeğin Türkçe versiyonunun orijinal ölçekteki yapıya ve boyutlara uygun olduğunu desteklemektedir. Bu uyum, ölçeğin Türkçe konuşan bireyler üzerinde güvenilir ve geçerli sonuçlar elde etmek için kullanılmasını desteklemektedir.

İç tutarlılık, belirli bir ölçüm aracının maddeleri arasındaki homojenliği değerlendiren bir ölçüdür ve maddelerin sadece istenilen kavramları ölçüp ölçmediğini gösteren güçlü bir göstergedir [53]. Bu bağlamda yapılan iç tutarlılık analizi, ölçeğin güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla yapılmış, elde edilen  $\alpha$  değerinin .84 olduğu tespit edilmiştir. Orijinal ölçekteki  $\alpha$  değeri .89 iken, bu çalışmada elde edilen değer olan .84, ölçeğin güvenilirliğini koruduğunu göstermektedir. Ölçek çalışmalarında,  $\alpha$  değerinin en az .70 olması beklenir [36]. Bu değer, ölçeğin yüksek derecede güvenilir olduğunu göstermektedir.

Fizik Tutum Ölçeği için ortaya konulan tüm bu geçerlik ve güvenilirlik analizi bulguları ölçeğin orta öğretim düzeyinde Fizik dersini alan öğrencilerin fiziğe yönelik tutumlarının belirlenmesinde kullanılabilir geçerli ve güvenilir bir ölçme aracı olduğunu göstermektedir. Fizik Tutum Ölçeği araştırmacılar ve öğretmenler tarafından geçerli ve güvenilir bir veri toplama aracı olarak kullanılabilir (Ek-1).

• Bu makale Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi Sosyal ve Beşeri Bilimler Etik Kurulu tarafından 12.12.2023 tarihli ve 2023-10 sayılı yazısı ile izin alınarak hazırlanmıştır.

## Kaynaklar

- [1] Hançer, A. H., Şensoy, Ö. ve Yıldırım H.İ., İlköğretimde çağdaş fen bilgisi öğretiminin önemi ve nasıl olması gerektiği üzerine bir değerlendirme. **Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi**, 13, 1, 80-88, (2003).
- [2] Güden, C. ve Timur, B., Ortaokul öğrencilerinin fen bilimlerine yönelik tutumlarının bazı değişkenlere göre incelenmesi. **International Journal of Active Learning**, 1, 1, 49-72, (2016).
- [3] Şen, Ş. ve Yılmaz, A., Lise ve üniversite öğrencilerinin kimyaya yönelik motivasyonlarının incelenmesi: Karşılaştırmalı bir çalışma. **Batı Anadolu Eğitim Bilimleri Dergisi**, 5, 10, 17-37, (2014).
- [4] Çorlu, M. A., Özçelik, D. A., Özdaş, K., Ekrem, N. ve Şenyol, M., Anadolu Üniversitesi Açık öğretim Fakültesi Lisans Tamamlama Programı Fizik Öğretimi. **Anadolu Üniversitesi Açık öğretim Fakültesi Yayınları**, 59-65, (1991).
- [5] Erdem, A. ve Uzal, G., Liselerde fizik eğitimini iyileştirme yönünde teknolojinin kullanılmasına yönelik yönetici görüşleri. **Journal of International Social Research**, 11, 55, 582-592, (2018).
- [6] Soslu, D., Türkiye’ de fizik eğitimi araştırmalarında genel eğilimler. **Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi**, 10, 1, 201-226, (2013).
- [7] Aydoğan Kara, N., Türkiye’de fizik eğitiminin yeri ve önemi. **Milli Kültür Araştırmaları Dergisi**, 5, 1, 50-58, (2021).
- [8] Özel, M., Başanlı bir fizik eğitimi için stratejiler. **Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fen Bilgisi Dergisi**, 2, 18, 79-88, (2015).
- [9] Austin, L. B. ve Shore, B. M., Using concept mapping for assessment in physics. **Physics Education**, 30, 1, 41-45, (1995).
- [10] Aycan, Ş. ve Yumuşak, A., Lise müfredatındaki fizik konularının anlaşılma düzeyleri üzerine bir araştırma. **Milli Eğitim Dergisi**, 159, 171-180, (2003).

- [11] Dart, B.C., Burnett, P.C. ve Purdie, N.M., Student's conceptions of learning, the classroom environment, and approaches to learning. **The Journal of Educational Research**, 93, 4, 262-270, (2000).
- [12] Dickie, L. O., Approach to learning, the cognitive demands of assessment, and achievement in physics. **The Canadian Journal of Higher Education**, 33, 1, 87-111, (2003).
- [13] Harper, K. A., Etkina, E. ve Lin, Y., Encouraging and analyzing student questions in a large physics course: Meaningful patterns for instructors. **Journal of Research in Science Teaching**, 40, 8, 776-791, (2003).
- [14] Sezgin Selçuk, G., Sahin, M. ve Açıkgöz, K., The effects of learning strategy instruction on achievement, attitude, and achievement motivation in a physics course. **Research in Science Education**, 41, 1, 39-62, (2011).
- [15] Christidou, V., Interest, attitudes and images related to science: Combining students' voices with the voices of school science, teachers, and popular science. **International Journal of Environmental and Science Education**, 6, 2, 141-159, (2011).
- [16] Häussler, P. ve Hoffmann, L., A curricular frame for Physics education: Development, comparison with students' interests, and impact on students' achievement and self-concept. **Science Education**, 84, 689-705, (2000).
- [17] Siegel, M.A. ve Ranney, M.A., Developing the changes in attitude about the relevance of science (CARS) questionnaire and assessing two high school science classes. **Journal of Research in Science Teaching**, 40, 8, 757-775, (2003).
- [18] Ünlü, M. ve Ertekin, E., A structural equation model for factors affecting eighth graders' geometry achievement. **Educational Sciences: Theory & Practice**, 17, 1815-1846, (2017).
- [19] Baron, R. A. ve Byrne, D., Social psychology; Understanding human interaction. 2nd Ed. **Boston: Allyn and Bacon, Inc.**, 1977.
- [20] Ajzen, I. ve Fishbein, M., Attitude-behavior relations: A theoretical analysis and review of empirical research. **Psychological Bulletin**, 84, 5, 888, (1977).
- [21] Eryılmaz, A. ve Taşlıdere, E., Basit elektrik devreleri konusuna yönelik tutum ölçeği geliştirilmesi ve öğrencilerin tutumlarının değerlendirilmesi. **Türk Fen Eğitim Dergisi**, 9, 1, 31-46, (2012).
- [22] Keçeci, G., Kırbağ Zengin, F. ve Alan, B., Bilim şenliği tutum ölçeği: Geçerlilik ve güvenirlik çalışması. **International Journal of Eurasia Social Sciences**, 8, 27, 562-575, (2017).
- [23] Kilci, A. K., Dijital spor oyunları motivasyon ölçeği (DSOMÖ): Türkçeye uyarlama, geçerlik ve güvenirlik çalışması. **International Journal of Sport Exercise and Training Sciences-IJSETS**, 6, 1, 6-18, (2019).
- [24] Küçüközer, H., Ayverdi, L. ve Eğdir, S., Yapılandırmacı Öğrenme Ortamları Ölçeğinin Türkçe'ye Uyarlanması. **İlköğretim Online**, 11, 3, 671-688, (2012).
- [25] Nuhoğlu, H., İlköğretim fen ve teknoloji dersine yönelik bir tutum ölçeğinin geliştirilmesi. **İlköğretim Online**, 7, 3, 627-639, (2008).
- [26] Özdayı, N., Kilci, A. K., Temiz, C. N. ve Emiroğlu, D., Sporda tutku ölçeği (STÖ): Türkçeye uyarlama, geçerlik ve güvenirlik çalışması. **OPUS International Journal of Society Researches**, 18, 4983-5003, (2021).
- [27] Pesen, C. ve Bindak, R., İlkokul matematik dersinde problem çözme öğretim uygulamaları. **Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 23, 1, 173-186, (2021).

- [28] Ünlü Yavaş, P. ve Çağan, S., Development of an attitude scale towards high school physics lessons. **Journal of Education and Training Studies**, 5, 56-66, (2017).
- [29] Tekbiyık, A. ve Akdeniz, A.R., Bağlam temelli ve geleneksel fizik problemlerinin karşılaştırılması üzerine bir inceleme. **Necatibey Eğitim Fakültesi Elektronik Fen ve Matematik Dergisi**, 4, 1, 123-140, (2010).
- [30] Kaur, D. ve Zhao, Y., Development of physics attitude scale (PAS): An instrument to measure students' attitudes toward physics. **The Asia-Pacific Education Researcher**, 26, 291-304, (2017).
- [31] Bryman, A. ve Cramer, D., Quantitative data analysis with SPSS release 10 for Windows: A guide for social scientists. **Routledge**, (2002).
- [32] Comrey, A. L. ve Lee, H. B., A first course in factor analysis (2nd Ed.). **Lawrence Erlbaum Associates, Inc.**, 216, (1992).
- [33] Chen, H. Y. ve Boore, J. R., Translation and back-translation in qualitative nursing research: Methodological review. **Journal of Clinical Nursing**, 19, 1, 234-239, (2010).
- [34] Hambleton, R.K. ve Bollwark, J., Adapting tests for use in different cultures: Technical issues and methods. **Bulletin of the International Testing Commission**, 18, 3-32, (1991).
- [35] Tavşancıl, E., Tutumların ölçülmesi ve SPSS ile veri analizi (5. Baskı). **Ankara: Nobel Yayınevi**, (2014).
- [36] Seçer, İ., Psikolojik test geliştirme ve uyarılama süreci: SPSS ve LISREL uygulamaları. **Ankara: Anı yayıncılık**, (2015).
- [37] Büyüköztürk, Ş., Sosyal bilimler için veri analizi el kitabı: İstatistik, araştırma deseni SPSS uygulamaları ve yorum (Genişletilmiş 20. Baskı). **Ankara: Pegem Akademi**, (2014).
- [38] George, D., ve Mallery, M. SPSS for Windows Step by Step: A Simple Guide and Reference, 17.0 update (10a ed.) Boston: Pearson, (2010).
- [39] Crocker, L. ve Algina, J., Introduction to classical and modern test theory. Orlando: **Holt, Rinehart and Winston**, (1986).
- [40] Özdamar, K., Paket programlar ile istatistiksel veri analizi II (çok değişkenli analizler) Statistical data analysis with package programs II (multivariate analysis) (7. Baskı). **Eskişehir: Kaan Kitabevi**, (2010).
- [41] Yaşlıoğlu, M. M., Sosyal bilimlerde faktör analizi ve geçerlilik: Keşfedici ve doğrulayıcı faktör analizlerinin kullanılması. **İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi**, 46, 74-85, (2017).
- [42] Brown, T. A., Confirmatory factor analysis for applied research (2nd Ed.). **Guilford Publications**, (2015).
- [43] Ayyıldız, H. ve Cengiz, A. G. E., Pazarlama modellerinin testinde kullanılabilir yapısal eşitlik modeli (Yem) üzerine kavramsal bir inceleme. **Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, 11, 2, 63-84, (2006).
- [44] Schumacker, R. E. ve Lomax, R. G., A beginner's guide to structural equation monitoring. Fourth Edition, **New York: Routledge**, (2016).
- [45] Tabachnick, B. G. ve Fidell, L. S., Using multivariate statistics. **Boston: Pearson**, (2007).
- [46] Raykoy, T. ve Marcoulides, G. A., An introduction to applied multivariate analysis (First Edition). **NY: Taylor & Francis Group**, (2008).
- [47] Sümer, M., Yapısal eşitlik modelleri, **Türk Psikoloji Yazıları**, 3, 6, 49-74, (2000).

- [48] Byrne, B., Structural equation modeling with AMOS: Basic concepts, applications and programming (Multivariate applications). **London: Routledge**, (2010).
- [49] Hu, L. ve Bentler, P. M., Evaluating Model Fit. In R. Hoyle (Ed.), Structural equation modeling: concepts, issues and applications. **London: Sage Publications**, (1995).
- [50] Browne, M. W. ve Cudeck, R., Alternative ways of assessing model fit. **Sage Focus Editions**, 154, 136-136, (1993).
- [51] Kalaycı, Ş., Faktör Analizi, Kalaycı Ş. (Ed.) SPSS uygulamalı çok değişkenli istatistik teknikleri, 8. Baskı. **Ankara: Dinamik Akademi**, (2018).
- [52] De Vellis, R.F., Ölçek geliştirme: Kuram ve uygulamalar (Ed.Tarık Totan), **Ankara: Nobel Yayıncılık**, (2012).
- [53] Karakoç, F. Y. ve Dönmez, L., Ölçek geliştirme çalışmalarında temel ilkeler. **Tıp Eğitimi Dünyası**, 13, 40, 39-49, (2014).

### Ek-1. Fizik Tutum Ölçeği

MADDELER	Tamamen Katılıyorum	Katılıyorum	Kararsızım	Katılmıyorum	Tamamen Katılmıyorum
1. Fiziksel olayları ve açıklamalarını öğrenmek bence çok zevklidir.					
2. Fizik konularını ayrıntılı işlemek bence gereksizdir.					
3. Laboratuvarda fizik deneyleri yapınca öz güvenim artar.					
4. Temel fizik bilgisi herkes için yararlıdır.					
5. Fizik benim için sıkıcı bir derstir.					
6. Bir fizik deneyinin başarıyla tamamlanması beni başka deneyler yapmak için heyecanlandırır.					
7. Teori çalışmalarına daha fazla zaman ayırabilmem için fizikteki uygulamalı çalışmaların azaltılması beni mutlu eder.					
8. Fizik ödevlerimi zamanında yaparım.					
9. Fizik dersini merakla beklerim.					
10. Arkadaşlarımla fizik konularını tartışırım.					
11. Fizik dersinde sorulara cevap verince keyif alır, mutlu olurum.					
12. Fizikte laboratuvar çalışması bireysel üretkenliği artırır.					
13. Derste işlediğimiz bir konuya hâkim olana kadar problem çözmeye devam ederim.					
14. Fizik dersinde stresli hissederim.					
15. Öğrenciler teorik ve uygulamalı derslere aktif katılırsa Fiziği daha iyi öğrenir.					
16. Fizik dersiyle ilgili yardımcı eğitim materyallerinin yeterli olmaması, öğrencilerin bu dersten iyi not alamamalarının en büyük sebebidir.					
17. Fizik problemlerini günlük yaşamla ilişkilendirmeye çalışırım.					
18. Fizik problemlerini çözmeyi denemek yerine; ders kitaplarındaki formül ve kuralları ezberlemeye daha çok odaklanırım.					
19. Fizikte görselleştirilmesi zor olan pek çok durum vardır.					
20. Fizik sınavında kopya çekmeden başarılı olmak çok zordur.					
21. Fizikteki zor konular ilgimi çekmez.					
22. Ailem ve öğretmenim fizik çalışmam için beni zorluyor.					
23. Sadece sınavlarım yaklaştığında fizik çalışırım.					
24. Fizik öğrenmek kapasitemin üstündedir.					
25. Fizik sürekli gelişen bir alandır.					

26. Fizik sadece bilgi değil, aynı zamanda bir bilgi edinme sürecidir.					
27. Zaten keşfedilmiş yasaları bir daha doğrulamaya gerek yoktur.					
28. Bilimsel bilgi o kadar hızlı geliyor ki gelecekte, fizikteki gerçeklerinin doğru olmadığı bile ortaya çıkabilir.					
29. Bir süre sonra tüm fizik yasaları keşfedilecektir.					
30. Fizik deneylerinin sonuçlanması çok uzun zaman alır.					
31. Medeniyetin ve toplumun ilerlemesinde fizik, önemli bir rol oynamaktadır.					
32. Fiziğin yaratıcı hiçbir yanı yoktur; kanunları ve formülleri ezberlemekten ibarettir.					
33. Fizik hem bilime hem de başka alanlara büyük katkıda bulunmuştur.					
34. Fizik, insanın, zihnini geliştirmesine yardım eder ve ona düşünmeyi öğretir.					
35. Bir fizik laboratuvarı kurmak için büyük bir alt yapı gerekir.					
36. Fizik öğretmenimden korkarım.					
37. Fizik öğretmenimiz bize hep aşırı ödev verir.					
38. Fizik öğretmenimiz bizi problem çözmeye teşvik eder.					
39. Fizik öğretmenimiz, derste işlediğimiz konuyla ilgili sayısal problemleri çok nadir ele alır.					
40. Fizik öğretmenimiz derse her zaman düzenli olarak gelir.					
41. Fizik öğretmenimiz sınıfta sorgulama yapmayı teşvik etmez.					
42. Fizik öğretmenim derste anlatılan konuyla ilgili tutarlı açıklamalar yapmaz.					
43. Fizik öğretmenim sınıfta ders anlatırken farklı öğretim araçlarını bir arada kullanır.					
44. Fizik öğretmenimiz dersi çoğunlukla anlatarak işler.					
45. Fizik öğretmenim, fizik kavramlarını anlamama yardımcı olmak için bana yeterli zaman ayırır.					
46. Fizik öğretmenim fizik öğrenebileceğime inanmıyor.					
47. Fizik öğretmenim çoğunlukla bana kızar.					
48. Fizik öğretmenim sadece ezberlemeye değil, anlamaya da önem verir.					
49. Fizik öğretmeni olmayı çok istiyorum.					
50. Bir fizikçinin, mesleğinde uzmanlaşması çok zaman alır.					
51. Fizikle uğraşmak büyük bir sabır ve hoşgörü gerektirir.					
52. Bir fizikçinin ilerlemesi oldukça yavaştır.					
53. Fizik alanındaki iş olanakları yetersizdir.					
54. Fizik; mühendislik dersleri almak isteyenler için faydalıdır.					
55. Fizikçi, toplumun gelişmesi için çalışan, kendini işine adanmış bir bireydir.					
56. Bir meslek olarak fizikte yaratıcılık yoktur.					
57. Fizikçi hayatını fizik deneyleri yaparak geçirir.					
58. İleri seviyede fizik eğitimi almak, iyi bir gelecek getirir.					
59. Fizikçiler, bazı araştırma çalışmalarının pratik uygulamaları olmadığı için kamu parasını boşa harcamaktadır.					
60. Fizikçiler genelde kendilerini toplumdan soyutlar.					

# Effects of triple alpha and CNO reaction rates on the evolution of low- mass stars

Gülay İNLEK<sup>1\*</sup>, Salih ELÇİ

<sup>1</sup>Balıkesir University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Physics

Geliş Tarihi (Received Date): 23.01.2024

Kabul Tarihi (Accepted Date): 14.06.2024

## Abstract

*In this study, the effects of the energy generation rates of Triple Alpha and CNO nuclear reactions on the evolution of Main sequence star models with masses in the range of 0.65-1.2  $M_{\odot}$  are investigated. Paczynski's GOB, SCH and HB7 star model programs are used for each model. The ages of stars are calculated using the original NACRE (Nuclear Astrophysics Compilation of Reactions) energy generation rates and NACRE rates reduced by ten percent. The ages of the current IT Cas and V636 Cen stars are calculated and compared with the results in the literature. Since Triple Alpha reactions are very difficult to perform in terrestrial laboratories, this theoretical model study will shed light on observational studies of low-mass and even massive stars.*

**Keywords:** Nuclear energy generation rates, low- mass stars, stellar evolution.

## Üçlü alfa ve CNO reaksiyon oranlarının küçük kütleli yıldızların evrimi üzerindeki etkileri

## Öz

*Bu çalışmada, Üçlü Alfa ve CNO nükleer reaksiyonlarının enerji oluşum oranlarının 0.65- 1.2  $M_{\odot}$  aralığında kütleyle sahip olan Ana kol yıldız modellerinin evrimleri üzerindeki etkileri araştırılmaktadır. Her bir model için Paczynski'nin GOB, SCH ve HB7 yıldız model programları kullanılmaktadır. Yıldızların yaşları orjinal NACRE enerji oluşum oranları ve yüzde on oranında azaltılmış NACRE (Nuclear Astrophysics Compilation of Reactions) oranları kullanılarak hesaplanır. Buna göre IT Cas ve V636 Cen yıldızlarının yaşları hesaplanmıştır ve literatürdeki sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Üçlü Alfa reaksiyonlarının laboratuvar ortamında gerçekleştirilmesi çok zor olduğu için*

\*Gülay İNLEK, inlek@balikesir.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-4884-1437>  
Salih ELÇİ, elcisalih@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2819-1326>

*bu teorik model çalışmasının, küçük kütleli ve hatta büyük kütleli yıldızların gözlemsel çalışmalarına ışık tutacaktır.*

**Anahtar kelimeler:** *Nükleer enerji oluşum oranları, küçük- kütleli yıldızlar, yıldızların evrimi.*

## 1. Introduction

Low-mass stars are the most abundant stellar population in the cosmos. Despite their dim appearance, these stars exhibit unique energy generation mechanisms that profoundly influence their lifecycles and the evolution of planetary systems. Low-mass stars, with masses ranging from 0.6 to 1.2  $M_{\odot}$ , play a central role in the stellar landscape [1]. The primary mechanism driving energy production in low-mass stars is the proton-proton chain. The core temperatures and pressures in low-mass stars are conducive to this fusion process, where hydrogen nuclei fuse to form helium, releasing energy. In-depth studies based on nuclear reaction rates [2] and helioseismology [3] have provided essential insights into the efficiency of the proton-proton chain in low-mass stars. The extended lifespans of low-mass stars, estimated to be trillions of years [4], have significant implications for galactic dynamics and the prevalence of habitable environments. Theoretical models incorporating stellar evolution and nucleosynthesis processes have advanced our understanding of the lifecycles of these stars. Observing low-mass stars presents challenges due to their faintness and unique spectral characteristics. Ongoing and upcoming missions, including the James Webb Space Telescope (JWST), promise to provide unprecedented insights into the atmospheres and energy generation processes of M-dwarfs with low mass [5].

Many stellar models have not been sufficient to theoretically reach the measured temperatures and radii of stars with less massive than the Sun [6-8]. The interaction between energy production rates and stellar evolution provides a basis for determining the age of low-mass stars. Isochronous placement techniques, as demonstrated by [9] contribute to our broader knowledge of galactic chronology by leveraging our understanding of energy production to estimate the ages of star clusters and individual stars. For this purpose, different energy generation rates were used in different stellar evolution models and their effects on stellar evolution were investigated [10-13]. The aim of this article is to investigate the effects of triple alpha and CNO NACRE energy generation rates [14], which are reduced by ninety percent, on the luminosity, temperature, density and radius evolution of low-mass stars. The paper is organized as follows: In section 2, we explain stellar evolution models and input physical parameters used in programs. In section 3, the results obtained are presented with graphs and tables. Section 4 contains conclusions obtained from this study .

## 2. Method

In this study, Paczynski's stellar structure and evolution programs are used. The first of these programs, GOB (Generates the Outer Boundary) , establishes the outer boundary conditions of a star in hydrostatic equilibrium and ideal gas conditions. As physical input, the star's mass, luminosity, effective temperature and mixing length parameters are entered by the user [15, 16]. Kurucz opacity tables are used in this program, which is taken from [17]. The mixing length parameter was entered as 1. The second program,



SCH (Generates a zero Age Main Sequence Model), uses the outputs of the GOB program. This program creates zero-age main sequence star models. The program works with nuclear energy generation rates. As physical input; The Luminosity of the star in terms of the Sun, its effective temperature, its core temperature and its core density are given. While the GOB program models the star from the outside to the inside, the SCH program models the star from its center to the outside. The NACRE rates [14] were used in this project. The last program in the code, HB7 ( Takes the output of SCH) , uses the outputs of the SCH program. This program determines the chemical composition according to nuclear energy formation rates. It forms a stellar evolution pattern in which it changes step by step.

### 3. Evolutionary tracks and the data obtained

In this study, Kurucz opacity tables were used in the GOB program that created the external boundary conditions [17]. The mixing length parameter was taken as  $\alpha = 1$ . NACRE energy generation rates are used in the SCH program, which reads the nuclear energy rates and creates a star model moving from the center to the inside of the star. The CNO and triple alpha ratios are changed while keeping the formation rates of the P-P chain constant. Calculations are made for star models in the 0.65-1.2  $M_{\odot}$  mass range. The results obtained using NACRE energy formation rates are compared with the results obtained with 0.10 x NACRE energy formation rates. Decreasing energy ratios give older ages for the relevant stellar models. The results are presented in Table 1.

Table 1. Ages obtained for star models for  $Z=0.02$ .

<b>M/<math>M_{\odot}</math></b>	<b>log L/<math>L_{\odot}</math></b>	<b>log Teff</b>	<b>log Tc</b>	<b>log <math>\rho_c</math></b>	<b>Age(My) with NACRE</b>	<b>Age(My) with 0.1xNACRE</b>
<b>0.65</b>	-0.97	3.62	6.98	1.88	16986	17132
<b>0.8</b>	0.40	3.69	7.09	2.07	15488	15633
<b>1</b>	0.12	3.76	7.14	2.14	14723	14867
<b>1.2</b>	0.15	3.78	7.15	2.17	13098	13243

The ages of the observed low-mass stars IT Cas and V636 Cen were calculated . The results are presented with the result of Torres et al. [18] in Table 2.

Table 2. Ages calculated with metal ratio  $Z=0.02$  for IT Cas and V636.

<b>Star</b>	<b>Metallicity</b>	<b>Age (This study)</b>	<b>Age from Torres et al. (2010)</b>
IT Cas	$Z=0.02$	1,4 G y	1,9 G y
V636	$Z=0.02$	0.93 Gy	1.2 Gy

As shown in Figure 1, the age of the binary star V636 Cen is calculated from the radius-age graph. The star appears to reach its observational radius at 0.93 G years. Clausen et al. have found the age of this star to be  $1.33 \pm 0.13$  G years [19]. Many current models have failed to achieve measured temperatures and radii for many binary star components with masses less than the Sun [8, 20-23]. By using models created by reducing the mixture length parameter, results compatible with observational results were obtained [24]. It is known that the spectrum lines of the companion star are fainter than those of the main star [25].

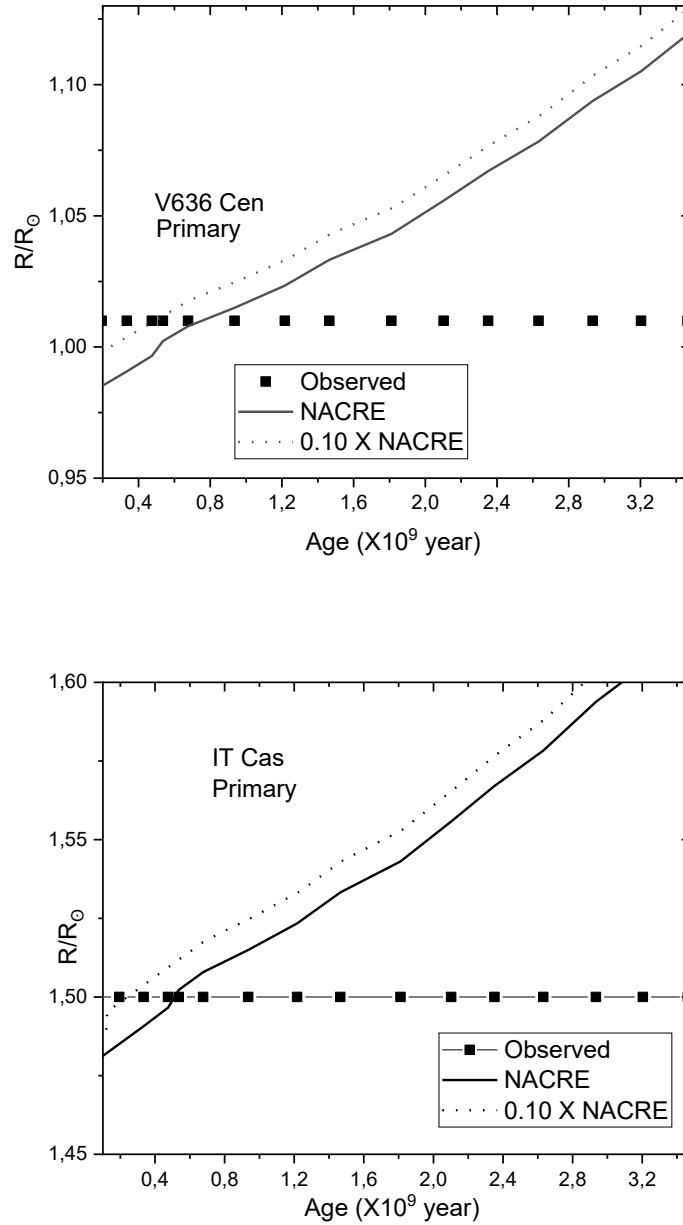


Figure 1. Radius- age curves of the binary stars V636 Centauri and IT Cas.

Imbriani et al. concluded that an increase in the CNO ratio gives dimmer turning points for the change of luminosity with effective temperature for a given age, or may give younger ages for a given luminosity return [26].

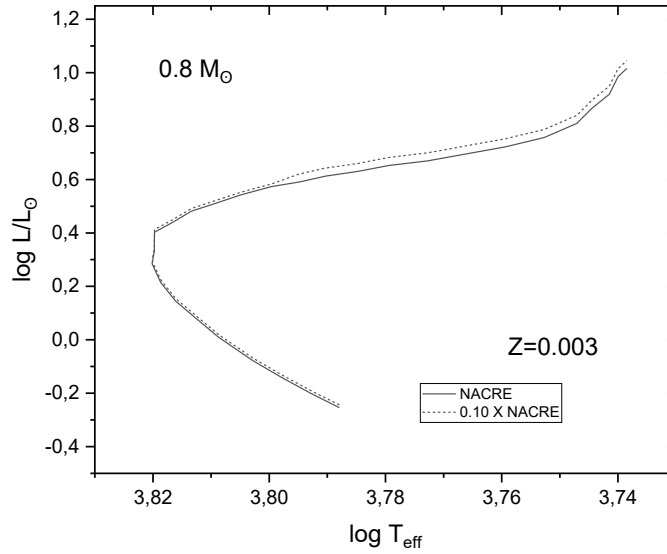


Figure 2. Variation of luminosity with effective temperature for the  $0.8 M_{\odot}$  mass stellar model.

Figure 2 shows the luminosity change of the 0.8 Solar mass star model for the  $Z = 0.003$  metallicity value. It is seen that the turning points of the reduced energy rates do not deviate very far from the turning points given by the old rates. It is seen that the curve gives larger values after the turning points. To see the effect of decreasing energy generation rates for the same star model, the evolution graph showing the change of the central density with temperature is drawn in Figure 3.

Reduced NACRE ratios start the evolution of density with temperature at lower temperatures and end at approximately the same value. The data of this graph is presented in Table 3. Reduced NACRE energy generation rates yielded greater density and temperature values.

Table 3. Variation of temperature with central density for the  $0.8 M_{\odot}$  model.

log $\rho_c$ NACRE	log $T_c$ NACRE	log $\rho_c$ 0.10XNACRE	log $T_c$ 0.10XNACRE
2,027	7,076	2,077	7,096
2,244	7,128	2,294	7,148
2,511	7,192	2,561	7,212
2,800	7,273	2,85	7,293
3,144	7,327	3,194	7,347
3,574	7,348	3,624	7,368
4,604	7,463	4,654	7,483
5,157	7,536	5,207	7,556
5,416	7,626	5,466	7,646
5,594	7,711	5,644	7,731
5,734	7,790	5,784	7,810
5,852	7,863	5,902	7,883

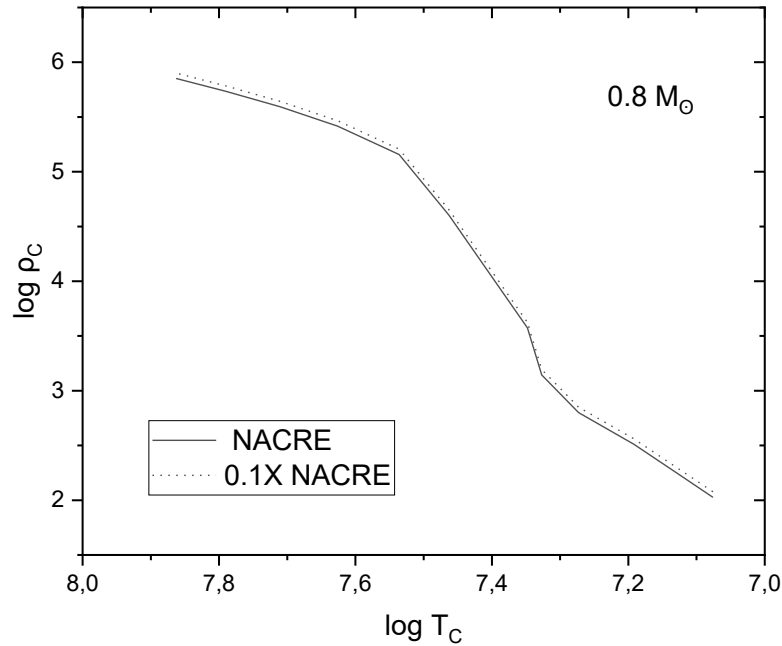


Figure 3. Central temperature-density variation for the  $0.8 M_{\odot}$  model at a metal value of  $Z=0.003$ .

#### 4. Results and discussion

Paczynski's stellar evolution models were used in this study. Stellar evolution models have been created with NACRE energy generation rates reduced by ninety percent. Reduced energy generation rates yielded older ages for star models in the  $0.65-1.2 M_{\odot}$  mass range. When we look at the results in Table 1, it can be seen that the age calculated with generally reduced energy formation rates is 145 million years older for a star model. The age of the observed IT Cas star is calculated with different metal ratios. According to the results in Table 2, the age of the star decreases with increasing metal content. Compared to the result of Torres et al., in this study, the age found by NACRE energy generation rates is calculated to be  $0.5 \times 10^9$  years younger. This may be due to Kurucz opacity tables used. Brocato et al. [27] investigated the effects of nuclear reaction rates on the evolution of population II star models and found that the effect on the ages of these stars was  $1 \times 10^9$  years. The age found for the observed star V636 Cen is 0.4 Gy younger than the age found by Clausen et al [19]. In the evolution calculations made for the 0.8 Solar mass star model, it is seen that with NACRE energy generation rates reduced by ninety percent, the central density increases by approximately 3% and the central temperature increases by approximately 0.3% in the star model stages. As a result, NACRE energy formation rates, which include all of the energy formation rates released from p-p, CNO and triple alpha processes, are reduced. These ratios give younger ages for low-mass star models and for observed real stars. Very recently, Monpriat and his colleagues examined the effects of new carbon-carbon nuclear reactions on stellar evolution [28]. Our Future work is planned for massive star models. We also planned to

investigate the effects of metallicity on the evolution of the low-mass stars in the next study.

**Acknowledgement** This work has been partially funded by the Balikesir University Scientific Research Projects Department within the project BAP 2022/081. The authors thank Prof. Dr. Edwin Budding and Prof. Dr. Osman Demircan for supporting this work. Ethics committee permission is not required for this work.

## References

- [1] Kumar, S.S, **The Astrophysical Journal**, 137, 1121, (1963).
- [2] Bahcall, J. N. ,Neutrino Astrophysics, **Cambridge University Press**, (1989).
- [3] Christensen-Dalsgaard, J., Helioseismology. **Reviews of Modern Physics**, 74(4), 1073–1129, (2002).
- [4] Baraffe, I., Chabrier, G., Allard, F., & Hauschildt, P. H., Evolutionary models for low-mass stars and brown dwarfs: Uncertainties and limits at very young ages. **The Astrophysical Journal**, 482(1), 352–359, (1998).
- [5] Beichman, C., Benneke, B., Knutson, H., et al., Observations of Transiting Exoplanets with the James Webb Space Telescope (JWST), **Publications of the Astronomical Society of the Pacific**, 126(946), 1134–1173, (2014).
- [6] Hoxie, D.T., The low-mass main-sequence: the comparison between theory and observation, **Astronomy and Astrophysics**, 26, 437-441, (1973).
- [7] Popper, D.M., Orbits of detached main-sequence eclipsing binaries of types late F to K. II. UV leonis, UV piscium, and BH virginis, **The Astrophysical Journal**, 114, 1195-1205, (1997).
- [8] Torres, G., Ribas, I., Absolute Dimensions of the M-Type Eclipsing Binary YY Geminorum (Castor C): A Challenge to Evolutionary Models in the Lower Main Sequence, **The Astrophysical Journal**, 567, 1140- 1165, (2002).
- [9] Feiden, G. A., Chaboyer, B. and Dotter, A., Improved Age Estimation for Solar-Type Dwarfs Using Activity-Rotation Diagnostics. **The Astrophysical Journal**, 812(1), 29, (2015).
- [10] Weiss, A., Serenelli, A., Kitsikis, A., and et al., Influence of two updated reaction rates on the evolution of low and intermediate mass stars, **Astronomy and Astrophysics**, 441,1129-1133, (2005).
- [11] Morel, P., Provost, B., Lebreton, Y. and Thevenin, F., Implications of a new triple  $\alpha$  nuclear reaction rate. Consequences for Cepheids, **Astronomy and Astrophysics**, 520, 1-7, (2010).
- [12] Dotter, A. and Paxton, B., Evolutionary implications of the new triple- $\alpha$  nuclear reaction rate for low mass stars, **Astronomy and Astrophysics**, 507, 1617-1619, (2009).
- [13] Ferro, F., Lavagno, A. and Quarati, P., Temperature dependence of modified CNO nuclear reaction rates in dense stellar plasmas, **Physica A**, 340, 477-482, (2004).

- [14] Angulo, C., Arnould, M., Rayet, M., et al., A compilation of charged-particle induced thermonuclear reaction rates, **Nuclear Physics A**, 656, 3-183, (1999).
- [15] Paczynski, B., **Acta Astronomica**, 2, 20, (1970).
- [16] Odell, A. P. and Pesnell, W.D., A New Graphical Interface for the Paczynski Stellar Evolution Code, **A Half Century of Stellar Pulsation Interpretation: A Tribute to Arthur N. Cox**, edited by Paul A. Bradley and Joyce A. Guzik, **Proceedings of a Conference held in Los Alamos**, **ASP Conference Series**, 135, 69, (1998).
- [17] Peter L. Smith, Claas Heise, Jim R. Esmond, Robert L. Kurucz <https://www.cfa.harvard.edu/amp/ampdata/kurucz23/sekur.html>, (13.12.2023)
- [18] Torres, G., Andersen, J., Giménez, A., Accurate masses and radii of normal stars: Modern results and applications, **The Astronomy and Astrophysics Review**, 18, 67-126, (2010).
- [19] Clausen, J. V., Bruntt, H., Claret, A., Larsen, A. et al., Absolute dimensions of solar-type eclipsing binaries II. V636 Centauri: A 1.05  $M_{\odot}$  primary with an active, cool, oversized 0.85  $M_{\odot}$  secondary, **Astronomy and Astrophysics**, 502, 253-265, (2009).
- [20] Hoxie, D.T., The low-mass main-sequence: the comparison between theory and observation, **Astronomy and Astrophysics**, 26, 437-441, (1973).
- [21] Popper, D. M., Orbits of detached main-sequence eclipsing binaries of types late F to K. II. UV leonis, UV piscium, and BH virginis, **The Astrophysical Journal**, 114, 1195-1205, (1997).
- [22] Clausen, J.V., Baraffe, I., Claret, A., VandenBerg, D.B., Do 0.7-1.1  $M_{\text{sun}}$  Eclipsing Binaries Pose a Problem for Current Stellar Evolutionary Models, **ASP Conference Series**, 173, 265-268, (1999).
- [23] López-Morales, M., Ribas, I., Gu Bootis: A new 0.6  $M_{\odot}$  detached eclipsing binary, **The Astrophysical Journal**, 631, 1120-1133, (2005).
- [24] Torres, G., Lacy, C.H., Marschall, L. A., et al., The Eclipsing Binary V1061 Cygni: Confronting Stellar Evolution Models for Active and Inactive Solar-Type Stars, **The Astrophysical Journal**, 640, 1018-1038, (2006).
- [25] Hoffmeister, C., Processing the light changes of 10 southern variable stars, **Astronomy and Astrophysics**, 3, 439-447, (1958).
- [26] Imbriani, G., Costantini, H., Formicola, A., et al., The bottleneck of CNO burning and the age of Globular Clusters, **Astronomy and Astrophysics**, 420, 625-629, (2004).
- [27] Brocato, E., Castellani, E. V., Villante, F.L., Nuclear burning rates and Population II stellar models, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, 298, 557-561, (1998).
- [28] Monpriet, E., Martinet, S., Courtin, S., et al., A new C + C nuclear reaction rate : impact on stellar evolution , **Astronomy and Astrophysics**, 660, 1-12, (2022).

# Molecular form factor data for tissue equivalent materials

Aysun BÖKE\*

Balıkesir University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Physics

Geliş Tarihi (Received Date): 02.02.2024

Kabul Tarihi (Accepted Date): 27.06.2024

## Abstract

*In the diagnostic X-ray energy range, elastic (Coherent) scattering is dominant and can be obtained using an appropriate form factor. When experimental Form Factor data is not available at certain momentum transfer values, molecular form factor data that can be compatible with experimental data should be theoretically obtained. Using these molecular form factor data, molecular coherent scattering coefficients can be calculated, and linear attenuation coefficients of tissue equivalent structures can be estimated. In this study, PMMA, CIRS 70/30, CIRS 50/50, CIRS 30/70, RMI 454, and BR 12, which are equivalent complex molecular structures to human breast tissue, were examined, and the theoretical molecular form factor  $F(x)$  values compatible with the experimental form factor values for each were obtained. We believe that our results will find a significant place in the literature and will be beneficial for our future studies and also in the studies of other researchers who make models.*

**Keywords:** Tissue, equivalent material, form factor

## Doku eşdeğeri materyaller için moleküler form faktör verileri

### Öz

*Tanısal x-ışını enerji aralığında, elastik (koherent) saçılma baskın olup uygun form faktörü kullanılarak elde edilebilmektedir. Deneysel Form Faktör verilerinin mevcut olmadığı belirli momentum transfer değerlerinde, deneysel verilerle uyumlu olabilecek şekilde moleküler form faktör verileri teorik olarak elde edilmelidir. Bu moleküler form faktör verileri kullanılarak moleküler koherent saçılma katsayıları hesaplanabilmekte ve doku eşdeğeri yapıların lineer zayıflama katsayıları tahmin edilebilmektedir. Bu çalışmada, insan meme dokusuna eşdeğer kompleks moleküler yapılar olan PMMA, CIRS*

\* Aysun BÖKE, aysun@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-0108-6825>

70/30, CIRS 50/50, CIRS 30/70, RMI 454 ve BR 12 incelenmiş ve her birine ait, deneysel form faktörleri ile uyumlu olan moleküler form faktör  $F(x)$  değerleri teorik olarak elde edilmiştir. Sonuçlarımızın daha ileriki çalışmalarımızda ve ayrıca modellemeler yapan diğer araştırmacıların çalışmalarında kullanılması suretiyle literatürde geniş yer bulacağına ve yarar sağlayacağına inancımız yüksektir.

**Anahtar kelimeler:** Doku, eşdeğer materyal, form faktör

## 1. Introduction

The atomic form factors (hereafter referred to as FF) have been tabulated for all elements from  $Z=1$  to  $Z=100$ . Nonrelativistic atomic FF data were tabulated by Hubbell et al. [1], and relativistic atomic FF data by Hubbell and Øverbo [2]. The modified relativistic FF data, which corrects for the binding energies of electrons with an experimental factor, were published in tabular form by Schaupp et al. [3].

The molecular FF values, which are used as an important factor in the calculation of coherent scattering cross-sections of molecules, are obtained from the modified relativistic atomic form factor (MRFF) theory. The superiority of this theory over other theories has been reported by some researchers [3-18]. It has also been reported in our previous studies [19-24] that the coherent scattering coefficients calculated using the MRFF theory are more compatible with experimental data.

In this study, PMMA, CIRS 70/30, CIRS 50/50, CIRS 30/70, RMI 454, and BR 12, which are molecular structures equivalent to human breast tissue, were examined. For this purpose, elemental compositions obtained from Poletti et al. [25] and Midgley [26] were used, and the molecular FF values for each were theoretically presented. Using these FF values, predictions can be made about the molecular coherent scattering and linear attenuation coefficients of human breast tissue. We believe that our results will be widely used as an important data source in the literature by other researchers who make modeling studies and will provide significant benefits.

## 2. Method

It is possible to calculate the molecular FF values of most complex substances without knowing their molecular formula. Elemental information of the complex substance is sufficient for this. The molecular FF data of such substances can be calculated by applying the sum rule called the Independent Atomic Model (IAM), reported by some researchers in the literature [27-30]. The sum rule is formulated with the following equation,

$$\frac{F_m^2(x)}{W} = \sum_i \frac{w_i}{M_i} F_i^2(x, Z_i) \quad (1)$$

Here,  $M_i$ ,  $w_i$ , and  $Z_i$  are the atomic mass, the mass fraction, and the atomic number of the  $i$ -th element, respectively.  $W$  is the molecular weight. The momentum transfer variable  $x$  is given by the following formula.

$$x = \sin(\theta/2) / \lambda(\text{Å}) = [(1 - \cos\theta) / 2]^{1/2} / \lambda(\text{Å}) \quad (2)$$



The atomic FF value of element  $i$ -th with atomic number  $Z_i$  denoted as  $F_i(x, Z_i)$ , is taken from the atomic FF data tabulated by Schaupp et al. [3] using the MRFF Theory. The  $F_m(x)$  is the molecular form factor as function of  $x$ . There are no experimental FF data for values greater than  $x \geq 10 \text{ nm}^{-1}$ . The IAM or the sum rule given by equation (1) estimates the molecular FF values for momentum transfer variables where experimental data are not available. At high momentum transfer values, the sum rule was applied by some researchers [27-30].

### 3. Results and discussion

In this study, complex molecular structures equivalent to human breast tissue were examined. Elemental compositions obtained by Poletti et al. [25] and Midgley [26] for human breast tissues were used in the calculations.

The molecular FF data were theoretically obtained for each tissue equivalent material (PMMA, CIRS 70/30, CIRS 50/50, CIRS 30/70, RMI 454, BR 12). The FF calculations were performed by using MRFF data obtained by Schaupp et al. [3] for the elemental abundance of each molecule. Elemental abundance knowledge of tissue equivalent structures was supplied from Poletti et al. [25] for PMMA, CIRS 70/30, CIRS 50/50, CIRS 30/70, RMI 454 and from Midgley [26] for BR 12. The molecular FF values were calculated between  $0 \leq x \leq 1000 \text{ nm}^{-1}$  using the formula given in equation (1). The results were presented in Table 1. Theoretical FF data provide an approximation for momentum transfer regions for which experimental data are not available.

The chemical composition of human tissues can vary significantly among individuals by around 5-10%, depending on factors such as lineage, dietary patterns, age, gender, and health status [31]. For tissue equivalent molecular structures, molecular FF data must first be established. Using these molecular FF data, molecular coherent scattering coefficients can be calculated, and predictions can be made about the linear attenuation coefficients of tissue equivalent structures. We have high faith that our results will be widely used in the literature and will be beneficial by using them in our future studies and in the studies of other researchers who do modeling.

Table 1. The theoretical molecular form factor data calculated for tissue equivalent materials PMMA, CIRS 70/30, CIRS 50/50, CIRS 30/70, RMI 454, and BR 12

$x \text{ (nm}^{-1}\text{)}$	$f_{mol}(x)_{PMMA}$	$f_{mol}(x)_{CIRS (70/30)}$	$f_{mol}(x)_{CIRS (50/50)}$	$f_{mol}(x)_{CIRS (30/70)}$	$f_{mol}(x)_{RMI 454}$	$f_{mol}(x)_{BR 12}$
0	17.7380	15.6422	15.6502	15.5373	11.3886	18.8504
0.1	17.7103	15.6154	15.6236	15.5106	11.3698	18.8190
0.2	17.6255	15.5324	15.5418	15.4280	11.3120	18.7228
0.3	17.4881	15.3981	15.4093	15.2943	11.2184	18.5669
0.4	17.2998	15.2147	15.2282	15.1116	11.0903	18.3537
0.5	17.0635	14.9853	15.0013	14.8828	10.9297	18.0865
0.6	16.7854	14.7162	14.7352	14.6144	10.7410	17.7726
0.7	16.4700	14.4126	14.4343	14.3113	10.5275	17.4175
0.8	16.1220	14.0792	14.1036	13.9782	10.2923	17.0267
0.9	15.7493	13.7236	13.7504	13.6227	10.0408	16.6088
1.0	15.3528	13.3475	13.3764	13.2464	9.7741	16.1659

Table 1. (Continued)

$x$ (nm <sup>-1</sup> )	$f_{mol}(x)$ PMMA	$f_{mol}(x)$ CIRS (70/30)	$f_{mol}(x)$ CIRS (50/50)	$f_{mol}(x)$ CIRS (30/70)	$f_{mol}(x)$ RMI 454	$f_{mol}(x)$ BR 12
1.1	14.9423	12.9603	12.9909	12.8589	9.4987	15.7087
1.2	14.5189	12.5630	12.5948	12.4610	9.2153	15.2385
1.3	14.0910	12.1638	12.1965	12.0612	8.9299	14.7652
1.4	13.6590	11.7634	11.7965	11.6600	8.6427	14.2890
1.5	13.2280	11.3665	11.3996	11.2624	8.3571	13.8158
1.6	12.7990	10.9732	11.0061	10.8684	8.0737	13.3462
1.7	12.3778	10.5903	10.6224	10.4847	7.7966	12.8875
1.8	11.9639	10.2160	10.2471	10.1099	7.5252	12.4384
1.9	11.5612	9.8546	9.8845	9.7480	7.2624	12.0036
2.0	11.1692	9.5046	9.5330	9.3977	7.0072	11.5817
2.2	10.4233	8.8463	8.8711	8.7392	6.5253	10.7853
2.4	9.7299	8.2425	8.2631	8.1359	6.0809	10.0516
2.5	9.4058	7.9629	7.9814	7.8568	5.8744	9.7108
2.6	9.0948	7.6968	7.7130	7.5914	5.6772	9.3857
2.8	8.5162	7.2071	7.2185	7.1034	5.3129	8.7853
3.0	7.9928	6.7696	6.7766	6.6684	4.9861	8.2470
3.2	7.5201	6.3805	6.3828	6.2821	4.6937	7.7660
3.4	7.0953	6.0345	6.0324	5.9390	4.4327	7.3369
3.5	6.9016	5.8791	5.8750	5.7853	4.3149	7.1434
3.6	6.7179	5.7322	5.7260	5.6400	4.2033	6.9603
3.8	6.3791	5.4638	5.4537	5.3750	3.9990	6.6248
4.0	6.0781	5.2276	5.2140	5.1421	3.8185	6.3288
4.2	5.8105	5.0203	5.0034	4.9381	3.6595	6.0682
4.4	5.5738	4.8382	4.8184	4.7592	3.5195	5.8388
4.5	5.4651	4.7553	4.7341	4.6778	3.4556	5.7341
4.6	5.3636	4.6781	4.6557	4.6022	3.3961	5.6366
4.8	5.1754	4.5357	4.5109	4.4626	3.2860	5.4564
5.0	5.0076	4.4087	4.3819	4.3383	3.1880	5.2959
5.5	4.6614	4.1463	4.1157	4.0817	2.9860	4.9646
6.0	4.3920	3.9397	3.9067	3.8799	2.8280	4.7051
7	3.9865	3.6120	3.5777	3.5588	2.5832	4.3005
8	3.6690	3.3335	3.3010	3.2849	2.3821	3.9657
9	3.3870	3.0694	3.0407	3.0245	2.1963	3.6547
10	3.1233	2.8137	2.7900	2.7725	2.0188	3.3571
11	2.8730	2.5673	2.5488	2.5296	1.8487	3.0718
12	2.6332	2.3315	2.3180	2.2971	1.6858	2.7988
13	2.4069	2.1102	2.1013	2.0790	1.5325	2.5421
14	2.1956	1.9056	1.9004	1.8771	1.3901	2.3039
15	1.9993	1.7181	1.7160	1.6921	1.2588	2.0846
16	1.8181	1.5477	1.5478	1.5238	1.1385	1.8841
17	1.6521	1.3939	1.3956	1.3717	1.0291	1.7020
18	1.5004	1.2555	1.2582	1.2347	0.9299	1.5372
19	1.3626	1.1317	1.1349	1.1119	0.8404	1.3888
20	1.2377	1.0212	1.0243	1.0022	0.7599	1.2554
22	1.0221	0.8344	0.8367	0.8163	0.6223	1.0280
24	0.8465	0.6864	0.6869	0.6686	0.5116	0.8456
25	0.7712	0.6242	0.6236	0.6064	0.4645	0.7682
26	0.7033	0.5690	0.5672	0.5510	0.4223	0.6989
28	0.5866	0.4755	0.4712	0.4569	0.3502	0.5807

Table 1. (Continued)

$x$ (nm <sup>-1</sup> )	$f_{mol}(x)$ PMMA	$f_{mol}(x)$ CIRS (70/30)	$f_{mol}(x)$ CIRS (50/50)	$f_{mol}(x)$ CIRS (30/70)	$f_{mol}(x)$ RMI 454	$f_{mol}(x)$ BR 12
30	0.4914	0.4011	0.3942	0.3817	0.2918	0.4854
33	0.3800	0.3163	0.3058	0.2957	0.2243	0.3753
35	0.3218	0.2731	0.2604	0.2517	0.1892	0.3184
36	0.2968	0.2547	0.2410	0.2329	0.1742	0.2940
39	0.2342	0.2091	0.1929	0.1865	0.1368	0.2335
40	0.2167	0.1966	0.1797	0.1737	0.1265	0.2167
42	0.1866	0.1748	0.1568	0.1516	0.1086	0.1877
46	0.1397	0.1407	0.1215	0.1177	8.0969E-02	0.1429
50	0.1063	0.1157	9.6268E-02	9.3398E-02	6.1377E-02	0.1109
54	8.1975E-02	9.6549E-02	7.7676E-02	7.5527E-02	4.7213E-02	8.7604E-02
55	7.6990E-02	9.2467E-02	7.3811E-02	7.1810E-02	4.4315E-02	8.2788E-02
58	6.4077E-02	8.1511E-02	6.3654E-02	6.2033E-02	3.6819E-02	7.0237E-02
60	5.6895E-02	7.5131E-02	5.7894E-02	5.6482E-02	3.2658E-02	6.3194E-02
62	5.0674E-02	6.9387E-02	5.2816E-02	5.1582E-02	2.9059E-02	5.7044E-02
66	4.0530E-02	5.9455E-02	4.4289E-02	4.3340E-02	2.3203E-02	4.6876E-02
70	3.2748E-02	5.1223E-02	3.7468E-02	3.6731E-02	1.8720E-02	3.8913E-02
74	2.6699E-02	4.4319E-02	3.1926E-02	3.1347E-02	1.5245E-02	3.2585E-02
80	1.9968E-02	3.5912E-02	2.5396E-02	2.4986E-02	1.1384E-02	2.5325E-02
90	1.2779E-02	2.5709E-02	1.7784E-02	1.7542E-02	7.2709E-03	1.7182E-02
100	8.5054E-03	1.8734E-02	1.2766E-02	1.2616E-02	4.8324E-03	1.2036E-02
110	5.8503E-03	1.3876E-02	9.3556E-03	9.2583E-03	3.3203E-03	8.6528E-03
120	4.1360E-03	1.0422E-02	6.9727E-03	6.9072E-03	2.3452E-03	6.3529E-03
140	2.2122E-03	6.1181E-03	4.0513E-03	4.0189E-03	1.2528E-03	3.6111E-03
160	1.2693E-03	3.7578E-03	2.4722E-03	2.4546E-03	7.1816E-04	2.1704E-03
180	7.6792E-04	2.3966E-03	1.5696E-03	1.5594E-03	4.3415E-04	1.3626E-03
200	4.8381E-04	1.5759E-03	1.0286E-03	1.0225E-03	2.7336E-04	8.8545E-04
220	3.1453E-04	1.0640E-03	6.9262E-04	6.8873E-04	1.7760E-04	5.9184E-04
250	1.7196E-04	6.1302E-04	3.9766E-04	3.9563E-04	9.7015E-05	3.3657E-04
280	9.7189E-05	3.6551E-04	2.3633E-04	2.3524E-04	5.4763E-05	1.9824E-04
310	5.5663E-05	2.2294E-04	1.4366E-04	1.4306E-04	3.1316E-05	1.1932E-04
350	2.6004E-05	1.1726E-04	7.5153E-05	7.4901E-05	1.4580E-05	6.1422E-05
400	8.4491E-06	5.1661E-05	3.2803E-05	3.2739E-05	4.6852E-06	2.6005E-05
450	6.9294E-07	2.0328E-05	1.2777E-05	1.2776E-05	3.6744E-07	9.6627E-06
500	3.0842E-06	5.3911E-06	3.8703E-06	3.8162E-06	1.8102E-06	3.6588E-06
600	5.1753E-06	7.5951E-06	5.6646E-06	5.5460E-06	2.9729E-06	6.0057E-06
700	5.0533E-06	9.6061E-06	6.7251E-06	6.6284E-06	2.8931E-06	6.5806E-06
800	4.4291E-06	9.1090E-06	6.2847E-06	6.2049E-06	2.5333E-06	6.0095E-06
900	3.7608E-06	7.9677E-06	5.4699E-06	5.4037E-06	2.1506E-06	5.1856E-06
1000	3.1680E-06	6.7777E-06	4.6457E-06	4.5905E-06	1.8118E-06	4.3911E-06

## References

- [1] Hubbell, J.H., Veigele, W.J., Briggs, E.A., Brown, R.T., Cromer, D.T., Howerton, R.J., Atomic form factors, incoherent scattering functions, and photon scattering cross sections, **Journal of Physical and Chemical Reference Data**, 4, 471-538, (1975).

