

EJONS

Uluslararası Matematik, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi
International Journal of Mathematics, Engineering and Natural Sciences



Cilt-Volume : 9

Sayı-Issue : 4

Yıl-Year : 2025

EJONS

Uluslararası Matematik, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi
International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences

YIL-YEAR

2025

CİLT-VOLUME

9

SAYI-ISSUE

4

YAYIN TARİHİ – PUBLISHED

17-12-2025

EDİTÖR

Dr. Öğr. Üyesi Yeter ÇİLESİZ

Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi, Tarla Bitkileri
Bölümü, Sivas, Türkiye

TÜRKÇE DİL EDİTÖRÜ

Dr. Öğr. Üyesi Hatice BEKÇİ

Kayseri Üniversitesi, Develi Hüseyin Şahin Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal
Üretim Bölümü, Kayseri, Türkiye

İNGİLİZCE DİL EDİTÖRÜ

Öğretim Görevlisi Ekrem ERÖZ

Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Yabancı Diller Yüksekokulu, Yabancı Diller Bölümü,
Sivas, Türkiye

İSTATİSTİK EDİTÖRÜ

Doç. Dr. Arzu ALTUNTAŞ

Siirt Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Siirt,
Türkiye

YAYIN VE MİZANPAJ EDİTÖRÜ

Canan YILMAZ

Bülent Ecevit Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Zonguldak, Türkiye

ALAN EDİTÖRLERİ

Prof. Dr. Tolga KARAKÖY

Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi, Bitki Koruma
Bölümü, Sivas, Türkiye

Prof. Dr. Ercan CEYHAN

Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Konya, Türkiye

Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN

Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye

Prof. Dr. Esra Uçar SÖZMEN

Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal
Üretim Bölümü, Sivas, Türkiye

Doç. Dr. Ebru YABAŞ

Cumhuriyet Üniversitesi, İmranlı Meslek Yüksekokulu, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik
Bölümü, Sivas, Türkiye

Prof. Dr. Zubair ASLAM

University of Agriculture, Department of Agronomy, Faisalabad, Pakistan

Prof. Dr. Teodor RUSU

University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca, Romania

Prof. Dr. Mohammad KAVEH

Knowledge University, Department of Petroleum Engineering, Erbil-Iraq

Prof. Dr. Heba H. SALAMA

National Research Center, Cairo, Egypt

Dr. Ravi PANDISELVAM

ICAR–Central Plantation Crops Research Institute, Physiology, Biochemistry and Post Harvest Technology Division, Kasaragod, India

Dr. Folasade Mary OWOADE

Ladoke Akintola University of Technology, Ogbomoso, Faculty of Agricultural Sciences, Department of Crop Production and Soil Science, Nigeria

Dr. Mohammad FAIZAN

Maulana Azad National Urdu Universit, School of Sciences, Botany Section, Hyderabad-INDIA

Dr. Ristina Siti SUNDARI

Universitas Perjuangan Tasikmalaya, Agricultural Faculty, Study Program, Indonesia

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Makale Adı	Sayfa Numarası	Araştırma/Derleme Makalesi
Lt Aur Örtten Çift Yıldız Sistemin İlk Tess Işık Eğrisi Ve Yörünge Dönemi Analizleri Oğuz Öztürk, Ahmet Erdem, Derya Sürgit	: 330-340	Araştırma Makalesi
Kp And Örtten Çift Yıldız Sistemin İlk Tess Işık Eğrisi Analizi Oğuz Öztürk, Ahmet Erdem, Derya Sürgit	: 341-351	Araştırma Makalesi
Gt Eri'nin Tayfsal Ve Fotometrik Veri Analizi Derya Sürgit, Ash Bolat	: 352-361	Araştırma Makalesi
Soya (Glycine Max L. Merr.) Tohumlarında Farklı Priming Uygulamaları Vugar Gurbanov, Yusif Osmanlı, Muhammet Anıl Aydın, Mizgin Mehmet, Gülsüm Öztürk	: 362-369	Araştırma Makalesi
Çörek Otu Tohumlarında (Nigella Sativa L.) Çimlenme Performansı Ve Tohum Kalitesinin İyileştirilmesine Yönelik Bazı Tohum Ön Uygulamaları Ashraf Baghırlı, Orhan Aliyev, Muhammet Anıl Aydın, Mizgin Mehmet, Gülsüm Öztürk	: 370-378	Araştırma Makalesi
Be My Home İn Smart Cities: A Mobile Application For Stray Animal Tracking, Adoption And Shelter Management Hacer Sueda Efe, Gizem Yıldız, Önder Yakut	: 379-390	Araştırma Makalesi
Öğretmen Adaylarının Ters Fonksiyonlara İlişkin Enstrümanlı Eylem Şemalarının İncelenmesi Naz Mardani, Menekşe Seden Tapan Broutin	: 391-410	Araştırma Makalesi
İzmir Bergama Kozak Yaylasında Fıstık Çamı Ağaçlarının Beslenme Düzeylerinin Belirlenmesi Hajir Dawood Sulaiman Joban, Serra Hepaksoy	: 411-419	Araştırma Makalesi
Şanlıurfa'da İkinci Ürün Olarak Yetiştirilen Börölce (Vigna Sinensis L.)De Bitki Sıklığının Bazı Tarımsal Karakterlere Etkisinin Araştırılması Mustafa Cemil Büyükkılıç, Habip Artan	: 420-426	Araştırma Makalesi
Atık Opal Mineralinin Seramik Sırına Etkilerinin Araştırılması Pınar Biçici Çetinkaya, Hikmet Serdar Mutlu, Merve Dikici	: 427-433	Araştırma Makalesi
Svl (Sheath Voltage Limiter) – Link Box Uygulamalarında Iec 60099-4 Tip Testlerinin Bağlama Dayalı Değerlendirmesi Murat Genççağa	: 434-447	Derleme Makalesi
Hirshfeld Surface Analysis And Intermolecular Interaction Profiling Of Cyproheptadine Hydrochloride Sesquihydrate Esra Öztürk, Seda Güneşdoğdu Sağdıncı	: 448-456	Araştırma Makalesi
Neuroprotective Properties Of Naringenin Against 5-Fluorouracil Chemotherapy İn An Adult Rat Model Sedat Bilgiç, İbrahim Aktaş, Ahmad Yahyazadeh	: 457-467	Araştırma Makalesi
Investigation Of Anticancer, Antioxidant, And Phytochemical Properties Of Cyperus Esculentus Extracts Obtained Using Different Solvents Hatice Bekci, Handan Şapıcı Selamoğlu, Nihat Yılmaz	: 468-483	Araştırma Makalesi
İpliği Boyalı Gömleklik Kumaşlarda Renk Tasarımı: Yapısal Ve Estetik Yaklaşımlar Bilge Berkhan Kastacı	: 484-499	Derleme Makalesi

EJONS

Uluslararası Matematik, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi
International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences

Research Article

e-ISSN: 2602 - 4136

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17936871>

LT Aur Örtlen Çift Yıldız Sistemin İlk TESS Işık Eğrisi ve Yörünge Dönemi Analizleri

Oğuz ÖZTÜRK ^{*1,2}, Ahmet ERDEM ^{1,2}, Derya SÜRGİT ^{2,3}

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Çanakkale, Türkiye

² Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Astrofizik Araştırma Merkezi ve Ulupınar Gözlemevi, Çanakkale, Türkiye

³ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Fakültesi, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü, Çanakkale, Türkiye

Sorumlu Yazar Email: oguzozturk@comu.edu.tr

Makale Tarihçesi

Geliş: 15.09.2025

Kabul: 18.11.2025

Anahtar Kelimeler

Örtlen Çift Yıldızlar,
LT Aur,
Fotometrik,
Veri Analizi,
TESS

Özet: Bu çalışmada, LT Aur örtlen çift yıldız sisteminin Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) uydusu gözlemlerinden elde edilen ışık eğrisi ilk defa çözülmüştür. Bunun yanı sıra sistemin yörünge dönem analizi de ilk olarak bu çalışmada sunulmuştur. Işık eğrisi analizi sonucunda LT Aur sisteminin yarı-ayrık bir çift yıldız sistemi olduğu sonucuna varılmıştır. Işık eğrisi çözüm parametreleri kullanılarak sistemin mutlak parametreleri $M_1 = 1.66 \pm 0.17 M_{\odot}$, $R_1 = 1.62 \pm 0.12 R_{\odot}$ ve $M_2 = 0.23 \pm 0.08 M_{\odot}$, $R_2 = 2.09 \pm 0.35 R_{\odot}$ olarak tahmin edilmiştir. LT Aur sisteminin yörünge dönem analizi sonucunda sistemin yörünge döneminin düzenli olarak 1.310 ± 0.253 s/yıl hızıyla arttığı tespit edilmiştir. Yörünge dönemindeki bu artışın, küçük kütleli ikinci bileşenden büyük kütleli birinci bileşene doğru baskın bir kütle aktarım mekanizması kaynaklı olabileceği göz önüne alınarak, birinci bileşen üzerine aktarılan kütle aktarım hızının $10^{-7} M_{\odot}/\text{yıl}$ ile $10^{-4} M_{\odot}/\text{yıl}$ yıl arasında olduğu tahmin edilmiştir.

First TESS Light Curve Solution and Orbital Period Analysis of LT Aur

Article Info

Received: 15.09.2025

Accepted: 18.11.2025

Keywords

Eclipsing Binary
Stars,
LT Aur,
Photometric,
Data Analysis,
TESS

Abstract: In this study, light curve of LT Aur eclipsing binary star system obtained from Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) observations is solved for the first time. In addition, orbital period analysis of the system is also presented for the first time. As a result of the light curve analysis, it is concluded that LT Aur is a semi-detached binary star system. Using the light curve solution parameters, the absolute parameters of the system are estimated as $M_1 = 1.66 \pm 0.17 M_{\odot}$, $R_1 = 1.62 \pm 0.12 R_{\odot}$ and $M_2 = 0.23 \pm 0.08 M_{\odot}$, $R_2 = 2.09 \pm 0.35 R_{\odot}$. Orbital period analysis of LT Aur shows that the orbital period of the system is increasing regularly at a rate of 1.310 ± 0.253 s/year. Considering that this increase in the orbital period may be due to a dominant mass transfer mechanism from the low-mass secondary component to the high-mass primary component, the mass transfer rate onto the primary component is estimated to be between $10^{-7} M_{\odot}/\text{year}$ and $10^{-4} M_{\odot}/\text{year}$.

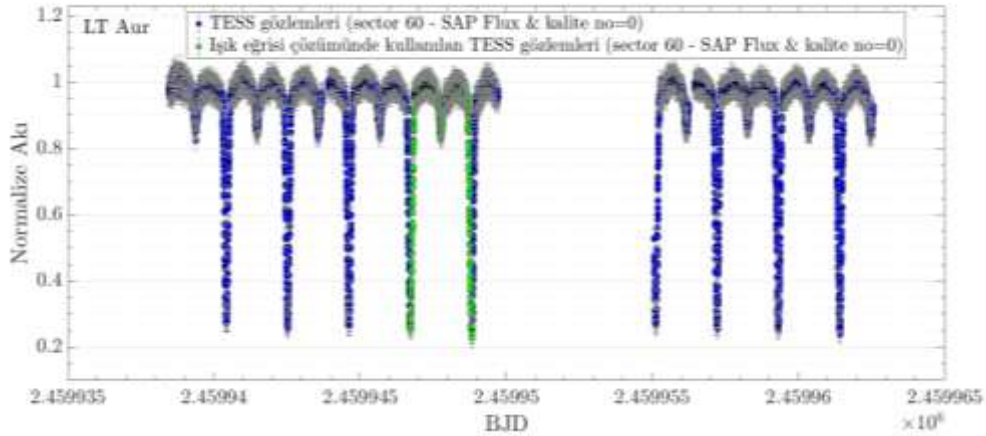
1. Giriş

Bu çalışmada, örten bir çift yıldız sistemi olan LT Aur kaynağının Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) (Ricker ve ark., 2015) uydu gözlemlerinden elde edilen ışık eğrisi çözümünün yanı sıra, TESS gözlemlerinden hesaplanan minimum zamanlarla birlikte literatürden toplanan tüm minimum zamanlar kullanılarak yörünge dönem analizi yapılmıştır. Sistemin fotometrik analizi ilk olarak bu çalışmada sunulmuştur. Literatürde bu sistem sadece bazı katalog çalışmalarında yer almaktadır (Malkov ve ark., 2006; Avvakumova ve ark., 2013). TESS gözlemleri hakkında özet bilgi çalışmanın ikinci bölümünde verilmiştir. Üçüncü bölümde LT Aur kaynağının TESS ışık eğrisi çözümü yapılmış ve sistemin geometrik parametreleri elde edilmiştir. Dördüncü bölümde ele alınan kaynağın O-C yöntemi ile yapılan yörünge dönem analizi sunulmuştur. Son bölümde ise sistemin mutlak parametreleri tahmin edilmiş ve elde edilen bulgular tartışılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. TESS gözlemleri

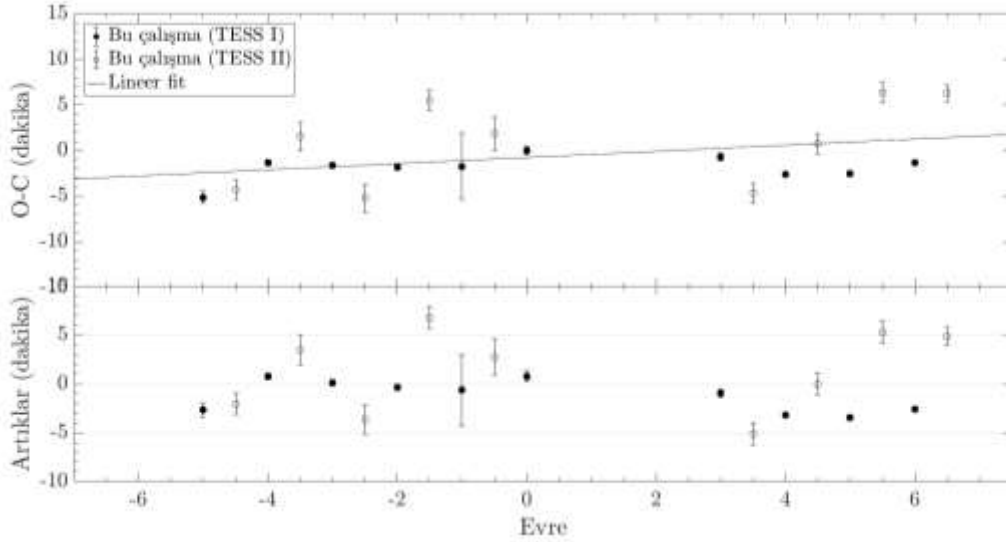
TESS uydu gözlemleri, 600 nm ile 1000nm dalgaboyu aralığını kapsayan geniş filtreler kullanılarak yapılmaktadır (Ricker ve ark., 2015). Bu çalışmada ele alınan LT Aur sisteminin TESS gözlemleri hakkında özet bilgi Tablo 1 de verilmiştir. LT Aur sisteminin TESS gözlem verileri Mikulski Archive for Space Telescopes (MAST) (<https://mast.stsci.edu/>) veri tabanından alınmıştır. Işık eğrisi oluşturulurken veri tabanında verilen SAP_FLUX ölçümleri kullanılmıştır. Kaynağın Işık eğrisi çözümünü duyarlı bir şekilde yapabilmek için SAP_FLUX ölçümleri içerisinde, en duyarlı gözlem noktaları olarak belirtilen QUALITY = 0 ölçümleri alınmıştır. Sistemin TESS ışık eğrisi Şekil 1’de sunulmuştur. TESS gözlemlerinden gözlenen minimum zamanlar AVE yazılımı (Barberá, 1996) kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 3’te verilmiştir. TESS minimum zamanları kullanılarak LT Aur sisteminin O (gözlenen minimum zaman) - C (hesaplanan minimum zaman) diyagramı Şekil 2’de sunulmuştur.



Şekil 1. LT Aur kaynağının TESS gözlemlerinden elde edilen ışık eğrisi

Tablo 1. LT Aur sisteminin TESS sector 60 gözlem bilgileri

Gözlem başlangıcı (gün.ay.yıl)	23.12.2022
Gözlem bitişi (gün.ay.yıl)	18.01.2023
Poz süresi (s)	200
Gözlemin yapıldığı kamera/CCD	1/2
Toplam gözlem sayısı	8484
QUALITY=0 gözlem sayısı	7823



Şekil 2. LT Aur sisteminin TESS minimum zamanları kullanılarak oluşturulan O-C diyagramı. Siyah düz çizgi, O-C verisine yapılan lineer fiti göstermektedir. O-C verilerinden lineer fit çıkartılarak elde edilen O-C artıkları alt panelde gösterilmiştir

TESS minimum zamanlarından oluşturulan O-C diyagramında kullanılan ışık elemanı (1) denkleminde verilmiştir. Burada $T_0 = 2459948.81940(34)$ BJD zamanı, TESS gözlemlerinden okunan minimum zamanıdır ve 2.0991516 gün yörünge dönemi ise ASAS-SN kataloğundan (Shappee ve ark., 2014; Kochanek ve ark., 2017) alınmıştır.

$$C_1 = BJD\ 2459948.81940(34) + 2^{gün}.0991516 \times E \quad (1)$$

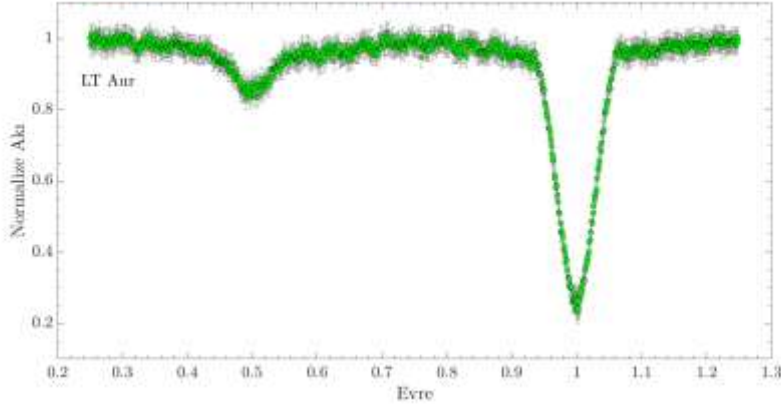
LT Aur sisteminin TESS O-C verilerin, en küçük kareler yöntemi kullanılarak yapılan lineer fit düzeltilmesi sonucu elde edilen güncel ışık elemanı (2) denkleminde verilmiştir.

$$C_2 = BJD\ 2459948.81887(55) + 2^{gün}.09939(14) \times E \quad (2)$$

LT Aur sisteminin TESS ışık eğrisi çözümünde TESS gözlemleri (2) denklemi ile verilen güncel ışık elemanı kullanılarak evrelendirilmiştir (bkz. Şekil 3).

2.2. Işık eğrisi çözümü

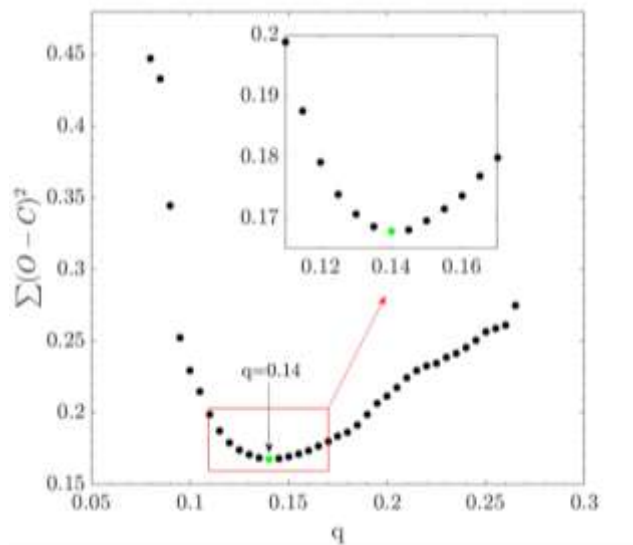
LT Aur kaynağının ilk fotometrik analizi bu çalışmada sunulmuştur. Sistemin TESS ışık eğrisi analizi Wilson-Devinney yazılımı (Wilson ve Devinney, 1971; Wilson, 2012) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gözlemlerin yapıldığı filtrenin etkin dalgaboyu 786.5nm olarak alınmıştır (Ricker ve ark., 2015). Yıldız atmosferlerinin ışımsal ($T > 7200K$) ve konvektif ($T < 7200K$) olmasına göre bolomerik çekim kararma katsayıları (g_{1-1} ve g_1) sırasıyla 1.0 ve 0.32 değerlerinde alınmıştır (von Zeipel, 1924; Lucy, 1967). Bileşenlerin bolometrik albedosu (A_1 ve A_2), ışımsal atmosfere sahip yıldız atmosferleri için 1,0'a, konvektif atmosfere sahip yıldız atmosferleri için 0,5'e sabitlenmiştir (Ruciński, 1969). Işık eğrisi analizlerinde, ikinci dereceden kenar kararma kanunu kullanılmış ve kenar kararma katsayıları Claret (2017)'den alınmıştır. Çözümlerde bileşen yıldızların dairesel bir yörüngede ($e = 0$) senkronize olarak döndükleri ($F_1 = F_2 = 1$) kabul edilmiştir.



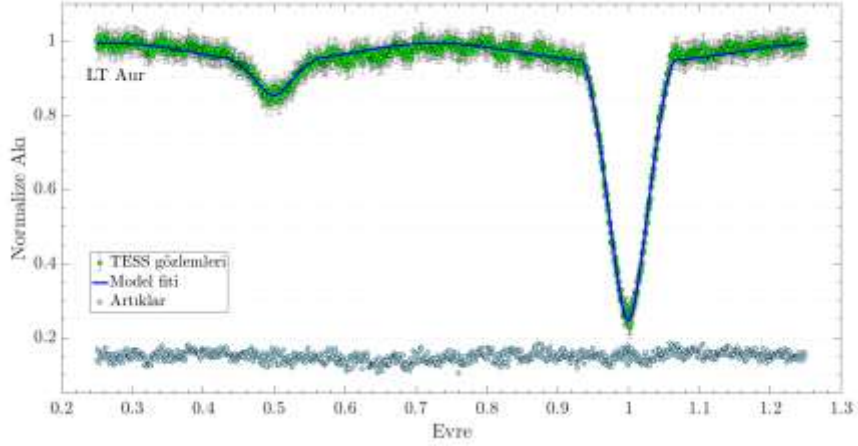
Şekil 3. LT Aur sisteminin, güncel ışık elemanı ile evrelendirilmiş TESS ışık eğrisi

LT Aur sisteminin TESS ışık eğrisi çözümü ilk olarak mod 2 ayırık konfigürasyonda yapılmıştır. Ancak birkaç iterasyondan sonra ikinci bileşenin Roche lobunu tamamen doldurduğu görülmüştür. Bu nedenle sistemin ışık eğrilerinin çözümü mod 5 yarı-ayırık konfigürasyonda devam edilmiştir. Bu çözümlerde, evre kayması (ϕ), yörünge eğimi (i), ikinci bileşenin etkin sıcaklığı (T_2), birinci bileşenin yüzey potansiyeli (Ω_1), kütle oranı (q) ve birinci bileşenin ısıtması (L_1) serbest bırakılan parametrelerdir. Üçüncü ışık katkısı parametresi (L_3) çözümlerde ilk olarak serbest bırakılmıştır. Ancak üçüncü cisim kaynaklı bariz bir ışık katkısı tespit edilemediğinden üçüncü ışık katkısı ışık eğrisi çözümlerine dâhil edilmemiştir.

LT Aur sistemi ile ilgili literatürde herhangi bir tayfsal çalışması bulunmadığından, baş bileşenin sıcaklığı (T_1) için bir tahmin yapılmıştır. Bunun için öncelikle sistemin kızıllaşmadan arındırılmış $B - V$ rengi ($(B - V)_0$), Tunçel Güçtekin ve ark. (2016) tarafından verilen yöntem kullanılarak 0.279 ± 0.059 kadar değerinde hesaplanmıştır. Sonrasında, Drilling and Landolt (2000) çalışmasında verilen, kızıllaşmadan arındırılmış $(B - V)_0$ rengi ile sıcaklık kalibrasyonu tablosundan LT Aur sisteminin baş bileşenin sıcaklığı 7422 ± 200 K değerinde elde hesaplanmış ve çözümde baş bileşen sıcaklığı bu değerinde sabit tutulmuştur.



Şekil 4. LT Aur sistemi için kütle taraması işlemi sonucu elde edilen kütle oranı (q) - $\Sigma(O - C)^2$ diyagramı



Şekil 5. LT Aur sisteminin ışık eğrisi analizi sonucu elde edilen teorik model fiti ve çözümden elde edilen artıklar

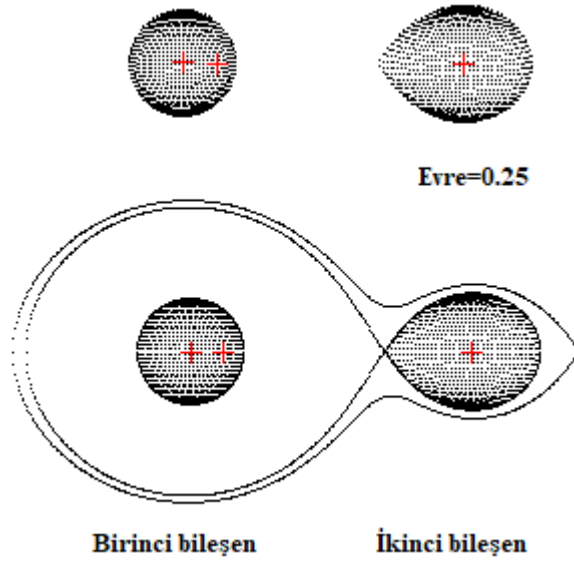
Tablo 2. LT Aur sisteminin ışık eğrisi çözümü sonucu elde edilen parametreler

Parametre	Değer
ϕ	-0.0005(1)
i (derece)	85.57(21)
T_1 (K)	7424(200)
T_2 (K)	4228(129)
$q (= M_2 / M_1)$	0.137(6)
Ω_1	4.431(10)
Ω_2	2.068
r_1 (hacim)	0.190(5)
r_2 (hacim)	0.246(8)
L_1 / L_{Toplam}	0.836(7)
L_2 / L_{Toplam}	0.164
$\sum(O - C)^2$	0.1622

Bunun yanı sıra sistem için tayfsal kütle oranı değeri de bilinmediğinden ışık eğrisi çözümünden önce sistemin fotometrik kütle oranı taraması yapılmıştır. Kütle taraması işleminde sistemin ışık eğrisi, yukarıda serbest bırakılan parametrelerden sadece kütle oranı parametresi sabit kütle oranı (q) değerleri için sabit tutularak çözülmüştür. Çözümlerden elde edilen kütle oranı (q) - $\sum(O - C)^2$ diyagramı Şekil 4'te verilmiştir.

Şekil 4'ten görüldüğü üzere en küçük $\sum(O - C)^2$ değerine $q = 0.14$ değerinde ulaşılmıştır. Bu nedenle çözüm esnasında kütle oranı bu değerde alınıp serbest parametre olarak bırakılmıştır. Işık eğrisi çözümlerinden elde edilen parametreler Tablo 2'de verilmiştir. Tüm tablolarda hata değerleri son basamağa göre parantez içinde yazılmıştır. Çözüm sonucu elde edilen teorik fit Şekil 5'de sunulmuştur. Işık eğrisinin maksimumlarında asimetrikler gözükmemektedir. Bunun yanı sıra ışık eğrisi çözümü sonucu elde edilen artıklarda zonklama benzeri bir değişim görülmektedir (bkz. Şekil 5). İleride yapılacak olan fotometrik ve tayfsal gözlemlerle bu değişimin incelenmesi, sistemin doğasını anlamamız açısından büyük öneme sahiptir.

Binary Maker programına (Bradstreet ve Steelman, 2002) ışık eğrisi çözümü sonucu elde edilen geometrik parametre değerleri girilmiş ve sistemin Roche geometrisi elde edilmiştir (bkz Şekil 6).



Şekil 6. LT Aur sisteminin ışık eğrisi çözüm parametreleri kullanılarak elde edilen Roche geometrisi

2.3. Yörünge dönem analizi

Bu çalışmada hesaplanan minimum zamanlar ile literatürde yayınlanan tüm minimum zamanlar kullanılarak, LT Aur sistemin yörünge dönem analizi ilk olarak bu çalışmada sunulmuştur. Sistemin dönem analizi O-C yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Dönem analizlerinde kullanılan minimum zamanlar ve referansları Tablo 3'te verilmiştir.

LT Aur sisteminin dönem analizinde toplamda 29 tane minimum zamanı kullanılmıştır. Bu minimum zamanlar, 9 Kasım 1964 ile 17 Ocak 2023 tarihlerini kapsamaktadır. Sistemin O-C diyagramı Şekil 7'de sunulmuştur.

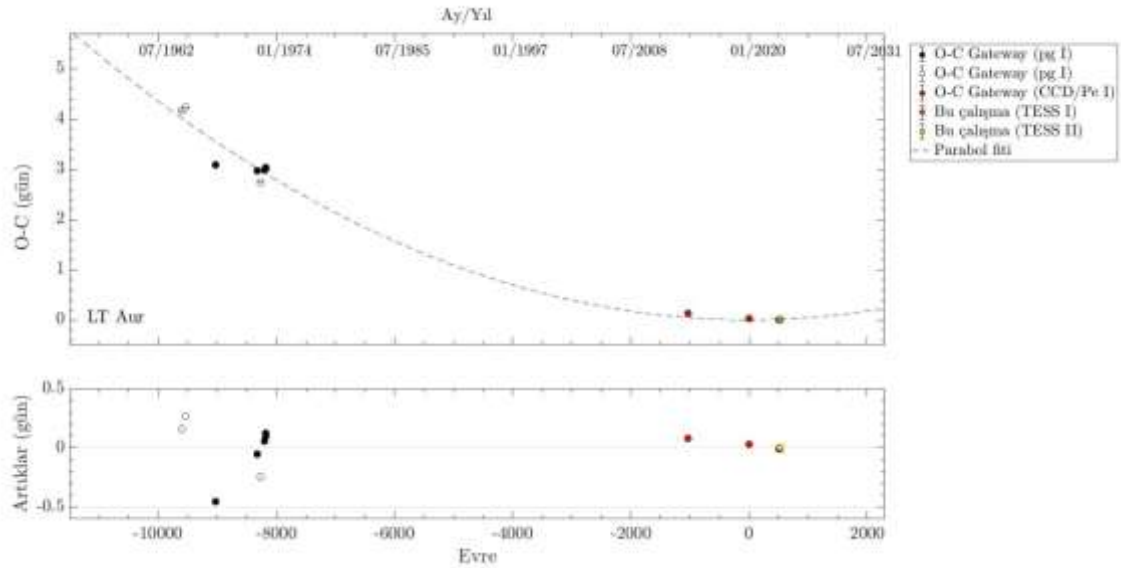
Şekil 7'den görüldüğü üzere LT Aur sisteminin O-C diyagramı yukarı yönlü bir parabolik değişim vermektedir. Bu nedenle sistemin O-C diyagramına Zsche ve ark. (2009) tarafından verilen MATLAB yazılımı kullanılarak parabol fiti yapılmış ve aşağıda verilen ikinci dereceden ışık elemanı elde edilmiştir.

$$C_3 = BJD\ 2458857.2594(28) + 2^{gün}.099138(5) \times E + 435^{gün}.7(7.1) \times 10^{-10} \times E^2 \quad (3)$$

(3) denkleminde görülen ikinci derece katsayı ($435.7(7.1) \times 10^{-10}$ gün), LT Aur sisteminin yörünge döneminin sürekli olarak $1.31(25)$ s/yıl hızı ile arttığını göstermektedir. Yörünge dönemindeki bu artış küçük kütleli ikinci bileşenden birinci bileşene doğru baskın bir kütle aktarım mekanizması kaynaklı olabilir. Bu durum takip eden bölümde ayrıntılı olarak tartışılmıştır.

Tablo 3. LT Aur çift yıldız sisteminin literatürde verilen ve bu çalışmada okunan tüm minimum zamanları

Minimum zaman (BJD)	Hatası	Minimum türü	Referans
2438708.65040	-	pg (Min II)	O-C Gateway
2438849.35140	-	pg (Min II)	O-C Gateway
2439913.52843	-	pg (Min I)	O-C Gateway
2441393.29451	-	pg (Min I)	O-C Gateway
2441509.56352	-	pg (Min II)	O-C Gateway
2441647.31252	-	pg (Min I)	O-C Gateway
2441687.24553	-	pg (Min I)	O-C Gateway
2441689.32053	-	pg (Min I)	O-C Gateway
2456695.26985	-	CCD/Pe (Min I)	O-C Gateway
2458857.28753	-	CCD/Pe (Min I)	O-C Gateway
2459938.32008	0.00048	CCD/Pe (Min I)	Bu çalışma (TESS)
2459939.37022	0.00075	CCD/Pe (Min II)	Bu çalışma (TESS)
2459940.42187	0.00024	CCD/Pe (Min I)	Bu çalışma (TESS)
2459941.47343	0.00104	CCD/Pe (Min II)	Bu çalışma (TESS)
2459942.52080	0.00020	CCD/Pe (Min I)	Bu çalışma (TESS)
2459943.56787	0.00107	CCD/Pe (Min II)	Bu çalışma (TESS)
2459944.61984	0.00023	CCD/Pe (Min I)	Bu çalışma (TESS)
2459945.67449	0.00080	CCD/Pe (Min II)	Bu çalışma (TESS)
2459946.71903	0.00254	CCD/Pe (Min I)	Bu çalışma (TESS)
2459947.77109	0.00127	CCD/Pe (Min II)	Bu çalışma (TESS)
2459948.81940	0.00034	CCD/Pe (Min I)	Bu çalışma (TESS)
2459955.11635	0.00029	CCD/Pe (Min I)	Bu çalışma (TESS)
2459956.16319	0.00076	CCD/Pe (Min II)	Bu çalışma (TESS)
2459957.21418	0.00017	CCD/Pe (Min I)	Bu çalışma (TESS)
2459958.26611	0.00077	CCD/Pe (Min II)	Bu çalışma (TESS)
2459959.31340	0.00021	CCD/Pe (Min I)	Bu çalışma (TESS)
2459960.36914	0.00081	CCD/Pe (Min II)	Bu çalışma (TESS)
2459961.41339	0.00019	CCD/Pe (Min I)	Bu çalışma (TESS)
2459962.46826	0.00064	CCD/Pe (Min II)	Bu çalışma (TESS)

**Şekil 7.** LT Aur sisteminin mevcut tüm minimum zamanlar kullanılarak elde edilen O-C diyagramı (üst panel). Parabolik model fitinden elde edilen artıklar alt panelde gösterilmiştir

Sistemin O-C diyagramına yapılan lineer ve parabol fiti sonucu elde edilen ışık elemanı parametreleri Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. LT Aur sisteminin elde edilen güncel ışık elemanı parametreleri

Parametre	Lineer fit sonucu elde edilen değerler	Parabolik fit sonucu elde edilen değerler
T_0 (BJD)	2459948.81887(55)	2458857.2594(28)
P (gün)	2.09939(14)	2.099138(5)
$Q(10^{-10}$ gün)	-	435.7(7.1)

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada LT Aur sistemini oluşturan bileşenlerin mutlak parametreleri hesaplanmış ve Tablo 5'te verilmiştir. Bunun için öncelikle her sistemin baş bileşenin kütleleri, Drilling ve Londolt (2000) çalışmasında Tablo 15.7 ve 15.8 de verilen ana kol yıldızlarının renk ölçeği, etkin sıcaklık, kütle ve tayf türü kalibrasyonları kullanılarak ara değer hesabı ile hesaplanmıştır. Hesaplanan kütlelerin %10'u hata payı olarak kabul edilmiştir.

İkinci bileşenin kütlesi (M_2), Tablo 2'de verilen fotometrik kütle oranı kullanılarak hesaplanmıştır. Bileşenlerin yarıçapları ($R_{1,2}$), Tablo 2'de verilen kesirsel yarıçaplar ($r_{1,2}=R_{1,2}/A$) kullanılarak hesaplanmıştır. Yarı büyük eksen uzunluğu (A) Kepler'in üçüncü kanunu kullanılarak hesaplanmıştır. Bileşenlerin bolometrik parlaklıkları ($M_{1,2\ bol}$) ve yüzey çekimleri ($\log g_{1,2}$), Pecaut ve Mamajek (2013) tarafından verilen güneşin etkin sıcaklığı (5771.8(7)K), güneşin bolometrik parlaklığı (4.7554(4) kadir) ve güneşin yüzey çekim ($27423.2(7.9)$ cm/s²) değerleri kullanılarak, hesaplanmıştır.

Bileşenlerin mutlak görsel parlaklıkları ($M_{1,2\ V}$), $M_{1,2\ V} = M_{1,2\ bol} - BC_{1,2\ V}$ denkleminde hesaplanmıştır. Bu denklemde yer alan bileşen yıldızların bolometrik düzeltme katsayıları ($BC_{1,2\ V}$), Pecaut ve Mamajek (2013) tarafından verilen etkin sıcaklık-bolometrik düzeltme kalibrasyonunda ara değer hesabı ile hesaplanmıştır. d uzaklığındaki sistemlerin yıldızlararası soğurma katsayısı ($A_{d,V}$), Bahcall ve Soneira (1980) tarafından verilen aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$A_{d,V}(b) = A_{\infty,V}(b) \left[1 - \exp\left(-\frac{|d \sin b|}{125}\right) \right] \quad (4)$$

(4) denkleminde yer alan $A_{\infty,V}(b)$ terimi, b galaktik enleminde yer alan kaynağın V filtresindeki toplam sönüm katsayısı, NASA Extragalactic Database veri tabanı kullanılarak Schlafly ve Finkbeiner (2011)'den alınmıştır.