- [2] Hubbell, J.H., Øverbø, I., Relativistic atomic form factors and photon coherent scattering cross sections, **Journal of Physical and Chemical Reference Data**, 8, 69-105, (1979).
- [3] Schaupp, D., Schumacher, M., Smend, F., Rullhusen, P., Hubbell, J.H., Small-angle Rayleigh Scattering of Photons at High Energies: Tabulations of Relativistic HFS Modified Atomic Form Factors, **Journal of Physical and Chemical Reference Data**, 12, 467-512, (1983).
- [4] Bradley, D.A., Ghose, A.M., Total-atom differential coherent-scattering cross section measurements on Sn and Pb using moderate-energy  $\gamma$  rays, **Physical Review A**, 33, 191-204, (1986).
- [5] Bradley, D.A., Gonçalves, O.D., Kane, P.P., Measurements of photon-atom elastic scattering cross-sections in the photon energy range 1 keV to 4 MeV, **Radiation Physics and Chemistry**, 56, 125-150, (1999).
- [6] Bradley, D.A., Roy, S.C., Kissel, L., Pratt, R.H., Anomalous scattering effects in elastic photon-atom scattering from biomedically important elements, **Radiation Physics and Chemistry**, 56, 175-195, (1999).
- [7] Eichler, J., de Barros, S., Gonçalves, O., Gaspar, M., Comparison of Compton and Rayleigh scattering at 145 keV, **Physical Review A**, 28, 3656-3658, (1983).
- [8] İçelli, O., Erzenoğlu, S., Coherent scattering of 59.5 keV  $\gamma$ -rays by  $^{79}\text{Au}$  through angles from  $451^\circ$  to  $1251^\circ$ , **Spectrochimica Acta Part B**, 56, 331-335, (2001).
- [9] Kane, P.P., Elastic scattering of gamma rays and X-rays, **Radiation Physics and Chemistry**, 74, 402-410, (2005).
- [10] Kane, P.P., Mahajani, J., Basavaraju, G., Priyadarsini, A.K., Scattering of 1.1732- and 1.3325 MeV gamma rays through small angles by carbon, aluminum, copper, tin, and lead, **Physical Review A**, 28, 1509-1516, (1983).
- [11] Kissel, L., RTAB: the Rayleigh scattering database, **Radiation Physics and Chemistry**, 59, 185-200, (2000).
- [12] Kissel, L., Pratt, R.H., Roy, S.C., Rayleigh scattering by neutral atoms, 100 eV–10 MeV, **Physical Review A**, 22, 1970-2004, (1980).
- [13] Nayak, N.G., Siddappa, K., Experimental atomic form factors of some rare earth and heavy elements by coherent scattering of 145.4 keV gamma rays, **Radiation Physics and Chemistry**, 71, 673-675, (2004).
- [14] Roy, S.C., Kissel, L., Pratt, R.H., Elastic photon scattering at small momentum transfer and validity of form-factor theories, **Physical Review A**, 27, 285-290, (1983).
- [15] Roy, S.C., Zhou, B., Kissel, L., Pratt, R.H., Rayleigh scattering and form factors, **Indian Journal of Physics B**, 67, 481-496, (1993).
- [16] Roy, S.C., Kissel, L., Pratt, R.H., Elastic scattering of photons, **Radiation Physics and Chemistry**, 56, 3-26, (1999).
- [17] Siddappa, K., Nayak, N.G., Balakrishna, K.M., Lingappa, N., Experimental studies on atomic form factors at  $4.808\text{-}\text{\AA}^{-1}$  photon momentum transfer, **Physical Review A**, 39, 5106-5110, (1989).
- [18] Zhou, B., Pratt, R.H., Calculation of Anomalous scattering for ions and atoms, **Physica Scripta**, 41, 495-498, (1990).
- [19] Böke, A., Calculation of the total Rayleigh scattering cross sections of photons in the energy range of 30-50 keV for Nb and Mo elements, **Radiation Physics and Chemistry**, 80, 609-613, (2011).
- [20] Böke, A., Linear attenuation coefficients of tissues from 1 keV to 150 keV, **Radiation Physics and Chemistry**, 102, 49-59, (2014).

- [21] Böke, A., The effect of molecular interference on coherent scattering, **Journal of Balıkesir University Institute of Science Technology**, 19 (2), 123-136, (2017a).
- [22] Böke, A., The photon interaction cross sections of human cortical bone tissue, **Chinese Journal of Physics**, 55, 2165–2172, (2017b).
- [23] Böke, A., Coherent X-ray scattering data for plastics, **Journal of Balıkesir University Institute of Science Technology**, 21 (1), 217-222, (2019).
- [24] Böke, A., Gencer, D., The photon interaction cross sections of blood, **Chinese Journal of Physics**, 58, 58-62, (2019).
- [25] Poletti, M.E., Gonçalves, O.D., Mazzaro, I., X-ray scattering from human breast tissues and breast-equivalent materials, **Physics in Medicine and Biology**, 47, 47-63, (2002).
- [26] Midgley, S.M., Measurements of the X-ray linear attenuation coefficient for low atomic number materials at energies 32-66 and 140 keV, **Radiation Physics and Chemistry**, 72, 525-535, (2005).
- [27] Berger, M.J., Hubbell, J.H., **XCOM:photon cross sections on a personal computer**, NBSIR 87-3597, Washington, DC:NBS, (1987).
- [28] Hubbell, J.H., Seltzer, S.M., **Tables of X-ray mass attenuation coefficients and mass energy absorption coefficients 1 keV to 20 MeV for elements Z=1 to 92 and 48 additional substances of dosimetric interest**, Report NISTIR 5632, (1995).
- [29] Tartari, A., Casnati, E., Bonifazzi, C., Baraldi, C., Molecular differential cross sections for x-ray coherent scattering in fat and polymethyl methacrylate, **Physics in Medicine and Biology**, 42, 2551-2560, (1997).
- [30] Theodorakou, C., Farquharson, M.J., Human soft tissue analysis using x-ray or gamma-ray techniques, **Physics in Medicine and Biology**, 53, R111-R149, (2008).
- [31] Kim, Y.S., Human Tissues: Chemical Composition and Photon Dosimetry Data, **Radiation Research**, 57, 38-45, (1974).

# Use of oriental spruce gum (*Picea orientalis* (L.) Link) in gluten-free milk- based dessert

Berrak DELİKANLI KIYAK<sup>1,\*</sup>, Tülay ÖZCAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bursa Uludağ University, Department of Food Processing, Vocational School of Iznik, Bursa.

<sup>2</sup> Bursa Uludağ University, Department of Food Engineering, Bursa

Geliş Tarihi (Received Date): 11.10.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 28.06.2024

## Abstract

*In this research, the usability of oriental spruce gum (Picea orientalis (L.) Link) as a texture improver in the production of gluten-free milk-based pudding was investigated. The produced custards were investigated in terms of color, texture, and sensorial properties. As a result, it was detected that oriental spruce gum usage in production of milk-based custard was not liked due to sensorial acceptability despite the development of the technological properties of the product in terms of physical and chemical properties. Moreover, it was detected that the product's attractiveness in terms of taste and visual is less than the control sample. However, the use of the addition of subye in production in innovation studies can contribute to increasing awareness in the literature and providing product diversity, especially for celiac patients.*

**Keywords:** Functional food, gluten-free food, dairy dessert, custard, oriental spruce gum.

## Glutensiz süt bazlı tatlıda Çam sakızının (*Picea orientalis* (L.) Link) kullanımı

## Öz

*Bu araştırmada, çam sakızının (Picea orientalis (L.) Link) glutensiz süt bazlı muhallebi üretiminde tekstür geliştirici olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Üretilen muhallebiler renk, tekstür ve duyuşal özellikler açısından incelenmiştir. Sonuç olarak süt*

\*Berrak DELİKANLI-KIYAK, bdelikanli@uludag.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0001-8093-3369>

Tülay Özcan, tulayozcan@uludag.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-0223-3807>

*bazlı muhallebi üretiminde çam sakızı kullanımının fiziksel ve kimyasal özellikler açısından ürünün teknolojik özelliklerini geliştirmesine rağmen duyuşsal kabul edilebilirlik açısından beğenilmediği tespit edilmiştir. Ayrıca ürünün hem dış görünüş hem de lezzet açısından çekiciliğinin kontrol örneğine kıyasla daha az olduğu da saptanmıştır. Ancak üretimde subye ilavesinin inovasyon çalışmalarında kullanımı ile literatürde farkındalığın artmasına ve özellikle çölyak hastalarına yönelik ürün çeşitliliğinin sağlanmasına katkı sağlayabileceği düşünölmektedir*

**Anahtar kelimeler:** *Fonksiyonel gıda, glutensiz gıda, sütlü tatlı, muhallebi, çam sakızı*

## 1. Introduction

Nowadays, consumers' preferences in food consumption have changed depending on the differentiation in their lifestyles and more conscious consumption habits are formed. Societies show different tendencies towards functional foods [1]. This is why they are not seen as a single, well-defined, or strictly defined foods; many foods can be considered functional. Among the studies on functional food products, those related to dairy products have an essential place. Dairy desserts, evaluated within the scope of dairy products, constitute the invariable flavors of traditional Turkish cuisine. Custard, rice pudding, and kazandibi are the most well-known and preferred milk desserts.

Custard is a dispersed milk dessert consisting of oil globulins and starch granules stabilized by membrane-containing proteins and water [2]. A starch-based milk dessert, custard is widely consumed in the dairy dessert category in various parts of the world. Nowadays, with the widespread production of varieties of industrial milk desserts, there is an excellent increase in custard consumption. This increase is likely due to the acquiring new sensory properties using various colorants, probiotics, and aromas [3].

Although the nutritional habits of every society in the world differ, cereal products are the most fundamental source of all these nutrition types. However, they also play a critical role in the forming some diseases. With the consumption of cereals containing gluten, reactions arising from this protein occur in the digestive system, and food intolerances occur due to the difficulty of absorption in the intestine. One of these food intolerances is celiac disease. Celiac disease is an absorption disorder that occurs when consuming of foods containing gluten [4]. Nowadays, reasons such as advances in the diagnosis of disease make ready-made food products that can be used in gluten-free diet applications a potential market [5,6].

The dairy industry, in particular, is where it is expected to turn it into functional products. In this context, milk desserts in the dairy industry are considered a product group in which only little research has been done. However, the production conditions' physical, chemical, and textural properties must be investigated. It is possible to gain new functional qualities by changing the primary raw materials used in custard production, one of the simplest types of milk desserts. For this purpose, making the thickening process in industrial custard production with rice pulp called "subye" instead of starch is becoming increasingly common nowadays [3]. In addition, one of the main factors taken into consideration during new product development in order to increase product diversity and add functional quality to the product; is to provide solutions to be taken to eliminate serum separation that directly affects consumer preference. It is known that various gums

and hydrocolloids are used due to their water-binding properties in custard production to reduce serum separation and improve their textural properties. However, while improving the textural features, gaining new sensory qualities is also among the targets. An example of custard developed for this purpose is custard with mastic gum. Using spruce gum in custard production to develop alternative products and increase product diversity is suitable for gaining new sensory properties in terms of taste and color and for improving textural properties.

Oriental spruce (*Picea orientalis* (L.) Link), one of the leading tree species of our country, naturally spreads in the Eastern Black Sea Region and the Caucasus Mountains. In our country, spruce forests start from the Melet Stream in the east of Ordu Province and extend to Posof along the northern slopes of the Eastern Black Sea Mountains [7]. In general, the gum and resin parts are used and these parts contain tannin and their own essence [8]. It is known that spruce gum, which has a sticky feature obtained from the slits in the trunks of spruce trees, has a yellow honey color and dark consistency, sharp smell, bitter, crystalline appearance, softens when heated, dissolves easily in turpentine and many other solvents (Figure 1). In addition, the high nutritional properties of spruce gum, with its rich chemical composition, allow it to be used to treat many diseases, such as bruises, skin diseases, wounds, diabetes, and stomach ulcers [9].



Figure 1. Oriental Spruce (*Picea orientalis* (L.) Link) gum

In this research, custard was produced to investigate the usability of spruce gum as a textural agent. Subye was used in its production to help custard to reach a more preferable level in terms of health. Afterward, gum custards were produced using oriental spruce gum (*Picea orientalis* (L.) Link), and the desserts were examined in terms of color, texture, and sensory properties. The statistical evaluation of the data obtained at the end of the study ensured that the critical differences between the control and spruce gum custard samples in terms of the examined properties were revealed, and the applicability of spruce gum in custard production was investigated.

## 2. Material and method

Pasteurized cow's milk, rice, sugar, and eggs used as raw materials in production are commercially available from the market; spruce gum was obtained from Gursu Baharat



Caravan (Bursa, Türkiye). In the production of control and spruce gum custard, 200 g plastic container packages were used as packaging material.

In this research, the production of custard samples was carried out in Unpa Patisseries (Bursa, Turkey) according to flow diagram given in Figure 2. Five different custards, including the control, were produced by adding 0.2%, 0.35%, 0.5% and 1% spruce gum.

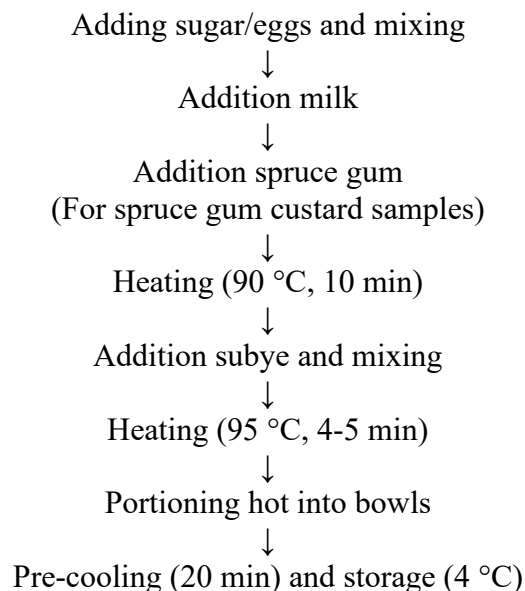


Figure 2. Custard production flow chart

Color determination analyzes samples performed with MSEZ-4500L HunterLab (Virginia, USA) device by making separate measurements in 3 different repetitions. Hunter color values are expressed as a triple scale of “*L, a, b*”. These values were expressed as  $L=100$ : white,  $L=0$ : black;  $+a$ :red,  $-a$ :green;  $+b$ :yellow, and  $-b$ :blue.

Instrumental textural properties of the samples were reported by Dokoohaki et al. [10] method was determined by modification. The method was based on texture profile analysis (TPA) and was carried out using a Texture-Analyzer-TA-Plus (Lloyd Instruments) device, using a 5 kg-load-cell and a specific cylinder-probe. Each sample was filled into 200 g plastic-cups with a depth of 5 cm and the analysis was carried out at 25°C. In the analysis in which two suppressions were applied, the suppression process was achieved by immersing the 20 mm diameter cylinder probe into the sample at a rate of 75% at a crosshead speed of 0.1 mm/s. Calculation of parameters that give information about the textural properties of samples from the power-time graphs obtained according to the TPA technique was made by Texture Exponent 32 (2007) software (Stable Micro Systems, Godalming, UK). Evaluated parameters were measured as hardness (g), cohesiveness, adhesiveness (gs), and gumminess.

A group of 7 trained panelists conducted a sensory analysis to test the consumption quality of samples [11]. Custard samples, which were kept at 4°C for sensory analysis, were taken from this temperature and presented to the panelists in 200 g plastic-cups. Custard samples were examined in terms of “Appearance”, “Taste”, “Smell”, “Texture”, and “General Taste” and 1-5 points system was used for each analysis.

Analysis of variance (ANOVA) was applied to determine the differences in the data obtained as a result of analyses applied to investigate the use of gum in custard production. A comparison of the significant differences between the means taken for the sources of variation was performed with the Fisher LSD test. A value of  $p < 0.05$  was used for differences between groups (control and custard varieties with different gum ratios).

### 3. Results and discussion

Color value is an essential parameter affecting consumers' food preferences [12]. Three different mathematical measurement criteria such as  $L$ ,  $a$ , and  $b$  were used to determine the color values of the samples, and when the variance analysis results were evaluated in line with the applied statistical analysis, the difference between the  $L$ ,  $a$ , and  $b$  values of the custard samples was determined to be at the level of  $p < 0.01$  statistically in terms of the interaction of the custard variety with different gum ratios (Figure 3). The white color of milk is the result of the presence of colloidal particles, such as milk fat globules and casein micelles, that can diffuse light within the visible spectrum [13]. If the  $L$  value, considered as a brightness measurement criterion, is 100, it indicates white color and 0 indicates black color [14]. The high  $L$  value of the control sample compared to the custard varieties with different gum ratios shows that its whiteness and brightness are higher compared to the other samples. It is thought that this is due to the fact that the original color of the dessert is close to white. When the control and gum custard samples were examined as two different groups, it was determined that custard-containing spruce gum had lower  $L$  values compared to the control sample. It is thought that this is due to the dark color of the added gum and the low  $L$  values are an expected result. When the control and spruce gum custard samples were examined as two different groups, it was determined that custard containing gum had lower  $a$  and higher  $b$  values compared to the control sample. It is thought that this is due to the color pigments in the added gum's composition, which is an expected result.

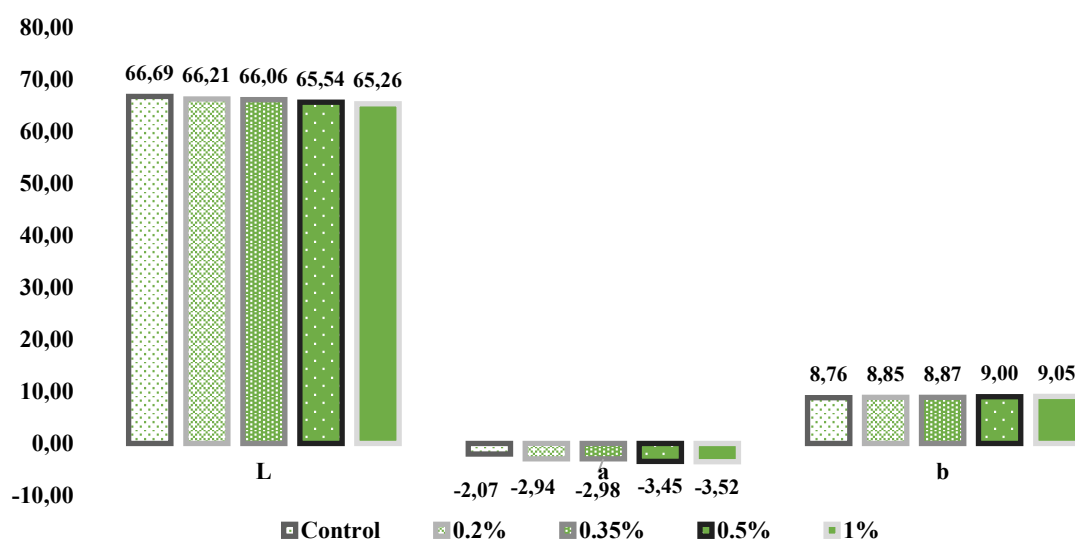


Figure 3. Color values of control and spruce gum custard samples

Textural properties are a quality criterion in which foods' structural, mechanical, and surface properties are determined by sight, hearing, touch, and kinesthetic means; they also determine the type and quality level of food [15].

Hardness can resist any effect applied to foods [16]. The hardness value is considered as the most critical texture parameter that provides information about the quality of dairy products and the acceptability of the product [17]. When the applied statistical analysis evaluated the hardness value of the samples, the hardness value of the samples was found to be statistically significant at the  $p < 0.01$  level in terms of the interaction of the custard samples (control and custard varieties with different gum ratios) (Figure 4). It has been determined that the hardness value of the samples also tends to increase depending on the increase in the gum ratio. This is because gum thickens by interacting with the casein micelles in milk [18]. Nunes et al. [19] in their study in which they examined the textural properties of 8 different combinations of milk desserts produced using milk and pea, lupine and soy protein isolates, and  $\kappa$ -carrageenan and gellan gum and found that the gel formed by milk and  $\kappa$ -carrageenan showed higher hardness properties than plant-based ones. In addition, the researchers stated that the gelation process involves a highly specific interaction with the formation of an electrostatic bridge between  $\kappa$ -carrageenan and  $\kappa$ -casein. On the other hand, Garayev [20] emphasized that increasing gum concentrations increase the firmness of dairy desserts in his study on the development of lactose-free milk desserts.

The cohesiveness is defined as the ratio of the positive area after the second compression applied in the texture analysis to the positive area after the first compression [21]. The high cohesiveness value in the texture analysis indicates that the food has a stronger gel structure [22]. When the applied statistical analysis evaluated the cohesiveness values of samples, the cohesiveness value of the custard samples was found to be statistically significant at the  $p < 0.01$  level in terms of the interaction of the custard samples (control and custard varieties with different gum ratios) (Figure 4). It was determined that the cohesiveness value of the samples also tended to increase depending on the increase in the gum ratio. It is thought that this situation is due to the effect of the textural properties of samples due to the interactions between the gum and casein used in production. Gupta et al. [23] determined that the using modified amaranth starch in pudding production caused an increase in the internal stickiness, chewiness, and flexibility values of puddings. Garayev [20] on the other hand, in his study on the development of lactose-free milk dessert, determined that increasing gum concentrations increased the bond formation between starch and gum, resulting in a more branched structure and stronger gel formation. In another study conducted by Kadagan [24], the effect of storage time and different formulations on the internal cohesiveness values of the keskul samples was found to be statistically significant. In addition, Depypere et al. [25] examined the rheological properties of milk desserts containing  $\kappa$ -carregen (0.05-0.27% and 0.50), skimmed milk powder (5-10-9.55-7.39%), corn starch (0.5-2.89-5.50-5.05), water, sucrose at different concentrations; they found that the cohesiveness values of desserts varied in the range of 0.41-0.68. The values obtained in this study are similar to those determined in our study.

Adhesiveness is defined the negative force field after the first compression [26]. When the applied statistical analysis evaluated adhesiveness value of the samples, the adhesiveness value of the samples was found to be statistically significant at the  $p < 0.01$

level in terms of the interaction of the custard samples (control and custard varieties with different gum ratios) (Figure 4). It was determined that the adhesiveness value of the samples also tended to decrease depending on the increase in the spruce gum ratio. This is thought to be due to the hydrophobic and electrostatic interaction between the added spruce gum and the other ingredients used in the formulation. In addition, high adhesiveness values reflect more relationship with the probe surface and thus provide information about the bonding properties of desserts [27]. Cardarelli et al. [28] determined the outer s adhesiveness values of chocolate mousse dessert enriched with inulin between 0.792-0.956. Tester and Somerville [29] on the other hand, investigated the effects of gums on starch gelatinization, water absorption and enzymatic hydrolysis, and found that water molecules that prevent gelatinization showed less mobilization and attributed this to the water binding capacity of gums.

Gumminess is the breaking force required to make a semi-solid food ready to be swallowed and is considered an important parameter only in semi-solid foods [30]. When the gumminess values of samples were evaluated in accordance with the applied statistical analysis, the gumminess value of the samples was found to be statistically significant at the  $p < 0.01$  level in terms of the interaction of the custard samples (control and custard varieties with different gum ratios) (Figure 4). It was determined that the gumminess value of the samples also tended to increase depending on the increase in the gum ratio. This is thought to be due to the interaction between milk proteins and gum. In addition, the gumminess value; since it is obtained by multiplying the cohesiveness and hardness values, it shows a similar change with the hardness values. In the study conducted by Kadagan [24], the effect of different formulations and time on the gumminess results of the keskul samples was determined to be statistically significant ( $p < 0.05$ ). Milani and Koocheki [31], on the other hand, in their study examining the addition of date syrup and guar gum in low-fat frozen yogurt in terms of physicochemical, rheological, and sensory properties, found that the control (without gum) sample showed less gumminess than the samples containing gum.

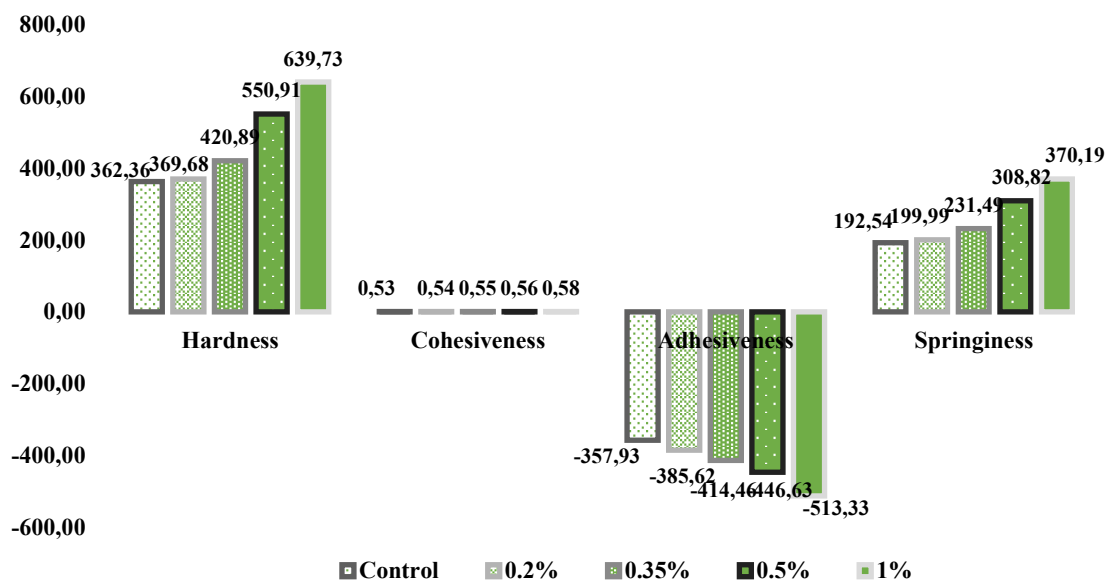


Figure 4. Texture values of control and spruce gum custard samples

Sensory analysis is a method that enables the grading of food's color, odor, consistency, etc. properties of foods through our basic five sense organs [32].

All samples were evaluated according to their natural color intensity and brightness, smooth surface area, and homogeneous consistency. The appearance values of the samples were found to be statistically significant at the  $p < 0.01$  level depending on the interaction of the custard samples (control and custard varieties with different gum ratios) (Table 1). Researchers think that the appropriate appearance and color value in foods increases the consumption and purchasing potential of foods [33]. In this context, when the examples are evaluated, the panelists determined that as the gum concentration increased, lower scores were given to the custard samples. Non-homogeneous color distributions were detected on the dessert surface. It is thought that this is because the added spruce gum does not meet the expected characteristics of custard, depending on its unique color.

All samples were evaluated considering the unique taste and aroma of the custard, the presence of dominant vegetable oil and cream, and its cooked and bland taste. The taste values of samples were found to be statistically significant at the  $p < 0.01$  level depending on the interaction of the custard samples (control and custard varieties with different gum ratios) (Table 1). Compared to the control group, samples with spruce gum were found to have lower taste values. It is thought that this is because the existing aroma of the added spruce gum is not liked due to the suppression of the unique flavor of the custard. The biochemical composition of the custard, the additives used, and the production method affect the sensory quality, especially the taste value. In this context, spruce gum has its unique flavor feature and can cause differences in the flavors of the products it is added to its composition. It was determined by the panelists that lower evaluation scores were given with the increase in the amount of concentration in the taste values of the spruce gum custard samples. It was also emphasized that custard samples with spruce gum left a bitter taste in the throat together with a dominant spruce aroma in the mouth.

Samples were evaluated considering the unique odor of custard as odor value. When the variance analysis results were evaluated, the difference between the odor values of the samples was found to be statistically significant at the  $p < 0.01$  level depending on the interaction of the custard samples (control and custard varieties with different gum ratios) (Table 1). It was determined that spruce gum custard samples had lower odor values compared to the control group. It is thought that this is because the unique sharp smell of the added spruce gum is not liked. After all, it suppresses the unique smell of custard.

Samples were evaluated according to their texture (feel in the mouth), full consistency, smooth structure, stickiness, sandiness, creaminess, and homogeneity in the mouth section. When the analysis of variance results was evaluated, the difference between the texture (feel in the mouth) values of the samples was found to be statistically significant at the  $p < 0.01$  level, depending on the interaction of the custard samples (control and custard varieties with different gum ratios) (Table 1). Compared to the control group, it was determined that the spruce gum custard samples had lower scores, and as the concentration ratio increased, the samples were rougher, stickier and had no creamy structure.

Samples were evaluated for general acceptability by considering all sensory parameters. When the analysis of variance was evaluated, the difference between the general

acceptability values of the samples was found to be statistically significant at the  $p < 0.01$  level, depending on the interaction of the custard samples (control and custard varieties with different gum ratios) (Figure 5). In addition, it was determined that samples had a lower overall acceptability value compared to the control sample. Consumers may find acceptability of custard samples low due to the decrease in the average scores of the general acceptability value, especially when the spruce gum content is higher than 0.2%.

Table 1. Sensory evaluation results of control and spruce gum custard samples

Custard Type	Appearance	Taste	Smell	Texture
Control	5,00 <sup>a</sup>	5,00 <sup>a</sup>	5,00 <sup>a</sup>	5,00 <sup>a</sup>
0.2%	5,00 <sup>a</sup>	4,50 <sup>b</sup>	5,00 <sup>a</sup>	4,93 <sup>b</sup>
0.35%	5,00 <sup>a</sup>	3,50 <sup>c</sup>	5,00 <sup>a</sup>	4,73 <sup>b</sup>
0.5%	4,97 <sup>b</sup>	3,00 <sup>d</sup>	4,67 <sup>b</sup>	4,50 <sup>c</sup>
1%	4,63 <sup>c</sup>	3,00 <sup>d</sup>	4,67 <sup>b</sup>	4,17 <sup>d</sup>
<b>ANOVA</b>				
<b>Custard Type</b>	**	**	**	**

(\*\*) Significant at the  $p < 0.01$  level

(\*) Means marked with the same lowercase letter are not statistically different from each other

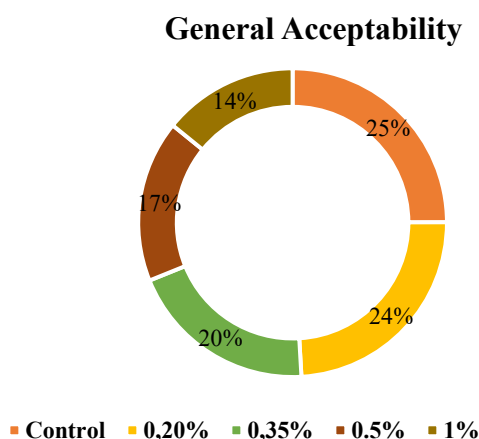


Figure 5. General acceptability values of control and spruce gum custard samples

As a result, considering the feedback, it is thought that although the use of spruce gum in the production of custard is evaluated in terms of appearance, taste, smell, visual consistency, consistency in the mouth, stickiness and general taste, it is advantageous in terms of physical, chemical and technological properties, but it may be insufficient in terms of sensory acceptance. For this reason, it is possible to say that the attractiveness of the product in terms of both visual and taste is lower than competing products. Consistent with the present study results, Qasem et al. [34] stated that when the pudding samples prepared by adding okra gum extract at different rates (0, 2, 4, 6 and 8%) were evaluated in terms of sensory, lower scores were given with the increase in the amount of okra gum added to the dessert samples. Rahim and Ova [35] on the other hand, stated that as the amount of saffron added in the pudding samples they produced by adding saffron increased, the general taste from sensory properties increased. Similarly, in the study conducted by Kadagan [24], it was determined that the experiments they conducted

on milk dessert samples had a statistically significant effect on the taste and odor scores. In the study carried out by Ayar et al. [36] the effect of salep, which is gum in fig dessert, on the storage stability was investigated. In the sensory evaluation made in the study, it was determined that the sweets with added salep have higher taste values than the sweets without salep; however, it was found that this effect was not statistically significant. According to Santonico et al. [37] to evaluate the flavor characteristics of custard produced using skimmed and whole milk, it was determined that strawberry flavor was perceived more intensely in the skimmed custard sample.

#### 4. Conclusion

Milk desserts are actually not much-researched in the field; however, they are seen as a sector that needs to be examined in terms of production conditions, especially in terms of physical, chemical and textural properties. It is thought that the most common problems in milk desserts offered for consumption in the market are related to textural properties. In order to eliminate these problems, many texture agents have been included in the research. For this purpose, in our research, custard with spruce gum was produced in order to investigate its usability as a textural agent in custard in this direction to ensure that custard, which has an important place in milk desserts, becomes preferable in terms of health; in its production, it was ensured that it did not contain gluten by using subye, and afterward, the custard was produced using spruce gum. In addition to providing product diversity with this addition; it is thought that the use of the subye technique, which is more widely known in the Black Sea Region, in innovation studies can also contribute to increasing the awareness of this technique by taking its place in the literature. This situation may effectively provide product diversity, especially for celiac patients.

#### References

- [1] Vural A. Functional foods and their effects on health. **Animal Feed Science and Technology**, 6, 51–58, (2004).
- [2] Tarrega A, Costell E. Effect of composition on the rheological behaviour and sensory properties of semi-solid dairy dessert. **Food Hydrocolloids**, 20, 914–922, (2006).
- [3] Bakan R. Evaluation and innovation of dairy desserts in Turkish cuisine, Master Thesis, Pamukkale University Institute of Social Sciences, Denizli, Türkiye, (2021).
- [4] Yoosuf S, Makharia GK. Evolving therapy for Celiac disease. **Frontiers in Pediatrics**, 7, 193, (2019).
- [5] Makovicky P, Makovicky P, Caja F, Rimarova K, Samasca G, Vannucci L. Celiac disease and gluten-free diet: Past, present, and future. **Gastroenterology and Hepatology from Bed to Bench**, 13, 1–7, (2020).
- [6] Erul L, Ozbay M, Ozcan T. Traditional foods and gut microbiota in gluten-free diet, 5th Traditional Foods Symposium, 24–26 November (Poster Paper), (2022).
- [7] Konukcu M. Forests and Our Forestry. State Planning Organization, Publication and Representation Department, 2630, 238, (2001).
- [8] Eminagaoglu O. Natural Heritage-Camilli natural plants in Artvin. Promat IC, Istanbul, 376p, (2012).

- [9] Oz M. Chemical composition and antimicrobial properties of essential oils obtained from the resin of *Picea orientalis* L. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, 25, 326–337, (2022).
- [10] Dokoochaki ZN, Sekhavatizadeh SS, Hosseinzadeh S. Dairy dessert containing microencapsulated *Lactobacillus rhamnosus* (ATCC 53103) with quince seed mucilage as a coating material. **LWT - Food Science and Technology**, 115, 108429, (2019).
- [11] Laguna L, Rizo A, Pineda D, Pérez S, Gamero A, Tárrega A. Food matrix impact on oral structure breakdown and sandiness perception of semisolid systems including resistant starch. **Food Hydrocolloids**, 112, 106376, (2021).
- [12] Goldberg EM, Gakhar N, Ryland M, Gibson RA, House JD, Aliani D. Fatty acid profile and sensory characteristics of table eggs from laying hens fed hempseed and hempseed oil. **Journal of Food Science**, 77, 153–160, (2012).
- [13] Garcia-Perez FJ, Lario Y, Fernandez-Lopez J, Perez-Alvarez JA, Sendra E. Effect of orange fiber addition yogurt color during fermentation and cold storage. **Color Research and Application**, 30, 457–463, (2005).
- [14] Seo EH, Lee DY, Kim SG, Kim KW, Youn JC, Jhoo JH, Woo JI. Normative study of the Stroop Color and Word Test in an educationally diverse elderly population. **International Journal of Geriatric Psychiatry**, 23, 20–102, (2008).
- [15] Steele CM, Alsanei WA, Ayanikalath S, Barbon CEA, et al. The influence of food texture and liquid consistency modification on swallowing physiology and function: A systematic review. **Dysphagia**, 30, 2–26, (2015).
- [16] Chandra MV, Shamasundar BA. Texture profile analysis and functional properties of gelatin from the skin of three species of freshwater fish. **International Journal of Food Properties**, 18, 572–584, (2015).
- [17] Park YW, Oglesby J, Hayek SA, Aljaloud SO, Gyawali R, Ibrahim SA. Impact of different gums on textural and microbial properties of goat milk yogurts during refrigerated storage. **Foods**, 8, 169–117, (2019).
- [18] Zarzycki P, Ciołkowska AE, Jabłońska-Ryś E, Gustaw W. Rheological properties of milk-based desserts with the addition of oat gum and  $\kappa$ -carrageenan. **Journal of Food Science and Technology**, 56, 5107–5115, (2019).
- [19] Nunes MC, Batista P, Raymundo A, Alves MM, Sousa I. Vegetable proteins and milk puddings. **Colloids and Surfaces B**, 31, 21–29, (2003).
- [20] Garayev S. Development of lactose free dairy dessert, Master Thesis, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara, Türkiye, (2015).
- [21] Ozdemir T, Ozcan T. Effect of steviol glycosides as sugar substitute on the probiotic fermentation in milk gels enriched with red beetroot (*Beta vulgaris* L.) bioactive compounds. **LWT - Food Science and Technology**, 134, 109851, (2020).
- [22] Delikanli B, Ozcan T. Effects of various whey proteins on the physicochemical and textural properties of set type nonfat yoghurt. **International Journal of Dairy Technology**, 67, 495–503, (2014).
- [23] Gupta AK, Jha AK, Singhal S. Optimization of modification parameters for amaranth starch for the development of pudding and study of the quality traits of developed pudding. **Acta Alimentaria**, 50, 22–32, (2021).
- [24] Kadagan S. The use of hydrocolloids in the production of rice pudding, keşkül and kazandibi, Master Thesis, Pamukkale University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Food Engineering, Denizli, Türkiye, (2015).



- [25] Depypere F, Verbeken D, Torres JD, Dewettinck K. Rheological properties of dairy desserts prepared in an indirect UHT pilot plant. **Journal of Food Engineering**, 91:140–145, (2009).
- [26] Karaman S, Ozcan T. Determination of gelation properties and bio-therapeutic potential of black carrot fibre-enriched functional yoghurt produced using pectin and gum arabic as prebiotic. **International Journal of Dairy Technology**, 74, 505–517, (2021).
- [27] Megenis BR, Prudencio ES, Amboni RDMC, Cerquierra NGJ, Oliviera RVB, Soldi V, Benede HD. Compositional and physical properties of yogurt manufactured from whey and cheese concentrated by ultrafiltration. **International Journal of Food Science and Technology**, 41, 560–568, (2006).
- [28] Cardarelli HR, Aragon-Alegro LC, Alegro JHA, Castro IA, Saad SMI. Effect of inulin and *Lactobacillus paracasei* on sensory and instrumental texture properties of functional chocolate mousse. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 88, 318–324, (2008).
- [29] Tester RF, Sommerville MD. The effects of non-starch polysaccharides on the extent of gelatinization, swelling and alpha-amylase hydrolysis of maize and wheat starches. **Food Hydrocolloids**, 7, 41–54, (2003).
- [30] Nateghi L, Roohinejad S, Totosaus A, Mirhosseini H, Shuhaimi M, Meimandipour A, Omidzadeh A, Manap MYA. Optimization of textural properties and formulation of reduced fat cheddar cheeses containing fat replacers. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, 10, 45–54, (2012).
- [31] Milani E, Koocheki A. The effects of date syrup and guar gum on physical rheological and sensory properties of low fat frozen yoghurt dessert. **International Journal of Dairy Technology**, 64, 1, (2011).
- [32] Sarigul HB. A study on the widespread use of pistachio in the field of gastronomy: An example of pistachio jam. Master Thesis, Institute of Social Sciences, Department of Gastronomy and Culinary Arts, Gaziantep University, Gaziantep, Türkiye, (2019).
- [33] Granato D, Ribeiro JCB, Castro IA, Masson ML. Sensory evaluation and physicochemical optimization of soy-based desserts using response surface methodology. **Food Chemistry**, 121, 899–906, (2010).
- [34] Qasem AA, Alamri MS, Mohamed AA, Hussain S, Mahmood K, Ibraheem MA. High-soluble fiber pudding: formulation, processing, texture and sensory properties. **Journal of Food Process Engineering**, 41, 12931, (2017).
- [35] Rahim SC, Gulden OVA. Investigation of the changes in textural quality characteristics of puddings made using Iranian and Turkish saffron by objective and subjective methods. **Academic Food**, 14, 388–392, (2016).
- [36] Ayar A, Sert D, Akbulut M. Effect of salep as a hydrocolloid on storage stability of “İncir Uyutması” dessert. **Food Hydrocolloids**, 23, 62–71, (2009).
- [37] Santonico M, Pittia P, Pennazga G, Martinelli E, Bernabei M, Paolesse R, D’amico A, Compagnone D, Di-Natele C. Study of the aroma of artificially flavoured custards by chemical sensor array fingerprinting. **Sensors and Actuators B: Chemistry**, 133, 345–351, (2008).

# Edremit Körfezi (Balıkesir/Türkiye) nar bahçelerinde Akdeniz meyve sineği (*Ceratitis capitata* Wiedemann) (Diptera: Tephritidae)'nin farklı tuzak tipleriyle popülasyon dalgalanması ve zarar oranının belirlenmesi

Gonca VATANSEVER SAKİN\*

Balıkesir Üniversitesi, Edremit Meslek Yüksekokulu, Zeytincilik ve Zeytin İşleme Teknolojisi Programı, Edremit-Balıkesir

Geliş Tarihi (Received Date): 03.05.2024  
Kabul Tarihi (Accepted Date): 02.07.2024

## Öz

Çalışma 2022–2023 yıllarında Balıkesir ili Edremit Körfez Bölgesi'nde üç adet nar bahçesinde (Edremit/Çıkrıkçı, Havran/Tekke, Havran/İnönü), Akdeniz meyve sineği, *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae)'in popülasyon dalgalanmasının izlenmesi ve zarar oranının belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür. Popülasyon dalgalanmasının izlenmesinde; McPhail (DAP)+feromon, Decis ve Delta tipi feromon olmak üzere üç farklı tuzak kullanılmıştır. Tuzaklar Haziran başında asılmış, ekim sonu, kasım başı veya kasım sonuna kadar haftalık kontroller ile belirlenen sinek sayıları kaydedilmiştir. Çalışma periyodu süresince tüm tuzaklardaki toplam popülasyon 2022'de 150 adet iken 2023 yılında 6734'e yükselmiştir. 2022–2023 yıllarının genelindeki toplam çalışma periyoduna göre; Edremit/Çıkrıkçı'daki bahçede ergin yakalama ortalaması 2.08 adet/gün, Havran/Tekke'deki bahçede 19.06 adet/gün ve Havran/İnönü'deki bahçede 0.53 adet/gün olarak bulunmuştur. En fazla meyve dökümünün Havran/Tekke'deki bahçede olduğu gözlenmiştir. *C. capitata*'nın bahçelerdeki zarar oranını belirlemek için her iki yılda da eylül ve ekim aylarında vuruklu meyve kontrolleri yapılmıştır. İlk kontrollerde zarar oranları %0–7 arasında iken ikinci kontrollerde %10'a kadar yükselmiştir. En fazla zarar oranı 2022 yılında %4–7 ve 2023 yılında %7–10 aralığında olmak üzere Havran/Tekke'deki nar bahçesinde tespit edilmiştir. İki yıllık çalışma sonucunda Akdeniz meyve sineği erginlerinin en fazla yakalandığı tuzak %48.94 ile McPhail (DAP)+feromon iken, en az sayıda yakalandığı ise %15.02 ile Delta tipi feromon tuzak olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Edremit Körfez Bölgesi, *Ceratitis capitata*, nar, popülasyon dalgalanması, zarar oranı, farklı tuzak tipleri

\* Gonca VATANSEVER SAKİN, goncav@balikesir.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-1046-2455>

# Determination of population fluctuation of Mediterranean fruit fly (*Ceratitis capitata* Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) with different trap types and damage rate in Edremit Bay (Balıkesir/Turkey) pomegranate orchards

## Abstract

The study was carried out to monitor the population fluctuations of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) and to determine the damage rate in three pomegranate orchards (Edremit/Çikrikçi, Havran/Tekke, Havran/İnönü) in Edremit Gulf Region of Balıkesir province in 2022–2023. Three different traps, McPhail (DAP) + pheromone, Decis and Delta type pheromone, were used to monitor the population fluctuation. The traps were hung at the beginning of June and the number of flies was recorded with weekly controls until the end of October, early November or late November. During the study period, the total population in all traps increased from 150 in 2022 to 6734 in 2023. According to the total study period in 2022–2023, the average number of adults caught in the orchard in Edremit/Çikrikçi was 2.08 pieces/day, 19.06 pieces/day in Havran/Tekke and 0.53 pieces/day in Havran/İnönü. The highest number of fruit dropping was observed in the orchard in Havran/Tekke. In order to determine the damage rate of *C. capitata* in the orchards, fruit damage controls were carried out in September and October in both years. While the damage rates were between 0–7% in the first controls, they increased up to 10% in the second controls. The highest damage rate was found in the pomegranate orchard in Havran/Tekke, between 4–7% in 2022 and 7–10% in 2023. As a result of the two-year study, it was determined that the highest number of Mediterranean fruit fly adults were caught by McPhail (DAP) + pheromone trap with 48.94%, while the lowest number was caught by Delta type pheromone trap with 15.02%.

**Key words:** Edremit Bay Area, *Ceratitis capitata*, pomegranate, population fluctuation, damage rate, different trap types

## 1. Giriş

Ilıman ve tropik iklim meyveleri arasında yer alan nar (*Punica granatum* L. (Myrtales: Punicaceae) binlerce yıldır üretimi yapılan bir meyve türüdür. Farklı iklim ve toprak koşullarına kolay adapte olabilmesi nedeniyle Akdeniz havzası, Asya ve ABD gibi dünyanın birçok bölgesinde nar yetiştiriciliği yapılmaktadır [1]. Türkiye’de ise 50’den fazla ilde nar yetiştiriciliği yapılmakta ve 2023 yılı verilerine göre 14074278 adet meyve veren nar ağacından alınan ürün 638821 tondur [2]. Nar üretiminin yaklaşık %60’ı Akdeniz Bölgesi’nde, %24’ü Ege Bölgesi’nde, %14’ü Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde yapılmaktadır [3]. Balıkesir il genelinde 2023 yılı verilerine göre 926 dekar alanda 63590 adet meyve veren nar ağacı, ortalama 24 kg/ağaç verimi ve toplamda 1671 ton nar üretimi mevcuttur. Balıkesir’in Edremit Körfez Bölgesi’ndeki Havran ve Edremit ilçeleri ise 2023 yılı itibarıyla toplamda 27 590 adet meyve veren ve vermeyen nar ağacına sahip olup, bölgede yetişen hicaz, kuzu dişi, deve dişi ve kara nar çeşitleri üretici açısından ekonomik getirisi yüksek sayılabilecek meyveler arasındadır. Havran ve Edremit’te meyve veren nar ağacı sayısı, meyvelik alan, verim ve üretim miktarları sırasıyla; 19 690

ve 7400 adet, 182 ve 110 dekar, 25 ve 50 kg/ağaç, 492 ve 370 tondur [2]. Dünyada sağlıklı beslenme bilincinin artması nedeniyle birçok gıda ve bu gıdaların fonksiyonel bileşenleri üzerine yapılan çalışmalar artmaktadır. Nar, antioksidanlar, polifenolik maddeler ve C vitamini içeriğinden kaynaklanan özellikleri nedeniyle sağlıklı gıdalar arasında yerini almıştır. Yapılan çalışmalarda nar içeriğindeki bu bileşiklerin vücutta birçok hastalığı önlemede önemli bir rolü olduğu ortaya konulmuştur [4, 5]. İnsan sağlığı açısından birçok faydası bulunan narın en önemli problemlerinden biri ise ürün ve kalite kaybına neden olan zararlı ve hastalıklardır. Bu zararlıların en önemlilerinden biri de Akdeniz meyve sineği, *Ceratitis capitata* Wied. (Diptera: Tephritidae)'dır [1, 6-10]. *Ceratitis capitata*, dünyada ılıman ve tropikal bölgelerde yetiştirilen turunçgiller, taş ve yumuşak çekirdekli meyveler gibi 300'den fazla meyve ve sebze zarar veren polifag bir zararlıdır [11-13]. Türkiye için de önemli bir karantina zararlısı olan *C. capitata*, turunçgiller, kayısı, şeftali, zerdali, erik, elma, ayva, yenidünya, nar, muz, Trabzon hurması, nektarin, hünnap ve incir gibi meyvelerde ciddi kayıplara neden olduğu belirlenmiştir [9, 10, 14-17]. Diğer meyve sineklerine oranla, serin iklim koşullarına daha iyi uyum sağlaması ve birçok meyve türüne zarar vermesi sebebiyle *C. capitata* oldukça önemli bir zararlı durumuna gelmiştir [18]. *Ceratitis capitata* ergin dişisinin yumurtasını direkt olarak meyve üzerine bırakmasıyla "vuruk" denilen ilk zarara neden olmaktadır. İlâveten yumurtadan çıkan larvalar, meyve içerisine girip burada beslenmeleri sonucunda narda ciddi kalite ve verim kaybına neden olurlar [19]. Üzerinde vuruk oluşan meyveler zaman içerisinde yumuşamaya başlar, çürür ve dökülürler. Hasat öncesinde oluşan bu zararın yanında, hasat sonrasındaki pazarlama aşamasında da zararlı ortaya çıkabilir. Dolayısıyla bu kadar önemli bir meyve zararlısı olan *C. capitata* popülasyonunun sürekli olarak baskı altında tutulabilmesi için gerekli olan mücadele yöntemlerinin aksatmadan uygulanması gerekmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda zararlının popülasyon takibi ve kitlesel mücadele yöntemlerinde farklı tuzak tiplerinin kullanılabilirdiği görülmektedir [9, 10, 20-22]. Ancak, bu farklı tuzak tiplerinin zararlı yakalama kapasitesi (verimi) ve etkinliği üzerinde yeterli sayıda çalışma olmadığı görülmüştür. Bu çalışmada, Balıkesir İli'nin merkez ve ilçeleri içerisinde en fazla nar yetiştiriciliği yapılan Havran ve Edremit ilçelerindeki örnek üç nar bahçesinde Akdeniz meyve sineğinin popülasyon dalgalanması farklı tuzak tipi kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca, bu bahçelerde *C. capitata*'nın meydana getirdiği zarar oranı hesaplanmıştır. Buna ek olarak, üç farklı tuzak tipinin zararlı erginlerini yakalama oranları üzerinde bir değerlendirme yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Çalışma alanı

Çalışma Balıkesir İli'nin batısında yer alan Edremit Körfez Bölgesi'nde 2022–2023 yıllarında Edremit ve Havran ilçelerindeki üç farklı nar bahçesinde yapılmıştır. Nar bahçeleri damlama veya salma yöntemleriyle sulanan taban arazilerinde bulunmaktadır. Her üç bahçede de "deve dişi" çeşidi nar bahçeleri seçilmiştir. Tüm bahçeler içerisinde yalnızca Edremit/Çıkrıkçı'daki bahçede *Ceratitis capitata* zararlısı ile mücadele için her iki çalışma yılının eylül ayının ikinci yarısında insektisit uygulaması yapılmıştır. Diğer bahçelerde insektisit veya zararlıya karşı diğer mücadele yöntemleri uygulanmamıştır. *Ceratitis capitata*'nın popülasyon dalgalanmasının izlendiği nar bahçeleri hakkında diğer bilgiler Tablo 1'de verilmiştir. Edremit/Çıkrıkçı'daki 1. bahçe ile Havran/Tekke'deki 2. bahçe arası mesafe 6.50 km, Havran/Tekke'deki 2. bahçe ile Havran/İnönü'deki 3. bahçe arasındaki mesafe ise 8.86 km'dir. Çalışma için seçilen bahçeler arasındaki toplam mesafe 15.36 km olup üç bahçe de Şekil 1'deki haritada sarı çizgiyle gösterilen düz bir hat üzerindedir. Bahçelerin rakımları ise sırasıyla 5, 23 ve 74 metredir.

Tablo 1. Nar bahçeleri hakkında bilgiler

Bahçe no ve ilçe/bölge	Koordinatlar	Büyükük	Ağaç Yaşı	Sulama	Bahçe tesisi	Çevre bahçeler
1) Edremit/Çıkrıkçı	N39°33'10.04'' E26°58'58.86''	17 903 m <sup>2</sup>	18	salma	kapama	zeytin, mısır boş tarla
2) Havran/Tekke	N39°33'44.03'' E27°03'27.66''	19 507 m <sup>2</sup>	21	damlama	nar, zeytin mandalina	mandalina, nar nektarin, zeytin
3) Havran/İnönü	N39°34'31.36'' E27°09'32.14''	16 125 m <sup>2</sup>	15	salma	nar, zeytin	zeytin, ceviz



Şekil 1. Deneme nar bahçelerinin harita üzerindeki gösterimi

## 2.2. *Ceratitis capitata* popülasyon dalgalanması ve meyvelerdeki zarar oranları

*Ceratitis capitata*'nın bölgedeki popülasyon dalgalanmasının belirlenmesi amacıyla üç farklı tuzak tipi denemiştir. Bunlar; %2'lik DAP (diamonyum fosfat) çözeltisi eklenmiş McPhail tipi feromon, Decis tuzak ve Delta tipi feromon tuzaklarıdır. Her üç tuzak da bahçelere birer adet olmak üzere 06.06.2022 ile 09.06.2023 tarihlerinde asılmış ve çalışma ürünler hasat edilinceye kadar sürdürülmüştür. Tuzaklar, çiçeklenme ve henüz meyve bağlama döneminde olmak üzere ağaçların güney-güneydoğu yönünde [10], yerden 1–1.5 metre yükseklikteki dallara, ikişer ağaç atlanarak asılmıştır. Haftalık kontroller ile tuzaklardaki *C. capitata* erginleri sayılarak kaydedilmiş ve her sayımdan sonra tuzaklardaki bireyler bir pens yardımıyla temizlenmiştir. Feromon tuzaklar üretici firma tarafından önerilen zamanlarda, DAP çözeltileri ise her hafta yenisi ile değiştirilmiştir. Nar bahçelerindeki zarar oranını belirlemedeki yöntem ise sırasıyla şu şekildedir. Her iki çalışma yılında da yaklaşık 3–4 hafta aryla ikişer kez vuruklu meyve kontrolü ve sayımı yapılmıştır. Bunun için bahçelerdeki hasat veya hasada yakın bir zamanda bahçeleri temsilen tesadüfi olarak seçilen ağaçlardan rastgele 100 adet meyve kontrol edilmiş ve *C. capitata* vuruğu sonucu zarar görmüş meyve sayıları kaydedilmiştir. Meyve üzerinde bir adet vuruk olsa dahi o meyve bulaşık (vuruklu) kabul edilmiştir. Her bahçe için tespit edilen vuruklu meyve sayıları zarar oranı olarak kabul edilmiştir [23].

### 2.3. İstatistik analizler

Farklı tuzak yöntemleriyle *C. capitata*'nın popülasyon dalgalanması, zarar oranı ve yıllara göre ergin sinek sayısı grafikleri MS Excel programında yapılmıştır. Tuzakların, çalışma yılına göre ergin yakalama kapasitelerine ait ortalamaların karşılaştırılması için ANOVA (Post-Hoc, LSD) testi uygulanmıştır. İstatistik analizlerde ise SPSS-24 programı kullanılmıştır.

## 3. Sonuçlar ve tartışma

Bu çalışma ile Edremit Körfez Bölgesi'nde aynı çeşitten en fazla nar yetiştiriciliği yapılan örnek iki lokasyondaki üç nar bahçesi için Akdeniz meyve sineği zararlısının ilk çıkış zamanı, popülasyonun en yüksek olduğu dönemler, yıllara göre zarar oranı ile hangi tuzak tipinin *C. capitata*'yı daha çok çektiği belirlenmiştir. Aylık ortalama sıcaklık ve nem gibi bölgenin meteorolojik verilerinin zararlı erginlerinin popülasyon dalgalanması üzerine olası etkisi de yorumlanmıştır (Şekil 2–4). Çalışmada periyodu süresinde 2022'ye göre 2023 yılının temmuz, ağustos, eylül ve ekim aylarında Edremit'teki ortalama sıcaklıklarda 1.1–2.6 °C, Havran'daki ortalama sıcaklıklarda ise 1.0–2.3 °C arasında artış meydana geldiği tespit edilmiştir. 2022 yılında Edremit'e kıyasla Havran'daki ortalama nem artışı %12.8 iken 2023 yılında bu artış ortalama %15.0'a yükselmiştir. Edremit ve Havran benzer iklim şartlarına sahip olmasına rağmen, Havran'da 66.5 milyon m<sup>3</sup> depolama hacmine ve 3.15 km<sup>2</sup> göl yüzey alanına sahip 30 600 dekar'lık bir tarım arazisine sulama hizmeti vermek ve taşkınlardan koruma amacıyla inşa edilen Havran Barajı'nın bulunması nem miktarının bir miktar artmasına sebep olduğu düşünülmektedir.

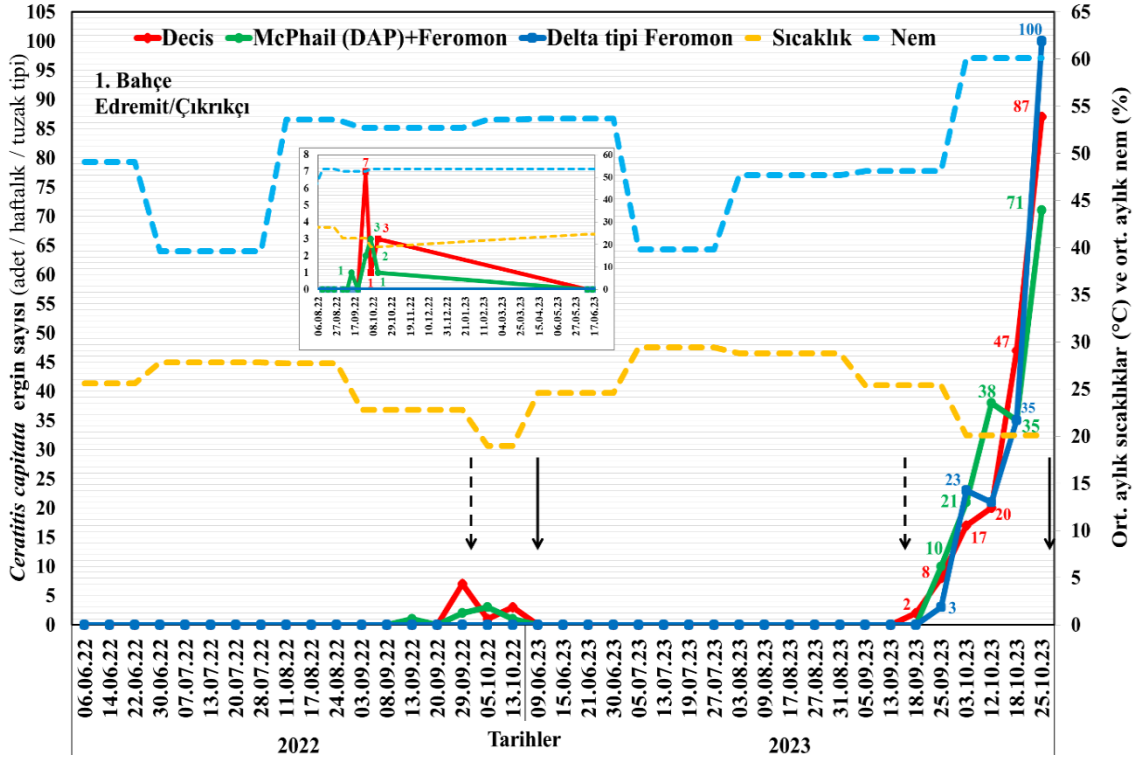
### 3.1. *Ceratitis capitata* popülasyon dalgalanması

Popülasyon dalgalanması çalışmalarına her iki yılda da haziran ayının ilk haftalarında başlamıştır. Ancak, Eylül ayı ortalarına kadar tuzaklarda hiç *C. capitata* ergini yakalanmamıştır (Şekil 2–4).

#### 3.1.1. Edremit/Çıkrıkçı'daki nar bahçesi (1. bahçe)

Edremit/Çıkrıkçı'daki 1 nolu nar bahçesinde Şekil 2'den de görüldüğü gibi 2022 yılında popülasyon çok düşük düzeyde seyretmiştir. İlk ergin 13.09.2022'de McPhail (DAP)+feromon'da 1 adet, iki hafta sonra ise Decis tuzakta 7 adet ergin yakalanmıştır. 2022 yılında 129 günlük çalışma periyodu süresinde 1. bahçede zararlı popülasyonu toplamda sadece 18 adet/üç-tuzak ve ortalaması 0.14 adet/gün olarak belirlenmiştir. Bu bahçede meyveler 13.10.2022 tarihinde örnekleme yapıldıktan sonra hasat edilmiş ve çalışma bu yıl için sonlandırılmıştır. 2023 eylül ayının ortasına kadar tuzaklarda hiç ergin sinek görülmezken, 18.09.2023 tarihinde 2 adet *C. capitata* ergini Decis tuzakta görülmüştür. İlk ergin çıkışından sonra zararlı popülasyonu tüm tuzaklarda her hafta sürekli olarak artış göstermiştir. Şekil 2'de görüldüğü gibi 03.10.2023 – 25.10.2023 aralığındaki 22 günlük periyotta toplamda 515 adet/üç-tuzak ve ortalama 23.41 adet/gün ile maksimum ergin sayısına ulaşılmıştır. Sıcaklık ve nem dalgalanma grafiklerine göre; Akdeniz meyve sineğinin popülasyon yoğunluğunun en fazla olduğu bu periyotta sıcaklık ortalaması 20.1 °C ve nem ortalaması ise %60.1 olarak tespit edilmiştir. Bu bahçede son örnekleme yapıldığı 25.10.2023 tarihinde ergin popülasyonu 258 adet/üç-tuzak/hafta ile en yüksek noktaya ulaşmıştır. 2023'deki çalışma periyodu yaklaşık 138 gün olup toplam zararlı popülasyonu bu süreçte 538 adet/üç-tuzak ve ortalama 3.9 adet/gün olarak bulunmuştur. Edremit/Çıkrıkçı'daki bahçede 2022–2023 genelinde toplam çalışma periyodu 267 gün olup toplam ergin sayısı 556 adet/iki-yıl ve ergin yakalama ortalaması ise 2.08 adet/gün olarak tespit edilmiştir. Bu bahçede ilk yıl 16.09.2022'de ikinci yılda

ise 26.09.2023’de zararlıya karşı malathion etkili maddeli insektisit uygulanmıştır (Şekil 2).

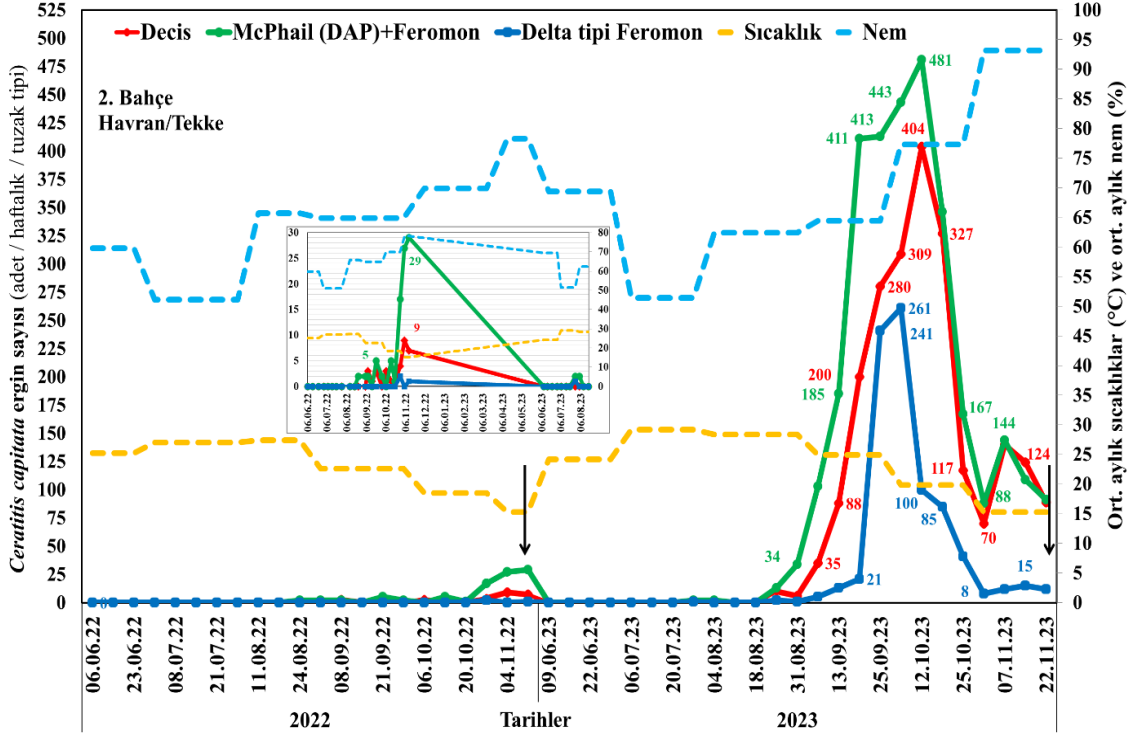


Şekil 2. Edremit/Çıkrıkçı bahçesindeki popülasyon dalgalanması (siyah ok: hasat tarihi, kesikli ok: pestisit uygulaması).

### 3.1.2. Havran/Tekke'deki nar bahçesi (2. bahçe)

Havran/Tekke'deki 2 nolu nar bahçesinde *C. capitata* erginleri 2022 yılında tuzaklarda 1. bahçeye göre yaklaşık 20 gün önce görülmüştür. İlk erginler 24.08.2022 tarihinde McPhail (DAP)+feromon tuzakta 2 adet olarak belirlenmiştir. Şekil 3'de büyütülmüş olarak verilen içteki grafikte görüldüğü gibi 11.11.2022 tarihinde yine McPhail (DAP)+feromon tuzakta 29 adet ergin ile maksimuma ulaşmıştır. 2022 yılında 158 günlük çalışma periyodu süresinde 2. bahçede zararlı popülasyonu toplamda 127 adet/üç-tuzak ortalaması 0.8 adet/gün'dür. 2023 yılında 2. nar bahçesindeki *C. capitata* erginleri, 1. bahçedekilere kıyasla yaklaşık 52 gün daha erken ortaya çıkmıştır. 2023'de tuzakların asıldığı tarihten itibaren temmuz ayı sonuna kadar tuzaklarda sinek görülmezken ilk erginler 28.07.2023 tarihinde McPhail (DAP)+feromon'da 2 adet, Delta tipi feromon tuzakta ise 1 adet olarak belirlenmiştir. Şekil 3'de görüldüğü gibi 18.09.2023 – 25.10.2023 tarihleri arasındaki 37 günlük periyotta toplamda 4647 adet/üç-tuzak ve ortalama 125.6 adet/gün ile yüksek seviyeye ulaşılmıştır. Zararlı yoğunluğunun en fazla olduğu bu tarihler arasında ise ortalama sıcaklık 22 °C, ortalama nem ise %73 olarak tespit edilmiştir. Ekim ayının ilk haftası olan 03.10.2023'de yakalamalar 1013 adet/üç-tuzak/hafta ile en yüksek sayıya ulaşmıştır. Bu tarihten sonra üç tuzakta da yakalanan sinek sayıları dalgalı bir şekilde düşüşe geçmiştir. Buna rağmen 2023 yılındaki 166 günlük çalışma periyodu süresinde diğer bahçelere kıyasla bu bahçede zararlı popülasyonu aşırı artarak toplamda 6049 adet/üç-tuzak, ortalama ise 36.44 adet/gün'e kadar yükselmiştir. Havran/Tekke'deki bu bahçede 2022–2023 genelinde toplam çalışma periyodu 324 gün olup toplam ergin sayısı 6176 adet/iki-yıl ve ergin yakalama ortalaması ise 19.06 adet/gün olarak tespit edilmiştir. Bu nar bahçesinde hasat 22.11.2023 tarihinde

yapılmıştır ve en fazla meyve dökümünün bu bahçede olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla, *C. capitata* zararlısının verdiği zarar oranı da en fazla bu bahçede görülmüştür.

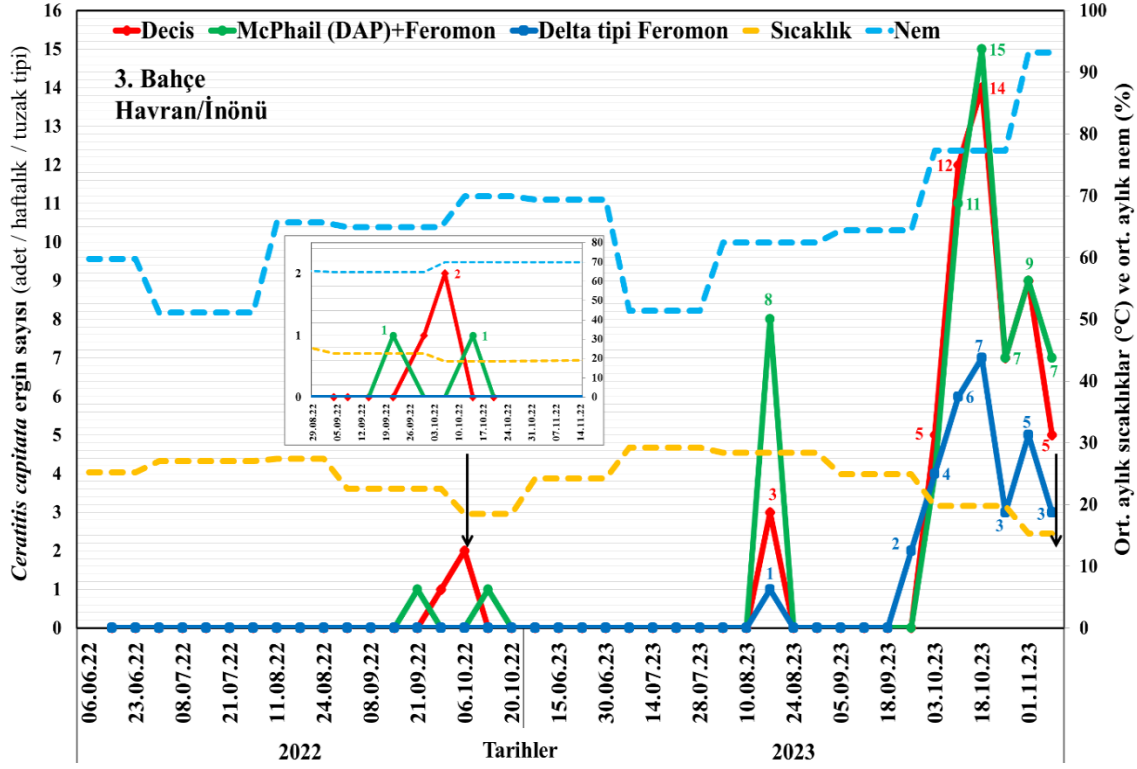


Şekil 3. Havran/Tekke bahçesindeki popülasyon dalgalanması (siyah ok: hasat tarihi).

### 3.1.3. Havran/İnönü'deki nar bahçesi (3. bahçe)

Havran/İnönü'deki 3 nolu nar bahçesinde *C. capitata* erginleri diğer bahçelere kıyasla 2022 yılında oldukça geç görülmüştür. İlk ergin 21.09.2022 tarihinde McPhail (DAP)+feromon tuzakta 1 adet olarak bulunmuştur. Şekil 4'de görüldüğü gibi bu bahçede 20.10.2022 tarihinde hasat yapıncaya kadar geçen 136 günlük periyotta toplamda sadece 5 adet/üç-tuzak ergine rastlanmıştır. 2023 yılında 3. bahçedeki ilk erginler 18.08.2023 tarihinde her üç tuzakta da ortaya çıkmıştır. Decis'de 3 adet, McPhail (DAP)+feromon'da 8 adet ve Delta tipi feromon tuzakta yalnızca 1 adet ergin belirlenmiştir. 24.08.2023 – 18.09.2023 tarihleri arasında ise tuzaklarda hiç sinek görülmemiştir. Şekil 4'de görüldüğü gibi 03.10.2023 – 01.11.2023 tarihleri arasındaki 29 günlük periyotta toplamda 118 adet/üç-tuzak ve ortalama 4.07 adet/gün ile bu bahçe için yüksek seviyeye ulaşılmıştır. Zararlı yoğunluğunun en yüksek düzeye ulaştığı bu periyotta aylık ortalama sıcaklık 18.9 °C, ortalama nem ise %80.48 olarak tespit edilmiştir. Ekim ayının ortası olan 18.10.2023'de yakalamalar 36 adet/üç-tuzak/hafta ile bu bahçede pik yapmıştır. Bu bahçede 2023'deki çalışma periyodu 151 gün olup toplam popülasyon bu süreçte 147 adet/üç-tuzak ve ortalama 0.97 adet/gün ile diğer iki bahçeye kıyasla en az tespit edilen zararlı miktardır. Havran/İnönü'deki bu bahçede 2022–2023 genelinde toplam çalışma periyodu 287 gün olup toplam ergin sayısı 152 adet/iki-yıl ve ergin yakalama ortalaması ise 0.53 adet/gün olarak tespit edilmiştir.





Şekil 4. Havran/İnönü bahçesindeki popülasyon dalgalanması (siyah ok: hasat tarihi).

Akdeniz meyve sineğinin popülasyon dalgalanması nar dahil farklı meyve ağaçları üzerinde Türkiye, Irak, Fas, Cezayir, İspanya ve Mısır'da bir çok çalışılma yapılmıştır [7, 8, 17, 24-31]. Türkiye'de Hatay, Aydın, Osmaniye illerinde ve bazı Akdeniz ülkelerindeki nar bahçelerindeki *C. capitata*'nın popülasyon dalgalanması tespitine yönelik çalışmalarda bu çalışmayı destekleyici bazı sonuçlara varılmıştır. Örneğin 2010–2011 yıllarında Antakya (Hatay)'ın Kırıkhan ve Serinyol ilçelerindeki çalışmalarda ağustos sonunda ilk erginlerin yakalanmasına karşın, en yüksek zararlı ortalaması 2010 yılında Ekim ve Eylül aylarında, 2011 yılında ise meyvelerin olgunlaşma ve hasat zamanına bağlı olarak ekim ve kasım aylarında gözlemlendiği belirtilmiştir [8]. Aydın İli Karacasu ve Nazilli ilçelerindeki çalışmada, 2009 yılı kasım başında Karacasu'da 185 ergin/tuzak ve Nazilli'de 265 ergin/tuzak, 2010 yılı ekim ayının son haftasında Karacasu'da 380 ergin/tuzak ve Nazilli'de ise 120 ergin/tuzak olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada popülasyonun en yüksek olduğu 28.10.2009 – 12.11.2009 arası periyotta aylık ortalama sıcaklıklar yaklaşık 13–16 °C ve nem %69–76 aralığında, 19.10.2010 – 16.11.2010 arası periyotta aylık ortalama sıcaklıklar yaklaşık 12–17 °C ve nem ise %70–75 aralığında olduğu tespit edilmiştir [24]. 2012–2013 yıllarında Osmaniye'de yapılan çalışmada popülasyonun en yüksek düzeye eylül, ekim ve kasım ayında ulaştığını bildirilmiştir [9]. Akdeniz ülkelerinden Mısır'ın Assuit ilinde zararlının ekim ayının 3. haftasından kasım ayı sonuna kadar pik yaptığı, Fayoum ilinde ise eylül sonunda pik yaptığı belirtilmiştir [25]. Yine Mısır'daki benzer bir çalışmada popülasyonun biri ağustos, diğeri eylül'de olmak üzere iki pik yaptığı, ekim'de ise en yüksek düzeye çıktığı belirlenmiştir [6]. *C. capitata* zararını anlama açısından yapılan yorumda ise hasadı geciken bahçelerde kasım ayında popülasyonların yüksek seyrettiği ve meyvelerin tamamının döküldüğü ifade edilmiştir.

### 3.2. *Ceratitis capitata*'nın meyvedeki zarar oranı

2022'de meyvelerin olgunlaşmaya başladığı eylül ayının ilk haftası birinci kontrol, 22 gün sonra ise ikinci kontroller yapılmıştır. 2023'de ise meyvelerin eylül ayının son haftasında olgunlaşmaya başladığı görülmüş olup 26 gün sonra ikinci kontrol yapılmıştır. Bahçelere göre yumurta bırakılmış (vuruklu) meyve kontrol tarihleri ve belirlenen zarar oranları Tablo 2'de verilmiştir. Görüldüğü gibi ikinci kontrollerdeki zarar oranları daha yüksektir. Her iki çalışma yılındaki birinci ve ikinci kontrollerde Havran/Tekke'deki 2. bahçede zarar oranı diğer bahçelere göre oldukça yüksek bulunmuştur. 2023 yılı ekim ayının ilk 18. gününe kadar ergin popülasyonunun pik yaptığı bu 2. bahçedeki zarar oranı da ekim sonunda %10.0 ile en yüksek seviyede görülmüştür. Tablo 2'deki en dikkat çekici sonuç ise bütün bahçelerde 2022 yılında popülasyon 2023'e göre aşırı düşük olmasına rağmen Havran/Tekke'deki 2. bahçede eylül ayında yapılan meyve kontrollerinde %4.0'den %7.0'ye kadar zarar oranı tespit edilmiştir. Bu bahçede zarar oranının 2022'de bu seviyeye ulaşmasının sebebinin; Tablo 1'de görüldüğü gibi bahçenin kendisi ve komşu bahçelerde sadece nar değil aynı zamanda mandalina ve nektarin gibi *C. capitata*'nın konukçusu durumundaki meyve çeşitliliğinin bulunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kısacası zararlının komşu bahçelerde yumurta bırakabileceği ve tercih edeceği uygun ortam mevcuttur. Diğer taraftan, 2022 yılı için bahsedilen periyotlarda bu bölgedeki 22.6 °C ortalama sıcaklık ve %64.9'luk nem miktarının zararlının yumurta bırakabilmesi açısından uygun meteorolojik koşul oluşturduğundan zarar oranının bu seviyede görüldüğü yorumlanmaktadır. Dolayısıyla meyvedeki zarar oranlarını sadece *C. capitata* popülasyonu ile ilişkilendirmek yeterli değildir.

Tablo 2. Nar bahçelerindeki yıllık zarar oranı (%)

Bahçeler	Vuruklu meyve kontrol tarihleri			
	07.09.2022	29.09.2022	29.09.2023	25.10.2023
1) Edremit/Çıkrıkçı	-	%1.0	%2.0	%3.0
2) Havran/Tekke	%4.0	%7.0	%7.0	%10.0
3) Havran/İnönü	-	%1.0	-	%2.0

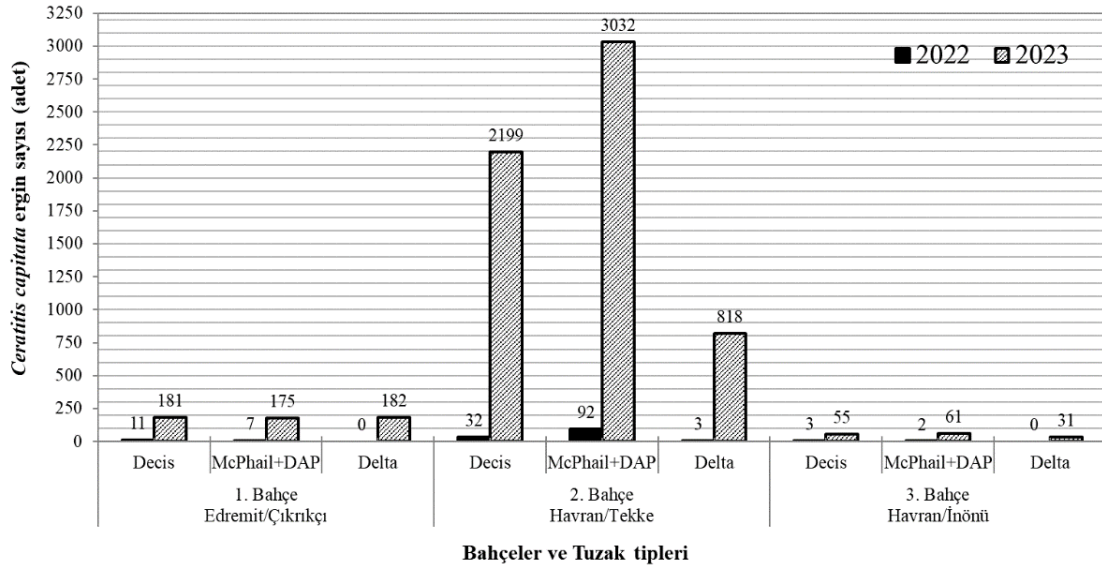
Aydın'daki iki nar bahçesinde *C. capitata*'dan kaynaklı zarar oranları 2009 yılında %0.77–1.09, 2010 yılında ise %0.43–2.2 aralığında olduğu hesaplanmıştır [24]. Hatay'da iki farklı nar çeşidi üzerindeki zarar oranının ilk yıl %7.0–14.0 arasında, 2. yıl ise %12.0–25.0 arasında değiştiği görülmüştür [7]. Zararlının 2015'de Adana'daki Acco çeşidi narlarda, %5.2 zarar yaptığı not edilmiştir [10]. Hatay'da 2010–2011 yıllarında yapılan çalışmalarda zarar oranının ilk yıl Katırbaşı çeşidinde %3.0 iken Karamehmet+Katırbaşı nar çeşitlerinde %42.0 olduğu, ikinci yıl ise Hicaz çeşidinde %8.0 iken Katırbaşı çeşidinde %44.0'a ulaştığı belirtilmiştir [8]. Osmaniye'de 2012–2013'de çalışılan Hicaz çeşidi nar bahçelerinde *C. capitata* %5.66–10.33 arasında zarar oluşturmuştur [9]. Mısır'da 2017 sezonunda nar ağacının ayrı veya karışık dikim yönteminin Akdeniz meyve sineğinin farklı nar çeşitlerindeki zarar oranına etkisi araştırılmıştır. Ayrı dikim olanlarda %2.17–6.04 arasında olurken karışık dikimde zarar oranı %5.65–9.15 arasında değiştiği belirtilmiştir [25].

Bu çalışmada görüldüğü gibi öncelikle 2. nar bahçesinde zararlıyla mücadele yapılmadığı, bahçenin ve komşu bahçelerin tesisi, bahçenin lokasyonu ve bu lokasyondaki iklim faktörlerinin de etkisiyle 2023 yılı ekim sonunda zarar oranı %10.0'a kadar çıkmıştır. Bu tarihten sonra hasat edilen narlarda zarar oranının daha da fazla arttığı gözlenmiştir. Hem yukarıda anılan literatürlerde hem de bu çalışmada Akdeniz meyve sineği zarar oranlarının aylık ve yıllık iklim şartları, bahçe tesisi, bahçe lokasyonu, nar

bahçesi çevresindeki diğer bahçelerdeki konukçu meyvelerin varlığı/yokluğu ve zararlıya karşı yapılan/yapılmayan mücadele gibi bazı faktörlere göre değiştiği görülmektedir. *C. capitata* zararını kontrol altına alabilmek için meteorolojik verilerin takip edilmesi, özellikle yaz aylarındaki uzun sıcak günlerde tuzakla mücadelede zararlının çıkış zamanı tespit edilip uygun tedbirlerin alınarak zarar oranının düşürülmesi tavsiye edilir.

### 3.3. Tuzakların *C. capitata* ergini çekme gücü ve ergin yakalama oranları

*Ceratitıs capitata*'nın popülasyon dalgalanması çalışmasıyla, aynı zamanda her iki yıl için de tuzakların zararlı erginlerini yakalama durumu ortaya çıkarılmıştır (Şekil 5 ve Tablo 3). Şekil 5'deki grafik incelendiğinde 2022 ve 2023 yıllarında üç farklı bahçede bütün tuzaklarda yakalanan toplam ergin sinek sayısı sırasıyla 150 ve 6734 adet olduğu görülmektedir. Şekil 5'de bu toplam verilere göre Tablo 3'de ise tuzaklarda yakalanan erginlerin istatistiki ortalamaları karşılaştırılarak tuzakların yıllık ergin yakalama oranları ortaya konulmuştur. Tuzak başına yakalama; her tuzağın yıllık zararlı yakalama sayısı, ilgili yıldaki toplam yakalama sayısına bölümüyle elde edilmiştir.



Şekil 5. Tuzak tipine göre yıllık yakalanan *Ceratitıs capitata* ergin sayıları (adet).

Tablo 3. Tuzakların haftalık *C. capitata* yakalama miktarları ve yıllık yakalama oranları

Tuzak tipi	2022 yılı		2023 yılı	
	Yakalama miktarı (ort. adet ± S.H.)	Yakalama oranı	Yakalama miktarı (ort. adet ± S.H.)	Yakalama oranı
Decis	0.8214 ± 0.26	%30.67	35.290 ± 10.11	%36.16
McPhail (DAP)+feromon	1.8036 ± 0.76	%67.33	47.362 ± 13.57	%48.53
Delta tipi feromon	0.0536 ± 0.04	%2.00	14.942 ± 5.53	%15.31

Tablo 3'de görüldüğü gibi 2022 ve 2023 yıllarında Akdeniz meyve sineği erginlerini en çok çeken ve ergin yakalama oranı en yüksek olan tuzağın %67.33 ve %48.53 ile McPhail (DAP)+feromon tuzak olduğu belirlenmiştir. Sırasıyla %2.00 ve %15.31 ile Delta tipi feromon tuzağın ise en düşük yıllık ergin yakalama oranlarına sahip olduğu tespit edilmiştir. Her iki yılda toplam zararlı yakalamaları ise 6884 adet ergin olup sırasıyla tuzakların yakalama oranları; 2481 adet ergin ile Decis %36.04, 3369 adet ergin ile McPhail (DAP)+feromon %48.94 ve 1034 adet ergin ile Delta tipi feromon %15.2 olarak

hesaplanmıştır. Şekil 5'den de McPhail (DAP)+feromon tuzağın en fazla sayıda *C. capitata* ergininin yakalandığı tuzak olduğu anlaşılmaktadır.

*Ceratitıs capitata*'yı çekme ve yakalamada farklı tuzaklarının etkinliklerinin denendiği bazı literatür çalışmaları bulunmaktadır. Örneğin Avustralya'da turuncğil bahçelerinde *C. capitata* için kullanılacak en uygun tuzağa karar vermek amacıyla iki tuzak türü karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda Lynfield tuzağının Jackson tuzağından daha verimli olduğunu, yapımının daha ucuz, bakımının daha kolay ve Akdeniz meyve sineği izlemesinin daha uygun olduğu bildirilmiştir [21]. Bağdat (Irak)'ta yapılan bir çalışmada *C. capitata*'yı cezbetmek amacıyla üç farklı tuzak denenmiştir. Jackson, yerel ve McPhail tipi tuzak kullanıldığında haftalık olarak sinek yakalama yeteneklerinde tuzaklar arasında fark olmadığı belirtilmiştir [12]. İran'da yapılan bir çalışmada ise *C. capitata*'yı çekme yetenekleri olan beş farklı cezbedici denenmiş, sonuçta Ceratrap ve McPhail tuzak içerisindeki İran'ın hidrolizat proteininin zararlıının en yüksek günlük dişi (2.65 ve 2.55) ve erkek (2.55 ve 2.65) birey sayısını yakaladıkları saptanmıştır [32]. Yunanistan'da yapılan kafes denemelerinde ilkbahar ve yaz başında, Akdeniz meyve sineği için beş farklı tuzak denenmiş, iki farklı doğal cezbedici ile kullanılan Tephri tuzaklarının düşük sıcaklıklarda en fazla ergini yakaladığını, Decis tuzağın ise ergin yakalama gücünün düşük olduğunu bildirmişlerdir [33]. Bu çalışmada Edremit Körfez Bölgesi'nde özellikle McPhail (DAP)+feromon kombine tuzağın literatürden farklı olarak *C. capitata* erginlerini yakalama kapasitesinin daha yüksek olduğu ve daha çok sinek çektiği, Decis tuzağının ise etkili ancak daha az tercih edildiği belirlenmiştir. Delta tipi feromon tuzağın yağmurdan dolayı ıslanması ve yapışkanlık kısmının değişimi gerektiği için kullanımında zorluklar yaşanmış ve sinek çekiciliğinde pek tercih edilmeyen bir tuzak olduğu saptanmıştır. Feromon ve DAP karışımının Akdeniz meyve sineği çekmede daha etkili olduğu kanısına varılmıştır.

### Teşekkür

Bu çalışmayı destekleyen Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine (BAP/2022-134) ve denemelerin yapıldığı nar bahçesi sahiplerine teşekkür ederim.

### Kaynaklar

- [1] Gonçaves, M.A., Mass trapping of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitıs capitata* (Wiedemann) on pomegranate in southern Portugal (Algarve), **Proceedings, IV International Symposium on Pomegranate and Minor Mediterranean Fruits**, 269-274, Elche (Spain), (2017).
- [2] <http://www.tuik.gov.tr>, T.C. Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu, Bitkisel Üretim İstatistikleri (2023), Ankara, (20.04.2024).
- [3] Sürücü, A., Ak, B.E., Oğuz, H.İ., Hayoğlu, İ., Şeker, M., Hepaksoy, S. ve ark., **Nar Yetiştiriciliği**. editörler: S. Hepaksoy ve M. Pakyürek, İksad Yayınevi, Ankara, 384 s., (2023).
- [4] Şahin, A., **Nar Yetiştiriciliği**, T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, editörler. 11 s., (2013).
- [5] Emer, Z. ve Pakyürek, M., Narın (*Punica granatum* L.) tıbbi önemi, **Proceedings, Uluslararası Tarım ve Kırsal Kalkınma Kongresi**, 710-873, Siirt, (2019).
- [6] El Mahdy, S.M., Afia Y., ve Gab Alla, M.A., Population Fluctuation of Mediterranean Fruit Fly, *Ceratitıs capitata* (Wiedemann) Infesting Three Fruit

- Varieties in Alexandria Governorate, Egypt, **Journal of Plant Protection and Pathology**, 14, 12, 399-403, (2023).
- [7] Demirel, N., Population density and damage ratios of Mediterranean fruit fly *Ceratitidis capitata* Wiedemann Diptera Tephritidae on pomegranate orchards in Turkey, **Entomology and Applied Science Letters**, 3, 5, 1-7, (2016).
- [8] Demirel, N., Population fluctuation and infestation rates of *Ceratitidis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) on different pomegranate varieties in Hatay (Turkey), **Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology**, 8, 10, 2144-2147, (2020).
- [9] Demirel, N., ve Çardak M., Seasonal population fluctuations and damage rates of *Ceratitidis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) on pomegranate orchards in Osmaniye province, **KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi**, 24, 1, 171-176, (2021).
- [10] Kasap, A., ve Aslan, M., Akdeniz meyve sineğinin (*Ceratitidis capitata* Wied.) (Diptera: Tephritidae)'nin feromon tuzaklarla nar ve hurmadaki populasyon takibi ve zarar oranının tespiti, **KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi**, 19, 1, 43-50, (2016).
- [11] Papadopoulous, N.T., Katsoyannos, B.I., Kouloussis, N.A., Economopoulous, A.P., ve Carrey, J.R., Effect of adult age, food, and time of day on sexual calling incidence of wild and mass-reared *Ceratitidis capitata* males, **Entomologia Experimentalis et Applicata**, 89, 2, 175-182, (1998).
- [12] Abu-Ragheef, A.H., Hamdan, F.Q., ve Al-Hussainawy, K.J., Evaluation of type, color of traps and different attractants in attracting and capturing of Mediterranean fruit fly *Ceratitidis capitata* (WIED.), **Plant Archives**, 20, 1, 52-55, (2020).
- [13] Abd-Elgawad, M.M., The Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae), a key pest of citrus in Egypt, **Journal of Integrated Pest Management**, 12, 1, 28, (2021).
- [14] Elekçioğlu, N.Z., Akdeniz meyvesineği, **Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi**, 2, 1, 61-65, (2009).
- [15] Başpınar, H., Karsavuran, Y., Başpınar, N., Apak, F., ve Güneyi, P., Aydın ve İzmir İlleri meyve bahçelerinde *Ceratitidis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae)'nın savaşımında besin çekici tuzakların kullanılma olanaklarının araştırılması, **Türkiye V. Bitki Koruma Kongresi**, Antalya, Türkiye, s: 19 (2014).
- [16] Gülcüoğlu, S., ve Başpınar, H., Akdeniz meyve sineği (*Ceratitidis capitata* Wied.) (Diptera: Tephritidae)'nin hünnap bahçesindeki popülasyon dalgalanmaları ve zararı, **Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, 17, 2, 145-151, (2020).
- [17] Üçpınar, Ş.N., ve Ünlü, L., The Determination of Population Development and Infestation Rate of Mediterranean Fruit Fly (*Ceratitidis capitata* (Wied)) in Peach Orchards in Meram (Konya) Province, **Selçuk Journal of Agriculture and Food Sciences**, 33, 2, 67-72, (2019).
- [18] Thomas, M.C., Heppner, J.B., Woodruff, R.E., Weems, Jr H.V., Steck, G.J., ve Fasulo, T.R., Mediterranean fruit fly, *Ceratitidis capitata* (Wiedemann) (Insecta: Diptera: Tephritidae): EENY-214/IN371, rev. 9/2001, **EDIS**, 2004, 8, (2004).
- [19] Bircan, B., Koca, A.S., ve Kaçar, G., Akdeniz meyvesineği (*Ceratitidis capitata* Wiedemann) (Diptera: Tephritidae)'nin tanımı, dağılımı, biyolojisi, zararı ve mücadele yöntemleri, **Journal of the Institute of Science and Technology**, 10, 4, 2353-2365, (2020).
- [20] Demirel, N., Trapping genders of *Ceratitidis capitata* (Diptera: Tephritidae) and other Dipteran with various attractants on pomegranate fruits in Turkey, **Fresenius Environmental Bulletin**, 28, 4, 2937-2941, (2019).

- [21] Wijesuriya, S.R., ve De Lima, C.P.F., Comparison of two types of traps and lure dispensers for *Ceratitidis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae), **Australian Journal of Entomology**, 34, 4, 273-275, (1995).
- [22] Hafsi, A., Harbi, A., Rahmouni, R. ve Chermiti, B., Evaluation of the efficiency of mass trapping of *Ceratitidis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) in Tunisian citrus orchards using two types of traps: Ceratrap® and Tripack®, **Acta Horticulturae**, 1065, 1049-1056, (2015).
- [23] Elitaş, İ., Bursa ilinde bazı meyve bahçelerinde Akdeniz meyve sineği [*Ceratitidis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae)] ergin popülasyon değişiminin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitki Koruma ABD, Bursa, 56 s. (2022).
- [24] Yıldırım, E.M., ve Başpınar, H., Aydın ili nar bahçelerinde saptanan zararlı ve predatör türler, yayılışı, zararlı türlerden önemlilerinin popülasyon değişimi ve zararı, **Türkiye Entomoloji Bülteni**, 1, 3, 169-180, (2011).
- [25] Negm, A.A., Ali, N.A. ve Amin, A.A., Seasonal occurrence of fruit flies and their infestation rates on pomegranate fruits at Assuit and Fayoum Governorates, **Egyptian Academic Journal of Biological Sciences. A, Entomology**, 11, 2, 41-54, (2018).
- [26] Yazid, J.B., Chafik, Z., Bousamid, A. ve Kharmach, I.B.E.-Z., Population dynamics and seasonal occurrence of mediterranean fruit fly (*Ceratitidis capitata* Wiedemann, 1824) in moulouya perimeter north east of Morocco, **Indian Journal of Ecology**, 47, 2, 564-569, (2020).
- [27] Laamari M., Bouasbana M.S., ve Mahmoudi R., Effect of climate change on the spatio-temporal distribution of the Mediterranean fruit fly *Ceratitidis capitata* Wiedemann (1824) in Algeria, **European Journal of Environmental Sciences**, 12, 2, 93-100, (2022).
- [28] Abu-Ragheef, A.H. ve Alfayyadh, M.J., Population density of Mediterranean fruit fly, *Ceratitidis capitata* using sexual and food attractants in the city of Baghdad, **International Journal of Agricultural and Statistical Sciences**, 15, 2, 687-691, (2019).
- [29] Tiring G. ve Satar S., Annual population fluctuations of Mediterranean fruit fly in the Eastern Mediterranean Region of Turkey; Problem of non-marketing fruit, **Phytoparasitica**, 49, 5, 807-817, (2021).
- [30] Abazied, M.A., Survey and abundance of major insect pests on pomegranate fruits in Egypt, **Annals of Agricultural Science, Moshtohor**, 59, 5, 601-612, (2021).
- [31] Elekcioğlu, N.Z., Current status of Mediterranean fruit fly, *Ceratitidis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae), in Turkey, **IOBC-WPRS Bulletin**, 95, 15-22, (2013).
- [32] Soleimani, R., Moayeri, H.R.S. ve Sedaghat, N., Comparative of some attractants and insecticides in mass trapping of Mediterranean fruit flies, *Ceratitidis capitata* (Wiedemann) (Dip.: Tephritidae) using McPhail trap, **Iranian Journal of Plant Protection Science**, 53, 1, 37-45, (2022).
- [33] Bali, E.-M.D., Moraiti, C.A., Ioannou, C.S., Mavraganis, V. ve Papadopoulos, N.T., Evaluation of mass trapping devices for early seasonal management of *Ceratitidis capitata* (Diptera: Tephritidae) populations, **Agronomy**, 11, 6, 1101, (2021).

# Pimaran iskeletine sahip leusofleoksol bileşiğinin yapısal, spektroskopik ve elektronik özelliklerinin DFT/HF yöntemleriyle incelenmesi

Alper KAYA<sup>1,2</sup>, Akın AZİZOĞLU<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Balikesir Üniversitesi F.E.F., Kimya Bölümü, Altneylül/Balıkesir.

<sup>2</sup> Milli Eğitim Bakanlığı, Konukbekler Ortaokulu, Merkez/Muş

Geliş Tarihi (Received Date): 09.03.2024

Kabul Tarihi (Accepted Date): 03.07.2024

## Öz

Bu çalışma kapsamında, pimaran ana iskeletine sahip leusofleoksol bileşiği Gaussian programı kullanılarak YFT ve ab-initio teorik hesaplama yöntemleriyle incelenmiştir. İlgili bileşiğin literatürde bulunan deneysel bağ uzunluğu, bağ açısı, dihedral açı değerleriyle, HF, B3LYP, WB97XD yöntemleriyle gaz fazında elde edilen teorik veriler karşılaştırılmıştır. İstatiksel analiz çalışmaları sonucunda bağ uzunluklarının incelenmesinde en başarılı hesapsal yöntemin HF ve 6-31G düzeyinin olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, leusofleoksol bileşiğinin bağ ve dihedral açılarını tespitinde en uygun hesapsal yöntemin WB97XD/6-31G metodunun olduğu belirlenmiştir. Ayrıca leusofleoksolun deneysel infrared spektrumunda gözlenen sinyaller, B3LYP/cc-pVDZ düzeyinde titreşim analizi yapılarak irdelenmiştir. <sup>13</sup>C-NMR ppm değerleri de, teorik olarak WB97XD/(6-31G), B3LYP/(cc-pVDZ), B3LYP/(6-31G), ve HF/(6-31G) düzeylerinde hesaplanmıştır. İstatiksel analiz çalışmaları sonucunda, <sup>13</sup>C-NMR kimyasal kayma hesaplanmasında en iyi hesapsal yöntemlerin, WB97XD/(6-31G) ve B3LYP/(cc-pVDZ) düzeyleri olduğu sonucuna varılmıştır. Son olarak başlıkta belirtilen bileşiğin elektronik yapıları (HOMO-LUMO sınır orbitalleri ve MEP haritası) B3LYP/cc-pVDZ teori düzeyinde analiz edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Diterpen, YFT, HF, MEP, IR

Alper KAYA, fencikaya @ gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-2770-5468>

\*Akın AZİZOĞLU, azizoglu @ balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-5098-1842>

# The theoretical investigation of structural, spectroscopic and electronic properties of leucophleoxol compound having pimarane skeleton with DFT/HF methods

## Abstract

*Within the scope of this study, the leucophleoxol compound with the pimarane main skeleton was examined by DFT and ab-initio theoretical calculation methods using the Gaussian program. The experimental bond length, bond angle and dihedral angle values of the title compound found in the literature were compared with the theoretical data obtained in the gas phase by HF, B3LYP, and WB97XD methods. It has been determined that the HF/6-31G level is the most compatible theoretical method in determining bond lengths through statistical analysis studies. However, it has been defined that the most appropriate theoretical method to determine bond angles and dihedral angles is the WB97XD/(6-31G) level for the compound of leucophleoxol. Additionally, the signals observed in the experimental infrared spectrum of leucophleoxol were examined by vibration analysis at the B3LYP/(cc-pVDZ) level. <sup>13</sup>C - NMR chemical shift values were calculated theoretically at the levels of WB97XD/6-31G, B3LYP/(cc-pVDZ), B3LYP/6-31G, and HF/6-31G. As a result of statistical analysis studies, it was concluded that the most appropriate theoretical methods for <sup>13</sup>C-NMR chemical shift calculation are WB97XD/(6-31G) and B3LYP/(cc-pVDZ) levels. Finally, the electronic structures of the title compound (HOMO-LUMO frontier orbitals and MEP map) were analyzed at the B3LYP/(cc-pVDZ) level of theory.*

**Keywords:** Diterpene, DFT, HF, MEP, IR

## 1. Giriş

Bitkilerde bulunan biyoaktif bileşikler, özellikle terpenler ve terpenoidler, antikanser, antimikrobiyal, antiinflamatuvar, antioksidan ve antialerjik dâhil olmak üzere çok çeşitli biyolojik aktivitelere sahiptir. Bunlar arasında en fazla biyolojik aktiviteye sahip olanlar ise, diterpenoid ve diterpen tarzı bileşikler olduğu bilinmektedir. Literatürde pek çok farklı bitkiden izole edilen diterpen iskeletine sahip bileşikler makalelerde rapor edilmiştir. Bunlardan yirmi tanesi genelde bitkilerden izole edilebilmektedir. Bilimsel çalışmalarda yaygın olarak tespit edilen ana diterpen iskeletleri arasında, labdan, abietan, totarol, pimaran, kassan, rosan, lineer, kauren, kaurene, beyeren, alkaloids, sembran, gibbera, taksan, tiglian, trashiloban, atisen, erisasan, kolevan, fujanan yapıları bulunmaktadır [1,2].

*Acacia leucophloea* (aile: Fabaceae), bitkisinin kabukları geleneksel halk tıbbında; enfeksiyon önleyici, balgam söktürücü, ateş düşürücü ve öksürük, bronşit, ülser, ishal, cilt hastalıkları tedavisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca 2011 yılında tavşan ve fareler üzerinde yapılan bir çalışmada, *Acacia leucophloea* kabuklarından elde edilen özütlerin solunum yolu ve sindirim rahatsızlıkları üzerinde biyolojik aktivite gösterdiği rapor edilmiştir [3].

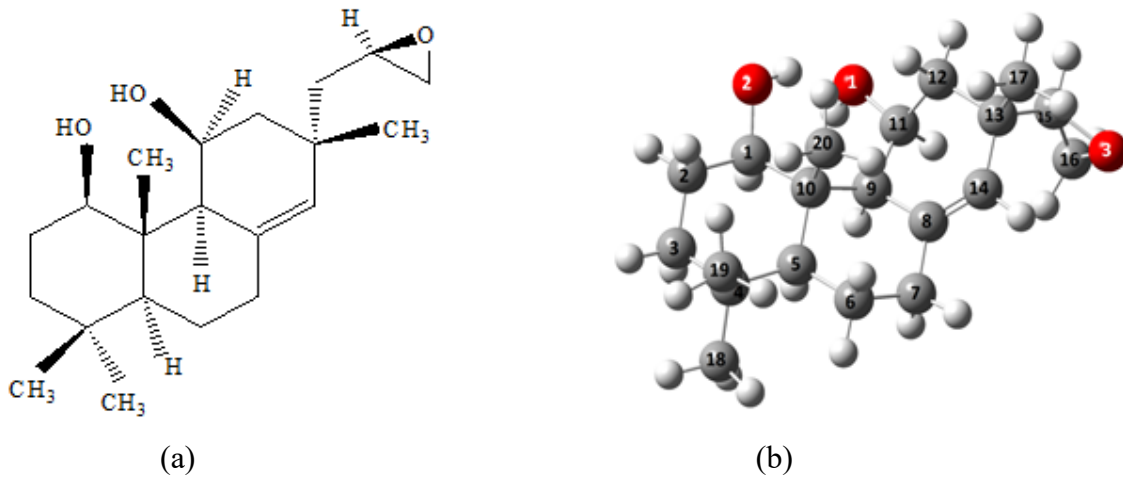


İzole edilen bileşiklerin sahip olduğu biyolojik ve kimyasal özelliklerine, ilgili bileşiğin elektronik özellikleri ve moleküler yapısını etkilemektedir. Teknolojideki gelişmelerin sonucunda üstün özellikli bilgisayarlar ve hesaplamalı kimya üzerine çeşitli yazılımlar geliştirilmiştir. Böylelikle biyolojik aktiviteye sahip bitkilerin ve bunlardan izole edilen bileşiklerin, elektronik ve moleküler yapılarının teorik kimya metotlarıyla kolayca analiz edilmesini mümkün kılmıştır ve literatürde pek çok makale bulunmaktadır [4-7].

Bu çalışmada, *Acacia leucophloea* bitkisinden izole edilen [8,9], pimaran iskeletine sahip leusofleoksol bileşiğinin moleküler yapısı, titreşim spektrumu ve elektronik özellikleri teorik yöntemlerle incelenmiştir. Diterpenin moleküler yapısıyla ilgili olarak bağ uzunlukları, açıları, titreşim analizleri ve karbon(13)-NMR isotropik kayma değerleriyle teorik değerler karşılaştırılmıştır. Ayrıca pimaran türevi bileşiğin sınır HOMO-LUMO haritaları ve moleküler elektrostatik potansiyel (MEP) haritası teorik yöntemlerle analiz edilmiştir.

## 2. Teorik Çalışmalar

Bu çalışma kapsamında pimaran iskeletine sahip leusofleoksol bileşiğinin elektronik yapıları, moleküler yapıları (Şekil 1), titreşim analizleri ve elektronik yapı hesaplamaları gaz fazında, Gaussian09W paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir [10]. GaussView 5.0 programı yardımıyla ise, söz konusu bileşiğin teorik sonuçlarının veri analizleri gerçekleştirilmiştir. Leusofleoksol bileşiğinin yapısal datalarını (bağ açıları, bağ uzunlukları ve dihedral açıları) elde etmek amacıyla, WB97XD/6-31G, B3LYP/cc-pVDZ, B3LYP/6-31G, B3LYP/6-31G(d), HF/6-31G(d), HF/6-31G düzeylerinde geometri optimizasyonları gerçekleştirilmiştir. İlgili teori seviyeleri, literatürdeki benzer bilimsel çalışmalar ve bilgisayar olanakları göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Daha sonra literatürde bulunan deneysel değerler [9] ile karşılaştırılmış ve regresyon değerleri ( $R^2$ ) Excel programı yardımıyla oluşturulmuştur. Infrared (titreşim) frekansı değerleri ve yaklaşık titreşim hareketleri, B3LYP/(cc-pVDZ) teori düzeyinde hesaplama yapılmış ve daha sonra titreşim analizleri gerçekleştirilmiştir. Hesaplanmış frekans aralığı,  $378.79 \text{ cm}^{-1}$ – $3761.93 \text{ cm}^{-1}$  ve pik yoğunluğu 20 üzerinde olanlar değerlendirilmiştir.



Şekil 1. a) 15 R ,16-epoksi – 8 (14) – izo pimaren - 1 $\beta$  , 11  $\beta$  - diol, Kısaltılmış adı: Leusofleoksol bileşiğinin çizgisel gösterimi, b) Leusofleoksol bileşiğinin optimize edilmiş Gaussview görüntüsü ve makalede kullanılan atom numaralandırmaları.

Ayrıca leusofleoksol bileşiğinin karbon nükleer manyetik rezonans NMR” kimyasal kayma değerleri, WB97XD/6-31G, B3LYP/(6-31G), B3LYP/ccpVDZ ve HF/(6-31G) teori metodlarında kloroform çözücüsü içerisinde hesaplanmıştır. Daha önce yayınlanan bilimsel çalışmalarda olduğu gibi GIAO yönteminde HF/6-31G(d) tetrametilsilan (TMS) başlangıç noktası alınarak [11], <sup>13</sup>C-NMR ppm değerleri elde edilmiştir. Başlık bileşiğinin pratikte ölçülen <sup>13</sup>C-NMR ppm değerleri, Carmen ve diğerlerinin yayınladığı makaleden alınmış [9] ve çeşitli ab-initio ve YFT teori seviyesinde hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır.

Son olarak leusofleoksol molekülünün sınır orbitallerinin (HOMO ve LUMO) enerjik değerleri, B3LYP/(cc-pVDZ) hesaplama seviyesinde elde edilmiştir. Sınır orbital enerji farkı değerleri kullanılarak, kimyasal sertlik, elektronegatiflik parametreleri hesaplanmıştır [12]. MEP haritaları B3LYP / (cc-pVDZ) teori seviyesinde elde edilerek, pimarane iskeletli bileşiğin nükleofilik ve elektrofilik alanları tespit edilmiştir. GaussView programı kullanılarak görsel olarak sunulmuştur.

### 3. Sonuçlar ve tartışma

#### 3.1. Molekül geometrisi

Moleküler yapı olarak da bilinen moleküler geometri, kısaca atomların üç boyutlu yapısı veya düzeni olarak tanımlanabilir. Molekülün atomları arasındaki bağ uzunlukları, bağ açıları ve dihedral açılarıyla ilgilidir. Bir bileşiğin moleküler yapısını anlamak, polariteyi, reaktiviteyi, maddenin fazını, rengini, manyetizmasını ve biyolojik aktivitesini anlamaya yardımcı olmaktadır [13-15].

Leusofleoksol bileşiğine ait bazı bağ uzunlukları Tablo 1’de sunulmuştur. Veriler incelendiğinde, özellikle “C1 - O2 ve C11 - O1” bağ uzunluklarıyla ilgili olarak HF ve 6-31G teori seviyesinde deneysel verilere oldukça yaklaşan sonuçlar elde edilmiştir. “C9 - C11” atomları arasındaki bağ uzunluğu ise, B3LYP/(6-31G), B3LYP/(6-31(d)), B3LYP/(cc-pVDZ) teorilerinde tam olarak doğru hesaplanabilmiştir.

Tablo 1. Leusofleoksol bileşiğine ait deneysel/ teorik bağ uzunlukları (Å).

Bağ uzunlukları	Deneysel <sup>[7]</sup>	HF/ 6-31G	HF/ 6-31G(d)	B3LYP/ 6-31G	B3LYP/ 6-31G(d)	B3LYP/ cc-pVDZ	WB97XD/ 6-31G
C1-O2	1.430	1.427	1.398	1.447	1.416	1.416	1.437
C1-C10	1.547	1.557	1.558	1.568	1.567	1.568	1.559
C9-C10	1.579	1.597	1.593	1.609	1.603	1.601	1.594
C9-C11	1.551	1.543	1.545	1.551	1.551	1.551	1.542
C11-O1	1.443	1.444	1.413	1.472	1.439	1.439	1.457
C8-C14	1.319	1.328	1.324	1.345	1.341	1.343	1.339
C7-C8	1.495	1.504	1.504	1.509	1.505	1.505	1.505

Leusofleoksol bileşiğine ait deneysel ve teorik bağ uzunluklarıyla regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan teori düzeyleri arasından en iyi regresyon  $R^2= 0,991$  değeriyle WB97XD/(6-31G) ve  $R^2= 0,990$  değeriyle HF/(6-31G) seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir. “WB97XD/(6-31G)” metodunda yüksek  $R^2$  değeri gözlenmesine rağmen,  $y = 0,9528x + 0,0797$  regresyon denkleminde eğim (a) değeri bir tam sayısından

daha küçük sayısal değer aldığı analiz edilmiştir. HF ve (6-31G) seviyesi ise, hem iyi bir regresyon hem de eğim ( $y=1,013x - 0,014$ ) değerini bir tam sayısına yakın bir çözümlenme ile daha uyumlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. İstatiksel veriler ışığında, pimaran türevi bileşiğin bağ uzunluklarının hesaplanmasında en uyumlu hesapsal yöntemin “HF/(6-31G)” düzeyinin olduğu sonucuna varılmıştır [16].

Leusofleoksol bileşiğine ait bazı bağ açıları ve dihedral açıları Tablo 2’de sunulmuştur. Kullanılan tüm teori düzeyleri, seçilmiş açıları doğru şekilde hesaplayabilmişlerdir. “C1 - O2 - H2” bağ açısını deneysel değere ( $109.5^\circ$ ) en yakın değer HF/6-31G(d) düzeyinde,  $109.1^\circ$  ile elde edilebilmiştir. Buna ek olarak “C1-O2-H2” bağ açısını HF/6-31G düzeyi hariç diğer teorik yöntemlerin hepsi deneysel değerden daha düşük sonuçlar vermiştir. “C1 - C10 - C9” ve “C12 - C13 - C14” bağ açıları, HF/(6-31G) ve HF/(6-31G(d)) düzeyleri deneysel değerlere çok yakın hesaplama sonucu verdiği tespit edilmiştir. “C1 - C2 - C3, C9 - C11 - O1 ve C12 - C13 - C14” bağ açılarının hesaplanması için kullanılmış bütün teoriler, deneysel verilerden daha fazla değerlerde olduğu belirlenmiştir.