Tablo 5. LT Aur sisteminin bu çalışmada hesaplanan mutlak parametreleri

Parametre	Değer	
	Birinci Bileşen	İkinci Bileşen
$A(R_{\odot})$	8.51(17)	
$M_{1,2}(M_{\odot})$	1.66(17)	0.23(08)
$R_{1,2}(R_{\odot})$	1.62(12)	2.09(35)
$\log g_{1,2}$ (cgs)	4.24(10)	3.15(9)
$M_{1,2\ bol}$ (kadir)	2.62(31)	4.50(59)
$M_{1,2\ V}$ (kadir)	2.62(35)	5.34(99)
$A_{d,V}(b)$ (kadir)	0.43	
m_V (sistem) (kadir)	13.788(73) ^(a)	
M_V (sistem) (kadir)	2.53(31)	
d (pc)	1461(219)	

^(a)APASS veri tabanından (Henden ve ark., 2015) alınmıştır

$H = 125$ pc terimi ölçek yüksekliği (Marshall ve ark. 2006) ve d terimi kaynağın uzaklığını göstermektedir. Çift yıldız sistemlerinin mutlak görsel parlaklıkları (M_V (sistem))

ise bileşen yıldızların mutlak görsel parlaklıkları ($M_{1,2V}$) kullanılarak aşağıdaki denklemden hesaplanmıştır.

$$M_V(\text{sistem}) = -2.5 \log_{10}(10^{-0.4M_{1,V}} + 10^{-0.4M_{2,V}}) \quad (5)$$

LT Aur sistemin uzaklığı (), aşağıda verilen uzaklık modülü formülünden hesaplanmıştır. Burada sistemin görsel parlaklık ($m_V(\text{sistem})$) değerleri, AAVSO Photometric All-Sky Survey (APASS) (Henden ve ark., 2015) veri tabanından alınmıştır.

$$d = 10^{\frac{m_V(\text{sistem}) - M_V(\text{sistem}) + A_{d,V}(b)}{5}} \quad (6)$$

LT Aur sisteminin TESS ışık eğrisi analizi sonucunda ikinci bileşenin kendi Roche lobunu doldurduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, O-C analizi sonucunda, sistemin yörünge döneminin düzenli olarak arttığı tespit edilmiştir. Yörünge dönemindeki bu artış, hem ikinci bileşenden birinci bileşene doğru bir miktar kütle aktarımının gerçekleştiği hem de sistemden bir miktar kütle kaybının olabileceği göz önüne alınarak açıklanabilir. Bu çalışmada, ikinci bileşenden birinci bileşene aktarılabilecek kütle miktarı hızını ve sistemden atılan kütle miktarı hızını belirleyebilmek için Erdem ve Öztürk (2014) tarafından aşağıdaki gibi verilen denklemler ve Tablo 5'te verilen sistemin fiziksel parametreleri kullanılmıştır.

$$\frac{\dot{P}}{P} = \left\{ 2 \left\{ \frac{10R_2}{A} \right\}^2 \frac{M_1 + M_2}{M_1 M_2} - \frac{2}{M_1 + M_2} \right\} \dot{M} + \frac{3(M_1 - M_2)}{M_1 + M_2} \dot{M}_1 \quad (7)$$

$$\dot{M} \leq (1 - \beta) \dot{M}_2 = \frac{(\beta - 1)}{\beta} \dot{M}_1 \quad (8)$$

(7) ve (8) denklemlerinde $\dot{P}$, $\dot{M}$, $\dot{M}_1$ ve $\dot{M}_2$, sırasıyla, yörünge dönemindeki değişim hızı, sistemden kaybedilen kütle miktarı hızı, birinci bileşen üzerine aktarılan kütle miktarı hızı ve ikinci bileşenin kaybettiği kütle miktarı hızıdır. $\beta = -\frac{\dot{M}_1}{\dot{M}_2}$ terimi ise kütle kaybı parametresi olarak adlandırılır ve birinci bileşen üzerine aktarılan kütle miktarı hızının ikinci bileşenin kaybettiği kütle miktarı hızına oranıdır. Erdem ve Öztürk (2014) tarafından verilen senaryoya göre eğer kütle kaybı parametresi (β), kütle kaybı parametresinin kritik değerinden (β_{cri}) büyük ise ikinci bileşenden birinci bileşene kütle aktarımı, sistemden kütle kaybına göre baskın mekanizma olur ve yörünge döneminde artış görülür. Bu senaryoya göre (7) ve (8) denklemleri kullanılarak, LT Aur sistemi için β_{cri} değeri 0.839 olarak hesaplanmıştır. Bu durumda, LT Aur sisteminin kütle kaybı parametresi $\beta_{cri} = 0.839 < \beta \leq 1$ aralığında olmalıdır. LT Aur sisteminde bileşenler arası korunumlu kütle aktarımı durumunda ($\beta = 1$), birinci bileşen üzerine aktarılan kütle miktarı hızı ($\dot{M}_1$), $6.43 \times 6.43 \times 10^{-7} M_{\odot}/\text{yıl}$ mertebesinde hesaplanmıştır. β değeri, β_{cri} değerine yaklaştıkça sistemden kaybedilen kütle miktarı da artacaktır. LT Aur sistemi için $\beta = 0.840 \cong \beta_{cri}$ durumunda birinci bileşen üzerine aktarılan kütle miktarı hızı ($\dot{M}_1$) ve sistemden kaybedilen kütle miktarı hızı ($\dot{M}$), sırasıyla, $1.14 \times 10^{-4} M_{\odot}/\text{yıl}$ ve $2.17 \times 10^{-5} M_{\odot}/\text{yıl}$ olarak hesaplanmıştır.

4. Sonuç

Bu çalışmada LT Aur sisteminin mutlak parametreleri tahmini olarak elde edilmiştir. Mutlak parametreleri duyarlı olarak elde edebilmek ve bileşenlerin evrim durumlarını daha detaylı olarak inceleyebilmek için sistemlerin ileride yapılacak olan duyarlı tayfsal ve fotometrik gözlemlerine ihtiyaç vardır.

Yazarların Katkı Beyanı

Yazarlar makaleye eşit katkıda bulunduklarını, makalenin yayına hazır son halini gördüklerini/okuduklarını ve onayladıklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Tüm yazarlar, bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi (ÇOMÜ) Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi tarafından Proje Kodu: FHD-2023-4550 altında desteklenmiştir. Çalışmada, (Space Telescope Science Institute; STScI) MAST veri arşivinden elde edilen TESS gözlemleri kullanılmıştır. LT Aur sisteminin literatürde verilen minimum zamanları O-C gateway (<https://var.astro.cz/en>) veri tabanından alınmıştır.

Kaynaklar

- Avvakumova, E.A., Malkov, O.Y., Kniazev, A.Y., 2013. Eclipsing variables: Catalogue and classification. *Astronomische Nachrichten*, 334(8): 860.
- Bahcall, J.N., Soneira, R.M., 1980. The universe at faint magnitudes, I. Models for the galaxy and the predicted star counts. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 44: 73–110.
- Barberá, R., 1996. AVE. (www.astrogea.org/soft/ave/introave.htm), (Erişim Tarihi: 15.02.2025).
- Bradstreet, D.H., Steelman, D.P., 2002. AAS 201, id. 75.02.
- Claret, A., 2017. Limb and gravity-darkening coefficients for the TESS satellite at several metallicities, surface gravities, and microturbulent velocities. *Astronomy and Astrophysics*, 600: A30.
- Drilling, J.S., Landolt, A.U., 2000. Allen's Astrophysical Quantities (4th. edn.). Springer, New York.
- Erdem, A., Öztürk, O., 2014. Non-conservative mass transfers in Algols. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 441(2): 1166-1176.
- Henden, A.A., Levine, S., Terrell, D., Welch, D.L., 2015. APASS - The latest data release. AAS Meeting #225. 336,16.
- Kochanek, C.S., Shappee, B.J., Stanek, K.Z., 2017. The all-sky automated survey for supernovae (ASAS-SN) light curve server v1.0. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 129(980): 104502.
- Lucy, L.B., 1967. Gravity-darkening for stars with convective envelopes. *Zeitschrift für Astrophysik*, 65: 89–92.
- Malkov, O.Y., Oblak, E., Snegireva, E.A., Torra, J., 2006. A catalogue of eclipsing variables. *Astronomy and Astrophysics*, 446(2): 785.
- Marshall, D.J., Robin, A.C., Reylé, C., Schultheis, M., Picaud, S., 2006. Modelling the Galactic interstellar extinction distribution in three dimensions. *Astronomy and Astrophysics*, 453(2): 635-651.
- Pecaut, M.J., Mamajek, E.E., 2013. Intrinsic colors, temperatures, and bolometric corrections of pre-main-sequence stars. *Astrophysical Journal Supplement Series*, 208(1): 9.

- Ricker, G.R., Winn, J.N., Vanderspek, R., 2015. Transiting exoplanet survey satellite (TESS). *Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems*, 1(1): 014003.
- Ruciński, S.M., 1969. The proximity effects in close binary systems. II. The bolometric reflection effect for stars with deep convective envelopes. *Acta Astronomica*, 19: 245-255.
- Schlafly, E.F., Finkbeiner, D.P., 2011. Measuring reddening with sloan digital sky Survey stellar spectra and recalibrating SFD. *The Astrophysical Journal*, 737(2): 103.
- Shappee, B.J., Prieto, J.L., Grupe, D., 2014. The man behind the curtain: X-Rays drive the UV through NIR variability in the 2013 active galactic nucleus outburst in NGC 2617. *Astrophysical Journal*, 788(1): 48.
- Tunçel Güçtekin, S., Bilir, S., Karaali, S., Ak, S., Ak, T., Bostancı, Z.F., 2016. Metallicity calibration and photometric parallax estimation: I. UBV photometry. *Astrophysics and Space Science*, 361(6): 18.
- von Zeipel, H., 1924. The radiative equilibrium of a rotating system of gaseous masses. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 84: 665–683.
- Wilson, R.E., 2012. Spotted star light curves with enhanced precision. *The Astronomical Journal*, 144(3): 73.
- Wilson, R.E., Devinney, E.J., 1971. Realization of accurate close-binary light curves: Application to MR Cygni. *Astrophysical Journal*, 166: 605–619.
- Zasche, P., Liakos, A., Niarchos, P., Wolf, M., Manimanis, V., Gazeas, K., 2009. Period changes in six contact binaries: WZ And, V803 Aql, DF Hya, PY Lyr, FZ Ori, and AH Tau. *New Astronomy*, 14(2): 121-128.

EJONS

Uluslararası Matematik, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi
International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences

Research Article

e-ISSN: 2602 - 4136

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17937399>

KP And Örten Çift Yıldız Sistemin İlk TESS Işık Eğrisi Analizi

Oğuz ÖZTÜRK ^{*1,2}, Ahmet ERDEM ^{1,2}, Derya SÜRGİT ^{2,3}

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Çanakkale, Türkiye

² Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Astrofizik Araştırma Merkezi ve Ulupınar Gözlemevi, Çanakkale, Türkiye

³ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Fakültesi, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü, Çanakkale, Türkiye

Sorumlu Yazar Email: oguzozturk@comu.edu.tr

Makale Tarihçesi

Geliş: 10.10.2025

Kabul: 10.11.2025

Anahtar Kelimeler

Örten Çift Yıldızlar,
KP And,
Fotometrik,
Veri Analizi,
TESS

Özet: Literatürde ayrıntılı bir fotometrik çalışması bulunmayan KP And örten çift yıldız sisteminin Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) uydu gözlemlerinden elde edilen ışık eğrisi ilk olarak bu çalışmada modellenmiştir. Sistemin TESS gözlemlerinden hesaplanan minimum zamanları kullanılarak güncel ışık elemanı elde edilmiştir. Çözüm sonucunda ayırık bir çift yıldız sistem olduğu görülen KP And sisteminin ışık eğrisi çözüm parametreleri kullanılarak sistemin mutlak parametreleri $M_1 = 1.67 \pm 0.17 M_{\odot}$, $R_1 = 2.20 \pm 0.14 R_{\odot}$ ve $M_2 = 0.36 \pm 0.10 M_{\odot}$, $R_2 = 1.56 \pm 0.26 R_{\odot}$ olarak tahmin edilmiştir.

First TESS Light Curve Anaysis of Eclipsing Binary Star KP And

Article Info

Received: 10.10.2025

Accepted: 10.11.2025

Keywords

Eclipsing Binary
Stars,
KP And,
Photometric,
Data Analysis,
TESS

Abstract: The light curve of KP And eclipsing binary star system, which lacks a detailed photometric study in the literature, obtained from Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) observations, was first modeled in this study. The updated light element was obtained using the minimum times calculated from the TESS observations of the system. The solution revealed that the KP And system is a detached binary star system. Using the light curve solution parameters, the absolute parameters of the system were estimated as $M_1 = 1.67 \pm 0.17 M_{\odot}$, $R_1 = 2.20 \pm 0.14 R_{\odot}$ and $M_2 = 0.36 \pm 0.10 M_{\odot}$, $R_2 = 1.56 \pm 0.26 R_{\odot}$.

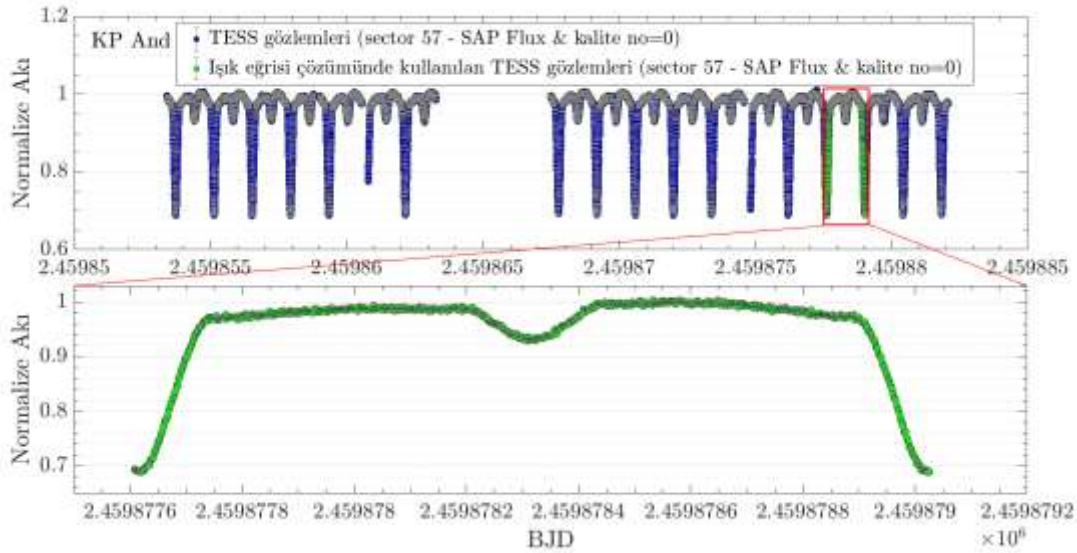
1. Giriş

Bu çalışmada, KP And örten çift yıldız sisteminin ışık eğrisi analizi sunulmuştur. Literatürde KP And sistemi ile ilgili ayrıntılı fotometrik analiz bulunmamakla birlikte sistem sadece bazı katalog çalışmalarında yer almaktadır (Avvakumova ve ark., 2013; Heinze ve ark., 2018; Cruzalêbes ve ark., 2019; Mowlavi ve ark., 2023). Bu nedenle sistemin ayrıntılı fotometrik analizi ilk olarak bu çalışmada sunulmuştur.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. TESS gözlemleri

TESS uydu gözlemleri hakkında ayrıntılı bilgiye Ricker ve ark. (2015) çalışmasından bakılabilir. Bu çalışmada ele alınan KP And sisteminin TESS gözlemleri hakkında özet bilgi Tablo 1’de verilmiştir. KP And sisteminin TESS gözlem verileri Mikulski Archive for Space Telescopes (MAST) (<https://mast.stsci.edu/>) veri tabanından alınmıştır. Işık eğrisi oluşturulurken veri tabanında verilen SAP_FLUX ölçümleri kullanılmıştır. Kaynağın Işık eğrisi çözümünü duyarlı bir şekilde yapabilmek için en duyarlı gözlem noktaları olarak belirtilen QUALITY = 0 verileri alınmıştır. Sistemin TESS sektör 57 verileri kullanılarak elde edilen ışık eğrisi Şekil 1’de sunulmuştur. Işık eğrisi çözümünde Şekil 1’de kutu içerisine alınan sektör 57 gözlemleri kullanılmıştır.



Şekil 1. KP And kaynağının TESS sektör 57 gözlemlerinden elde edilen ışık eğrisi

Tablo 1. KP And sisteminin TESS gözlem bilgileri

	Sector 16	Sector 57	Sector 83	Sector 84
Gözlem başlangıcı (gün.ay.yıl)	12.09.2019	30.09.2022	05.09.2024	01.10.2024
Gözlem bitişi (gün.ay.yıl)	06.10.2019	29.10.2022	30.09.2024	26.10.2024
Poz süresi (s)	1800	200	600	200
Gözlemin yapıldığı kamera/CCD	1/4	2/3	2/4	2/3
Toplam gözlem sayısı	1121	10802	10505	10841
QUALITY=0 gözlem sayısı	697	10265	10412	10035

TESS gözlemlerinden gözlenen minimum zamanlar AVE yazılımı (Barberá, 1996) kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 2’de verilmiştir. TESS minimum zamanları kullanılarak elde edilen O (gözlenen minimum zaman) - C (hesaplanan minimum zaman) diyagramı Şekil 2’de sunulmuştur.

Şekil 2’de verilen O-C diyagramını oluştururken kullanılan ışık elemanı (1) denkleminde verilmiştir. Burada $T_0 = 2459853.72563(13)$ BJD zamanı, TESS gözlemlerinden okunan minimum zamanıdır ve 1.4054332 gün yörünge dönemi ise ASAS-SN kataloğundan (Shappee ve ark., 2014; Kochanek ve ark., 2017) alınmıştır.

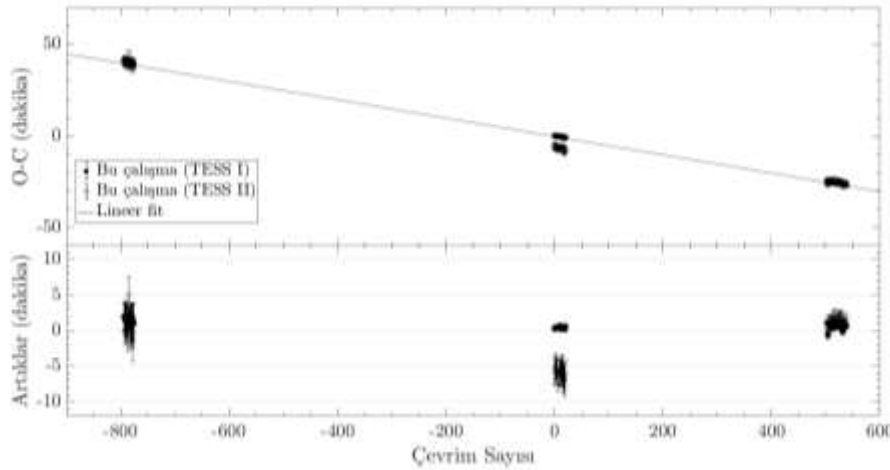
$$C_1 = BJD\ 2459853.72563(13) + 1^{gün}.4054332 \times E \quad (1)$$

O-C verilerine en küçük kareler yöntemi kullanılarak yapılan lineer fit düzeltmesi sonucu elde edilen güncel ışık elemanı (2) denkleminde verilmiştir.

$$C_2 = BJD\ 2459853.72543(15) + 1^{gün}.4053984(3) \times E \quad (2)$$

Şekil 2’de ikinci minimum zamanlarından elde edile O-C verilerinin çevrim boyunca salınım gösterdiği görülmektedir. Bu salınımın genliğinin yaklaşık 5 dakika olduğu görülmektedir. Bir sonraki bölümde bahsedileceği üzere, ikinci bileşen üzerinde olası bir soğuk lekenin etkisi bu küçük genlikli salınıma neden olabilir. Benzer küçük genlikli salınımlar V608 Cam (Şebek ve ark., 2022) ve OO Leo (Zi-Bin Meng ve ark., 2024) sistemlerinin TESS minimum zamanları kullanılarak oluşturulan O-C diyagramlarında da görmüş ve bu salınımların leke etkisi kaynaklı olabileceği öne sürülmüştür.

Sistemin Şekil 1’de içi dolu yeşil renk ile gösterilen TESS gözlemleri, (2) denklemi ile verilen güncel ışık elemanı kullanılarak evrelendirilmiş ve Şekil 3’te verilen ışık eğrisi elde edilmiştir.



Şekil 2. KP And sisteminin TESS minimum zamanları kullanılarak oluşturulan O-C diyagramı. Siyah düz çizgi, O-C verisine yapılan lineer fiti göstermektedir. O-C verilerinden lineer fit çıkartılarak elde edilen O-C artıkları alt panelde gösterilmiştir

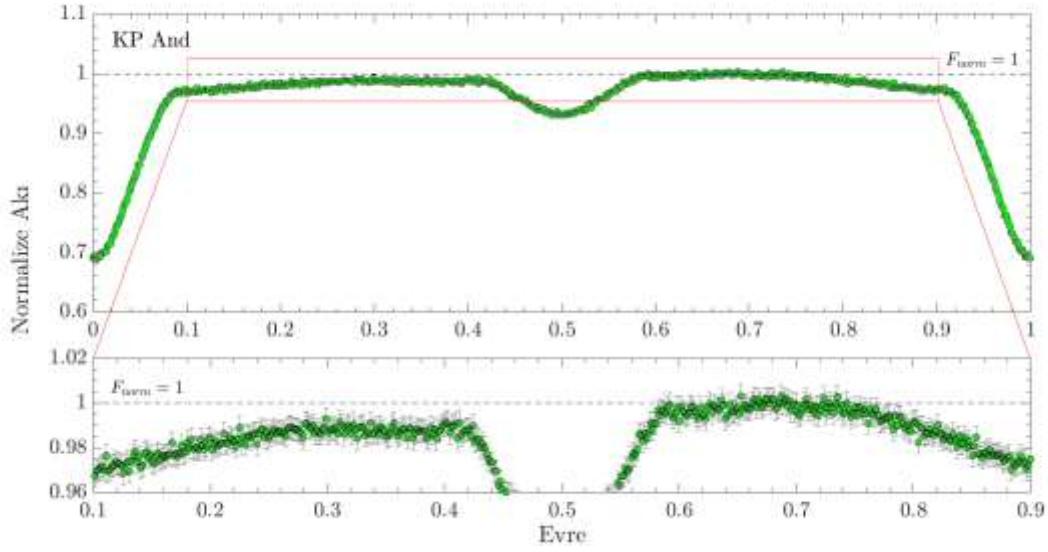
Tablo 2. KP And çift yıldız sisteminin TESS gözlemlerinden okunan minimum zamanları

Minimum zaman (BJD)	Hatası	Minimum türü	Sektör
2458739.24583	0.00139	Min I	16
2458739.94722	0.00110	Min II	16
2458740.65133	0.00135	Min I	16
2458741.35224	0.00104	Min II	16
2458742.05638	0.00167	Min I	16
2458742.75911	0.00123	Min II	16
2458743.46213	0.00156	Min I	16
2458744.16492	0.00108	Min II	16
2458744.86696	0.00150	Min I	16
2458745.56932	0.00173	Min II	16
2458746.27269	0.00140	Min I	16
2458746.97387	0.00168	Min II	16
2458747.67800	0.00042	Min I	16

2458748.38067	0.00189	Min II	16
2458749.08322	0.00113	Min I	16
2458749.78853	0.00169	Min II	16
2458751.89421	0.00117	Min I	16
2458752.59607	0.00190	Min II	16
2458753.30009	0.00093	Min I	16
2458754.00167	0.00165	Min II	16
2458754.70503	0.00061	Min I	16
2458755.40674	0.00148	Min II	16
2458756.11073	0.00126	Min I	16
2458756.81190	0.00170	Min II	16
2458757.51555	0.00169	Min I	16
2458758.21779	0.00128	Min II	16
2458758.92135	0.00149	Min I	16
2458759.62190	0.00208	Min II	16
2458760.32640	0.00163	Min I	16
2458761.02850	0.00125	Min II	16
2458761.73186	0.00150	Min I	16
2458762.43342	0.00158	Min II	16
2458763.13699	0.00201	Min I	16
2459853.72563	0.00013	Min I	57
2459854.42408	0.00132	Min II	57
2459855.13114	0.00013	Min I	57
2459855.82992	0.00112	Min II	57
2459856.53649	0.00014	Min I	57
2459857.23548	0.00124	Min II	57
2459857.94188	0.00014	Min I	57
2459858.64031	0.00114	Min II	57
2459859.34731	0.00015	Min I	57
2459860.04584	0.00129	Min II	57
2459861.45105	0.00121	Min II	57
2459862.15816	0.00015	Min I	57
2459862.85578	0.00121	Min II	57
2459867.07300	0.00091	Min II	57
2459867.77987	0.00018	Min I	57
2459868.47792	0.00122	Min II	57
2459869.18503	0.00017	Min I	57
2459869.88344	0.00137	Min II	57
2459870.59064	0.00018	Min I	57
2459871.28875	0.00134	Min II	57
2459871.99594	0.00016	Min I	57
2459872.69406	0.00121	Min II	57
2459873.40122	0.00017	Min I	57
2459874.09984	0.00154	Min II	57
2459875.50531	0.00128	Min II	57
2459876.21218	0.00017	Min I	57
2459876.90976	0.00132	Min II	57
2459877.61746	0.00016	Min I	57
2459878.31536	0.00140	Min II	57
2459879.02295	0.00016	Min I	57
2459879.72045	0.00159	Min II	57
2459880.42816	0.00018	Min I	57
2459881.12651	0.00138	Min II	57
2459881.83383	0.00009	Min I	57
2460559.93836	0.00035	Min II	83
2460560.64154	0.00011	Min I	83
2460561.34459	0.00037	Min II	83
2460562.04581	0.00041	Min I	83
2460562.74950	0.00038	Min II	83
2460563.45235	0.00011	Min I	83

2460564.15440	0.00054	Min II	83
2460565.56025	0.00042	Min II	83
2460566.26300	0.00013	Min I	83
2460566.96515	0.00044	Min II	83
2460567.66832	0.00013	Min I	83
2460568.37171	0.00040	Min II	83
2460569.07357	0.00013	Min I	83
2460569.77685	0.00048	Min II	83
2460570.47898	0.00010	Min I	83
2460571.18226	0.00047	Min II	83
2460572.58774	0.00037	Min II	83
2460573.29002	0.00011	Min I	83
2460573.99259	0.00043	Min II	83
2460574.69539	0.00011	Min I	83
2460575.39856	0.00042	Min II	83
2460576.10061	0.00011	Min I	83
2460576.80447	0.00041	Min II	83
2460577.50607	0.00009	Min I	83
2460578.20880	0.00057	Min II	83
2460578.91156	0.00009	Min I	83
2460579.61471	0.00039	Min II	83
2460580.31684	0.00009	Min I	83
2460581.02088	0.00038	Min II	83
2460581.72222	0.00009	Min I	83
2460582.42536	0.00060	Min II	83
2460583.12754	0.00009	Min I	83
2460583.83053	0.00053	Min II	83
2460585.23637	0.00050	Min II	84
2460585.93878	0.00022	Min I	84
2460587.34391	0.00015	Min I	84
2460588.04705	0.00050	Min II	84
2460588.74928	0.00009	Min I	84
2460589.45281	0.00041	Min II	84
2460590.15463	0.00010	Min I	84
2460591.55997	0.00009	Min I	84
2460592.26377	0.00047	Min II	84
2460592.96546	0.00011	Min I	84
2460593.66906	0.00049	Min II	84
2460594.37089	0.00009	Min I	84
2460595.07454	0.00052	Min II	84
2460595.77632	0.00014	Min I	84
2460597.18157	0.00014	Min I	84
2460597.88459	0.00049	Min II	84
2460598.58659	0.00019	Min I	84
2460599.29015	0.00112	Min II	84
2460599.99229	0.00022	Min I	84
2460600.69515	0.00074	Min II	84
2460601.39768	0.00014	Min I	84
2460602.10005	0.00046	Min II	84
2460602.80329	0.00010	Min I	84
2460603.50569	0.00050	Min II	84
2460604.20883	0.00062	Min I	84
2460604.91168	0.00048	Min II	84
2460605.61403	0.00010	Min I	84
2460606.31696	0.00043	Min II	84
2460607.01933	0.00009	Min I	84
2460607.72301	0.00034	Min II	84
2460608.42489	0.00009	Min I	84
2460609.12788	0.00034	Min II	84
2460609.83017	0.00008	Min I	84

2.2. Işık eğrisi çözümü



Şekil 3. KP And sisteminin, güncel ışık elemanı ile evrelendirilmiş TESS ışık eğrisi

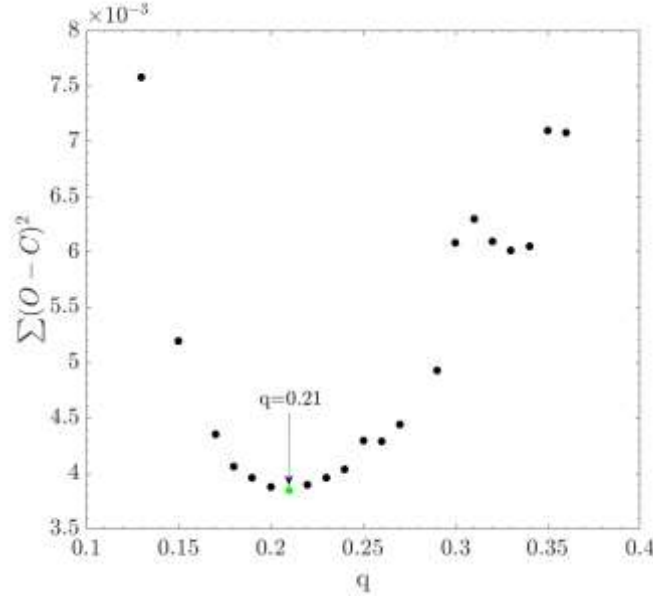
Işık eğrisi analizi Wilson-Devinney yazılımı (Wilson ve Devinney, 1971; Wilson, 2012) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çözümde gözlemlerin yapıldığı filtrenin etkin dalga boyu 786.5nm olarak alınmıştır (Ricker ve ark., 2015). Yıldız atmosferlerini F5 tayf türünden öncekileri ışımsal ve F5 tayf türünden sonrakileri konvektif olarak kabul ederiz. Buna göre; ışımsal ve konvektif atmosfer modelleri için bolometrik çekim kararma katsayıları (g_1 ve g_2) sırasıyla 1.0 ve 0.32 değerlerinde alınmıştır (von Zeipel, 1924; Lucy, 1967). Bileşenlerin bolometrik albedosu (A_1 ve A_2), ışımsal atmosfere sahip yıldız atmosferleri için 1,0'a, konvektif atmosfere sahip yıldız atmosferleri için 0,5 değerine sabitlenmiştir (bkz. Ruciński, 1969). Işık eğrisi analizlerinde, ikinci dereceden kenar kararma kanunu kullanılmış ve kenar kararma katsayıları Claret (2017)'den alınmıştır. Çözümlerde bileşen yıldızların dairesel bir yörüngede ($e = 0$) senkronize olarak döndükleri ($F_1 = F_2 = 0$) kabul edilmiştir.

Sistemin ışık eğrisi çözümü mod 2 ayırık konfigürasyonda yapılmıştır. Bu çözümlerde, evre kayması (ϕ), yörünge eğimi (i), ikinci bileşenin etkin sıcaklığı (T_2), bileşenlerin yüzey potansiyelleri (Ω_1, Ω_2), kütle oranı (q) ve birinci bileşenin ısıtması (L_1) serbest bırakılan parametrelerdir. Üçüncü ışık katkısı parametresi (L_3) çözümlerde ilk olarak serbest bırakılmıştır. Ancak üçüncü cisim kaynaklı bariz bir ışık katkısı tespit edilemediğinden üçüncü ışık katkısı ışık eğrisi çözümlerine dâhil edilmemiştir.

KP And sisteminin ışık eğrisinde maksimum seviyeleri arasında bariz bir fark görülmektedir (Şekil 3). Bu nedenle ışık eğrisi çözümü, ikinci bileşen üzerinde bir tane leke olduğu varsayımı yapılarak, hem sıcak leke hem de soğuk leke varsayımında ayrı ayrı yapılmıştır. Bu nedenle, ışık eğrisi çözümünde ele alınan lekenin yıldız atmosferi üzerindeki enlemi, boylamı, leke yarıçapı ve sıcaklık faktörü serbest bırakılan parametreler arasındadır.

Sistem ile ilgili ne fotometrik ne de tayfsal bir çalışma bulunmadığından baş bileşenin sıcaklığı Tunçel Güçtekin ve ark. (2016) tarafından verilen yöntem kullanılarak tahmin edilmiştir. Bunun için öncelikle sistemin kızıllaşımdan arındırılmış $B - V$ rengi ($(B - V)_0$), Tunçel Güçtekin ve ark. (2016) tarafından verilen yöntem kullanılarak 0.274 ± 0.055 kadir değerinde hesaplanmıştır. Sonrasında, Drilling and Landolt (2000) çalışmasında verilen, kızıllaşımdan arındırılmış $(B - V)_0$ rengi ile sıcaklık kalibrasyonu tablosundan, sisteminin baş bileşeninin sıcaklığı 7451 ± 200 K değerinde hesaplanmış ve çözümde baş bileşen sıcaklığı bu değerde sabit tutulmuştur.

Çözümüne başlanmadan önce sistemin fotometrik kütle oranı taraması da yapılmıştır. Kütle taraması işleminde sistemin ışık eğrisi, yukarıda serbest bırakılan parametrelerden sadece kütle oranı parametresi sabit kütle oranı (q) değerleri için sabit tutularak çözülmüştür. Çözümlerde en küçük $\sum(O - C)^2$ değerine ikinci bileşen üzerinde bir tane soğuk leke olduğu varsayımı altında ulaşılmıştır. Bu nedenle ışık eğrisi çözümünde, ikinci bileşen üzerinde bir tane soğuk leke olduğu kabul edilmiştir. Çözümlerden elde edilen kütle oranı (q) - $\sum(O - C)^2$ diyagramı Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. KP And sistemi için kütle taraması işlemi sonucu elde edilen kütle oranı (q) - $\sum(O - C)^2$ diyagramı

Şekil 4'ten görüldüğü üzere en küçük $\sum(O - C)^2$ değerine $q = 0.21$ değerinde ulaşılmıştır. Bu nedenle çözüm esnasında kütle oranı bu değerde alınıp serbest parametre olarak bırakılmıştır. Işık eğrisi çözümlerinden elde edilen parametreler Tablo 3'de verilmiştir. Çözüm sonucu elde edilen teorik fit Şekil 5'te sunulmuştur. Binary Maker programına (Bradstreet ve Steelman, 2002) ışık eğrisi çözümü sonucu elde edilen geometrik parametre değerleri girilerek sistemin Roche geometrisi elde edilmiştir ve Şekil 6'da sunulmuştur.

Şekil 6'dan görüldüğü üzere, ikinci bileşen Roche lobunu neredeyse doldurmuştur. Bu durumda sistemin ışık eğrisi Mod5 yarı-ayrık konfigürasyonda da tekrar çözülmüş ancak bu çözüm sonrası elde edilen $\sum(O - C)^2$ değerinin Mod2 ayrık konfigürasyon çözümünden elde edileninkinden neredeyse 5 kat daha büyük olduğu görülmüştür. Bu nedenle sistemin ayrık ancak ikinci bileşenin kendi Roche lobunu doldurmaya yakın olduğu sonucuna varılmıştır.

Şekil 4'ten görüldüğü üzere en küçük $\sum(O - C)^2$ değerine $q = 0.21$ değerinde ulaşılmıştır. Bu nedenle çözüm esnasında kütle oranı bu değerde alınıp serbest parametre olarak bırakılmıştır. Çözüm sonucu elde edilen teorik fit Şekil 5'te sunulmuştur. Binary Maker programına (Bradstreet ve Steelman, 2002) ışık eğrisi çözümü sonucu elde edilen geometrik parametre değerleri girilerek sistemin Roche geometrisi elde edilmiştir ve Şekil 6'da sunulmuştur.

Tablo 3. KP And sisteminin ışık eğrisi çözümü sonucu elde edilen parametreler

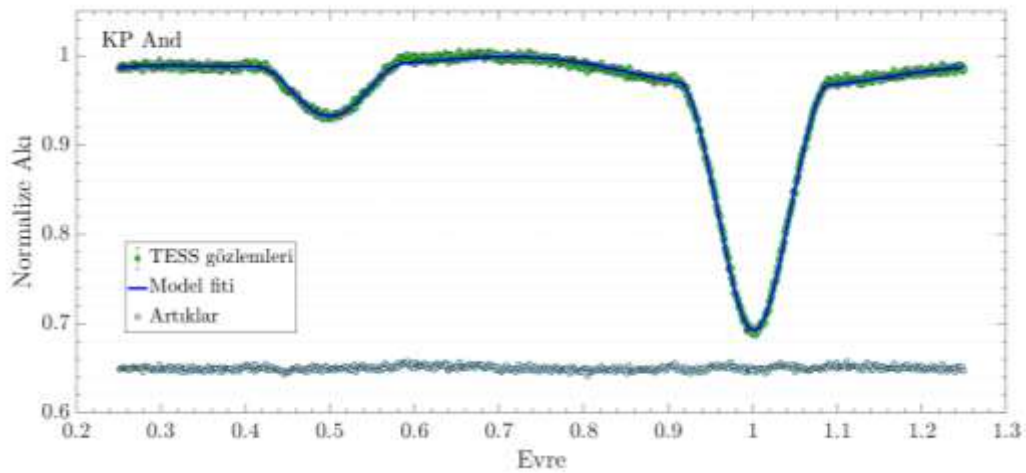
Parametre	Değer
ϕ	0.0012(5)
i (derece)	75.90(12)
T_1 (K)	7451(200)
T_2 (K)	4177(125)
$q (= M_2 / M_1)$	0.215(7)
Ω_1	3.307(9)
Ω_2	2.370(8)
r_1 (hacim)	0.330(7)
r_2 (hacim)	0.233(8)
L_1 / L_{Toplam}	0.943(9)
L_2 / L_{Toplam}	0.057
Leke parametreleri	
Enlem (derece)	98(10)
Boylam (derece)	89(13)
Leke yarıçapı (derece)	27(5)
T_{leke} / T_2	0.70(10)
$\sum(O - C)^2$	0.0038

3. Bulgular ve Tartışma

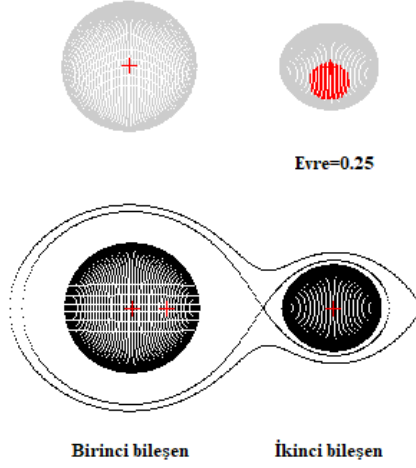
Sistemin Tablo 3’de verilen geometrik parametreleri kullanılarak mutlak parametre değerleri tahmin edilmiş ve Tablo 4’te verilmiştir.

Baş bileşen kütlesi, Drilling ve Londolt (2000) çalışmasında Tablo 15.7 ve 15.8 de verilen ana kol yıldızlarının renk ölçeği, etkin sıcaklık, kütle ve tayf türü kalibrasyonları kullanılarak ara değer hesabı ile hesaplanmıştır. Hesaplanan kütlelerin %10’u hata payı olarak kabul edilmiştir. İkinci bileşenin kütlesi (M_2), Tablo 3’de verilen fotometrik kütle oranı kullanılarak hesaplanmıştır.

Bileşenlerin yarıçapları ($R_{1,2}$), Tablo 3’te verilen kesirsel yarıçaplar ($r_{1,2}=R_{1,2}/A$) kullanılarak hesaplanmıştır. Yarı büyük eksen uzunluğu (A) Kepler’in üçüncü kanunu kullanılarak hesaplanmıştır. Bileşenlerin bolometrik parlaklıkları ($M_{1,2\ bol}$) ve yüzey çekimleri ($\log g_{1,2}$), Pecaute ve Mamajek (2013) tarafından verilen güneşin etkin sıcaklığı (5771.8(7)K), güneşin bolometrik parlaklığı (4.7554(4) kadir) ve güneşin yüzey çekim (27423.2(7.9) cm/s²) değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 5. KP And sisteminin ışık eğrisi analizi sonucu elde edilen teorik model fiti ve çözümünden elde edilen artıklar



Şekil 6. KP And sisteminin ışık eğrisi çözüm parametreleri kullanılarak elde edilen Roche geometrisi

Tablo 4. KP And sisteminin bu çalışmada hesaplanan mutlak parametreleri

Parametre	Değer	
Parametre	Birinci Bileşen	İkinci Bileşen
$A(R_{\odot})$	6.68(13)	
$M_{1,2}(M_{\odot})$	1.67(17)	0.36(10)
$R_{1,2}(R_{\odot})$	2.20(14)	1.56(26)
$\log g_{1,2}$ (cgs)	3.97(10)	3.61(9)
$M_{1,2\ bol}$ (kadir)	1.92(23)	5.18(68)
$BC_{1,2\ TESS}$ (kadir)	0.20(2)	0.67(6)
$M_{1,2\ TESS}$ (kadir)	1.71(31)	4.51(57)
$A_{d,TESS}(b)$ (kadir)	0.29(6)	
m_{TESS} (sistem) (kadir)	11.7709 ^(a)	
M_{TESS} (sistem) (kadir)	1.63(26)	
d (pc)	933(157)	
$d_{Gaia\ DR3}$ (pc)	1002	

^(a)TESS veri tabanından (mast.stsci.edu) alınmıştır.