Tablo 2. Leusofleoksol bileşiğine ait deneysel/teorik bağ ve dihedral açıları ( $^\circ$ ).

Bağ Açıları ve Dihedral Açıları	Deneysel <sup>[7]</sup>	HF/6-31G	HF/6-31G(d)	B3LYP/6-31G	B3LYP/6-31G(d)	B3LYP/cc-pVDZ	WB97XD/6-31G
C1-C2-C3	110.12	112.16	112.63	112.13	112.54	112.63	111.79
C1-O2-H2	109.52	111.92	109.14	108.57	107.03	106.85	108.97
C1-C10-C9	111.96	111.56	111.66	111.36	111.37	111.31	111.27
C9-C11-O1	114.59	114.66	115.59	115.30	115.96	115.93	115.01
C12-C13-C14	110.52	110.93	110.95	110.92	110.94	110.98	111.44
C1-C2-C3-C4	60.40	58.96	58.64	59.02	58.89	58.85	59.81
O2-C1-C2-C3	173.88	178.58	179.01	178.06	178.11	178.43	177.87
C6-C7-C8-C14	119.17	123.73	124.30	122.20	122.58	122.75	119.60
O1-C11-C12-C13	172.63	169.43	168.75	168.51	167.84	168.01	168.95
C1-C10-C9-C11	57.09	53.71	52.95	54.29	53.86	53.88	53.70

Leusofleoksol bileşiğine ait açı değerleri regresyon analiziyle irdelendiğinde, kullanılan tüm hesapsal metodlar ile deneysel veriler arasında genelde bir uyum bulunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca son derece yüksek  $R^2$  değerleri gözlenmiştir. Seçilen altı teorik yöntem arasından deneysel değerlerle en iyi regresyon  $R^2= 0,997$  WB97XD/(6-31 G) düzeyinde elde edilmiştir. Regresyon denkleminin eğim değeri de, ( $y= 1,018x-2,249$ ) bir tam sayısına yakındır. Bu nedenle, ilgili bileşiğin bağ ve dihedral açıları hesaplamada en uygun teorisinin WB97XD/(6-31 G) düzeyinin olduğu belirlenmiştir.

Genel olarak teorik olarak hesaplanan ve deneysel olarak elde edilen değerler arasında küçük farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun deneysel spektroskopik ölçümlerin katı veya sıvı fazında, teorik hesaplamaların ise, gaz fazında gerçekleştirilmesinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

### 3.2. *Infrared spektroskopisi (IR)*

İnfrared veya titreşim spektroskopisi, moleküllerin fonksiyonel gruplarının ve yapısının belirlenmesinde sıklıkla kullanılan yapı analiz tekniklerinden birisi olarak tanımlanabilir [17]. Leusofleoksol bileşiğinin izolasyonu ve yapı tayini üzerine literatürde ilk

yayınlanan makalede, moleküler yapı hatalı belirlenmiştir. Bu çalışmada deneysel infrared spektrumuna ait pik değerleri rapor edilmiştir. KBr disk kullanılarak, 3110, 3070, 3005, 2840, 1670, 1064, 1050, 880, 865, 828  $\text{cm}^{-1}$  piklerinin elde edildiği vurgulanmıştır [6]. İlerleyen yıllarda başka bir grup leusofleoksol bileşiğinin yapısını X-ray tekniğiyle incelemiş ve doğru moleküler yapıya ulaşılabilmiştir. Doğru yapının önerildiği makalede, infrared spektroskopisi ölçümlerinden bahsedilmemiştir [9]. Ayrıca ilgili bileşiğin titreşim spektroskopisinde gözlenen piklerin yorumlanmasına dair başka bir çalışmaya literatürde rastlanılmamıştır. Bu nedenle leusofleoksol bileşiğinin teorik IR spektrumunu B3LYP/(cc-pVDZ) düzeyinde hesaplanmıştır. Pik yoğunluğu 20 üzerinde olanlardan 33 tane titreşim hareketi irdelenmiştir ve elde edilen bulgular Tablo 3’de sunulmuştur.

Deneysel infrared spektrumunda genel olarak hidroksil gerilme titreşimleri (-OH) 3700 - 3500  $\text{cm}^{-1}$  değerlerinde görülmektedir [17]. Bununla birlikte leusofleoksol bileşiği kuvvetli hidrojen bağı yapan hidroksil gruplarına sahip olduğundan deneysel IR spektrumunda 3110  $\text{cm}^{-1}$  civarında sinyal gözlemlendiği rapor edilmiştir [6]. İlgili bileşiğin iki O-H grubunun gerilme titreşimleri, 3579 ve 3762  $\text{cm}^{-1}$  olarak B3LYP/(cc-pVDZ) düzeyinde hesaplanmıştır. Molekülün teorik hesaplamasının gaz fazında gerçekleştirilmesinden ve hidrojen bağlarının tam olarak modellenmemesinden ötürü, bileşiğin O-H bantları olması gerekenden daha yüksek değerlere kaydığı belirlenmiştir.

Deneysel titreşim spektrumunda alifatik (C-H) gerilmesine ait bağ titreşimleri, genelde “3000 - 2850  $\text{cm}^{-1}$ ” değerlerinde elde edilmektedir [17]. İncelenen leusofleoksol bileşiğine ait teorik C-H gerilme titreşimleri ise, 2892 - 3174  $\text{cm}^{-1}$  dalga sayısı aralığında 22 tane frekans olan pik bölgesi elde edilmiştir. Metil gruplarından meydana gelen “C<sub>17</sub>, C<sub>18</sub>, C<sub>19</sub>, C<sub>20</sub>” atomlarının infrared gerilme titreşimleri, genel CH gerilmesi titreşimlerinin gözlemlendiği bölgede elde edilmiştir. Ayrıca leusofleoksol bileşiğinin epoksit halkasında bulunan “C<sub>15</sub>-C<sub>16</sub>” atomlarının, karbon hidrojen (C-H) gerilme titreşimlerinin en fazla 3174  $\text{cm}^{-1}$  değerinde pik verdiği gözlenmiştir.

Deneysel titreşim spektrumunda karbon oksijen bağı (C-O) gerilme titreşimleri, genelde “1400 - 1000  $\text{cm}^{-1}$ ” dalga sayısı aralığında sinyal vermektedir [17]. Leusofleoksol bileşiğine ait hesapsal C-O gerilme titreşimleri ve diğer modlarla beraber 1074 ve 1122  $\text{cm}^{-1}$  dalga sayılarında olduğu tespit edilmiştir.

Parmak izi bölgesinde bulunan C-H sallanma titreşimleri, deneysel infrared spektrumunda genelde “900-600  $\text{cm}^{-1}$ ” değerlerinde sinyaller elde edilir. Siklik moleküllerde durum ise, sallanma titreşim frekansları daha değerlerde sinyal vermektedir [17]. Teorik olarak hesaplanan C-H sallanma titreşimleri 379 – 1331  $\text{cm}^{-1}$  dalga sayısı aralığında, diğer hareketlerle karışım halinde gözlenmiştir ve Tablo 3’de ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Leusofleoksol bileşiğinin deneysel ve teorik spektrumları arasındaki tutarsızlık iki nedene bağlı olabilir. Bu faktörlerden birincisi kimyasal çevreden kaynaklanır. Deneysel infrared spektrumu ölçümleri katı fazda, teorik titreşim hesaplamaları ise gaz fazında gerçekleştirilmektedir. İkincisi neden ise, deneysel değerlerin harmonik olmayan bir frekansta, hesaplanan değerlerin ise harmonik bir frekansta olmasıdır [18,19]. Bir başka deyişle, Gaussian09 programı infrared frekansı teorik hesaplamalarının harmonik düzeyde, deneysel titreşim frekansı ölçümlerinin ise anharmonik olması söz konusudur.

Tablo 3. Leusofleksol bileşiğine ait seçilmiş teorik titreşim dalgaları, frekans aralığı (379 – 3762 cm<sup>-1</sup> ve IR yoğunluğu 20 ve üzerinde olan pikler)

Mod	B3LYP/cc-pVDZ	Titreşim Türleri (Yaklaşık Açıklama)
26	379	[ $\rho$ O1-H + $\rho$ O2-H + $\rho$ C3-H <sub>2</sub> + $\rho$ C18-H <sub>3</sub> ]
27	394	[ $\rho$ C2-H <sub>2</sub> + $\rho$ C6-H <sub>2</sub> + $\rho$ C7-H <sub>2</sub> + $\rho$ O1-H + $\rho$ C12-H <sub>2</sub> ]
46	782	[ $\rho$ O1-H + $\rho$ O2-H + $\tau$ C2-H <sub>2</sub> + $\rho$ C3-H <sub>2</sub> + $\rho$ C7-H <sub>2</sub> + $\rho$ C16-H <sub>2</sub> ]
52	890	[ $\rho$ C6-H <sub>2</sub> + $\rho$ C14-H + $\delta$ C15-O3-C16 + $\omega$ C16-H <sub>2</sub> + $\rho$ C17-H <sub>3</sub> ]
68	1063	[ $\tau$ C2-H <sub>2</sub> + $\tau$ C3-H <sub>2</sub> + $\omega$ C18-H <sub>3</sub> + $\omega$ C19-H <sub>3</sub> + $\omega$ C17-H <sub>3</sub> + $\omega$ C6-H <sub>2</sub> + $\rho$ C16-H <sub>2</sub> ]
70	1074	[ $\nu$ C1-O + $\nu$ C11-O + $\tau$ C16-H <sub>2</sub> + $\omega$ C12-H <sub>2</sub> + $\omega$ C3-H <sub>2</sub> + $\rho$ O1-H + $\rho$ O2-H]
75	1122	[ $\tau$ C12-H <sub>2</sub> + $\tau$ C2-H <sub>2</sub> + $\nu$ C1-O + $\omega$ C18-H <sub>3</sub> + $\omega$ C19-H <sub>3</sub> + $\rho$ C17-H <sub>3</sub> ]
83	1193	[ $\tau$ C12-H <sub>2</sub> + $\tau$ C2-H <sub>2</sub> + $\omega$ C3-H <sub>3</sub> + $\omega$ C18-H <sub>2</sub> + $\omega$ C19-H <sub>2</sub> + $\rho$ O1-H + $\rho$ O2-H]
96	1331	[ $\omega$ C12-H <sub>2</sub> + $\rho$ O1-H + $\tau$ C8-C9-C11-C12-C13-C14 + $\omega$ C6-H <sub>2</sub> + $\delta$ C16-H <sub>2</sub> + $\rho$ C1-H + $\rho$ C2-H <sub>2</sub> + $\tau$ C3-H <sub>2</sub> + $\rho$ C5-H]
128	2892	[ $\gamma$ C1H-C2-C3H-C4-C5H-C10 + $\gamma$ C5H-C6-C7H-C8-C9H-C10 + $\nu_2$ C2-H <sub>2</sub> ]
130	2970	[ $\gamma$ C5H-C6-C7H-C8-C9H-C10 + $\nu_3$ C7-H <sub>2</sub> + $\nu_3$ C3-H <sub>2</sub> ]
131	2991	[ $\nu_2$ C6-H <sub>2</sub> + $\nu_3$ C7-H <sub>2</sub> + $\nu$ C5-H + $\nu$ C9-H + $\nu$ C11-H]
132	3000	[ $\nu_2$ C2-H <sub>2</sub> + $\nu_3$ C3-H <sub>2</sub> + $\nu_3$ C18-H <sub>3</sub> + $\nu_3$ C19-H <sub>3</sub> + $\nu$ C5-H + $\nu$ C1-H + $\nu$ C11-H]
133	3005	[ $\nu$ C9-H + $\nu$ C11-H + $\nu$ C5-H + $\nu_2$ C12-H <sub>2</sub> + $\nu_3$ C3-H <sub>2</sub> ]
134	3022	[ $\nu_3$ C18-H <sub>3</sub> + $\nu_3$ C19-H <sub>3</sub> + $\nu_3$ C3-H <sub>2</sub> + $\nu$ C5-H + $\nu_3$ C6-H <sub>2</sub> ]
135	3026	[ $\nu_3$ C17-H <sub>3</sub> + $\nu_3$ C12-H <sub>2</sub> + $\nu$ C15-H]
138	3044	[ $\nu_3$ C6-H <sub>2</sub> + $\nu_2$ C7-H <sub>2</sub> + $\nu_3$ C2-H <sub>2</sub> + $\nu_3$ C19-H <sub>3</sub> + $\nu_3$ C20-H <sub>3</sub> + $\nu_2$ C18-H <sub>3</sub> ]
140	3053	[ $\nu_3$ C2-H <sub>2</sub> + $\nu_2$ C3-H <sub>2</sub> + $\nu_3$ C19-H <sub>3</sub> + $\nu_3$ C20-H <sub>3</sub> + $\nu_3$ C6-H <sub>2</sub> + $\nu_2$ C7-H <sub>2</sub> ]
141	3069	[ $\nu_3$ C16-H <sub>2</sub> + $\nu$ C15-H + $\nu_3$ C12-H <sub>2</sub> + $\nu_3$ C17-H <sub>3</sub> + $\nu_3$ C20-H <sub>3</sub> ]
142	3072	[ $\nu_3$ C20-H <sub>3</sub> + $\nu_3$ C6-H <sub>2</sub> + $\nu_2$ C7-H <sub>2</sub> + $\nu_2$ C12-H <sub>2</sub> + $\nu_3$ C16-H <sub>2</sub> + $\nu$ C15-H]
143	3073	[ $\nu_3$ C20-H <sub>3</sub> + $\nu_3$ C6-H <sub>2</sub> + $\nu_2$ C7-H <sub>2</sub> + $\nu_2$ C18-H <sub>3</sub> + $\nu_2$ C19-H <sub>3</sub> + $\nu_2$ C12-H <sub>2</sub> + $\nu_3$ C16-H <sub>2</sub> + $\nu$ C15-H]
144	3079	[ $\nu_3$ C6-H <sub>2</sub> + $\nu$ C15-H + $\nu_3$ C12-H <sub>2</sub> + $\nu_3$ C17-H <sub>3</sub> + $\nu$ C11-H]
145	3083	[ $\nu_2$ C2-H <sub>2</sub> + $\nu_2$ C3-H <sub>2</sub> + $\nu_2$ C18-H <sub>3</sub> + $\nu_2$ C19-H <sub>3</sub> + $\nu_2$ C20-H <sub>3</sub> + $\nu_2$ C6-H <sub>2</sub> + $\nu$ C1-H]
146	3086	[ $\nu_2$ C6-H <sub>2</sub> + $\nu_2$ C7-H <sub>2</sub> + $\nu_2$ C18-H <sub>3</sub> + $\nu_2$ C19-H <sub>3</sub> + $\nu_2$ C2-H <sub>2</sub> + $\nu_2$ C3-H <sub>2</sub> + $\nu$ C5-H]
147	3090	[ $\nu_2$ C6-H <sub>2</sub> + $\nu_2$ C7-H <sub>2</sub> + $\nu_2$ C18-H <sub>3</sub> + $\nu_2$ C19-H <sub>3</sub> + $\nu_2$ C2-H <sub>2</sub> + $\nu_2$ C3-H <sub>2</sub> ]
148	3097	[ $\nu_2$ C19-H <sub>3</sub> + $\nu_2$ C6-H <sub>2</sub> + $\nu_2$ C20-H <sub>3</sub> + $\nu_3$ C17-H <sub>3</sub> ]
149	3099	[ $\nu_2$ C17-H <sub>3</sub> + $\nu_2$ C15-H + $\nu_2$ C19-H <sub>3</sub> + $\omega$ C14-H]
150	3104	[ $\nu_2$ C18-H <sub>3</sub> + $\nu_2$ C19-H <sub>3</sub> + $\nu_2$ C6-H <sub>2</sub> + $\nu_2$ C2-H <sub>2</sub> + $\nu_2$ C3-H <sub>2</sub> ]
152	3116	[ $\nu_2$ C12-H <sub>2</sub> + $\nu_2$ C17-H <sub>3</sub> + $\nu_2$ C20-H <sub>3</sub> ]
153	3126	[ $\nu_2$ C19-H <sub>3</sub> + $\nu_2$ C20-H <sub>3</sub> + $\nu_2$ C18-H <sub>3</sub> + $\nu_2$ C12-H <sub>2</sub> ]
157	3174	[ $\nu_2$ C16-H <sub>2</sub> + $\nu$ C15-H]
158	3579	[ $\nu$ O2-H + $\nu$ O1-H]
159	3762	[ $\nu$ O1-H + $\nu$ O2-H]

$\nu_2$ : Simetrik gerilme,  $\nu_3$ : asimetrik gerilme,  $\delta$ : makaslama,  $\rho$ : sallanma,  $\tau$ : kıvrıma,  $\omega$ : dalgalanma,  $\zeta$ : burulma,  $\gamma$ : düzlem dışı açılı bükülme.

### 3.3. <sup>13</sup>C-NMR spektroskopisi

Leusofleoksol bileşiğine ait karbon NMR kimyasal kayma değerleri, kloroform çözücüsü içerisinde teorik yaklaşımlar kullanılarak, B3LYP/(6-31G), B3LYP/(cc-pVDZ), HF/(6-31G) ve WB97XD/(6-31G) metodlarında hesaplanmıştır. Tetrametilsilanın HF/(6-31G(d)) GIAO metoduyla hesaplanan değerleri referans noktası olarak alınmıştır. Pimaran iskeletine sahip bileşiğin C13–nükleer manyetik rezonans kimyasal kayma değerleri literatürde deneysel çalışmadan elde edilmiştir [9]. Çeşitli düzeylerdeki teorik hesaplama sonuçları Tablo 4'de ayrıntılı sunulmuştur.

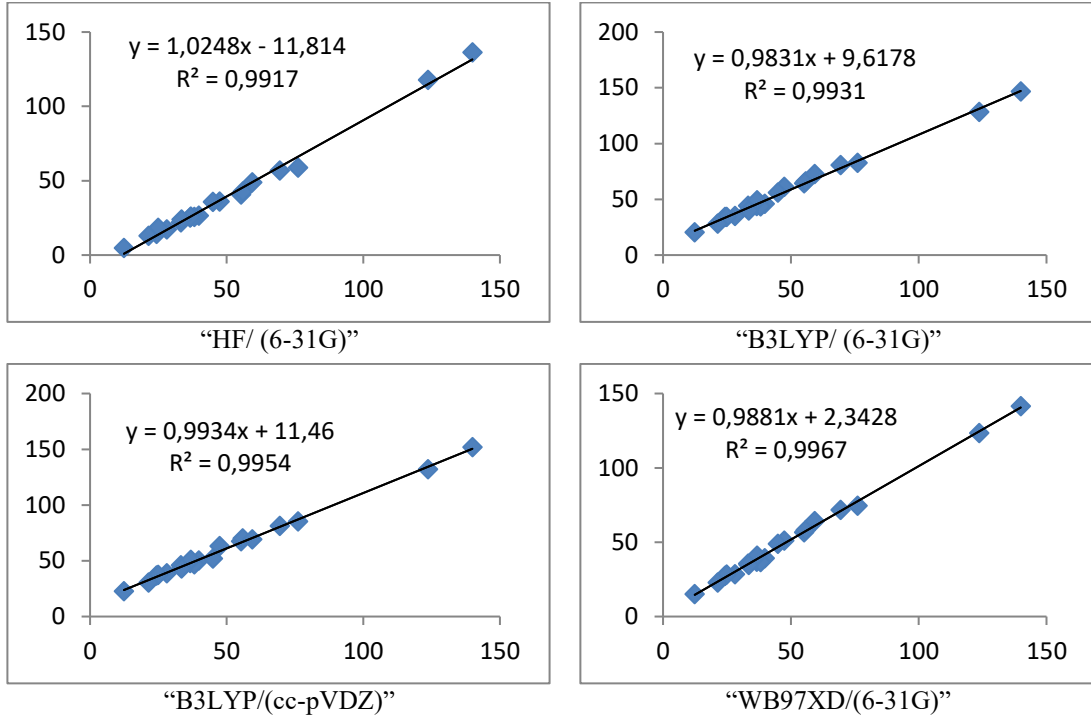
Tablo 4. Leusofleoksol bileşiğine ait deneysel/hesapsal karbon (<sup>13</sup>C)-NMR kimyasal kayma değerleri (δ, ppm)/referans (TMS; HF/(6-31G(d)) GIAO yöntemi).

	Deneysel <sup>[7]</sup>	HF/ 6-31G	B3LYP/ 6-31G	B3LYP/ cc-pVDZ	WB97XD/ 6-31G
C1	76.1	58.7	82.7	85.2	74.5
C2	28.1	17.2	35.1	38.8	28.5
C3	39.8	26.4	45.9	50.2	39.2
C4	33.2	21.9	44.1	45.9	35.5
C5	55.2	40.7	64.2	67.5	56.7
C6	24.3	14.3	34.1	36.7	27.4
C7	36.6	25.2	44.0	48.1	36.8
C8	139.9	136.2	146.7	151.8	141.5
C9	55.8	42.7	65.9	70.0	58.2
C10	47.4	35.9	61.2	63.1	51.1
C11	69.4	56.8	80.7	81.2	71.7
C12	38.2	25.5	43.6	46.8	36.7
C13	36.8	25.8	49.0	50.9	40.9
C14	123.7	117.8	128.2	132.0	123.5
C15	59.3	48.8	72.7	69.2	64.2
C16	44.9	35.7	55.8	52.1	48.8
C17	24.9	18.4	34.3	37.4	28.2
C18	33.5	23.9	39.9	43.2	34.6
C19	21.4	12.9	28.0	30.5	22.8
C20	12.4	4.7	20.4	22.7	15.1

Tablo 4 incelendiğinde, hesaplanan tüm teorik düzeylerde karbon nükleer manyetik kimyasal kayma değerleri, deneysel gözlenen pikler ile benzer sonuçlar verdiği görülmektedir. Özellikle leusofleoksolün olefinik gruba ait karbon sinyallerinin deneysel <sup>13</sup>C-NMR spektrumunda, 123.7 ve 139.9 ppm aşağı alan bölgesinde gözlenmektedir. İlgili karbonların teorik sinyal değerleri WB97XD/(6-31G) düzeyinde sırasıyla 123.5 ve 141.5 ppm olarak başarıyla hesaplanmıştır. Halka içerisinde bulunan köprü karbon atomlarının sinyalleri oldukça doğru hesaplanmasına rağmen, köprübaşı karbon atomlarının sinyallerinde bazı hatalı hesaplamalar olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca deneysel/teorik <sup>13</sup>C-NMR isotropik kayma değerleri Microsoft Excel programı yardımıyla regresyon (R<sup>2</sup>) ve korelasyon denklemleri (y=ax+b) oluşturulmuştur (Şekil 2). Leusofleoksol molekülüne ait regresyon (R<sup>2</sup>) ve eğim değerleri incelendiğinde, deneysel değer ile teorik yöntemlerle elde edilen veriler arasındaki en iyi regresyon değerleri R<sup>2</sup>=0,997 değeri ile

WB97XD/(6-31G) ve  $R^2=0,995$  değeri ile B3LYP(cc-pVDZ) seviyelerinde gözlenmiştir. Regresyon denkleminin eğim değerlerini göz önünde tuttuğumuzda ise, bir tam sayısına en yakın değeri veren B3LYP/(cc-pVDZ) düzeyi olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen istatistiksel veriler ve değerlendirmeler ışığında, leusofleoksol bileşiğinin  $^{13}\text{C}$ -Nükleer manyetik rezonans ppm değerlerinin belirlenmesinde en iyi hesaplamalı teorik yöntemlerin, WB97XD/(6-31G) ve B3LYP/(cc-pVDZ) düzeyleri olduğu sonucuna varılmıştır.



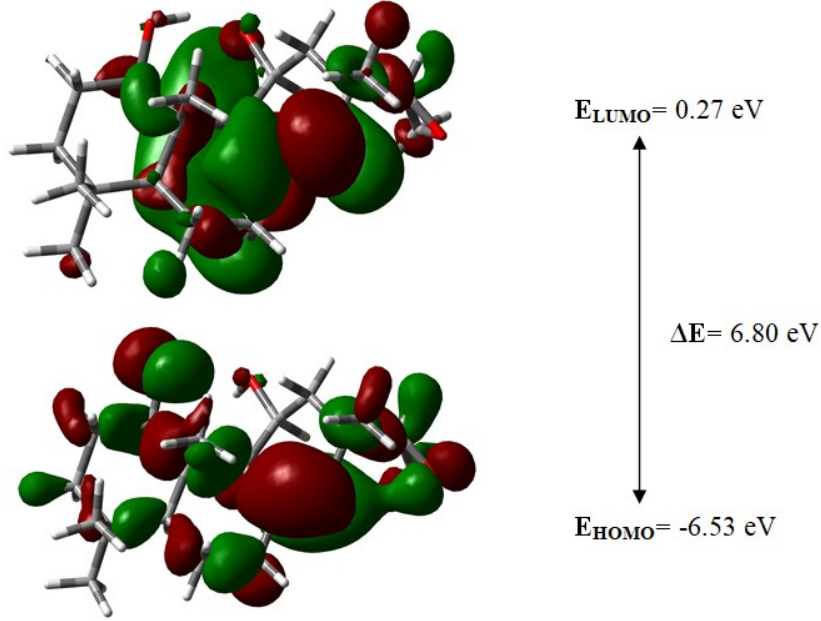
Şekil 2. Leusofleoksol bileşiğine ait deneysel  $^{13}\text{C}$ -NMR kimyasal kayma değerlerinin teorik değerlerle korelasyon dağılım grafikleri.

### 3.4. Sınır MO ve elektronik özellikler

Sınır moleküler orbitalleri, Sınır MO (HOMO ve LUMO), bir molekülün optik ve elektronik özelliklerinin ortaya çıkarılmasında önemli bilgiler sunduğu literatürdeki pek çok çalışmada vurgulanmaktadır. Burada "HOMO en yüksek enerjili dolu moleküler orbital" ve "LUMO ise en düşük enerjili boş moleküler orbital" olarak tanımlanırlar ve kimyasal reaksiyonlarda öncü rol oynamaktadırlar. Sınır orbitallerinin yayılım gösterdiği bölgeler kimyasal tepkime verme eğiliminde olduğu vurgulanmaktadır [20-26].

Leusofleoksol bileşiğinin HOMO ve LUMO orbital haritaları, B3LYP/(cc-pVDZ) seviyesindeki hesaplamalarla elde edilmiş ve Şekil 3'de sunulmuştur. Buradan görüldüğü üzere, seçilen teori düzeyinde HOMO orbitalleri genel olarak molekülün tamamına yayılmıştır. LUMO orbitalleri ise, bileşiğin çift bağ kısmında bulunan karbon atomları "C8 - C14" arasında lokalize oldukları görülmektedir. Ayrıca "C18 ve C19" atomuna bağlı olan  $-\text{CH}_3$  gruplarının sınır orbital yayılımları en az olmakla birlikte, bu bölgelerin tepkime verme eğilimi düşük alanlar olduğu kuramsal belirlenmiştir. Sınır orbital enerji değerleri, atomik biriminden eV birimine çevrilmiştir. HOMO enerjisi  $-6.53$  eV, LUMO enerjisi ise  $0.27$  eV olarak B3LYP(cc-pVDZ) düzeyinde elde edilmiştir. İlgili bileşiğin sınır moleküler orbital farkı ( $\Delta E = E_{\text{LUMO}} - E_{\text{HOMO}}$ ) değerine göre,  $\Delta E$  değerinin nispeten

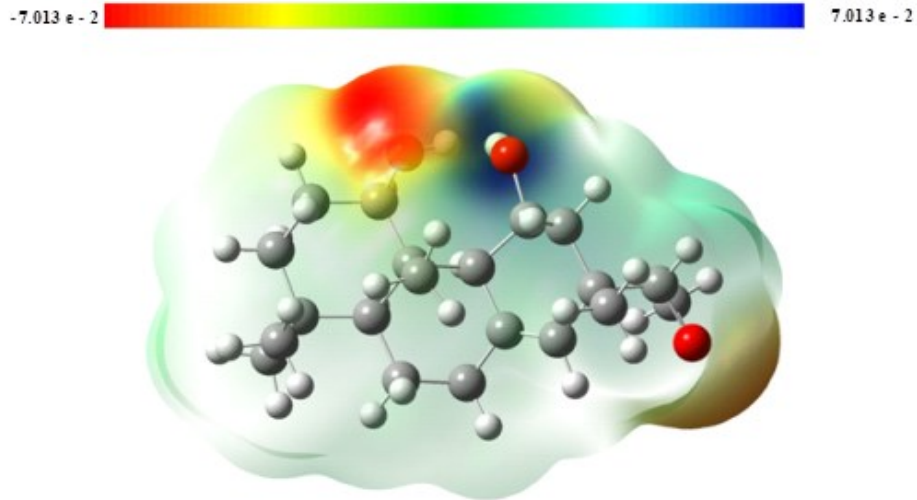
yüksek değeri molekülün kimyasal kararlılık gösterdiği ve düşük reaktivliğe sahip olduğunu kuramsal olarak öngörülmüştür.



Şekil 3. Leusofleoksol bileşiğinin HOMO ve LUMO orbital haritaları (B3LYP / (cc-pVDZ) metodu) ve enerji düzeyleri

### 3.5. MEP haritaları

MEP haritaları sayesinde bileşiğin pozitif ve negatif yüklü alanları belirlenebilmektedir. Çalışılan molekülün elektrofilik veya nükleofilik saldırılara maruz kalabileceği bölgelerin anlaşılmasında sıklıkla kullanılan teorik bir yöntem olarak tanımlanabilir. Kırmızı renkli kısımlar elektronca zengin olan bölgeleri (kısmi - yükü), mavi renkli kısımlar ise elektronca fakir olan bölgeleri (kısmi + yükü) ifade etmektedir. Ayrıca daha az elektron içeren kısımlar sarı ile resmedilirken, yaklaşık nötr olan bölgeler (sıfır potansiyel) yeşil ile gösterilmektedir [27-30]. Leusofleoksol bileşiğinin MEP haritası Şekil 4'de sunulmuştur.



Şekil 4. Leusofleoksol bileşiğinin (B3LYP / (cc-pVDZ)) MEP haritası.



Leusofleoksol bileşiğine ait MEP haritası göz önüne alındığında, kırmızı renkli kısımlar elektronların yoğunluğunun en fazla olduğu negatif bölgelerin, “O1, O2 ve O3” atomlarının konumlandığı bölgelerde yoğunlaştığı belirlenmiştir. Dikkat edilirse, 2 nolu oksijen atomunun bulunduğu kısımlarda elektron yoğunluğunun konumlandığı tespit edilmiştir. İlgili bölgelerin nükleofilik karakterli olduğu ve elektrofilik saldırılara maruz kalabilecek yerler olduğu tespit edilmiştir. Haritada mavi renk ile gösterilen kısımlar, elektron yoğunluğunun en az olduğu pozitif bölgelerdir. Özellikle C22 atomunun etrafında konumlandığı belirlenmiştir. Buranın elektrofilik karakterli olduğu ve nükleofilik saldırılara karşı en açık bölge olduğu sonucuna varılmıştır. Böylelikle, leusofleoksol molekülünün kovalent olmayan etkileşimlerin meydana gelebileceği bölgeleri tahmininde MEP haritaları önemli veriler sunmaktadır.

### Teşekkür

“Bu çalışma, Balıkesir Üniversitesi tarafından desteklenmiştir, BAP Proje No: 2020/037. Desteklerinden dolayı Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi’ne teşekkürlerimi sunarım.”

### Kaynaklar

- [1] Eksi, G., Kurbanoglu, S. ve Erdem, S. A., **Analysis of diterpenes and diterpenoids**, in Nabavi, S., Saedi, M., Nabavi, S. ve Silva, A. S., *Recent Advances in Natural Products Analysis*, Elsevier Press, 313-345, Amsterdam, (2020).
- [2] Çarıkçı, S., Kılıç, T., Gören, A. C., Dirmenci, T., Toraman, G. Ö. A. ve Topçu, G., Chemical profile of the Anatolian Sideritis species with bioactivity studies, **Pharmaceutical Biology**, 61, 1484-1511, (2023).
- [3] Imran, I., Hussain, L., Zia-Ul-Haq, M., Janbaz, K. H., Gilani, A. H. ve Feo, V. D., Gastrointestinal and respiratory activities of Acacia leucophloea, **J. Ethnopharmacol.**, 138, 676–682, (2011).
- [4] Azizoğlu, A., Özer, Z., Çarıkçı, S. ve Kılıç, T., Comparative experimental and theoretical study on the molecular structure and spectroscopic properties of sideroxol isolated from Sideritis stricta and its electronic properties. **French-Ukrainian J. Chem.**, 9, 94–107, (2021).
- [5] Çalışır, Ü. ve Çiçek B., Bazı yeni N-süstitüe amino asit esterlerinin yapısal özelliklerinin in silico ile araştırılması, **BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi**, 25, 748-760, (2023).
- [6] Özer, Z. A., Kılıç, T., Çarıkçı, S., ve Azizoğlu, A., Synthesis Structural Characterization Spectroscopic Properties and Theoretical Investigations of Acetoxy Siderol. **Russian J. Physical Chem. A**, 93, 2703–2709, (2019).
- [7] Çıtak, S. Özer, Z., Kılıç, T., Çarıkçı, S., ve Azizoğlu, Experimental and theoretical study on linearol isolated from Sideritis species, **Revue Roumaine De Chimie**, 59, 227–234, (2014).
- [8] Bansal, R. K., Garcia-Alvarez, M. C., Joshi, K. C., Rodriguez, B. ve Patni, R., Diterpenoids from Acacia leucophloea, **Phytochemistry**, 19, 1979-1983, (1980).
- [9] Carmen, M. D., Cano, F. H. ve Rodriguez, B., Diterpenoids from Acacia leucophloea: Revision of the structures of leucophleol and leucophleoxol, **J. Nat. Prod.**, 64, 899–902, (2001).

- [10] Frisch, M. J., Trucks, G. W., Schlegel, H. B., Scuseria, G. E., Robb, M. A., Cheeseman, J. R., Scalmani, G., Barone, V., Mennucci, B., Peterson, G. A., Nakatsuji, H., Caricato, M., Li X, Hratchian, H P, Izmaylov, A. F., Bloino, J., Zheng, G., Sonnenberg, J. L., Hada, M., Ehara, M., Toyota, K., Fukuda, R., Hasegawa, J., Ishida, M., Nakajima, T., Honda, Y., Kitao, O., Nakai, H., Vreven, T., Montgomery, J. A., Jr., Peralta, J. E., Ogliaro, F., Bearpark, M., Heyd, J. J., Brothers, E., Kudin, K. N., Staroverov, V. N., Kobayashi, R., Normand, J., Raghavachari, K., Rendell, A., Burant, J. C., IyengaSr, S. S., Tomasi, J., Cossi, M., Rega, N., Millam, M. J., Klene, M., Knox, J. E., Cross, J.B., Bakken, V., Adamo, C., Jaramillo, J., Gomperts, R., Stratmann, R. E., Yazyev, O., Austin, A. J., Cammi, R., Pomeli, C., Ochterski, J. W., Martin, R. L., Morokuma, K., Zakrzewski, C. G., Voth, G. A., Salvador, P., Dannenberg, J. J., Dapprich, S., Daniels, A. D., Farkas, O., Foresman, J. B., Ortiz, J. V., Cioslowski, J. ve Fox, D. J., **Gaussian 09**, Rev. A.02, Gaussian, Inc, Wallingford CT, (2016).
- [11] Azizoglu, A., Özer, Z. ve Kilic, T., An experimental and theoretical study on siderol isolated from sideritis species, **Collect. Czech. Chem. Commun.**, 76, 95–114, (2011).
- [12] Azizoglu, A. ve Yildiz, C.B., Spectroscopic Structural Aromaticity and Electronic Properties of Isatoic Anhydride - Experimental and Theoretical Investigations, **Indian J. Pure and Appl. Phys.** 59, 437–446, (2021).
- [13] K. Fukui, **Theory of Orientation and Stereoselection**, Springer-Verlag Press, New York, (1975).
- [14] Szatyłowicz, H., Wieczorkiewicz, P. A. ve Krygowski, T. M., **Molecular geometry as a source of electronic structure of  $\pi$ -electron systems and their physicochemical properties**, in Fernandez, I., *Aromaticity: Modern Computational Methods and Applications*, Elsevier Press, 71-99, New York, (2021).
- [15] Azizoglu, A. ve Azizoglu, N., A Theoretical study on the Molecular and electronic structure of halogenated sumanene, **Proceedings 2nd Int. Aegean Phys. Chem. Days**, 113, Ayvalık, (2004).
- [16] Kaya, A., Abietan ve pimarane iskeletine sahip bileşiklerin elektronik, moleküler yapılarının ve titreşim özelliklerinin teorik olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, (2020).
- [17] Silverstein, R. M. ve Webster, F. X., **Spectroscopic Identification of Organic Compounds**, John Wiley & Sons Ltd., New York, (2005).
- [18] Timouri, A., Emami, M., Chermahini, A. N. ve Dabbagh, H. A., Spectroscopic quantum chemical DFT/HF study and synthesis of [2.2.1] hept-2-en-2-amino-N-azatricyclo[3.2.1.0] octane, **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spect.**, 71, 1749-1755, (2009).
- [19] Odabasioglu, S., Kurtaran, R., Azizoglu, A., Kara, H., Oz, S., Atakol, O., Experimental and computational investigations of a cadmium(II) mononuclear complex with 2,6-bis(3,5-dimethyl-N-pyrazolyl)pyridine (bdmpp) and selenocyanate as ligands, **Cent. Eur. J. Chem.**, 7, 402-409, (2009).
- [20] Fleming, I., **Frontier Orbitals and Organic Chemical Reactions**, John Wiley & Sons Ltd., London, (1976).
- [21] Çelik, M. S. ve Azizoğlu, A., Vibrational spectra and assignments of strained cyclic allenes investigated by theoretical methods, **Proceedings Int. Conf. on Apps. in Chem. and Chem. Eng. ICACHE 2017**, Saraybosna, Bosna Hersek, 27, (2017).

- [22] Kassae, M.Z., Zandi, H., Haerizade, B.N. ve Ghambarian, M., Effects of a-mono heteroatoms (N vs. P), and b-conjugation on cyclic silylenes, **Comput. Theory Chem.** 1001, 39–43, (2012).
- [23] Alezzy, A. A., Al-horaibi, S. A., Alnahari, H. A., Al-Odayni, A. B., AlSaeedy, M., Al-Adhrai, A., Saeed, W., Alshawesh, G. ve Arif, P. M., Synthesis, characterization, and biological studies of novel N(cinnamylidene) sulfamethoxazole (SMZ-CAL) and its metal complexes, **J. Mol. Struct.**, 1299, 137069-137069, (2024),
- [24] Kalecik, Güzel, S. E., Doğan, O. E., Ağar, E. ve Yavuz, M., (E)-4-bromo-5-floro-2-(((4-(fenilamino)fenil)imino)metil)fenol bileşiğinin kimyasal aktivite ve spektroskopik çalışmaları, **Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi**, 12, 821-840, (2022).
- [25] Hamid, A. M. A., Amer, A. H., Assy, M. G., Zordok, W. A., Mouneir, S. M., El-Kalyoubi, S. ve Shehab, W. S., Synthesis, pharmacological evaluation, DFT calculation, and theoretical investigation of spirocyclohexane derivatives, **Bioorganic Chem.**, 131, 106280, (2023).
- [26] Aygün, M., Structural characterization and DFT studies of an oxazol-5-one derivative, **BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi**, 20, 389-397, (2018).
- [27] Politzer, P., Abrahmsen, L. ve Sjoberg, P, Effects of amino and nitro substituents upon the electrostatic potential of an aromatic ring, **J. Am. Chem. Soc.**, 106, 855–860, (1984).
- [28] Kaya, A. ve Azizoğlu, A., Abietan iskeletine sahip szemaoenoid A molekülünün teorik olarak incelenmesi, **Süleyman Demirel Üniv. Fen Edebiyat Fak. Fen Dergisi**, 17, 82-95, (2022).
- [29] Kolancılar, H., DFT yöntemi kullanılarak 1,3-bis- {(2-aminobenzoil) amino} propanin teorik hesaplamaları ve bu değerlerin literatürdeki deneysel değerler ile karşılaştırılması, **Düzce Üniv. Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 7, 3, 1319–1334, (2019).
- [30] Saraç, K., 4-Klorometil-6,8-dimetilkumarin Bileşiğinin Sentezi ve Teorik Kimyasal Hesaplamaları, **BEÜ Fen Bilimleri Dergisi**, 7, 311–319, (2018).

# Heyelan duyarlılığı değerlendirmelerinde akarsulara uzaklık parametresinin kullanımına yönelik yeni bir yaklaşım

Murat ERCANOĞLU<sup>1,\*</sup>, Pınar AVCI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jeoloji Müh. Bölümü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara

Geliş Tarihi (Received Date): 25.01.2024

Kabul Tarihi (Accepted Date): 03.07.2024

## Öz

Doğal tehlikelerden biri olan heyelanlar nedeniyle, Türkiye’de ve diğer ülkelerde hem can ve mal kayıpları hem de ekonomik ve çevresel kayıplar ortaya çıkabilmektedir. Afet bilinci kavramının, özellikle son yıllarda yaygınlaşması ve gerek, ulusal gerekse uluslararası inisiyatiflerin dikkate aldıkları önlemler ve iyileştirme çalışmaları ile doğal tehlikelerden kaynaklanan zararların, en düşük seviyeye düşürülmesine çalışılmaktadır. Bunlardan, heyelan tehlike ve risk çalışmalarının temel girdi parametrelerinden biri olan heyelan duyarlılık çalışmaları da son derece büyük öneme sahiptir. Heyelan duyarlılık çalışmalarında parametre seçimi ile bu parametrelerin doğru ve temsil edici bir şekilde kullanılması da önemli bir konudur. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında, heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde sıklıkla ve öznel olarak dikkate alınan akarsulara uzaklık parametresinin kullanımına yönelik olarak yeni bir yaklaşım önerilmesi ve mevcut yöntemlerle karşılaştırmasının yapılması amaçlanmıştır. Heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde Frekans Oranı yöntemi temel alınarak, topoğrafik yükseklik, yamaç eğimi, arazi kullanımı, litoloji, baki, yamaç eğriselliği ve üç farklı yöntemle oluşturulan akarsulara uzaklık parametreleri dikkate alınmıştır. Akarsulara uzaklık parametresi dışındaki parametreler sabit tutularak, üç farklı heyelan duyarlılık haritası üretilmiş ve performansları iki farklı yöntemle sınanmıştır. Bu çalışmada önerilen şekliyle akarsulara uzaklık parametresinin kullanımının, her iki performans sınama yönteminde de en iyi performansı gösterdiği, sonuç heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde yaklaşık olarak %10’luk bir iyileştirmeye yol açtığı belirlenmiştir. Önerilen yöntemin nesnel ve kullanılabilir olduğu sonucuna varılmış olsa da farklı sahalarda uygulanarak performansla yönelik etkilerinin araştırılması önerilmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Heyelan, heyelan duyarlılığı, akarsulara uzaklık, hazırlayıcı parametreler.

\*Murat ERCANOĞLU, murate@hacettepe.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-3496-214X>

Pınar AVCI, pavci@hacettepe.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-4158-0107>

## A new approach to utilization of distance to stream parameter in landslide susceptibility assessments

### Abstract

*Due to landslides, one of the natural hazards, both life and property losses, as well as economic and environmental damages, may occur in Turkey and in the other countries. The concept of disaster awareness has become widespread, especially in recent years, and efforts are being performed to minimize the damages caused by natural hazards through the measures and improvement efforts taken by both national and international initiatives. Among these, landslide susceptibility studies, which are one of the basic input parameters of landslide hazard and risk studies, are of great importance. In landslide susceptibility studies, parameter selection and the correct and representative utilization of these parameters are also important issues. Therefore, within the scope of this study, it was aimed to propose a new approach for the use of the distance to streams parameter, which is frequently and subjectively taken into account in landslide susceptibility assessments, and to compare it with the existing methods. In the evaluation of landslide susceptibility performed by the Frequency Ratio method, topographical elevation, slope, land use, lithology, aspect, slope curvature and distance to streams, produced by three different methodologies, were taken into account. By keeping the parameters constant except for the distance to the streams, three different landslide susceptibility maps were produced and their performances were tested with two different methods. It was determined that the use of the distance to streams parameter, as suggested in this study, showed the best performance in both performance testing methods and resulted in an approximately 10% improvement in landslide susceptibility evaluations. Although it has been concluded that the proposed methodology is objective and usable, it is recommended to investigate its effects on performance by applying it in different areas.*

**Keywords:** *Landslide, landslide susceptibility, distance to streams, conditioning parameters.*

### 1. Giriş

Dünya genelinde birçok ülke, afetler nedeniyle, önemli oranda can ve mal kaybına uğramaktadır. Bu kayıpların azaltılmasına yönelik olarak uluslararası düzeyde özellikle son 30 yıl içinde önemli adımlar atılmıştır. Bu çalışmaların başlangıç noktası kapsamında değerlendirilebilecek ilk girişim, Birleşmiş Milletler (BM) tarafından 1990-2000 yılları arasının “Afetlerin Etkilerinin Azaltılması için 10 Yıl” olarak ilan edilmesi gösterilebilir. İlerleyen zaman diliminde, 2005 yılında düzenlenen Uluslararası Kobe Konferansı’nda, 2005-2015 yıllarının yeni “Afet Risklerinin Azaltılması Onyılı” (Hyogo Çerçeve Eylem Planı), 3. BM Dünya Afet Risklerinin Azaltılması Konferansında da Sendai Afet Risk Azaltılması Çerçevesi kapsamında 2015-2030 yılları arasının, afet risklerinin azaltılarak dirençliliği arttırmayı hedefleyen planlamalar yapılmıştır. Sayısı daha da arttırılabilecek bu tür girişimlerin temel hedefi, deprem, taşkın, heyelan gibi, aslında “doğal tehlike” kavramı içinde değerlendirilen, ancak insan etkisi içerildiğinde “afet”e dönüşen olayların doğurduğu etkilerin en aza indirgenmesidir.

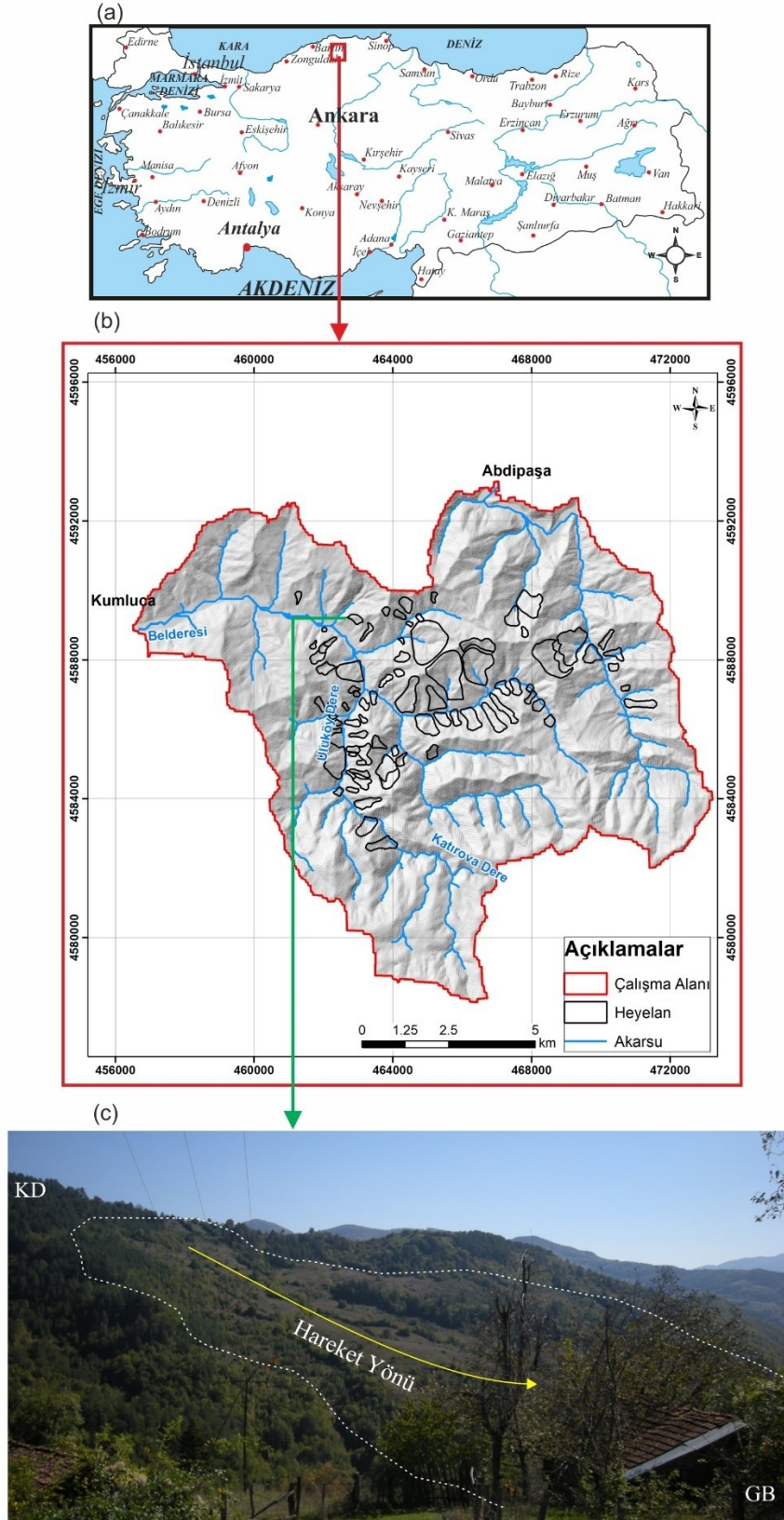
Türkiye’de, depremlerden sonra en çok hasar, zarar ve can kaybına yol açan heyelanlara yönelik olarak yapılan çalışmalar, özellikle son 20-25 yıl içinde önemli oranda ivme kazanmıştır. Bu çalışmalara ilk örnek olarak, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından 1998 yılında başlatılan ve 2009 yılında ulusal ölçekte tamamlanan “Türkiye Heyelan Envanteri Projesi” gösterilebilir. Daha sonra, 1999 yılında yaşadığımız depremlerden sonra bir “afet bilincinin” oluşmaya başladığı ve afetlerden kaynaklanan zararların azaltılması yönünde önemli adımların atılmaya başlandığı görülmektedir. Gerek konuyla ilgili devlet kurumlarımızın, gerekse bilim insanlarımızın çözüme yönelik katkı koyduğu bu tür çalışmaların yanı sıra, 6306 sayılı “Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkındaki Kanun” ile de, ulusal ölçekte afetlere hazırlıklı olma, önlem alma, zararları azaltma gibi hususların gerçekleştirilmesi, kanuni bir zorunluluk halini almıştır. Ayrıca, Afet ve Acil Durum Yönetimi (AFAD) tarafından, izleyen yıllarda Afet Risk Azaltma Sistemi (ARAS), Türkiye Afet Risk Azaltma Planı (TARAP) gibi son derece önemli projeler hataya geçirilmiştir. Heyelan özelinde dikkate alındığında, hali hazırda devam eden ve/veya hayata geçirilmiş projelerin, özellikle zarar azaltmaya yönelik kazanımlara olumlu etkilerinin olduğu ve/veya olacağı açıktır. Bununla birlikte, bu tür uygulamalarda bazı eksikliklerin olabileceği gerek kullanılan yöntemlerde, gerekse parametrelerde güncellemelerin veya düzenlemelerin yapılması gerekliliği de ortaya çıkmaktadır.

Bu kapsamda gerçekleştirilen bu çalışmada amaç, heyelan tehlike ve risk haritalama çalışmalarının temel girdilerinden biri olan heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında, araştırmacılar tarafından sıklıkla dikkate alınan bir parametre olan akarsulara yakınlık parametresinin kullanımına yönelik bir değerlendirme yapılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda, söz konusu parametrenin bilimsel çalışmalarda ne şekilde kullanıldığı yanı sıra, bu çalışma kapsamında yeni ve nesnel bir yöntem de önerilerek, sonuç heyelan duyarlılık haritalarındaki parametrik etki değişimlerinin de ortaya konulması hedeflenmiştir. Önerilen yöntemin, sonuç heyelan duyarlılık performansında önemli oranda bir iyileştirmeye neden olduğu tespit edilmiştir.

## 2. Çalışma alanı

Çalışma alanı Türkiye’nin Batı Karadeniz Bölümü’nde yer almakta olup, Bartın şehir merkezinin yaklaşık 22 km güneydoğusunda dağlık bölge özellikleri gösteren 137.0 km<sup>2</sup>’lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1a) Ana yerleşim yerleri, çalışma alanının kuzeyinde bulunan Abdipaşa, kuzeybatıda bulunan Kumluca ve kuzeydoğuda bulunan Ulus ilçeleridir. Ayrıca, çalışma alanında kırsal yaşam hakim olduğundan yerleşim birimleri dağınık bir yayılım sergilemektedir. Çalışma alanı ve çevresi Türkiye’de heyelanların sıklıkla geliştiği ve geçmişte can ve mal kayıplarının önemli oranda olduğu alanlarından biri olarak bilinmektedir. Örneğin, 1985 ve 1998 yıllarında, çalışma alanının sınırları içinde bulunduğu Batı Karadeniz Bölümü, Türkiye Bakanlar Kurulu kararıyla bölgesel afet alanı ilan edilmiştir.

Çalışma alanında, bu çalışma için yapılan saha çalışmalarına ek olarak, MTA ve AFAD kurumlarının veritabanları da kullanılarak, toplam 81 adet heyelan (Şekil 1b ve 1c) haritalanmıştır. Heyelanların ortalama alansal büyüklüğü 145497.3 m<sup>2</sup> olup en düşük ve en yüksek alansal büyüklükler de sırasıyla 13082 m<sup>2</sup> ve 981825 m<sup>2</sup>’dir. Heyelanlar, Varnes [1] sınıflandırmasına göre, dönel toprak kaymaları olarak sınıflandırılmışlardır.



Şekil 1. a) Çalışma alanı yer bulduru haritası, b) Heyelan envanter haritası, c) Abdipaşa GB'sındaki heyelan görünümü.

Çalışma alanının Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), Harita Genel Müdürlüğü'nden 20 m çözünürlükle temin edilmiştir (Şekil 2a). Çalışma alanında topoğrafik yükseklik, 160 m ile 1735 m (deniz seviyesine göre) arasında değişmekte olup, en büyük yükseltiler, çalışma alanının güney ve güneydoğu sınırına yakın kesimdedir. Alanda, en düşük ve en yüksek eğim değerleri sırasıyla 0° ve 62°'dir (Şekil 2b). Hafif eğimli alanlar (10°'nin altında) akarsu yatakları ve çevresinde bulunurken, dik eğimli alanlar, çalışma alanının özellikle güney ve güneydoğu kesimlerinde bulunmaktadır.

Yaklaşık olarak alanın %87.2'sinde eğim 30 dereceden daha az olup, 40 dereceden daha dik eğimlere sahip alanlar ise %0.9'dur. 2006 yılı için Coordination of Information on the Environment (CORINE) [2] tarafından belirlenen arazi kullanımı özelliklerine göre (Şekil 2c), çalışma alanının %15.8 'i geniş yapraklı ormanlarla, %39.3 'ü karışık ormanlarla kaplıdır. Çalışma alanında üçüncü en yaygın arazi kullanım grubunu oluşturan tarım alanları ise, toplam alanın %20.9'unu kaplamaktadır. Heyelan alanlarının ise sırasıyla %39.9'unu tarım alanları, %53'ünü ise ormanlar (karışık ve geniş yapraklı) oluşturmaktadır. Çalışma alanındaki akarsu kolları dendritik bir drenaj sistemi oluşturmakta olup, Katırova ve Uluköy dereyi oluşturan akarsu kolları birleşerek Belderesine, buradan da drenaj alanının akış aşağısında bulunan Kozcağız dereye boşalmaktadır (Şekil 2d).

Jeolojik olarak, Batı Pontidler tektonik birimi içinde yer alan çalışma alanı, Alt Kretase'den Kuvaterner'e kadar olan 5 farklı litolojiden oluşmaktadır (Kub3, Kus, Kua, Ku ve Qal,) (Şekil 2e). Özellikle, çalışma alanı ve çevresindeki farklı yaşlardaki sedimentar birimler faylar tarafından önemli oranda deforme edilmiş olup, karmaşık jeolojik özellikler ile temsil edilmektedirler [3]. Çalışma alanının %73.6'sında yüzeylenen Ulus Formasyonu (Ku), heyelana en eğimli litolojik birim olup, türbiditik kumtaşı, çamurtaşı ve şist değişimlerini içeren flišel özellikler göstermektedir. Kuvaterner alüvyon birikintileri (Qal), daha eski birimlere uyumsuz bir şekilde en üste gelmiştir. Bunların içinde Ku, heyelan alanlarının %95.7'sini kapsamaktadır. Geç Kretase yaşlı Ulus formasyonu, saha çalışmaları esnasında bozunmaya son derece duyarlı bir birim olarak gözlenmiştir. Ulus formasyonun litolojik özellikleri göz önünde bulundurulduğunda, heyelanların bu birimin bozunma yüzeylerinde oluştuğu gözlemlenmiş olup, bozunma zonu kalınlığı 1-2 m'den başlayıp ve 40 m'ye kadar değişim göstermektedir.

Çalışma alanının bakı ve yamaç eğriselliği haritaları da Şekil 2f ve Şekil 2g'de sunulmuş olup, çalışma alanındaki yamaçların büyük bir kesimi kuzey ve kuzeybatı yönlerine bakmaktadır. Bununla birlikte heyelanların hemen hemen her yönde geliştiği ortaya çıkmıştır. Eğrisellik değerleri negatif ve pozitif değerler arasında değişirken, negatif değerler içbükey yamaçları, pozitif değerler dışbükey yamaçları ve sıfır değeri de düz yamaçları ifade etmektedir. Alan genelinde içbükey, dışbükey ve düz yamaçlar hakim olmakla birlikte heyelanların çoğunlukla içbükey yamaçlarda geliştiği gözlenmiştir.

### 3. Yöntem

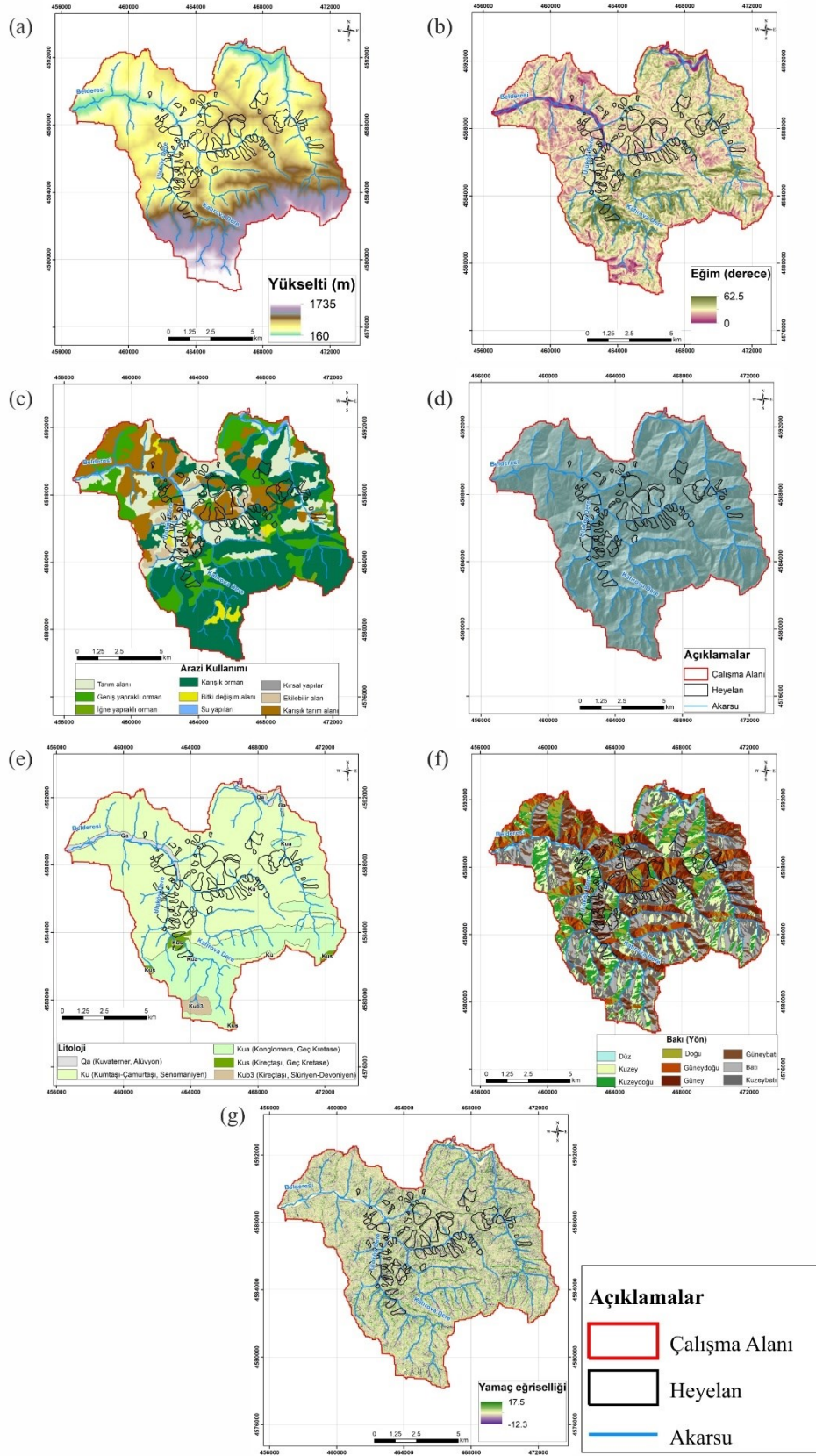
Heyelan kavramı, toprak, moloz veya kayaç türü malzemelerin veya bunların karışımının, yerçekimi etkisiyle aşağı yönde hareketi olarak tanımlanmaktadır [4]. Bu kavram, jeolojik, jeomorfolojik ve çevresel özellikler etkisinde gelişebilen bir süreci tanımlamakla birlikte, deprem, aşırı yağış, volkanik aktivite veya insan etkisi ile de tetiklenebilen bir



doğal olayı betimlemektedir. Bir yamaç üzerindeki hareketin türü, büyüklüğü, hızı gibi birçok özellik, harekete geçen jeolojik malzeme, yamacın jeomorfolojik özellikleri ve arazi kullanımını, bitki örtüsü durumu gibi çevresel koşullara da bağlı olarak değişim gösterebilmektedir. Diğer bir deyişle, bir heyelanın meydana gelmesinde birbirinden farklı türde ve özellikte çok sayıda parametre etkisi bulunmaktadır. Dolayısıyla, bu parametrelerin doğru bir şekilde kullanılması ve heyelan oluşumundaki etkilerinin ortaya konulması, son derece önem arz eden bir husustur. Bu aşamada dikkate alınması gereken bir diğer husus da, heyelan envanter ve veri tabanının oluşturulması ile dikkate alınan parametrelerin arasındaki ilişki(ler)in ortaya konulmasıdır. Bunlardan heyelan envanteri ve veri tabanının oluşturulması, heyelan zararlarının azaltılması konusundaki en önemli unsur olup, heyelan duyarlılık, tehlike ve risk çalışmalarının temelini teşkil etmektedir [5].

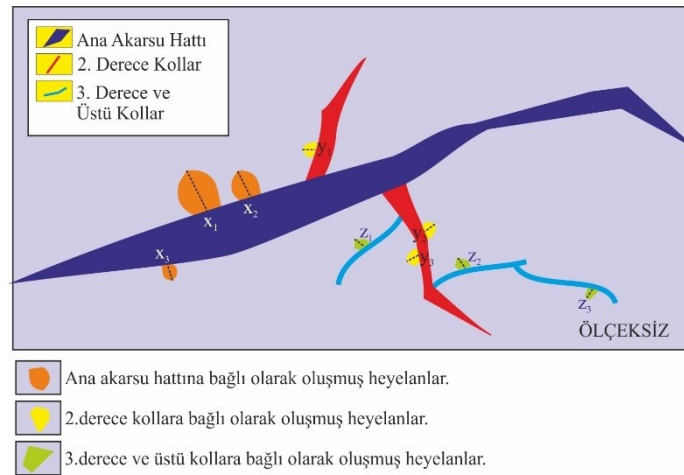
Heyelan değerlendirmelerine yönelik çalışmalar incelendiğinde, günümüzdeki temel analiz yönteminin genelden özele doğru değişim gösterdiği ve sırasıyla duyarlılık, tehlike ve risk çalışmalarının yapılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır [6]. Bunlardan, bu çalışmanın da temel konusu olan heyelan duyarlılığı, heyelan oluşumunda etkin olan hazırlayıcı parametrelerin dikkate alınarak, gelecekte heyelan gelişmesi olası alanların göreceli olarak sınıflandırılması şeklinde tanımlanmaktadır ([7], [8] ve [6]).

Heyelan duyarlılığı kavramı da, tehlike ve risk çalışmalarının temel girdilerinden biri olması nedeniyle, bu tür çalışmaların en önemli aşamalarından biri olarak değerlendirilmektedir [9]. Dolayısıyla, özellikle heyelan envanteri ve veri tabanı ile heyelan duyarlılığı arasındaki ilişki(ler)in ortaya konulması, değerlendirme yöntemi ne olursa olsun, büyük önem kazanmaktadır. Diğer bir deyişle, heyelan duyarlılığının doğru bir şekilde değerlendirilmesi, heyelan envanteri ile dikkate alınan hazırlayıcı parametreler ve bunların güvenilirliğinden doğrudan etkilenmektedir.



Şekil 2. Çalışma alanına ilişkin özellikler. a) SYM, b) Eğim, c) Arazi kullanımı, d) Drenaj ağı, e) Litoloji, f) Bakı, g) Yamaç eğriselliği.

Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde çok sayıda ve farklı kökene sahip parametreler kullanılmaktadır. Aleotti ve Chowdhury [8] tarafından jeolojik, topoğrafik ve çevresel parametreler olarak üç grupta sınıflandırılan bu parametrelerin analizine yönelik birçok çalışma mevcuttur (örn.: [9] ve [10]). Bu çalışmalarda vurgulanan en önemli hususlardan birisi, araştırmacılar tarafından sıklıkla kullanılan bir parametrenin (örn.: yamaç eğimi gibi), heyelan oluşumunda ne derece etkin olduğunun kararının verilmeden, analizlere sokulmaması gerektiğidir. Bu kararın verilmesine yönelik bazı istatistiksel yöntemler (tutarlılık indeksleri, benzerlik ilişki modelleri gibi) bulunuyor olsa da, saha çalışmaları esnasında, araştırmacıların yerinde yapacağı gözlemlerin, daha önemli olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmada irdelenen akarsulara uzaklık – bazı çalışmalarda drenaja yakınlık veya drenaja uzaklık adı altında da değerlendirilmektedir- parametresinin, literatürde farklı kullanımlarına rastlanılmaktadır. Bunlardan en yaygın kullanım, çalışılan alan veya havzadaki drenaj ağını oluşturan akarsulara belirli uzaklıklarda bir tamponlama (buffer) zonu tanımlanarak, heyelan lokasyonları ile ilişkisinin incelenmesi şeklindedir (örn.: [11]-[21]). Bununla birlikte, bu parametrenin ve diğer çizgisel unsurlara uzaklıkla ilgili parametrelerin (örn.: yapısal unsurlara uzaklık, yollara yakınlık gibi) dikkatli bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Zira, bu parametrelerle heyelan oluşumu arasında bir ilişki var ise, ilgili parametrelerin kullanılması ve/veya analizlerde dikkate alınması daha mantıklı sonuçlar üretecektir. Örneğin araştırmacılar, drenaj ağını oluşturan akarsulara 50m, 100m, 250m, 500m gibi tampon zonlar oluşturularak, bu zonlar içindeki heyelan alanı veya sayısı ile ilişkiler kurmakta ve analizlere sokmaktadırlar. Teorik olarak, drenaj ağını oluşturan akarsuların yamaç topuğunu aşındırması veya malzemeyi doygun hale getirmesi olası olmakla birlikte, bu etkinin ne kadar uzaklıkta ve hangi derecede etkin olduğu, tartışmaya açık bir konudur. Örneğin, yapılan zonlama sonucunda, dikkate alınan en uzaktaki zonda heyelan duyarlılığının en yüksek olduğu çalışmalara, literatürde rastlanabilmektedir. Bu duruma farklı bir yaklaşım getiren Ercanoğlu [22], tamponlama uzaklığının belirlenmesinde ana akarsu hattı ve diğer derecedeki kollar ile ilişkili olan heyelanların dikkate alınmasını önermiştir. Söz konusu çalışmada (Şekil 3), heyelanlar ile ana akarsu hattı veya diğer kollara olan uzaklıkların belirlenip, ilgili drenaj ağı elemanları için bir ortalama değer kullanılması önerilmiştir.



$$\text{Ana akarsu hattı için tampon bölge uzunluğu} = (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n) / n_1 = x_{ort}$$

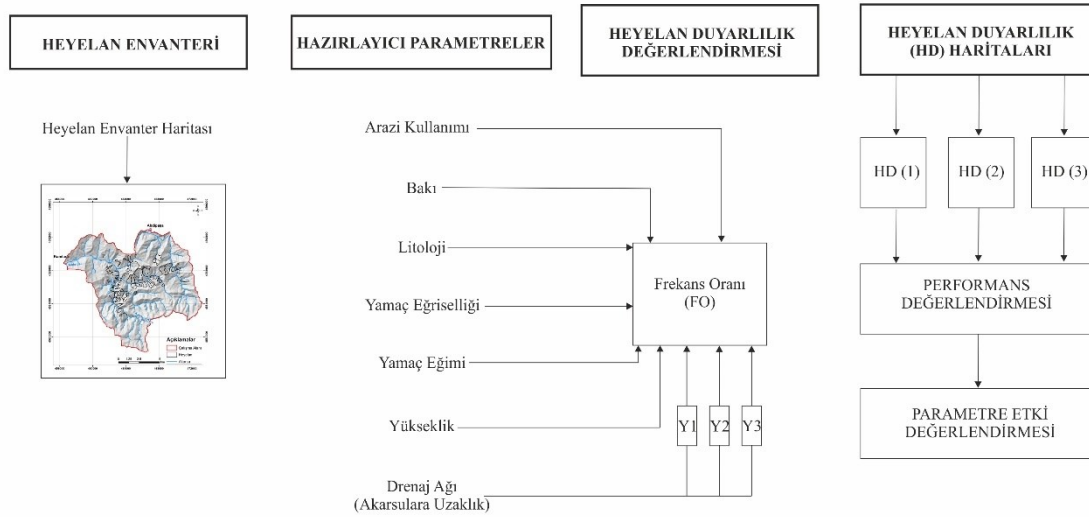
$$\text{2. derece kollar için tampon bölge uzunluğu} = (y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n) / n_2 = y_{ort}$$

$$\text{3. derece ve üstü kollar için tampon bölge uzunluğu} = (z_1 + z_2 + z_3 + \dots + z_n) / n_3 = z_{ort}$$

Şekil 3. Ercanoğlu (2003)'ün [22] önerdiği yöntem.

Bu çalışmada ise, akarsulara uzaklık parametresinin heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde kullanımına yönelik yeni bir yaklaşım önerilmektedir. Bu yaklaşımda, çalışma alanındaki ana akarsu kolları için seçilecek uzaklık değerlerinin, akarsulardan uzaklaştıkça, heyelan etkisinin doğrusal olmayan bir fonksiyonla tanımlanması ile aşılabileceği düşünülmüştür. Böylece, hem tampon bölge uzaklık değeri öznel olarak seçilmemekte hem de drenaj yoğunluğu parametresi ile desteklenerek, söz konusu parametrenin heyelan oluşumundaki etkisinin daha gerçekçi bir şekilde yansıtılması sağlanmış olacaktır. Burada dikkate alınan ve doğrusal olmayan bir fonksiyon ile yapılacak bir değerlendirmede, akarsulardan uzaklaştıkça bu parametrenin heyelan oluşumundaki etkisinin azalacağı, aynı zamanda drenaj yoğunluğunun yüksek olduğu alanlarda etkisinin daha da fazla olacağı ilkelerinden yola çıkılarak bir değerlendirme yapılmıştır.

Mevcut ve önerilen yaklaşımların heyelan duyarlılığı üzerindeki etkisinin ortaya konulmasına yönelik olarak, bu çalışmada üç yöntem dikkate alınmıştır. Y1 olarak adlandırılan yöntem, genelde araştırmacıların akarsu hatlarından öznel olarak seçtikleri belirli uzaklıkları dikkate aldıkları tampon zonların oluşturulduğu yöntem olup, Y2 olarak adlandırılan yöntem ise Ercanoğlu [22]'nin önerdiği yaklaşımdır. Y3 yöntemi ise, bu çalışmada önerilen yaklaşıma karşılık gelmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Çalışma yönteminin iş-akış şeması.

Çalışma alanındaki heyelan duyarlılığının ve akarsulara uzaklık parametresinin sonuçlara etkisinin değerlendirilmesinde toplam 7 parametre ve FO (Frekans Oranı) yöntemi [23] dikkate alınmıştır. Heyelan duyarlılığının değerlendirmesinde, hazırlayıcı parametreler olarak (bkz. Şekil 2) CBS ortamında üretilmiş topoğrafik yükseklik, yamaç eğimi, arazi kullanımı, drenaj ağı, litoloji, bakı ve yamaç eğriselliği parametreleri dikkate alınmıştır. Bu parametrelerden drenaj ağı özellikleri Y1, Y2 ve Y3 yöntemleriyle ayrı ayrı üretilerek heyelan duyarlılık analizlerinde dikkate alınmış, sonuç duyarlılık haritalarındaki değişimler ve parametrik etkileri ortaya konulmuştur. FO yöntemi, heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde sıklıkla kullanılan niceliksel yöntemlerden biri olarak bilinmektedir [9]. Bu yöntem, temelde bir oran değerine dayanmakta olup, aşağıdaki eşitlikle [23] ifade edilmektedir:

$$FO = \frac{Npix1/Npix2}{\Sigma Npix3/\Sigma Npix4} \quad (1)$$

Bu eşitlikte; FO, frekans oranı değerine, her bir parametre ve alt grupları için  $Npix1$ , söz konusu alt sınıf için heyelanlı piksel sayısına;  $Npix2$ , aynı sınıfın tüm alandaki dağılımının piksel sayısına;  $Npix3$ , heyelan içeren toplam piksel sayısına ve  $Npix4$  ise, çalışma alanının toplam piksel sayısına karşılık gelmektedir. Bu yöntemde, hesaplanan FO değeri, heyelanın meydana geldiği alanın toplam alana oranlanarak, değer 1'den büyük olması heyelan yüzdesinin alana göre daha yüksek olduğu ve daha yüksek bir ilişkiye işaret ettiğini, 1'den küçük değerler ise daha düşük bir ilişkinin olduğu anlamına gelmektedir.

Bu aşamada, FO değerlerinin hesaplanabilmesi ve sınaama süreçlerinin (parametrik etki ve duyarlılık performansları) gerçekleştirilebilmesi için, çalışma alanında dikkate alınan hazırlayıcı parametrelerin gerek heyelanlı lokasyonlarda, gerekse tüm çalışma alanındaki dağılımları CBS ortamında ortaya konulmuştur. Daha sonra, söz konusu parametreler ve alt grupları için FO değerleri hesaplanmış, bu değerler [0, 1] aralığında normalize edilerek, Normalleştirilmiş Frekans Oranı (NFO) değerleri elde edilmiş ve Tablo 1'de sunulmuştur. Çalışma alanı için toplam hücre sayısı 342762 olup, heyelanlı hücre sayısı ise 29488 olarak belirlenmiştir. Tablo 1'den de görüleceği üzere, bu aşamada drenaj özellikleri ile ilgili her hangi bir hesaplama yapılmamış olup, yukarıda değinilen 3 farklı yöntemin uygulanmasından sonra, sonuç duyarlılık haritalarındaki değişimlerin ortaya konulması yönünde bir yol izlenmiştir.

Bir sonraki aşamada, drenaj özellikleri ile ilgili Y1, Y2 ve Y3 yöntemlerinden elde edilen sonuçlar dikkate alınarak, yine FO ve NFO değerlerinin hesaplanması yoluna gidilmiştir. Y1 yöntemi olarak anılan ve literatürde sıklıkla kullanılan yöntemde, drenaj ağını oluşturan akarsulardan itibaren belirli uzaklıklar dikkate alınarak, bu uzaklıklar içindeki heyelan sayısı veya heyelanlı piksel sayıları ile ilişkiler dikkate alınmaktadır. Literatürde, bu uzaklıkların ne olacağı konusunda araştırmacılar arasında bir fikir birliği ve/veya standart olmamakla birlikte, 50m, 100m, 250m, 500m gibi uzaklıklar özne olarak kullanıcılar tarafından seçilmektedir [24]-[27]. Bununla birlikte, akarsuların heyelan oluşumundaki etkisinin hangi uzaklıklara kadar olabileceği konusu da tartışmaya açık bir konudur. Bu çalışmada da, akarsulara uzaklık parametresinin Y1 yöntemiyle değerlendirilmesinde 100m, 250m, 500m, 750m, 1000m ve 1000m'den daha yüksek uzaklıklar olmak üzere gruplandırmalar özne olarak seçilmiş ve CBS ortamında heyelanlı lokasyonlar ile bu zonlardaki ilişkisi incelenmiştir. Diğer parametreler için hesaplanan FO ve NFO değerlerinin belirlenmesi için, sözü edilen 6 farklı uzaklık sınıfı için hesaplamalar yapılmış ve Tablo 2'de sunulmuştur. Tablo 2'de sunulan ve heyelan duyarlılığının göreceli olarak ifade edildiği FO veya NFO değerleri dikkate alındığında, çalışma alanında 1000m'den daha yüksek uzaklıklarda bu parametrenin heyelan duyarlılığını artırıcı bir etkisinin olmadığı belirlenmekle birlikte, teorik olarak akarsulara yakın olan uzaklık değerleri için, hesaplanan FO değerlerinin daha yüksek olması beklenmeliydi. Ancak, hesaplanan FO değerleri dikkate alındığında, heyelan oluşumu açısından bu parametrik etkinin 250-500 m sınıfında olduğu belirlenmiştir. Bu durum elbette heyelan oluşumunda diğer parametrelerle de etkileşimin bir göstergesi olarak değerlendirilebilmekle birlikte yukarıda yapılan yorumun sadece 'akarsulara uzaklık' parametresi için olduğu da unutulmamalıdır.

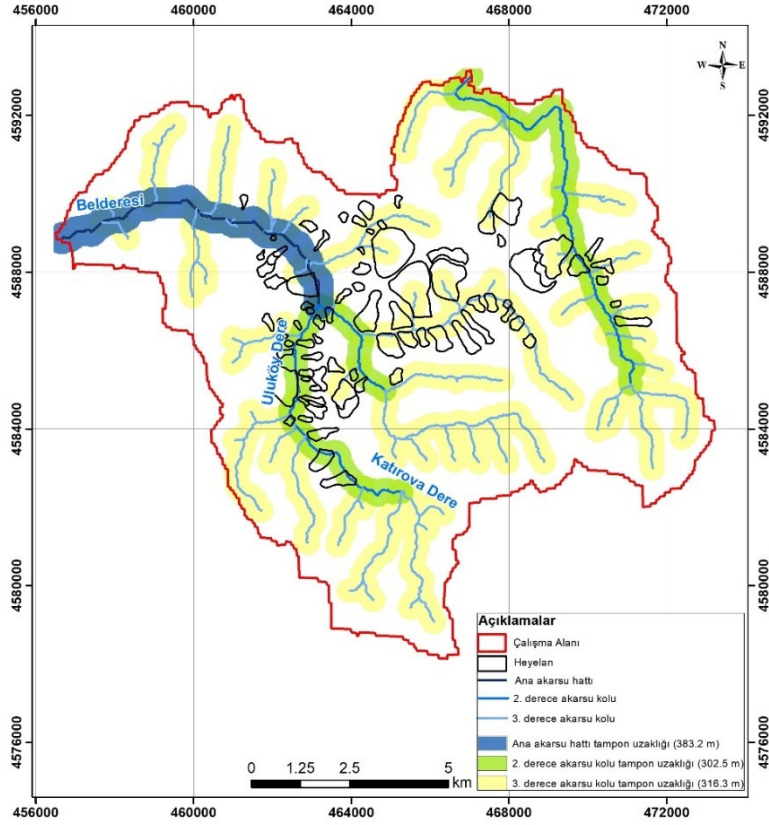
Tablo 1. Dikkate alınan parametreler ve alt grupları için hesaplanan FO değerleri.

Parametre Adı	Npix1	Npix2	FO	NFO
<i>Topoğrafik Yükseklik (m)</i>				
160-475	8403	95222	1.026	0.651
475-790	20460	150925	1.576	1.000
790-1105	625	47557	0.153	0.097
1105-1420	0	38906	0.000	0.000
1420<	0	10152	0.000	0.000
<i>Yamaç Eğimi (°)</i>				
0.0-12.5	2859	48716	0.682	0.595
12.5-25.0	18771	190428	1.146	1.000
25.0-37.5	7273	96748	0.874	0.763
37.5-50.0	585	6805	0.999	0.872
50.0<	0	65	0.000	0.000
<i>Arazi Kullanımı</i>				
Doğal bitki örtüsü	9202	71868	1.488	0.560
Geniş orman	2427	54257	0.520	0.196
İğne yapraklı orman	0	2344	0.000	0.000
Karışık orman	6428	132543	0.564	0.212
Bitki değişim alanı	459	5455	0.978	0.368
Su yapıları	191	5242	0.424	0.159
Kırsal yapılar	0	190	0.000	0.000
Sulanmayan ekili alan	2121	11356	2.171	0.817
Sulanmayan tarım alanı	5261	23005	2.658	1.000
Sulanan tarım alanı	3399	36502	1.082	0.407
<i>Litoloji</i>				
Ku	28241	252226	1.301	1.000
Qal	0	8401	0.000	0.000
Kus	606	7901	0.892	0.685
Kua	641	74234	0.100	0.077
<i>Baki</i>				
K	3218	54233	0.690	0.531
KD	3875	45634	0.987	0.760
D	3179	33297	1.110	0.855
GD	3107	29764	1.213	0.935
G	3501	32845	1.239	0.954
GB	3932	35201	1.298	1.000
B	4146	50261	0.959	0.738
KB	4530	57634	0.914	0.704
Düz	0	3893	0.000	0.000
<i>Yamaç Eğriselliği</i>				
<-6.3	2	24	0.969	0.854
-6.3 - -0.35	10249	105048	1.134	1.000
-0.35 - 5.6	19237	237667	0.941	0.830
5.6 – 11.55	0	19	0.000	0.000
11.55<	0	4	0.000	0.000

Tablo 2. Y1 yöntemiyle akarsulara uzaklık parametresine ilişkin hesaplanan FO değerleri.

Parametre Adı	Npix1	Npix2	FO	NFO
<i>Akarsulara uzaklık (m) (Y1 Yöntemi)</i>				
0-100	4308	60024	0.834	0.713
100-250	7195	81454	1.027	0.878
250-500	11471	113990	1.170	1.000
500-750	5886	68590	0.997	0.853
750-1000	628	17794	0.410	0.351
1000<	0	910	0.000	0.000

Ercanoğlu [22] tarafından önerilen Y2 yönteminde ise, ana akarsu hattı, 2. derece kollar ile 3 ve daha yüksek derecedeki kollar olmak üzere drenaj özellikleri dikkate alınarak heyelanlarla ilişkilendirilmektedir (bkz. Şekil 3). Ana akarsu hattı ve kollarına ilişkin derecelendirme yapılırken, Strahler [28] tarafından önerildiği şekliyle, bir drenaj ağındaki elemanlara ve bağlantılarına, CBS platformunda sayısal bir sıra atanmaktadır. Bu sıralama, akarsu türlerini, kol sayılarına göre tanımlamak ve sınıflandırmak için kullanılmaktadır. Söz konusu yöntemde, çalışma alanı için üretilen ana akarsu hattı ve diğer kollar belirlendikten sonra (Şekil 5), heyelanların en yakın drenaj ağı elemanına olan uzaklıklarının aritmetik ortalamaları alınarak bir değerlendirme yapılmaktadır. Bu şekilde, çalışma alanındaki ana akarsu hattı, 2. derece, 3. derece ve üstündeki kollar için tampon uzaklıkları, sırasıyla 383.2m, 302.5m ve 316.3 m olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu uzaklıklar içine düşen heyelanlı pikseller ve alansal yayımlar dikkate alınarak, FO yöntemi bu parametre için uygulanmıştır. Bu şekilde izlenen yaklaşımla elde edilen sonuçlar ise, Tablo 3’de sunulmuştur. Tablo 3’den görüleceği üzere, heyelan oluşumunda akarsulara uzaklık parametresinin Y2 yöntemiyle belirlenmesinde en etkin olan drenaj ağı elemanı, 2. derece kollar olarak ortaya çıkmaktadır. Tablo 2’de dikkat çekici bir başka unsur da, “Diğer” olarak adlandırılmış parametrik alt gruba ilişkin ortaya çıkan sonuçtur. Bu grup için, belirlenmiş olan üç farklı uzaklık zonu dışında da, önemli oranda heyelan oluşumlarının var olduğu, dolayısıyla, sözü edilen bu alanlardaki heyelanların drenaj ağı veya elemanlarıyla ilişkili olarak gelişmediği şeklinde bir yorumlama yapılabilir.



Şekil 5. Y2 yöntemi için önerilen drenaj ağı elemanları ve tamponlama zonları.

Tablo 3. Y2 yöntemiyle akarsulara uzaklık parametresine ilişkin hesaplanan FO değerleri.

Parametre Adı	Npix1	Npix2	FO	NFO
<i>Akarsulara uzaklık (Y2 Yöntemi)</i>				
Ana kol	893	17259	0.601	0.422
2. derece kol	4071	33223	1.424	1.000
3. derece ve üstündeki kollar	9658	127461	0.881	0.618
Diğer	14866	164819	1.048	0.736

Y3 olarak adlandırılan ve bu çalışmada önerilen yöntemde ise, iki temel ilke dikkate alınmıştır. Bunlardan ilki, heyelan oluşumu ile akarsulara olan uzaklığın doğrusal olmayan bir fonksiyonla ifade edilmesi, diğeri de heyelan oluşumlarıyla drenaj yoğunluğu arasında önemli bir ilişkinin olmasıdır. Buradaki temel gerekçelerden biri, bir heyelan lokasyonunun hemen yakınında bulunan bir drenaj ağı elemanı ile etkileşimi son derece mantıklı görünürken, hangi uzaklıkta bu etkinin sonlanacağı konusundaki belirsizliktir. Teorik olarak, özellikle uzaklık değeri arttıkça bu etkinin azalması beklenirken, aslında söz konusu drenaj ağı elemanı ile ilgili olmayan ve yüzlerce metre uzakta başka heyelan(lar)ın meydana gelmiş olması, bu parametrenin heyelan oluşumları ile ilişkilendirilmesinde yanlış ve gerçekçi olmayan sonuçlara yol açabilmektedir. Bu nedenle, özellikle uzaklığa ilişkin bir etkinin sağlıklı bir şekilde ortaya konulabilmesi için, doğrusal olmayan ters sigmoidal bir fonksiyondan (Şekil 6), yararlanılmasının faydalı olacağı düşünülmüştür. Ayrıca, akarsulara uzaklık parametresindeki değerler birkaç metreden, kilometreler mertebesine (çalışma alanının büyüklüğü de dikkate

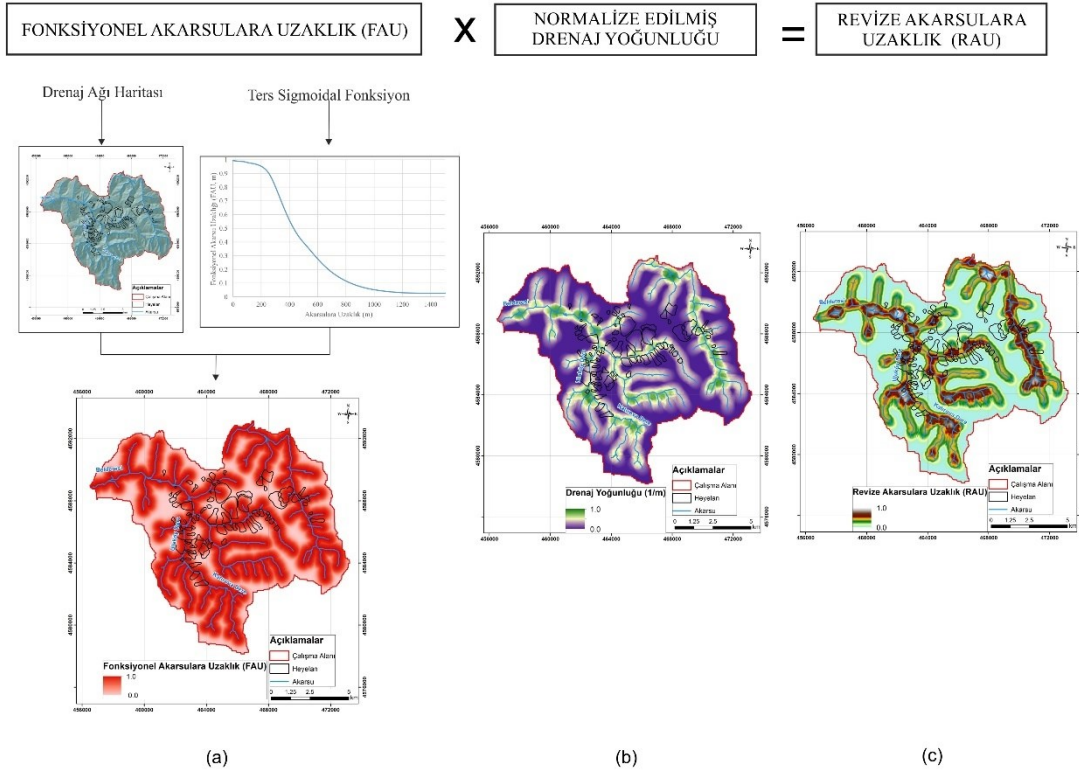


alındığında) erişebilebileceği için, bu fonksiyon ile akarsulara uzaklık değerlerinin doğrusal olmayan bir şekilde etkiyeceği haliyle modellenmiştir. Önerilen yaklaşımdaki diğer bir gerekçe ise, drenaj ağını oluşturan elemanların yoğunluğunun (drenaj yoğunluğunun) da dikkate alınarak, sadece uzaklığın değil, bu parametrenin de etkisinin heyelanlarla ilişkilendirilmesine dayanmaktadır. Zira, drenaj yoğunluğu heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde doğrudan bir girdi parametresi olarak sıklıkla dikkate alınmakla birlikte [9], bu çalışmada önerilen yaklaşımda dikkate alınmasındaki temel neden, bu parametrenin, bir havzanın fizyografik, hidrolojik ve jeolojik özellikleri ile doğrudan ilişkili olmasından ve bu özellikleri konumsal olarak yansıtabilme özelliğinden kaynaklanmaktadır [29]. Ayrıca, drenaj yoğunluğunun heyelan oluşumunda, yüzey akışı, geçirimsizlik, infiltrasyon gibi özelliklerle ilişkili olması açısından etkin bir parametre olduğu da bilinmektedir ([30] ve [31]). Sözü edilen bu iki temel girdi parametresiyle, Y3 yöntemi çalışma alanının drenaj ağı elemanları ve özellikleri dikkate alınarak uygulanmıştır. Bunun için öncelikle, çalışma alanının drenaj ağı haritasından itibaren (Şekil 6), drenaj ağını oluşturan akarsulara uzaklık haritası, aşağıda verilen ters sigmoidal fonksiyon eşitliği yardımıyla CBS ortamında elde edilmiştir:

$$f = \left( \frac{1-c}{1+e^{a\left(\frac{2r}{D}-1\right)}} \right) + c \quad (2)$$

Eşitlikteki  $f$ , sigmoidal fonksiyonu;  $r$ , akarsulara uzaklık değerlerini;  $e$ , Euler sayısını,  $a$ ,  $c$  ve  $D$  değerleri de, fonksiyona şeklini veren sabit katsayılardır. Diğer parametrelere ait NFO değerleri  $[0, 1]$  aralığında ifade edildiği ve Y3 yöntemine ilişkin hesaplamalarda aynı değer aralıklarında heyelan duyarlılık analizlerine sokulabilmesi için, Fonksiyonel Akarsu Uzaklığı (FAU) olarak adlandırılan tanımlama, akarsulara uzaklık parametresi için yapılmıştır (Şekil 6a). Bu aşamadan sonra, çalışma alanının yine drenaj ağı elemanları dikkate alınarak, çizgisel yoğunluk (line density) modülü kullanılarak, yine  $[0, 1]$  aralığında normalize edilmiş ve drenaj yoğunluğu haritası oluşturulmuştur (Şekil 6b). Bir sonraki aşamada ise, drenaj ağı elemanlarına ilişkin bu iki harita aritmetiksel olarak çarpılarak, Y3 yöntemiyle elde edilen ve RAU (Revize Akarsulara Uzaklık) olarak adlandırılan parametre elde edilmiştir (Şekil 6c).

Heyelan duyarlılık analizleri için, Y1 ve Y2 yöntemlerine benzer şekilde, RAU parametresi dikkate alınarak hesaplanan FO değerleri de Tablo 4'de sunulmaktadır. Tablo 4 incelendiğinde ve yukarıda değinilen teorik altyapı ile karşılaştırıldığında, akarsulara yakın olan ve drenaj yoğunluğunun yüksek olduğu alanlarda FO değerlerinin, dolayısıyla NFO değerlerinin de, yüksek değerler sunmasının, akarsulara uzaklık parametresinin bu çalışmada önerildiği haliyle heyelan duyarlılık çalışmalarında kullanılabilir olduğu şeklinde bir yorumlama yapılabilmektedir. Bu yaklaşımın heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde nasıl, ne yönde ve ne kadar etkisinin olduğuna ise, bir sonraki bölümde ayrıntılarıyla değinilmiştir.



Şekil 6. Y3 akış şeması, a) Çalışmada önerilen fonksiyonel akarsulara uzaklık parametresi (FAU), b) Normalize edilmiş drenaj yoğunluğu, c) Çalışmada önerilen revize akarsulara uzaklık parametresi (RAU).

Tablo 4. Y3 yöntemiyle akarsulara uzaklık parametresine ilişkin hesaplanan FO değerleri.

Parametre Adı	Npix1	Npix2	FO	NFO
<i>Revize Akarsulara Uzaklık (RAU) (Y3 Yöntemi)</i>				
0.0-0.2	1189	55890	0.247	0.167
0.2-0.4	3257	51613	0.734	0.494
0.4-0.6	4917	61124	0.935	0.630
0.6-0.8	5064	56123	1.049	0.707
0.8-1.0	15061	118012	1.483	1.000

#### 4. Sonuçlar ve tartışma

Çalışmanın son aşamasında, FO yöntemi kullanılarak Tablo 1’de hesaplanmış olan NFO değerleri ile Y1, Y2 ve Y3 yöntemlerine ilişkin hesaplanan akarsulara uzaklık parametrik değerleri, CBS ortamında bir araya getirilmiştir. Tüm parametreler için, parametrik alt gruplara ilişkin hesaplanan ve Tablo 2 ile Tablo 4 arasında sunulmuş olan NFO değerleri atanarak, heyelan duyarlılığının ifade edildiği parametre haritaları elde edilmiştir. Y1, Y2 ve Y3 yöntemleriyle elde edilen NFO değerleri, Tablo 1’de sunulan 6 adet hazırlayıcı parametre sabit tutularak, CBS platformunda Eş. 3’de verilen eşitlik kullanılarak ayrı ayrı dikkate alınmıştır:

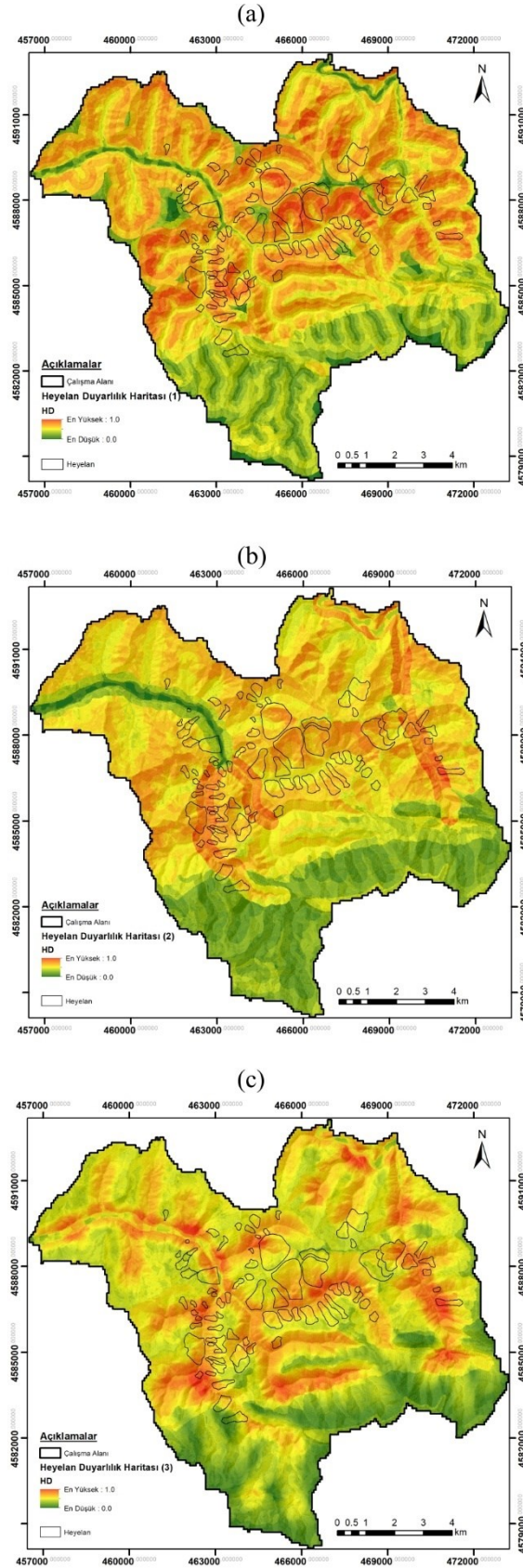
$$HD = NFO_1 + NFO_2 + NFO_3 + \dots + NFO_n \quad (3)$$

Bu eşitlikte HD, heyelan duyarlılık değerini; NFO ise her bir parametre ve alt grubu için hesaplanmış normalize frekans oranı değerine karşılık gelmektedir. Bu şekilde izlenen bir yaklaşımla, Tablo 1'deki ilk 6 parametre sabit tutularak, akarsulara uzaklık parametresi için dikkate alınan üç farklı yöntemle elde edilen değerler ayrı ayrı analizlere tabi tutulduğu için, üç farklı heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir (Şekil 7). Buradaki temel amaç, dikkate alınan üç farklı akarsulara uzaklık parametresine ilişkin değerlendirme yönteminin, sonuç heyelan duyarlılık haritalarındaki değişimlerinin ve performanslarının sınanmasına yöneliktir.

Performans değerlendirmeleri için ilk aşamada, her bir üretilen heyelan duyarlılık haritasının, literatürde [9] sıklıkla dikkate alınan ROC (Receiver Operating Characteristic) eğrileri altında kalan AUC (Area Under Curve) değerleri hesaplanmıştır. ROC eğrisinin altında kalan alanın hesaplanmasında, doğrulama ve çapraz doğrulama veri setleri kullanılmaktadır. ROC eğrisinin oluşturulmasında, X ekseninde FPR (Yanlış Pozitif Oranı) ve Y ekseninde ise TPR (Gerçek Pozitif Oranı) ile hesaplama yapılabildiği gibi, heyelan duyarlılık değeri ve kümülatif alansal özellikleri de kullanılabilir. Bu çalışmada, Eş. 4'de verilen AUC formülü [32] ile eğri altında kalan alanın hesaplanmasında, elde edilen heyelan duyarlılık değerlerinin çalışma alanındaki yüzdesine (x eksen) karşılık, heyelan oluşumlarının kümülatif yüzdesi (y eksen) dikkate alınmıştır:

$$AUC = \sum_{i=0}^n (x_i - x_{i-1})y_i - \left[ \frac{(x_i - x_{i-1})(y_i - y_{i-1})}{2} \right] \quad (4)$$

Bu eşitlikte  $x_i$  alansal heyelan duyarlılık yüzdesine karşılık gelirken,  $y_i$  ise heyelanlı alan değerlerini ifade etmektedir. Bu eşitlik kullanılarak, sırasıyla HD1 haritası için  $AUC_{HD1}=0.706$ , HD2 haritası için  $AUC_{HD2}=0.724$  ve HD3 haritası için de  $AUC_{HD3}=0.811$  değerleri hesaplanmıştır. Bu değerlere göre en yüksek performans, bu çalışmada önerilen Y3 yönteminin dikkate alındığı şekliyle uygulanan heyelan duyarlılık haritasından elde edilmiştir. AUC'nin alabileceği değerlere göre, 0.9-1.0 (mükemmel), 0.8-0.9 (iyi), 0.7-0.8 (orta), 0.6-0.7 (zayıf) ve 0.5-0.6 (başarısız) olarak sınıflandırılmaktadır [33]. Bu sınıflandırmaya göre de, tüm heyelan duyarlılık haritaları için tatminkar sonuçlar elde edildiği yorumu yapılabilir de, HD3 haritasının "iyi", HD1 ve HD2 haritalarının da "orta" düzeyde bir performans sergiledikleri ortaya çıkmaktadır. Bu sonuçlar doğrultusunda, bu çalışmada önerilen Y3 yönteminin, oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarının performansında yaklaşık % 10'luk bir oranda iyileştirmeye yol açtığı belirlenmiştir.



Şekil 7. Çalışma alanına ilişkin heyelan duyarlılık haritaları. a) Y1 ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası, b) Y2 ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası, c) Y3 ile elde edilen heyelan duyarlılık haritası.

Performans değerlendirmeleri için dikkate alınan bir başka yöntem de, RMSE (Root Mean Square Error) adı verilen boyutsuz istatistiksel indisin hesaplanması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Bu değer, tahmin edilen parametre değeri ile gerçek parametre değerleri arasındaki farkların karelerinin toplamının, örneklem büyüklüğüne bölümünün karekökü şeklinde ifade edilmektedir. RMSE değeri, Eş. 5’de verildiği şekliyle hesaplanabilmektedir:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - y_p)^2}{N}} \quad (5)$$

Bu eşitlikte N, toplam örneklem sayısına;  $y_i$ , gerçek değere;  $y_p$  ise tahmin edilen değere karşılık gelmektedir. Bu eşitliğe göre, RMSE değerinin 0’a yakın olması, göreceli olarak daha iyi bir performans ifade etmektedir. Üretilen heyelan duyarlılık haritaları için, heyelanlı olan (gerçek değer=1) ve heyelanlı olmayan (gerçek değer=0) alanlardan eşit sayıda ve rasgele olmak üzere, 1000, 5000 ve 10000 adet nokta seçilerek, bu noktadaki heyelan duyarlılık değerlerinin (tahmin edilen değer) değişimleri incelenmiştir (Tablo 5). Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının RMSE performans değerleri incelendiğinde ise, her üç örneklem sayısı için en yüksek performansın, bu çalışmada önerilen Y3 yönteminin dikkate alındığı HD3 heyelan duyarlılık haritasından elde edildiği ortaya çıkmıştır. Diğer heyelan duyarlılık haritaları olan HD1 ve HD2 için ise, AUC değerlerinde olduğu gibi benzer RMSE değerleri ve performans özellikleri elde edilmiştir.

Tablo 5. Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının RMSE performans değerlendirmesi.

Nokta Sayısı*	RMSE		
	HD1	HD2	HD3
1000	0.544	0.504	0.478
5000	0.537	0.498	0.483
10000	0.538	0.501	0.480

\*: Nokta sayıları, eşit oranda 0 ve 1 değerlerinden oluşmaktadır.

Tüm bu değerlendirmeler ışığında, bu çalışmada önerilen yöntemin, akarsulara uzaklık parametresinin kullanımına ilişkin hem performansı arttırıcı yönde bir etkisinin olduğu hem de gerek kategorik gerekse sürekli veri gruplarıyla uyumlu bir şekilde kullanılabilir olduğu ortaya çıkmaktadır. Özellikle AUC değerlerindeki yaklaşık % 10’luk bir performans iyileştirmesi, bir adet parametrenin sonuç heyelan duyarlılık performansının yükseltmesine ilişkin olarak, dikkat çekici bir durumdur. Zira, rakamsal olarak % 10 değeri küçük bir değer olarak görülebilecek olmakla birlikte, sadece bir parametrenin etkisinin ve/veya daha temsil edici kullanılmasının bile, son derece önemli değişimlere yol açabileceği düşünülmektedir. Bu çalışmada önerildiği şekliyle, önerilen yöntemin heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde sadece akarsulara uzaklık parametresi için değil, diğer “uzaklık” içerikli (örn.: yollara uzaklık, yapısal unsurlara uzaklık gibi) tüm çizgisel unsurlara ilişkin parametreler için de uygulanabilir olduğu söylenebilir. Ancak, bu tür kullanımların, başka sahalarda uygulanması ve özellikle heyelan oluşumlarıyla ilgili varsa bu tür parametrelerin dikkate alınması gereğinin de altının çizilmesi gerekmektedir.

Y1 yöntemi, literatürde her ne kadar en sıklıkla kullanılan yöntem olsa da performans değerlendirmeleri dikkate alındığında, bu çalışmada en düşük performansı sunan yöntem

olarak ortaya çıkmıştır. Y1 yönteminin uygulanmasında, akarsulara uzaklık değerlerinin veya tampon zonların hangi büyüklükte olacağı konusu tartışmaya açık ve öznel bir konudur. Bu nedenle, bu uzaklıkların farklı değerlerinin dikkate alınmasının, sonuç duyarlılık değişimlerine etkisi, farklı bir çalışma konusudur. Diğer bir deyişle, Y1 yönteminde dikkate alınan uzaklık değerleri, sadece bu değerler gözetilerek değerlendirilmelidir. Y2 yönteminde ise, ana akarsu hattı boyunca az sayıda heyelan gelişmiş olmasının, performansı düşürücü bir etkisinin olduğu yönünde bir yorumlama yapılmıştır. Bununla birlikte, 2. derece drenaj elemanları boyunca heyelan sayısının daha fazla olması nedeniyle, heyelan duyarlılığının bu kesimlerde daha yüksek olduğu ortaya çıkmış, bu durum da söz konusu Y2 yönteminin bir sınırlaması olarak yorumlanmıştır. Sonuç olarak, Y3 yönteminin farklı alanlarda da uygulanarak, sonuç heyelan duyarlılığına etkisinin araştırılması gerekmektedir. Önerilen yöntem, bu çalışmadaki performans değerlendirmeleri açısından uygulanabilir ve nesnel olarak değerlendirilse de farklı çalışmalarda benzer performans iyileştirmelerine yol açması koşuluyla kullanılması önerilmektedir.

## Kaynaklar

- [1] Varnes, D.J., Slope Movement Types and Processes. In: Schuster, R.L. and Krizek, R.J., Eds., Landslides, Analysis and Control, Transportation Research Board Special Report No. 176, National Academy of Sciences, 11-33, (1978).
- [2] CORINE (2006) CORINE Land Cover. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> (14.09.2022).
- [3] Yergök, A. F., Akman, Ü., İplikçi, E., Karabalık, N., Keskin N, Mengi, H., Umut, M., Armağan, F., Erdoğan, K., Kaymakçı, H., Çetinkaya, A., Batı Karadeniz Bölgesinin Jeolojisi, 250, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, (1987).
- [4] Cruden, D.M., Varnes, D.J., Landslide Types and Processes, Special Report , Transportation Research Board, National Academy of Sciences, 247, 36-75, (1996).
- [5] Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P., Carrara, A., Comparing landslide maps: a case study in the upper Tiber River Basin, Central Italy, **Environmental Management**. 25, 3, 247–363, (2000).
- [6] Van Westen, C. J., Castellanos, E., Kuriakose, S.L., Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: an overview. **Engineering Geology** 102, 112–131, (2008).
- [7] Varnes, D.J., **Landslide hazard zonation-a review of principles and practice**, 63, UNESCO Press, Paris, (1984).
- [8] Aleotti, P. and Chowdhury, R.N., Landslide hazard assessments: summary review and new perspectives, **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, 58, 21-44, (1999).
- [9] Lima, P., Steger, S., Glade, T., Murillo-Garcia, F.G., Literature review and bibliometric analysis on data-driven assessment of landslide susceptibility, **Journal of Mountain Science** 19, 6, 1670-1698, (2022).
- [10] Hasekiogullari, G. D., Ercanoglu, M., A new approach to use AHP in landslide susceptibility mapping: a case study at Yenice (Karabuk, NW Turkey). **Natural Hazards** 63,1157–1179, (2012).
- [11] Komac, M., A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in Perialpine Slovenia, **Geomorphology**, 74, 17-28, (2006).

- [12] Yalçın, A., GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations, **Catena**, 72, 1-12, (2008).
- [13] Ercanoğlu, M., Temiz, A., F., Application of logistic regression and fuzzy operators to landslide susceptibility assessment in Azdavay (Kastamonu, Turkey), **Environmental Earth Science**, 64, 949-964, (2011).
- [14] Bui, D. T., Pradhan, B., Lofman, O., Revhaug, I., Dick, O. B., Spatial prediction of landslide hazards in Hoa Binh province (Vietnam): A comparative assessment of the efficacy of evidential belief functions and fuzzy logic models, **Catena**, 96, 28-40, (2012).
- [15] Pourghasemi, H. R., Pradhan, B., Gokceoglu, C., Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran, **Natural Hazards**, 63, 965-996, (2012).
- [16] Reis, S., Yalçın, A., Atasoy, M., Nisancı, R., Bayrak, T., Erduran, M., Sancar, C., Ekercin, S., Remote sensing and GIS-based landslide susceptibility mapping using frequency ratio and analytical hierarchy methods in Rize province (NE Turkey), **Environmental Earth Science**, 66, 2063-2073, (2012).
- [17] Demir, G., Aytekin, M., Akgün, A., İkizler, S. B., Tatar, O., A comparison of landslide susceptibility mapping of the eastern part of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) by likelihood frequency ratio and analytic hierarchy process methods, **Natural Hazards**, 65, 1481-1506, (2013).
- [18] Feizizadeh, B., Blaschke, T., GIS-multicriteria decision analysis for landslide susceptibility mapping: comparing three methods for the Urmia lake basin, Iran, **Natural Hazards**, 65, 2105-2128, (2013).
- [19] Akgün, A., Dağ, S., Bulut, F., Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models, **Environmental Geology**, 54, 1127-1143, (2008).
- [20] Dağ, S., Bulut F., Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına bir örnek: Çayeli (Rize, KD Türkiye). **Jeoloji Mühendisliği Dergisi**, 36(1), 35-62, (2012).
- [21] Aydoğan, E., Dağ, S., İstatistiksel Yöntemlerle Yukarı Karasu Havzası'nın Kuzeydoğu Bölümünün (Erzurum) Heyelan Duyarlılık Analizi, **Turkish Journal of Remote Sensing and GIS**, 4(1), 64-82, (2023).
- [22] Ercanoğlu, M., Bulanık mantık ve istatistiksel yöntemlerle heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi: Batı Karadeniz bölgesi (Kumluca güneyi-Yenice kuzeyi), Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2003).
- [23] Lee, S., Talib, J. A., Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis, **Environmental Geology**, 47, 982-990, (2005)
- [24] Çevik, E., Topal, T., GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey), **Environmental Geology** 44, 949-962, (2003).
- [25] Yalçın, A., GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations, **Catena**, 72, 1-12, (2008).
- [26] Nandi, A., Shakoor, A., A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses, **Engineering Geology**, 110, 11-20, (2009).
- [27] Yılmaz, I., Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat—Turkey), **Computers&Geoscience**, 35, 1125-1138, (2009).

- [28] Strahler, A. N., Quantitative analysis of watershed geomorphology, **Transactions of the American Geophysical Union** 38, 913–920, (1957).
- [29] Gregory, K. J., Walling, D. E., The variation of drainage density within a catchment, **Hydrological Sciences Journal**, 13, 2, 61-68, (2010).
- [30] Mandal, B., Mandal, S., Assessment of mountain slope instability in the Lish River basin of Eastern Darjeeling Himalaya using frequency ratio model (FRM), **Modeling Earth Systems and Environment**, 2, 121, (2016).
- [31] Sonker, I., Tripathi, J. N., Singh, A. K., Landslide susceptibility zonation using geospatial technique and analytical hierarchy process in Sikkim Himalaya, **Quaternary Science Advances**, 4, 1, 100039, (2021).
- [32] Pimiento, E., Shallow landslide susceptibility: modelling and validation, MSc Thesis, Department of Physical Geography and Ecosystem Science, Lund University, Lund, (2010).
- [33] DeLong, E. R., DeLong, D. M., Clarke-Pearson, D.L., Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach **Biometrics**, 44,837-845, (1988).