Bileşenlerin mutlak TESS bandı parlaklıkları ($M_{1,2\ TESS}$), $M_{1,2\ TESS} = M_{1,2\ bol} - BC_{1,2\ TESS}$ denkleminden hesaplanmıştır. Bu denklemde yer alan bileşen yıldızların bolometrik düzeltme katsayıları ($BC_{1,2\ TESS}$), Eker ve Bakış (2023) makalesindeki (4) denklemi kullanılarak hesaplanmıştır. d uzaklığındaki sistemlerin yıldızlararası soğurma katsayısı ($A_{d,TESS}$), Eker ve Bakış (2023) tarafından aşağıda verilen denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$A_{d,TESS}(b) = 1.940(2)E_d(B - V) \quad (3)$$

(3) denkleminde görülen $E_d(B - V)$ renk artışı terimini hesaplamak için, d uzaklığındaki sistemin yıldızlararası soğurma katsayısı ($A_{d,V}$), Bahcall ve Soneira (1980) tarafından verilen aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$A_{d,V}(b) = A_{\infty,V}(b) \left[1 - \exp\left(-\frac{|d \sin b|}{125}\right) \right] \quad (4)$$

(4) denkleminde yer alan $A_{\infty,V}(b)$ terimi, b galaktik enleminde yer alan kaynağın V filtresindeki toplam sönüm katsayısı, NASA Extragalactic Database veri tabanı kullanılarak Schlafly ve Finkbeiner (2011)'den alınmıştır. $A_{d,V}(b)=0.46(12)$ kadir olarak hesaplanmış ve $E_d(B - V) = A_{d,V}(b)/3.1 = 0.15(4)$ kadir değeri elde edilmiştir. $E_d(B - V) = 0.15(4)$

kadir değerini (3) denkleminde yerine koyduğumuzda $A_{d,TESS}(b) = 0.29(6)$ kadir değerinde elde edilmiştir.

Sistemin TESS bandındaki görsel parlaklığı (m_{TESS} (sistem)) TESS veri tabanından (mast.stsci.edu) alınmıştır. Sistemin TESS abndındaki mutlak görsel parlaklıkları (M_{TESS} (sistem)) ise bileşen yıldızların mutlak görsel parlaklıkları ($M_{1,2,TESS}$) kullanılarak aşağıdaki denklemden hesaplanmıştır.

$$M_{TESS}(\text{sistem}) = -2.5 \log_{10}(10^{-0.4M_{1,TESS}} + 10^{-0.4M_{2,TESS}}) \quad (5)$$

Son olarak, sistemin uzaklığı (d), aşağıda verilen uzaklık modülü formülünden 933(157)pc olarak hesaplanmıştır. Bu değer Gaia DR3 (Mowlavi ve ark., 2023) verilen 1002 pc uzaklık değeri ile uyumlu görülmektedir.

$$d = 10^{\frac{m_{TESS}(\text{sistem}) - M_{TESS}(\text{sistem}) + A_{d,TESS}(b)}{5}} \quad (6)$$

4. Sonuç

Bu çalışmada KP And sisteminin mutlak parametrelili, fotometrik analiz sonucu elde edilen geometrik parametreler kullanılarak tahmin edilmiştir. Mutlak parametrelerin duyarlı olarak elde edebilmek ve bileşenlerin evrim durumlarını detaylı olarak inceleyebilmek için sistemlerin ileride yapılacak olan duyarlı tayfsal gözlemlerine ihtiyaç vardır.

Yazarların Katkı Beyanı

Yazarlar makaleye eşit katkıda bulunduklarını, makalenin yayına hazır son halini gördüklerini/okuduklarını ve onayladıklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Tüm yazarlar, bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi (ÇOMÜ) Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi tarafından Proje Kodu: FHD-2023-4527 altında desteklenmiştir. Çalışmada, (Space Telescope Science Institute; STScI) MAST veri arşivinden elde edilen TESS gözlemleri kullanılmıştır.

Kaynaklar

- Avvakumova, E.A., Malkov, O.Y., Kniazev, A.Y., 2013. Eclipsing variables: Catalogue and classification. *Astronomische Nachrichten*, 334(8): 860.
- Bahcall, J.N., Soneira, R.M., 1980. The universe at faint magnitudes, I. Models for the galaxy and the predicted star counts. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 44: 73–110.
- Barberá, R., 1996. AVE. (www.astrogea.org/soft/ave/introave.htm), (Erişim Tarihi: 15.02.2025).
- Bradstreet, D.H., Steelman, D.P., 2002. AAS 201, id. 75.02.
- Claret, A., 2017. Limb and gravity-darkening coefficients for the TESS satellite at several metallicities, surface gravities, and microturbulent velocities. *Astronomy and Astrophysics*, 600: A30.
- Cruzalèbes, P., Petrov, R.G., Robbe-Dubois, S., Varga, J., Burtscher, L., Allouche, F., ... & Schertl, D., 2019. A catalogue of stellar diameters and fluxes for mid-infrared interferometry. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 490(3): 3158-3176.

- Drilling, J.S., Landolt, A.U., 2000. Allen's Astrophysical Quantities (4th. edn.). Springer, New York.
- Eker, Z., Bakış, V., 2023. Testing multiband (G, GBP, GRP, B, V, and TESS) standard bolometric corrections by recovering luminosity and radii of 341 host stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 523(2): 2440.
- Heinze, A.N., Tonry, J.L., Denneau, L., Flewelling, H., Stalder, B., Rest, A., ... & Weiland, H., 2018. A first catalog of variable stars measured by the asteroid terrestrial-impact last alert system (ATLAS). *The Astronomical Journal*, 156(5): 241.
- Kochanek, C.S., Shappee, B.J., Stanek, K.Z., 2017. The all-sky automated survey for supernovae (ASAS-SN) light curve server v1.0. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 129(980): 104502.
- Lucy, L.B., 1967. Gravity-darkening for stars with convective envelopes. *Zeitschrift für Astrophysik*, 65: 89–92.
- Meng, Z.B., Wu, P.R., Yu, Y.X., Hu, K., Xiang, F.Y., 2024. OO Leo: An active contact binary with possible solar-like differential rotation. *The Astrophysical Journal*, 971(1): 113.
- Mowlavi, N., Holl, B., Lecoœur-Taïbi, I., Barblan, F., Kochoska, A., Prša, A., ... & Eyer, L., 2023. Gaia data release 3-the first gaia catalogue of eclipsing-binary candidates. *Astronomy & Astrophysics*, 674: A16.
- Pecaut, M.J., Mamajek, E.E., 2013. Intrinsic colors, temperatures, and bolometric corrections of pre-main-sequence stars. *Astrophysical Journal Supplement Series*, 208(1): 9.
- Ricker, G.R., Winn, J.N., Vanderspek, R., 2015. Transiting exoplanet survey satellite (TESS). *Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems*, 1(1): 014003.
- Ruciński, S.M., 1969. The proximity effects in close binary systems. II. The bolometric reflection effect for stars with deep convective envelopes. *Acta Astronomica*, 19: 245-255.
- Schlafly, E.F., Finkbeiner, D.P., 2011. Measuring reddening with sloan digital sky Survey stellar spectra and recalibrating SFD. *The Astrophysical Journal*, 737(2): 103.
- Shappee, B.J., Prieto, J.L., Grupe, D., 2014. The man behind the curtain: X-Rays drive the UV through NIR variability in the 2013 active galactic nucleus outburst in NGC 2617. *Astrophysical Journal*, 788(1): 48.
- Šebek, F., Walter, F., Wolf, M., 2022. A photometric study of V608 Cam: apparent period changes as a result of surface activity. *New Astronomy*, 97: 101879.
- Tunçel Güçtekin, S., Bilir, S., Karaali, S., Ak, S., Ak, T., Bostancı, Z.F., 2016. Metallicity calibration and photometric parallax estimation: I. UBV photometry. *Astrophysics and Space Science*, 361(6): 18.
- von Zeipel, H., 1924. The radiative equilibrium of a rotating system of gaseous masses. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 84: 665–683.
- Wilson, R.E., 2012. Spotted star light curves with enhanced precision. *The Astronomical Journal*, 144(3): 73.
- Wilson, R.E., Devinney, E.J., 1971. Realization of accurate close-binary light curves: Application to MR Cygni. *Astrophysical Journal*, 166: 605–619.

EJONS

Uluslararası Matematik, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi
International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences

Research Article

e-ISSN: 2602 - 4136

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17941580>

GT Eri'nin Tayfsal ve Fotometrik Veri Analizi

Derya SÜRGİT ^{*1,2}, Aşlı BOLAT ^{1,2}

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Astrofizik Araştırma Merkezi ve Ulupınar Gözlemevi, Çanakkale, Türkiye

² Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Fakültesi, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü, Çanakkale, Türkiye

Sorumlu Yazar Email: dsurgit@comu.edu.tr

Makale Tarihçesi

Geliş: 01.10.2025

Kabul: 31.10.2025

Anahtar Kelimeler

Örten Çift Yıldızlar,
Tayf,
Mutlak Parametre,
GT Eri

Özet: Bu çalışmada Güney yarımküre gökyüzünden seçilen, Algol türü çift yıldız GT Eri'nin fotometrik ve tayfsal gözlem veri analizi sunulmuştur. GT Eri çift sisteminin tayfsal gözlemleri, 2012-2013 ve 2022 gözlem sezonu içerisinde Güney Afrika Astromi Gözlemevi'nde (South Africa Astronomical Observatory, SAAO), 1,9 m Cassegrain teleskobu ve buna bağlı SITE ve SpUpNIC CCD kamera ile slit (grating) tayf çekeri kullanılarak yapılmıştır. GT Eri çift sisteminin fotometrik analizi için TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) verisi kullanılmıştır. Seçilen sistemin tayfsal gözlem verilerinin indirgenmesi ve baş bileşenin dikine hız eğrisinin elde edilmesinde IRAF yazılımı içinde yer alan paketler kullanılmıştır. GT Eri'nin fotometrik veri analizinde Wilson-Devinney yöntemi kullanılmıştır. Çift sistemin fotometrik ve tayfsal veri analiz sonuçları birleştirilerek çift sistemin mutlak parametreleri belirlenmiş ve evrim durumları yorumlanmıştır.

Spectroscopic and Photometric Data Analysis of GT Eri

Article Info

Received: 01.10.2025

Accepted: 31.10.2025

Keywords

Eclipsing Binary
Stars,
Spectroscopy,
Absolute Parameters,
GT Eri

Abstract: In this study, the photometric and spectroscopic observational data analysis of the Algol-type binary system GT Eri, selected from the southern hemisphere sky, is presented. The spectroscopic observations of GT Eri were carried out during the 2012–2013 and 2022 observing seasons at the South African Astronomical Observatory (SAAO), using the 1.9 m Cassegrain telescope equipped with SITE and SpUpNIC CCD cameras and a slit (grating) spectrograph. For the photometric analysis of GT Eri, data from the Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) were used. The spectroscopic data reduction and the determination of the radial velocity curve of the primary component were performed using the packages available within the IRAF software. The photometric analysis of GT Eri was done with the Wilson–Devinney method. By combining the results of the photometric and spectroscopic data analyses, the absolute parameters of the binary system were determined, and its evolutionary status was interpreted.

1. Giriş

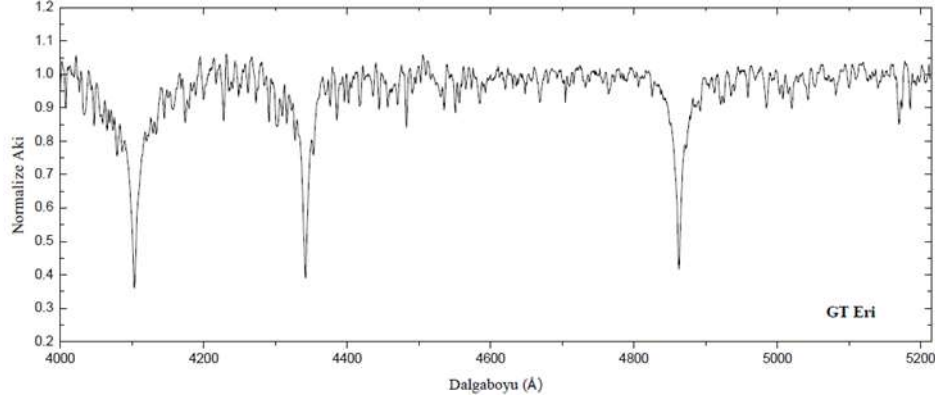
GT Eri ($V = 8,59$ mag, HD 25925 = CPD-31 486 = TYC 7030-1540-1 = Gaia DR3 4883981932768909568), ilk olarak Houk (1982)'nin katalog çalışmasında F0V tayf türünden bir sistem olarak kaydedilmiştir. Daha sonra sistem Henry Draper (HD) kataloğunda Cannon ve Pickering (1993) ve Kazarovets ve ark. (1999)'nın değişen yıldızlar kataloğunda yer almıştır. Sistemin tayf türü F0V ve parlaklık genliği 0,42 mag, Hp bandında 8,618 ile 9,03 mag arasında değişen bir yıldız olarak kaydedilmiştir (Perryman ve ark., 1997). Sistemin yörünge dönemi, Pojmanski (2002) tarafından 0.901378 gün olarak belirlenip ASAS kataloğunda yer almıştır. Soyduğan ve ark. (2006), Hipparcos verilerinden seçilen ve pulsasyon gösteren aday örten çift yıldızlardan biri olarak listelemişlerdir. Sistem, Malkov ve ark. (2006), Mc Donald ve ark. (2012) ve Avakumova ve ark. (2013) gibi birçok katalog çalışmasında örten çift yıldız olarak kaydedilmiştir. TESS uydu gözlemlerinin yapıldığı ve GT Eri'nin de içerisinde olduğu yaklaşık 4584 örten çift yıldızdan oluşan bir katalog çalışmasında listelenmiştir (Prsa ve ark., 2022). Son olarak GT Eri, TESS verilerine göre yeni pulsasyon gösteren aday yıldızlar kataloğunda yer verilmiştir (Shi ve ark., 2022). Sisteme ilişkin geçmişten günümüze literatürde herhangi bir detaylı fotometrik ve tayfsal çalışma bulunmadığı ve ihmal edildiği için hedef yıldız olarak seçilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Tayfsal gözlemler ve veri indirgemesi

GT Eri'nin ilk tayfsal gözlemleri 2012-2013 gözlem sezonu içerisinde Güney Afrika Astromi Gözlemevi'nde (South Africa Astronomical Observatory, SAAO), 1,9 m Cassegrain teleskobu ile buna bağlı SITE CCD kamera ve slit (grating) tayf çekeri kullanılarak yapılmıştır. GT Eri'nin 2012-2013 gözlem sezonunda toplam 15 adet tayf verisi elde edilmiştir. GT Eri'nin tayfsal gözlemleri yapılırken aynı zamanda tayf türüne yakın HD 693 (F8V, $V_r = 14,92$ km/s) standart yıldız olarak gözlenmiştir. Daha sonra sistemin 2022 gözlem sezonu içerisinde Güney Afrika Astronomi Gözlemevi'nde (SAAO) yer alan 1,9 m ayna çaplı Cassegrain türü teleskop ve bu teleskoba bağlı SpUpNIC CCD kamera ve slit tayf çekeri kullanılarak yeni tayfsal gözlem verisi elde edilmiştir. 2022 gözlem sezonu içerisinde GT Eri için 7 adet yeni tayfsal gözlem veri elde edilmiştir. Böylece GT Eri'nin tayfsal veri analizinde toplam 22 adet gözlem verisi kullanılmıştır. GT Eri çift sisteminin tayfsal gözlem verisine ilişkin örnek Şekil 1'de verilmiştir.

Tüm tayfsal gözlemler sırasında sistemin parlaklığına ve hava koşullarına bağlı olarak ortalama 1000-1500 s arasında poz süresi verilmiştir. Gözlem süresi boyunca her bir yıldız görüntüsünün öncesinde ve sonrasında Cu/Ar lambası, mukayese tayfı olarak alınmıştır. Ayrıca her gece ortalama 10 adet BIAS ve FLAT düzeltmesi için beyaz ışık görüntüsü alınmıştır. Elde edilen tayfsal gözlem verilerinin indirgeme ve veriye dönüştürme aşamasında IRAF yazılımının (iraf.noao.edu/) içinde yer alan tasklar kullanılmıştır. Tüm gözlem verisinin indirgeme aşamasının ardından dalga kalibrasyonu ve normalizasyonları yapılmıştır. Daha sonra normalize edilmiş verinin dikine hız ölçümlerinin yapılması için IRAF'ın içinde yer alan FXCOR taskı (Tonry ve Davis, 1979; Popper ve Jeong, 1994) kullanılmıştır.



Şekil 1. GT Eri'nin 4000-5215 Å dalgaboyu aralığında elde edilen tayfına örnek gözlem verisi.

3. Bulgular ve Tartışma

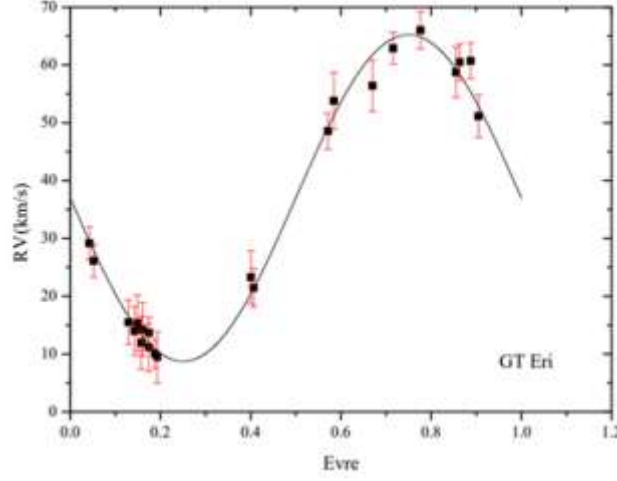
3.1. Dikine hız eğrisi ve yörünge çözümü

GT Eri çift sisteminin dikine hız ölçümü, IRAF'ın içinde yer alan FXCOR taskı (Tonry ve Davis, 1979; Popper ve Jeong, 1994) kullanılarak çapraz-korelasyon yöntemi ile yapılmıştır. GT Eri'nin dikine hız ölçümünde, tayfsal gözlemler sırasında standart yıldız olarak gözlenen HD 693 (F8V, $V_r = 14,81 \text{ km s}^{-1}$) mukayese tayfı olarak kullanılmıştır. Sistemin dikine hız ölçümünde özellikle 4000-5250 Å aralığında baskın olarak görülen soğurma çizgisi MgII (4481 Å) kullanılmıştır. Ancak GT Eri'nin ikinci bileşenin ışıınma katkısının çok düşük olması sebebiyle sadece baş bileşene ait dikine hız değerleri okunabilmiştir. GT Eri'nin baş bileşeninin çapraz-korelasyon yöntemi ile edilen dikine hız değerlerinden, Teodor Pribulla (<http://www.astro.sk/~pribulla/soft.html>) tarafından geliştirilen ELEMEDR77 (Win/Dos versiyonu) yazılımı kullanılarak tayfsal yörünge çözümü yapılmış ve sistemin tayfsal yörünge parametreleri tahmin edilmiştir.

Analiz sırasında, yörünge dönemi (P_o) sabit tutulmuş, sistemin yörüngesi çember kabul edilerek basıklık ($e=0$) ve enberinin boylamı ($w=90^\circ$) olarak sabit alınmıştır. Baş bileşenin yarı genliği K_1 , tutulma başlangıç zamanı T_0 ve ortak kütle merkezinin hızı V_γ serbest bırakılmıştır. GT Eri'nin elde edilen tayfsal yörünge parametreleri ve hataları Tablo 1'de verilmiştir. GT Eri'nin baş bileşenine ait dikine hız eğrisi ve yapılan en iyi teorik fit hata çubukları ile Şekil 2'de gösterilmiştir. GT Eri'nin baş bileşenine ait dikine hız değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. GT Eri'nin tayfsal yörünge parametreleri.

Parametreler	Sonuçlar
$P_{orb}(\text{gün})$	0.9013780(sabit)
$T_0 \text{ (HJD)}$	2458442.1733 (± 0.0041)
$K_1 \text{ (km s}^{-1}\text{)}$	28.26 (± 0.68)
e	0.00
V_γ	36.98 (± 0.53)
$a_1 \text{ sini (AU)}$	0.0023 (± 0.0004)
$f(m)(M_\odot)$	0.0021 (± 0.0002)



Şekil 2. GT Eri sisteminin ölçülen dikine hızları ve en iyi fit.

Tablo 2. GT eri'nin birinci bileşenine ait dikine hız değerleri ve hataları

Gözlem Zamanı (HJD)	Evre Φ	RV_1 (km s^{-1})	σ_1
2459855.5724	0.043	29.16	5.8
2459855.5809	0.052	26.09	5.8
2456340.2761	0.129	15.47	3.8
2456340.2886	0.143	13.97	4.2
2459857.4709	0.149	15.37	4.8
2456340.3017	0.157	11.94	4.6
2459857.4814	0.160	14.27	4.7
2456340.3164	0.174	11.15	4.1
2459857.4937	0.174	13.63	5.7
2459857.5060	0.188	10.03	4.5
2456340.3338	0.193	9.45	4.4
2456287.3398	0.401	23.27	4.6
2459851.5541	0.585	53.78	4.9
2456225.3873	0.670	56.39	4.4
2459851.5541	0.585	53.78	4.9
2456225.3873	0.670	56.39	4.4
2456225.4284	0.716	62.89	5.8
2459853.5298	0.777	66.00	3.2
2459854.5021	0.855	58.75	4.4
2456226.4629	0.863	60.48	3.2
2456226.4849	0.888	60.71	3.1
2456226.5007	0.905	51.13	3.7

3.2. TESS fotometrik gözlem veri analizi

GT Eri'nin fotometrik analizi için TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) uydusunun veri tabanında bulunan sektör 4, 5 ve 31 verileri kullanılmıştır. Bu sektörler sırasıyla sektör 4 verisi 1800 s'lik poz süresi için (2018-10-19 10:20:41 ve 2018-11-15 10:20:41) gözlem zaman aralığında, sektör 5 verisi 1800 s'lik poz süresi için (2018-11-15 11:51:04 ve 2018-12-12 11:51:04) gözlem zaman aralığında ve sektör 31 verisi 600 s'lik poz süresi için (2020-10-22 00:30:17 ve 2020-11-18 00:30:17) gözlem zaman aralığında elde edilmiştir. GT Eri'nin için kullanılan TESS verileri Mikulski Uzay Teleskopları Arşivi (MAST, <https://archive.stsci.edu/>) veri tabanından alınmıştır. Bu veri tabanından alınan veriler normalize akıya dönüştürülerek ışık eğrileri oluşturulmuştur. GT Eri'nin fotometrik analizi için sadece sektör 5 verisi kullanılmıştır. GT Eri'nin TESS ışık eğrisinin analizi için

Wilson-Devinney (Wilson ve Devinney, 1971) yöntemi kullanılmıştır. Fotometrik analizin ilk adımında GT Eri'nin baş bileşenin sıcaklık tahmini yapılmıştır. GT Eri'nin baş bileşenin (T_1) sıcaklığının belirlenmesinde üç farklı yol izlenmiştir:

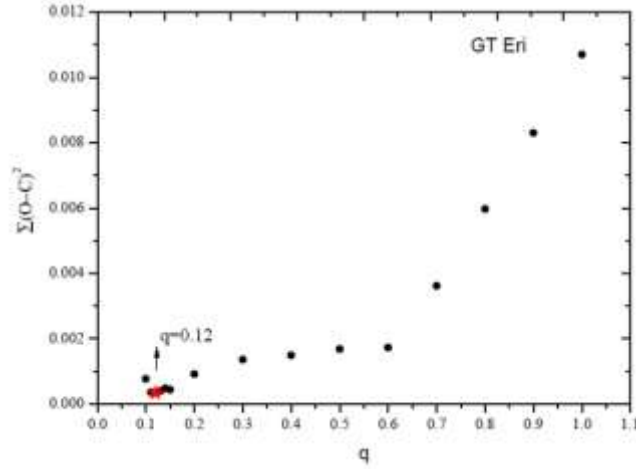
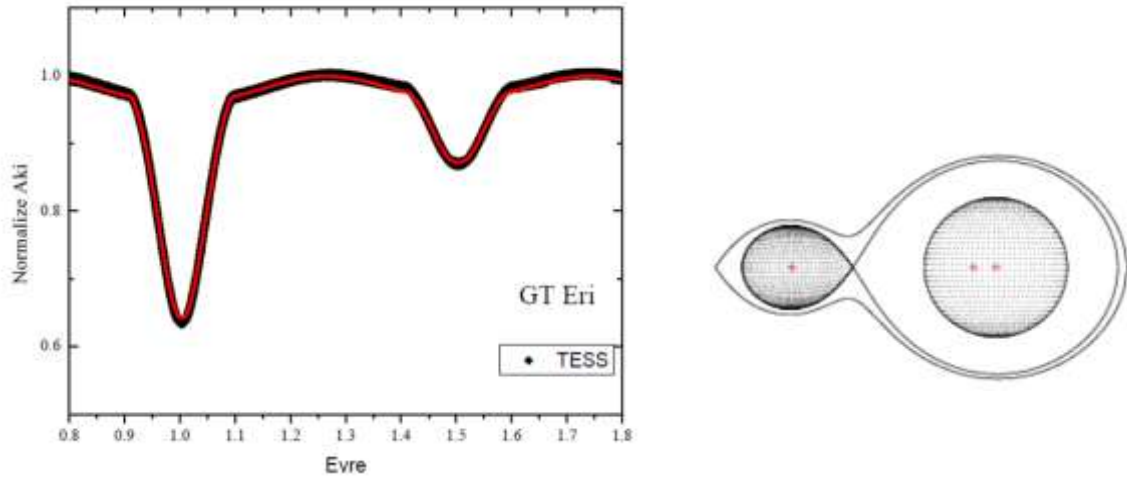
İlk yöntem olarak SIMBAD (<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>) veri tabanında verilen F0V tayf türüne göre baş bileşenin sıcaklığı, Drilling ve Landolt (2000)'un anakol yıldızları için belirlemiş olduğu fiziksel parametre, tayf türü, renk ölçeği ve etkin sıcaklık kalibrasyonlarından 7300 K olarak tahmin edilmiştir. İkinci yöntem olarak SIMBAD'ta belirtilen B ve V parlaklık değerleri kullanılarak birinci bileşenin etkin sıcaklığının bulunması için yıldızlararası kızıllaşmanın ve uzaklığın etkisi dikkate alınarak kızıllaşmamış renk ölçeği $(B-V)_0$ değeri hesaplanarak sıcaklık tahmini yapılmıştır. GT Eri'nin hesaplanan $(B-V)_0$ renk ölçeği 0,304 mag değeri dikkate alınarak Pecaut ve Mamajek (2013)'ün kalibre edilmiş verilerinden sistemin baş bileşenin sıcaklığı (T_1) 7200 K olarak tahmin edilmiştir. Daha sonra literatürde verilen GAIA 3 veri tabanına göre baş bileşenin sıcaklığı (T_1) 7000 K ve GAIA 2 veri tabanına göre baş bileşenin sıcaklığı (T_1) 7099 K olarak belirlenmiştir. Farklı yöntemlerden belirlenen sıcaklık değerleri dikkate alındığında ve yapılan analizler sonucunda sistemin baş bileşenin sıcaklığı (T_1) 7300 K olarak kabul edilip analizlere devam edilmiştir. Analiz aşamasında sistem Algol türü yarı ayırık bir sistem olduğu düşünüldüğü için MODE5 yöntemine göre çözülmüştür.

Analiz sırasında baş bileşen sıcaklığı bu değerde sabit tutulmuştur. Yapılan sıcaklık tahmini sonucu baş bileşenin sıcaklığı $T_1 > 7200$ K ve ikinci bileşen için $T_2 < 7200$ K olarak hesaplanmasından dolayı sistemin birinci bileşenin radyatif, ikincinin ise konvektif ışıma yaptığı kabul edilmiştir. Dolayısıyla bileşenlerin çekim kararması katsayıları $g_1=1,0$, $g_2=0,32$ (Lucy, 1967) ve bolometrik albedoları $A_1=1,0$, $A_2=0,5$ (Rucinski, 1969) olarak kabul edilmiştir. Işık eğrisi analizlerinde, ikinci dereceden kenar kararma kanunu kullanılmış ve kenar kararma katsayıları Claret (2017)'den alınmıştır. GT Eri'nin yörüngesi çember ($e=0$) ve eş dönme ($F_1=F_2$) yaptığı varsayılmıştır.

Analiz sırasında serbest bırakılan parametreler: yörüngenin eğimi (i), ikinci bileşenin etkin sıcaklığı (T_2), birinci bileşenin boyutsuz yüzey potansiyeli (Q_1), bileşenlerin kütle oranı (q), birinci bileşenin ısıtması (L_1) ve üçüncü bileşenin ısıtması (L_3) da çözüm yaparken serbest bırakılmıştır. Çözümler sırasında sistemin fotometrik kütle oranı yaklaşık olarak $\sim 0,12$ olarak belirlenmiştir. Ancak GT Eri'nin literatürde verilen herhangi bir tayfsal kütle oranı olmadığı için elde edilen fotometrik kütle oranının doğruluğunu denetlemek için kütle taraması yapılmıştır. WD kodu ile MODE5'e göre kütle oranı 0,1'den başlayarak kütle oranı 1,0 arasında elde edilen kütle değerlerine göre artıkların karesinin ağırlıklı toplamlarındaki $[\Sigma W(O-C)^2]$ değişimler elde edilmiştir. Kütle taramasına göre sistemin fotometrik kütle oranı yaklaşık $\sim 0,123$ civarında olduğu görülmüştür. GT Eri için yapılan kütle taramasına ilişkin grafik Şekil 3'de verilmiştir. Daha sonra GT Eri'nin sektör 5'teki TESS ışık eğrisinin çözümünde nihai sonuca ulaşılmıştır. Elde edilen WD sonuçlarına göre sistemin bileşenlerinin Roche geometrisi BinaryMaker3 kullanılarak oluşturulmuştur. Sentetik modelde kullanılan parametreler Tablo 3'de, gözlem noktaları ve sentetik ışık eğrisi modeli ve Roche geometrileri Şekil 4'de verilmiştir.

Tablo 3. GT Eri'nin WD yöntemine göre sentetik ışıık eğrisi model parametreleri.

Parametre	TESS
$T_0(\text{BJD})$	2458442.099
$P(\text{gün})$	0.9013780
$\Delta\phi$	0.0032(± 0.0001)
i (derece)	81.79(± 0.13)
T_1 (K)	7300
T_2 (K)	4919(± 258)
$q_{\text{corr}}=M_2/M_1$	0.123(± 0.002)
Ω_1	3.065(± 0.007)
Ω_2	2.029
r_1 (ortalama)	0.35(± 0.01)
r_2 (ortalama)	0.22(± 0.01)
$L_1/(L_1+L_2)$	0.878(± 0.008)
$L_2/(L_1+L_2)$	0.105(± 0.008)
l_3	0.013(± 0.008)
$\Sigma W(O-C)^2$	0.0003148

**Şekil 3.** GT Eri'nin WD yöntemine göre kütle taramasının $[\Sigma W(O-C)^2]$ değişimi.**Şekil 4.** (sol panel) GT Eri'nin TESS gözlem verileri (siyah) ve WD parametrelerinden üretilen sentetik ışıık eğrisi (kırmızı), (sağ panel) GT Eri'nin WD sonuç parametrelerine göre Roche modeli.

4. Sonuç

GT Eri çift sisteminin TESS veri tabanından yer alan sektör 4, 5 ve 31 verisi, evreye karşı normalize akıya dönüştürülerek fotometrik analiz için uygun hale getirilmiştir. Fotometrik analizler sırasında sadece sektör 5 verisi kullanılmıştır. TESS ışık eğrisi, Wilson-Devinney yöntemi kullanılarak MODE5'te Algol türü yarı ayırık çift yıldız modeline göre çözülmüş ve sistemin fotometrik model parametreleri belirlenmiştir.

GT Eri çift yıldızının tayfsal gözlemleri 2012 gözlem sezonu içerisinde Güney Afrika Astromi Gözlemevi'nde (South Africa Astronomical Observatory, SAAO), 1,9 m Cassegrain teleskobu ve buna bağlı SITE CCD kamera ile slit (grating) tayf çeker ile alınmıştır. 2012-2013 gözlem sezonu içerisinde toplam 15 adet tayf verisi elde edilmiştir. Daha sonra GT Eri çift yıldızının yeni tayfsal gözlem verileri, 2022 gözlem sezonu içerisinde Güney Afrika Astronomi Gözlemevi'nde (SAAO) yer alan 1,9 m ayna çaplı Cassegrain türü teleskop ve bu teleskoba bağlı SpUpNIC CCD kamera ve slit tayf çeker kullanılarak 7 adet gözlem verisi elde edilmiştir. Böylece elde edilen toplam 22 adet gözlem verisi, IRAF'ın içinde yer alan FXCOR taskı (Tonry ve Davis, 1979; Popper ve Jeong, 1994) kullanılarak çapraz-korelasyon yöntemi ile baş bileşenin dikine hız eğrisi elde edilmiştir.

Sistemin ikinci bileşenin toplam ışıma katkısı oldukça düşük olduğu ve tayfta görülmediği için sadece baş bileşene ait dikine hız değerleri okunabilmiştir. Bu okunan hız değerlerinden, Teodor Pribulla (<http://www.astro.sk/~pribulla/soft.html>) tarafından geliştirilen ELEMDR77 (Win/Dos versiyonu) yazılımı kullanılarak sistemin tayfsal yörünge çözümü yapılmış ve sistemin tayfsal yörünge parametreleri elde edilmiştir. Böylece GT Eri'nin tayfsal yörünge çözümünden kütle fonksiyonu $0,0021(\pm 0,0002)$ olarak hesaplanmıştır. Daha sonra tek çizgili çift yıldızların kütle fonksiyonu ile kütle oranı arasındaki bağıntıyı içeren denklemden (bkz. Hilditch, 2001) sistemin kütle oranı tahmini ve dolayısıyla bileşenlerin kütle tahmini yapılmıştır. Böylece belirlenen kütle fonksiyonuna göre sistemin kütle oranı, 0,12 hesaplanmıştır. Ayrıca sistemin fotometrik çözümünden kütle oranı $q=0,123(\pm 0,002)$ olarak belirlenmiştir. Buradan elde edilen kütle oranı, yörünge eğikliği $i=81,79^\circ (\pm 0,13)$ değerinden sistemin baş bileşenin kütlesi $M_1=1,60 M_\odot$ olarak belirlenmiştir. Böylece hesaplanan M_1 değeri ve fotometrik kütle değeri ile GT Eri'nin ikinci bileşenine ait kütle değeri M_2 belirlenmiştir. Daha sonra bileşenlerin belirlenen kütle değerleri ve Kepler'in üçüncü yasasından bileşenler arası ortalama uzaklık (A) değeri hesaplanarak bileşenlerin mutlak parametreleri tahmin edilmiş ve Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4'de verilen parametrelerin hesaplamasında Güneş'in etkin sıcaklığı, bolometrik düzeltilmesi ve çekim ivmesi sırasıyla $T_{\text{eff}} = 5771,8(\pm 0,7)$ K, $M_{\text{bol}} = 4,7554(\pm 0,0004)$ mag, $BC = -0,107(\pm 0,02)$ mag and $g = 27423,2(\pm 7,9)$ cm/s² olarak alınmıştır (Pecaut ve Mamajek 2013). Sistemin her iki bileşeni için bolometrik düzeltmeler, Flower (1996)'un mutlak parlaklık kalibrasyonundan bileşenlerin etkin sıcaklıklarına göre hesaplanmıştır.

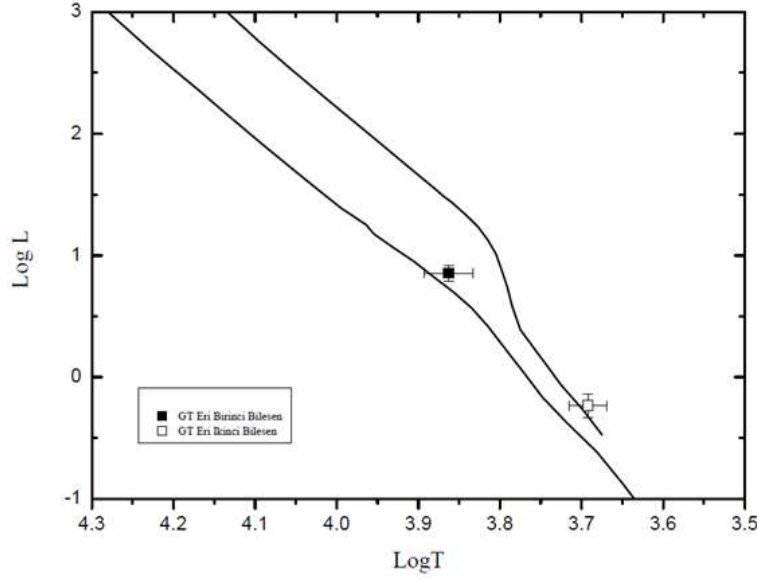
GT Eri'nin V renginde yıldızlararası renk sönümlemesi için $A_V=3,1 E_d(B-V)$ formülü kullanılarak yıldızlararası soğurması dikkate alındığında, uzaklık modülünden GT Eri'nin uzaklığı 156 ± 13 pc olarak belirlenmiştir. Ayrıca GAIA DR3 (Gaia Collaboration, 2023) veri tabanından alınan paralaks değerine göre, GT Eri'nin uzaklığı 152 ± 1 pc'dir. Böylece elde edilen paralaks değerleri, hata sınırları içerisinde gayet uyumlu olduğu görülmüştür.

GT Eri'nin elde edilen mutlak parametrelerine göre evrim durumlarını incelemek için Bressan ve ark. (2012)'nin evrim modelleri kullanılmıştır. Bileşen yıldızların $\log T - \log L$ diyagramı Şekil 5'de gösterilmiştir. Böylece GT Eri'nin birinci bileşeni sıfır yaş anakola (ZAMS) çok yakinken, ikinci bileşen evrimleşmiş ve TAMS'ı terk ettiği görülmektedir.

Tablo 4. GT Eri'nin mutlak parametreleri.

Parametre	Birinci Bileşen	İkinci Bileşen
$M (M_{\odot})$	1.60(± 0.10)	0.20(± 0.10)
$R (R_{\odot})$	1.67(± 0.09)	1.05(± 0.07)
$\log g$ (cgs)	4.20(± 0.05)	3.70(± 0.06)
T (K)	7300(± 200)	4919(± 258)
$L (L_{\odot})$	7.0(± 1.0)	0.58(± 0.08)
M_{bol} (mag)	2.62(± 0.32)	5.34(± 0.27)
M_V (mag)	2.67(± 0.32)	5.67(± 0.27)
V (mag)		8.59(± 0.01) ^a
M_V (sistem)		2.60(± 0.32)
d (pc)		156(± 13)
$d_{\text{Gaia-DR3}}$ (pc)		152 ± 1 ^b

a: SIMBAD, b: GAIA Collaboration (2023)

**Şekil 5.** GT Eri'nin bileşenlerinin etkin sıcaklık – ısıtma diyagramındaki konumları. GT Eri'nin birinci ve ikinci bileşenleri sırasıyla içi dolu ve içi boş siyah kareler ile gösterilmektedir. Siyah düz çizgiler, $Z = 0,019$ güneş metalliğinde ZAMS ve TAMS'ı temsil etmektedir (Bressan ve ark., 2012)

Yazarların Katkı Beyanı

Yazarlar makaleye eşit katkıda bulunduklarını, makalenin yayına hazır son halini gördüklerini/okuduklarını ve onayladıklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Tüm yazarlar, bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Aslı BOLAT'ın Yüksek lisans tez çalışmasının bir parçasıdır.

Kaynaklar

- Avvakumova, E.A., Malkov, O.Y., Kniazev, A.Y., 2013. Eclipsing variables: Catalogue and classification. *Astronomische Nachrichten*, 334(8): 860.
- Bressan, A., Marigo, P., Girardi, L., Salasnich, B., Dal Cero, C., Rubele, S., ve Nanni, A., 2012. PARSEC: Stellar tracks and isochrones with the padova and trieste stellar evolution code. *Monthly Notices Of The Royal Astronomical Society*, 427: 127-145.

- Cannon, A.J., Pickering, E.C., 1993. VizieR online data catalog: henry draper catalogue and extension (Cannon+ 1918-1924; ADC 1989). VizieR On-line Data Catalog: III/135A. Originally published in: Harv. Ann. 91-100.
- Claret, A., 2017. Limb and gravity-darkening coefficients for the TESS satellite at several metallicities, surface gravities, and microturbulent velocities. *Astronomy and Astrophysics*, 600: A30.
- Drilling, J.S., Landolt, A.U., 2000. Allen's Astrophysical Quantities, (fourth ed.) AIP Press; Springer, New York.
- Flower, P.J., 1996. Transformations from theoretical hertzsprung-russell diagrams to color-magnitude diagrams: effective temperatures, b-v colors, and bolometric corrections. *Astrophysical Journal*, 469: 355.
- Gaia Collaboration. 2023. Gaia Data Release 3: Summary of the contents and survey properties. *Astronomy & Astrophysics*, 674: A22.
- Hilditch, R.W., 2001. An Introduction to Close Binary Stars. Cambridge: Cambridge University Press.
- Houk, N. 1982. Michigan Catalogue of Two-Dimensional Spectral Types for the HD Stars. Volume 3. Declinations -40° to -26° . Ann Arbor, MI: University of Michigan.
- Kazarovets, E.V., Samus, N.N., Durlevich, O.V., Frolov, M.S., Antipin, S.V., Kireeva, N.N., Pastukhova, E.N., 1999. The 74th special name-list of variable stars. *Information Bulletin on Variable Stars*, 1: 4659.
- Lucy, L.B., 1967. Gravity-darkening for stars with convective envelopes. *Zeitschrift für Astrophysik*, 65: 89-92.
- Malkov, O.Y., Oblak, E., Snegireva, E.A., Torra, J., 2006. A catalogue of eclipsing variables. *Astronomy & Astrophysics*, 446: 785-789.
- McDonald, I., Zijlstra, A.A., Boyer, M.L., 2012. Fundamental parameters and infrared excesses of hipparcos stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 427: 343-357.
- Pecaut, M.J., Mamajek, E.E., 2013. Intrinsic colors, temperatures, and bolometric corrections of pre-main-sequence stars. *The Astrophysical Journal Supplement*, 208: 9.
- Perryman, M.A.C., Lindegren, L., Kovalevsky, J., Hoeg, E., Bastian, U., Bernacca, P.L., Creze, M., Donati, F., Grenon, M., Grewing, M., van Leeuwen, F., van der Marel, H., Mignard, F., Murray, C.A., Le Poole, R.S., Schrijver, H., Turon, C., Arenou, F., Froeschle, M., Petersen, C.S., 1997. The HIPPARCOS Catalogue. *Astronomy and Astrophysics*, 323: 49-52.
- Pojmanski, G., 2002. The all sky automated survey. catalog of variable stars. 1. 0 h- 6 h quarter of the southern hemisphere. *Acta Astronomica*, 52: 397-427.
- Popper, D.M., Jeong, Y.C., 1994. Procedures for radial velocities of close binaries from spectra obtained with the lick echelle-CCD spectrometer. *Publications of the Astronomical Society of the Pasific*, 106: 189.
- Prsa, A., Kochoska, A., Conroy, K.E., ve ark. 2022. TESS eclipsing binary stars. 1. short-cadence observations of 4584 eclipsing binaries in sectors 1-26. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 258(1): 16-22.

- Rucinski, S.M., 1969. The proximity effects in close binary systems. 11. the bolometric reflection effect for stars with deep convective envelopes. *Acta Astronomica*, 19: 245.
- Shi, H., Shangguan, Z., Mao, J., Lü, Y. ve Zhang, X., 2022. A catalog of new slowly pulsating b-type stars. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 261(1): 9.
- Soydugan, E., Soydugan, F., Demircan, O., İbanoğlu, C., 2006. A catalogue of close binary systems with δ scuti-type components. *Monthly Notices Of The Royal Astronomical Society*, 370(4): 2013–2026.
- Tonry, J., Davis, M., 1979. A survey of galaxy redshifts. 1. data reduction techniques. *Astronomical Journal*, 84: 1511-1525.
- Wilson, R.E., Devinney, E.J., 1971. Realization of accurate close-binary light curves: Application to MR cygni. *Astrophysical Journal*, 166: 605-619.

EJONS

Uluslararası Matematik, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi
International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences

Research Article

e-ISSN: 2602 - 4136

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17941254>Soya (*Glycine max* L. Merr.) Tohumlarında Farklı Priming Uygulamaları

Vugar GURBANOV ¹, Yusif OSMANLI ¹, Muhammet Anıl AYDIN ¹, Mizgin MEHMET ¹,
Gülsüm ÖZTÜRK ^{1*}

¹ Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, İzmir, Türkiye
Sorumlu Yazar Email: gulsum.ozturk@ege.edu.tr

Makale Tarihçesi

Geliş: 02.10.2025

Kabul: 21.11.2025

Anahtar Kelimeler

Glycine max L.,GA₃,KNO₃,

Osmoprimer,

Çimlenme

Özet: Bu çalışma, soya fasulyesi tohumlarında farklı ön uygulamaların çimlenme gücü ve ortalama çimlenme süresi üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Çalışma 2025 yılında Ege Üniversitesi Tohum Teknolojisi Uygulama ve Araştırma Merkezi (TOTEM) laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Araştırmada; GA₃ (500 mg L⁻¹), KNO₃ (2 g L⁻¹), PEG 6000 (300 g/L⁻¹) ve kombinasyonları (PEG 6000 + KNO₃, PEG 6000 + GA₃) şeklinde uygulanmıştır. Çalışma, tesadüf parselleri deneme desenine göre yürütülmüştür. Laboratuvar koşullarında yürütülen çimlenme denemeleri sonucunda, en yüksek çimlenme gücü %93.00 ile PEG 6000 + GA₃ uygulamasında elde edilmiştir. Ortalama çimlenme süresi açısından 2.58 gün ile PEG 6000 + GA₃ uygulaması en iyi performansı göstermiştir. Sonuç olarak, soya fasulyesi tohumlarına osmoprimer (PEG 6000) uygulamasının hormonlar ve inorganik tuzlarla kombinasyonunun, çimlenme ve çıkış üzerine olumlu etki ettiği görülmüştür.

Various Priming Applications in Soybean (*Glycine max* L. Merr.) Seeds

Article Info

Received: 02.10.2025

Accepted: 21.11.2025

Keywords

Glycine max L.,GA₃,KNO₃,

Osmoprimer,

Germination

Abstract: This study was conducted to determine the effects of different pre-treatments on the germination power and mean germination time of soybean. The experiment was carried out in 2025 at the Ege University Seed Technology Application and Research Center (TOTEM) laboratories. In the study, GA₃ (500 mg L⁻¹), KNO₃ (2 g L⁻¹), PEG 6000 (300 g/L⁻¹), and combinations of these substances (PEG 6000 + KNO₃, PEG 6000 + GA₃) were applied to the seeds as pre-treatments. The experiment was arranged in a completely randomized design. As a result of the germination tests conducted under laboratory conditions, the highest germination power was obtained with the PEG 6000 + GA₃ application at 93.00%. The shortest mean germination time was determined to be 2.58 days in the PEG 6000 + GA₃ application. In conclusion, it was observed that the application of osmoprimer (PEG 6000) in combination with hormones and inorganic salts had a positive effect on germination and emergence on soybean seeds.

1. Giriş

Soya fasulyesi (*Glycine max* L.), baklagiller familyasına ait, protein ve yağ içeriği bakımından zengin, ekonomik açıdan önemli bir endüstri bitkisidir. Biyodizel ve diğer biyoyakıtların üretiminde hammadde sağlayan ve bu alanda önemli ekonomik potansiyele sahiptir (Akitha Devi and Giridhar, 2015; Rao and Chaitanya, 2019). Soya fasulyesi tohumları % 39.4 ham protein, %14.0 yağ, % 4.3 nişasta, % 5.6 toplam çözünür şeker, % 0.33 indirgeyici şeker ve % 5.6 sakaroz içermektedir (Sharma ve ark., 2014). 2024 yılı TÜİK verilerine göre Türkiye’de soya fasulyesi 437.1 bin dekar alanda ekilmiş ve toplam soya fasulyesi üretimi 180 bin ton olmuştur (TÜİK, 2025). 2023 yılı FAO verilerine göre dünyada soya fasulyesi 1.37 milyon hektar ekim alanı ve 371.1 milyon ton üretim miktarına sahiptir (FAO, 2025). Dünya nüfusu arttıkça soya fasulyesine olan talep de artmaktadır. Ancak soya fasulyesi üretimi büyük ölçüde tohum kalitesinden etkilenmektedir. Yüksek yağ içeriği nedeniyle, doğal depolama koşulları yaşlanmaya ve bozulmadan dolayı zararlı maddeler oluşabilmektedir. Bu da tohumun canlılığını azaltarak soya fasulyesi verim potansiyelini zayıflatmaktadır (Ziegler ve ark., 2016; Lin ve ark., 2022). Dünyada her geçen gün tohumda kaliteyi artırıcı uygulamalar bitki düzeyinde artarak devam etmektedir. Tohumda priming (ön çimlendirme) uygulamaları, radikul çıkışına izin vermeden tohumların kısmi olarak sulanmasını içeren bir ekim öncesi işlemdir. Çimlenen tohumların çimlenme oranını ve stres toleransını iyileştirir ve fide oluşumunu geliştirmektedir (Li and Liu, 2016). Bitki hormonları veya bitki büyüme düzenleyicileri, prolin gibi ozmolitlerin birikimini artırarak ve bitki hücrelerinde antioksidan enzim aktivitesini iyileştirerek bitkilerde kuraklık toleransını artırmak için kullanılabilir. Bitki hormonlarıyla tohum ön hazırlığına "hormonal ön hazırlığı" da denilmektedir. Bitki hormonları veya bitki büyüme düzenleyicileri, stres koşulları altında bitki büyümesini iyileştirmek için tohum ekim öncesi işlemlere tabi tutulmaktadır (Jisha ve ark., 2013). Tohum ön çimlendirme, bitkileri çeşitli biyotik ve abiyotik streslerden korumak için umut verici bir teknik olarak ortaya çıkmıştır (Van Hulten ve ark., 2006). Bitkiler biyotik veya abiyotik strese maruz kaldığında, ön hazırlama, antioksidan savunma mekanizmaları ve ozmotik ayarlama gibi savunma tepkilerini daha hızlı ve etkili bir şekilde indüklemelerine yardımcı olmaktadır (Jisha ve ark., 2013). Embriyo çıkışından önce kontrollü su emilimini ve ardından kontrollü dehidrasyonu içeren bir yöntem olan priming, çimlenmeyle ilgili olayların başlamasına olanak sağlar ancak kök oluşumunda olumsuz durumlar yaşanabilmektedir. Priming uygulamaları, iç fizyolojik aktiviteleri ve metabolizmayı ayarlayarak tohum çimlenmesinin canlılığını artırmaktadır (Maduo ve ark., 2013). Bu uygulamalar arasında hidropriming, ozmotik priming, hormon, kimyasal madde vb. uygulamalar yer almaktadır (Jisha ve ark., 2013). Tohumların emilim oranını kontrol etme yöntemlerinden biri PEG (Polietilen Glikol)’nin ozmotik çözeltilerini kullanmaktır. Bu madde tohumlar üzerine herhangi bir etki etmeden ve tohum tarafından emilmez, ancak yavaş su emilimini kontrol edebilmektedir. Bu da daha iyi bir tohum çıkışına yol açmaktadır (Yan ve ark., 2020). Kuraklık gibi olumsuz tarla koşullarında bitki direncini ve toleransını artırmak için kullanılan çeşitli tohum ön uygulamaları vardır.

Bu çalışmada soya fasulyesi tohumlarına PEG ile osmopriming, GA₃ (Gibberellik Asit), KNO₃ (Potasyum Nitrat) ve bunların kombinasyonlarının uygulanması ile çimlenme ve çıkış parametrelerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Çalışma, laboratuvar ortamında yürütülerek soya fasulyesi tohumlarında homojen ve hızlı çıkışı destekleyen en uygun uygulama yönteminin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Çalışmada bitkisel materyal olarak Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümünden temin edilen soya fasulyesi tohumları kullanılmıştır. Tohumlar 2024 yılı hasat

döneminde elde edilmiş olup, çalışmaya alınmadan önce yapılan ön çimlendirme testinde %97 çimlenme yeteneği göstermiştir. Deneme öncesine kadar soya fasulyesi tohumları +4 °C’de, karanlık ve kuru koşullarda muhafaza edilmiştir.

2.2. Araştırma yeri

Bu çalışma, soya fasulyesi tohumlarına yönelik ön uygulamaların gerçekleştirilmesi amacıyla Ege Üniversitesi Tohum Teknolojisi Uygulama ve Araştırma Merkezi (TOTEM) laboratuvarlarında yürütülmüştür.

2.3. Yöntem

Tohum ön uygulamalarına başlamadan önce, denemede kullanılacak soya fasulyesi tohumlarının tohum çimlenme testleriyle canlılıkları belirlenmiştir. Bu testler, ISTA (Uluslararası Tohum Test Birliği) tarafından belirlenen kurallara uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir (ISTA, 2014).

Tohum uygulamaları için denemede kullanılan soya fasulyesi tohumları içerisinde cansız yabancı maddeler, embriyosu zarar görmüş taneler vb. temizlenmiş ve 10 dk % 1’lik Sodyum Hipoklorit (NaClO) uygulanarak yüzey sterilizasyonu yapılmıştır. Sterilizasyon işleminden sonra tohumlar 3-4 kez saf sudan geçirilmiş ve eski nemine ulaşması için 24 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir. Daha sonra hormon ve inorganik tuz içeren çözeltiler hazırlanmış; çimlendirme kâğıtları bu çözeltilere batırılmıştır. Her bir uygulama için 50 adet tohum kullanılmış ve Tesadüf Parselleri Deneme Desenine göre 3 tekerrürlü olarak 40 x 40 cm boyutlarındaki çimlendirme kâğıtlarına ekim işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Soya fasulyesi tohumlarında priming uygulamaları ve çimlenme aşamaları

Soya fasulyesi tohumları, ISTA (Uluslararası Tohum Test Birliği) tarafından belirlenen kurallara uygun şekilde, VELP FOC 225I marka soğutmalı inkübatörde 25 °C sıcaklıkta denemeye alınmıştır. Çimlendirme boyunca ortam karanlık tutulmuş ve ışık uygulanmamıştır. Kökçüğü (Radicil uzunluğu) 2 mm olan tohum “çimlenmiş” olarak kabul edilmiştir. İlk 3 gün içinde çıkışlar gözlemlenmiş ve 14. günün sonunda çimlenme testi tamamlanmış olup elde edilen veriler değerlendirilmiştir.

2.4. Analiz grupları

Çalışmada soya fasulyesi tohumlarına; kontrol (uygulama yapılmamış), GA₃ (Gibberellik Asit), KNO₃ (Potasyum Nitrat), PEG 6000 (Polietilen Glikol) ve bunların kombinasyonları PEG 6000 + GA₃ ve PEG 6000 + KNO₃ olmak üzere toplam 6 farklı uygulama yapılmıştır. Kullanılan GA₃, KNO₃ ve PEG 6000 kimyasalları toz formunda olup Ege Üniversitesi Tohum Teknolojisi Uygulama ve Araştırma Merkezi (TOTEM) laboratuvarlarından temin edilmiştir. Tüm kimyasallar önerilen şekilde +4 °C’de, ışık ve nemden korunarak saklanmıştır.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan fitohormon ve inorganik tuzlar

2.5. Uygulama görmemiş tohumlar (kontrol)

Soya fasulyesi tohumları, yalnızca saf su ile ıslatılmış çimlendirme kâğıtları üzerine yerleştirilmiş ve her birinden 50 adet 3 tekerrürlü olarak çimlendirme kâğıtlarına ekilmiştir.

2.6. PEG 6000 (polietilen glikol) uygulaması

Denemede kullanılan soya fasulyesi tohumları için hazırlanan PEG 6000 (Polietilen Glikol) çözeltisinde (300 g/L⁻¹) 24 saat çalkayıcı içinde sürekli hareket halinde ve havalanma sağlanacak şekilde bekletilmiştir. Bekletme sonrasında PEG 6000 çözeltisinden çıkartılan tohumlar saf su ile 3 kez durulanmıştır. Durulanan tohumlar önceki nemlerine ulaşması amacıyla oda sıcaklığında 24 saat kadar kurutulmuştur. Her bir uygulama için 50 adet tohum, 3 tekerrürlü olarak çimlendirme kâğıtlarına ekilmiştir.

2.7. GA₃ (gibberellik asit) uygulaması

%0.05’lik (500 mg L⁻¹) GA₃ çözeltisi hazırlanmış, çimlendirme kâğıtları bu çözelti ile ıslatıldıktan sonra, rulo katlama yöntemi kullanılarak her bir uygulama için 50 adet soya fasulyesi tohumu 3 tekerrürlü olarak ekilmiştir.

2.8. KNO₃ (potasyum nitrat) uygulaması

% 0.2’lik (2 g L⁻¹) KNO₃ çözeltisi hazırlanmış; çimlendirme kâğıtları bu çözelti ile ıslatıldıktan sonra, rulo katlama yöntemi kullanılarak her bir uygulama için 50 adet soya fasulyesi tohumu 3 tekerrürlü olarak ekilmiştir.

2.9. PEG 6000 + GA₃ uygulaması

PEG 6000 (300 g/L⁻¹) ile ön işlem uygulanmış tohumlar, %0.05'lik (500 mg L⁻¹) GA₃ çözeltisi ile ıslatılan çimlendirme kâğıtları üzerine, rulo katlama yöntemi kullanılarak her bir uygulama için 50 adet tohum, 3 tekerrürlü olarak ekilmiştir.

2.10. PEG 6000 + KNO₃ uygulaması

PEG 6000 (300 g/L⁻¹) ile ön işlem uygulanmış tohumlar, % 0.2'lik (2 g L⁻¹) KNO₃ çözeltisi ile ıslatılan çimlendirme kâğıtları üzerine, rulo katlama yöntemi kullanılarak her bir uygulama için 50 adet tohum, 3 tekerrürlü olarak ekilmiştir.

2.11. Çimlenme ve çıkış testleri

Çimlenme ve çıkış testleri ISTA kuralları kapsamında gerçekleştirilmiş ve aşağıda belirtilen uygulama gruplarında çimlenme oranı (%) ve ortalama çimlenme süreleri (gün) hesaplanmıştır. Hesaplamalar için aşağıda verilen formüllerden yararlanılmıştır.

Çimlenme gücü (%) değeri Larsen and Andreasen (2004) göre belirlenmiştir:

$$\text{Çimlenme gücü (\%)} = \frac{\sum n}{N} \times 100$$

n: Çimlenen/çıkan tohum sayısı,

N: Toplam tohum sayısı.

Çimlenme hızının hesaplanması Pedersen ve ark. (1993) tarafından belirtildiği yapılmıştır:

$$\text{Ortalama Çimlenme/Çıkış Süresi (gün)} = \frac{\sum (g_x \times n_x)}{\sum n_x}$$

g_x: Testin başlangıcından itibaren geçen gün sayısı,

n_x: Belirli bir günde çimlenen tohum sayısı,

Σn_x: Çimlenen toplam tohum sayısı.

2.12. Verilerin istatistiksel analizi

Elde edilen veriler TOTEMSTAT istatistik programı (Acikgoz ve ark., 2004) ile analiz edilmiştir. Ortalamalar ise Steel and Torrie (1980)'e göre Asgari Önemli Fark (AÖF) testiyle karşılaştırılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Soya fasulyesi tohumları kontrol (uygulama yapılmamış), GA₃ (Gibberellik Asit), KNO₃ (Potasyum Nitrat), PEG 6000 (Polietilen Glikol), PEG 6000 + GA₃ ve PEG 6000 + KNO₃ olmak üzere toplam 6 farklı uygulamaya tabii tutulmuştur. Uygulamaların ardından gerekli çimlenme testleri gerçekleştirilmiş; elde edilen veriler kullanılarak çimlenme gücü ile ortalama çimlenme süresi hesaplanmıştır. Laboratuvar koşullarında yürütülen çalışmanın çimlenme gücü ve çimlenme süresi sonuçlarına ilişkin AÖF ve F değerleri ile ortalamalar Tablo 1'de verilmiştir.

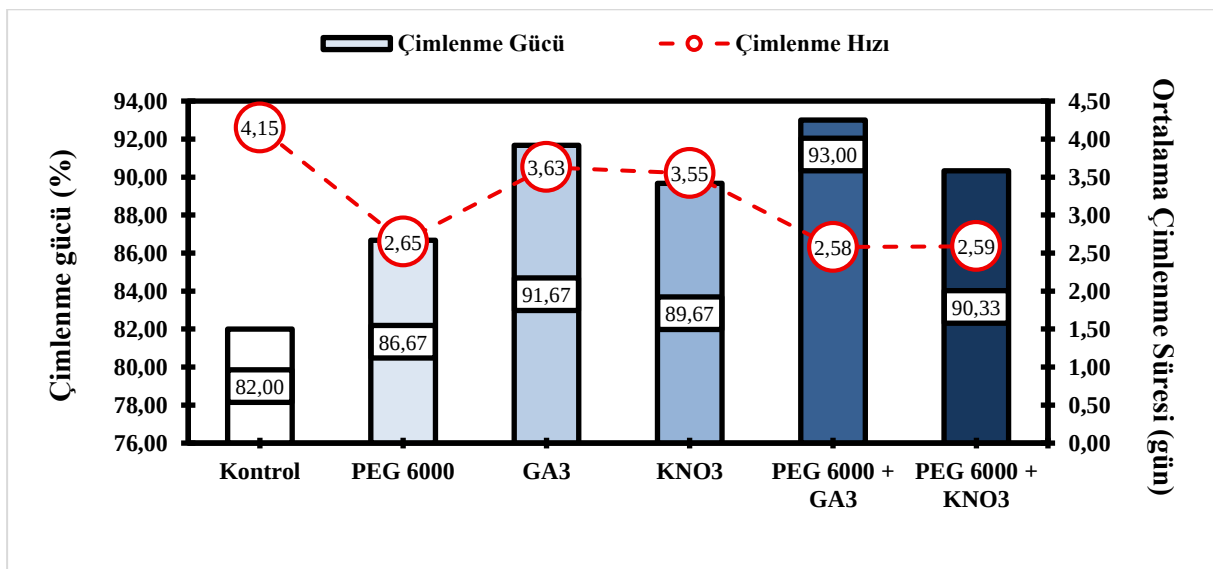
Tablo 1. Soya fasulyesi tohumlarında priming uygulamalarının çimlenme gücü (%) ve ortalama çimlenme süresi (gün) ortalamaları ile AÖF, F değerleri

Uygulamalar	Çimlenme gücü (%)	Ortalama Çimlenme Süresi (gün)
Kontrol	82.00 d	4.15 c
PEG 6000	86.67 c	2.65 a
GA ₃	91.67 ab	3.63 b
KNO ₃	89.67 b	3.55 b
PEG 6000 + GA ₃	93.00 a	2.58 a
PEG 6000 + KNO ₃	90.33 ab	2.59 a
F Değerleri	18.713**	302.235**
AÖF _{0.05}	2.844	0.120

** : p<0.01 olasılık düzeyinde önemli

Soya fasulyesi tohumlarında priming uygulamalarının çimlenme gücü (%) ve ortalama çimlenme süresi (gün) üzerine etkisi Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 1’deki F değerleri incelendiğinde çimlenme gücü ve ortalama çimlenme süresi bakımından $p \leq 0.01$ olasılık düzeyinde istatistiki farklılıklar bulunmuştur. Tablo 1’deki soya fasulyesi tohumlarının çimlenme gücü (%) sonuçları karşılaştırıldığında PEG 6000 + GA₃ uygulamasının en yüksek (% 93.00) çimlenme gücü gösterdiği görülmektedir. Bu uygulamaları sırasıyla, GA₃ (% 91.67), PEG 6000 + KNO₃ (% 90.33), KNO₃ (% 89.67) ve PEG 6000 (% 86.67) uygulamaları takip etmiştir. En düşük çimlenme gücü ise % 82.00 ile kontrol grubunda kaydedilmiştir. Burada tüm uygulamalar kontrol grubundan yüksek çimlenme gücüne sahip olmuş olup, bu da yapılan uygulamaların çimlenme gücünü iyileştirme yönünde etkili olduğu şeklinde öne çıkmaktadır. Soya fasulyesi tohumları ortalama çimlenme süresi açısından değerlendirildiğinde 2.58 gün ile PEG 6000 + GA₃ içeren uygulama en erken çimlenme göstermiştir. Bu uygulamayı 2.59 gün ile PEG 6000 + KNO₃ ve 2.65 gün ile PEG 6000 uygulamaları izlemektedir. Kontrol grubu çimlenme süresi 4.15 gün ile en uzun sürede çimlenmiş ve PEG 6000 ile kombinasyonları çimlenme süresini belirgin şekilde kısaltmıştır. Çalışmada kullanılan PEG-6000 (%30. 24 saat) uygulaması, literatürde Wang ve ark. (2023) tarafından bildirilen sonuçlarla örtüşmektedir. İlgili araştırmada, benzer süre ve konsantrasyonda yapılan PEG primingi yaşlı soya tohumlarının canlılığını artırmış, stresi faktörlerini azaltmış ve metabolik süreçlerini düzenlemiştir. Bu bulgular, çalışmamızda kullanılan PEG-6000 ön uygulamasının çimlenme gücünü artırma ve çimlenme süresini kısaltma yönünde önerilebilir. Agawane and Parhe (2015) yaptıkları araştırmada GA₃ ve KNO₃ uygulamalarının kontrol grubuna göre çimlenme gücünü anlamlı düzeyde artırdığını ve çıkışı iyileştirdiğini belirtmişlerdir. Bu bulgular, GA₃ ve KNO₃ içeren priming uygulamalarının çimlenme ve çıkışı artırıcı etkileriyle örtüşmektedir. Erol and Arslanoğlu (2022), farklı soya çeşitlerinde GA₃’ün çimlenme yüzdesini artırıp ortalama çimlenme süresini kısalttığını rapor etmişlerdir. Ayrıca Jaybhave ve ark. (2024), GA₃ ile yapılan priming uygulamasının PEG aracılığıyla oluşturulan osmotik stres koşullarında soya tohumlarının çimlenme oranını anlamlı şekilde artırdığını ve stres toleransını sağladığını bildirmiştir. Bu durum, çalışmamızda elde edilen PEG + GA₃ kombinasyonunun üstün performansı ile benzer olup uyumlu bulunmuştur.

Soya fasulyesi tohumlarında ön uygulamaların çimlenme gücü (%) ve ortalama çimlenme süresi (gün) üzerine etkisi Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Soya fasulyesi tohumlarında çimlenme gücü (%) ve ortalama çimlenme süresi (gün) üzerine farklı ön uygulamaların etkileri

4. Sonuç

Soya fasulyesi tohumlarının çimlenme performansını iyileştirmek için yürütülen bu çalışmada, çimlenme gücü ve ortalama çimlenme süresi özellikleri bakımından uygulamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıkların bulunduğu görülmüştür. En yüksek çimlenme gücü PEG 6000 + GA₃ (%93.00), GA₃ (%91.67) ve PEG 6000 + KNO₃ (%90.33) uygulamalarında elde edilmiştir. Ortalama çimlenme süresini en olumlu şekilde etkileyen uygulamalar ise PEG 6000 + GA₃ (2.58 gün), PEG 6000 + KNO₃ (2.59 gün) ve PEG 6000 (2.65 gün) olmuştur. Sonuç olarak, osmo-priming (PEG 6000) uygulamasının hormonlar ve inorganik tuzlarla kombine edilmesi ile çimlenme performansı üzerine olumlu etki ettiği görülmüştür. Bu bulgular ışığında PEG 6000'in farklı hormon ve tuz kombinasyonları kullanılarak yeni çalışmaların yapılması ve buna yönelik araştırmaların genişletilmesi önerilebilir. Soya fasulyesi için laboratuvar çalışmaları ile birlikte tarla denemelerinin yapılması da büyük önem arz etmektedir.

Yazarların Katkı Beyanı

Yazarlar makaleye eşit katkıda bulunduklarını, makalenin yayına hazır son halini gördüklerini/okuduklarını ve onayladıklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Tüm yazarlar, bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı (Proje No: 1919B012465202) kapsamında desteklenmiştir. Proje desteğinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

- Acikgoz, N., Ilker, E., Gokcol, A., 2004. Assessment of biological research on the computer. Ege University, TOTEM, Izmir.
- Agawane, R.B., Parhe, S.D., 2015. Effect of seed priming on crop growth and seed yield of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. *The Bioscan*, 10(1): 265-270.
- Akitha Devi, M.K., Giridhar, P., 2015. Variations in physiological response, lipid peroxidation, antioxidant enzyme activities, proline and isoflavones content in soybean varieties subjected to drought stress. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 85(1): 35–44.
- Erol, S.A., Arslanoglu, S.F., 2022. The effect of different gibberellic acid (GA₃) doses on seed germination properties of some soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] cultivars. *International Journal of Innovative Approaches in Agricultural Research*, 6(4): 340-350.
- FAO, 2025. (<http://www.fao.org/>), (Erişim Tarihi: 05.07.2025).
- ISTA, 2014. International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association, Zurich, Switzerland.
- Jaybhave, S.G., Deshmukh, A.S., Chavhan, R.L., Patade, V.Y., Hinge, V.R., 2024. GA₃ and BAP phytohormone seed priming enhances germination and PEG induced drought stress tolerance in soybean by triggering the expression of osmolytes, antioxidant enzymes and related genes at the early seedling growth stages. *Environmental and Experimental Botany*, 226: 105870.

- Jisha, K.C., Vijayakumari, K., Puthur, J.T., 2013. Seed priming for abiotic stress tolerance: An overview. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35: 1381-1396.
- Larsen, S.U., Andreassen, C., 2004. Light and heavy turfgrass seeds differ in germination percentage and mean germination thermal time. *Crop Science*, 44(5): 1710–1720.
- Li, X., Liu, F., 2016. Drought stress memory and drought stress tolerance in plants: biochemical and molecular basis. Springer International Publishing.
- Lin, Y.X., Xu, H.J., Yin, G.K., Zhou, Y.C., Lu, X.X., Xin, X., 2022. Dynamic changes in membrane lipid metabolism and antioxidant defense during soybean (*Glycine max* L. Merr.) seed aging. *Frontiers in Plant Science*, 13: 908949.
- Maduo, J.J., Wang, Y.C., 2013. Study progress of seed priming techniques, *Seed*, 32: 43–46.
- Pedersen, L.H., Jorgensen, P.E., Pulsen, I., 1993. Effect of seed vigor and dormancy on field emergence, development and grain yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and winter barley (*Hordeum vulgare* L.). *Seed Science & Technology*, 21(1): 159-178.
- Rao, D.E., Chaitanya, K.V., 2019. Morphological and physiological responses of seven different soybean (*Glycine max* L. Merr.) cultivars to drought stress. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 22(4): 355–362.
- Sharma, S., Kaur, M., Goyal, R., Gill, B.S., 2014. Physical characteristics and nutritional composition of some new soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) genotypes. *Journal of Food Science and Technology*, 51: 551-557.
- Steel, R.G.D., Torrie, J.H., 1980. Principles and procedures of statistics: A biometrical approach. McGrawHill.
- TÜİK., 2025. Türkiye İstatistik Kurumu. Bitkisel Üretim İstatistikleri. (<https://data.tuik.gov.tr>), (Erişim Tarihi: 05.07.2025).
- Van Hulten, M., Pelsler, M., Van Loon, L.C., Pieterse, C.M.J., Ton, J., 2006. Costs and benefits of priming for defense in Arabidopsis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(14): 5602–5607.
- Yan, M., Xue, C., Xiong, Y., Meng, X., Li, B., Shen, R. and Lan, P., 2020. Proteomic dissection of the similar and different responses of wheat to drought, salinity and submergence during seed germination. *Proteomics*, 220: 103756.
- Ziegler, V., Marini, L.J., Ferreira, C.D., Bertinetti, I.A., Silva, W.S.V., Goebel, J.T., Oliveira, M., Elias, M.C., 2016. Effects of temperature and moisture during semi-hermetic storage on the quality e-valuation parameters of soybean grain and oil. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, 37: 131–144.

EJONS

Uluslararası Matematik, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi
International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences

Research Article

e-ISSN: 2602 - 4136

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17941407>

Çörek Otu Tohumlarında (*Nigella sativa* L.) Çimlenme Performansı ve Tohum Kalitesinin İyileştirilmesine Yönelik Bazı Tohum Ön Uygulamaları

Ashraf BAGHIRLI ¹, Orhan ALİYEV ¹, Muhammet Anıl AYDIN ¹, Mizgin MEHMET ¹, Gülsüm ÖZTÜRK ¹

¹ Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, İzmir, Türkiye
Sorumlu Yazar Email: gulsum.ozturk@ege.edu.tr

Makale Tarihçesi

Geliş: 02.10.2025

Kabul: 20.11.2025

Anahtar Kelimeler

Çörek Otu (*Nigella sativa* L.),
Priming,
Çimlenme,
Çıkış

Özet: Bu çalışma, çörek otu tohumlarında farklı ön uygulamaların çimlenme oranı ve ortalama çimlenme süresi üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Deneme, 2025 yılında Ege Üniversitesi Tohum Teknolojisi Uygulama ve Araştırma Merkezi (TOTEM) laboratuvarlarında, Tesadüf Parselleri Deneme Deseni'ne göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Araştırmada; GA₃ (500 mg L⁻¹), KH₂PO₄ (2 g L⁻¹), PEG 6000 (300 g L⁻¹) ve kombinasyonları (PEG 6000 + GA₃, PEG 6000 + KH₂PO₄) uygulanmıştır. ISTA kurallarına göre çimlenme işlemleri gerçekleştirilmiş ve uygulama yapılan tohumların çimlenme oranları ve ortalama çimlenme süreleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, uygulamalar arasında hem çimlenme oranı hem de ortalama çimlenme süresi bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar belirlenmiştir. En yüksek çimlenme oranı %88,67 ile PEG 6000 + KH₂PO₄ uygulamasından elde edilirken, bu uygulama aynı zamanda 3,99 gün ile ortalama çimlenme süresini kısaltmıştır. Diğer etkili uygulamalar arasında PEG 6000 + GA₃ (%80,00 - 4,48 gün) ve KH₂PO₄ (%80,67 - 7,03 gün) yer almıştır. Sonuç olarak, özellikle PEG 6000 ile birlikte uygulanan KH₂PO₄ ve GA₃, çörek otu tohumlarında daha hızlı ve homojen çimlenmesi bakımından olumlu yönde etki ettiği belirlenmiştir.

Some Seed Pre-Treatments on Germination Performance and Seed Quality Improvement in Black Cumin (*Nigella sativa* L.) Seeds

Article Info

Received: 02.10.2025

Accepted: 20.11.2025

Keywords

Black Cumin (*Nigella sativa* L.),
Priming,
Germination,
Emergence

Abstract: This study was conducted to determine the effects of different pre-sowing treatments on the germination percentage and mean germination time of black cumin (*Nigella sativa* L.) seeds. The experiment was established in 2025 under laboratory conditions at the Ege University Seed Technology Research and Application Center (TOTEM), using a Completely Randomized Blok Design with three replications. The treatments included GA₃ (500 mg L⁻¹), KH₂PO₄ (2 g L⁻¹), PEG 6000 (300 g L⁻¹), and their combinations (PEG 6000 + GA₃ and PEG 6000 + KH₂PO₄), which were applied as seed priming treatments. Following the treatments, germination tests were carried out in accordance with ISTA rules in terms of the germination percentage and mean germination time. The results showed that there were statistically significant differences among treatments in terms of both germination percentage and mean germination time. The highest germination percentage (88.67%) and the shortest mean germination time (3.99 days) were obtained from the PEG 6000 + KH₂PO₄ treatment. Other effective treatments included PEG 6000 + GA₃ (80.00% - 4.48 days) and KH₂PO₄ alone (80.67% - 7.03 days). In conclusion, KH₂PO₄ and GA₃, particularly when combined with PEG 6000, were found to be effective pre-sowing treatments for promoting faster and more uniform germination in black cumin seeds.

1. Giriş

Çörek otu (*Nigella sativa* L.), *Ranunculaceae* familyasına ait, başta Doğu Akdeniz ülkeleri olmak üzere birçok bölgede yaygın olarak tarımı yapılan, tek yıllık otsu bir bitki türüdür. Bitki, 20-60 cm arasında değişen uzunluktadır; gövdesi dik, tüylü, dallı ve seyrek yapılıdır. Yaprakları almasıık dizilimde ve üç parçalıdır. Çiçekler uzun saplıdır ve dalların uç kısımlarında yer almaktadır. Bitki, Haziran ve Temmuz aylarında çiçek açmakta olup, çiçekleri beyaz veya açık mavi renkte ve sarımsı yeşil uçlara sahiptir. Meyvesi, kapsül şeklindedir. Tohumlar, bitkinin en önemli kullanılan kısmını oluşturmaktadır olup, oval şekilli, üç ile dört köşeli olup yaklaşık 3-4 mm uzunluğundadır (Ceylan, 1987; İlisulu, 1992; Anonim, 2020). Çörek otu, hem dünyada hem de Türkiye'de gıda sektöründe yaygın olarak kullanılan ve kullanım potansiyeli giderek artan bir bitki türüdür. Tıbbi ve ekonomik açıdan büyük öneme sahip olan ve Türkiye'de "çörek otu" olarak bilinen bu bitki, ülkenin çeşitli bölgelerinde yetiştirilmektedir (Işık, 2018). Çörek otu tohumlarının kimyasal bileşimi, %30-45 oranında sabit yağ, % 0,01-0,5 oranında uçucu yağ, % 20-30 protein ile alkaloid ve saponinler içermektedir. Bu tohumların doymamış yağ asitleri arasında linoleik ve oleik asitler, en belirgin yağ asitleri olarak öne çıkmaktadır (Anonim, 2020). Çörek otu tohumları, gıda ve farmasötik alanlarda geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir. Gıda amaçlı olarak çay, kahve, ekmek ve konserve üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca, tohum yağı kapsül formunda tüketilmekte olup, sedef hastalığı ve egzama gibi deri rahatsızlıklarının tedavisinde kullanılabilmektedir. Yağı balmumu ile karıştırılarak yanıklar, deri enfeksiyonları, eklem ağrıları ve cilt bakımı için de kullanıldığı bilinmektedir. Baharat ve aromatik amaçlarla da yaygın olarak kullanılan çörek otu geleneksel tıpta diüretik, diyaforetik ve karaciğer güçlendirici olarak tercih edilmektedir. Ayrıca, hazımsızlık ve bağırsak tedavisinde de yararlı etkileriyle öne çıkmaktadır (Fallah ve ark., 2017; Endes, 2018). TÜİK 2023 yılı verilerine göre; ülkemizde çörek otu ekim alanı 5 bin ha, üretim miktarı 5 bin ton olarak bildirilmiştir (TÜİK, 2025).