# Taraşçı kireçtaşının biyostratigrafik özellikleri (Orta Toroslar, Türkiye)

Ali Murat KILIÇ<sup>1,\*</sup>, Gencer ŞENTÜRK<sup>1</sup>, Saniye ŞENTÜRK<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Balıkesir Üniv., Müh. Fak., Jeoloji Müh. Bl., Çağış Kampüsü, Balıkesir

Geliş Tarihi (Received Date): 30.05.2024

Kabul Tarihi (Accepted Date): 11.07.2024

## Öz

Bu araştırma kapsamında Orta ve Batı Torosların belirli bölgelerinde yüzlek veren Geyik Dağı Birliği'ne ait Triyas yaşındaki Taraşçı Kireçtaşı'nın biyostratigrafisi çalışılmıştır. Geyik Dağı Birliği, çoğunlukla Orta Torosların batı kesimlerinde temsil edilir. Seydişehir'de ve Sultan Dağlarında paraotokton nitelikli, Alt Paleozoyik birimleri üzerine uyumsuzlukla gelen Triyas birimleri birbirinin yanal devamı niteliğindedir. Sultan Dağlarında Triyas düzeyleri konglomera, çamurtaşı, kumtaşı ve killi kireçtaşı (Pınarbaşı Fm.) ile başlar ve sığ denizel, ammonit içeren killi kireçtaşı, dolomit ve krinoidal kireçtaşları ile (Taraşçı Kireçtaşı) devam eder. Bu çalışmada Sefarad Provansinin karakteristik faunal elementlerini (Geç Anisiyen - Erken Jüliyen ammonitleri) içeren Taraşçı Kireçtaşından Anisiyen-Ladiniyen yaşlı foraminiferler, algler, ekinid spinleri ile bivalv ve gastropod fragmanları elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Triyas, foraminifer, Orta toroslar, Seydişehir, Taraşçı

## Biostratigraphical features of the Taraşçı limestone (Central Taurides, Türkiye)

### Abstract

In this study, the biostratigraphic features of Triassic Taraşçı Limestone of Geyik Dağı Unit, which is exposed within Central and Western Taurus were investigated. Geyik Dağı Unit, an important fragment of the Anatolid-Torid Block, is located at the base in the western part of the Central Taurids. The Lower Paleozoic and the Triassic rocks of the Sultan's Mountains are the equivalent of the same succession outcropped in Seydişehir (Konya). The Triassic rocks in Sultan Dağı area consists of the following units: Pınarbaşı

\* Ali Murat KILIÇ, alimurat@balikesir.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-4679-1111>

Gencer ŞENTÜRK, gencersenturk@hotmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-7009-6137>

Saniye ŞENTÜRK, saniye\_senturk@hotmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-0616-2355>

*Formation consisting of conglomerate, sandstone, mudstone and clayey limestone and ammonit bearing, shallow marine clayey limestones, dolomites and crinoidal limestones of Taraşçı Limestone. Taraşçı Limestone includes characteristic faunal elements of Sephardic Province, such as Late Anisian, Fassanian, Longobardian and Julian ammonites. In the study area, foraminifers, algae, mollusk (gastrapods, bivalvis) fragments and echinoid spin sections were obtained.*

**Key words:** *Triassic, foraminifer, Central Taurides, Seydişehir, Taraşçı*

## 1. Giriş

Toros Kuşağında gerçekleştirilen araştırmalar kuşağın farklı yapısal, stratigrafik ve metamorfik özellikteki pek çok allokton istif içerdiğini ortaya koymuştur. Kimi araştırmacılar bu allokton birimleri naplar olarak tanımlarken [1-2] Özgül, Toroslarda allokton ve paraotkton istiflerin dilimler halinde birbirlerini üzerlediğini belirtir[3-4].

Brunn ve arkadaşları Batı ve Orta Toroslarda yerleşim yaşlarına göre “*Likya Napları*”, “*Beyşehir – Hoyran - Hadim Napları*” ve “*Antalya Napları*”nı tanımlar[2]. Torosların Kambriyen-Tersiyer aralığında çökelmiş kaya birimlerinden meydana geldiğini belirten Özgül ise bu kuşağı; Aladağ, Alanya, Antalya, Bolkar Dağı, Bozkır ve Geyik Dağı Birliği olmak üzere altı tektonik birliğe ayırır [3].

Batı ve Orta Toroslarda, otokton birimlerle onları üzerleyen Mesozoyik ve Paleojen-Neojen birimler arasındaki ilişkilerle bölgedeki üç büyük nap sistemi üzerine yaptıkları çalışmada Brunn ve arkadaşları, Beyşehir-Hoyran napı üzerine yoğunlaşmışlardır [2]. Brunn ve arkadaşları istifin Alt - Orta Kambriyen yaşlı Çal Tepe Kireçtaşıyla başladığını ve dereceli bir şekilde Seydişehir şeyline geçtiğini belirtmişlerdir [2]. Yazarlar bölgede Triyas’ı konglomera, Taraşçı Kireçtaşı (Orta Triyas), Kırkkavak Formasyonu, Kasımlar Formasyonu, Sarplar Formasyonu ve Menteşe dolomiti (Üst Triyas) şeklinde ayırtlamışlardır [2].

Seydişehir bölgesinde eski Paleozoyik yaşlı bir penepleni uyumsuz olarak üzerleyen kalın bir Triyas istifinden söz eden Assereto ve Monod [5], istifin şu birimlerden oluştuğunu belirtir: alüvyal yelpaze konglomeralarını üzerleyen gel-git düzlüğü siltaşları ve kumtaşlarından oluşan Skitiyen?-Anisiyen yaşlı Pınarbaşı Formasyonu; korunmuş bir koyda çökelmiş iyi tabakalanmış siyah kireçtaşlarından oluşan, zengin bir ammonit faunasına sahip, Ladiniyen yaşlı Taraşçı Kireçtaşı ve bu formasyonla ardalanmalı beyaz renkli, biyojenik masif kireçtaşlarından oluşan Emirkaya Kireçtaşı; resifal, masif biyojenik kireçtaşlarından oluşan en geç Ladiniyen yaşlı Toptaş Kireçtaşı; türbiditik marnlar, kumtaşları ve mikrobreşlerden oluşan muhtemelen Karniyen yaşlı Sarpyar Dere Formasyonu [5].

Taraşçı Kireçtaşının tip kesitini Taraşçı köyünün 2 km. kuzeybatısında ölçen Monod [6] , kesitin tabanında yer alan Pınarbaşı Formasyonunun ince taneli kırıntılılarını geçişli olarak üzerleyen Taraşçı Kireçtaşının, Ladiniyen Toptaş Kireçtaşı veya Noriyen Sarpyar Dere Formasyonu tarafından diskordan olarak üzerlendiğini belirtir [6]. Monod, Taraşçı Kireçtaşı’nın Seydişehir civarında yaklaşık 300 m. kalınlıkta olduğunu ve bol miktardaki bivalv ve ammonit içeriğine göre Ladiniyen-?Alt Karniyen’i temsil ettiğini belirtir [6]. *Pseudofurnishius murcianus* konodont türünü Türkiye’de ilk kez “Taraşçı Kireçtaşı”nın üst seviyelerine ait bir döküntü numunesinden Nicora elde etmiştir [7]. Nicora,

Seydişehir kuzeybatısındaki Tepearası Vadisinden (Osmanın Dağı civarı) derlediği bu kaya numunesinden Longobardiye yaşını veren çok sayıda *Pseudofurnishius murcianus* (konodont) ve *Protrachyceras* sp. (ammonit) elde etmiştir [7].

Seydişehir bölgesindeki Otokton Mesozoyik oluşukları derleyen Ketin [8] ise bu oluşukların orta ve üst seviyeleriyle Beyşehir güneyi ile Dikmen Tepede, orta seviyeleriyle Anamas Dağı ve alt seviyeleriyle Seydişehir - Kasımlar civarında yüzeylediklerini belirtir [8]. Seydişehir BKB'sında Ordovisiyen yaşlı şeyller transgresif Alt - Orta Triyas (Anisiyen?-Karniyen) yaşlı birimler tarafından açılmal uyumsuzlukla üzerlenir. Yaklaşık 300 m. kalınlıktaki Taraşçı Kireçtaşı Pınarbaşı Formasyonu'nun silttaşlarını üzerler. Resifal Emirkiye kireçtaşı ile yanal geçişli olan *Krinoid*'li siyah kireçtaşları birimin alt seviyelerini oluşturur. Yumrulu, alacalı kireçtaşları ile siyah, bitümlü mikritler birimin üst seviyelerini oluşturur. Taraşçı Kireçtaşı üzerine 15 - 100 m. kalınlıktaki, beyaz renkli, resifal Toptaş Kireçtaşı gelir [8].

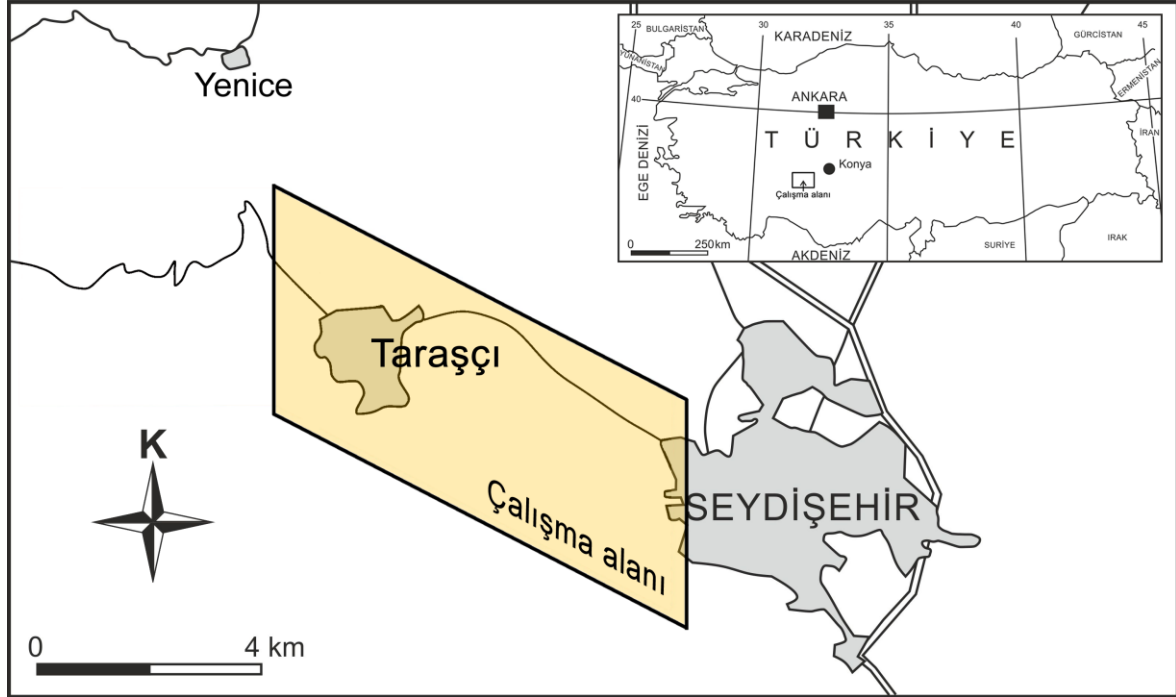
Likya Naplarında Karadağ Birimi Teke Dere Birimi tarafından üzerlenir [9]. Karadağ Birimi'nin Likya Napları içerisindeki görelî otokton konumu nedeni ve Ladiniyen (Orta Triyas) düzeylerinden derlenen Pisidyâ Triyasının karakteristik formları olan *Theelia tubercula* ve *Pseudofurnishius murcianus* türlerinin varlığı nedeniyle bu istif Geyik Dağı Birliği ile benzerlik gösterir [9]. Likya Naplarındaki Ladiniyen yaşlı Karapınar Formasyonu Taraşçı Kireçtaşı ile ve Karniyen yaşlı Belenkavak Formasyonu ise Sarpyar Dere Formasyonu ile eşlenik olabilir.

Özgül [3] Toros kuşağındaki tek otokton istif olarak Geyik Dağı Birliğini tanımlanmıştır. Özgül'e göre Geyik Dağı Birliği Kambro-Ordovisiyen platform tipi çökellerle başlar ve Mesozoyik - Erken Tersiyer karbonatlarıyla transgresif olarak üzerlenir [3]. Özgül, Geyik Dağı Birliğinin Seydişehir BKB'sındaki Triyas yüzeylemeleri çalışılmış, bu kapsamda incelenen Taraşçı Kireçtaşı tip lokalitesinde alt seviyelerinde 3 - 8 metre kalınlığında ince miltası ve sarımsı killi kireçtaşı ardalanmasıyla başladığını, 10 - 15 m. kalınlığında siyahımsı gri ve boz renkli yumrulu kireçtaşından oluştuğunu, üst seviyelere doğru ise bitümlü marn ara katkılı, yaklaşık 300 m. kalınlığında, düzenli tabakalanmalı, siyahımsı-koyu gri renkli mikritlerle temsil edildiğini belirtmiştir. Pelajik bivalvler ve ammonit içeren, başlıca mikritten oluşan Taraşçı Kireçtaşı'nın, bölgede Pınarbaşı Formasyonu ile başlayan sığ denizel ortamın gittikçe derinleştiği açık şelf ortamı koşullarını temsil ettiğinden de söz etmiştir. Belirtilen literatür araştırmalarına ilave olarak Taraşçı Kireçtaşı ile ilgili pek çok farklı amaçlı araştırmalar da bulunmaktadır [6, 7, 10]. Bununla birlikte Taraşçı Kireçtaşı'nın foraminifer bulgularını bir bütün olarak ortaya koyan araştırmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenle bu araştırmanın amacı Taraşçı Kireçtaşı'nın foraminifer bulgularını vermek ve araştırılan formasyonun yaş ve ortamını foraminifer bulguları ile desteklemektir.

## 2. Materyal ve Metot

Seydişehir batı-kuzeybatısında (Şekil 1), 1:25.000 ölçekli Konya N27-a2 ve N27-b1 paftalarında gerçekleştirilen çalışma kapsamında Seydişehir BKB'sındaki Emirkiye, Kaşaklı, Taş Ocağı ve Taraşçı mevkiğinde iki adet stratigrafi kesiti ölçülmüştür. Ölçülen bu kesitlerden derlenen 81 adet kaya numunesinden Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü İnce-Kesit Gemoloji Laboratuvarında paleontolojik ince kesitler yaptırılmıştır. Bu kesitler Balıkesir

Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Müh. Bölümü Paleontoloji Laboratuvarında incelenmiş ve tespit edilen mikrofosillerin aynı mikroskopta fotoğrafları alınmıştır. Çalışmanın son aşamasında, stratigrafi kesitleri, enine jeoloji kesitleri ve jeoloji haritaları CoreDRAW-X6 programı ile çizilmiş ve fosil levhaları oluşturulmuştur.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

### 3. Jeoloji

Çalışılan alan, Afrika ve Arap plakalarının kuzeyinde uzanan Toros Kuşağında yer alır. Seydişehir ilçesinin BKB'sında yüzlek veren Anisiyen?-Karniyen yaşlı birimler transgresif olarak Seydişehir ve Sobova formasyonları üzerine gelir. Çalışılan alanda Triyas istifinin tabanında konglomera, kumtaşı, silttaşı ile başlayıp üste doğru kavkılı kireçtaşlarıyla devam eden *Pınarbaşı Formasyonu* yer alır. Birim adını en iyi gözlendiği Pınarbaşı Mahallesinden alır. Kalınlığı 10-50 m. arasında değişen birimin üst seviyeleri siltli olup *Myophoria vulgaris* içerir [6] ve muhtemelen *Anisiyen* yaşındadır. Birimin üst seviyesini oluşturan silttaşları yaklaşık 300 m. kalınlıktaki *Taraşçı Kireçtaşı* ile üzerlenir. Alt seviyeleri krinoidli siyah kireçtaşlarından ve bunlarla yanall geçişli resifal *Emirkaya Kireçtaşı*'ndan oluşan *Taraşçı Kireçtaşı*'nın üst seviyeleri ise, alacalı-yumrulu kireçtaşları ve bitümlü, siyah mikritlerden oluşur. Birim, Ladiniyen yaşını veren fosiller içerir. Bunlar: *Daonella boeckhi*, *D. lommeli*, *Israelites ramonensis*, *Paratrachyceras regoledanum* ve *Protrachyceras recubariense* ile omurgalı (balık ve reptil) fosil fragmanlarıdır [6]. *Taraşçı Kireçtaşı*, beyaz renkli resifal *Toptaş Kireçtaşı* tarafından üzerlenir. Kalınlığı 15 - 100 m. arasında değişen *Toptaş Kireçtaşı* ise yaklaşık 150 m. kalınlıktaki *Sarpyardere Formasyonu* üzerlenir. *Sarpyardere Formasyonu* fliš görünümlü olup karbonat çimentolu kumtaşları ve bunlarla ara tabakalı gri, sarı renkli marnlardan oluşur. Monod elde ettiği *Gruenewaldia wöhrmanni*, *Pinna raibliana* (Bivalv) ve *Joannites* sp. (Ammonit) fosillerine dayanarak birime Karniyen yaşını vermiştir [6].

Noriyen yaşındaki *Kasımlar Formasyonu* Anamas Dağı ve civarında, özellikle Kasımlar - Kırkkavak bölgesinde yüzlek verir. Birim Seydişehir civarında yüzeyleyen Sarpyardere Formasyonunun kumtaşlarıyla karşılaştırılabilir [11]. Seydişehir civarında yüzeyleyen bu Triyas istifi Antalya Körfezinin batısında yüzeyleyen Orta-Üst Triyas'la başlayıp Kretase sonuna dek devam eden Mesozoyik serisinin Triyas seviyesi ile karşılaştırılabilir.

İyi tabakalanmış ve görece koyu renkli olan Ladiniyen yaşlı Taraşçı Kireçtaşı korunmuş bir koyda çökeldiği düşünülen kireçtaşlarından meydana gelir. Birim, alt seviyelerinde masif biyojenik Emir Kaya Kireçtaşı biriminin beyaz renkli kireçtaşı merclekleriyle düşey ve yanal ilişkilidir. Bölgede Taraşçı Kireçtaşı en geç Ladiniyen yaşlı Toptaş Kireçtaşının beyaz, resifal, masif, biyojenik kireçtaşları tarafından üzerlenir. Bu ilişki Seydişehir batısında net olarak gözlenmez. Toptaş Formasyonu Sarpyar Dere Formasyonu tarafından üzerlenir. Türbiditik marn-kumtaşı ve mikrobreş litolojisindeki bu birim olasılıkla Karniyen yaşındadır.

### 3.1. Stratigrafi

**Alt Paleozoyik** - Geyik Dağı Birliği çalışma alanında tabanda Çal Tepe Kireçtaşı'nın (Alt-Orta Kambriyen) farklı seviyeleri ile Seydişehir Formasyonu'ndan (Üst Kambriyen-Alt Ordovisiyen) ibarettir (Şekil 2 ve 3). Kambriyen kayaları Seydişehir civarında ilk kez Dean ve Monod tarafından ilçenin 7,5 km. kuzeyinde yer alan Büyük Çal Tepe'de (1327 m.) saptanmıştır [12]. Büyük Çal Tepe'de Ordovisiyen yaşlı şeyller üzerinde devrik olarak yer alan Kambriyen kayaları dolomitler, gri-siyah renkli kireçtaşları ve kırmızı, yumrulu kireçtaşlarından oluşur. Çal Tepe Kireçtaşı 50 metre kalınlığındaki dolomitler ile başlar ve kalınlığı 40 metre olan siyah renkli kireçtaşları tarafından üzerlenir. Siyah renkli kireçtaşları üstte trilobit (*Corynexochus* ve *Paradoxides*) fosilleri içeren gri renkli kireçtaşlarına geçer. Çaltepe Kireçtaşı'nın en üst seviyesini oluşturan ve kalınlığı 40 metre olan kırmızı renkli nodüler kireçtaşları en üstte seviyelerinde Orta Kambriyen yaşını veren *Ctenocephalus*, *Conocoryphe* ve *Paradoxides* fosillerini ihtiva eder. Çal Tepe Kireçtaşı birimi Arenigiyen (Ordovisiyen) yaşlı Seydişehir Formasyonu tarafından üzerlenir. Kumtaşı-şist ve kuvarsit ardalanmasından oluşan formasyonun kalınlığı 1000 metreden fazladır. Arenigiyen yaşını veren az miktarda fosil (Brakiyopod, Graptolit, Sefalopod, Trilobit) ihtiva eden birimin üst seviyelerinde yine Arenigiyen yaşlı ince bir kireçtaşı dilimi mevcuttur. Bölgede bazı alanlarda Seydişehir Formasyonu'nun en üst düzeylerinde kırmızı renkli kumtaşları gözlenir [6, 12] (Şekil 2). 20 metre kalınlığındaki bu seviye Sobova Formasyonu olarak isimlendirilir. Bu kumtaşları Mesozoyik kayaları tarafından transgresif olarak üzerlenir.

**Alt Mesozoyik** - Bu araştırma kapsamında çalışılan otokton-paraotokton Mesozoyik birimleri alt ve orta seviyeleriyle Seydişehir batısı, orta ve üst seviyeleriyle Beyşehir güneyi ile Dikmen Tepe, orta seviyeleriyle Anamas Dağı ve alt seviyeleriyle Seydişehir, Kasımlar yörelerinde gözlenir (Şekil 3). Seydişehir civarında Anisiyen? – Karniyen yaşlı birimler Ordovisiyen şeyllerini transgresif olarak açısız uyumsuzlukla üzerler (Şekil 2). İstifin en altında kalınlığı 10 - 50 metre olan, konglomera, kumtaşı, silttaşı ve kavkılı kireçtaşı litolojisindeki Pınarbaşı Formasyonu yer alır. Muhtemelen Anisiyen yaşındaki birimin siltli üst düzeylerinden *Myophoria vulgaris* elde edilmiştir [6].

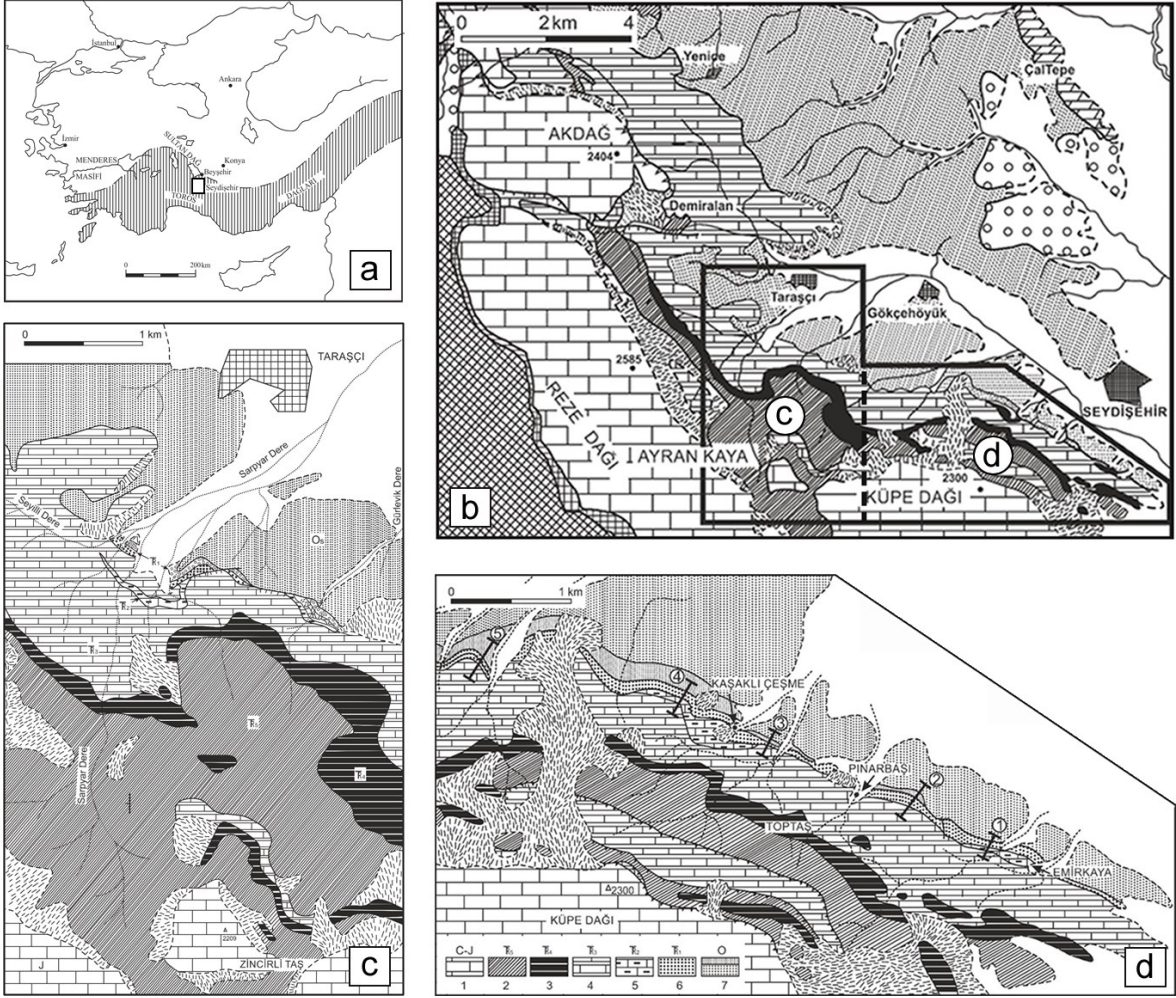
300 metre kalınlığındaki Taraşçı Kireçtaşı, Pınarbaşı Formasyonu'nun silttaşlarını üzerler (Şekil 4, 5). *Krinoid*'li siyah kireçtaşları ve bu kireçtaşlarıyla ara tabakalı-yanal geçişli resifal Emirkaya Kireçtaşı, Taraşçık Kireçtaşı'nın en alt seviyesini oluşturur (Şekil 6). Bitümlü, siyah renkli mikritler ve yumrulu kireçtaşlarıysa Taraşçı Kireçtaşı'nın üst

düzeylerini oluşturur. Taraşçı Kireçtaşı Ladiniyen yaşını veren *Daonella boeckhi*, *D. lommeli*, *Israelites ramonensis*, *Paratrachyceras regoledanum* ve *Protrachyceras recubariense* faunası ile omurgalı (balık ve reptil) fosil fragmanları içerir.

Taraşçı Kireçtaşı üzerine kalınlığı 15 - 100 metre olan, beyaz renkli resifal Toptaş Kireçtaşı gelir. Bu birim de 150 metre kalınlığındaki fliş görünümlü Sarpyar Dere formasyonu tarafından üzerlenir (Şekil 2 ve 3). Sarpyardere Formasyonu türbidit niteliğinde sarı, gri renkli marınlar ile bunlarla ara tabakalı karbonat çimentolu kumtaşlarından oluşur. Birim, içerdiği *Gruenewaldia wöhrmanni*, *Pinna raibliana* (Bivalv) ve *Joannites* sp. (Ammonit) fosillere göre Karniyen yaşlıdır [8] (Şekil 2 ve 3). Sarpyardere Formasyonu Küpe Dağı'nın Jura - Kretase yaşlı karbonat istifi tarafından bindirmeyle üzerlenir [6].

Sistem Kat	Fm.	m.	Litoloji	Açıklamalar
TRİYAS	Karniyen	Sarpyar Dere	150	Kumtaşı-marın ard.
		Toptaş kçt	100	Beyaz biyosparudite
	Ladiniyen	Taraşçı Kçt	300	Biyomikritik, yumrulu kireçtaşı
				<u>Emirkaya kireçtaşı</u> Krinoitli, siyah kçt
Anisiyen	Pınarbaşı	50	Kavkılı kireçtaşı Silttaşı-kumtaşı	
PALEOZOYİK	Kambro-Ordovisiyen	Seydişehir	~1000	Konglomera <i>Uyumsuzluk</i>
				Şeyl Yumrulu kçt seviyesi
	Çaltepe kçt	Yumrulu kçt, dolomit		

Şekil 2. Taraşçı civarındaki (Seydişehir BKB'sı) Alt Mesozoyik oluşukların stratigrafik dikme kesiti (Gutnic ve arkadaşlarından [11] değiştirilmiştir).



Şekil 3. a. Toros Kuşağı ve çalışma alanının yerini gösterir Türkiye haritası. b. Seydişehir BKB'sında Tarasçı Kireçtaşının genel yayılımını gösterir jeoloji haritası. c. Tarasçı Köyü güneyinin jeoloji haritası. d. Seydişehir batısının jeoloji haritası ve ölçülü stratigrafik kesit yerleri. Açıklamalar (d): 1. Jura yaşlı karbonatlar (Küpe Dağı); 2. Sarpyardere Formasyonu (Karniyen); 3. Toptaş Kireçtaşı (Ladiniyen); 4. Tarasçı Kireçtaşı (Ladiniyen); 5. Emirkaya Kireçtaşı; 6. Pınarbaşı Formasyonu (Anisiyen); 7. Seydişehir Formasyonu (Ordovisiyen) (Assereto ve Monod'dan değiştirilmiştir [5]).



Şekil 4. Tarasçı Kireçtaşı ile Pınarbaşı formasyonunun dokanak ilişkisi (Seydişehir batısı, eski taş ocağı civarı).



Şekil 5. Tarasçı Kireçtaşı'nda gözlenen yumrulu kireçtaşı seviyesinin yakın görünümü (Seydişehir batısı, Taş Ocağı Mevkii güneyi).





Şekil 6. Seydişehir batısında Triyas istifinin tabanında gözlenen faylanma.  
(Emirkaya Ölçülü Stratigrafi Kesiti yeri, Seydişehir batısı)

**Pınarbaşı Formasyonu (Tr<sub>p</sub>):** Triyas yaşlı birimlerin taban kumtaşı ve çakıltaşlarını içeren karasal oluşuklar Monod tarafından Pınarbaşı Formasyonu olarak adlandırılmış olup, transgresif olarak Seydişehir Formasyonunu üzerler [6] (Şekil 2). Tip lokalitesi Taraşçı Köyünün (Seydişehir) 2 km. batısındaki Seyilli Dere ile Sarpyar Dere'nin kesiştiği yerdedir [6] (Şekil 3). Başvuru kesit lokalitesi Felepınar batısındaki (Fele Tepe'nin doğu yamacı) karayolunun güneyinde yer alan kuru derededir. Pınarbaşı Formasyonu alt seviyelerinde çeşitli büyüklüklerde blok ve çakıllardan oluşan konglomera seviyesiyle başlayıp miltaşı ve kumtaşlarıyla devam eder. Orta, kötü boylanmış, iyi yuvarlaklaşmış, kırmızı renkli, killi matrikse sahip birimin çakılları çoğunlukla kuvarsit ve daha az oranda volkanitlerdir. Birimin sıklıkla yanal olarak kamalanmayla çakıllı kumtaşlarına geçmekte olan mercikleri, kumtaşları içerisindeki konglomera düzeylerini oluşturur. Birimin üst seviyelerine doğru tane boyutları incelmekte olup bu seviyelerde hâkim litoloji sarımsı-gri, mor, yeşil renkli, alacalı çamurtaşlarıdır. Bu düzeyin üst kesimlerinde bol miktarda gastropod ve bivalv ihtica eden sarımsı-bej renkli kireçtaşı mercikleri yer alır [10].

Seydişehir Formasyonu üzerine açısız uyumsuzlukla gelen Pınarbaşı Formasyonu, Taraşçı Kireçtaşı tarafından uyumlu uyumlu olarak üzerlenir [6, 10]. Pınarbaşı Formasyonu tip lokalitesinde 50 metre kalınlığındadır [6]. Birim, Seydişehir BKB'sında Taraşçı Köyüne dek devamlılık arz eder. Sultan Dağları bölgesinde Felepınar Köyü ve Felepınar Kaynağı yakınlarındaki yüzleklerinde birim 40 - 50 metre kalınlığındadır. Şarkikaraağaç ile Yalvaç arasında Hacılaabaz Formasyonu (Jura-Kretase) dar bir şerit halinde transgresif olarak Seydişehir Formasyonunu üzerler. Bu alanda Pınarbaşı Formasyonu'nun gözlenmeyip yolun batısında gözlenmesi yolun olduğu yerde olası bir tektonik hatta işaret edebilir [10]. Pınarbaşı bölgesinde de (Seydişehir batısı) benzeri bir durum mevcuttur. Monod, birimin Pınarbaşı bölgesindeki yüzeylemelerinin en üst seviyelerinden elde ettiği fosillere (*Neoschyzodus laevigatus*, *Miyophoria vulgaris*) dayanarak bu düzeye Anisiyen (ya da Ladiniyen'in en altı) yaşını vermiştir [6]. Ancak birimin bu düzeyinin alt seviyeleri çoğunlukla fosilsizdir. Pınarbaşı Formasyonu, Kambro-Ordovisiyen yaşlı temel kayalarını transgresif olarak üzerleyen Mesozoyik istifinin taban seviyelerini oluşturur. Özgül, Sultan Dağları civarında birimin yüzeylemelerinin çok yaygın olmayışı nedeniyle çökelim ortamıyla ilgili yeterli veriler

derleyemediklerini belirtir [10]. Pınarbaşı Formasyonu'nun Seydişehir çevresindeki yaygın yüzleklerini inceleyen Monod birimin alüvyon yelpazesi ürünü olduğu belirtir [6]. Moloz akıntılarının etkin olduğu birimin kırmızı rengi kurak iklim şartlarına işaret eder. İstifin üst düzeylerine doğru tane boyutlarının incilmesi, fosilli kireçtaşı merceklerinin varlığı transgresyona işaret eder. Orta Toroslarda benzer özellikte Üst Triyas-Liyas yaşlı konglomeralar yaygındır [10]. Anamas Dağlarındaki Çayır Formasyonu (Üst Triyas-Liyas), Sandıklı civarındaki (Üst Triyas?-Liyas) İlyaslı Formasyonu, Hadim bölgesindeki Aladağ Birliğinin konglomeraları (Üst Triyas) ile Bolkar Dağı Birliği'nin konglomeraları (Liyas) [3] buna örnek verilebilir [10].

**Emirkaya Kireçtaşı (Tr<sub>e</sub>):** Masif görümlü, açık gri, beyaz renkli Emirkaya Kireçtaşı, Taraşçı Kireçtaşı'nın alt düzeyleri ile yanal geçişli ve yer yer ara tabakalıdır. 10 - 40 metre kalınlığındaki birim adını Emirkaya Tepe'den alır (Seydişehir GB'sı). Seydişehir ile Taraşçı Köyü arasında yüzeyleyen (Şekil 3) Emirkaya Kireçtaşı değişen kalınlıklardaki tabakalardan oluşmaktadır. Birim mikritik, iri biyoklastik bileşenlerin yer aldığı pelletli bir matriks ile farklı boyutlardaki intraklastlardan oluşur. Emirkaya Kireçtaşı'nın alt düzeylerinde iri Bivalv parçaları, ekinodermiler ve foraminiferler gözlenir [6]. Tabaka kalınlıkları değişken olan birimden Monod tarafından *Teutloporella* cf. *nodosa*, *Teutloporella* sp., *Endothyra* sp., *Fronicularia* sp., *Tolypamina* sp., *Nodosaridae*, *Involutinidae* formları elde edilmiştir [6]. Birimin yaşı, yanal geçişli olduğu Ladiniyen yaşlı Taraşçı Kireçtaşı'nın alt seviyelerinden derlenen fosiller (*Daonella boeckhi*, *Hungarites* sp. *Protrachyceras* sp.) yardımıyla Alt Ladiniyen olarak verilmiştir [6].

**Tarascı Kireçtaşı (Tr<sub>t</sub>):** Blumenthal tarafından tanımlanan Taraşçı Kireçtaşı, adını Taraşçı Köyü'nden (Seydişehir KB'sı) alır [1]. Blumenthal birimin Liyas yaşında olduğunu düşünmüştür [1]. Taraşçı Kireçtaşı detaylı olarak inceleyen Monod formasyonun tip kesitini Taraşçı Köyü'nün 2 km. KB'sında ölçmüştür [6] (Şekil 7).

Tabanda 3 - 8 metre kalınlığında ince silttaşları ve sarımsı killi kireçtaşı ardalanması ile başlayan birim 10 - 15 metre kalınlığında siyahımsı gri renkli, yumrulu kireçtaşları ile devam eder (Şekil 5). Bu seviyenin üstünde 300 metre kalınlığında, koyu gri renkli mikritlerle temsil edilen birim üste doğru bitümlü marn ara katkıları içerir. KKD'daki yüzleklerinde mavimsi, koyu gri, sarımsı boz renklerde ve orta - kalın tabakalıdır. Alt düzeylerinde Krinoid ve Bivalv ihtiva eden biyomikritik kireçtaşı Emirkaya Kireçtaşı'nın resifal kireçtaşlarıyla yanal geçişlidir. Seydişehir batısında Taraşçı Kireçtaşı'nın bu alt seviyelerinde BKB yönlü ters faylar yer alır. Formasyonun üst seviyelerinde gri, kumlu kireçtaşları bulunur.

Pınarbaşı Formasyonu'nu geçişli olarak üzerleyen Taraşçı Kireçtaşı (Şekil 2) üzerine Ladiniyen yaşlı Toptaş Kireçtaşı, yer yer de Noriyen yaşlı Sarpyar Dere Formasyonu diskordan olarak gelir. Seydişehir civarında formasyonun kalınlığı yaklaşık 300 metredir [6].



Şekil 7. Taraşçı Kireçtaşının tip yerindeki genel görünümü  
(Taraşçı Ölçülü Stratigrafi Kesiti yeri, Taraşçı Köyü 2 km. kuzeybatısı).

Monod, bol fosilli olan birimden elde ettiği Bivalv ve Ammonit fosilleri ile birime Ladiniyen-?Alt Karniyen yaşını vermiştir [6]. Özgül ve arkadaşları formasyonun kuzeydeki yüzleklerinden derledikleri *Endothyra* sp., *Aulotortus praegasche* (?), *A. communis* (?), *A. sinuosus*, *A. spp.*, *Lamelliconus multispirus*, *Ammobaculites* sp., *Auloconus* sp. fosilleri ile birime Anisiyen-Resiyen vermişlerdir [10].

Pleajik Bivalv ve Ammonit içeren ve başlıca mikritler ile temsil edilen Taraşçı Kireçtaşı açık şelf koşullarını gösterir. Bu veriler transgresif Pınarbaşı Formasyonu'yla başlayan sığ denizel ortamdaki derinleşmenin sürdüğünü işaret eder.

Öncel araştırmalarda sadece Orta Toroslarda yüzelediği ifade edilen Taraşçı Kireçtaşı bunun yanı sıra Likya Naplarındaki tektonik pencerelerde de izlenebilmektedir. Birim Nif-Arpaçık Bölgesinde, Ağlıovası Yayla Otokton Serisi içerisinde, Graciansky'nin Nif Polyesinin güney kenarınca "Nif İmbrike Bindirme Örtüsü" adını verdiği dizinin içinde bulunur [13]. Eski adıyla Nif, yeni adıyla Arpaçık Köyünün güneyinde ve Fethiye KD'sunda yüzeyleyir. Graciansky bölgede istifin (batıdan doğuya doğru) Orta Kambriyen-Permiyen kireçtaşları ile başladığını, Erken Triyas? Kuvarsitleri ile Ladiniyen karbonatlı kayaçlarıyla devam ettiğini ve Geç Triyas Belenkavak Şistleriyle tamamlandığını belirtir [13]. Moix ve arkadaşları, serinin Ladiniyen düzeyinden derledikleri Pisidya Triyasının karakteristik fosillerinden *Theelia tubercula* ve *Pseudofurnishius murcianus* türleriyle birimin Likya napları içindeki görece otokton konumuna dayanarak serinin Geyik Dağı Otoktonuna benzediğini belirtir [9]. Bu bağlamda Likya naplarında gözlenen Karapınar Formasyonu (Ladiniyen) Taraşçı Kireçtaşı'nın ve Belenkavak Formasyonuysa (Karniyen) Sarpyar Dere Formasyonu'nun eşleniği olarak kabul edilebilir.

**Toptaş Kireçtaşı (Tr<sub>10</sub>):** Monod, Sarpyardere Formasyonu ile Taraşçı Kireçtaşı arasında bulunan, biyoklastik partiküller içeren, masif, beyaz renkli kireçtaşlarını Toptaş Kireçtaşı olarak tanımlamıştır [6]. Kalınlığı 15-100 metre arasında olan birim Ayran Dağ, Küpe Dağ ve Reze Dağı kuzeyinde geniş yüzlekler verir. En iyi Seydişehir GD'sunda Pınarbaşı civarında gözlenen birim adını Pınarbaşı D'sundaki Toptaş Tepe'den alır [6]. Formasyon Seydişehir'den Taraşçı Köyü'ne, Boynuzcu Tepe'ye dek yayılım gösterir. İçerdiği iri biyoklastlarla karakterize olan birimin *Tubiphytes* ve *Sphaerocodium* (Alg) içeren düzeyleri mikritiktir. Monod birimden elde ettiği *Celyphia sub-marginata* Munster, *Cryptocoella zitteli* Steinmann, *Holocoelia toulai* Steinmann, *Involutina eomesozoica*, *Involutina sinuosa pragsoides*, *Solenopora* sp., *Teutloporella nodosa* Schaff, *Tubiphytes obscurus* Maslov foraminiferlerle birimin yaşını Üst Ladiniyen-Alt Karniyen olarak belirtmiştir [6]. Alt seviyelerinde Taraşçı Kireçtaşı'yla geçişli olan birimin en iyi gözlemlendiği yer Taraşçı Köyü güneyidir.

**Sarpyar Dere Formasyonu (Tr<sub>s</sub>):** Blumenthal tarafından Sarpyar Flişi [1] ve Monod tarafından Sarpyar Dere Formasyonu olarak adlandırılan birim Toptaş Kireçtaşı ve Jura istifi arasında yer alır. Formasyon adını Taraşçı Köyü'nün yaklaşık 1,5 km. GGB'sındaki Sarpyardere'den alır. Seydişehir'den Demiralın'a (Taraşçı Köyü KD) uzanan bir alanda yüzlekler veren formasyonun hâkim litolojisi marn aralanmalı, silisli, karbonatlı, kumtaşlarıdır. Kumtaşı ve marn aralanmalarında kumtaşları 1-10 cm., marnlar ise 0,10-1 m. arası kalınlıklardadır. Sarpyar Dere Formasyonu'nun ortalama kalınlığı 200 ile 600 metre arasında değişir. Altta Toptaş Kireçtaşı'nı üzerleyen formasyon yer yer mikrobreşli seviyeler ihtiva eder. Üst düzeylerinde Jura-Kretase istifinin Dogger yaşlı dolomitik kireçtaşlarıyla üzerlenir. Monod, Tepearası D'sunda birimden elde ettiği *Pinna raiblana* ve *Gruenewaldia wöhrmanni* türü Bivalv'lerle formasyonun yaşının Karniyen olduğunu belirtmiştir [6].

### 3.2. Paleontoloji

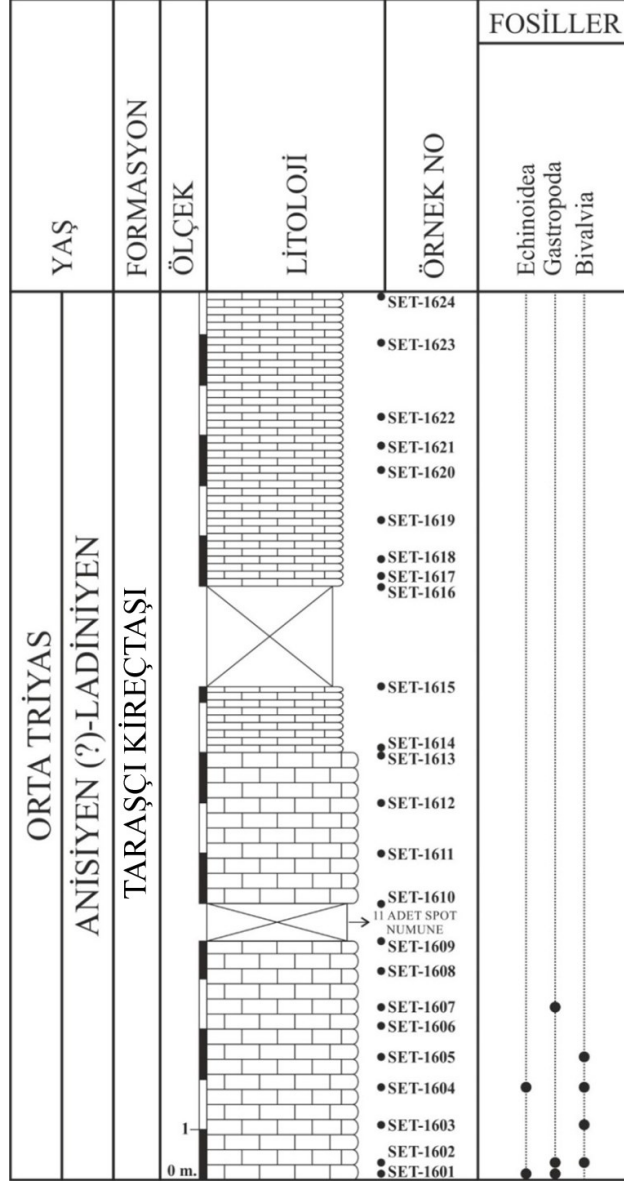
Tarasçı ve Emirkaya ölçülü kesitlerine ait bulgular aşağıdaki gibidir:

Taraşçı Ölçülü Stratigrafi Kesiti, Taraşçı Köyü'nün (Seydişehir KB'sı) yaklaşık 2 km. KB'sında ölçülmüştür. Kesit, Taraşçı Kireçtaşı'na ait koyu gri renkli, yumru kireçtaşlarından oluşmaktadır. Başlangıç koordinatı 36 S 389581 D/ 4145860 K (1240 m.) olan kesit K42°B doğrultuludur. Kesitin bitiş koordinatı 36 S 389412 D/ 4146029 K (1252 m.)'dir [15].

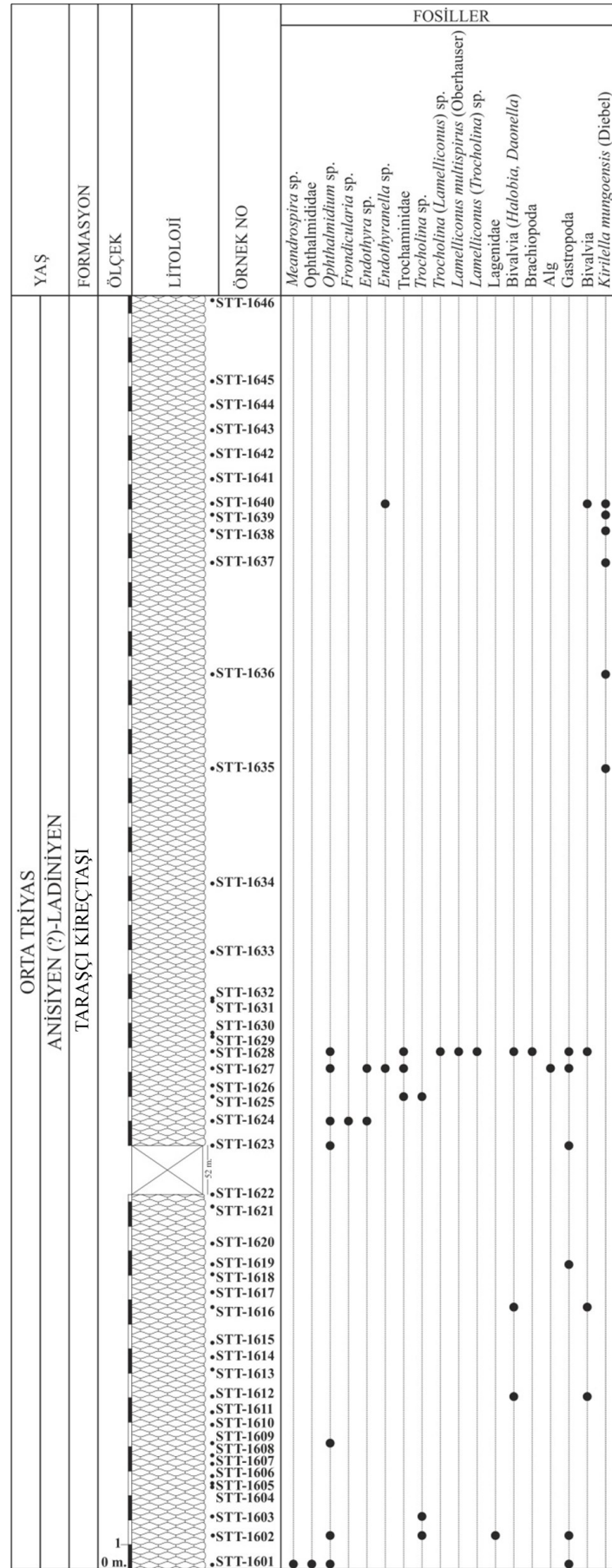
Taraşçı köyünün (Seydişehir, Konya) yaklaşık 2 km. kuzeybatısında ölçülen Taraşçı Ölçülü Stratigrafi Kesiti'nden (Taraşçı ÖSK; Şekil 9) belirlenen foraminiferler şunlardır: *Endothyra* sp., *Endothyranella* sp., *Fronidularia* sp., *Lamelliconus multispirus* (Oberhauser), *Lamelliconus (Trocholina)* sp., *Meandrospira* sp., *Ophthalmidium* sp., *Trocholina* sp., Lagenidae, Ophthalmididae, Trochaminidae. Foraminiferlerin yanı sıra algler ile gastropod, brakiyopod ve pelajik bivalv (*Halobia*, *Daonella*) kavkı parçalarına da rastlanılmıştır (Şekil 10, 11, 12 ve 13). Seydişehir B'sında ölçülen Taraşçı Kireçtaşı'nın alt düzeyleriyle yanal geçişli Emirkaya Formasyonu'ndan ölçülen Emirkaya Ölçülü Stratigrafi Kesitinden (Emirkaya ÖSK) ekinid spinleri ile bivalv ve gastropod kavkı parçaları saptanmıştır (Şekil 8). Tanımlanan foraminifer bulguları Ladiniyen yaş aralığı vermektedir [15].

Emirkaya Ölçülü Stratigrafi Kesiti, Seydişehir'in yaklaşık 2 km. güneyinde, Seydişehir çevre yolu kenarındaki Emirkaya Tepe civarında ölçülmüştür. Kesit ince-orta tabakalı

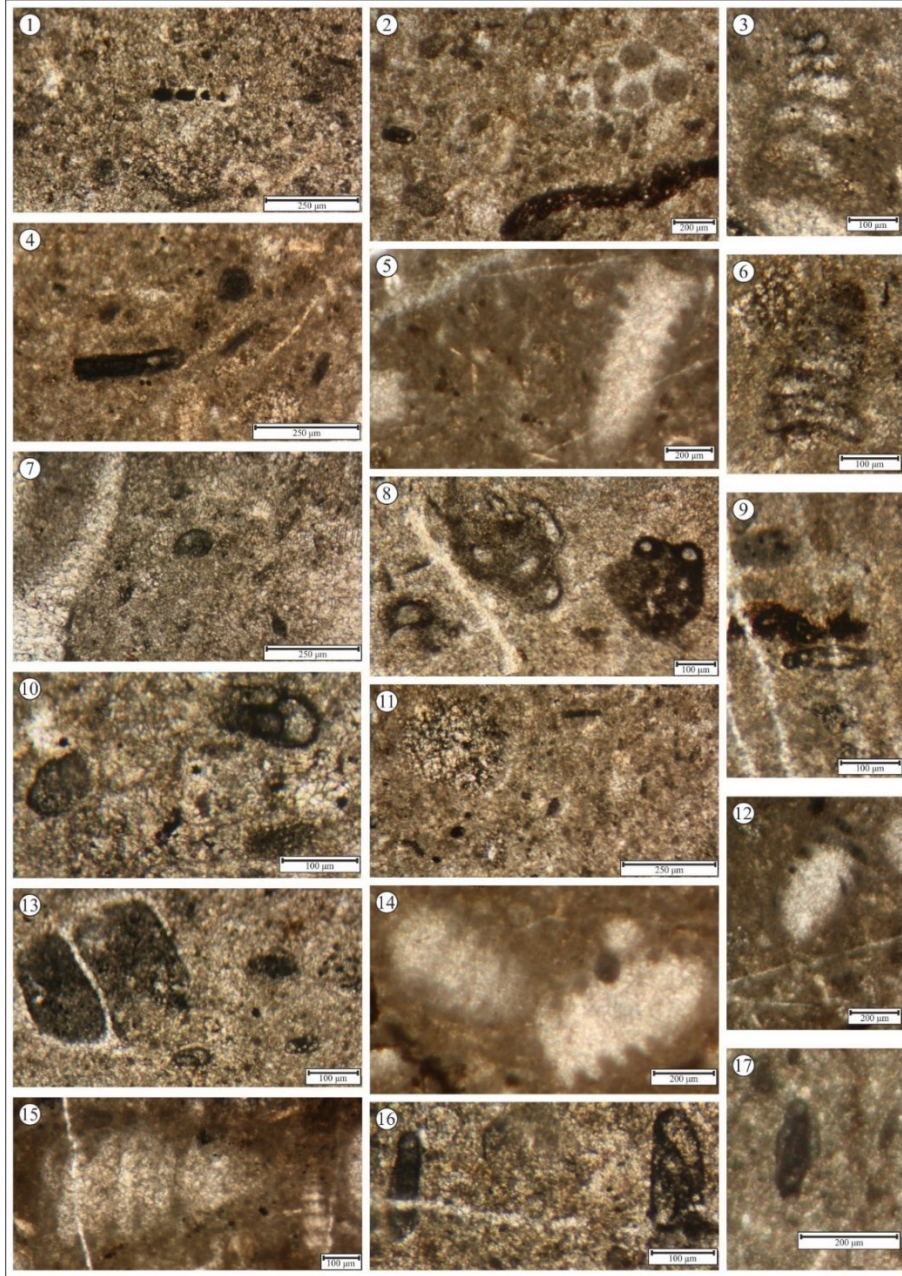
kireçtaşlarından meydana gelir. Başlangıç koordinatı 36 S 397401 D/ 4140407 K (1127 m.) olan kesit K10°B doğrultuludur. Kesitin bitiş koordinatı 36 S 397403 D/ 4140376 K (1129 m.)'dir [15].



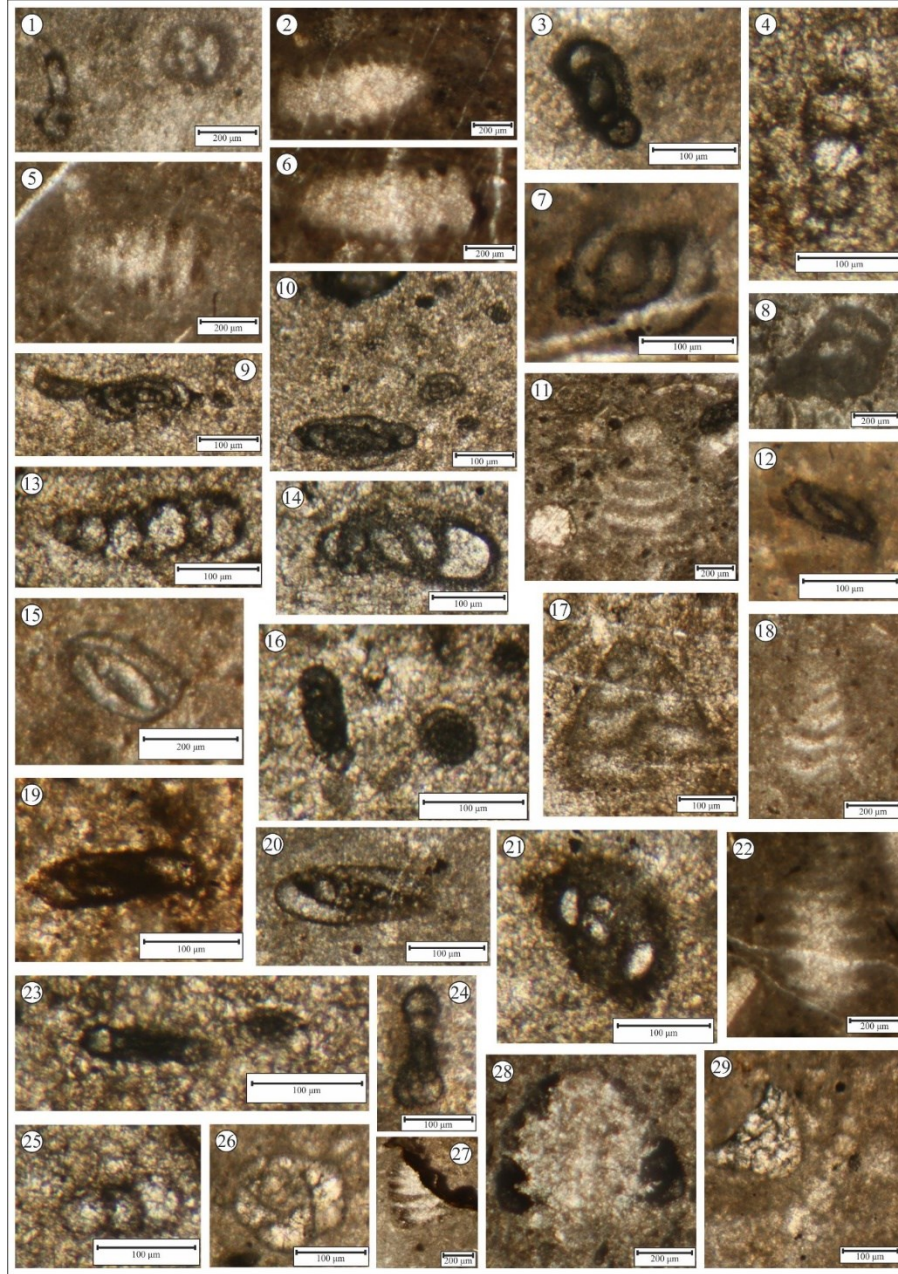
Şekil 8. Seydişehir (Konya) güneyinde ölçülen Emirkaya Ölçülü Stratigrafi Kesiti.



Şekil 9. Seydişehir (Konya) batısında ölçülen Taraşçı Ölçülü Stratigrafi Kesiti.