Çörek otu, tüketimi fazla olmasına karşın hem dünyada hem de Türkiye'de sınırlı ekim alanlarına ve düşük üretim miktarına sahiptir. Bu durum, artan nüfusun ihtiyaçlarını karşılamada yetersizlik oluşturmaktadır. Bu nedenle, birim alandan elde edilen verimin artırılması, çörek otu üretiminde öncelikli hedeflerden biri hâline gelmiştir. Verimliliği artırmada temel girdilerden biri ise kaliteli tohum kullanımına dayanmaktadır. Tohum kalitesinin yükseltilmesi, doğrudan birim alandan elde edilecek verimi olumlu yönde etkilemektedir. Tarımsal üretimde yüksek ürün verimi alabilmenin en temel koşullarından biri, kaliteli tohumluk kullanarak başarılı bir çimlenme elde etmektir (McDonald, 2000; Okçu, 2005). Kaliteli bir tohumluk; yüksek çimlenme yüzdesi, hızlı ve eş zamanlı çıkış ile sağlıklı fide gelişimi sayesinde sonraki büyüme dönemlerine güçlü bir başlangıç sağlamaktadır. Dolayısıyla tohumların çimlenme kapasitesi ve canlılığı, bitkisel üretimde hedeflenen verim ve ürün kalitesini doğrudan etkilemektedir. Çörek otu yetiştiriciliğinde çeşit seçimi, uygun çevresel koşullar ve tarım tekniklerinin belirlenmesi, verim ve üretimin artırılması açısından büyük önem taşımaktadır. Çimlenme sürecini etkileyen faktörler arasında su, sıcaklık, oksijen, ışık, toprak tuzluluğu ve ağır toprak yapısı gibi abiyotik unsurlar ile fungus, bakteri, virüs ve böcek gibi biyotik etmenler yer almaktadır. Dormansinin kırılması ve olumsuz koşullarda etkili çimlenme sağlanması için katlama, ekim öncesi ıslatma, bitki büyüme düzenleyicileri, asitlerle aşındırma, vitaminler, hormonlar ve osmotik çözeltiler gibi tohum ön uygulamaları (priming) yapılmaktadır (Hartmann ve ark., 1990; Hasanuzzaman ve ark., 2012; Ghiyasi ve ark., 2015; Ghiyasi ve ark., 2019; Durmaz ve Kara, 2023).

Priming uygulaması, tohumların ekim öncesinde belirli bir süre ve sıcaklıkta su ya da düşük ozmotik basınca sahip bir çözelti içerisinde bekletilip ardından tekrar kurutulması prensibine dayanmaktadır. Ayrıca düşük maliyetli, etkili ve kolay uygulanabilir yöntemler olarak öne çıkmakta olup, çevre dostu ve sürdürülebilirlik açısından da önemli bir avantaj

sağlamaktadır (Ceritoğlu ve ark., 2021). Priming uygulamalarında çoğunlukla Ozmo-priming, Hidro-priming, Matri-priming teknikleri kullanılmaktadır. Hidro-priming, tohumların belirli bir süre uygun bir sıcaklıkta (5-20°C) steril suda bekletilerek ısıtılmasıdır. Matripriming, priming ortamı olarak düşük matrik potansiyeline sahip vermikülit gibi katı materyallerin kullanıldığı uygulama olarak tanımlanmaktadır (Elkoca, 2007). Ozmo-priming, tohumların düşük su potansiyeline sahip ozmotik bir çözelti içinde bekletilerek kontrollü su alımı sağlanması ve kök çıkışının engellenmesi temeline dayanan bir priming tekniğidir. Bu teknik, özellikle stres koşullarında çimlenme hızını ve üniformitesini artırmak amacıyla kullanılmaktadır (Al-Karaki, 1998; Foti ve ark., 2002; Elkoca, 2007; Mirmazloum ve ark., 2020; Ceritoğlu ve ark., 2021).

Bu çalışmada çörek otu tohumlarının çimlenme performansını artırmaya yönelik priming uygulamaları ile bu uygulamalarda kullanılan hormonlar ve inorganik tuzların çimlenme performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Böylece tohum gücünün (vigor) artırılması, çimlenme sürecinin hızlandırılması ve daha homojen fide çıkışının sağlanması amaçlanmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışma kapsamında genetik materyal olarak Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü'nden temin edilen çörek otu tohumları kullanılmıştır. Tohumlar 2024 yılı hasat döneminde elde edilmiş olup, çalışmaya alınmadan önce yapılan ön çimlendirme testinde % 95 çimlenme yeteneği göstermiştir. Deneme öncesine kadar tohumlar +4 °C'de, karanlık ve kuru koşullarda saklanmıştır. Çalışma Ege Üniversitesi Tohum Teknolojisi Uygulama ve Araştırma Merkezi (TOTEM) laboratuvarlarında yürütülmüştür. Tohum ön uygulamalarına başlamadan önce, denemede kullanılacak çörek otu tohumlarının tohum çimlenme testleriyle başlangıç canlılıkları belirlenmiştir. Bu testler, ISTA (Uluslararası Tohum Test Birliği) tarafından belirlenen kurallara uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir (ISTA, 2014). Çörek otu tohumları embriyosu zarar görmüş taneler vb. temizlenmiş ve daha sonra tohumlara 10 dk % 1'lik Sodyum Hipoklorit (NaClO) uygulanarak yüzey sterilizasyonu yapılmıştır. Sterilizasyon işleminden sonra tohumlar 3-4 kez saf sudan geçirilmiş ve eski nemine ulaşması için 24 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir. Daha sonra hormon ve inorganik tuz içeren çözeltiler hazırlanmış; çimlendirme kâğıtları bu çözeltilere batırılmıştır. Her bir uygulama için 50'ser adet tohum kullanılmış ve Tesadüf Parselleri Deneme Desenine göre 3 tekerrürlü olarak 120 x 20 mm ölçülerindeki cam petri kaplarına ekim işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Çörek otu tohumlarında priming ve çimlenme süreci

Çörek otu tohumları ISTA (Uluslararası Tohum Test Birliği) tarafından belirlenen kurallara uygun bir şekilde VELP FOC 225I marka iklim dolabında sıcaklığı 25 °C’de denemeye alınmıştır. Çimlendirme denemesi Ocak 2025 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Kökçüğü (Radicil uzunluğu) 2 mm olan tohum “çimlenmiş” olarak kabul edilmiştir. İlk 3 gün içinde çıkışlar gözlemlenmiş ve 14. günün sonunda çimlenme testi tamamlanmış olup gözlemler değerlendirilmiştir.

2.1. Analiz grupları

Çalışmada çörek otu tohumlarına; kontrol (uygulama yapılmamış), GA₃ (Gibberellik Asit), KH₂PO₄ (Monopotasyum Fosfat), PEG 6000 (Polietilen Glikol) ve bu maddelerin kombinasyonları PEG 6000 + GA₃ ve PEG 6000 + KH₂PO₄ olmak üzere toplam 6 uygulama yapılmıştır. Kullanılan GA₃, KH₂PO₄ ve PEG 6000 kimyasalları analitik saflıkta olup toz formunda Ege Üniversitesi Tohum Teknolojisi Uygulama ve Araştırma Merkezi’nden

(TOTEM) temin edilmiştir. Tüm kimyasallar önerilen şekilde +4 °C’de, ışık ve nemden korunarak saklanmıştır.

Kontrol grubu çörek otu tohumları, yalnızca saf su ile ıslatılarak cam petri kaplarına ekilmiştir. Çalışmada kullanılan PEG 6000 (Polietilen Glikol) çözeltisi (300 g L⁻¹) 96 saat çalkayıcı içinde sürekli hareket halinde ve havalanma sağlanacak şekilde bekletilmiştir. Bekletme sonrasında PEG 6000 çözeltisinden çıkartılan tohumlar saf su ile 3 kez durulanmıştır. Durulanan tohumlar önceki nemlerine ulaşması amacıyla oda sıcaklığında 24 saat kadar kurutulmuştur. PEG 6000 + GA₃ ve PEG 6000 + KH₂PO₄ kombine uygulamasında PEG 6000 çözeltisi (300 g L⁻¹) ile muamele edilen tohumlar %0,05’lik (500 mg L⁻¹) GA₃ çözeltisi ve % 0,2’lik (2 g L⁻¹) KH₂PO₄ çözeltisi ile ıslatılmış çimlendirme kâğıtları üzerine ekilmiştir. GA₃ (Gibberellik Asit) uygulamasında % 0,05’lik (500 mg L⁻¹) GA₃ çözeltisi hazırlanmış; KH₂PO₄ (Monopotasyum Fosfat) uygulamasında % 0,2’lik (2 g L⁻¹) KH₂PO₄ çözeltisi hazırlanmış çimlendirme kâğıtları bu çözelti ile ıslatıldıktan sonra cam petri kaplarına yerleştirilmiştir. Ardından çörek otu tohumları, her petri için 50 adet olacak şekilde ve üç tekerrürlü olarak çimlendirme kâğıtları üzerine ekilmiştir.

2.2. Çimlenme ve çıkış testleri

Çimlenme ve çıkış testleri ISTA (2014) kuralları kapsamında gerçekleştirilmiş ve aşağıda belirtilen uygulama gruplarında çimlenme oranları (%) ortalama çimlenme süreleri (gün) hesaplanmıştır. Hesaplamalar için aşağıda verilen formüllerden yararlanılmıştır.

Çimlenme oranı (%) değeri Larsen and Andreasen (2004) göre belirlenmiştir:

$$\text{Çimlenme oranı (\%)} = \frac{\Sigma n}{N} \times 100$$

n: Çimlenen/çıkan tohum sayısı,

N: Toplam tohum sayısı.

Çimlenme hızının hesaplanması Pedersen ve ark. (1993) tarafından belirtildiğı yapılmıştır:

$$\text{Ortalama Çimlenme/Çıkış Süresi (gün)} = \frac{\Sigma (g_x \times n_x)}{\Sigma n_x}$$

g_x: Testin başlangıcından itibaren geçen gün sayısı,

n_x: Belirli bir günde çimlenen tohum sayısı,

Σn_x: Çimlenen toplam tohum sayısı.

2.3. İstatistiki değerlendirilmeler

Çalışmada elde edilen sonuçlar TOTEMSTAT (Acikgoz ve ark., 2004) programı ile değerlendirilmiş ve ortalamalar Steel and Torrie (1980)'ye göre Asgari Önemli Fark (AÖF) testiyle karşılaştırılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Çörek otu tohumlarına kontrol (uygulama yapılmamış), GA₃ (Gibberellik Asit), KH₂PO₄ (Monopotasyum Fosfat), PEG 6000 (Polietilen Glikol), PEG 6000 + GA₃ ve PEG 6000 + KH₂PO₄ olmak üzere toplam 6 uygulama yapılmıştır. Uygulamaların ardından gerekli çimlenme testleri gerçekleştirilmiş; elde edilen veriler kullanılarak çimlenme oranı ile ortalama çimlenme süresi hesaplanmıştır. Laboratuvar koşullarında yürütölen çalışmanın sonuçlarına ilişkin AÖF, F değeri ile çimlenme oranı ve çimlenme süresi ortalamaları Tablo 1’de verilmiştir.

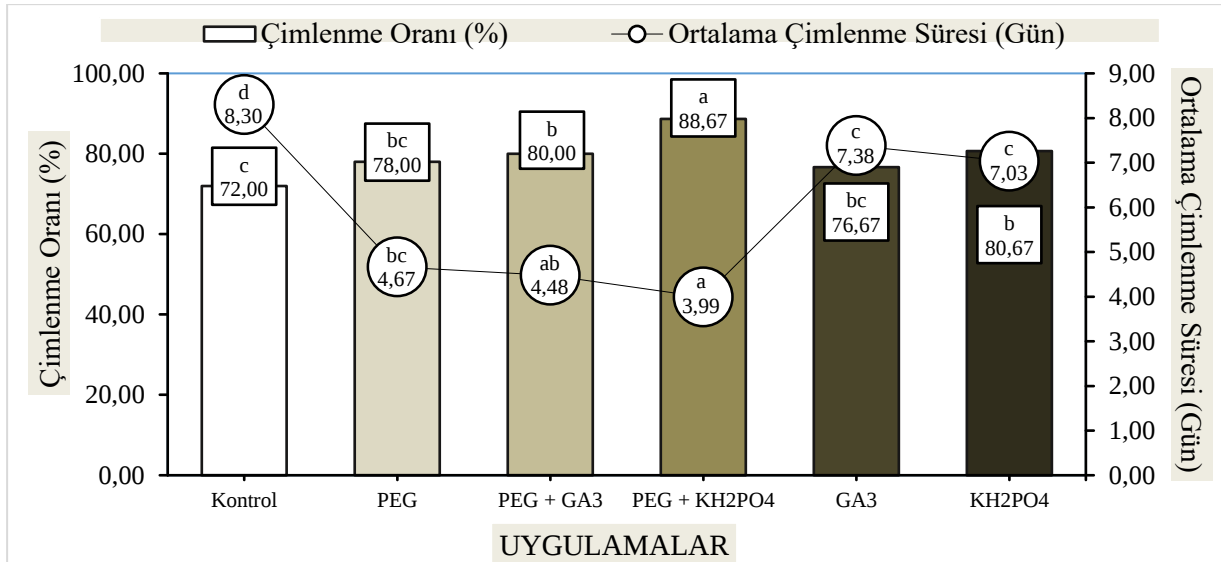
Tablo 1. Çörek otu tohumlarının çimlenme oranı (%) ve çimlenme süresi (gün) üzerine priming uygulamalarının etkileri

Uygulamalar	Çimlenme oranı (%)	Ortalama Çimlenme Süresi (gün)
Kontrol	72.00 c	8.30 d
GA ₃	76.67 bc	7.38 c
KH ₂ PO ₄	80.67 b	7.03 c
PEG 6000 (Polietilen Glikol)	78.00 bc	4.67 b
PEG 6000 + GA ₃	80.00 b	4.48 ab
PEG 6000 + KH ₂ PO ₄	88.67 a	3.99 a
F Değerleri	4.886*	85.553**
AÖF _{0.05}	7.687	0.603

*: p≤0.05 olasılık düzeyinde önemli

**: p≤0.01 olasılık düzeyinde önemli

Tablo 1’de F değerleri incelendiğinde uygulamalar arasında çimlenme oranı bakımından $p \leq 0.05$; ortalama çimlenme süresi bakımından $p \leq 0.01$ olasılık düzeyinde farklılıklar bulunmuştur. Çörek otu tohumlarına yapılan uygulamalar arasında çimlenme oranı karşılaştırıldığında PEG 6000 + KH₂PO₄ uygulamasının en yüksek (% 88.67) çimlenme oranı gösterdiği görülmektedir. Bu uygulamayı KH₂PO₄ % 80.67, PEG 6000 + GA₃ % 80.00, PEG 6000 % 78.00, GA₃ % 76.67 ve kontrol % 72.00 ile takip etmektedir. Burada tüm uygulamalar kontrol grubundan yüksek çimlenme oranına sahip olmuştur, bu da yapılan uygulamaların çimlenme oranını iyileştirme bakımından değerlendirmeye uygun olacağı şeklinde göze çarpmaktadır. Ortalama çimlenme gün sayısı bakımından ise PEG 6000 + KH₂PO₄ (3.99 gün), PEG 6000 + GA₃ (4.48 gün) uygulamasının en kısa sürede ortalama çimlenme zamanına ulaştığı görülmekte ve bu uygulamanın etkinliğini ortaya koymaktadır. Ortalama çimlenme süresi açısından bu uygulamayı 4.67 gün ile PEG 6000; 7.03 gün ile KH₂PO₄; 7.38 gün ile GA₃ uygulamaları izlemiştir. Çimlenme gün sayısı bakımından tüm uygulamalar kontrol tohumlarından (8.30 gün) daha kısa sürede çimlenme göstermiştir. Benzer şekilde Seyyedi ve ark. (2015) tarafından yapılan bir çalışmada KH₂PO₄’in çörek otu tohumlarında tohum vigor gücü üzerinde olumlu etkisi olduğu belirtilmiştir. Priming uygulamalarının çimlenme sürecini hızlandırdığı çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur (Asaduzzaman ve ark., 2021; Kayacetin, 2021). Özellikle çörek otu tohumlarında PEG 6000 kullanılarak gerçekleştirilen osmo-priming işlemi, adaptasyon yeteneğini artırmakta ve çimlenme performansını iyileştirmektedir (Kayacetin, 2022). Bununla birlikte, pek çok araştırmacı, çörek otu tohumlarında dormansiyi ortadan kaldırmak amacıyla çimlenme öncesi gibberellik asit (GA₃) uygulamasının gerekli olduğunu ifade etmektedir (Subaşı and Gülseven, 2010; Özcan ve ark., 2014; Ahmadian ve ark., 2015; Amir ve ark., 2019). Literatürde, ekim öncesi uygulamalardan olan priming, çimlenme oranı ve ortalama çimlenme süresi üzerinde olumlu etkiler yarattığı birçok çalışmayla desteklenmektedir (Ajouri ve ark., 2004; Duman ve ark., 2011; Ahmadian ve ark., 2015). Farklı ön uygulamaların çörek otu tohumlarında çimlenme oranı (%) ve ortalama çimlenme süresi (gün) üzerine etkisi Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Çörek otu tohumlarının priming uygulamalarının çimlenme oranı (%) ve ortalama çimlenme süresi (gün) dağılımı

4. Sonuç

Çörek otu tohumlarının çimlenme performanslarının iyileştirilmesi amacı ile yürütülen bu çalışmadan elde edilen bulgular özetlendiğinde; yürütülen çalışmada incelenen çimlenme oranı ve ortalama çimlenme süresi özellikleri bakımından uygulamalar arasında farklılıklar görülmüştür. En yüksek çimlenme oranına (%) sahip uygulamalar sırasıyla PEG 6000 + KH₂PO₄ Uygulaması (%88.67), KH₂PO₄ Uygulaması (% 80.67) ve PEG 6000 + GA₃ Uygulaması (% 80.00). Ortalama çimlenme süresini (gün) olumlu etkileyen uygulamalar sırasıyla PEG 6000 + KH₂PO₄ Uygulaması (3.99 gün), PEG 6000 + GA₃ Uygulaması (4.48 gün) ve PEG 6000 (Polietilen Glikol) (4.67 gün) olmuştur. Çörek otu tohumlarında, osmopriming (PEG 6000) uygulamasının hormonlar ve inorganik tuzlarla kombinasyonu, çimlenme sürecini olumlu yönde etkilediği sonucuna varılmıştır. Bu doğrultuda, PEG 6000'in hormonlar ve inorganik tuzlarla kombinasyonuna yönelik çalışmaların artırılması vurgulanmaktadır. Benzer çalışmaların tarla koşullarında da gerçekleştirilmesi önerilmektedir.

Yazarların Katkı Beyanı

Yazarlar makaleye eşit katkıda bulunduklarını, makalenin yayına hazır son halini gördüklerini/okuduklarını ve onayladıklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Tüm yazarlar, bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı (Proje No: 1919B012472348) ile desteklenmiştir. Proje desteğinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

Acikgoz, N., Ilker, E., Gokcol, A., 2004. Assessment of biological research on the computer. Ege University, TOTEM, Izmir.

- Ahmadian, A., Shiri, Y., Froozandeh, M., 2015. Study of germination and seedling growth of Black cumin (*Nigella Sativa* L.) treated by hydro and Osmopriming under salt stress conditions. *Cercetari Agronomice in Moldova*, 48: 69-78.
- Ajourı, A., Haben, A., Becker, M., 2004. Seed priming enhances germination and seedling growth of barley under conditions of P and Zn deficiency. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 167: 630–636.
- Al-Karaki, G.N., 1998. Response of wheat and barley during germination to seed osmopriming at different water potential. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 181: 229-235.
- Amir, R., Cohen, H., Hachem, Y., 2019. Revisiting the attempts to fortify methionine content in plant seeds. *Journal of Experimental Botany*, 70: 4105–4114.
- Anonim, 2020. Tarım ve Orman Bakanlığı Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü Çörek Otu Fizibilite Raporu Ve Yatırımcı Rehberi. (<https://www.tarimorman.gov.tr/SGB/TARYAT/Belgeler/Projeler/%C3%87orek+Otu+Fizibilite+Raporu+ve+Yatirim+ci+Rehberi.pdf>), (Erişim Tarihi: 10.04.2025).
- Asaduzzaman, M., Huqe, M.A.S., Uddin, M.N., Hossain, M.A., Haque, M.S., 2021. Seed priming improves germination and early seedling growth in wheat under control and drought conditions. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 19: 1-191.
- Ceritoğlu, M., Erman, M., Çığ, F., Şahin, S., Abdulkadir, A., 2021. Bitki gelişimi ve stres toleransının geliştirilmesi üzerine sürdürülebilir bir strateji: Priming tekniğı. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 8(3): 374-389.
- Ceylan, A., 1987. Tıbbi Bitkiler II (Uçucu Yağ İçerenler). Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:481, Bornova, İzmir
- Duman, İ., Gökçöl, A., Tuncel, G., Akçalı, G., 2011. Biber tohumlarının kalite özelliklerinin iyileştirilmesinde tohum kaplama uygulamasından yararlanma olanakları, *Türkiye IV Tohumculuk Kongresi*, 14-17 Haziran, Samsun, s. 11-16.
- Durmaz, N., Kara, N., 2023. Çörekotu (*Nigella sativa* L.)’nda bazı tohum ön uygulamalarının verim ve kalite özelliklerine etkisi. *Türk Bilim ve Mühendislik Dergisi*, 5(1): 9-14.
- Elkoca, E., 2007. Priming: ekim öncesi tohum uygulamaları. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 38(1): 113-120.
- Endes, Z., 2018. Bazı Tohum ön uygulamalarının iki farklı çörek otu türüne ait (*Nigella sativa* L. ve *Nigella damascena* L.) Tohumların çimlenme ve çıkış performansı üzerine etkileri. *Selcuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 32(1): 29-37.
- Fallah, S., Malekzadeh, S., Pessarakli, M., 2017. Seed priming improves seedling emergence and reduces oxidative stress in *Nigella sativa* under soil moisture stress. *Journal of Plant Nutrition*, 41(1): 29–40.
- Foti, S., Cosentino, S.L., Patane, C., D’Agosta, G.M., 2002. Effect of osmoconditioning upon seed germination of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) under low temperatures. *Seed Science and Technology*, 30: 521-533.
- Ghiyasi, M., Amirnia, R., Fazelmanesh, M., 2015. The effect of seed priming with different concentrations of ascorbic acid on germination and vigor of cumin (*Cumin cyminum* L.) under saline conditions. *Thai Journal of Agricultural Science*, 48: 179-785.
- Ghiyasi, M., Siavash Moghaddam, S., Amirnia, R., 2019. Chemical priming with salt and urea improves germination and seedling growth of black cumin (*Nigella sativa* L.) under osmotic stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38: 1170–1178.

- Hartmann, H.T., Kester, D.E., Davies J.F.T., 1990. Plant Propagation Principles and Practices. Prentice Hall, Eaglewood Cliffs.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Fujita, M., 2012. Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages. In: P. Ahmad (Ed), Ecophysiology and responses of plants under salt stress. Springer Science + Business Media, Berlin, pp. 25–87.
- Işık, S., 2018. Türkiye'de yetiştirilen çörek otu (*Nigella sativa* L.) tohumlarına ön uygulama (priming) ve biyoteknolojik yöntemler uygulayarak, standardize çörek otu yağının elde edilmesi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Biyoteknoloji Enstitüsü, Ankara.
- ISTA, 2014. International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association, Zurich, Switzerland.
- İlisulu, K., 1992. İlaç ve Baharat Bitkileri, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. No: 1256, Ankara.
- Kayacetin, F., 2021. Selection of some important species in genus Brassica against drought and salt tolerance by morphological observations on germination and seedling growth parameters. *Fresenius Environment Bulletin*, 30: 9228–9236.
- Kayacetin, F., 2022. Response to direct selection against drought stress in Black cumin (*Nigella sativa* L.). *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2022(1): 6888187.
- Larsen, S.U., Andreassen, C., 2004. Light and heavy turfgrass seeds differ in germination percentage and mean germination thermal time. *Crop Science*, 44(5): 1710–1720.
- McDonald, M.B., 2000. Seed Priming. In: M. Black, J.D. Bewley (Eds) Seed Technology and Its Biological Basis. Sheffield Academic Press, Sheffield, UK, pp. 287–325.
- Mirmazloum, I., Kiss, A., Erdelyi, E., Ladanyi, M., Nemeth, E.Z., Radacsi, P., 2020. The Effect of osmopriming on seed germination and early seedling characteristics of *Carum carvi* L. *Agriculture*, 10(4): 94.
- Özcan, İ.İ., Arabacı, O., Öğretmen, N., 2014. Bazı adaayı türlerinde farklı çimlendirme uygulamalarının belirlenmesi. *Türk Tarım Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2: 203–207.
- Pedersen, L.H., Jorgensen, P.E., Pulsen, I., 1993. Effect of seed vigor and dormancy on field emergence, development and grain yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and winter barley (*Hordeum vulgare* L.). *Seed Science & Technology*, 21(1): 159–178.
- Seyyedi, S.M., Kafi, M., Khazaei, H., Mousavi, S.F., 2015. Effect of priming on seed germination and seedling establishment of black cumin (*Nigella sativa* L.) under salinity stress. *Industrial Crops and Products*, 74: 545–552.
- Steel, R.G.D., Torrie, J.H., 1980. Principles and procedures of statistics: A biometrical approach. McGraw Hill.
- Subaşı, Ü., Gülseven, A., 2010. Seed germination studies on rare endemic *Salvia smyrnaea*. *Biological Diversity and Conservation*, 1: 126–132.
- TÜİK, 2025. Türkiye İstatistik Kurumu. Bitkisel Üretim İstatistikleri. (<https://data.tuik.gov.tr>), (Erişim Tarihi: 05.07.2025).

EJONS

Uluslararası Matematik, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi
International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences

Research Article

e-ISSN: 2602 - 4136

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17943643>

Be My Home in Smart Cities: A Mobile Application for Stray Animal Tracking, Adoption and Shelter Management

Hacer Sueda EFE ¹, Gizem YILDIZ ¹, Önder YAKUT ^{*1}

¹ Kocaeli University, Faculty of Technology, Department of Information Systems Engineering, Kocaeli, Türkiye
Corresponding Author Email: onder.yakut@kocaeli.edu.tr

Article Info

Received: 06.10.2025

Accepted: 08.12.2025

Keywords

Animal Welfare,
Mobile Application,
Pet Adoption,
Smart Cities,
Stray Animal
Management

Abstract: The management, monitoring, and welfare of stray animals in Turkey has become more challenging due to the increasing population, rapid urbanization, and uncontrolled breeding. The increase in the number of stray animals leads to numerous problems such as traffic accidents, diseases, animal attacks, and environmental pollution, while the current shelter capacity remains insufficient. In this study, within the context of the smart city concept, the Be My Home mobile application has been developed for the management, tracking, and adoption of stray animals in smart cities. The Be My Home mobile application was developed in Java using Android Studio, while Firebase infrastructure was employed for data management. The system offers various features such as animal profiles, health and vaccination tracking, adoption, announcements and lost/found notifications, shelter reviews, shelter statistics, real-time data synchronization, location-based announcement filtering, and shelter management. Tests show that the application can be used effectively by both individual users and shelter officials. As a result, the developed mobile application has the potential to contribute to the smart city vision by enhancing stray animal welfare, enabling sustainable population management, modernizing shelters, and fostering responsible citizen participation.

1. Introduction

Stray animals have become a major problem in Turkey. Factors such as population growth, urbanization, and uncontrolled breeding are causing the number of stray animals to increase every day. It is known that a female dog can give birth to 12-18 puppies per year, which amounts to 67,000 puppies in 6 years (Bulut, 2023; Sürsal, 2023). This uncontrolled increase causes many problems such as traffic accidents, diseases like rabies, dog attacks, and environmental pollution (Kırışık and Öztürk, 2021; Yücel and Kıran, 2023). The health of animals is linked to the health of society. Therefore, it is everyone's responsibility to raise public awareness, develop sustainable solutions, improve the living conditions of animals, and protect public health (Şahin, 2024).

Current policies do not provide a sustainable solution to this problem. Proposed solutions include collecting stray dogs and placing them in shelters, providing them with regular food, treating their illnesses, vaccinating them, and neutering them (Uluchay, 2022; Sümer, 2024). However, despite ongoing efforts and international contributions, the stray animal population continues to grow. In addition to regular stray animals, a significant portion of the approximately 10 million pets that go missing each year are never reunited with their owners and eventually become stray animals themselves (Gonzalez, 2023). Methods such as lost-and-found notices or social media announcements often prove inadequate, and many animals are abandoned to the streets by their owners, who fail to anticipate the time, cost, and care required for their wellbeing (Real Flores and Abascal-Mena, 2018).

According to the 2024 study by the Marmara Municipalities Union, only 57 out of 107 municipalities have shelters. While the number of street animals identified is 322,711, the total number of animals in shelters is only 18,726. Efforts to help street animals are more intensive and organized in large cities, while in smaller cities services remain limited (Marmara Belediyeler Birliği, 2024). Shelter occupancy rates exceeding 100% and limited resources highlight the need for sustainable solutions, increasing the burden on municipalities and non-governmental organizations (NGOs) (Sümer, 2024).

According to data shared by the Istanbul Metropolitan Municipality, 855 animals were adopted in 2006; the highest number was recorded in 2014 and 2016, at 999. In recent years, a decline in adoption numbers has been observed again (İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2021). Shelters and rescue organizations need a digital platform to improve the adoption process (Jagtap, 2025). Studies show that people consider adopting animals but often do not follow through with this idea (Mohan-Gibbons et al., 2014). A survey indicated that 74% of participants were enthusiastic about using a mobile application for animal adoption (Santyn et al., 2018). Therefore, digital platforms can offer opportunities in this regard, and sharing information about stray animals has the potential to increase their visibility and accessibility, thereby improving their chances of finding a home (Bzdick, 2010). Announcements for animals should be made using social media and similar tools, and citizens should be encouraged to adopt these animals (Şahin, 2024).

Given these data, the Be My Home mobile application will enable shelters to be managed more efficiently and raise social awareness. The inclusion of smaller provinces in the system we have developed will strengthen inter-municipal coordination. This will enable effective work to be carried out in all regions, reduce the workload of shelter staff, and improve the welfare of stray animals. The Be My Home mobile application aims to provide a comprehensive solution to these animal-related issues. The developed mobile application combines functions such as listing stray animals, announcements and lost/found animal sharing module, address-based announcement notifications, animal information management, and shelter evaluation on

a single platform. Data on shelter capacity, sterilization and adoption rates, as well as health records, contribute to strengthening the decision making mechanisms of local governments.

The rest of the article will detail the system's technical infrastructure, functional features, and innovative aspects; then the results, contributions, and recommendations for the future will be discussed.

The literature includes various mobile and web-based platforms aimed at enhancing animal care, tracking, and adoption processes. Tailored to the diverse needs of users in different geographical contexts, these platforms provide distinct functionalities. Table 1 comparatively illustrates the functions and services offered by these systems. Shelter Soul (2025) is a web-based platform developed to improve pet adoption processes. It includes modules such as shelter management, smart animal matching, volunteer coordination, and donation tracking. Performance and usability tests have shown that the system operates reliably and is well-received by users (Jagtap, 2025). FurRescue (2025) is a mobile application developed to address issues related to stray animals in Malaysia. Users can share information about lost or stray animals through the app and create posts with location details. The app features dog breed recognition, geofencing, a community forum, and message exchange. It has been considered useful by users in tests conducted (Jean and Wahid, 2025). SRMS (2025) is a web platform developed to improve the organization of rescue and management activities related to stray animals. Through the system, users can report lost animals, make donations, participate in adoption processes, and provide support as volunteers. The platform has contributed to more efficient processes, particularly by enhancing communication between shelters and volunteers (Mammi, 2025). OnePet (2025) is an iOS-based mobile application developed to help pet owners find reliable caregivers. The app also provides resources such as shelter information, adoption options, nearby veterinary clinics, and guides and informative articles about animals. Surveys have shown positive feedback in terms of user experience, functionality, and ease of use (Darmawan and Khresna, 2025). Animal Ranger (2023) is a web-based platform developed to encourage the rescue of stray animals and their adoption from shelters. The application displays the locations of nearby animal shelters, lists animals available for adoption, and provides areas for reporting and adoption. The system has contributed to reducing information gaps and trust issues in the adoption process (Ferdianto et al., 2023). E-Pati (2021) is a platform offered by the Ankara Metropolitan Municipality, enabling citizens to report injured stray animals by calling the Capital Municipality's hotline and obtain online information about their status. It also offers services such as reporting unmuzzled stray dogs and scheduling sterilization appointments. Additionally, animals are listed on the website, and adoption procedures can be carried out for these animals (Ankara Metropolitan Municipality, 2021). SemtPati (2020) is a mobile application that enables detailed neighborhood-based records of street animals in Istanbul. Through the application, information such as the number of street animals, who feeds them, their medication and vaccination needs, and veterinary assistance can be regularly recorded and tracked. This facilitates the mapping of street dogs in neighborhoods across Istanbul (SemtPati, 2022). ShelterInfo (2019) is a mobile application designed to make the work of animal shelters easier. Users can use this application to obtain information about shelters, registered animals, and employees. Statistics such as sterilization rates are also available. Shelter information is updated on the website and can be viewed immediately in the application. Users can also easily view the nearest shelter on a map. This makes it more practical to track shelters and adopt animals (Türk and Şener, 2019).

Table 1. Mobile and web-based platforms that support the care, adoption, and locating of stray animals.

Application	Key Features	Platform	Adoption	Missing Pet Notice	Report of Sick Animals	Community Participation
Shelter Soul (Jagtap, 2025)	Adoption, smart pairing, shelter management, donations, volunteer coordination	Web	The smart pairing module ensures suitable matches between users and shelters.	No	No	No
FurRescue (Jean and Wahid, 2025)	Street animal listing, breed identification, geofencing, forum, chat rooms	Mobile	Users are notified about stray animals in the vicinity.	Users can share content.	Users can make reports.	Forum, registration of lost/sick and stray animals in the system.
SRMS (Mammi, 2025)	Report stray animals, make donations, adopt, provide educational resources.	Web	The animals found in shelters are listed.	No	No	Rescue, care, and adoption processes coordinated through the system.
OnePet (Darmawan and Khresna, 2025)	Pet sitter, shelter and veterinarian information, pet product sales, informative content, viewing adoptable animals at shelters.	Mobile	The animals found in shelters are listed.	No	No	No
Animal Ranger (Ferdianto et al., 2023)	Adoption, animal report, location-based pairing, report and adoption.	Web	The animals found in shelters are listed.	No	There is a form page for filing reports.	Animal reports, communication with shelters, posting on social media.
E-pati (Ankara Metropolitan Municipality, 2021)	Adoption of shelter animals, application for unregistered stray dogs, sterilization appointment.	Web	Animals in shelters are listed, and applications can be filed.	No	No	No
SemtPati (SemtPati, 2022)	Mapping and adoption of stray animals in Istanbul.	Web + Mobile	The animals shown on the app can be adopted.	No	No	Users add stray animals in their neighborhoods to the app, and mapping is carried out in this way.
ShelterInfo (Türk and Şener, 2019)	The shelter keeps records of employees and animals. Adoption, nearest shelter, and sterilization statistics.	Web + Mobile (Android)	The animals found in shelters are listed.	No	No	No
Proposed Be My Home Mobile App	Sharing statistics such as the adoption of animals in shelters, reports of lost/sick animals, shelter evaluations, shelter occupancy rates, and adoption numbers.	Mobile	The application lists animals that have not been adopted.	Users can share information about lost and found animals, and users are notified regionally about these posts.	Users can share sightings of sick/injured animals seen on the street; regional notifications are available.	Reporting lost/found/sick/injured animals, shelter assessment.

Looking at existing platforms, it is evident that most offer one-dimensional solutions. However, the proposed Be My Home mobile application stands out from the rest in this regard, offering a more comprehensive platform by sharing statistics such as adoption rates, reports of lost and sick animals, and shelter occupancy and adoption rates. Furthermore, the evaluation of shelters increases community participation and awareness, strengthening the reliability of the system. The Be My Home mobile application, which is designed on a centralised status management protocol, is distinct from existing solutions. It integrates shelter capacity, neutering information and geographical location data, providing a comprehensive data collection and decision support mechanism for smart city IoT ecosystems. The architectural uniqueness of the proposed system lies in its provision of a holistic operational infrastructure, combining heterogeneous functions (listing, reporting and management) within a centralised Firebase Real-Time Database structure. From this perspective, the proposed Be My Home mobile application offers a more comprehensive and functional solution for users, shelters, and local governments alike.

2. Material and Method

2.1. System architecture and design

As illustrated in Figure 1, the developed system consist of an Android mobile application on the client side, while the server side is supported by the Firebase (Android Developers, 2024) infrastructure. The client directly connects to the Realtime Database via the Firebase SDK. The overall architecture of the application ensures that data received from the client is processed on Firebase and shared simultaneously with all users.

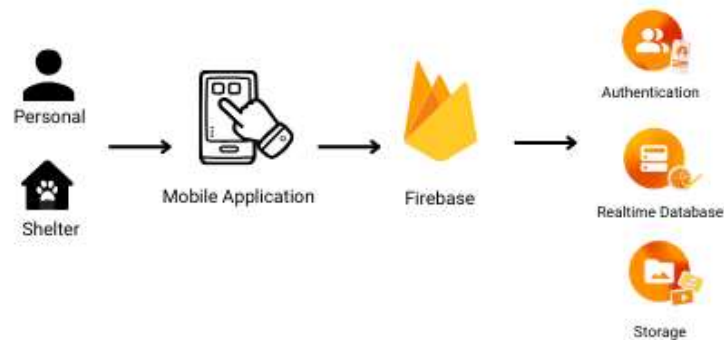


Figure 1. The overall architecture and design of the proposed system

2.1.1. The client side

The mobile application was developed using Java (Firebase, n.d.) on Android Studio (Oracle, n.d.). The pages of the mobile application have been designed with a simple and user-friendly interface, utilizing BottomNavigationView for transitions between modules and RecyclerView components for listing pages. Data obtained from Firebase Realtime Database for real-time data is connected to the RecyclerView component using an Adapter class and listed in the user interface.

The developed mobile application consists of six main modules: User Management Module, Animal Listings Viewing Module, Announcement Module, Shelter and Feedback Module, Profile Module, and Shelter Management Module. The modular structure of the developed mobile application, the working principles of these modules, and their relationships with each other are shown in the flow diagram in Figure 2.

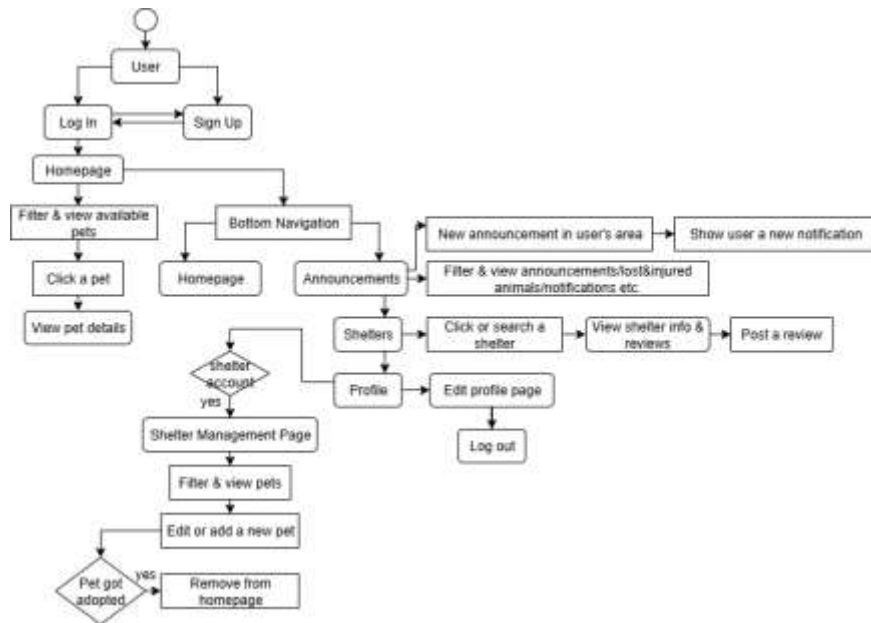


Figure 2. The modular structure and operating principle of the proposed system

2.1.2. Modules

The User Management Module enables users to log in to the system Firebase Authentication with their email and password, or they can create a new account. During the registration process, the user is asked to select an account type (citizen/shelter). This selection determines which modules the user can access within the system and which operations they can perform. For example, only shelters can add and update animal records.

The Animal Listings Viewing Module allows users to browse the animal listings shared by shelter authorities. These listings, stored in the Firebase Realtime Database, include details such as age, gender, vaccination information, species, and shelter location. Users can filter the listings by shelter or species and view detailed information about each animal. Users can access the details page of a specific listing by clicking on it.

The Announcement Module, designed for users to voluntarily share information about lost/found or injured/elderly stray animals they encounter, allows users to post updates containing location, description, and photos. These posts appear in real time on other user accounts located in the same region and are displayed to the user as new notifications.

The Shelter and Feedback Module, lists the shelters registered in the system, and users can search this list by shelter name. Users can view information such as the physical addresses, contact details, number of animals at the shelter, and user reviews for these shelters, and can rate and comment on the shelters. In the Profile Module, users can update their account information (name, address, email, password, etc.) or delete and update their reviews and posts. The Shelter Management Module is only accessible to accounts with a corporate account type. In this module, shelters can perform tasks such as updating the information of animals in their care and adding new animals. If an animal is adopted, shelter management updates the relevant field in this module and the related listing is set to inactive in the system. Shelter accounts can view these inactive listings in their own areas, while regular users cannot view them. The application's design has been shaped according to the principles of accessibility, simplicity, and efficiency. The colors, icons, and button placements used in the interface have been determined with user habits in mind. Fragments have been used in some areas during screen transitions, thereby improving the application's internal performance.

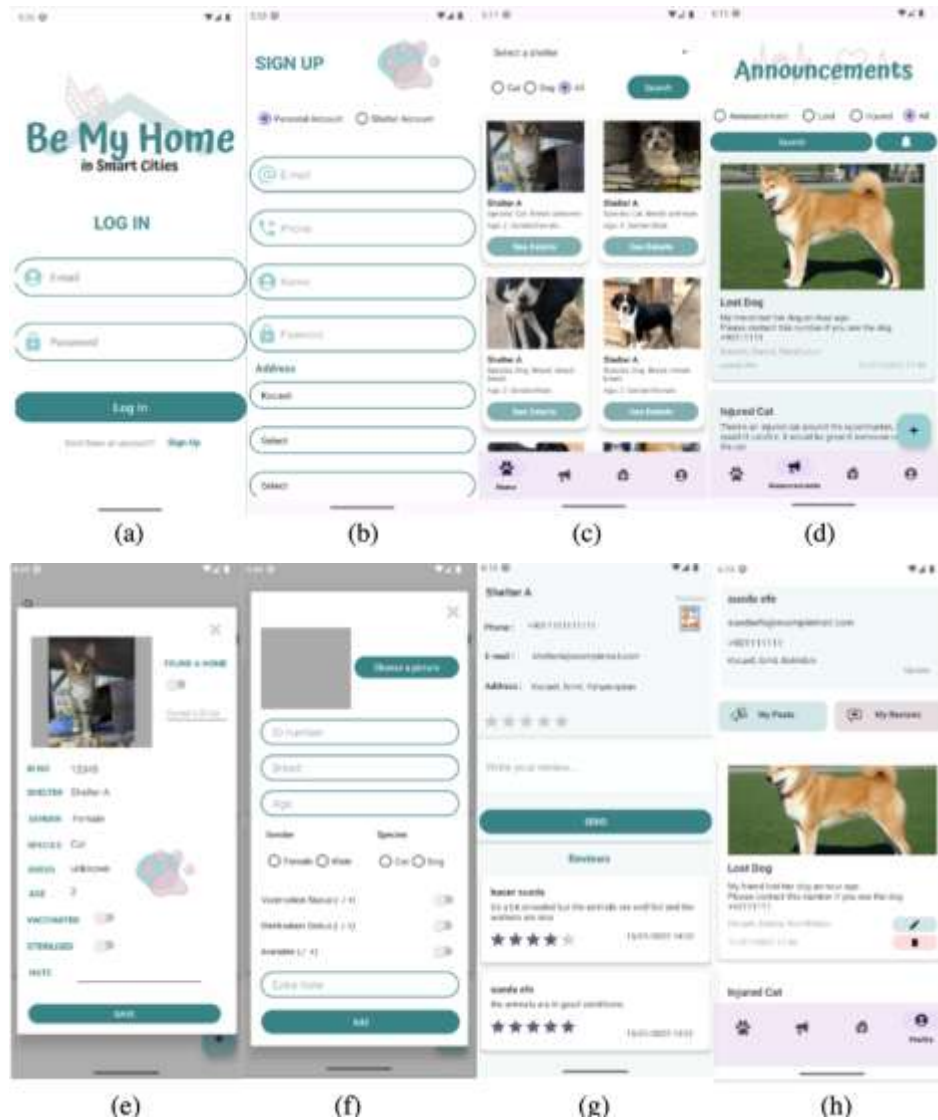


Figure 3. Screenshots of the Be My Home mobile application that has been developed (a) login, (b) registration, (c) animal listings, (d) announcements, (e) listing edit, (f) animal addition, (g) shelter evaluation and (h) user profile

The in-app interface screens of the developed mobile application are presented in Figure 3. Specifically, Figure 3(a) shows the login screen, Figure 3(b) the registration screen, Figure 3(c) the animal listings screen, Figure 3(d) the announcements screen, Figure 3(e) the listing edit screen, Figure 3(f) the new animal addition screen, Figure 3(g) the shelter evaluation screen, and Figure 3(h) the user profile screen.

2.2. Server side

The application's server side utilizes Google Firebase (Android Developers, 2024) infrastructure. Firebase offers numerous cloud-based services such as authentication, real-time data synchronization, media storage, and security management. This structure enables direct communication between the application and the database.

2.2.1. Firebase realtime database

Data are stored in the Firebase Database using a JSON based structure. Records concerning each animal's health, vaccination, location, and adoption status are managed exclusively by institutional accounts, while regular users are restricted from accessing or modifying these fields. With Firebase Realtime Database infrastructure, any changes made to

the data are synchronized instantly, allowing the current status to be tracked across the entire system. The database consists of the following nodes:

- **Users:** This node stores all user related information, including email, name, phone number, account type (citizen or shelter), and location details such as city, district, and neighborhood. The structure facilitates location based notification functionality within the system.
- **Animals:** This node stores information about animals entered by shelters. It includes the animal's vaccination status, sterilization information, age, gender, species, breed, adoption status, photo links, and description information. Each animal record stores the shelterID according to the shelter's foreign key rule.
- **Announcements:** This node contains announcements made by users regarding lost or found animals or events. Each record includes a title, description text, the sharing user's ID, location, timestamp, and a visual link if available.
- **Reviews:** This node stores reviews made for shelters. Each review contains text from the user, a score, a timestamp, and information on whether the review has been updated. Each review is stored with both the user ID and the target shelter ID.

Figure 4 provides a visual representation of the database tables.

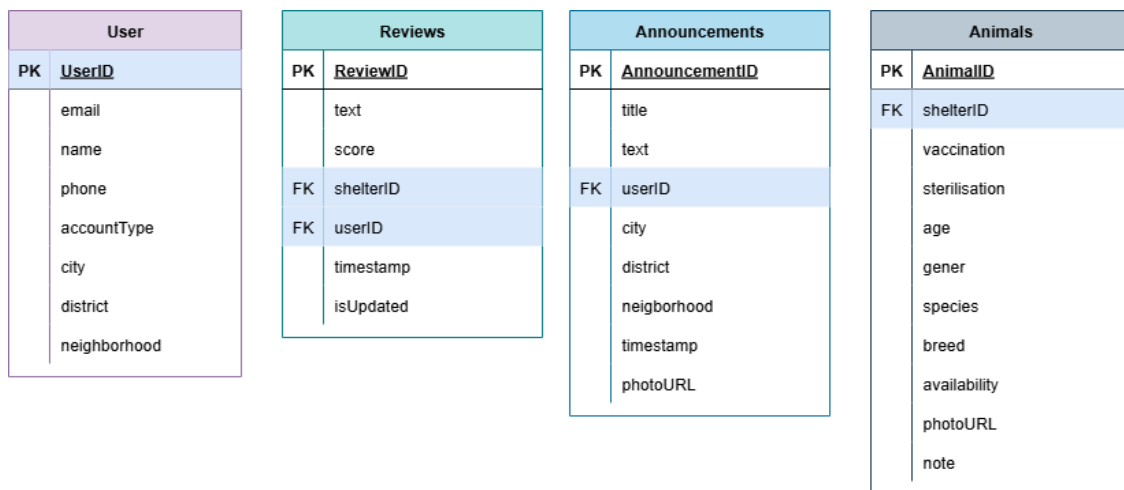


Figure 4. The entity-relationship diagram of the Firebase database employed in the application.

2.2.2. Firebase authentication

Firebase Authentication is used to enable users to log in to the system securely. Users register with an email address and password, and the system generates a unique UID for each user.

2.2.3. Firebase storage

Firebase Storage and the Glide library were used for managing visual content such as animal photos and announcement posters. For each file uploaded by the application, the system generates a unique URL, which is stored as a reference within the corresponding data nodes.

2.2.4. Firebase cloud functions

The developed system does not currently utilize Cloud Functions directly; however, it is anticipated that the system may benefit from them in the future for certain purposes discussed below. Tasks such as automatically archiving lost animal notices after a specific period (e.g., 30 days), tracking adoption statuses, or cleaning up inactive content can be performed using

scheduled Cloud Functions. When a user account is deleted, operations such as the automatic removal of announcements, comments, or animal data associated with that user can be executed. Additionally, when a new lost-animal or event announcement is created that matches user's address information, automatic notifications can be sent to users in the corresponding region via Firebase Cloud Messaging. Such location-based notifications, currently displayed with an in-app notification icon, can be made more effective and real-time by converting them into a system-triggered push notification structure with Cloud Functions.

2.3. Development environment and tools

In this study, Android Studio Iguana (1.2.2023) was chosen for the development of the Be My Home mobile application (Oracle, n.d.). Java was used as the programming language, and the application was developed in Java SE 8 (JDK 1.8) compatibility. Java 8 was chosen due to its widespread API support and stable structure on the Android platform (Firebase, n.d.). The application's minimum SDK level is set to API 24 (Android 7.0 Nougat), and the target SDK level is API 34 (Android 14). During the development process, Firebase SDKs were integrated for user authentication, real-time data management, and media storage operations. In this context, Firebase Authentication, Firebase Realtime Database, and Firebase Cloud Storage services were used (Android Developers, 2024).

3. Results and Discussion

A usability test was conducted to evaluate the interface of the developed mobile application, the functionality of its basic features, and the overall user experience. The results are presented in Table 2. Within this scope, the application was tested by four users. Two of the participants joined the testing process using individual user accounts, while the other two opened shelter accounts. Participants rated the various functions of the application on a 5-point Likert scale: 1: Very Bad, 2: Bad, 3: Neither Bad Nor Good, 4: Good, and 5: Very Good, and also shared their opinions about the application. The feedback received has been analyzed both on a user basis and by account type.

Table 2. Usability test results for the developed mobile application.

Questions	User 1 (Personal Account)	User 2 (Personal Account)	User 3 (Shelter Account)	User 4 (Shelter Account)
Registering for the application	Very Good	Very Good	Very Good	Very Good
Login process	Very Good	Very Good	Very Good	Very Good
Updating your profile information process	Very Good	Very Good	Very Good	Very Good
User-friendly interface	Very Good	Very Good	Good	Good
The operation of the functions used	Good	Good	Good	Very Good
Ease of finding the desired information or function	Very Good	Very Good	Good	Good
Result	4.8/5	4.8/5	4.5/5	4.6/5

When user feedback was reviewed, users stated that the Be My Home mobile app was useful and that the developed interface was simple and user-friendly. Requests were made to add functions such as commenting on announcements, adding photos to shelter reviews, and making the management panel button for shelters more prominent. Additionally, one user reported that the filtering feature sometimes responds slowly. This feedback indicates that the app's usability is generally viewed positively, but some details could be improved.

There are limitations regarding the sustainability of user participation in the usability test shown in Table 2. The usability test for the developed mobile application was designed to provide definitive error detection and workflow validation, particularly in the functional validation phase, rather than stochastic user sentiment analysis. The four users (two personal accounts and two shelter accounts) were not randomly selected, but rather acted as expert validators, performing specific functional scenarios as defined in the flow diagram in Figure 2. Upon examining Table 2, it can be seen that the Likert scale results yielded high scores. Based on these results, it appears that the proposed system operates within acceptable tolerance levels for a prototype.

4. Conclusion

This study contributes to the field by proposing a comprehensive system that facilitates the adoption of stray animals by addressing the shortcomings identified in the existing literature regarding shelter management, reporting of lost/injured animals, and citizen participation. The developed mobile application supports the smart city vision by encouraging participation not only from animal lovers but also from municipalities and shelter authorities. In this context, the system supports data-driven decision-making processes based on information such as shelter occupancy rates, animal health status, vaccinations, and location. Additionally, the ability for citizens to submit reports through the application, post notices about lost animals, and access information about shelters has a positive impact on encouraging increased digital participation. The developed system is expected to benefit animal shelters, local governments, and volunteers, and is anticipated to yield positive results such as the tracking of stray animals, the acceleration of adoption processes, and increased social awareness. The proposed method uses Firebase Authentication to simplify user identity management. This ensures that user UIDs are cryptographically unique and decoupled from application logic. Furthermore, the proposed method employs Role-Based Access Control (RBAC) in its architecture, strictly encapsulating write access to the database. Access to data is restricted to verified accounts. This makes it impossible for unauthorised organisations/users to misuse shelter reviews for official data entry. For the functional requirement of geographic restriction notifications, location data is stored in the Firebase database in the form of cryptographic encryption, just like other data. The architectural design of the proposed method guarantees low-latency network communication via Firebase's callback mechanism and ensures the sustainability of database performance through an automatic archiving strategy on the server side. However, the system also has various limitations, such as its need for an internet connection, the sustainability of user participation, the accuracy of manual data entry, and the differences in shelter structures across different cities.

The Be My Home mobile app bridges the gap between users and shelters, accelerating the adoption process, transparently sharing information about the animals location, health, sterilization, and vaccinations, and making it easier for users to access the shelters. At the same time, it enables the sharing of announcements about lost or in-need animals, thereby minimizing suffering in such situations. The developed system not only simplifies the adoption process but also provides a social solidarity environment that strengthens communication between users, shelters, and animal-loving communities. Thanks to its filtering and notification features, users can instantly follow developments in their area, thereby promoting environmental awareness and social participation. The fact that the application only allows shelters to add adoption postings makes the process safer. Additionally, feedback provided through comments encourages user contributions. The application ensures that data is updated in real time thanks to its Firebase-supported infrastructure. Processing the data obtained in this way supports local governments in achieving their smart city goals by creating and reporting statistical and real-time data that can contribute to their decision-making processes. In light of all these potential

developments, it is anticipated that the widespread use of the proposed Be My Home mobile application will significantly contribute to improving the living conditions of stray animals, sustainably managing the animal population in cities, and encouraging citizens to participate more actively and responsibly in city life. In future work, developing an iOS version of the mobile application is one of the key objectives to ensure it reaches a wider audience. Furthermore, the integration of AI-based recommendation systems is planned to improve adoption probability estimation and user-animal matching processes. In addition, more advanced analytical reporting dashboards will be developed for municipalities.

Declaration of Author Contributions

Hacer Sueda Efe was responsible for the conceptualization, methodology, and software development, and prepared the original draft of the manuscript. Önder Yakut contributed to the review and editing of the manuscript and provided supervision throughout the study. Gizem Yıldız was responsible for editing, translation, and formatting of the manuscript.

Declaration of Conflicts of Interest

The authors state that there are no conflicts of interest associated with this research.

Funding

This research was supported by The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK) 22/09 A- “University Students Research Projects Support Program” with the project number 1919B012404069.

Acknowledgement

The authors would like to thank TÜBİTAK for supporting this study through the 2209-A Research Project Support Program for University Students (Project No: 1919B012404069).

References

- Android Developers, 2024. Android Studio Iguana Ver.:1.2.2023. (<https://developer.android.com/studio/releases/past-releases/as-iguana-release-notes?hl=tr>), (Access Date: 15.08.2025).
- Ankara Metropolitan Municipality, 2021. E-Pati Uygulaması. (<https://epati.ankara.bel.tr/>), (Access Date: 13.08.2025)
- Bulut, G., 2023. Sahipsiz Köpekler (Ed: Y. Şahin). *Demographics of stray dogs*. Ekin Publishing and Distribution, No:2, Osmangazi/Bursa.
- Bzdick, T., 2010. Digital dog shelter application. Thesis. Rochester Institute of Technology, USA.
- Cristina Gonzalez, 2023. Lost dogs have fueled the overpopulation crisis in US animal shelters. (<https://www.shelteranimalscount.org/lost-dogs-have-fueled-the-overpopulation-crisis-in-us-animal-shelters/>), (Access Date: 09.08.2025).
- Darmawan, D., Khresna, R., 2025. Analysis and design pet healthcare, pet adoption, and pet community iOS mobile application for animal lovers. *Engineering, Mathematics and Computer Science Journal (EMACS)*, 7(2): 155-165.
- Ferdianto, F., Witarsyah, W., Theodore, W., Avriald, A., Naufal, F., 2023. Animal ranger website design: animal adoption platform. *SEEIJ (Social Economics and Ecology International Journal)*, 7(2).
- Firebase., n.d. Firebase documentation. (<https://firebase.google.com/docs?hl=tr>), (Access Date: 18.08.2025).

- Istanbul Metropolitan Municipality, 2021. Animal statistics by year. (<https://data.ibb.gov.tr/dataset/yillara-gore-hayvan-istatistikleri>), (Access Date: 02.03.2025).
- Jagtap, Y.D., 2025. Shelter Soul: bridging shelters and adopters through technology. *Arxiv Preprint Arxiv*, 2506.12739.
- Jean, Y.H., Wahid, N., 2025. FurRescue: a mobile application for pet and stray animal locator with geo fencing and AI breed detection. *Applied Information Technology And Computer Science*, 6(1): 1-20.
- Kırışık, F., Öztürk, K., 2021. From violence news to animal rights, the stray dog problem. *Dumlupınar University Journal of Social Sciences*, (69): 360-388.
- Mammi, H.K., 2025. Stray rescue management system (SRMS). *International Journal of Innovative Computing*, 15(1): 139-144.
- Marmara Municipalities Union, 2024. Stray animals research report: Municipalities in the Marmara Region and current situation. (<https://www.marmara.gov.tr/tr/sokak-hayvanlari-arastirma-raporu>), (Access Date: 02.03.2025).
- Mohan-Gibbons, H., Weiss, E., Garrison, L., Allison, M., 2014. Evaluation of a novel dog adoption program in two US communities. *PLoS One*, 9(3): e91959.
- Oracle, n.d. Java Platform, Standard Edition (Java SE) 8. (<https://docs.oracle.com/javase/8/>), (Access Date: 19.08.2025).
- Real Flores, G., Abascal-Mena, R., 2018. MiGua! app for user awareness prior to adopting dogs in urban areas. In *International Conference on Social Computing and Social Media*. Cham: Springer International Publishing.
- Santy, S., Karuna, R., Budiman, A., 2018. E-dopt: a mobile application for pet adoption in Indonesia. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 16(5): 2137-2143.
- SemtPati, 2022. SemtPati Foundation - Support stray dogs living in shelters. (<https://semtpati.org/>), (Access Date: 14.08.2025).
- Sümer, G.Ç., 2024. The problem of stray dogs in urban areas and solution practices. *Van Yuzuncu Yıl University Faculty of Economics and Administrative Sciences Journal*, 9(17): 34-49.
- Sürsal Şimşek, N., 2023. Stray Dogs (Ed: Y. Şahin). *Stray dogs in terms of public health*, Ekin Publishing and Distribution, No:2, Osmangazi/Bursa.
- Şahin, K., 2024. Stray Animals: Social Problems and Public Health. Turkish Academy of Sciences.
- Türk, T., Şener, R., 2019. Developing an Android-based mobile application for temporary animal shelter activities. *Eurasian Journal of Agricultural Research*, 3(1): 1-8.
- Uluchay., 2022. Problems with stray dogs: complications and ways to solve it. (<https://uluchay.org/problems-with-stray-dogs-complications-and-ways-to-solve-it/>), (Access Date: 01.03.2024).
- Yücer, H.M., Kıran, B.A., 2023. Animal love and opposition from a social health perspective: stray dogs and new social risks. *Academic Platform Journal of Halal Lifestyle*, 5(2): 62-77.

EJONS

Uluslararası Matematik, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi
International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences

Research Article

e-ISSN: 2602 - 4136

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17948158>

Öğretmen adaylarının Ters Fonksiyonlara İlişkin Enstrümanlı Eylem Şemalarının İncelenmesi

Naz MARDANI ^{*}1, Menekşe Seden TAPAN BROUTİN ¹

¹ Bursa Uludağ Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik Eğitimi Bölümü, Bursa, Türkiye
Sorumlu Yazar Email: naz.mardani2@gmail.com

Makale Tarihçesi

Geliş: 08.10.2025
Kabul: 02.12.2025

Anahtar Kelimeler

Enstrümantal
Yaklaşım,
Öğretmen Adayları,
Teknoloji Destekli
Öğretim,
Temsiller,
Enstrümanlı Eylem
Şemalar

Özet: Bu çalışma, öğretmen adaylarının ters fonksiyonları temsil süreçlerini ve bu süreçlerde ortaya çıkan enstrümantal oluşumlarını incelemeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda, kâğıt-kalem ve dinamik geometri ortamlarında ters fonksiyonların yazımı ve grafiklerinin çizimine yönelik geliştirilen enstrümanlı eylem şemalarına odaklanarak, öğretmen adaylarının matematik öğretimine yönelik teknolojik araçların öğretim sürecindeki katkısı değerlendirilmiştir. Araştırma, Türkiye’de bir devlet üniversitesinde ilköğretim matematik öğretmenliği programının ikinci sınıfında öğrenim gören 6 öğretmen adayı ile yürütülmüştür. Araştırmanın verileri çalışma yaprağı, yazılı ve sözlü görüşmeler, ekran ve ses kayıtları ile toplanmış ve içerik analizi yöntemiyle çözümlenmiştir. Veriler kodlanmış, kategorilere ayrılmış ve enstrümantal yaklaşımın bileşenleri çatısında temalar oluşturulmuş ve araştırmanın amacı doğrultusunda yorumlanmıştır. Araştırmanın sonucunda, öğretmen adaylarının kâğıt-kalem ortamında geliştirdikleri enstrümanlı eylem şemalarının işlemsel düzeyde kaldığını, Cabri-Geometri ortamında ise kavramsal, etkileşimli ve çoklu temsilli şemalar geliştirdiğini ortaya konulmuştur. Dinamik ortamın görsel ve etkileşimli özellikleri, öğretmen adaylarının cebirsel kavramları anlamlandırma ve temsiller arası geçişlerini kolaylaştırarak, teknoloji entegrasyonunun matematik öğretiminde kavramsal öğrenmeyi destekleyici bir yaklaşım olarak benimsenmesi gerektiğini göstermektedir.

Investigating Pre-Service Teachers’ Instrumented Action Schemes Related to Inverse Functions

Article Info

Received: 08.10.2025
Accepted: 02.12.2025

Keywords

Instrumental
Approach,
Pre-Service Teachers,
Technology-Assisted
Teaching,
Representations,
Instrumented Action
Schemes

Abstract: This study aims to examine pre-service teachers’ processes of representing inverse functions and the instrumental genesis that emerges during these processes. Focusing on the instrumented action schemes developed for writing and graphing inverse functions in both paper-and-pencil and dynamic geometry environments, the study evaluates the contribution of technological tools to mathematics teaching. The research was conducted with six pre-service elementary mathematics teachers enrolled in the second year of a public university in Türkiye. Data were collected through worksheets, written and oral interviews, screen recordings, and audio recordings, and were analyzed using content analysis. The data were coded, categorized, and organized into themes within the framework of the components of the instrumental approach, then interpreted in line with the research purpose. The findings revealed that the instrumented action schemes developed by pre-service teachers in the paper-and-pencil environment remained at an operational level, whereas in the Cabri-Geometry environment they developed conceptual, interactive, and multi-representational schemes. The visual and interactive features of the dynamic environment facilitated pre-service teachers’ understanding of algebraic concepts and their transitions among representations. This indicates that technology integration should be adopted as an approach that supports conceptual learning in mathematics teaching.

1. Giriş

Matematik eğitiminde teknolojinin entegrasyonu, özellikle cebir gibi soyut kavramların öğretiminde farklı öğrenme ve öğretme yöntemlerine vesile olmaktadır. Cebir, matematik öğretiminde soyutluk düzeyi en yüksek alanlardan biri olup ve kavra yanılgılar öğrenme zorlukları açısından alanda pekçok araştırmaya konu olmuştur (Kieran, 1992; MacGregor ve Stacey, 1993). Örneğin, öğrencilerin değişken, eşitlik ve sembolik gösterimler gibi temel kavramları anlamlandırmada zorlandıkları, bilinmeyen ile sayı arasındaki farkı ayırt etmede ve fonksiyonel düşünmeyi yapılandırmada güçlük yaşadıkları birçok araştırmada vurgulanmıştır (Dede ve Argün, 2003). Bu durum, cebiri müfredatta kavramsal açıdan soyut öğrenme alanlarından biri olarak ön plana çıkarmaktadır (Kaput, 1998; Taşlıbeyaz, 2010). Öğrencilerin yaşadığı zorlukların önemli nedenlerinden biri, farklı temsiller arasında ilişki kuramamalarından kaynaklandığı literatürde raporlanmıştır (Yuhasriati ve ark., 2022). Sözel, sembolik, tablo ve grafiksel temsiller arasında geçiş yapamayan öğrencilerin kavramsal kopukluklar yaşadığı ortaya konulmuştur (Tall ve ark., 2001).

Dinamik geometri yazılımları, bu bağlamda öğrencilere farklı temsiller arasında ilişki kurma, cebirsel kavramları görselleştirme ve soyut düşünmeyi desteklemektedir. Cabri-Geometri gibi yazılımlar, sürükleme, ölçüm aktarım ve geometrik yer belirleme gibi özellikleriyle öğrencilerin grafiksel ve cebirsel temsilleri aynı anda görmelerini sağlamak ve böylece cebirsel ifadelerin somut temsillerini oluşturmaktadır (Trouche, 2005; Komatsu ve Jones, 2020). Buna ek olarak, literatürde sunulan kavramsal çerçeve ters fonksiyonların öğretiminde karşılaşılan zorlukların çoklu temsiller, grafik ve cebir ilişkisi, ve araç kullanımına bağlı bilişsel süreçlerle yakından ilişkili olduğunu göstermektedir.

Son yıllarda yapılan araştırmalar, öğrencilerin örneğin ters fonksiyonlar konusunda zorluklar yaşadığını ortaya koymuştur (Paoletti ve ark., 2018). Fonksiyonun birebirlik olma şartını fark etme, f^{-1} gösterimini anlamlandırma, değişkenlerin yer değiştirilmesine dayalı işlemsel yaklaşımı kavramsal temellerle ilişkilendirme ve fonksiyonun ve tersinin grafiksel olarak yorumlama bu konudaki zorlukları göstermektedir (Fitrianna ve ark., 2024). Öğrencilerin çoğu zaman ters fonksiyonları yalnızca işlemsel bir yaklaşım olarak görmeleri, kavramsal anlamın gölgede kalmasına yol açmaktadır. Aktarılan çalışmalar, ters fonksiyonların kavramsal temellerinin öğrenciler tarafından çoğu zaman yüzeysel biçimde ele alındığını ortaya koymaktadır; bu nedenle farklı temsil ortamlarının bu kavramsal yapıları nasıl etkilediğinin araştırılması önem taşımaktadır.

Bu noktada teknoloji destekli öğrenme ortamlarının, özellikle de dinamik geometri yazılımlarının, öğrencilerin çoklu temsiller arasında geçiş yapmalarını kolaylaştırdığı ve kavramsal anlamayı desteklediği belirtilmektedir (Segal ve ark., 2021). Araç kullanımıyla ilişkili öğrenme ortamlarında öğrencilerin geliştirdikleri zihinsel şemaları anlamak için geliştirilen kuramsal yaklaşımlardan biri enstrümantal oluşum teorisidir (Verillon ve Rabardel, 1995; Trouche, 2004). Bu teori, öğrencilerin araçlarla etkileşimleri sonucunda geliştirdikleri “enstrümanlı eylem şemaları”nı açıklamaktadır (Haspekian, 2005). Fonksiyon ve ters fonksiyon öğretiminde, enstrümantal yaklaşımın öğrencilerin araçla (dinamik geometri yazılımı) kurdukları stratejileri, çoklu temsiller arası geçişleri ve kavramsal anlamlandırmalarını incelemede etkili olduğu çalışmalarla ortaya konmuştur (Ndlovu ve ark., 2011). Böylece ters fonksiyon öğretiminde dinamik geometri yazılımları gibi teknolojik araçlar yalnızca görselleştirme işlevi görmekle kalmamakta, aynı zamanda enstrümanlı eylem şemaları yoluyla kavramsal öğrenmeye katkı sağlamaktadır (Nolasco, 2018).

Bu çalışmanın teorik çerçevesini oluşturan enstrümantal oluşum teorisi (Verillon ve Rabardel, 1995), öğrencilerin araçları kullanırken geliştirdikleri zihinsel şemalarını belirlemektedir. Teoriye göre, öğrenciler araçlarla etkileşimleri sonucunda "enstrümanlı eylem

şemaları" geliştirmekte ve bu şemalar matematiksel anlamlandırmayı etkilemektedir (Trouche, 2004). Öğrencilerin geliştirdikleri eylem şemaları, öğretmenlerin enstrümanlı eylem şemaları tarafından doğrudan etkinmektedir (Laborde, 2002).

Bu bağlamda deneyimli öğretmenler, var olan matematik bilgilerini ve öğretim bilgilerini kullanarak enstrümanlı eylem şemaları üzerinden öğrencileri yönlendirmektedir. Buna karşılık öğretmen adayları, henüz oluşum sürecindeki matematik bilgileri ile öğretim bilgilerini aynı anda geliştirirken, bu iki bilgi alanıyla eşzamanlı olarak enstrümanlı eylem şemalarını da inşa etmektedir. Öğretmen adayları, Cabri-Geometri gibi araçları yalnızca teknik düzeyde 'nasıl kullanılır' bilgisini edinmek için değil, aynı zamanda matematiksel kavramları öğrenme ve gelecekte bu kavramları öğrencilere öğreteceklerini düşünerek matematik bilgisi ile öğretim bilgisini bütünleştirme aracı olarak kullanılmaktadırlar (Tapan, 2006). Dolayısıyla öğretmen adaylarının bu deneyimleri, ileride öğretmenlik uygulamalarında öğrencilerinin, kavramsal temellere dayalı enstrümanlı eylem şemaları geliştirmelerine rehberlik edebilmeleri için önemli olduğu düşünülmektedir. Enstrümantal oluşum teorisi çerçevesinde, bireylerin kullandıkları araçlar farklı öğrenme ortamlarında çeşitlenmekte ve bu ortamlarda farklı enstrümanlı eylem şemaları ortaya çıkabilmektedir. Bu perspektiften, kâğıt-kalem ve dinamik geometri ortamlarda geliştirdikleri bu şemalar arasındaki farklılıkların incelenmesi, matematik eğitiminde teknoloji entegrasyonu açısından önem arz etmektedir (Haspekian, 2005; Drijvers ve Trouche, 2008). Çalışmanın temel odak noktası, kâğıt-kalem ve dinamik geometri ortamlarında geliştirilen enstrümanlı eylem şemalarının analiz edilmesi ve bu şemalar arasındaki benzerlik ve farklılıkların ortaya konulmasıdır.

Örneğin ters fonksiyonların öğretiminde, kâğıt-kalem ortamında bir fonksiyonun tersini elde etme amacıyla yapılan "x ve y değişkenlerinin yer değiştirilmesi" işlemi, genellikle işlemsel olarak uygulanmakta ve kavramsal temellerle ilişkilendirilememektedir. Buna karşılık, dinamik geometri ortamında $y=x$ doğrusuna göre simetri alma, geometrik yer belirleme ve tanım kümesini dinamik olarak kısıtlama gibi enstrümanlı teknikler sayesinde, ters fonksiyon kavramı sadece cebirsel bir dönüşüm değil, fonksiyonun grafiksel ve yapısal bir özelliği olarak yeniden inşa edilmektedir. Bu süreçte Cabri-Geometri dinamik geometri ortamı, öğrenenin amaçları doğrultusunda dönüştürülerek bir enstrüman hâline gelmekte; öğrenen ise ters fonksiyonlara ilişkin simetri, örtenlik, birebirlik ve tanım kümesi kavramlarını içeren enstrümanlı eylem şemaları geliştirmektedir. Bu örnek, enstrümantal oluşum teorisinin ters fonksiyonların kavramsal anlamlandırılmasını açıklamada işlevsel bir çerçeve sunduğunu ortaya koymaktadır.

Bu çalışma, ters fonksiyonların öğretiminde çoğunlukla işlemsel yaklaşımlar ve cebirsel dönüşümlerle sınırlandırılan mevcut literatürün ötesine geçerek, öğretmen adaylarının ters fonksiyonları kâğıt-kalem ve dinamik geometri ortamlarında çoklu temsiller, simetri ilişkisi ve tanım kümesi kısıtlamaları üzerinden nasıl anlamlandırdıklarını enstrümantal oluşum teorisi çerçevesinde incelemekte; bu yönüyle ters fonksiyonların kavramsal yapılandırılmasına ve teknoloji destekli cebir öğretimine özgün bir katkı sunmaktadır. Araştırmanın bu odak çerçevesinde aşağıda belirtilen problem ve altproblemlere cevap aranmıştır.

Araştırma problemi: Dinamik geometri yazılımı ve kâğıt-kalem temelli öğretim ortamlarında öğretmen adaylarının ters fonksiyonlara ilişkin enstrümantal oluşumları nasıldır?

Araştırmanın alt problemleri:

1. Öğretmen adaylarının kâğıt-kalem ortamında ters fonksiyonlara ilişkin enstrümanlı eylem şemaları nelerdir?
2. Öğretmen adaylarının dinamik geometri ortamında ters fonksiyonlara ilişkin enstrümanlı eylem şemaları nelerdir?

3. Öğretmen adaylarının kağıt-kalem ortamı ve dinamik geometri ortamında ters fonksiyonlara ilişkin enstrümanlı eylem şemaları arasındaki farklılıklar nasıldır?

2. Materyal ve Yöntem

Literatürde teknoloji destekli öğretimin soyut matematik kavramlarını somutlaştırmada etkili olduğu, özellikle tablo, grafik ve cebirsel ifadeler gibi farklı temsiller arasında bağlantı kurmayı kolaylaştırdığı vurgulanmaktadır (Kaput, 1998; NCTM, 2000). Öğrenenlerin yalnızca sembolik düzeyde değil, görsel ve sözel temsiller aracılığıyla da matematiksel ilişkileri inşa edebilmeleri, enstrümantal oluşum sürecinin merkezinde yer almakta ve çoklu temsiller yaklaşımıyla doğrudan kesişmektedir. Bir matematiksel kavramın cebirsel, grafiksel, sayısal ve sözel biçimlerde ifade edilmesi ve bu temsiller arasındaki ilişkilerin kurulması olarak tanımlanmaktadır (Janvier, 1987; Ainsworth, 1999). Fonksiyon ve ters fonksiyon kavramları, doğaları gereği temsil çeşitliliği üzerinden anlamlandırabilmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, dijital teknolojilerin matematik eğitiminde öğrencilerin kavramsal anlamlandırma süreçlerini destekleyen bilişsel araçlar olarak ele alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Özellikle dinamik geometri yazılımlarının, fonksiyonların grafiksel davranışlarını inceleme ve çoklu temsiller arasında geçiş yapma açısından önemli olanaklar sunduğu belirtilmektedir (Segal ve ark., 2021; Song, 2021; Drijvers ve Sinclair, 2024).

Literatürde, öğrenciler ve öğretmenlerin dinamik geometri yazılımları ile kağıt-kalem ortamı arasında geçiş yapma süreçlerini inceleyen çalışmalar bulunmaktadır. Komatsu ve Jones (2020), öğrencilerin genelleme ve ispat süreçlerinde kâğıt-kalem etkinlikleri ile dinamik geometri ortamlarının etkileşim içinde kullanıldığını göstermiş; özellikle yazılımın genelleme aşamasında destek sunduğunu, ancak ispatın gerekçelendirilmesinde kâğıt-kalem çalışmalarının belirleyici olduğunu ortaya koymuştur. Benzer biçimde, Öçal ve arkadaşları (2020) öğretmen adaylarının problem kurma becerilerini her iki ortamda karşılaştırmış ve dinamik geometri ortamının adayların kavramsal hataları fark etme ve yaratıcı çözüm üretme becerilerini güçlendirdiğini belirtmiştir. Bununla birlikte, mevcut çalışmalar çoğunlukla problem kurma, genelleme veya ispat süreçlerine odaklanmış, ters fonksiyonların öğretiminde öğretmen adaylarının enstrümanlı eylem şemalarının farklı ortamlarda şekillenmesine dair bulgular ise sınırlı kalmıştır. Bu çalışma, söz konusu boşluğu doldurmayı hedeflemektedir. Kâğıt-kalem ortamında eksik veya yanlış biçimde ortaya çıkan enstrümanlı eylem şemalarının, Cabri-Geometri yardımıyla deneyimsel olarak çalışıldıktan sonra düzeltilip geliştirildiği gözlemlenmiştir. Böylelikle öğretmen adaylarının kavramsal anlayışları pekişmiş ve ters fonksiyonun çoklu temsiller aracılığıyla inşa edilmesi mümkün olmuştur. Bu katkı, öğretmen adaylarının mesleğe başladıklarında soyut cebirsel kavramları öğrencilerine anlamlı bir biçimde aktarabilmelerine zemin hazırlamaktadır. Öğrenciler ise analitik geometri ile cebir arasında bağlantılar kurarak, cebir derslerini yalnızca mekanik işlemler düzeyinde değil, somut ve ilişkilendirilmiş bir öğrenme deneyimi olarak kavrayabileceklerdir.