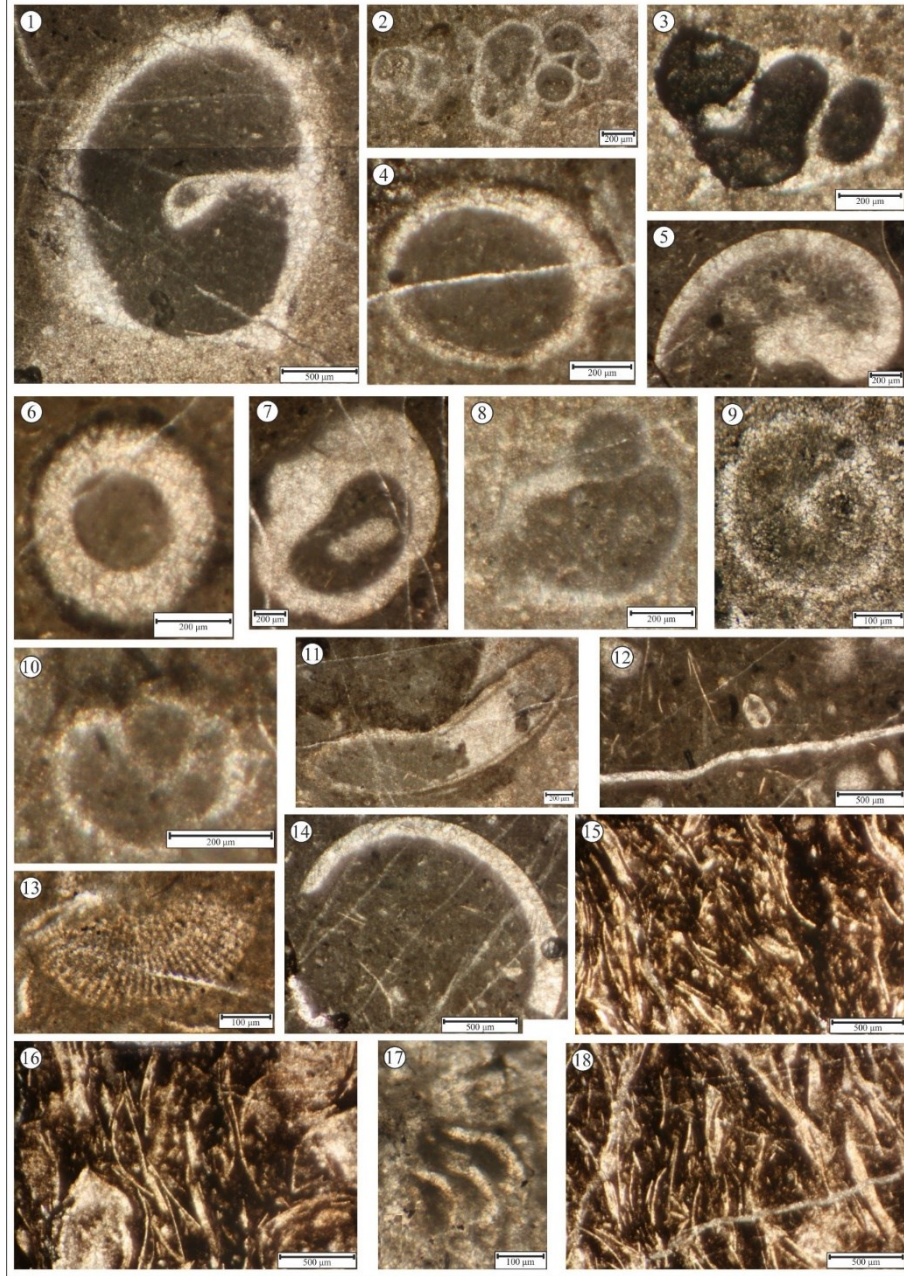
Şekil 10. Taraşçı Köyü kuzeybatısında ölçülen Taraşçı Ölçülü Stratigrafik Kesitinden (STT ÖSK) derlenen foraminiferler. 1. Lagenidae, örnek no: STT-1602; 2. *Ophthalmidium* sp., Gastropoda kavkı parçası, örnek no: STT-1602; 3. Trochaminidae, örnek no: STT-1628; 4. *Ophthalmidium* sp., örnek no: STT-1602; 5. *Lamelliconus multispirus* (Oberhauser), örnek no: STT-1628; 6. Trochaminidae, örnek no: STT-1625; 7. *Meandrospira* sp., Ophthalmididae, örnek no: STT-1601; 8. *Ophthalmidium* sp., örnek no: STT-1627; 9. *Ophthalmidium* sp., örnek no: STT-1624; 10. *Ophthalmidium* sp., örnek no: STT-1601; 11. Lagenidae, örnek no: STT-1602; 12. *Trocholina (Lamelliconus)* sp., örnek no: STT-1628; 13. *Ophthalmidium* sp. ve gastropod kavkı parçası, örnek no: STT-1623; 14. *Lamelliconus multispirus* (Oberhauser), örnek no: STT-1628; 15. *Trocholina (Lamelliconus)* sp., örnek no: STT-1628; 16. *Ophthalmidium* sp., örnek no: STT-1601; 17. *Ophthalmidium* sp., örnek no: STT-1601.



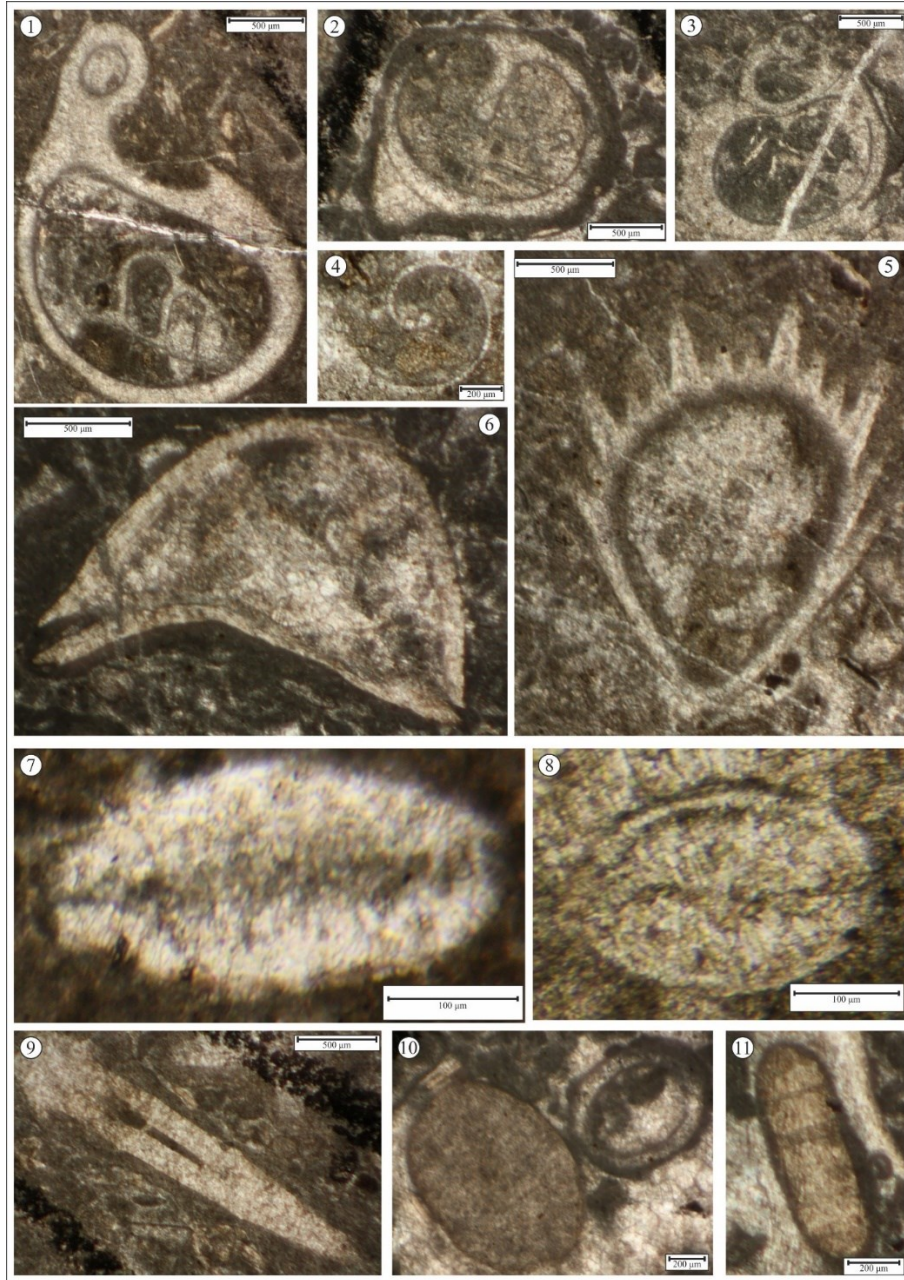
Şekil 11. Tarasçi Köyü kuzeybatısında ölçülen Tarasçi Ölçülü Stratigrafik Kesitinden (STT ÖSK) derlenen foraminiferler (devamı). **1.** *Endothyra* sp., örnek no: STT-1627; **2.** *Lamelliconus multispirus* (Oberhauser), örnek no: STT-1628; **3.** *Ophthalmidium* sp., örnek no: STT-1624; **4.** *Endothyra* sp., örnek no: STT-1627; **5.** *Trocholina* (*Lamelliconus*) sp., örnek no: STT-1628; **6.** *Lamelliconus multispirus* (Oberhauser), örnek no: STT-1628; **7.** *Ophthalmidium* sp., örnek no: STT-1628; **8.** *Endothyranella* sp., örnek no: STT-1640; **9.** *Ophthalmidium* sp., örnek no: STT-1627; **10.** *Ophthalmidium* sp., örnek no: STT-1601; **11.** *Trocholina* sp., örnek no: STT-1602; **12.** *Ophthalmidium* sp., örnek no: STT-1628; **13.** *Endothyranella* sp., örnek no: STT-1627; **14.** *Ophthalmidium* sp., örnek no: STT-1623; **15.** *Ophthalmidium* sp., örnek no: STT-1624; **16.** *Meandrospira* sp., örnek no: STT-1601; **17.** Trochaminidae, örnek no: STT-1627; **18.** *Trocholina* sp., örnek no: STT-1603; **19.** *Ophthalmidium* sp., örnek no: STT-1609; **20.** *Ophthalmidium* sp., örnek no: STT-1627; **21.** *Ophthalmidium* sp., örnek no: STT-1627; **22.** *Lamelliconus* (*Trocholina*) sp., örnek no: STT-1628; **23.** *Ophthalmidium* sp., örnek no: STT-1601; **24.** *Ophthalmidium* sp., örnek no: STT-1624; **25.** *Endothyranella*



sp., örnek no: STT-1627; **26.** *Endothyra* sp., örnek no: STT-1624; **27.** *Trocholina* sp., örnek no: STT-1625; **28.** *Trocholina* sp., örnek no: STT-1602; **29.** *Frondicularia* sp., STT-1624.



Şekil 12. Taraşçı Köyü kuzeybatısında ölçülen Taraşçı Ölçülü Stratigrafik Kesitinden (STT ÖSK) derlenen makrofosiller. **1-10.** Gastropod kavkı parçası. **1** örnek no: STT-1619; **2** örnek no: STT-1627; **3** örnek no: STT-1602; **4** örnek no: STT-1627; **5** örnek no: STT-1619; **6** örnek no: STT-1628; **7** örnek no: STT-1628; **8** örnek no: STT-1627; **9** örnek no: STT-1601; **10** örnek no: STT-1602. **11.** Alg, örnek no: STT-1627. **12.** Pelajik bivalv kavkı parçası, örnek no: STT-1628. **13.** Brachiopod kavkı parçası, örnek no: STT-1628. **14.** Bivalv kavkı parçası, örnek no: STT-1612. **15-16.** Pelajik bivalv (?*Halobia* sp., ?*Daonella* sp.) kavkı parçası, örnek no: STT-1616. **17-18.** Bivalv kavkı parçası; **17** örnek no: STT-1640, **18** örnek no: STT-1616.



Şekil 13. Tarasçı Köyü kuzeybatısında ölçülen ölçülen Emirkaya Ölçülü Stratigrafi Kesitinden (SET ÖSK) derlenen makrofosiller. **1-4.** Gastropod kavkı parçası. **1** örnek no: SET-1602; **2** örnek no: SET-1601; **3** örnek no: SET-1602; **4** örnek no: SET-1607. **5-8.** Bivalv kavkı parçası. **5** örnek no: SET-1605; **6** örnek no: SET-1603; **7** örnek no: SET-1604; **8** örnek no: SET-1602. **9-11.** Echinoidea spin kesiti. **9** örnek no: SET-1604; **10** örnek no: SET-1601; **11** örnek no: SET-1601.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada Batı ve Orta Toroslarda yüzeyleyen Triyas yaşlı Tarasçı Kireçtaşının biyostratigrafik özellikleri incelenmiştir. Bu kapsamda gerçekleştirilen araştırmalar Seydişehir (Konya) BKB'sında gerçekleştirilmiş olup Nif-Aracık (Fethiye, Muğla) ve

Sultan Dağlarından gözlem ve derlemelerimize de metnin ilgili kısımlarında yer verilmiştir.

Batı ve Orta Toroslarda gerçekleştirdiğimiz araştırmalarımızda Geyik Dağı Birliğinin Alt Paleozoyik ve Alt Meozozoyik seviyelerinden (Seydişehir BKB'sındaki Emirkaya, Kaşaklı, Taş Ocağı ve Taraşçı mevkiğinde) ölçülen iki adet stratigrafi kesitinden derlenen 81 adet kaya numunesinin biyostratigrafik özellikleri ortaya konulmuştur.

Taraşçı Kireçtaşı'nın alt düzeyleriyle yanal geçişli olan Emirkaya Formasyonu'ndan Seydişehir batısında ölçülen kesitinden (Emirkaya ÖSK) Ekinit spinleriyle Bivalv ve Gastropod kavkı parçaları saptanmıştır.

Taraşçı Kireçtaşı'ndan Taraşçı Köyü kuzeybatısında ölçülen kesitinden (Taraşçı ÖSK) Ladiniyen yaşını veren Foraminiferler (*Endothyra* sp., *Endothyranella* sp., *Fronicularia* sp., *Lamelliconus multispirus* (Oberhauser), *Lamelliconus (Trocholina)* sp., *Meandrospira* sp., *Ophthalmidium* sp., *Trocholina* sp., Lagenidae, Ophthalmididae, Trochaminidae) ve Algler ile Brakiyopod, pelajik Bivalv (*Halobia*, *Daonella*) ve Gastropod, kavkı parçaları saptanmıştır.

Seydişehir (Konya) ve Sultan Dağları bölgelerinde yüzeylemeler veren paraotokton Alt Paleozoyik ve bu birimleri uyumsuz olarak üzerleyen Triyas birimleri Geyik Dağı Birliğine ait olup birbirleriyle yanal ilişki sunarlar. Hirsch'in "*Sefarad Provensi*"ni<sup>14</sup> karakterize eden *Pseudofurnishius murcianus* (Konodont) ile bu formun dâhil edildiği Marquezellinae Alt Familyasının bazı formları Ladiniyen yaşlı Taraşçı Kireçtaşı'nda gözlenir [15]. Türkiye'de Nicora tarafından Pisidya Triyası'nda varlığı kanıtlanmış [7] olan *P. murcianus* türünün Likya Naplarında da elde edilmiş olması [9] Sefarad Provensinin yayılımını batıya uzatır. Likya Naplarında Sefarad Provensi'nin varlığı Menderes-Toros Bloğunun bu biyocoğrafik alanın bir parçası olduğunu ve Likya Naplarının bu bloğun batı kesiminden kökenlendiğine işaret eder.

## Teşekkür

Bu çalışma Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi 2017/03, 2017/04 ve TÜBİTAK-116Y374 nolu Bilimsel Araştırma Projeleri ile desteklenmiştir. Paleontolojik kesitlerin determinasyonlarındaki katkılarından ötürü Sayın Jeoloji Yük. Müh. Kemal Erdoğan'a (MTA Gen. Müd.) teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

- [1] Blumenthal, M.M., Seydişehir-Beyşehir hinterlandındaki Toros dağlarının jeolojisi, Maden Tetkik Arama Enstitüsü, 2, 242, (1947a).
- [2] Brunn, J.H., Dumont, J.H., Graciansky, P. Ch. de, Gutnic, M., Juteau, Th., Marcoux, J., and, Outline of the geology of the western Taurids Geology and History of Turkey de, **Petroleum exploration Society of Libya**, Tripoli, 225-255 (1971).
- [3] Özgül, N., Torosların bazı temel jeolojik özellikleri, **Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni**, 19, 65-78, (1976).

- [4] Özgül, N., Stratigraphy and tectonic evolution of the Central Taurides. **International Symposium on the Geology of Taurus Belt** (ed: Tekeli O. and Göncüoğlu M.C.), Ankara 77-90, (1984).
- [5] Assereto, R. ve Monod, O., Les formations Triasiques du Taurus occidental à Seydişehir (Turquie méridionale), Stratigraphie et interprétation sédimentologique, **Rivista Italiana Paleontologia e Stratigrafia**, XIV, 159-161, (1974).
- [6] Monod, O., Recherches geologique dans le Taurus occidental au sud de Beyşehir (Turquie), These Univ. Paris Sud Orsay, 442 pp, (1977).
- [7] Nicora, A., Pseudofurnishius murcianus Van den Boogaard in the Upper Triassic of Southern Alps and Turkey, **Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia**, 86, 769-778, (1981).
- [8] Ketin, İ., Türkiye jeolojisine genel bir bakış. **İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları**, 1259, 596, (1983).
- [9] Moix, P., Vachard, D., Allibon, J., Martini, R., Wernli, R., Kozur, H., Palaeotethyan, Neotethyan and Huglu-Pindos series in the Lycian Nappes (SW Turkey): geodynamical implications, **New Mexico Museum of Natural History and Science**, 61, 401-444, (2013). [10] Özgül, N., Bölükbaşı, S., Alkan, H. ve Öztaş, Y., Sultandağları Sandıklı Homa- Akdağı Yöresinin Jeolojisi, **Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Raporu**. No: 3028, (1991). [11] Gutnic, M., Monod, O., Poisson, A. and Dumont, J.F., Geologie des Taurides Occidentales (Turquie), **Memoire Societe Geologie France**, 137, 109, (1979).
- [12] Dean, W.T. ve Monod, O., The lower Paleozoic stratigraphy and faunas of the Taurus mountains near Beyşehir, Turkey, **I. Stratigraphy. Bull. Brit. Mus. (Nat.His), Geol.**, 19, 8, 411-426, (1970).
- [13] Graciansky, P. Ch. De, Recherches geologiques dans le Taurus Lycien occidental. These Univ. Paris-Sud Centre d'Orsay, Ser. A, 896, 571, (1972).
- [14] Hirsch, F., Middle Triassic conodonts from Israel, southern France and Spain, **Mitteilungen Gesellschaft Geologie und Bergbaustudien**, 21, 811-828, (1972).
- [15] Kılıç, A.M., Şentürk, G., Şentürk, S. ve Yümün, Z.Ü., Sephardiellinae altfamilyasının (Conodonta) Taraşçı - Seydişehir (Konya) bölgesindeki dağılımı. TÜBİTAK 116Y374 nolu Proje, 82 s., (2020).

# Toksik organik kirleticilerin mekanokimyasal parçalanması

Volkan PELİTLİ\*

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, 41470, Gebze, Kocaeli.

Geliş Tarihi (Received Date): 19.07.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 18.03.2024

## Öz

Günümüzde birçoğu termal ve termal olmayan bertaraf teknolojilerine ilişkin bazı yaklaşımlar ve yöntemler, toksik organik kirleticilerin parçalanması amacıyla önerilmektedir. Ancak hem yakma teknolojileri hem de diğer yüksek sıcaklığa sahip bertaraf teknolojileri, yetersiz yönetimlerin sebep olabileceği ikincil kirlenmeler ve sıcaklığın sabit tutulması için işletimi oldukça pahalı olan fazla miktarda enerji ve ortam gereksinimi nedeniyle uzun süre kullanıma uygun değildir. Öte yandan, biyoremediasyon ve fitoremediasyon da dahil olmak üzere farklı bertaraf teknolojileri ise, bitki ve mikrobiyal aktivitelerin kullanımıyla ilişkili dezavantaj ve kısıtlamalara sahiptir. Bu bağlamda, organik kirleticilerin zararlı etkilerini azaltmak veya ortadan kaldırmak için alternatif teknolojilere ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllarda yapılan araştırmalar, mekanokimyasal parçalanmanın organik kirleticileri parçalayarak çevreci yaklaşımla solvent kullanılmaksızın çevresel problemleri ortadan kaldıran yüksek potansiyele sahip yenilikçi bir teknoloji olduğunu göstermiştir. Bu teknoloji saha ölçeğinde çok çeşitli kirleticilere uygulanabilmektedir. Bu nedenle bu derlemede, (i) toksik organik kirleticilerin parçalanması için mekanokimyasal parçalanmanın etkinliği, kabul edilebilirliği, kullanılabilirliği ve güvenilebilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Sonuç olarak, bu derleme atık yönetiminde mekanokimya uygulamaları ve ilgili mekanizmalar hakkında yol gösterici bir kaynak olacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Toksik kirleticiler, mekanokimya, parçalanma.

## Mechanochemical destruction of toxic organic pollutants

### Abstract

Today, several approaches and methods for the destruction of toxic organic pollutants have been proposed, most of which are thermal and athermal disposal technologies.

\* Volkan PELİTLİ, volkan.pelitli@tubitak.gov.tr, <http://orcid.org/0000-0001-7332-4151>

*However, incineration technologies and other high-temperature disposal systems are not suitable for long-term use. Burning at high temperatures demands more energy and rigorous conditions for temperature maintenance, making them more expensive to operate. Poor management may also lead to secondary pollution. On the other hand, athermal (non-incineration) disposal technologies, including bioremediation and phytoremediation, have disadvantages and limitations associated with the use of plant and microbial activities. In this context, there is a need for alternative technologies to mitigate or eliminate the harmful effects of organic pollutants. Recent research indicates that mechanochemical degradation is a highly promising technology for the destruction of organic pollutants. It avoids the use of solvents, making it a very eco-friendly process that eliminates potential environmental problems. This technology has the potential to be applied on a large scale to a wide variety of pollutants. Therefore, in this review, we aim to: (i) investigate the effectiveness, acceptability, usability, and safety of mechanochemistry for destruction of toxic organic pollutants. As a result, this review will be a guiding source for the mechanochemistry applications in waste management and the related mechanisms.*

**Keywords:** Toxic pollutants, mechanochemistry, destruction.

## 1. Giriş

Son yıllarda artan ekolojik çekinceler, endüstriyel proseslerde kasıtlı/kasıtsız şekilde üretilen sentetik kirleticiler ve fazla miktarda atığın bertaraf ihtiyacı, katı-fazlı reaksiyonlara olan ilginin gün geçtikçe artmasına sebep olmuştur. Bundan dolayı günümüzde katı fazda gerçekleşen reaksiyonlar için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmuştur. Bu metotlardan bazıları kendi kendini destekleyen yüksek sıcaklık sentezleri, şok dalgaları ve mekanik ekipmanlarla gerçekleştirilen çeşitli kimyasal karışımların mekanokimyasal aktivasyonunu içermektedir. Mekanokimyasal aktivasyon yöntemi de basit ve uygulanabilir olması sebebiyle bu yöntemler içerisinde günümüzde daha fazla alanda tercih edilmeye başlamıştır. Mekanokimyasal aktivasyonun temeli olan “mekanokimya” kısaca; kimya, malzeme ve çevre bilimi arasında hızla gelişen çok disiplinli bir bilim dalı olarak ortaya çıkmış olup, çözünürlüğün önemli olmadığı ve kimyasal reaksiyonların (AgCl, HgCl, LiCl, CsCl, CsI, NaBr, NaCl vb.) meydana gelmesi amacıyla mekanik enerjinin kullanıldığı fiziksel-kimya temelli bir yöntem olarak tanımlanmaktadır [1]. Bu reaksiyonlarda katı maddelerin ezilmesi ile hem yapısal hem de kimyasal bir dönüşüm serisi yaratılmakta ve farklı sentez yöntemleri kullanılarak üretilmeyen kararlı ürün ya da fazlar ezme, karıştırma ve öğütme etkisi ile üretilmektedir. Reaksiyonlar sırasında yüzeyler arasındaki yüksek enerji etkisi nedeniyle triboplazma oluşmakta ve bunun sonucunda da kovalent kristal yapılar mekanik enerji ile parçalanırken, yeni çatlaklar ve yeni yüzeyler de oluşmaktadır. Bu sırada çarpışma noktasındaki mikronize katılar deforme (katı hal kimyası) olmakta hatta erimekte, böylece moleküllerin yüksek titreşime ulaşarak büyük kimyasal iç bağların kırılabildiği sıcak noktalar oluşması sağlanmaktadır. Yeni özelliklerin uyarlanması için termal olmayan ve plazma fazı olarak tanımlanan bu yüksek enerjili stokastik proses yani küçük sistem termodinamiği  $10^{-7}$  saniyede gerçekleşirken, bu prosesi plazma sonrası periyot ( $10^{-6}$  saniye) izlemekte ve meydana gelen plazmatik kimyasal reaksiyonlar sonucunda da InfraRed (IR), X-Işını Difraksiyonu (XRD) ve Kütle Spektrometresi (MS) ile tespit edilebilen düşük moleküler ağırlıklı reaksiyon ürünleri oluşmaktadır [2].

Mekanokimyasal reaksiyonlar solvent-bazlı kimyasal reaksiyonlara kıyasla katı fazda gerçekleşmeleri nedeniyle, solvent rejenarasyonu/bertarafı gerektirmemekte ve daha hızlı olmaları sebebiyle konvansiyonel proseslere göre de daha uygulanabilir olmaktadır [3, 4]. Bundan dolayı mekanokimyasal reaksiyonlar ve sentezler; basit ve enerji açısından verimli olmaları sebebiyle yaygın olarak organik veya inorganik (nano) materyal sentezi, tarım, kömür, atık bertarafı ve farmasötik endüstrilerinde kullanılmaktadır [5]. Bu teknolojinin başlıca avantajları: düşük maliyet, tasarım basitliği, katı halde gerçekleşmesi nedeniyle solvent gerektirmemesi, çok yönlülüğü, enerji tasarrufu, stokiyometrik olarak kontrol edilebilmesi, diğer yöntemlerle elde edilemeyecek ürünlerin mümkün olması, yüksek verim ve ikincil kirlilik oluşturmamasıdır [3]. Ayrıca reaksiyonlar kimyasal aktivite ve seçiciliğin arttığı düşük sıcaklık ve basınç altında gerçekleşmekte ve ilave ısı kaynağına da ihtiyaç duyulmamaktadır [6].

Son yirmi yılda ise mekanokimyasal reaksiyonlar alternatif bir yaklaşım olarak muazzam bir ivme kazanmış ve kalıcı organik kirleticilerde (KOK) dahil olmak üzere çok çeşitli toksik organik kirleticinin bertarafı amacıyla kimya, malzeme ile çevresel alanlarda araştırılmaya başlanmıştır [7]. Bunun sebebi reaksiyonların kapalı ortamda gerçekleşmesi sebebiyle yanma meydana gelmemesi, ayrıca ısı ve emisyonların önlenmesi amacıyla off-gaz arıtma ihtiyaçlarının da bulunmamasıdır [8].

Günümüzde organik kirleticilerin güvenli bertarafında amaç; organik atıkların tamamıyla (%100) parçalanması yani mineralizasyonudur. Ancak bunun tam olarak gerçekleştirilememesi durumunda De-Novo Sentezi ile dibenzo-p-dioksin (PCDDs) ve poliklorlu dibenzo-p-furan (PCDFs) gibi yan ürünler oluşabilmektedir [9]. Halihazırda, toksik organik kirleticilerin bertarafı için kullanılan mevcut teknolojiler iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar: yakma teknolojileri ile son yıllarda geliştirilen yakma dışı yani alternatif bertaraf teknolojileridir. Yakma teknolojileri genel olarak organik atıkların güvenilir bertaraf yöntemleri olarak kabul edilmektedir. Ancak sistemin uygun işletilememesi ya da eski teknolojilerin tercih edilmesi durumunda ikincil kirleticilerin oluşumu her zaman söz konusu olmaktadır. Ayrıca korozyonlar sebebiyle bakım masrafları ortaya çıkmakta ve değerli elementlerin geri kazanımı da mümkün olmamaktadır [10, 11]. Günümüzde yakma teknolojilerinden farklı olarak katı, akıcı ve sıvı atıklar için döner fırın, karbonlu atıklar için piroliz ve gazifikasyon, biyolojik atıklar için biodegradasyon, karışık atıklar için plazma arıtma, biyokütle için hidrotermal parçalanma ve zararlı atıklar için de eritme-katılaştırma (S/S) prosesleri gibi farklı remediasyon yöntemleri kullanılmaktadır [12-15]. Bununla birlikte bu teknolojiler yüksek enerji ihtiyaçları, kontrol zorlukları ve verimsiz yanmaların sebep olabileceği kimyasal gazlar, toz ve uçucu kül oluşumları gibi dezavantajlar nedeniyle uzun süre kullanıma uygun değildir [16]. Alternatif teknolojiler ise temel olarak indirgeyici prosesleri kapsamakta olup, düşük sıcaklıklarda gerçekleşen proseslerde hidrojen, hidrojen transfer ajanları ve diğer indirgeyicilerin varlığında organohalojenli bileşikler redüksiyona uğramakta, redüktif atmosfer altında PCDD ve PCDF oluşması engellenmektedir. Ancak ultraviyole degradasyonu, alkali katalitik deklorinasyon ve bioremediasyon teknikleri gibi termal olmayan bertaraf yöntemleri teknik personel ihtiyaçları, tüm atıklar için uygun olmamaları, aşırı miktarlarda katkı maddesi gereksinimleri, emisyon problemleri, kurutma ihtiyaçları ve uzun proses süreleri nedeniyle günümüz ihtiyaçlarını karşılayamamaktadır [17-20]. Bu sebeple organik kirleticilerin bertarafında moleküler yapıyı tamamen parçalayacak ve aynı zamanda toksik yan ürünler oluşturmayacak yeni teknolojilere gereksinim duyulmaktadır. Bu noktada mekanik enerji ve mekanik kuvvetlerin birlikte uygulanmasını içeren

mekanokimyasal prosesler kimyasal değişim/ler ve faz geçiş/leri sağlayarak klorlu, florlu ve bromlu toksik organik kirleticilerin bertarafında ve kirlenmiş sahaların remediasyonunda hızlı gelişen disiplinler arası ve sürdürülebilir bir araştırma alanı olarak daha fazla ilgi çekmeye başlamıştır.

Klorlu organik kirleticiler (hidrokarbonlar) kasıtlı (dielektrik, kesme ve ısı transfer sıvısı, alev geciktirici, boya ve kaplama malzemesi) veya kasıtsız (klorlu yan ürünler) olarak endüstriyel süreçler ve tarımsal kullanım amacıyla (insektisit, fungusit, akarisit, rodentisit, bakterisit) dünya çapında uzun yıllardır yaygın ve büyük miktarlarda kullanılmıştır. Diğer bir halojen sınıfı olan bromlu moleküller ise tekstil, halı, boya, elektronik ekipmanlar, yağlama yağları ve yangın söndürücülerle birlikte yangın geciktiricilerde (hekzabromobifenil, hekzabromosiklododekan, pentabromodifenil eter, oktabromodifenil eter, dekabromodifenil eter, tetrabromobisfenol A) yaygın olarak tercih edilen bir bileşik sınıfıdır. Florlu bileşikler ve ilgili türevleri ise birçok endüstriyel ve tüketici ürününde alev geciktirici (perflorooktanik asit), yüzey aktif madde (perflotooktan sülfonat) ve yağlayıcı olarak yaygın şekilde kullanılan diğer bir endüstriyel bileşik grubudur [7, 8]. Bu sebeple günümüzde klorlu, florlu ve bromlu toksik organik kirleticiler dünya çapında önemli bir çevresel sorun haline gelmiş ve verim, maliyet ve reaksiyon süresi gibi parametreler göz önüne alındığında mekanokimyasal parçalanma yöntemi toksik organik kirleticilerin bertarafında çok yönlü bir teknoloji olarak ortaya çıkmıştır [7].

Bu kapsamda; mekanokimyasal yöntem ilk olarak Rowlands vd. [21] tarafından 1994 yılında KOK olarak tanımlanan diklorodifeniltrikloroetan'ın ( $C_{14}H_9Cl_5$ , DDT) parçalanması amacıyla kullanılmıştır. DDT kalsiyum oksit (CaO) varlığında tamamıyla parçalanmış ve DDT 12 saat süren reaksiyon sonucunda  $CaCl_2$  ve grafit dönüşürülmüştür. Bu reaksiyonlar ayrıca klorofenol, tetrabromobisfenol A (TBBPA), perflorooktan sülfonat (PFOS), hekzabromobenzen, poliklorlu bifeniller (PCBs), PCDD/F, organokloro mireks ve ayrıca polivinil klorit gibi KOK'ların gideriminde de kullanılmıştır [5, 8, 22-28].

Mekanokimyasal proseslerde kirleticiler yapıları ne kadar kompleks olursa olsun yüksek hızlı gezegen hareketli bilyalı değirmenler kullanılarak doğrudan parçalanabilmektedir. Toksik organik kirleticilerin toksik özelliği bu bileşiklere bağlanan "klor, flor veya brom"dan kaynaklanmaktadır. Bundan dolayı organik kirleticiler, halojenlerin mekanokimyasal reaksiyon sonucunda koparılmasıyla parçalanabilmektedir. Mekanokimyasal işlem sırasında toksisite kaynağı olan organik bağlı halojen molekülden tamamıyla koparılmakta ve zararsız inorganik bileşiklere dönüştürülmektedir. Reaksiyonlar sırasında mekanik aktivasyon ile katıların yüzey alanları artırılmakta, yüzeylerde hasarlar meydana gelmekte, serbest radikaller oluşmakta ( $OH^*$ ), elektron transferleri ve faz transformasyonları meydana gelmektedir. Bununla birlikte sistemin kullanılabilirliği hedef kirleticinin yapısına ve parçalanma mekanizmasına da doğrudan bağlıdır [7]. Bu nedenle toksik organik kirleticiler ve kirlenmiş (kontamine) toprakların mekanokimyasal ayrışmasının desteklenmesi için daha fazla araştırma yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

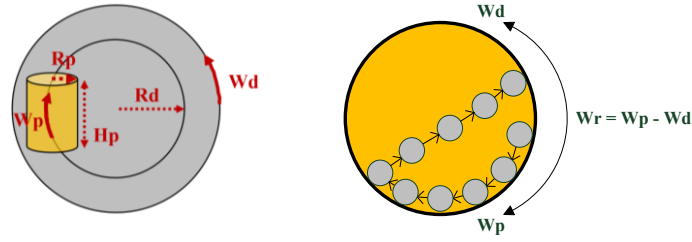
Bildiğimiz kadarıyla, toksik organik kirleticilerin mekanokimyasal parçalanmasını kapsamlı olarak yansıtan ve birbiriyle ilişkilendiren, çevresel entegrasyonu amaçlayan bir çalışma yoktur. Bu amaçla mevcut çalışmada; klorlu, florlu ve bromlu toksik organik kirleticileri parçalayabilecek, inorganik-organik ve organo-metalik reaksiyonları



gerçekleştirebilecek, kesikli-sürekli çalışabilecek, kirlenmiş toprakların remediasyonu ve atıklardan çeşitli ürünlerin sentezinde yatırım avantajına sahip, sürdürülebilir, sabit bir operatöre ihtiyaç duymayan, uzun süreli homojen girdilerin gerekli olmadığı, ihtiyaç halinde küçük reaksiyon ekipmanları sayesinde mobil olarak çalışabilecek, proses sonucunda daha az kalıntı oluşturacak, termal olmayan, iş sağlığı ve güvenliği açısından daha güvenilir, çevre dostu, solventsiz ve halk tarafından daha kolay kabullenilebilecek mekanokimyasal proseslerle ilgili bilgi birikimi paylaşılmıştır.

## 2. Mekanokimyasal Parçalanma

Günümüzde toksik organik kirleticilerin parçalanması amacıyla alternatif teknolojilere ilişkin çalışmalar yürütülmektedir. Mekanokimyasal parçalanma yöntemi de alternatif bir teknoloji olarak Japonya Tarım, Orman ve Balıkçılık Bakanlığı (MAFF) tarafından organik kirleticilerin bertarafı amacıyla onaylanmış bir teknolojidir [29]. Bu amaçla kullanılacak gezegen hareketli bilyalı değirmenler kısaca; kovalent bağların kırılması, hidrojen ve elektron transferlerinin gerçekleştirilmesi yani kirleticiler (reaktan), öğütme ortamı ve öğütme katkı maddelerinin reaksiyona girmesi amacıyla bir araya getirildiği kapalı bir ortamdan oluşmaktadır. Titreşim ve karıştırıcılı bilyalı değirmenlerden farklı olarak kullanılan mekanik alaşımlama ve mekanik aktivasyon sayesinde farklı kimyasal reaktivite, reaksiyon hızları ve ürünler de elde edilebilmektedir. “Yüksek-enerjili” terimi de genellikle birincil bağların kırılarak yarı kararlı ya da amorf malzemelerle sonuçlanan “yüksek hızlı gezegen hareketli” bilyalı değirmenleri tanımlamak amacıyla kullanılmaktadır [30]. Mekanokimyasal sistemler çelik ve/veya metal içermeyen zirkonyum oksit bilyelerden oluşmakta olup, katı fazlı kimyasal reaksiyonlarının başlaması için ihtiyaç duyulan enerji yani kimyasal enerji, bilyalar vasıtasıyla katı fazdaki hedef bileşiklere aktarılmaktadır [31]. Bu yolla birçok halojenli organik kirletici mineralize edilerek halid ve amorf karbona dönüştürülmektedir [32]. Tipik bir gezegen hareketli bilyalı değirmene ait kesme ve sıkıştırma kuvvetlerinin oluşumuna neden olan ve birbirine ters yönde hareket eden destek diski ve pota hareketlerinin genel yapısını özetleyen şematik gösterim, Khoa vd. [30] çalışmasından yola çıkılarak şematize edilmiş ve Şekil 1’de verilmiştir. Bu tür sistemlerde gezegen hareketi nedeniyle potalar sadece yer çekimi kuvvetine değil aynı zamanda kinetik enerjiyi artıran “Coriolis” ve santrifüj kuvvetlerine de maruz kalmaktadır [30]. Bu sebeple katı veya sıvı organik kirletici arasındaki şiddetli sarsıntı, öğütmenin meydana geldiği mekanik ortamda gerçekleşmektedir. Normal koşullar altında mekanokimyasal reaksiyonlar dışındaki reaksiyonlarda reaktifin katı olması durumunda reaksiyonlar oldukça yavaş gerçekleşmektedir. Bununla birlikte mekanokimyasal süreçte katı reaktiflerin öğütülmesi ile yüzey alanı artırılmakta ve bu da reaksiyonları desteklemektedir. Ayrıca, kontamine toprakların remediasyonun da mekanokimyasal parçalanma yönteminin kullanılması da mümkün olup, bu yöntemin tercih edilmesi halinde; reaksiyon sonrasında oluşan toprak metaller/oksitler, hidroksitler ve tuzların elimine edilebilmesi için yıkama işlemi uygulanmakta ya da reaksiyon kalıntıları düzenli depolama tesislerine gönderilerek bertarafı sağlanmaktadır [10].



Şekil 1. Gezege hareketli bilyalı değirmen;  $W_p$ : Açısal dönüş hızı,  $R_p$ : yarıçapı (pota);  $W_d$ : Açısal dönüş hızı;  $R_d$ : Yarıçap (disk);  $W_r$ : Potanın bağıl açısal hızı [30]

### 2.1. Enerji Transferi

Kinetik enerji sadece mekanik etkiyi değil aynı zamanda kimyasal etkiyi de artırmaktadır. Bu durum temel olarak mekanokimyasal etki olarak tanımlanmaktadır. Mekanik etkinin hem hidro hem de piro metalürjik prosesleri arttırdığı da bilinmektedir [33]. Mekanokimyasal sistemlerde kinetik enerjinin hesaplanması amacıyla kullanılan eşitlikler aşağıda verilmiştir. Burada, açısal hızlar  $W_d$  ve  $W_p$ , yarıçaplar  $R_d$  ve  $R_p$  olmak üzere bilyelerin mutlak hızı ( $V_b$ ) aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır:

$$V_b = \left[ (W_d R_d)^2 + (W_p R_p)^2 + 2W_d W_p R_d R_p \cos\alpha \right]^{1/2} \quad [34] \quad (1)$$

Denkleme göre mutlak hız açısal hız ve geometrik faktörlere (yarıçap, pota ve disk arasındaki açı) bağlı olarak değişmektedir. Bu faktörlerin sabit olması durumunda mutlak hız:

$$V_b = [K_b W_d R_v] \quad [30] \text{ olarak ifade edilmektedir.} \quad (2)$$

$K_b$  geometrik bir katsayı olup, 10 mm çapa sahip bilyeler için yaklaşık 0.90'dır [30]. Hareket eden bilyelerin serbest hareketi boyunca hızının değişmediği kabul edildiğinde m kütleli bilyelerin kinetik enerjisi ( $\Delta E$ ) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\Delta E = 0,5 m V_b^2 \quad [35] \quad (3)$$

Denklem açısal hıza göre düzenlendiğinde ( $V = WR$ ) çarpışma sırasında karışıma transfer edilen kinetik enerji:

$$\Delta E = [0,5 m K_b^2 W_d^2 R_d^2] \text{ (joule/çarpışma bilye) } \text{ olmaktadır} \quad [30] \quad (4)$$

Denklemden;  $m$  [kg],  $W_d$  [rpm] ve  $R_d$  [m]'dir. Buna göre aktarılan enerji kullanılan bilye kütlesi, pota dönüş hızı ve dönüş çapının fonksiyonu olup, büyük bilyelerle daha fazla enerji aktarımı mümkün olmaktadır. Elde edilen mekanik enerji de mekanokimyasal reaksiyonların başlayıp-başlamayacağını ve hangi hızlarda gerçekleşeceğini belirlemektedir. Ayrıca son zamanlarda, mekanik enerji transferinin artırılması amacıyla ışık radyasyonu, ses dalgaları ve elektriksel şoklar gibi farklı yöntemlerde kullanılmaya başlanmış ve bu kombinasyonlar araştırmacılar tarafından "Mekanokimya 2.0" olarak adlandırılmıştır [36].

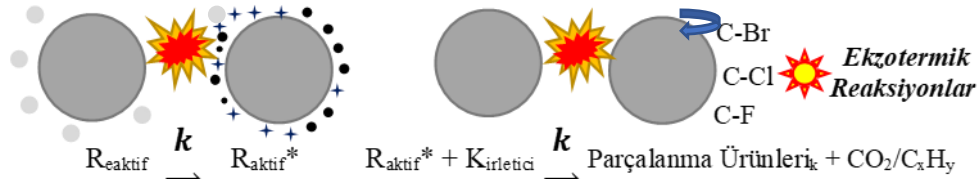
## 2.2 Reaktif Seçimi

Mekanokimyasal reaksiyonlarda indirgeyici olarak birçok reaktif kullanılmakta olup, özellikle elektron (-) veya hidrojen (+) verici reaktifler tercih edilmektedir. Tipik olarak hidritler hem elektron hem de H verici olarak kullanılabilirken, sıfır değerlikli metaller ise (Ca, Mg, Fe, Zn, Al vb.) tek başlarına kullanılabilirlerdir. Bu tip reaktifler hızlı ve etkili olarak halojen giderimi ile birlikte aynı zamanda kontamine materyallerin bertarafını da sağlamaktadır [7].

Gerçekleştirilen bazı çalışmalarda oksidasyon veya redüksiyon potansiyeline sahip reaktifler parçalanma koşullarında test edilmiş ve hemen hemen hepsinin toksik yan ürün oluşumunu engellediği tespit edilmiştir. Ancak bunlar içerisinde CaO ucuz olması, birçok organik kirleticiyi parçalaması ve halojen giderimini sağlaması nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir. Diğer taraftan halojen giderimini hızlandıran, katalizör üretimi ve atıkların yararlı kullanımını sağlayan daha verimli reaktifler de araştırmalarda incelenmiştir. Bunun yanında mekanokimyasal aktivatörler de kirleticilerin gideriminin de oldukça önemlidir. Bu maddeler oda sıcaklığında; basınç farkı olmaksızın, herhangi bir solvent kullanılmadan kirletici ve inert materyaller arasındaki reaksiyonları desteklemekte ve mekanik enerji formunda gerekli aktivasyon enerjisini sağlamaktadır. Ayrıca parçalanma koşullarının seçimi enerji tüketimini doğrudan etkilemekte ve seçimleri de büyük önem taşımaktadır [7].

Mekanokimyasal proseslerde kullanılan reaktiflerle birlikte tercih edilen cihazlar (gezegen hareketli, attritor, karıştırılmalı, titreşimli) da özel reaksiyonları gerçekleştirmekte, halojen giderimi/parçalanma reaksiyon mekanizmalarını desteklemektedir. Giderim/parçalanma sırasında klorlu ve bromlu kirleticiler için Lewis bazları ve indirgeyici reaktifler (metaller, metal hidritler, nötral türler, oksidasyon ajanları) mekanik aktivasyon ile harekete geçirilmektedir [7].

Genel olarak mekanokimyasal parçalanma mekanizmasının iki adımda özetlenmesi mümkündür: Birinci adım reaktifin ( $R_{\text{reaktif}}$ ) bilyalı değirmen tarafından aktive edilmesi ( $R_{\text{aktif}}^*$ ) ve ardından ikinci adım ise organik kirletici ( $K_{\text{irletici}}$ ) ile reaksiyona girmesidir. Bu reaksiyonların şematik gösterimi Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Mekanokimyasal parçalanma [37].

Reaksiyon sırasında ortamda bulunan reaktif madde, mekanokimyasal enerji ile aktive edilirken, elektronlar da organik kirleticideki karbon atomlarına transfer edilmektedir. Bu atomlar halojenlerle bağ yapmaları durumunda oldukça elektrofilik özellikler kazanmaktadır. Daha sonra elektronlar kirleticilerden kopan halojenlere transfer edilmekte ve C-O bağları oluşmaktadır. Kullanılan tüm reaktifler için aktivasyon mekanizması ve elektron transferi benzer olup, kirletici giderim trendi sigmoid eğrisi şeklinde olmaktadır [37, 38].

Genel olarak klorlu, florlu ve bromlu KOK'ların bertarafı amacıyla kullanılabilen reaktifler 4 gruba ayrılmaktadır [7, 16]. Bunlar;

- İndirgeyici Ajanlar: Sıfır değerlikli metaller ya da metal hidritler
- Lewis Bazları: Metal oksitler (elektron vericiler: CaO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)
- Nötral Türler: SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sup>0</sup>
- Oksitleyici Ajanlar: MnO<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> vb.

Kalsiyum oksit organik moleküllerin parçalanması için kullanılan yaygın bir reaktif olup, SiO<sub>2</sub> ilavesi ile aglomeratların kolayca kırılarak reaksiyon giderim veriminin daha da artırılması mümkündür [26]. Günümüzde demir tozunun da mekanokimyasal giderimde etkili bir reaktif olduğu tespit edilmiştir [39]. Son zamanlarda ise Fe/SiO<sub>2</sub> ve Mg/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi sıfır değerlikli metal tozları da organik kirleticilerin giderimi amacıyla kullanılmaya başlanmıştır [40, 41].

### 2.3 Toksik Organik Kirleticiler

Mekanokimyasal prosesler katıların işlenmesi amacıyla malzeme sentezinde uzun zamandır yaygın olarak kullanılsa da, çözelti yöntemi ile elde edilemeyen beklenmedik sonuçlar elde edilmesi nedeniyle kimyasal etkileriyle alakalı titiz sistematik çalışmalar günümüzde yeni başlamıştır. Bu kapsamda birçok reaktif ve optimal reaksiyon koşulları test edilmiş ve elektronlar ( $e^-$ ) ile radikal ( $R^*$ ) saldırılarının sebep olduğu parçalanma mekanizmalarının temel yönleri tespit edilmiştir. Bu sebeple mekanokimyasal metotlar ölçeklenebilirlik ve verimli enerji kullanımı gibi mekanik-teknik avantajlarından dolayı yeşil ve sürdürülebilir uygulamalarda daha fazla alanda tercih edilmeye başlanmıştır.

Bu uygulamalardan en önemlisi de sahip oldukları kararlı kimyasal yapı, lipofilik karakter, toksisite, biyobirikim, uzun mesafelere taşınım ve zararlı etkilerinden dolayı canlılar için önemli derece de risk teşkil eden KOK sınıfı kirleticilerin parçalanmasıdır. Bu kimyasallar geçmiş yıllarda hastalık kontrolü, tarım (klorlu pestisitler), çeşitli tüketici ürünleri ve endüstriler de (PCB'ler, PVC vb.) kullanılan insan yapımı sentetik halojenli organik moleküller olup, tümü klor (C-Cl, 407 kJ/mol), flor (C-F) ve bromlu (C-Br, 346 kJ/mol) yapılardan oluşmaktadır [7, 38]. Bu sebeple günümüzde hem bilimsel hem de çevresel mevzuat açısından son derece ilgi çekmektedirler [32]. Bu kapsamda, endokrin bozucu etkileri de dahil olmak üzere insan sağlığı ve yaban hayatı olumsuz yönde etkileyecek (kanserojenik/mutajenik özellikler) klorlu, florlu ve bromlu toksik organik kirleticiler ülkemizin de taraf olduğu "Stockholm (Birleşmiş Milletler Çevre Programı Kalıcı Organik Kirleticiler-2001" ve "OSPAR" Sözleşmelerine eklenmiştir. İlgili sözleşmelerin temel amacı bu kirleticilerin kasıtlı üretimlerinin ortadan kaldırılması, kasıtsız üretimlerinin kontrol edilmesi ve nihai olarak geri döndürülemez şekilde yok edilmelerinin sağlanmasıdır [7, 26].

Son 20 yılda klorlu, florlu ve bromlu toksik organik kirleticilerin hem saf halde hem de kirlenmiş topraklarda mekanokimyasal parçalanması çeşitli reaktiflerle ve farklı koşullar altında test edilmiştir [7]. İlk başarılı uygulama da 1994'de Rowlands vd. [6] tarafından gerçekleştirilmiştir. Tarımsal pestisit olan DDT, mekanokimyasal metot kullanılarak CaO ile tamamen parçalanmış ve DDT 12 saat süren işlemde sonra halid ve amorf/grafitik karbona dönüştürülmüştür. Ayrıca literatürde pentakloronitrobenzen [41], perflorooktansülfonat ve perflorooktanik asit [23], PCDD ve PCDF [42], mireks [27], polihalojenli fenol [5; 26; 31], dekloran [44], PCB [24], HCB [45], klorofenol [5] ve polivinil klorit [28] başarılı parçalanma uygulamaları da raporlanmıştır. Reaktif olarak CaO'nun kullanıldığı çeşitli organik kirletici giderimlerine ilişkin molar oranlar,

kullanılan sistemler, dönüş hızları, bilye çapları, öğütme süreleri, giderim verimleri ve analizlere ilişkin özet bilgiler Tablo 1’de verilmiştir. Bu çalışmalarda kullanılan mekanokimyasal yöntem tek aşamada koşullandırma, karıştırma, kontamine materyallerin dispersiyonu ve kirleticilerin giderimi gibi birçok önemli operasyon adımını içermektedir. Bu sebeple proses eş zamanlı olarak olası kanserojen sınıfı (2B) organik kirleticilerin parçalanması için gerekli olan optimum koşullara da sahip olmaktadır [7].

Tablo 1. CaO kullanılarak çeşitli organik kirleticilerin parçalanması.

Kirletici	Grup	Oran	Hız	Bilye	Süre	Verim	Ülke	Kaynak
Heptaklor (C <sub>10</sub> H <sub>5</sub> Cl <sub>7</sub> )	2B	1: 10	700 rpm	15 mm	≤ 2 saat	% 99,4	Japonya	46
Lindan (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> Cl <sub>6</sub> , γ-HCH)	2B					% 99,4		
Pentakloronitro Benzen (C <sub>6</sub> Cl <sub>5</sub> NO <sub>2</sub> )	-					% 100		
Lindan (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> Cl <sub>6</sub> , γ-HCH)	2B	1: 60	700 rpm	15 mm	≤ 2 saat	% 100	Japonya	29
		1: 10			≤ 8 saat	% 50		
Dikloro difeniltrikloroeta n (C <sub>14</sub> H <sub>9</sub> Cl <sub>5</sub> , DDT)	2B	1:7	-	10-12 mm	≤ 12 saat	% 100	Avustralya	47
Hegzaklorobenz en (C <sub>6</sub> Cl <sub>6</sub> )	2B	1: 36	550 rpm	5,60 – 9,60 mm	≤ 8 saat	% 99,9	Çin	40
Dekloran Plus 25 (C <sub>18</sub> H <sub>12</sub> Cl <sub>12</sub> )	-	1: 25 1: 15 1: 10	550 rpm	5,60 – 9,60 mm	≤ 8 saat	% 100	Çin	48
Poliklorlu Naftalen (C <sub>10</sub> H <sub>8- n</sub> Cl <sub>n</sub> )	-	1: 130	700 rpm	15 mm	≤ 3 saat	% 100	Japonya	49
Hegzaklorosiklo hegzan (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> Cl <sub>6</sub> , <i>t</i> - HCH)	2B	1: 60	550 rpm	10 mm	6 saat	%99,7	Türkiye	50
Hegzaklorosiklo hegzan (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> Cl <sub>6</sub> , <i>t</i> - HCH)	2B	1: 20	700 rpm	10 mm	4 saat	%100	Türkiye	51

\*Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC): 2B “İnsanlarda olasılıkla kanserojen”

#### 2.4 Teknolojik Değerlendirme

Mekanokimyasal proseslerin en büyük yararı, reaksiyonların solventsiz ortamda yürütülmesi ve solüsyonlardan reaksiyon ürünleri geri kazanımının gerekli olmaması sebebiyle daha sürdürülebilir, daha ekonomik ve fonksiyonel reaksiyonlar için daha güçlü olmasıdır. Bununla birlikte proses sırasında ekzotermik reaksiyonlar gerçekleşmekte ve mekanokimyasal enerji nedeniyle daha az enerji tüketilmektedir [10]. Mekanokimyasal proseslerin avantajları ve sınırlamalarının karşılaştırılması yani teorik karşılaştırma kriterleri, performans faktörlerini yansıması açısından Tablo 2’de özetlenmiştir.

Tablo 2. Mekanokimyasal proseslerin avantajları ve sınırlamalarının karşılaştırılması [10, 52-55]

Kriter	Değerlendirme
İşletme Kolaylığı	Proses basit olup, organikler ve indirgeyici ajanlar kapalı bilyeli değirmene kolayca doldurulmaktadır. Kapalı ortam mekanik olarak karıştırılmakta ve reaksiyon sonrası kalıntılar da sistemden çıkarılmaktadır. Bu sebeple reaksiyon hızı yüksektir. Ayrıca solvent ve su kullanımı da minimumdur.
Alıkoyma	Kapalı sistem kesikli reaktörde gaz emisyonu oluşması beklenmemektedir.
Enerji İhtiyacı	Bilyeli değirmen hareket mekanizması için orta derecede elektrik enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır.
Soğutma İhtiyacı	Prosesin su ihtiyacı bulunmamaktadır.
İkincil Atık Bertarafı	Toksik katı atıklar oluşmamaktadır. Sıvı atık miktarı da sıfıra yakındır.
Katı Kalıntılar	Proses ürünlerinin hepsi katıdır.
Sıvı Kalıntılar	Proses katı fazlı olup, sıvı faz oluşmamaktadır.
Gaz Emisyonları	Gaz emisyonu oluşmamaktadır.
Oluşan Ürünlerin Kullanılabilirliği	Teoride organik ürünler ısı geri kazanımı amacıyla yakılabilmektedir. Ancak klor tuzlarının ayrılmaması durumunda KOK oluşumu söz konusudur. Birçok ürün eldesi mümkündür ve kontrollü atmosfer ihtiyacı bulunmamaktadır.
Risk Kriterleri	Kapalı indirgeyici proses nedeniyle risk söz konusu değildir.
Reaktif Tehlikesi	Kalsiyum oksit vb. metaller veya bunların oksitleri korozyon olup, su veya havayla reaksiyona girerek yangın tehlikesi oluşturabilmektedir. Kalsiyum oksit ise oldukça tahriş edicidir.
Proses Hassasiyeti	Proses kapalı ve güvenlidir (düşük sıcaklık, basınç, orta dereceli kimyasal tehlikesi)
Maliyet	Büyük miktarda reaktif ihtiyacı bulunmamaktadır. Verim oldukça yüksektir.