Bu çalışmada kuramsal çerçeveyi destekleyen bir diğer yaklaşım ise RBC+C soyutlama modelidir. Dreyfus ve Tsamir (2004) tarafından geliştirilen bu model, soyutlamanın yalnızca yeni yapılar oluşturmakla sınırlı kalmadığını, aynı zamanda bu yapıların pekiştirilmesiyle kalıcı ve esnek hale geldiğini ortaya koymaktadır. Modelin temel aşamaları tanıma (recognizing), kullanma (building-with) ve oluşturma (constructing) iken, daha sonra eklenen pekiştirme (consolidation) aşaması, öğrencilerin kendi oluşturdukları yapıları güvenle fark etmelerine ve farklı bağlamlarda yeniden kullanabilmelerine imkân tanımaktadır (Dreyfus ve ark., 2015). Ters fonksiyonların öğretiminde, öğrencilerin önce doğrusal ve parabolik fonksiyonların özelliklerini tanıyıp kullanmaları, ardından ters fonksiyon kavramını yapılandırmaları bu sürecin ilk üç aşamasını karşılamaktadır. Cabri-Geometri ortamında gerçekleştirilen çoklu temsillerle desteklenen etkinlikler ise bu yeni yapıların pekiştirilmesine katkı sağlamakta;

öğretmen adaylarının hem kâğıt-kalem hem de teknolojik ortamda geliştirdikleri soyut yapıları kalıcı olarak kullanabilmelerine olanak tanımaktadır.

2.1. Yöntem

Bu bölümde araştırma modeline, bu araştırma modelinin seçimine karar verilme şekline kullanılan modelin yapısına, araştırmanın ortam ve katılımcılarına, katılımcıların belirlenme kriterlerine, öğretim sürecinde kullanılan materyallerin ve ders planlarının tasarımına, pilot çalışma ve uygulama sürecinde yaşananlara, araştırma modeli ve problemine yönelik olarak kullanılan veri toplama araçlarının seçilme şekline ve toplanan verilerin analizine değinilmiştir. Ayrıca veri toplama süreci ve analizinin geçerlik ve güvenirlik çalışmalarından bahsedilmiştir.

2.2. Araştırma modeli

Bu çalışmada, öğretmen adaylarının bilgisayar destekli ve kâğıt-kalem ortamlardaki enstrümantal süreçlerini incelemek için nitel araştırma yaklaşımı benimsenmiştir. Frankel ve Devers'in (2000) tanımladığı gibi, bu yaklaşım gerçek ortamlarda esnek veri toplamaya ve tümevarımsal analize olanak sağlamaktadır. Çalışma, öğretmen adaylarının doğrusal ve parabolik fonksiyonların tersi ve grafik çizimine yönelik enstrümanlı eylem şemalarını ortaya çıkarmayı amaçlayan bir öğretim deneyi olarak uygulanmıştır. Öğretim deneyi, nitel araştırma yaklaşımları kapsamında yer alan ve araştırmacıların etkinlikleri yapılandırarak keşfetmeye dayalı kavramsal bir çerçeve sunduğu, öğrencilerin matematiksel bilgi yapılarını çeşitli yollar ve araçlarla etkilemeyi amaçladığı bir yöntem olup, veriler klinik görüşmeler, doğrudan gözlemler, alan notları ve öğrenme ortamında kaydedilen video kayıtları gibi nitel veri toplama teknikleriyle elde edilmektedir (Engelhardt ve ark., 2004; Steffe ve Ulrich, 2014).

Bu çalışma, öğretim deneyi deseni temel alınarak yürütülmüştür. Uygulama süreci toplam dört hafta sürmüş, haftada iki ders saati olmak üzere sekiz ders saati boyunca yürütülmüştür. Araştırmacı, adayların konuya ilişkin düşünce yapılarına dair varsayımlar geliştirerek Cabri-Geometri dinamik geometri yazılımı destekli etkinlikler tasarlamış ve öğretim sürecini doğrudan kendisi yürütmüştür. Süreç boyunca elde edilen ses ve ekran kayıtları, çalışma yapıtları ve görüşme verileri nitel olarak analiz edilmiş; öğretmen adaylarının matematiksel düşünme biçimleri ve geliştirdikleri yapılar modellenerek bilişsel çözümlemeler yapılmıştır. Sürecin bütününde, öğretimin araştırmacı tarafından yönlendirilmesi, öğretmen adayları düşüncesine dair varsayımların verilerle test edilerek yeniden yapılandırılması ve öğrenme ortamlarının (kâğıt-kalem ve Cabri-Geometri) bu doğrultuda düzenlenmesi, çalışmanın öğretim deneyi metodolojisine dayandığını açıkça ortaya koymaktadır.

2.3. Çalışma ortamı ve grubu

Araştırma, Bursa Uludağ Üniversitesi Eğitim Fakültesi dersliklerinde, Cabri-Geometri yazılımı ile uyumlu akıllı tahtanın bulunduğu sınıflarda gerçekleştirilmiştir. Öğretme adayları çoğunlukla tahtaya dönük oturma düzeninde derse katılmış, ancak bazı oturumlarda sınıf içi etkileşimi artırmak amacıyla grup çalışmaları yapılmıştır. Katılımcılar, üniversitenin Matematik Öğretmenliği Bölümünde ikinci sınıfında öğrenim gören öğretmen adaylarından oluşmaktadır. Bu sınıf düzeyinin seçilme nedeni, adayların daha önce bilgisayar destekli matematik eğitimi dersi almamış olmalarıdır. Cabri-Geometri'yi ilk kez deneyimleyen öğrenciler, çizim sürecinde kendi yöntemlerini geliştirerek yeni matematiksel yapılar inşa etmiştir, farklı temsiller arasında bağlantılar kurmuş ve böylelikle kâğıt-kalem ortamı ile dijital ortam arasındaki farkları daha net biçimde görmüşlerdir. Araştırmanın pilot uygulamasına 20, asıl uygulamasına ise 34 öğretmen adayı katılmıştır. Asıl uygulamada, sınıf genelinde yürütülen etkinliklerin yanında, altı öğretmen adayı ikiye bölünmüş ve böylelikle kâğıt-kalem ortamı ile dijital ortam arasındaki farkları daha net biçimde görmüşlerdir. Araştırmanın pilot uygulamasına 20, asıl uygulamasına ise 34 öğretmen adayı katılmıştır. Asıl uygulamada, sınıf genelinde yürütülen etkinliklerin yanında, altı öğretmen adayı ikiye bölünmüş ve böylelikle kâğıt-kalem ortamı ile dijital ortam arasındaki farkları daha net biçimde görmüşlerdir. Araştırmanın pilot uygulamasına 20, asıl uygulamasına ise 34 öğretmen adayı katılmıştır. Asıl uygulamada, sınıf genelinde yürütülen etkinliklerin yanında, altı öğretmen adayı ikiye bölünmüş ve böylelikle kâğıt-kalem ortamı ile dijital ortam arasındaki farkları daha net biçimde görmüşlerdir.

oluşturulmuştur. Buna göre, birinci grup orta, ikinci grup yüksek, üçüncü grup ise düşük başarı düzeyine sahip öğretmen adaylarından meydana gelmiştir. Grupların belirlenmesinde, uygulama öncesinde verilen üç ders seanslık Cabri-Geometri eğitimi, ayrıca cebir alanına yönelik sorular ve açık uçlu ön görüşme formlarından elde edilen veriler dikkate alınmıştır. Bu veriler, öğretmen adaylarının ters fonksiyonlara ilişkin kavramsal doğrulukları, kullandıkları temsil türleri ve çözüm stratejilerinin niteliği dikkate alınarak bütüncül biçimde değerlendirilmiş ve bu değerlendirme sonucunda başarı düzeyleri düşük, orta ve yüksek olarak sınıflandırılmıştır. Bu gruplandırmanın amacı, enstrümantal oluşum süreçlerinin farklı öğrenme düzeylerinde şekillendirme biçimini incelemek ve elde edilen bulguların genellenebilirliğini artırmak açısından önem arz etmektedir. Seçilen öğretmen adaylarıyla yapılan yüz yüze görüşmeler, ders saatleri dışında ve tamamen gönüllülük esasına dayalı olarak gerçekleştirilmiştir.

2.4. Veri toplama araçları ve süreci

Araştırmada veri toplama ve çözümleme süreci, pilot ve asıl uygulama olmak üzere iki aşamada yürütülmüştür. Pilot çalışma, 2022-2023 bahar döneminde Türkiye’de bir devlet üniversitesinin matematik eğitimi bölümünde öğrenim gören 20 öğretmen adayıyla gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte, ters fonksiyonlar konusu, dinamik geometri yazılımı ve enstrümantal oluşum teorisi temel alınarak hazırlanan ders planları uygulanmış; elde edilen bulgular doğrultusunda materyaller ve veri toplama araçları revize edilerek son halini almıştır. Veri toplama sürecinde, çalışma yapıları, yazılı ve sözlü görüşmeler, ses kayıtları ve ekran kayıtları araçlarıyla öğretmen adaylarının hem Cabri-Geometri hem de kâğıt-kalem ortamlardaki enstrümantal oluşum süreçleri incelenmiştir. Veri toplama araçları oluşturulurken pilot uygulamanın analizleri, uzman görüşleri ve katılımcı geri bildirimleri dikkate alınmıştır. Geliştirilen bu modül, 2023-2024 güz döneminde Bilgisayar Destekli Matematik Öğretimi dersi kapsamında asıl uygulama olarak aynı üniversitedeki farklı matematik öğretmen adaylarına uygulanmıştır. Araştırmacı, öğretmen adaylarıyla etkileşimler kurarak verilerin doğal bir ortamda toplanmasına özen göstermiştir. Aşağıda, araştırmada kullanılan veri toplama araçları tanıtılmıştır.

Ters fonksiyonlar çalışma yaprağı: Bu çalışmada, doğrusal ve parabolik fonksiyonların tersini önce kâğıt-kalem sonra Cabri-Geometri ortamında çoklu temsillerin enstrümantal oluşum teorisi bağlamında çalışılmak üzere 1 çalışma yaprağı hazırlanmıştır. Bu yaprak, doğrusal ve parabolik fonksiyonların tersine ilişkin kademeli olarak ilerleyen etkinlikler içermektedir. Bu süreç, iki ortam arasındaki öğrenme, oluşan ve gelişen enstrümanlı eylem şemalarının farklılıklarını belirlemek için tasarlanmıştır. Doğrusal fonksiyonlar durumunda $f(x)=ax+b$ ($a \neq 0$) için ters fonksiyon cebirsel olarak doğrudan elde edilmektedir: $y=ax+b \Rightarrow f^{-1}(x)=(x-b)/a$. Grafiksel düzlemde f^{-1} , f ’nin $y=x$ doğrusuna göre simetrisidir. Kâğıt-kalem ortamında karakteristik noktalar seçilmekte, örneğin $(0,b)$ noktası $(b,0)$ ’a, $(1,a+b)$ noktası ise $(a+b,1)$ ’e dönüşmekte ve tabloya geçirilerek grafikte tutarlılığı doğrulanmaktadır. Cabri-Geometri’de süreç, hareketli bir $A=(t,0)$ noktası üzerinden $B=(t,at+b)$ görüntüsünün geometrik yerini yani $y=ax+b$ grafiğini oluşturmakta; ardından B ’nin $y=x$ ’e göre simetrisi B' izleri oluşturarak $f^{-1}(x)=(x-b)/a$ grafiğini vermektedir. Bu etkileşim, öğretmen adaylarının doğrusal fonksiyon ve tersinin simetri ilişkisini deneyimsel biçimde anlamlandırmasına imkân tanıyacağı düşünülmektedir. Parabolik durumda $f(x)=ax^2+bx+c$ ($a \neq 0$) için ters fonksiyonun elde edilmesi tekdüzelik koşuluna bağlıdır. Tepe noktası $xv=-b/2a$, $yv=f(xv)$ bulunmakta; birebirlik için tanım kümesi ya $x \geq xv$ ya da $x \leq xv$ olacak biçimde kısıtlanmaktadır. Ters fonksiyonun var olabilmesi için f ’in birebir olması gerekir. Doğrusal fonksiyonlar doğaları gereği tekdüzedir ve dolayısıyla birebirdir. Parabolik fonksiyonlar ise tüm $\mathbb{R}$ ’de tekdüze değildir; bu nedenle tanım kümesi tepe noktasının bir tarafıyla sınırlandırılarak tekdüze hale

getirilir ve böylece birebirlik koşulu sağlanır. Bu durumda $y=ax^2+bx+c$ denklemi çözülerek ters ifade elde edilmektedir:

$$f^{-1}(x) = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac + 4ax}}{2a}$$

Burada “±” işareti seçilen kola göre belirlenmektedir. Değer kümesi $a>0$ için $[yv, \infty)$, $a<0$ $(-\infty, yv]$ olduğundan, f^{-1} ’in tanım kümesi buna göre yazılmaktadır. Tepe noktası $V=(xv, yv)$ ile $V'=(yv, xv)$ karşılaştırması, $y=x$ simetrisini açık biçimde göstermektedir. Kâğıt-kalem çözümünde birkaç $(x, f(x))$ çifti seçilmekte, karşılıkları $(f(x), x)$ olarak tabloya geçirilmekte ve grafik üzerinde yansıma ile doğrulanmaktadır. Cabri-Geometri ortamında ise $x=xv$ simetri doğrusu ve $y=x$ çizilmekte, $A=(t, 0)$ noktası seçilen kola kısıtlanarak $B=(t, at^2+bt+c)$ noktası sürüklenmekte, ardından B’nin $y=x$ ’e yansıması B' izleri açılarak f^{-1} ’in grafiği elde edilmektedir. Bu süreçte tepe noktası ve diğer noktaların dönüşümü öğrencilerin çoklu temsiller aracılığıyla kavramın yapısını anlamlandırmasına yardımcı olacağı düşünülmektedir. Bu çalışma yaprağı ek 1’de verilmiştir.

Ses Kayıtları: Katılımcıların Cabri-Geometri kullanım süreçlerini detaylı bir şekilde incelemek için 6 öğrenci ikiye ayrılmış ve ders boyunca yapılan konuşmalar ses kayıt cihazlarıyla kaydedilmiştir. Bu kayıtlar, öğrencilerin problem çözme süreçlerindeki etkileşimlerini ve bilişsel gelişimlerini analiz etmek için kullanılmıştır.

Ekran Kayıtları: Öğretmen adaylarının Cabri-Geometri ortamındaki etkileşimlerini ve grafik oluşturma süreçlerini kaydetmek amacıyla ekran kaydedici programlar kullanılmıştır. Bu kayıtlar, öğrencilerin kullanım şemalarını ve matematiksel yapılarla kurdukları ilişkileri gözlemlemeye olanak sağlamıştır.

Yazılı Görüşmeler: Araştırmada öğretmen adaylarının görüşlerini belirlemek amacıyla yapılandırılmış bir görüşme formu geliştirilmiştir. Açık uçlu sorulardan oluşan bu formun geçerlik ve güvenirliği, uzman görüşleri alınarak ve pilot uygulama yapılarak sağlanmış; gerekli revizyonların ardından form son haline getirilmiştir. Görüşme formu, öğretmen adaylarının cebirsel ifadeler, çoklu temsiller ve teknoloji kullanımı konularındaki bilişsel düzeylerini ortaya koymayı hedefleyen 9 sorudan oluşmaktadır.

Sözlü Görüşmeler: Uygulama sonrası gerçekleştirilen yarı yapılandırılmış sözlü görüşmeler, öğretmen adaylarının Cabri-Geometri ortamındaki deneyimlerini, karşılaştıkları güçlükleri ve bu süreçte geliştirdikleri enstrümanlı eylem şemalarını ortaya koymak amacıyla yapılmıştır. Ders saatleri dışında, gönüllülük esasına dayalı olarak ve sessiz bir sınıf ortamında altı öğretmen adayıyla yürütülen görüşmelerde kullanılan sorular, öğrencilerin matematiksel düşünme süreçlerini değerlendirmeyi; cebirsel ifadeleri grafiksel temsiller aracılığıyla anlamlandırma biçimlerini ve fonksiyon–ters fonksiyon ilişkilerini kavramsal düzeyde yapılandırma süreçlerini incelemeyi hedeflemiştir. Ayrıca görüşmeler, birebirlik, örtenlik ve simetri gibi kavramlara ilişkin farkındalıkların gelişimini, teknoloji kullanımına yönelik algılardaki değişimleri ve çoklu temsillerle çalışma becerilerindeki dönüşümü de açığa çıkarmaya odaklanmıştır.

Bu çalışmada farklı veri toplama araçlarının kullanılması nedeniyle, bu verilerin araştırma sorularını yanıtlamaya yönelik biçimde düzenlenmesine açıklık getirilmiştir. Bu kapsamda, araştırma soruları ile veri toplama araçları ve analiz süreçlerini eşleştiren tablo 1’de yer verilmiştir.

Tablo 1. Veri toplama araçları kullanım amacı ve kullanım zamanı

Araştırmanın alt problemleri	Analiz süreci	Veri toplama Aracı
Öğretmen adaylarının kağıt-kalem ortamında ters fonksiyonlara ilişkin enstrümanlı eylem şemaları nelerdir?	Çalışma yaprağı (kağıt-kalem ortamı soruları), ses kayıtları ve yazılı görüşmeler analiz edilerek kullanılan enstrümanlı teknikler, enstrümantal oluşum süreci ve kağıt-kalem ortamındaki enstrümanlı eylem şemaları belirlenmiş; bu şemalara göre kodlar ve temalar oluşturulmuştur.	Çalışma yaprağı (kağıt-kalem ortamı soruları, Ses kaydı, Yazılı ve sözlü görüşmeler
Öğretmen adaylarının dinamik geometri ortamında ters fonksiyonlara ilişkin enstrümanlı eylem şemaları nelerdir?	Çalışma yaprağı (Cabri-Geometri ortamı soruları), ses ve ekran kayıtları ile yazılı ve sözlü görüşmeler analiz edilerek kullanılan enstrümanlı teknikler, enstrümantal oluşum süreci ve kağıt-kalem ortamındaki enstrümanlı eylem şemaları belirlenmiş; bu şemalara göre kodlar ve temalar oluşturulmuştur.	Çalışma yaprağı (Cabri-Geometri ortamı soruları), Ses kaydı, Ekran kaydı, Yazılı ve sözlü görüşmeler
Öğretmen adaylarının kağıt-kalem ortamı ve dinamik geometri ortamında ters fonksiyonlara ilişkin enstrümanlı eylem şemaları arasındaki farklılıklar nasıldır?	Çalışma yaprağı (Cabri-Geometri ortamı soruları), Ses kaydı, Ekran kaydı, yazılı ve sözlü görüşmeler analiz edilerek kullanılan enstrümanlı teknikler, enstrümantal oluşum süreci ve kağıt-kalem ortamındaki enstrümanlı eylem şemaları belirlenmiş ve şemalara göre kodlar ve temalar oluşturulmuştur	Çalışma yaprağı, Ses kaydı, Ekran kaydı, Yazılı ve sözlü görüşme

2.5. Araştırmacının rolü

Nitel araştırma yaklaşımında araştırmacı, veri toplama sürecinin aktif bir bileşeni olarak kabul edilmektedir (Cresswell, 2013). Bu araştırma matematik eğitimi alanında uzman iki akademisyenin işbirliğiyle yürütülmüştür. Araştırmacılardan birisi, katılımcı gözlemci rolü üstlenerek öğretim sürecine doğrudan dâhil olurken, diğeri teknoloji destekli öğretim uzmanı olarak tüm süreçlerde rol üstlenmiştir. Çalışma boyunca araştırmacılar, öğrenci etkileşimlerini gözlemleme, rehberlik etme ve öğrenme ortamını şekillendirme gibi çoklu roller üstlenmişlerdir. Sürekli analizlerle her oturum sonrası düzenlemeler yapılmış, geriye dönük analizlerle değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Pilot uygulamada elde edilen veriler, hem araştırmanın güvenilirliğini sağlamak hem de veri toplama araçlarını iyileştirmek amacıyla kullanılarak, öğrenme süreçlerinin anlaşılmasına katkı sağlanmıştır.

2.6. Verilen çözümlenmesi

Bu çalışmada elde edilen veriler, içerik analizi yöntemiyle çözümlenmiş ve enstrümantal oluşum teorisi çerçevesinde yorumlanmıştır. Çözümleme süreci birkaç aşamada yürütülmüştür. İlk aşamada, derslerde gerçekleştirilen etkinlikler sırasında toplanan ses kayıtları yazıya dökülmüş, katılımcıların çalışma yapıları ve Cabri-Geometri ortamına ilişkin ekran kayıtlarıyla birlikte incelenmiştir. Bunun yanı sıra, seçilen katılımcılarla gerçekleştirilen yarı yapılandırılmış yazılı ve sözlü görüşmelerde elde edilen veriler de çözümlenerek mevcut verilerle karşılaştırılmış, böylece veriler arasında bütünlük sağlanmıştır. Sonrasında, elde edilen tüm veriler kodlanmıştır. Kodlama sürecinde, öğretmen adaylarının kullandıkları enstrümanlı teknikler, enstrümantal oluşum süreçleri ve geliştirdikleri enstrümanlı eylem şemalarına ilişkin ifadeler satır satır incelenmiştir. Bu süreçte oldukça fazla sayıda kod elde edilmiş; ancak doğrudan kodların raporlanması çalışmada dağınıklığa yol açabileceğinden, benzer içeriklere sahip kodlar bir araya getirilerek kategoriler oluşturulmuştur. Bu kategoriler enstrümantal oluşum teorisinin bileşenleri (işlevsel sabitler, eylemdeki teoremler, eylemdeki kavramlar) doğrultusunda yeniden düzenlenmiş ve temalar oluşturulmuştur. Böylece, öğretmen adaylarının

hem kâğıt-kalem ortamında hem de dinamik geometri yazılımı ortamında geliştirdikleri enstrümantal oluşum süreçlerini ve bu doğrultuda enstrümanlı eylem şemalarını ortaya çıkarmak amacıyla kullanılan enstrümanlı teknikler belirlenmiştir. Son olarak elde edilen sonuçlar, araştırmanın amacı ve elde edilen temalar doğrultusunda yorumlanmıştır. Bu aşamalı analiz süreci sayesinde, verilerin yalnızca betimlenmesi değil, aynı zamanda öğretmen adaylarının farklı ortamlarda geliştirdikleri enstrümanlı eylem şemalarının karşılaştırılması mümkün olmuştur.

2.7. Verilerin geçerliği ve güvenilirliği

Nitel araştırmalarda geçerlik ve güvenilirlik, aktarılabilirlik (transferability), inandırıcılık (credibility), teyit edilebilirlik (confirmability) ve tutarlılık (dependability) kriterleri çerçevesinde sağlanmıştır. Bu doğrultuda, araştırma sürecinin güvenilirliğini artırmak için katılımcılarla uzun süreli etkileşim kurulmuş, veri analizinde uzman görüşüne başvurulmuş ve tüm süreç belgelenmiştir. Ayrıca, araştırmanın verileri gönüllülük esasına dayalı seçilen katılımcılar üzerinden toplanmış ve bulgular doğrudan alıntılarla desteklenerek araştırmanın güvenilirliği güçlendirilmiştir (Creswell, 2013). Katılımcıların kimlik bilgileri gizli tutulmuş, isimleri ve diğer kişisel tanımlayıcılar çalışmada yer almamış ve bu sayede etik açıdan katılımcıların mahremiyeti korunmuştur.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, ikişerli gruplar halinde çalışan 6 öğretmen adayının Cabri-Geometri ortamını kullanarak doğrusal ve parabolik fonksiyonlarına ilişkin ters fonksiyonları çözme ve grafiklerini oluşturma süreçleri, enstrümantal oluşum teorisi çerçevesinde analiz edilmiştir. Çalışma yaprakları üzerinden yapılan incelemelerde, öğretmen adaylarının hem enstrümantasyon (araç kullanım tekniklerini öğrenme) hem de enstrümantalizasyon (araçları kendi amaçları doğrultusunda dönüştürme) süreçleri incelenmiş, bu süreçlerde öğretmen adaylarının oluşturdukları veya geliştirdikleri eylem şemaları ortaya konulmuştur.

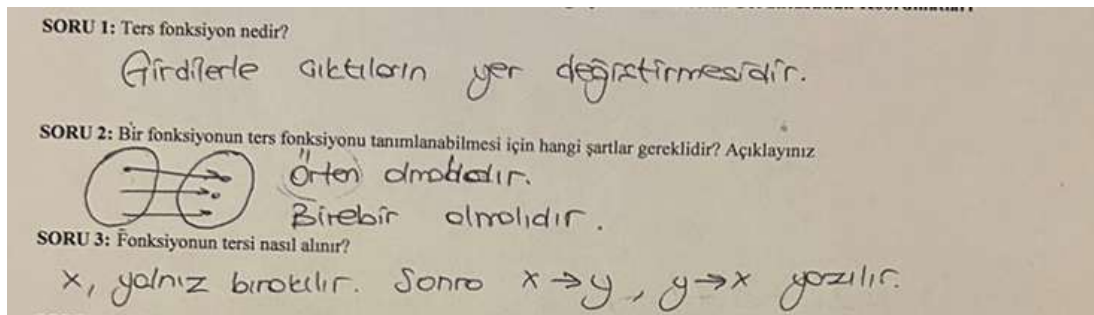
3.1. Ters fonksiyonlara ilişkin enstrümanlı teknikler, enstrümantal oluşum süreci ve enstrümanlı eylem şeması

Ters fonksiyonlar ile ilgili çalışma yaprağı bilgisayar ve kâğıt-kalem ortamında yapılan ve 5 farklı sorunun incelenmesini içeren bir çalışma yaprağıdır. Bu yaprakta, öğretmen adaylarından verilen çeşitli doğrusal ve parabolik denklemlerin tersini elde etme ve çözümünü ayrıca grafiklerinin çizimini kâğıt-kalem ve Cabri-Geometri ortamlarında yapmaları istenmiştir. Bu çalışma yaprağı, analitik düzlemde bir noktanın hareket edişiyle oluşturduğu yolun geometrik görüntüsünün koordinatları, öğrencilere koordinat sistemi, analitik düzlem ve doğru grafiklerinin kavramlarıyla ilgili yapılandırmalarını tekrar ele almak ve bu kavramları görsel olarak göstermek için tasarlanmıştır. Bu bağlamda öğretmen adaylarının her bir soru tipine yönelik bazı teknikler kullandığı gözlenmiştir. Katılımcılar bu çalışma yaprağında, verilen fonksiyonları çözmeye ve grafiklerini çizmeye çalışırken kâğıt-kalem ve Cabri-Geometri ortamlarında çoğunlukla benzer enstrümanlı teknikleri kullandıkları tespit edilmiştir. Kağıt-Kalem ortamında kullanılan teknikler, Cebirsel işlemler, Değişken değiştirme, Birebirlik ve örtenlik analizi, Grafiksel analiz, Simetri alma, Tam kare tamamlama, Denklem dönüşümü, Cebirsel doğrulama ve Analitik inceleme, şeklindedir. Cabri-Geometri ortamında kullanılan benzer teknikler ise, Nokta belirleme, Sayı belirleme, Koordinat belirleme, Hesap makinesi aracı kullanımı, Doğru ve ışın oluşturma, Ölçüm aktarım, Geometrik yer oluşturma, Doğruya göre simetri oluşturma olarak belirlenmiştir.

Birinci gruptaki öğrenciler (Ö1, Ö2) ters fonksiyonlar çalışma yaprağını inceledikten ve araştırmacının açıklamalarını dinledikten sonra çalışma yaprağındaki soruları yanıtlamaya başlamıştır. Araştırmacı öncelikle bu çalışma yaprağının konuyla ilgili 3 temel matematik alan

bilgisi sorusu, iki doğrusal ve ikinci dereceden fonksiyonlar ile ilgili ters fonksiyonların çözümü ve grafiklerinin çizimi ile ilgili hem kâğıt-kalem ortamında hem de Cabri-Geometri ortamında, sorudan oluştuğunu açıklamıştır. Fonksiyonlar ile ilgili soruların öncelikle kâğıt-kalem ortamında çözülüp grafiğinin çizilmesi, sonrasında Cabri-Geometri ortamını inceleyerek grafiklerin çizilmesini istemiştir. Öğrenciler çalışma yapraklarındaki soruları sırasıyla ‘Ters fonksiyon nedir?’, ‘Bir fonksiyonun ters fonksiyonu tanımlanabilmesi için hangi şartlar gereklidir?’ ve ‘Fonksiyonun tersi nasıl alınır?’ sorularını yanıtladıktan sonra verilen fonksiyonların çözümüne başlamışlardır. Ancak, Ö1 ve Ö2 bir sorunun önce kâğıt-kalem ortamında sonrasında aynı sorunun çözümü ve grafiğinin çizimini Cabri-Geometri ortamında tamamladıktan sonra diğer soruya geçmeyi tercih etmişlerdir.

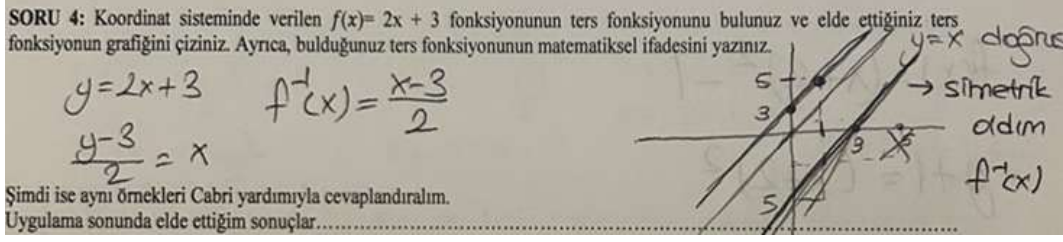
Bu kısımda Grup 1, 2 ve 3’ün kâğıt-kalem ve Cabri-Geometri ortamlarında gerçekleştirdiği enstrümantal oluşum süreci aktarılırken gruptaki öğrencilerin çalışma sürecinde aralarında geçen diyalog, çalışma kağıtları ve ekranlarından kesitler verilmektedir. Ö1 ve Ö2, ters fonksiyon kavramına dair yanıtlarında, fonksiyonun tersinin tanımlanabilmesi için gerekli koşulları anlamaya çalışmaktadır. Ö1, fonksiyonun tersinin tanımlanabilmesi için "örten" ve "birebir" olması gerektiğini belirtmiş ve "çünkü fonksiyonu ters çevirdiğimizde çıktı kümesi girdi kümesi olacak" diyerek açıklamıştır. Ayrıca, "eğer boşta eleman kalırsa bazıları eşleşmemiş olur bu yüzden fonksiyon tanımlı olmaz" diyerek örten kavramına vurgu yapmıştır. Birebir olma durumunu ise "bir eleman birden fazla elemana giderse fonksiyon tanımlı olmaz" şeklinde açıklayarak bu fonksiyonlarla ilgili zihinsel şemasında birebir ve örten fonksiyon kavramlarını birbirine bağlı şekilde ele almaktadır. Ö2, benzer şekilde birebir ve örten olma gerekliliğini vurgulamış, birebirlik "bir elemanın birden fazla elemanla eşleşmemesi için" ve örtenlik "girdilerde boş bir eleman kalmaması için gereklidir" şeklinde ifade etmiştir. Ayrıca ters fonksiyonun bulunması için "x'i yalnız bırakıyoruz denklemde, sabit katsayısı 1 olacak şekilde ve yanında hiçbir sabit sayı olmadan" diyerek cebirsel bir süreç tanımlamıştır. Bu açıklamalar, Ö1 ve Ö2’nin ters fonksiyonun varlığına ilişkin gerekli koşulları kavrama sürecinde benzer bir yaklaşım sergilediklerini ortaya koymaktadır. Bu durum, öğrencilerin birebirlik ve örtenlik kavramlarını teorik düzeyde ifade edebildiklerini; ancak bu kavramları grafiksel temsiller ve çözüm süreçleriyle bütünleştirme aşamasında sınırlı kaldıklarını göstermektedir. Yanıtlarından yola çıkarak, öğrencilerin zihinsel şemalarının birebir ve örten fonksiyon kavramlarıyla şekillenmeye başladığı görülmektedir. Özellikle, ters fonksiyonun tanımlanabilmesi için gerekli koşulları fark etmeleri, kavramlar arasındaki bağlantıları kurduklarını göstermektedir. Öğrenciler, ters fonksiyonun cebirsel ve grafiksel temsilleri üzerine düşünerek bu bilgileri birbirleriyle ilişkilendirmektedir. Ö1’in alan bilgisi temel sorular ile ilgili yanıtları sırasıyla şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Ö1’in ters fonksiyonlar çalışma yaprağına yönelik temel alan sorularına ilişkin yanıtları.

Ö1 ve Ö2, ters fonksiyonlarla ilgili tanımlama sorularından sonra, doğrusal fonksiyonun kâğıt-kalem ortamında tersini bulma sürecine geçmiştir. Ö1, "x yalnız bırakılır sonra x yerine y, y yerine x yazılır" diyerek ters fonksiyonun bulunma sürecini özetlemektedir. Ö1, $f(x)=2x+3$ fonksiyonunun tersini elde etmek amacıyla şu işlemleri gerçekleştirmiştir: " $y=2x+3$, buradan

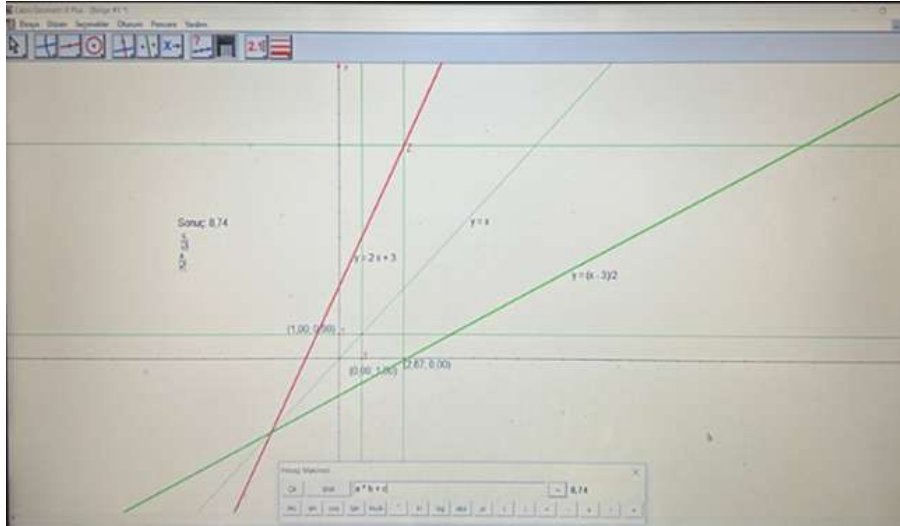
$y-3=2x$, $x=(y-3)/2$, yani $f^{-1}(x)=(y-3)/2$ ". Sonrasında şekil 2’de görüldüğü üzere grafiği çizmek için "x yerine 1 verelim y 5 olsun, 0 vereyim y 3 olur" diyerek doğrusal fonksiyonun tersinin grafiğini oluşturmuştur.



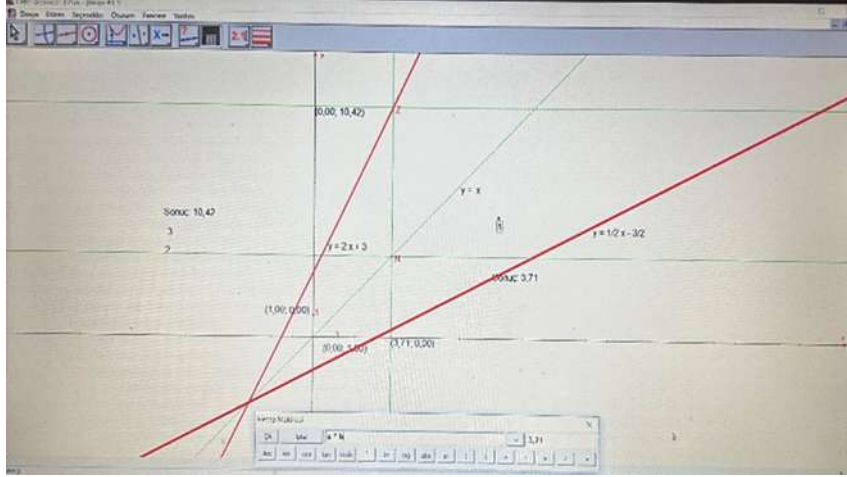
Şekil 2. Ö1’in ters fonksiyonlar çalışma yaprağına yönelik doğrusal fonksiyona ilişkin yanıtı.

Bu süreçte, "y=x doğrusunu çiziyoruz ve doğrusal grafiğin y=x doğrusuna göre simetriğini alıyoruz" ifadesini kullanarak, fonksiyonun tersinin y=x doğrusuna göre simetri alınarak elde edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Ö2’de benzer adımları denklemi çözüp ve grafiğini çizmiştir.

Cabri-Geometri ortamına gelince, Ö2, "kesişim noktasını bulmak için dik doğruları çiziyoruz, bu şekilde kesişim noktayı belirliyoruz" diyerek işlemleri açıklamıştır. Ancak süreçte bazı teknik sorunlar yaşanmıştır. Ö1, "geometrik yeri oluşturamadık, bir daha deneyelim belki bir yerde hata yapmışız" diyerek süreci tekrar etmiştir. Son olarak, "y = x doğrusunun orijinden ve (1,1) noktasından geçtiğini biliyoruz, bundan yola çıkarak x ve y eksenleri üzerinde 1 noktasından geçen dik doğruları çizelim" diyerek farklı bir yöntemle doğruyu oluşturmuştur. Ancak, Ö1 ve Ö2 sürecin son aşamasında yanlış bir yol izlediklerini fark etmiştir. Simetri noktalarından bir doğru çizmek yerine, geometrik bir yer belirlemeleri gerektiğini gözden kaçırmışlardır. Ö2’nin bu fonksiyonun çizimi ile ilgili hatalı ve doğru olan çizimlerinin ekran kaydından kesitler şekil 3 ve 4’te verilmiştir.

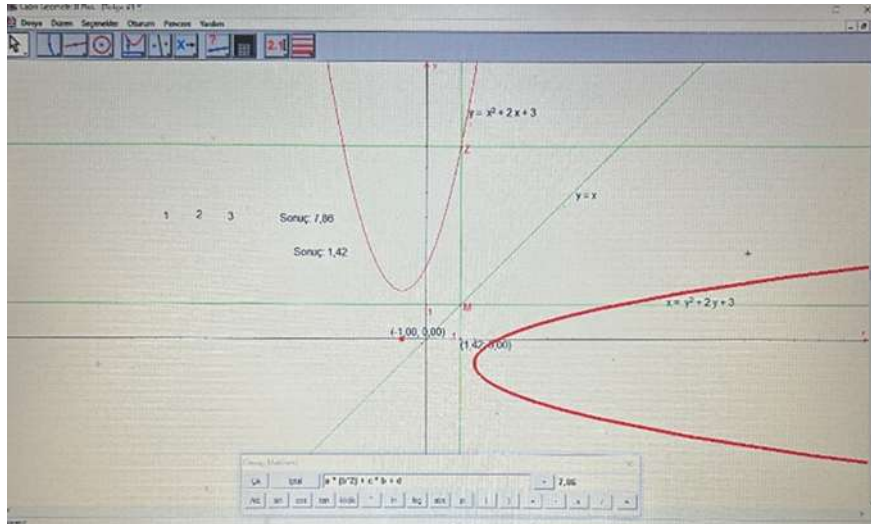


Şekil 3. Ö2’nin ters fonksiyonlar çalışma yaprağına yönelik hatalı grafik çizimine ilişkin ekran kaydından bir kesit.