Bununla birlikte yukarıda belirtilen avantajlar dışında mekanokimyasal proseslerde, doğru kimyasal ve proses koşullarının seçimiyle, yüksek değere sahip materyallerin üretimi sayesinde aynı zamanda reaktif maliyetlerinin üstesinden gelinmesi de mümkündür. Sonuç olarak mekanokimyasal yöntemler, solventsiz koşullar altında kimyasal reaktiviteyi sağlaması sebebiyle organik kirleticilerin bertarafı için daha yeşil ve daha sürdürülebilir bir yaklaşım sağlamaktadır [10]. Bu sebeple Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği (IUPAC) tarafından mekanokimya dünyamızı değiştirebilecek ilk 10 teknoloji arasında gösterilmiştir. Bununla birlikte “Sürdürülebilirlik için Mekanokimya” AB Cost aksiyonu (CA18112) da mekanokimyanın çok disiplinli yönünü işaret etmektedir [56]. Mekanokimyasal parçalanma yönteminin uygulanabileceği atık tipleri Tablo 3 ve kurulu bulunan pilot/tam ölçekli tesislere ait bilgiler Tablo 4

Tablo’de verilmiştir. Edl prosesi ilk olarak 2004 yılında Yeni Zelanda’da lindan, DDT, dieldrin ve aldrin ile kirlenmiş 8.650 m<sup>3</sup> kontamine toprakların remediasyonu amacıyla kullanılmıştır [55]. Sistemin basitliği ve ölçeklenebilirlik bu teknolojiyi ön plana çıkarmaktadır [7].

Tablo 3. Uygulanabilir atık tipleri [10]

Bertaraf Teknolojisi	Katı Atık	Sıvı Atık	İnert Katı	Aritma Çamuru (Kurutma Sonrası)	Nemli Atık	Sulu Atık	Gaz Atık
Mekanokimyasal Parçalanma	Evet	Evet	Evet	Evet	Hayır	Hayır	Hayır

Tablo 4. Mekanokimyasal prosesin kullanıldığı pilot/tam ölçekli tesisler [7, 55]

Şirket	Tip	İşletme	Maksimum Besleme Hızı	Enerji İhtiyacı
Edl-Asia Yeni Zelanda	Karıştırmalı Bilyalı Değirmen (MCD)	Sürekli	15 ton/saat	75 kWh/ton
Radical Planet Japonya	Gezegen Hareketli Bilyalı Değirmen	Kesikli	200 kg	540 kW
Tribochem Almanya	Titreşimli Bilyalı Değirmen (DMCR)	Kesikli/Sürekli	1 ton/saat	160kW

Sahip olduğu avantajlarla birlikte mekanokimyasal yöntemler, kullanılan bilye malzemelerinin tipine (çelik, tungsten, zirkonyum, teflon vb.) bağlı olarak özellikle çelik bilye kullanımı durumunda demir kirliliği gibi kontaminasyon riskleriyle karşı karşıyadır. Bu sebeple, kullanılacak ekipman tipi ve reaktif seçimlerinin, kimyasalların fizikokimyasal özellikleri dikkate alınarak gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır [56]. Bununla birlikte dikkatli şekilde seçilmesi gereken proses değişkenleri de bulunmaktadır. Proses sırasında dikkate alınması gereken diğer parametreler şunlardır [57]:

- **Kimyasal parametreler:** Kimyasal reaksiyon tipi, reaktif oranı ve kullanılan yardımcı kimyasallar
- **Teknik parametreler:** Değirmen tipi, bilye sayısı ve çapı, pota tipi, pota doluluk oranı ve bilye toplam karışım oranı
- **Proses parametreleri:** İşletme sıklığı, reaksiyon süresi ve sıcaklık

Değirmen dönüş hızı, pota doldurma derecesi, pota hacimleri ve geometrisi gibi değişkenler de mekanokimyasal reaksiyonların kontrol edilmesini sağlayan ek parametrelerdir [30].

Her kimyasal reaksiyonda olduğu gibi mekanokimyasal sistemlerde ideal çalışma sıcaklığına ihtiyaç duymaktadır [57]. Bu amaçla günümüzde ortam sıcaklığını kontrol edebilen farklı sıcaklık kontrollü reaktörlerin (kesikli-sürekli) geliştirilmesiyle bu zorlukların da üstesinden gelinmiştir [58]. Bu sayede reaksiyon hızlarının ve ürün verimlerinin optimize edilmesi mümkün olmuştur [36]. Böylece mekanokimya, üstün opto-elektronik özelliklere ve geniş uygulama alanına sahip (fotovoltaik güneş panelleri,

foto detektörler ve lazerler) hibrit perovskitlerin ( $GUA_xMA_{1-x}PbI_3$ ,  $GUA_xFA_{1-x}PbI_3$ ) hazırlanmasında da kullanılabilecek bir yöntem olma özelliği kazanmıştır [59].

### 3. Sonuç

Mevcut derlemede toksik organik kirleticilerin mekanokimyasal parçalanması yoluyla bertarafına ilişkin çalışmalar incelenmiştir. Bu kapsamda klorlu, bromlu ve florlu kirleticiler için enerji transferi, reaktifler, reaksiyon koşulları ve reaksiyon mekanizmaları hakkında mevcut araştırmalar değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre mekanokimyasal şartlar altında pek çok toksik organik kirletici ( $C_{10}H_5Cl_7$ ,  $C_{10}H_3Cl_5$ ,  $Cl_6H_6Cl_6$  vb.) birçok reaktif kullanılarak tatmin edici şekilde parçalanmıştır. Reaktifler arasında inorganik metal oksitler ( $CaO$ ,  $MgO$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  vb.) en önemli gruptur. Ayrıca gezegen hareketli bilyalı değirmenlerde en iyi mekanokimyasal tip değirmenlerdir. Öte yandan mekanokimyasal ortamda su bulunması ise bazı durumlarda parçalanma sürecini engelleyebilmektedir.

Bununla birlikte mekanokimyasal parçalanma, birçok farklı türde toksik organik kirleticinin bertarafında, güvenli ve ucuz bir şekilde kullanılabilecek çok yönlü bir teknoloji olma potansiyeline sahiptir. Ancak, mekanokimyasal parçalanma teknolojisi hala genel olarak çevre bilimciler tarafından tam olarak bilinmemekte ve tatmin edici sonuçlar elde edilmesine rağmen çekinceyle karşılanmaktadır. Bu sebeple önümüzdeki dönemde sürdürülebilir uygulamalar için farklı organik kirleticilere ilişkin ilave çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

### Kaynaklar

- [1] Fernández-Bertran, J. F., Mechanochemistry: An Overview, **Pure and Applied Chemistry**, 71, 4, 581-586, (1999).
- [2] Heinicke, G., Tribochemistry, **Akademic-Verlag**, Berlin, (1984).
- [3] Boldyrev, V.V. ve Tkáčová, K., Mechanochemistry of solids: past, present, and prospects, **Journal of Materials Synthesis and Processing**, 8, 2-4, 121-132, (2000).
- [4] Wiczorek-Ciurowa, K. ve Gamrat, K., Mechanochemical syntheses as an example of green processes, **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, 88, 213-217, (2007).
- [5] Lu, S., Huang, J., Peng, Z., Lia, X. ve Yan, J., Ball milling 2,4,6-trichlorophenol with calcium oxide: Dechlorination experiment and mechanism considerations, **Chemical Engineering Journal**, 195, 62-68, (2012).
- [6] Mitchenko, S.A., Mechanochemistry in heterogeneous catalysis, **Theoretical and Experimental Chemistry**, 43, 4, 211-228, (2007).
- [7] Cagnetta, G., Robertson, J., Huang, J., Zhang, K. ve Yu, G., Mechanochemical destruction of halogenated organic pollutants: A critical review, **Journal of Hazardous Materials**, 313, 85-102, (2016).
- [8] Wei, Y., Yan, J., Lu, S. ve Li, X., Mechanochemical decomposition of pentachlorophenol by ball milling, **Journal of Environmental Sciences**, 21, 12, 1761-1768, (2009).



- [9] Wikström, E. ve Marklund, S., The influence of level and chlorine source on the formation of mono- to octa-chlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans and coplanar polychlorinated biphenyls during combustion of an artificial municipal waste, **Chemosphere**, 43, 2, 227-234, (2001).
- [10] Zinoviev, S., Fornasiero, P., Lodolo, A. ve Miertus, S., Non-combustion technologies for POPs destruction, Review and evaluation, International Centre for Science and High Technology of the United Nations Industrial Organisation (ICS-UNIDO), Trieste, (2007).
- [11] Rattley, M., Ambiguous bromine, **Nature Chemistry**, 4, 512, (2012).
- [12] Tange, L. ve Drohmann, D., Waste electrical and electronic equipment plastics with brominated flame retardants—from legislation to separate treatment-thermal process, **Polymer Degradation and Stability**, 88, 1, 35-40, (2005).
- [13] Hollis, J.R., Plasma temperature incineration, **Environmental Progress**, 2, 1, 7, (1983).
- [14] Tomio, S. ve Masamitsu, T., Development of Fluidized Bed Gasification and Swirl-flow Melting Process for Municipal Solid Wastes, **The University of Seoul Press**, 1-10, (2002).
- [15] Ecke, H., Sakanakura, H. ve Matsuto, T., State-of-the-art treatment processes for municipal solid incineration residues in Japan, **Waste Management and Research**, 18, 1, 41-51, (2000).
- [16] Hagenmaier, H., Kraft, M. ve Brunner, H., Catalytic effects of fly ash from incineration facilities on the formation and decomposition of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofurans, **Environmental Science and Technology**, 21, 11, 1080-1084, (1987).
- [17] Tiernan, T.O., Wagel, D.J. ve VanNess, G.F., Treatment of complex chemical wastes with the base catalyzed decomposition (BCD) process, **Organohalogen Compd.**, 8, 289-292, (1992).
- [18] Shi, W. ve Zhang, J., Photodegradation mechanism and its influential factors of PVC, **China Synthetic Resin and Plastics**, 23, 80-84, (2006).
- [19] Gao, J., Distribution, microbial effects and bioremediation of PCBs in typical polluted agricultural soils in the Yangtze River Delta, Ph.D., University of Zhejiang, China, (2005).
- [20] Zhang, T. ve Cheng, X.X., Progress of the research on persistent organic pollutants, **Scitech Information Development Economy**, 17, 206-208, (2007).
- [21] Rowlands, S.A., Hall, A.K., McCormick, P.G., Street, R., Hart, R. J., Ebell, G.F. ve Donecker, P., Destruction of toxic materials, **Nature**, 367:223, (1993).
- [22] Zhang, Q.W., Matsumoto, H., Saito, F. ve Baron, M., Debromination of hexabromobenzene by its co-grinding with CaO, **Chemosphere**, 48, 787-793, (2002).
- [23] Zhang, K., Huang, J., Yu, G., Zhang, Q., Deng, S. ve Wang, B., Destruction of Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) and Perfluorooctanoic Acid (PFOA) by Ball Milling, **Environmental Science and Technology**, 47, 12, 6471-6477, (2013).
- [24] Nah, I.W., Hwang, K. ve Shul, Y., Effect of metal and glycol on mechanochemical dechlorination of polychlorinated biphenyls (PCBs), **Chemosphere**, 73, 1, 138-141, (2008).
- [25] Birke, V., Mattik, J., Runne, D., Benning, H. ve Zlatovic, D., Dechlorination of recalcitrant polychlorinated contaminants using ball milling. In: Proceedings of the NATO ARW on ecological risks associated with the destruction of chemical weapons, Luneburg, DE, 22-26 October. Vol. I: 111-127, (2003).

- [26] Zhang, K., Huang, J., Zhang, W., Yu, Y., Deng, S. ve Yu, G., Mechanochemical Degradation of Tetrabromobisphenol A: Performance, Products and Pathway, **Journal Hazardous Materials**, 243, 278-285, (2012).
- [27] Yu, Y., Huang, J., Zhang, W., Zhang, K., Deng, S. ve Yu, G., Mechanochemical destruction of mirex co-ground with iron and quartz in a planetary ball mill, **Chemosphere**, 90, 5, 1729-1735, (2013).
- [28] Hu, S., Junya, K., Fumio, S., Shimme, K., Masuda, S. ve Inoue, T., Effect of additives on dechlorination of PVC by mechanochemical treatment, **Journal of Material Cycles and Waste Management**, 3, 1, 20–23, (2001).
- [29] Nomura, Y., Fujiwara, K., Terada, A., Nakai, S. ve Hosomi, M., Mechanochemical degradation of  $\gamma$ -hexachlorocyclohexane by a planetary ball mill in the presence of CaO, **Chemosphere**, 86, 228-234, (2011).
- [30] Khoa, H.X., Bae, S., Bae, S., Kim, B., Kim, J.S., Planetary Ball Mill Process in Aspect of Milling Energy, **Journal of Korean Metallurgy Institute**, 21, 2, 155-164, (2014).
- [31] Leo, D. P., Pizzigallo, M. D. R., Ancona, V., Benedetto, F. D., Mesto, E., Schingaro, E. ve Ventruti, G., Mechanochemical degradation of pentachlorophenol onto birnessite, **Journal of Hazardous Materials**, 244-245, 303-310, (2013).
- [32] Lu, M., Cagnetta, G., Zhang, K. ve Huang, J., Mechanochemical mineralization of “very persistent” fluorocarbon surfactants – 6:2 fluorotelomer sulfonate (6:2FTS) as an example, **Nature**, 7, 1-10, (2017).
- [33] Palaniandy, S., Impact of mechanochemical effect on chalcopyrite leaching, **International Journal of Mineral Processing**, 136, 56-65, (2015).
- [34] Burgio, N., Iasonna, A., Magini, M., Martelli, S. ve Padella, F., Mechanical Alloying of the Fe-Zr System. Correlation between Input Energy and End Products, **Il Nuovo Cimento**, 13, 4, 459-476, (1991).
- [35] Chattopadhyay, P. P., Manna, I., Talapatra, S. ve Pabi, S. L., A mathematical analysis of milling mechanics in a planetary ball mill, **Materials Chemistry and Physics**, 68 (1-3), 85-94, (2001).
- [36] Martinez, V., Stolar, T., Karadeniz, B., Brekalo, I. ve Uzarevic, K., Advancing mechanochemical synthesis by combining milling with different energy sources, **Nature Review Chemistry**, 7, 51–65, (2023).
- [37] Cagnetta, G., Huang, J., Wang, B., Deng, S., Yu, G., A comprehensive kinetic model for mechanochemical destruction of persistent organic pollutants, **Chemical Engineering Journal**, 291, 30-38, (2016).
- [38] Cagnetta, G., Liu, H., Zhang, K., Huang, J., Wang, B., Deng, S., Wang, Y. ve Yu, G., Mechanochemical conversion of brominated POPs into useful oxybromides: a greener approach, **Nature**, Scientific Reports, 6 (28394), 1-13, (2016).
- [39] Zhang, W., Huang, J., Xu, F., Deng, S., Zhu, W. ve Yu, G., Mechanochemical Destruction of Pentachloronitrobenzene with Reactive Iron Powder, **Journal Hazardous Materials**, 198, 275-281, (2011).
- [40] Zhang, W., Wang, H., Jun, H., Yu, M., Wang, F., Zhou, L., Yu, G., Acceleration and mechanistic studies of the mechanochemical dechlorination of HCB with iron powder and quartz sand, **Chemical Engineering Journal**, 239, 1, 185-191, (2014).
- [41] Ren, Y., Kang, S., Zhu, J., Mechanochemical degradation of hexachlorobenzene using Mg/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as additive, **Journal of Material Cycles Waste Management**, 17, 4, 607-615, (2015).

- [42] Zhang, T., Huang, J., Zhang, W., Yu, Y., Deng, S., Wang, B., Yu, G., Coupling the dechlorination of aqueous 4-CP with the mechanochemical destruction of solid PCNB using Fe-Ni-SiO<sub>2</sub>, **Journal of Hazardous Materials**, 250-251, 175-180, (2013).
- [43] Mitoma, Y., Miyata, H., Egashira, N., Simion, A.M., Kakeda, M. ve Simion, C., Mechanochemical degradation of chlorinated contaminants in fly ash with a calcium-based degradation reagent, **Chemosphere**, 83, 10, 1326-1330, (2011).
- [44] Wang, H., Huang, J., Zhang, S., Xu, Y., Zhang, K., Liu, K., Cao, Z., Yu, G., Deng, S. ve Wang, Y., Study of degradation mechanism of dechlorane plus by mechanochemical reaction with aluminum and quartz sand, **Chemical Engineering Journal**, 292, 98-104, (2016).
- [45] Mulas, G., Loisel, S., Schiffrin, L. ve Cocco, G., The mechanochemical self propagating reaction between hexachlorobenzene and calcium hydride, **Journal of Solid State Chemistry**, 129, 2, 263-270, (1997).
- [46] Hosomi, M., Nomura, Y. ve Zhou, S., Degradation of POPs Pesticides by Mechanochemical Treatment, **China POPs Forum**, (The 3<sup>rd</sup> National Symposium on Persistent Organic Pollutants), Beijing, (2008).
- [47] Hall, A. K., Harrowfield, J., Hart, R. J. ve McCormick, P., Mechanochemical Reaction of DDT with Calcium Oxide, **Environmental Science & Technology**, 30, 12, 3401-3407, (1996).
- [48] Zhang, W., Huang, J., Yu, G., Deng, S. ve Zhu, W., Mechanochemical destruction of Dechlorane Plus with calcium oxide, **Chemosphere**, 81, 3, 345-350, (2010).
- [49] Nomura, Y., Aono, S., Arino, T., Yamamoto, T., Terada, A., Noma, Y. ve Hosomi, M., Degradation of polychlorinated naphthalene by mechanochemical Treatment, **Chemosphere**, 93, 11, 2657-2661, (2013).
- [50] Pelitli, V., Kurt, U. ve Canlı, O., Mechanochemical degradation of Technical Hexachlorocyclohexane with Calcium oxide, **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 34, 2, 961-973 (2019).
- [51] Pelitli, V. ve Kurt, U., Hexachlorocyclohexane (HCH): optimization of mechanochemical degradation process by CaO, **Journal of Polytechnic**, 24, 2, 439-452, (2021).
- [52] Pagola, S., Outstanding Advantages, Current Drawbacks, and Significant Recent Developments in Mechanochemistry: A Perspective View, **Crystals**, 13, 124, 3-33, (2023).
- [53] Rodygin, K. S., Ledovskaya, M. S., Voronin, V. V., Lotsman, K.A. ve Ananikov, V.P., Calcium Carbide: Versatile Synthetic Applications, Green Methodology and Sustainability, **Chemistry Europe**, 43-52, (2021).
- [54] Cuccu, F., De Luca, L., Delogu, F., Colacino, E., Solin, N., Mocci, R. ve Porcheddu, A., Mechanochemistry: New Tools to Navigate the Uncharted Territory of Impossible reactions, **ChemSusChem**, 15, 1-41, (2022).
- [55] Non-combustion Technology for POPs Waste Destruction Replacing Incineration with Clean Technology, **IPEN**, Sweden, (2021).
- [56] Dong, D., Zhang, Y., Shan, M., Yin, T., Wang, T., Wang, J., Gao, W., Application of mechanochemical technology for removal/solidification pollutant and preparation/recycling energy storage materials, **Journal of Cleaner Production**, 348, 131351, (2022).
- [57] Fantozzi, N., Volle, J.N., Porcheddu, A., Virieux, D., Garcia, F., Colacino, E., Green metrics in mechanochemistry, **Chemical Society Reviews**, 52, 6680, (2023).

- [58] Reynes, J.F., Isoni, V., Garcia, F., Tinkering with Mechanochemical Tools for Scale Up, **Angewandte Chemie International Edition**, 62, e2023008, (2023).
- [59] Kubicki, D. J., Prochowicz, D., Hofstetter, A., Sasaki, M., Yadav, P., Bi, D., Pellet, N., Lewiński, J., Zakeeruddin, S. M., Grätzel, M., Emsley, L., **Journal of the American Chemical Society**, 140, 9, 3345-3351, (2018).

# Salt stress and exclusion mechanism in woody plants

Banu GÜNGÖR<sup>1,\*</sup>, Sevinç Uslu KIRAN<sup>2</sup>, Yeşim OKAY<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Soil, Fertilizer and Water Resources Central Research Institute, Ankara, Türkiye,

<sup>2</sup>Ankara University, Faculty of Agriculture, Ankara

Geliş Tarihi (Received Date): 01.10.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 26.03.2024

## Abstract

Many fruit tree species that are widely available in the world market continue to grow and bear fruit in the face of environmental stress. The negative impact of salt stress causes fruit trees to weaken and reduce their yield and quality. However, unlike annual plants, perennial fruit trees, which are exposed to many biotic and abiotic stresses under natural conditions, have developed many complex tolerance mechanisms to maintain their vital activities. Some fruit trees that can tolerate salt stress are able to exclude salt by maintaining their physiological and biochemical activities. In this review, we share the current knowledge on salt effects and tolerance in fruit trees and assess how salt is physiologically excluded from various parts of woody plants through the interaction of environmental factors.

**Keywords:** Salinity, fruit stress, salt tolerance, abiotic stress

## Odunsu türlerde tuz stresi ve dışlama mekanizmaları

### Öz

Dünya piyasasında yaygın olarak yer alan birçok meyve ağacı türü çevresel strese karşı mücadele içerisinde büyümeye ve meyve vermeye devam etmektedir. Tuz stresinin olumsuz etkisi, meyve ağaçlarının zayıflamasına, ürün ve kalitesinin azalmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte, doğal koşullar altında birçok biyotik ve abiyotik strese maruz kalan çok yıllık meyve ağaçları, tek yıllık bitkilerden farklı olarak yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmek için karmaşık pek çok tolerans mekanizması geliştirmiştir. Tuz stresini tolere edebilen bazı meyve ağaçları, fizyolojik ve biyokimyasal faaliyetlerini

\*Banu GÜNGÖR, banu.gungor@tarimorman.gov.tr, <https://orcid.org/0000-0002-1728-7007>

Sevinç Uslu KIRAN, skiran@ankara.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-6808-8326>

Yeşim OKAY, okay@ankara.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-1491-2564>

*sürdürerek tuzu dışlayabilmektedir. Bu derlemede, meyve ağaçlarında tuz etkileri ve toleransına ilişkin mevcut bilgiler paylaşılmakta ve çevresel faktörlerin etkileşimi yoluyla tuzun odunsu bitkilerin çeşitli kısımlarından fizyolojik olarak nasıl dışlandığı değerlendirilmektedir.*

**Anahtar kelimeler:** *Tuzluluk, meyvelerde stres, tuz toleransı, abiyotik stres*

## 1. Introduction

Many perennial fruit species with important genetic diversity, rich in nutrients and suitable for every palate, are experiencing significant reductions in quality and yield due to many abiotic and biotic stress factors caused by climate change. The decline in soil and water quality makes it inevitable that the need for basic resources such as nutrients will become a competition. Salinity affects more than 1 billion hectares of land in more than 100 countries worldwide and these numbers are constantly increasing [1]. According to data obtained between 1986 and 2016, the total area affected by salt increased by more than 100 million hectares [2]. Stress factors can restrict all vital activities of plants, biotic and abiotic [3]. Salt stress, one of the most important abiotic stress factors, is one of the environmental conditions that plants cannot reproduce because they cannot survive if they cannot adapt through phenotypic plasticity [4]. Against these exogenous factors, plants can survive under difficult conditions despite the regression in development by showing short-term physiological or longer-term adaptation resulting from evolutionary mechanisms [5].

Plants in nature are divided into two groups: Halophytes (salt plants), which can develop in high salt accumulations by activating problem response mechanisms in terms of salt tolerance, and glycophytes, which are affected and damaged by high salt levels. Most glycophytic plants, defined as higher plants, such as the vegetables and fruits we consume, are in this scope and are sensitive to high salt concentrations [6]. However, responses to salinity vary among plant species and cultivars. In particular, it has been reported that the first phenotypic response of glycophyte plants to an increase in salinity in the root zone over weeks or months is a decrease in shoot growth [7], reporting that the most sensitive organ is the leaves. Depending on the tolerance level of the plant, salt stress inhibits growth and can cause chlorosis, necrotic spots, decrease in yield and quality, and even death. The toxic effect of salt first begins to appear on old leaves. This effect manifests itself as chlorosis, starting from the leaf tips and progressing to the leaf blade and stem, and then these parts become necrotic. The growth rate of plants grown in salty conditions is low, stunting occurs, the leaf surface becomes smaller and the color becomes darker [8, 9].

The interactions of woody plant species with salt stress are more complex [10, 11]. As long-lived species, they must cope with adverse conditions by developing different mechanisms depending on the stage of development [12], intensity and duration of environmental conditions [13, 14]. Some long-term studies for fruit trees have shown that salts accumulate in woody tissue for several years, followed by a rapid decline in tree growth when concentrations become toxic [15]. When salt storage capacity is exceeded,  $\text{Na}^+$  moves towards the leaves, rapidly killing the tree [16]. However, to understand why some fruit species and cultivars are more tolerant to salinity than others, the underlying mechanism needs to be well understood [17]. Such mechanisms include changes in

morphology, anatomy, water relations, photosynthesis, hormonal profile, toxic ion distribution and biochemical adaptation [18, 19]. The responses of plant species to salt stress vary according to the duration and degree of stress [mild, moderate, severe], the type of plant, the stage of plant development and the regions of the plant [20, 21]. Some fruit species are more tolerant at the seedling stage, while others exhibit higher tolerance during vegetative growth, flowering, or fruiting periods.

## **2. Adverse effect of salt stress**

In the light of the studies, salinity stress, ion toxicity ( $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  accumulation), osmotic stress and nutritional disorders are the three factors that inhibit plant growth [22, 23]. When the salt concentration in the soil solution increases and the water potential decreases, the osmotic potential of root cells decreases and the division or elongation of plant cells suddenly slows down [24]. The increase in salt also inhibits the expansion of cell walls [25]. Under these stress conditions, plants usually try to conserve water and reduce transpiration by closing their stomata with the increase of abscisic acid. Thus, the plant tries to minimize water loss and prevent the uptake of high amounts of salt along with water from the soil. As a result, photosynthesis decreases and if these stress conditions continue, it causes plant growth to stop completely [26, 7]. If this situation continues for a long time, leaf photorespiration stops, causing severe defoliation and the sudden death of the plant [19]. Decrease in biomass accumulation, decrease in stem, and shoot length, decrease in plant wet and dry weights, decrease in leaf area and number, decrease in chlorophyll content, deterioration in yield, fruit taste and color [21]. When the plant is under salinity stress for a long time, ion toxicity and water deficiency in old leaves and carbohydrate deficiency and related symptoms in young leaves are recorded [27].

The detrimental effects of  $\text{Na}^+$  cation and  $\text{Cl}^-$  anion on the green parts were determined by radioactive markers. In terms of photosynthetic capacity, both ions can significantly inhibit photosynthesis and carbohydrate assimilation and therefore, if not corrected, can have negative consequences on the economic value of the crops. The sodium damage symptoms start much earlier than chlorine [28]. Typical symptoms of chlorine stress are mid-leaf burning and green tip blight. Tip blight and burn cause chlorosis. In advanced stages, necrotic tissue can cover 50% or more of the leaf, resulting in a large decrease in the photosynthetic activity of the plant [29]. The distribution of sodium in various plants is of great importance. Although the concentrations of  $\text{Na}^+$  ion in leaves are very low, it is commonly more abundant in roots [30]. In addition to the decrease in growth rates,  $\text{CO}_2$  fixation per unit area decreases with the decrease in leaf area. All this is accompanied by increased respiration. Since the plant, which consumes a lot of energy to survive, cannot replace what it spends by photosynthesizing less, development and growth are retarded. The decrease in net  $\text{CO}_2$  fixation under salt stress is due to water deficit, closure of stomata, accumulation of salt in the chloroplast and loss of turgor in mesophyll cells or direct toxicity of salt ions [31, 29].

## 2. Exclusion tolerance in salt tolerance

### *2.1. Exclusion level at cellular level*

Some woody glycophyte species have developed various mechanisms for adaptation to salt stress [32]. Salt tolerance in plants is divided into those that prevent salt entry into the plant and those that minimize salt accumulation in the cytoplasm. In the first mechanism in woody plants, plants avoid different physical, physiological, and metabolic obstacles due to the negative effects of salt stress. They do this by excluding salt from the cells and tissues of the plant and preventing the accumulation of  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  [33]. During this adjustment, it tries to prevent ion entry and maintain cell membrane integrity by increasing the accumulation of suberin in cell membranes. Secondly, intrinsic mechanisms ensure successful survival despite the effects of salt stress [34]. Once salt enters the plant cell, it tries to control the intracellular salt flow by controlling the activity of aquaporins. It tries to prevent ion toxicity caused by salt and to maintain osmotic balance by accumulating salt in vacuoles within the cell and distributing it intercellularly [35].

### *2.2. Exclusion mechanism from root zone*

Regarding salt exclusion by fruit trees, they have several mechanisms to cope with salt in the soil. First, the roots of many fruit trees have the ability to exclude salt by selectively absorbing water and nutrients while minimizing salt uptake [36]. Studies at the cellular level in the root zone have shown that salt accumulates in sinks in the root [13]. The results indicated that different cultivars has an exclusion mechanism in the root xylem parenchyma cells that restricts the uptake and transport of  $\text{Na}^+$  or  $\text{Cl}^-$  [37].  $\text{Na}^+$  accumulation in the root region increased with salt application, and salt accumulation was observed in root voxels. It was reported that the accumulation of suberin in the endodermis and exodermis layers, which are apoplastic barriers in the root cell, increased with salt stress (Figure 1). It was reported that seedlings obtained from hybridisation studies prevented ion entry in the root cell more. Thanks to hybrid rootstocks, it was stated that there was less salt accumulation in the root voxel of the hybrid rootstock [38]. It has been reported that species with superior rootstock quality are able to exclude salt through different apoplastic adjustments from roots to shoots, which play a role in reducing toxic ion fluxes [39, 40].

Regulating salt uptake through root systems is a common strategy. Fruit trees have the ability to control the movement of salt into their roots by actively selecting and excluding ions that are harmful or not essential for their growth [41]. These cultivars have genetic traits that allow them to accumulate lower levels of sodium in their tissues, withstand salt-induced osmotic stress and maintain favorable water balance [42].



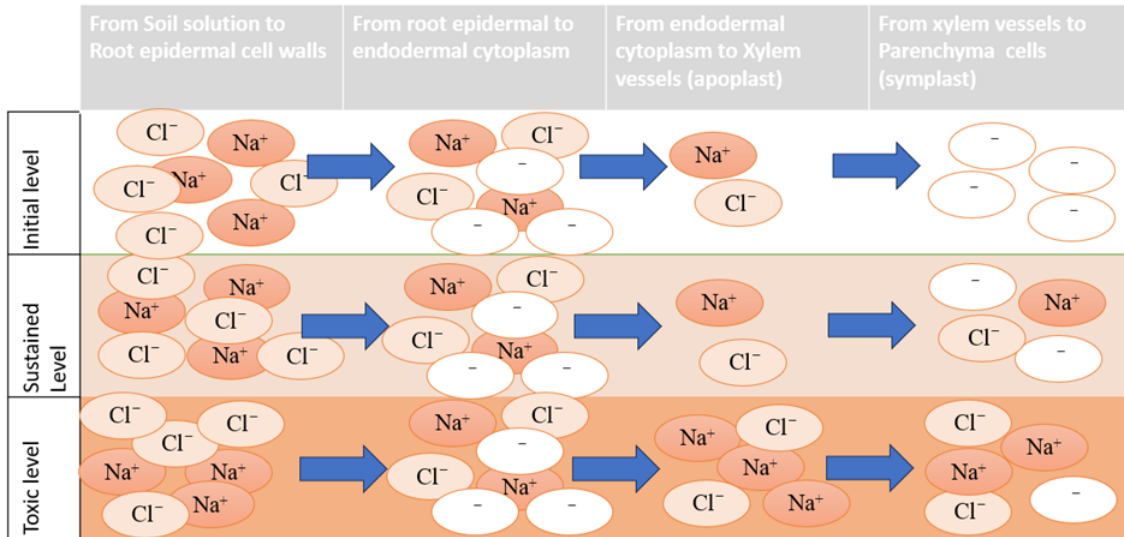


Figure 1. Possible changes in membrane potentials under exposure to high salinity in the root or stem [11]

Fungi and bacteria, including decomposers and organic matter decomposers, mycorrhizae contribute to the breakdown of organic matter in the soil. This process improves soil structure, aeration and drainage, creating an improved root environment for fruit trees [43]. The contribution of arbuscular mycorrhizae (AM) and inoculation of fungal strains in the root zone is important for salt exclusion [44]. Arbuscular mycorrhizae support the growth and health of fruit trees by forming symbiotic relationships with their roots, forming a network of fibers (hyphae) that extend beyond the reach of the tree's roots. These hyphae have access to nutrients in the soil that the tree cannot access, such as phosphorus and micronutrients. This increased nutrient uptake helps to improve the overall health and growth of fruit trees [45]. Mycorrhizal hyphae can also increase water absorption by increasing root surface area and exploring a larger soil volume [46]. Some mycorrhizal fungi and bacteria produce growth-promoting phytohormones such as auxins and cytokinins. These hormones can stimulate root growth and branching, leading to healthier and more robust root systems. Through this symbiotic relationship, mycorrhizae increase the potential for salt accumulation in root vacuoles, thereby excluding salt and preventing its transport from the roots to the upper parts of the plant. The overall effect of these symbiotic relationships is enhanced plant growth, which can translate into increased fruit production, better fruit quality and potentially higher yields. It can increase the ability to tolerate various environmental stresses such as salinity. It is important to note that not all fruit tree species have the same mycorrhizal associations and the benefits provided by these symbiotic associations may vary depending on factors such as soil type, tree species and environmental conditions [47].

### 2.3. Exclusion mechanism from grafting point at the stem

Rootstock compatibility in fruit trees refers to the successful fusion and growth of pen and rootstock, ensuring that they can grow together harmoniously. Some grafted on rootstock combinations may have better compatibility, resulting in healthier and more productive fruit trees [48]. It has been stated in studies that woody tissue acts as a sink and the suberin structure accumulates the salt in the parts that act as this sink and does not allow the salt to pass to the xylem and phloem socket located in the inner part of the woody tissues [49]. It was stated that  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  concentrations can be significantly reduced as the movement of water due to transpiration from the xylem to the parenchyma

cells and from there to the cell membranes [50]. It was concluded that this exclusion contributes to the protection of leaves against  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  toxicity [51]. It was stated that the use of salt-tolerant grafted rootstocks is important in reducing the amount of  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  in plants. It has been reported that  $\text{Cl}^-$  in the leaves circulates through the phloem and takes  $\text{Na}^+$  with it and travels back to the grafting point, where it excludes sodium and chlorine ions [11].

It has also been stated that strong rootstock-penciller scion matching greatly affects this system [52]. Researchers have indicated that in perennial plants, parenchyma cells can store ions at greater rates than root and leaf tissues, but at the same time, they can ensure survival, potentially limiting their Na storage capacity over time [53]. In 10-year-old grafted trees,  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  concentrations increased as one moves from the cambium to the xylem, and significant decreases in Na and  $\text{Cl}^-$  in the graft union were observed over the years for both PGI and UCB1 rootstocks. In addition, the growth ring formed annually in the stem was used to determine sodium exclusion in the studies. A significant decrease in the amount of  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  ions was observed as the age ring approached the outside [11].

#### ***2.4.Exclusion mechanism from leaves***

Foliar sodium exclusion is a process by which plants limit the uptake and accumulation of excess sodium ( $\text{Na}^+$ ) through their leaves. High levels of sodium in plant tissues can be detrimental to plant health and growth, especially in environments with saline soils. Foliar sodium exclusion mechanisms help plants to maintain a favourable balance of essential nutrients and ions while preventing sodium toxicity [54]. Some salt-tolerant fruit tree species may accumulate salt in older leaves, resulting in leaf thickening, defoliation or the growth of new leaves that are not affected by salt. This process, known as salt secretion or salt excretion, helps to prevent salt accumulation in the tree's system [55, 56, 57]. The cuticle is a waxy layer on the surface of leaves that acts as a physical barrier, limiting the entry of ions, including water and sodium, into the leaf tissue. The outer layer of epidermal cells also acts as a barrier to prevent excessive sodium uptake. Some plant species, especially those adapted to saline environments, have specialized structures in their leaves called salt glands or salt trichomes. These glands actively secrete excess sodium and other salts to the leaf surface and prevent their entry into the plant [58, 56]. Plant cells undergo a salt acclimation phase with ion channels and transporters that selectively allow some ions to enter while excluding others [59]. It can actively transport essential ions such as potassium ( $\text{K}^+$ ) into cells, except sodium. Leaves can compartmentalise sodium ions in specific vacuoles within cells. This prevents sodium from interfering with vital cellular processes and reduces the risk of sodium toxicity in the cytoplasm [60].

Some plants can replace sodium with other cations such as calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) or potassium ( $\text{K}^+$ ) through ion exchange processes. This helps to maintain a favorable ion balance in plant tissues [54]. Stomata are small openings in the leaf surface that regulate gas exchange and water loss. Plants can adjust the opening and closing of stomata to control sodium entry into the leaf. Under high sodium conditions, stomatal closure can help reduce sodium uptake [61, 62]. Some fruit species have developed physiological adaptations that allow them to tolerate high sodium levels [63]. These adaptations include minimising water requirements by increasing leaf moisture content, the presence of antioxidant enzymes such as CAT, SOD and APX in the cell membranes or young leaves, preomotic changes, regulation of genes to adapt to salt tolerance, and salt exclusion [64,

65, 66]. In cases where salinity has a toxic effect, it has blunted the immunity of old leaves through the signaling of abscisic acid, one of the growth inhibitory hormones, but it has been reported that some genes that are the signaling component of salicylic acid, which is specified as an exclusion phytohormone, are active in young leaves [67, 68].

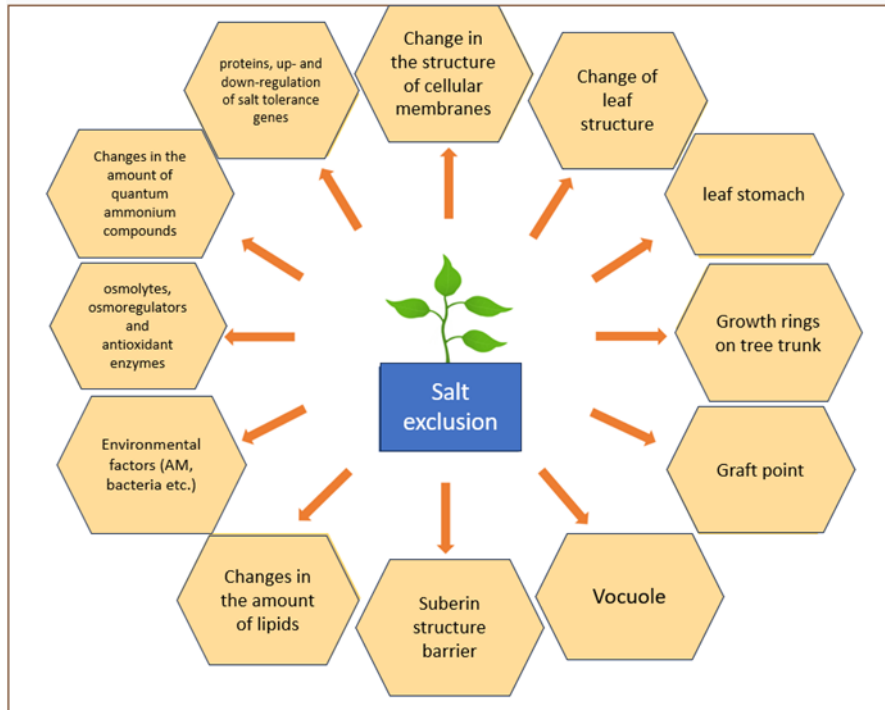


Figure 2. Salt exclusion on woody plants

### 3. Conclusion

The uptake and accumulation of salt ions by plants were found at different rates in various organs of woody species (Figure 2). Growth, physiological and biochemical mechanisms of salt tolerance and exclusion differed among species and cultivars. The efficiency of these mechanisms may vary among plant species and depends on factors such as genetic traits, environmental conditions, soil properties and the severity of sodium stress. In addition, while foliar sodium uptake can help plants cope with sodium stress to some extent, the best strategy to manage high sodium levels in soil requires selecting appropriate plant species, improving soil drainage and salinity management, and providing appropriate irrigation practices to prevent excessive sodium accumulation. It has been reported that rootstock alone does not play a role in salt tolerance, and that a combination of strong rootstock and penciller scion that can adapt to salt and rootstock-penciller scion compatibility may be more successful. At the same time, there are also studies in which hybridization studies yielded positive results.

### References

- [1] FAO. Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, FAO and ITPS, Rome, Italy, (2015).

- [2] Ivushkin, K., Bartholomeus, H., Bregt, A.K., Pulatov, A., Kempen, B. & De Sousa, L. Global mapping of soil salinity change. **Remote Sensing of Environment**, 231, 111260, (2019).
- [3] Suzuki, N., Rivero, R. M., Shulaev, V., Blumwald, E., & Mittler, R. Abiotic and biotic stress combinations. **New Phytologist**, 203(1), 32-43, (2014).
- [4] Yadav, S., Irfan, M., Ahmad, A., & Hayat, S. Causes of salinity and plant manifestations to salt stress: a review. **Journal of environmental biology**, 32(5), 667, (2011).
- [5] Chen, M., Yang, Z., Liu, J., Zhu, T., Wei, X., Fan, H., & Wang, B. Adaptation mechanism of salt excluders under saline conditions and its applications. **International Journal of Molecular Sciences**, 19(11), 3668, (2018).
- [6] Levitt, J. Responses of Plants to Environmental Stresses. Vol.II, 2nd ed. Academic Press, 497-607, New York, USA, (1980).
- [7] Mehdi-Tounsi, H., Chelli-Chaabouni, A., Mahjoub-Boujnah, D. & Boukhris, M. Long-term field response of pistachio to irrigation water salinity. **Agricultural Water Management**, 185,1-12, (2017).
- [8] Kaçar, B., Katkat V., & Öztürk Ş. Bitki Fizyolojisi. **Nobel yayınevi**. 608,57, Ankara, (2017).
- [9] Wang, H., Zhang, M., Guo, R., Shi, D., Liu, B., Lin, X., & Yang, C. Effects of salt stress on ion balance and nitrogen metabolism of old and young leaves in rice (*Oryza sativa* L.). **BMC plant biology**, 12, 1-11, (2012).
- [10] Hao, S., Wang, Y., Yan, Y., Liu, Y., Wang, J., & Chen, S. A review on plant responses to salt stress and their mechanisms of salt resistance. **Horticulturae**, 7(6), 132, (2021).
- [11] Allen, J. A., Chambers, J. L., & Stine, M. Prospects for increasing the salt tolerance of forest trees: a review. *Tree physiology*, 14(7-8-9), 843-853, (1994).
- [12] Godfrey, J.M., Ferguson, L., Sanden, B.L., Tixier, A., Sperling, O., Grattan, S.R. & Zwieniecki, M.A. Sodium interception by xylem parenchyma and chloride recirculation in phloem may augment exclusion in the salt tolerant *Pistacia* genus: context for salinity studies on tree crops. **Tree Physiology**, 39(8), 1484-1498, (2019).
- [13] Shannon, M.C., Grieve, C.M. & Francois, L.E. Whole-plant response to salinity. In: Wilkinson, R.E. (Ed.), **Plant–Environment Interactions**. Marcel Dekker, 199–244, New York, (1994).
- [14] Boland, A. M., Jerie, P., & Maas, E. Long-term effects of salinity on fruit trees. **In II International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops**, 449 (pp. 599-606), (1996).
- [15] Sedaghat, S., Gaaliche, B., Rahemi, M., Zare, H., & Jafari, M. Enzymatic activity and physico-chemical changes of terminal bud in rain-fed fig (*Ficus carica* L.‘Sabz’) during dormant season. **Horticultural Plant Journal**, 8(2), 195-204, (2022).
- [16] Sanden, B. L., Ferguson L. and Corwin, D. L. Development and long-term salt tolerance of pistachios from planting to maturity using saline groundwater. **In VI International Symposium on Almonds and Pistachios** 1028, 327-332, (2013).
- [17] Abbaspour, H., Afshari, H. & Abdel-Wahhab, M. A. Influence of salt stress on growth, pigments, soluble sugars and ion accumulation in three pistachio cultivars. **Journal of Medicinal Plants Research**, 6(12), 2468-2473, (2012).

- [18] Soni, A., Dhakar, S., & Kumar, N. Mechanisms and strategies for improving salinity tolerance in fruit crops. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, 6(8), 1917-1924, (2017).
- [19] Petridis, A., Therios, I., Samouris, G., & Tananaki, C. Salinity-induced changes in phenolic compounds in leaves and roots of four olive cultivars (*Olea europaea* L.) and their relationship to antioxidant activity. **Environmental and Experimental Botany**, 79, 37-43, (2012).
- [20] Acosta-Motos, J.R., Ortuño, M.F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M.J. & Hernandez, J.A. Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. **Agronomy**, 7 (1), p.18, (2017).
- [21] Tan, J., Ben-Gal, A., Shtein, I., Bustan, A., Dag, A., & Erel, R. Root structural plasticity enhances salt tolerance in mature olives. **Environmental and Experimental Botany**, 179, 104224, (2020).
- [22] Trabelsi, L., Gargouri, K., Ayadi, M., Mbadra, C., Nasr, M. B., Mbarek, H. B., Ghrab M., Ahmed B.G., Kammoun Y., Loukil E., Maktouf S., Khlifi M., & Gargouri, R. Impact of drought and salinity on olive potential yield, oil and fruit qualities (cv. Chemlali) in an arid climate. **Agricultural Water Management**, 269, 107726, (2022).
- [23] Munns, R. & Termaat, A. Whole-plant responses to salinity. **Functional Plant Biology**, 13(1), 143-160, (1986).
- [24] Rahnesan, Z., Nasibi, F., Lakehal, A. & Bellini, C. Unravelling salt stress responses in two pistachio (*Pistacia vera* L.) genotypes. **Acta Physiologiae Plantarum**, 40(9), 1-13, (2018).
- [25] Zou, Y., Zhang, Y., & Testerink, C. Root dynamic growth strategies in response to salinity. **Plant, Cell & Environment**, 45(3), 695-704, (2022).
- [26] Byrt, C. S., Munns, R., Burton, R. A., Gilliam, M., & Wege, S. Root cell wall solutions for crop plants in saline soils. **Plant science**, 269, 47-55, (2018).
- [27] Ashraf, M. Breeding for salinity tolerance in plants. **Critical Reviews in Plant Sciences** 13 (1), 17-42, (1994).
- [28] Vivaldi, G. A., Camposeo, S., Romero-Trigueros, C., Pedrero, F., Caponio, G., Lopriore, G., & Álvarez, S. Physiological responses of almond trees under regulated deficit irrigation using saline and desalinated reclaimed water. **Agricultural Water Management**, 258, 107172, (2021).
- [29] Álvarez, S., Rodríguez, P., Broetto, F., & Sánchez-Blanco, M. J. Long term responses and adaptive strategies of *Pistacia lentiscus* under moderate and severe deficit irrigation and salinity: Osmotic and elastic adjustment, growth, ion uptake and photosynthetic activity. **Agricultural Water Management**, 202, 253-262, (2018).
- [30] Arif, Y., Singh, P., Siddiqui, H., Bajguz, A., & Hayat, S. Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. **Plant Physiology and Biochemistry**, 156, 64-77, (2020).
- [31] Bader, B., Aissaoui, F., Kmicha, I., Salem, A. B., Chehab, H., Gargouri, K., Dalenda B., & Chaieb, M. Effects of salinity stress on water desalination, olive tree (*Olea europaea* L. cvs 'Picholine', 'Meski' and 'Ascolana') growth and ion accumulation. **Desalination**, 364, 46-52, (2015).
- [32] Yeo, A.R., Lee, A.S., Izard, P., Boursier, P.J. and Flowers, T.J. Short-and long-term effects of salinity on leaf growth in rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Experimental Botany**, 42(7), 881-889, (1991).
- [33] Binzel, M. L., & Reuveni, M. Cellular mechanisms of salt tolerance in plant cells. **Horticultural Reviews**, 16, 33-69, (2010).

- [34] Boman, B. J. Salinity effects on Florida grapefruit in the Indian River region. **HortTechnology**, 15(1), 89-95, (2005).
- [35] Hajiboland, R., Norouzi, F. & Poschenrieder, C. Growth, physiological, biochemical and ionic responses of pistachio seedlings to mild and high salinity. **Trees**, 28(4), 1065-1078, (2014).
- [36] Parida, A.K. & Das, A.B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 60(3), 324-349, (2005).
- [37] Shahriaripour, R., Tajabadi Pour, A. and Mozaffari, V. Effects of salinity and soil phosphorus application on growth and chemical composition of pistachio seedlings. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 42(2), 144-158, (2011).
- [38] Karimi, H. R., & Maleki Kuhbanani, A. The evaluation of inter-specific hybrid of *P. atlantica* × *P. vera* cv. 'Badami Zarand' as a pistachio rootstock to salinity stress. **Journal of Nuts**, 6(02), 113-122, (2015).
- [39] Zhang, S., Quartararo, A., Betz, O., Madahhosseini, S., Heringer, A., Le, T., Shao, Y., Caruso, T., Ferguson, L., Jernstedt, J. & Wilkop, T. Root vacuolar sequestration and suberization contribute to salinity tolerance in *Pistacia* spp. rootstocks. **Authorea Preprints**, (2020).
- [40] Rossi, L., Francini, A., Minnocci, A., & Sebastiani, L. Salt stress modifies apoplastic barriers in olive (*Olea europaea* L.): a comparison between a salt-tolerant and a salt-sensitive cultivar. **Scientia Horticulturae**, 192, 38-46, (2015).
- [41] Wang, P., Wang, F., Li, L., Su, S., Han, N., & Yang, Z. Study on Effects of salt stress on the Suberin Lamella of grapevine roots. **In BIO Web of Conferences** (Vol. 61, p. 01027). EDP Sciences, (2023).
- [42] Kamiab, F., Talaie, A., Javanshah, A., Khezri, M., & Khalighi, A. Effect of long-term salinity on growth, chemical composition and mineral elements of pistachio (*Pistacia vera* cv. Badami-Zarand) rootstock seedlings. **Annals of Biological Research**, 3(12), 5545-5551, (2012).
- [43] Wang, G., Wang, L., Ma, F., Yang, D., & You, Y. Earthworm and arbuscular mycorrhiza interactions: Strategies to motivate antioxidant responses and improve soil functionality. **Environmental Pollution**, 272, 115980, (2021).
- [44] Sánchez-Ledesma, J. A., Arreola-Ávila, J. G., Ávila-Rodríguez, V., García-González, F., Carrasco-Hernández, V., & Borja de laRosa, A. Photosynthetic rate and biomass production by inoculation of *Scleroderma* sp. with different concentrations of NaCl in pecan tree. **Revista mexicana de ciencias agrícolas**, 13(7), 1209-1220, (2022).
- [45] Shahvali, R., Shiran, B., Ravash, R., Fallahi, H., & Đeri, B. B. Effect of symbiosis with arbuscular mycorrhizal fungi on salt stress tolerance in GF677 (peach × almond) rootstock. **Scientia Horticulturae**, 272, 109535, (2020).
- [46] Wang, G., Wang, L., Ma, F., Yang, D., & You, Y. Earthworm and arbuscular mycorrhiza interactions: Strategies to motivate antioxidant responses and improve soil functionality. **Environmental Pollution**, 272, 115980, (2021).
- [47] Paymaneh, Z., Sarcheshmehpour, M., Bukovská, P., & Jansa, J. Could indigenous arbuscular mycorrhizal communities be used to improve tolerance of pistachio to salinity and/or drought. **Symbiosis**, 79, 269-283, (2019).
- [48] Ribeiro-Barros, A. I., Pawlowski, K., & Ramalho, J. C. Mechanisms of salt stress tolerance in Casuarina: A review of recent research. **Journal of Forest Research**, 27(2), 113-116, (2022).

- [49] Surucu, A., Acar, I., Demirkiran, A. R., Farooq, S., & Gokmen, V. Variations in nutrient uptake, yield and nut quality of different pistachio cultivars grafted on *Pistacia khinjuk* rootstock. **Scientia Horticulturae**, 260, 108913, (2020).
- [50] Raveh, E. Assessing salinity tolerance in citrus: latest developments. **Advances in Citrus Nutrition**, 425-433, (2012).
- [51] Sodii, M., Astolfi, S., Francini, A., & Sebastiani, L. Multiple linear regression and linear mixed models identify novel traits of salinity tolerance in *Olea europaea* L. **Tree Physiology**, 42(5), 1029-1042, (2022).
- [52] Zrig, A., Mohamed, H. B., Tounekti, T., Khemira, H., Serrano, M., Valero, D., & Vadel, A. M. Effect of rootstock on salinity tolerance of sweet almond (cv. Mazzetto). **South African Journal of Botany**, 102, 50-59, (2016).
- [53] Alipour, H. Photosynthesis properties and ion homeostasis of different pistachio cultivar seedlings in response to salinity stress. **International Journal of Horticultural Science and Technology**, 5(1), 19-29, (2018).
- [54] Karimi, H.R. & Roosta, H.R. Evaluation of Inter-Specific Hybrid of *P. atlantica* and *P. vera* L. cv. 'Badami-Riz-e-Zarand' as Pistachio rootstock to Salinity Stress According to Some Growth Indices and Eco-physiological and Biochemical Parameters. **Journal of Stress Physiology and Biochemistry**, 10(3), 5-17, (2014)
- [55] Mickelbart, M. V., & Arpaia, M. L. Rootstock Influences Changes in Ion Concentrations, Growth, and Photosynthesis of Hass' Avocado Trees in Response to Salinity. **Journal-American Society For Horticultural Science**, 127 (4), 649-655, (2002).
- [56] Han, Y., Wang, W., Sun, J., Ding, M., Zhao, R., Deng, S., Wang F., Hu Y., Wang Y., Lu Y., Du L., Hu Z., Diekman H., Shen X., Polle A., & Chen, S. *Populus euphratica* XTH overexpression enhances salinity tolerance by the development of leaf succulence in transgenic tobacco plants. **Journal of experimental botany**, 64(14), 4225-4238, (2013).
- [57] Lupo, Y., Prashanth, K., Lazarovitch, N., Fait, A., & Rachmilevitch, S. Importance of Leaf Age in Grapevines Under Salt Stress. **bioRxiv**, 2023-04, (2023).
- [58] Pathania, S., Bajaj, A., Mavi, M. S., & Choudhary, O. P. Comprehensive evaluation, analysis of mechanisms and the prediction of salinity tolerance in pomegranate. **Scientia Horticulturae**, 313, 111918, (2023).
- [59] Hameed, M., Ashraf, M., Ahmad, M. S. A., & Naz, N. Structural and functional adaptations in plants for salinity tolerance. **Plant adaptation and phytoremediation**, 151-170, (2010).
- [60] Pandolfi, C., Bazihizina, N., Giordano, C., Mancuso, S., & Azzarello, E. Salt acclimation process: a comparison between a sensitive and a tolerant *Olea europaea* cultivar. **Tree Physiology**, 37(3), 380-388, (2017).
- [61] Barbosa, R. C. A., Brito, M. E. B., da Silva Sá, F. V., dos Santos Soares Filho, W., Fernandes, P. D., & de Andrade Silva, L. Gas exchange of citrus rootstocks in response to intensity and duration of saline stress. **Semina: Ciências Agrárias**, 38(2), 725-738, (2017).
- [62] Ottow, E. A., Brinker, M., Teichmann, T., Fritz, E., Kaiser, W., Brosché, M., Kangasjärvi, J., Jiang X., & Polle, A. *Populus euphratica* displays apoplastic sodium accumulation, osmotic adjustment by decreases in calcium and soluble carbohydrates, and develops leaf succulence under salt stress. **Plant Physiology**, 139(4), 1762-1772, (2005).

- [63] Scott, D. H. Breeding Salt Tolerant Grapevine Rootstocks. PhD Thesis. University of California, Davis, (2022).
- [64] Singh, A., & Sharma, P. C. Recent insights into physiological and molecular regulation of salt stress in fruit crops. **Advances in Plants & Agriculture Research**. 8(2), 171-183, (2018).
- [65] Sorkheh, K., Shiran, B., Rouhi, V., Khodambashi, M., & Sofo, A. Salt stress induction of some key antioxidant enzymes and metabolites in eight Iranian wild almond species. **Acta Physiologiae Plantarum**, 34, 203-213, (2012).
- [66] Jazi, M. M., Seyedi, S. M., Ebrahimie, E., Ebrahimi, M., De Moro, G. & Botanga, C. A. Genome-wide transcriptome map of pistachio (*Pistacia vera* L.) provides novel insights into salinity-related genes and marker discovery. **BMC Genomics**, 18(1), 1-21, (2017).
- [67] Ahmad, R., & Anjum, M. A. Physiological and molecular basis of salinity tolerance in fruit crops. In *Fruit Crops* (pp. 445-464). **Elsevier**, (2020).
- [68] Berens, M. L., Wolinska, K. W., Spaepen, S., Ziegler, J., Nobori, T., Nair, A., & Tsuda, K. Balancing trade-offs between biotic and abiotic stress responses through leaf age-dependent variation in stress hormone cross-talk. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 116(6), 2364-2373, (2019).



# BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

CİLT: 26 SAYI: 2

Temmuz 2024

ISSN 1301-7985

eISSN 2536-5142

## 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).

---