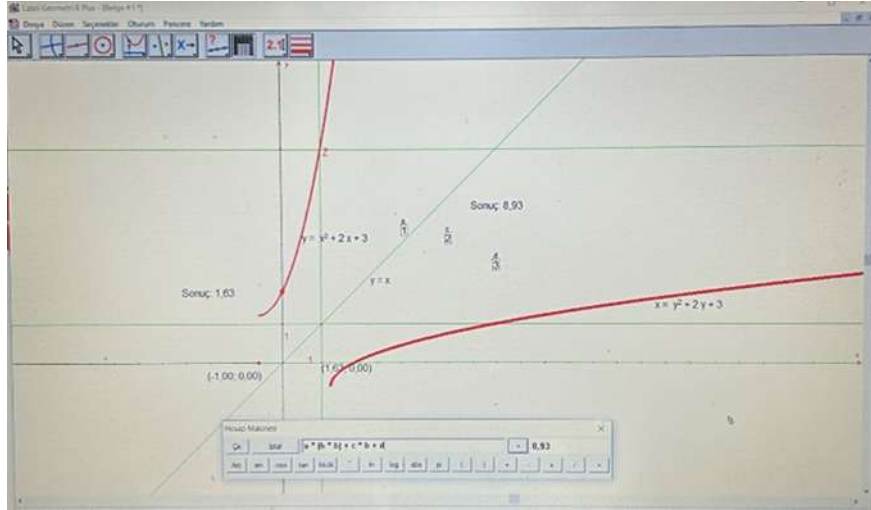


Şekil 4.Ö2'nin ters fonksiyonlar çalışma yaprağına yönelik grafik çizimine ilişkin ekran kaydından bir kesit.

Ö1 ve Ö2, $f(x)=x^2+2x+3$ parabolüne ait ters fonksiyonun çözümü ve grafiğinin oluşturulmasına ilişkin kâğıt-kalem ortamında cebirsel işlemler yaparak denklemi yeniden düzenlemeye çalışmıştır. İkinci grupta $f(x)=x^2+2x+3$ parabolüne ait ters fonksiyonun çözümü ve grafiğinin oluşturulmasına ilişkin işlemler gerçekleştirilmiştir. Problemin çözümünü kâğıt-kalem ortamında yapabilmelerine rağmen fonksiyona ilişkin grafiği oluşturamamışlardır. Cabri-Geometri ortamına gelince, Ö3 ve Ö4, bu soruya bir önceki problemde yaptıkları adımları aynen tekrar ederek çözüm ve grafiği elde etmeye çalışmıştır. Ancak, Ö3, yine bir hata olduğunu fark etmiştir ve "Oluştur ama birebir değil gibi duruyor." diyerek başlangıç noktasını doğru bir şekilde oluşturmadığını anlamıştır. Ö4 ise, tanım kümesini göz ardı ettiklerini belirterek, "Çünkü tanım kümesini dikkate almadık. Soruda fonksiyonun tanım kümesi $f: [-1, \infty) \rightarrow [0, \infty)$ olarak verilmişti." açıklamasını yapmıştır. Ö3, tanım kümesini belirlerken x eksenini yerine ışın kullanmayı önermiştir: "Eğer tanım kümesi $[-1, \infty)$ ise, başlangıç noktasını doğrudan -1'e koyalım ve sonsuza giden bir ışın oluşturalım." Ö4, bu düzeltmenin ardından ters fonksiyonun birebir ve örten olduğunu belirterek, "Evet, ters fonksiyonumuz birebir ve örten oldu." demiştir. Ö3 ve Ö4'ün bu soruyla ilişkin yanıtları şekil 5 ve 6'da verilmiştir.



Şekil 5. Ö3'ün ters fonksiyonlar çalışma yaprağına yönelik parabol fonksiyonun tersine ilişkin ekran kaydından bir kesit.



Şekil 6. Ö3'ün ters fonksiyonlar çalışma yaprağına yönelik parabol fonksiyonun tersine ilişkin ekran kaydından bir kesit.

Sonunda, Ö3 ve Ö4, cebirsel ve grafiksel çözüm yöntemlerini birleştirerek ters fonksiyonu kavramını anlamlandırmaya çalışmış ve doğru çözümü bulmuşlardır. Ö3 ve Ö4'ün ters fonksiyonlar çalışmasına ait enstrümantal oluşum süreci analiz edildiğinde, öğretmen adaylarının matematiksel kavramları anlamlandırma ve Cabri-Geometri Dinamik-Geometri ortamını kullanma süreçleri gözlemlenebilmektedir. Sonuç olarak, öğretmen adaylarının kâğıt-kalem ortamında geliştirdikleri enstrümanlı eylem şemaları daha çok değişkenlerin yer değiştirilmesi ve cebirsel çözüm gibi işlemsel adımlara dayanmış; buna karşın Cabri-Geometri ortamında şemalar, $y=x$ doğrusuna göre simetri alma ve geometrik yer oluşturma gibi dinamik özellikler sayesinde kavramsal anlamlandırmayı desteklemiştir. Böylece kâğıt-kalem ortamı işlem odaklı, Cabri-Geometri ortamı ise kavramsal ve görsel odaklı bir yapı ortaya koymuştur.

Bu bulguları destekleyen biçimde, uygulama öncesi ve sonrası yapılan görüşmelerde de benzer eğilimler gözlenmiştir. Öğretmen adaylarının uygulama öncesi ve sonrasında verdikleri yanıtlar değerlendirildiğinde, ters fonksiyonlara yönelik kavramsal anlayışlarının kâğıt-kalem ortamında çoğunlukla işlem temelli ve sınırlı kaldığı görülmüştür. Örneğin Ö1, birebirlik ve örtenlik koşullarına teorik düzeyde hâkim olmasına rağmen uygulama sürecinde zorluk yaşadığını, Cabri-Geometri'de ise $y=x$ doğrusuna göre simetri alma ve geometrik yer belirleme adımlarının kavramsal anlamını güçlendirdiğini belirtmiştir. Ö2, uygulama öncesinde simetriyi yalnızca orijine göre düşündüğünü, ancak Cabri-Geometri ortamında bu yanılgıyı düzelterek ters fonksiyonun simetrisini doğru bir şekilde anlamlandırıldığını ifade etmiştir. Ö3, ters fonksiyonların grafiklerini dinamik ortamda çizmenin kâğıt-kalem yöntemine göre daha kolay olduğunu, simetri ilişkisini görselleştirerek kavramsal analiz yapabildiğini vurgulamıştır. Ö4, ters fonksiyon grafiğinde tanım kümesinin belirlenmesi gerektiğini fark etmiş ve birebirlik ile örtenlik koşullarını Cabri-Geometri sayesinde somutlaştırmıştır. Ö5 ve Ö6 ise ters fonksiyon grafiklerinin dinamik temsiller aracılığıyla simetri ilişkisi üzerinden görselleştirilmesinin kavramsal anlamlarını zenginleştirdiğini belirtmişlerdir.

Sonuç olarak, öğretmen adaylarının ters fonksiyonlara dair kavramsal anlayışları, Cabri-Geometri ortamında yapılan simetri ve tanım kümesi temelli etkinliklerle derinleşmiş ve işlem odaklı yaklaşımların ötesine geçmiştir.

Tablo 2'de katılımcıların söz konusu ortamlarda Ters Fonksiyonlar çalışma yaprağına yönelik enstrümanlı eylem şemalarının bileşenleri verilmiştir.

Tablo 2. Öğretmen adaylarının ters fonksiyonlar çalışma yaprağına yönelik enstrümanlı eylem şemalarının bileşenleri

Ortam	Öğretmen adayı	İşlevsel Sabitler	Eylemdeki Teoremler	Eylemdeki Kavramlar	Kategori
Kağıt-Kalem	Ö1, Ö2	Doğrusal ve ikinci dereceden fonksiyonların, ters fonksiyonlarının çözümü ve grafiğinin çizimi için, fonksiyonun birebir ve örten olup olmadığı tartışılmıştır. x'i yalnız bırakma ve grafik oluşturma aşamalarında kavramsal zorluk yaşanmıştır.	Analitik düzlemde doğrusal ve ikinci dereceden fonksiyonların ters fonksiyonları elde edilip grafiksel temsili çizilecek ise, fonksiyonun birebir ve örten olması gereklidir ve girdiler ve çıktılar yani x ve y'nin yer değiştirilmesi gerekiyor.	Cebirsel işlemler ve işlemsel dönüşümler (örneğin, denklem düzenleme, koordinat dönüşümü gibi teknikler)	Birebirlik ve örtenlik koşullarını tartışma, Cebirsel işlem uygulama, Grafik oluşturma sırasında kavramsal zorluk
	Ö3, Ö4	Doğrusal ve ikinci dereceden fonksiyonların ters fonksiyonlarının çözümü ve grafiğinin çizimi sürecinde, fonksiyonun birebir ve örten olup olmadığı tartışılmış; x'i yalnız bırakma ve grafik oluşturma aşamalarında ise kavramsal zorluklar yaşanmıştır.	Analitik düzlemde doğrusal ve ikinci dereceden fonksiyonların ters fonksiyonları elde edilip grafiksel temsili çizilecek ise, fonksiyonlar birebir ve örten olmalıdır.	İşlemsel dönüşümler (denklem düzenleme, koordinat dönüşümü gibi teknikler)	Birebirlik ve örtenlik koşullarını tartışma, Cebirsel işlem uygulama, Grafik oluşturma sırasında kavramsal zorluk
	Ö5, Ö6	Doğrusal ve ikinci dereceden fonksiyonların terslerinin çözümü ve grafiğinin çizimi için, x'i yalnız bırakma, doğrusal fonksiyonun tersinin birebir ve örten olup olmadığını tartışma ve parabol fonksiyonunun tersini alırken cebirsel işlemler yapma adımları uygulanır.	Analitik düzlemde doğrusal ve ikinci dereceden fonksiyonların ters fonksiyonları elde edilip grafiksel temsili çizilecek ise, fonksiyon birebir ve örten olmalıdır.	Cebirsel işlemler ve işlemsel dönüşümler (denklem düzenleme, x'i yalnız bırakma, fonksiyonun tersinin alınması gibi teknikler)	Birebirlik ve örtenlik koşullarını tartışma, Cebirsel işlem uygulama, Grafik oluşturma sırasında kavramsal zorluk
Cabri-Geometri	Ö1, Ö2 Ö2	Doğrusal ve ikinci dereceden fonksiyonların terslerinin çözümü ve grafiğinin oluşturulması sürecinde, doğruya göre simetri alma, ardından geometrik yer belirleme ve dinamik grafik oluşturma işlemleri uygulanır.	Eğer doğrusal ve ikinci dereceden fonksiyonların terslerinin çözümü ve grafiği oluşturulacaksa, bu işlem doğruya göre simetri alma, ardından geometrik yer belirleme ve dinamik grafik oluşturma yoluyla gerçekleştirilir.	Simetri alma ($y = x$ doğrusuna göre), Geometrik yer oluşturma, Ters fonksiyon kavramı, Dinamik ortamda grafik oluşturma, Fonksiyon ve ters fonksiyon ilişkisi	Doğruya göre simetri alma, Geometrik yer belirleme, Dinamik grafik oluşturma,
	Ö3, Ö4	Doğrusal ve ikinci dereceden fonksiyonların terslerinin çözümü ve grafiğinin oluşturulması sürecinde, doğruya göre simetri alma, ardından geometrik yer belirleme ve dinamik grafik oluşturma işlemleri uygulanır.	Eğer doğrusal ve ikinci dereceden fonksiyonların terslerinin çözümü ve grafiği oluşturulacaksa, bu işlem doğruya göre simetri alma, ardından geometrik yer belirleme ve dinamik grafik oluşturma yoluyla gerçekleştirilir.	Simetri alma ($y = x$ doğrusuna göre), Geometrik yer oluşturma, Ters fonksiyon kavramı, Dinamik ortamda grafik oluşturma, Fonksiyon ve ters fonksiyon ilişkisi	Doğruya göre simetri alma, Geometrik yer belirleme, Dinamik grafik oluşturma,
	Ö5, Ö6	Doğrusal ve ikinci dereceden fonksiyonların terslerinin çözümü ve grafiğinin oluşturulması sürecinde, doğruya göre simetri alma, geometrik yer belirleme ve grafik üzerinde dinamik değişiklikler yaparak ters fonksiyonun görselleştirilmesi adımları izlenir.	Eğer doğrusal ve ikinci dereceden fonksiyonların terslerinin çözümü ve grafiği oluşturulacak ise, doğruya göre simetri alınır, geometrik yer belirlenir ve grafik üzerinde dinamik değişiklikler yapılarak ters fonksiyon görselleştirilir.	Doğruya göre simetri alma, Geometrik yer oluşturma, Dinamik grafik oluşturma, Ters fonksiyonun görsel temsili,	Doğruya göre simetri alma, Geometrik yer belirleme, Grafik üzerinde dinamik değişiklik yaparak ters fonksiyonun görselleştirilmesi

Tablo 2’de öğretmen adaylarının kâğıt-kalem ve Cabri-Geometri ortamlarında ters fonksiyonlar çalışma yaprağına yönelik gerçekleştirdikleri enstrümantal oluşum süreçlerinde ortaya çıkan işlevsel sabitler, eylemdeki teoremler, eylemdeki kavramlar ve kategoriler detaylı bir şekilde sunulmuştur. Kâğıt-kalem ortamında birebirlik ve örtenlik koşullarını tartışma, cebirsel işlem uygulama, grafik oluşturma sırasında kavramsal zorluk gibi temel kategorilerde yoğunlaştıkları görülmektedir. Cabri-Geometri ortamında ise öğretmen adaylarının doğruya göre simetri alma, geometrik yer belirleme, dinamik grafik oluşturma, grafik üzerinde dinamik değişiklik yaparak ters fonksiyonun görselleştirilmesi kategorileri grafik oluşturma süreçlerini gerçekleştirdikleri gözlemlenmiştir. Bu bulgular, her iki ortamda geliştirilen enstrümanlı eylem şemalarının farklı boyutlarda şekillendiğini ve öğretmen adaylarının süreç boyunca farklı zihinsel yapılandırmalar yaptıklarını göstermektedir. Bu nedenle, elde edilen veriler tematik düzeyde analiz edilerek, kâğıt-kalem ve Cabri-Geometri ortamlarında ortaya çıkan ortak ve farklı yönler aşağıda temalar halinde sunulmuştur.

3.2. Kâğıt-kalem ortamında oluşan temalar

Kâğıt-kalem ortamında ortaya çıkan temalar aşağıda sentezlenmiştir.

Kavramsal Bilgilerin İşleme Dönüşmesi: Bu tema, birebirlik ve örtenlik kavramlarının ters fonksiyonun geçerliliğini tartışma sürecinde nasıl işlevselleştirildiğine odaklanmaktadır. Özellikle doğrusal fonksiyonun birebirliği ve parabol fonksiyonlarda tanım kümesinin kısıtlanması üzerine yapılan tartışmalar bu temayı desteklemiştir.

İşlem Odaklı Temsil ve Cebirsel Dönüşüm: Öğretmen adaylarının doğrusal ve parabolik fonksiyonların terslerini bulmak için x ’i yalnız bırakmaya yönelik gerçekleştirdiği cebirsel işlemler bu temanın merkezindedir. Değişken değiştirme, denklem düzenleme ve tam kareye tamamlama gibi teknikler, ters fonksiyonların elde edilmesinde başvuru alan temel adımlar olmuştur.

Temsilde Zorluk ve Kavramsal Sınırlılıklar: Öğretmen adaylarının ters fonksiyon grafiğini oluştururken yaşadığı güçlükler bu temanın temelini oluşturmaktadır. Özellikle parabol fonksiyonlarda tanım ve değer kümelerinin doğru belirlenememesi ve $y=x$ doğrusuna göre simetrisinin grafiksel karşılığının yorumlanmasında yaşanan sorunlar kavramsal sınırlılıkları ortaya koymuştur.

3.3. Cabri-geometri ortamında oluşan temalar

Cabri-Geometri ortamında ortaya çıkan temalar aşağıda sentezlenmiştir.

Dinamik Temsil Yoluyla Kavramsal Anlamlandırma: Bu tema, ters fonksiyonların grafiksel simetrik yapıları oluşturulurken kullanılan doğruya göre simetri alma ve geometrik yer belirleme tekniklerine odaklanmaktadır. Bu işlemler, öğretmen adaylarının ters fonksiyonların yapısını cebirsel ifade ile bütünleştirmelerine olanak tanımıştır.

Görselleştirme Yoluyla Kavramlar Arası İlişkilendirme: Öğretmen adayları, ters fonksiyonlarda $y=x$ doğrusuna göre simetri ilişkisini gözlemleyerek, fonksiyonun cebirsel ifadesi ile görsel temsili arasında bağlantı kurmuşlardır. Bu süreç, kavramlar arası ilişkilendirmeyi desteklemiştir.

Etkileşimli Ortamda Fonksiyon Davranışlarının Dinamik Analizi: Ters fonksiyonlarda grafik üzerindeki değişimlerin anlık gözlemlenmesi ve yorumlanması, öğretmen adaylarının fonksiyon davranışını daha derinlemesine anlamlandırmalarına katkı sağlamıştır.

4. Sonuç

Bu bölümde, araştırma sonuçları veri analizi sürecinde elde edilen temalar doğrultusunda sunulmuş; Sonuçlarlar ilgili literatür ve kavramsal çerçeve ışığında tartışılmıştır. Bu

araştırmada, öğretmen adaylarının kâğıt-kalem ve Cabri-Geometri ortamlarında ters fonksiyonların çözümü ve grafiklerinin çizimine yönelik geliştirdikleri enstrümanlı eylem şemaları incelenmiş olup; sonuçlar, iki ortamda şekillenen işlevsel sabitler, eylemdeki teoremler ve kavramlar açısından belirgin farklılıklar olduğunu göstermektedir. Bu araştırmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Çalışma, sınırlı sayıda öğretmen adayı ile yürütülmüş olup bulgular bu bağlamda değerlendirilmelidir. Ayrıca uygulamanın belirli bir ders süresiyle sınırlı olması, öğretmen adaylarının enstrümantal oluşum süreçlerinin uzun vadeli gelişimini izlemeyi olanaklı kılmamıştır. Bu sınırlılıklara rağmen çalışma, ters fonksiyonlara ilişkin enstrümantal oluşum süreçlerinin derinlemesine incelenmesine olanak sağlayan nitel bir bakış açısı sunmaktadır.

Kâğıt-kalem ortamında geliştirilen işlevsel sabitler büyük ölçüde x ve y 'nin yer değiştirilmesi, x 'in yalnız bırakılması ve cebirsel işlemler üzerinden ters fonksiyonun elde edilmesine dayalı olduğu gösterilmiştir. Bu süreçte öğretmen adaylarının eylemdeki teoremleri, “Eğer ters fonksiyon elde edilecek ve grafiği çizilecekse, fonksiyon birebir ve örten olmalıdır” ilkesi etrafında şekillendiği sonucuna varılmıştır. Ancak, grafik oluşturma sürecinde birebirlik ve örtenlik koşullarını uygulamada kavramsal zorluklar yaşanmış; fonksiyonların tanım kümeleri ile görsel temsilleri arasındaki bağlantılar sınırlı düzeyde kurulabileceği tespitlenmiştir. Bu sonuç, literatürde vurgulanan bazı sonuçlarla örtüşmektedir. Drijvers (2019), 15 ülkeyi kapsayan çalışmada, kâğıt-kalem ortamlarının prosedürel bilginin öne çıkmasına yol açtığını ve kavramsal anlamayı geciktirebileceğini belirtmiştir. Benzer şekilde Kieran ve Drijvers (2006), geleneksel öğretim (kâğıt-kalem ortamı ve benzer) süreçlerinde işlemsel düşüncenin baskın olduğunu ve yapısal kavrayışın ihmal edildiğini ifade etmiştir. Trouche (2005) ise araçların enstrümantal oluşum sürecinde enstrümantasyonun gerçekleşmediği durumlarda kavramsal anlamın sınırlı kaldığını vurgulamaktadır. Buna karşılık Xu (2025), kâğıt-kalem ortamının temel becerilerin gelişiminde önemli bir rol oynadığını ve farklı öğrenme stillerine uyum sağlayabildiğini öne sürerek bu çalışmanın sonuçlarını desteklememektedir. Bunun temel nedeni, Xu'nun çalışmada lise öğrencilerinin problem çözme süreçleri incelenmiş olması oysa bu çalışmanın öğretmen adaylarıyla yapılmış olması olarak yorumlanmıştır.

Ayrıca, Cabri-Geometri ortamında geliştirilen işlevsel sabitler, dinamik araçların sunduğu olanaklarla farklı bir nitelik kazandığı sonucuna ulaşılmıştır. Öğretmen adayları ters fonksiyonun grafiğini oluştururken $y = x$ doğrusuna göre simetri alma, geometrik yer belirleme ve dinamik grafik oluşturma tekniklerinden yararlanmışlardır. Bu bağlamda eylemdeki teoremler, “Eğer ters fonksiyonların çözümü ve grafiği oluşturulacaksa, bu işlem $y = x$ doğrusuna göre simetri alma, ardından geometrik yer belirleme ve dinamik grafik oluşturma yoluyla gerçekleştirilir” biçiminde ortaya konulmuştur. Cabri-Geometri ortamında ortaya çıkan kavramlar ise fonksiyon ve ters fonksiyon ilişkisini görsel boyutta anlamlandırmaya yöneliktir. Özellikle grafik üzerinde yapılan dinamik değişiklikler, adayların fonksiyonun simetriği ve ters fonksiyon kavramını yalnızca cebirsel olarak değil, aynı zamanda grafik olarak da anlamlandırdıklarını göstermiştir. Bu sonuçlar, Eisenberg ve Dreyfus (1991)'in, öğrencilerin grafiklerin biçimsel yönlerini üretmede başarılı olduklarını ancak matematiksel anlamı yapılandırmada yetersiz kaldıklarını vurgulayan çalışmasıyla benzerlik göstermektedir. Bununla birlikte Mariotti (2000), dinamik ortamların öğrencilerin çoklu temsiller arasında geçiş yapma ve grafiklerin davranışsal özelliklerini analiz etme becerilerini geliştirdiğini ifade etmiş ve bu çalışmadaki sonuçlarla doğrudan örtüşmektedir.

Dinamik ortamların kavramsal öğrenmeye katkısı üzerine yapılan diğer çalışmalar da bu sonuçları destekler niteliktedir. Bokhove ve Drijvers (2012), dijital araçların yalnızca teknik destek olmadığını, aynı zamanda öğrencilerin matematiksel kavrayışlarını derinleştiren bilişsel araçlar olduğunu vurgulamaktadır. Benzer şekilde Zhang et al. (2025), dinamik araçların grafiklerin cebirsel ifadelerle ilişkilendirilmesini kolaylaştırarak anlam inşasında kritik bir rol

oynadığını belirtmiştir. Ancak, Baccaglini-Frank ve Antonini (2016) ve Pittalis ve Drijvers (2023), dinamik ortamların her zaman kavramsal anlamayı derinleştirmede, öğrencilerin bazen yalnızca işlemsel yeterlikler üzerinde yoğunlaştıklarını ileri sürmektedir. Bu farklılık, dinamik yazılımların etkisinin bireysel öğrenme yolları ve öğretim tasarımıyla yakından ilişkili olduğunu göstermektedir.

Genel olarak, bu araştırma öğretmen adaylarının kâğıt-kalem ortamında işlemsel bilgiye dayalı, sabit ve doğruluğa odaklı çözüm stratejileri geliştirdiklerini; Cabri-Geometri ortamında ise etkileşimli, görsel ve kavramsal yönelimler sergilediklerini ortaya koymuştur. Dinamik ortamda geliştirilen enstrümanlı eylem şemaları, özellikle çoklu temsiller arasında geçiş yapabilme, grafik davranışlarını gözlemleme ve anlamlandırma, değişkenler arasındaki ilişkileri açıklayabilme gibi kavramsal özellikler taşımaktadır. Bu sonuçlar, öğretmen adaylarının geliştirdiği enstrümanlı eylem şemalarının yalnızca kullandıkları dijital veya kâğıt-kalem gibi ortamların araçlardan değil, bu araçlarla kurdukları etkileşimden beslendiğini göstermektedir. Sonuç olarak, kâğıt-kalem ortamı işlemsel bilgiye dayalı çözüm yollarını pekiştirirken, Cabri-Geometri ortamı ters fonksiyonların kavramsal anlamlandırılmasına ve grafiksel temsillerle bütünleştirilmesine katkı sağladığı ortaya konulmuştur. Bu çalışma, öğretmen adaylarının geliştirdiği enstrümanlı eylem şemalarının, yalnızca kullandıkları dijital veya kâğıt-kalem ortamı değil, bu araçlarla kurdukları etkileşimden beslendiğini; bu etkileşimin ardında yatan dinamikleri kavramada ise enstrümantal oluşum teorisinin, öğrenmenin doğasını ve dönüşümünü anlamak için vazgeçilmez bir kuramsal anahtar olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Bu bağlamda elde edilen sonuçlar, öğretmen yetiştirme programlarında teknoloji destekli matematik öğretimine ilişkin derslerin yalnızca yazılım kullanımına odaklanmakla sınırlı kalmaması gerektiğini göstermektedir. Özellikle ters fonksiyonlar gibi soyut cebirsel kavramların öğretiminde, öğretmen adaylarının kâğıt-kalem ve dinamik geometri ortamlarını karşılaştırmalı olarak deneyimleyebilecekleri öğretim tasarımlarına yer verilmesi önem arz etmektedir. Ayrıca öğretmen adaylarının, kullandıkları araçlarla geliştirdikleri enstrümanlı eylem şemalarının farkına varmalarını destekleyen etkinliklerin programa dâhil edilmesi, kavramsal öğrenmenin derinleştirilmesine katkı sağlayabilir. Bu tür uygulamaların, öğretmen adaylarının gelecekteki sınıf içi öğretimlerinde teknoloji ile pedagojik amaçlar arasında daha bilinçli ve dengeli bir ilişki kurmalarına olanak tanıyacağı düşünülmektedir. Ayrıca bu araştırmada, araştırmacının sürece doğrudan dahil olması ve uygulamaları sahada yürütmesi nedeniyle, enstrümantal oluşum teorisinin bir boyutu olan enstrümantal orkestrasyon da dikkate alınabilir. Araştırmacının ortamları yönetme biçimi, görevleri yapılandırma süreci ve öğrencilerin araçlarla etkileşimlerini yönlendirme stratejileri, adayların enstrümanlı eylem şemalarının gelişiminde belirleyici olduğu düşünülmektedir. Dolayısıyla bu çalışmanın devamı olarak, yalnızca bireysel şemaların değil, aynı zamanda bu şemaların sınıf içi orkestrasyon bağlamında biçimlenişinin de incelenmesi alana katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Yazarların Katkı Beyanı

Her iki yazar da araştırmanın tasarımı, veri toplama, analiz, yorumlama ve makalenin yazım aşamalarına eşit düzeyde katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar olarak aramızda bu çalışmayı etkileyebilecek mali olan ya da olmayan herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Finansman

Bu çalışma, kamu, ticari veya kâr amacı gütmeyen herhangi bir finansman kuruluşundan desteklenmemiştir.

Etik Kurul Onayı

Bu araştırma, Bursa Uludağ Üniversitesi Araştırma ve Yayın Etik Kurulu'nun 27/10/2023 tarihli ve 2023-09 sayılı kararı ile alınan izinle yürütülmüş ve araştırma için alınan etik kurul izin bilgisi doğrultusunda çalışma tamamlanmıştır.

Kaynaklar

- Ainsworth, S., 1999. The functions of multiple representations. *Computers ve Education*, 33(2–3): 131–152.
- Baccaglini-Frank, A., Antonini, S., 2016. From conjecture generation by maintaining dragging to proof. *Arxiv Preprint Arxiv*, 1605.02583.
- Barabash, M., 2019. Dragging as a geometric construction tool: Continuity considerations inspired by students' attempts. *Digital Experiences in Mathematics Education*, 5(2): 124–144.
- Bokhove, C., Drijvers, P., 2012. Effects of a digital intervention on the development of algebraic expertise. *Computers ve Education*, 58(1): 197–208.
- Cresswell, J., 2013. Qualitative inquiry ve research design: Choosing among five approaches. SAGE.
- Dede, Y., Argün, Z., 2003. Cebir, öğrencilere niçin zor gelmektedir? *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 24: 180–185.
- Dreyfus, T., Tsamir, P., 2004. Ben's consolidation of knowledge structures about infinite sets. *The Journal of Mathematical Behavior*, 23(3): 271–300.
- Dreyfus, T., Hershkowitz, R., Schwarz, B., 2015. The nested epistemic actions model for abstraction in context: Theory as methodological tool and methodological tool as theory. In A. Bikner-Ahsbabs, C. Knipping, ve N. Presmeg (Eds.), *Approaches to qualitative research in mathematics education: Examples of methodology and methods*. Springer, pp. 185–217.
- Drijvers, P., 2019. Embodied instrumentation: Combining different views on using digital technology in mathematics education. In *Eleventh Congress of the European Society for Research in Mathematics Education (No. 1)*. Freudenthal Group; Freudenthal Institute; ERME.
- Drijvers, P., Sinclair, N., 2024. The role of digital technologies in mathematics education: Purposes and perspectives. *ZDM–Mathematics Education*, 56(2): 239–248.
- Drijvers, P., Trouche, L., 2008. From artifacts to instruments: A theoretical framework behind the orchestra metaphor. In G. W. Blume ve M. K. Heid (Eds.), *Research on technology and the teaching and learning of mathematics: Cases and perspectives*. Information Age Publishing, pp. 363–392.
- Eisenberg, T., Dreyfus, T., 1991. On the reluctance to visualize in mathematics. In W. Zimmermann ve S. Cunningham (Eds.), *Visualization in teaching and learning mathematics*. Mathematical Association of America, pp. 25–37.
- Engelhardt, P.V., Corpuz, E.G., Ozimek, D.J., Rebello, N.S., 2004. The teaching experiment—What it is and what it isn't. *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics, pp. 157–160.

- Fitrianna, A.Y., Rosjanuardi, R., Prabawanto, S., 2024. Algebraic reasoning of high school students in solving inverse function problems: Viewed from mathematical resilience. *Indonesian Journal of Science and Mathematics Education*, 7(2): 322–336.
- Frankel, R. M., Devers, K.J., 2000. Study design in qualitative research-1: Developing questions and assessing resource needs. *Education for Health*, 13(2): 251–261.
- Haspekian, M., 2005. An “instrumental approach” to study the integration of a computer tool into mathematics teaching: The case of spreadsheets. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 10(2): 109–141.
- Janvier, C.E., 1987. Problems of representation in the teaching and learning of mathematics. In C. Janvier (Ed.), *Problems of representation in the teaching and learning of mathematics*, Lawrence Erlbaum Associates, pp. 1–9.
- Kaput, J.J., 1998. Representations, inscriptions, descriptions and learning: A kaleidoscope of windows. *Journal of Mathematical Behavior*, 17(2): 265–281.
- Kieran, C., 1992. The learning and teaching of school algebra. In D. A. Grouws (Ed.), *Handbook of research on mathematics teaching and learning*. Macmillan Publishing Company, pp. 390–419.
- Kieran, C., Drijvers, P., 2006. The co-emergence of machine techniques, paper-and-pencil techniques, and theoretical reflection: A study of CAS use in secondary school algebra. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 11: 205–263.
- Komatsu, K., Jones, K., 2020. Interplay between paper-and-pencil activity and dynamic-geometry-environment use during generalisation and proving. *Digital Experiences in Mathematics Education*, 6(2): 123–143.
- Laborde, C., 2002. Integration of technology in the design of geometry tasks with Cabri-Geometry. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 6: 283–317.
- MacGregor, M., Stacey, K., 1993. Cognitive models underlying students’ formulation of simple linear equations. *Journal for Research in Mathematics Education*, 24(3): 217–232.
- Mariotti, M.A., 2000. Introduction to proof: The mediation of a dynamic software environment. *Educational Studies in Mathematics*, 44(1): 25–53.
- National Council of Teachers of Mathematics, 2000. Principles and standards for school mathematics.
- Ndlovu, M., Wessels, D., De Villiers, M., 2011. An instrumental approach to modelling the derivative in Sketchpad. *Pythagoras*, 32(2): 1–15.
- Nolasco, J., 2018. The struggle with inverse functions doing and undoing process. Master’s Thesis, California State University, San Bernardino.
- Öcal, M.F., Kar, T., Güler, G., İpek, A.S., 2020. Comparison of prospective mathematics teachers’ problem posing abilities in paper-pencil test and on dynamic geometry environment in terms of creativity. *Journal of Research in Mathematics Education*, 9(3): 243–272.
- Paoletti, T., Stevens, I.E., Hobson, N.L., Moore, K.C., LaForest, K.R., 2018. Inverse function: Pre-service teachers’ techniques and meanings. *Educational Studies in Mathematics*, 97(1): 93–109.

- Pittalis, M., Drijvers, P., 2023. Embodied instrumentation in a dynamic geometry environment: Eleven-year-old students' dragging schemes. *Educational Studies in Mathematics*, 113(2): 181–205.
- Segal, R., Oxman, V., Stupel, M., 2021. Using dynamic geometry software to enhance specialized content knowledge: Pre-service mathematics teachers' perceptions. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 16(3): em0647.
- Song, Y., 2021. A review of how class orchestration with technology has been conducted for pedagogical practices. *Educational Technology Research and Development*, 69(3): 1477–1503.
- Steffe, L.P., Ulrich, C., 2014. Constructivist teaching experiment. In S. Lerman (Ed.), *Encyclopedia of mathematics education*. Springer, pp. 102–109.
- Tall, D., Gray, E., Ali, M.B., Crowley, L., DeMarois, P., McGowen, M., ... ve Yusof, Y., 2001. Symbols and the bifurcation between procedural and conceptual thinking. *Canadian Journal of Math, Science ve Technology Education*, 1(1): 81–104.
- Tapan, M.S., 2006. Différents types de savoirs mis en œuvre dans la formation initiale d'enseignants de mathématiques à l'intégration de technologies de géométrie dynamique. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Université Joseph-Fourier – Grenoble I.
- Taşlıbeyaz, E., 2010. Ortaöğretim öğrencilerinin bilgisayar destekli matematik öğretiminde matematik algılarına yönelik durum çalışması: Lise 3. sınıf uygulaması. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi.
- Trouche, L., 2004. Managing the complexity of human/machine interactions in computerized learning environments: Guiding students' command process through instrumental orchestrations. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 9(3): 281–307.
- Trouche, L., 2005. Instrumental genesis, individual and social aspects. In D. Guin, K. Ruthven, ve L. Trouche (Eds.), *The didactical challenge of symbolic calculators: Turning a computational device into a mathematical instrument*. Springer, pp. 197–230.
- Verillon, P., Rabardel, P., 1995. Cognition and artifacts: A contribution to the study of thought in relation to instrumented activity. *European Journal of Psychology of Education*, 10(1): 77–101.
- Xu, C., 2025. Improving mathematical skills of mathematics education students through integrated use of graphing software and programming techniques. *International Journal of Education and Humanities*, 5(1): 277.
- Yuhariati, Y., Johar, R., Khairunnisak, C., Rohaizati, U., Zubaidah, T., 2022. Students' mathematical representation ability in learning algebraic expression using realistic mathematics education. *Jurnal Didaktik Matematika*, 9(1): 151–165.
- Zhang, Y., Wang, P., Jia, W., Zhang, A., Chen, G., 2025. Dynamic visualization by GeoGebra for mathematics learning: A meta-analysis of 20 years of research. *Journal of Research on Technology in Education*, (2): 437–458.

EJONS

Uluslararası Matematik, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi
International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences

Research Article

e-ISSN: 2602 - 4136

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17948600>

İzmir Bergama Kozak Yaylasında Fıstık Çamı Ağaçlarının Beslenme Düzeylerinin Belirlenmesi

Hajir Dawood Sulaiman JOBAN ¹, Serra HEPAKSOY ^{*2}

¹ Kerkük Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Kerkük, Irak

² Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Bornova, İzmir, Türkiye

Sorumlu Yazar Email: serra.hepaksoy@ege.edu.tr

Makale Tarihçesi

Geliş: 14.11.2025

Kabul: 09.12.2025

Anahtar Kelimeler

Fıstık Çamı,
Pinus pinea L.,
Besin Elementi,
Kozak Yaylası,
Verim Düşüklüğü

Özet: Meyvesi açısından önemli bir tür olan fıstık çamının, ülkemizde en uygun yetişme koşullarını sağlayan başlıca alanlar İzmir Bergama, Aydın-Koçarlı bölgeleridir. Kozak yöresinin sahip olduğu toplam fıstık çamı alanı yaklaşık 6.000 hektardır. Son yıllarda ülkemizde Kozak yöresi başta olmak üzere birçok bölgede kozalak kaybıyla birlikte tohum üretiminde önemli düşüşler görülmektedir. Bu verim düşüklüğünün değişik nedenleri olabilir ve bunlardan birisi de ağaçların beslenme yetersizliği olarak düşünüldüğünden İzmir-Bergama'da yer alan Karaveliler köyünde bulunan fıstık çamı ağaçlarının yaprak besin maddesi içerikleri incelenmiştir. Bu amaçla, bir iki ve üç yaşlı ibre örnekleri bir yıllık kozalakların (ülker) oluşmaya başladığı haziran ayı ve bir yıllık kozalakların döküm zamanı olan kasım ayı olmak üzere 2 farklı dönemde alınmıştır. Ağaçlar arasındaki farklılıklar yanı sıra ibre yaşı ve dönemler açısından da farklılıklar incelenmiştir. Vejetasyon dönemi ilerledikçe çam fıstığı ağaçlarının iğne yapraklarında kalsiyum ve magnezyum elementlerinin konsantrasyonlarında artışlar meydana gelirken, diğer makro ve mikro besin elementlerinde düşüşler meydana gelmiştir. Benzer şekilde ibre yaşı arttıkça kalsiyum ve magnezyum hariç bütün besin elementlerinde azalma saptanmıştır. Analizler sonunda ağaçlar arasında besin maddesi içerikleri açısından bazı farklılıklar bulunmuştur. Ancak herhangi bir besin maddesi açısından önemli ölçüde eksiklik tespit edilmemiştir.

Determination of the Nutritional Levels of Pine Nut Trees in the Kozak Plateau of Bergama, İzmir

Article Info

Received: 14.11.2025

Accepted: 09.12.2025

Keywords

Pine Nut,
Pinus pinea L.,
Nutrient,
Kozak Plateau,
Yield Decreasing

Abstract: The pine nut tree, an important species in terms of its fruit, is best suited to grow in the İzmir Bergama (Kozak plateau) and Aydın-Koçarlı regions of Turkey. The total area of pine nut trees in the Kozak region is approximately 6,000 hectares. In recent years, significant declines in seed production, accompanied by cone loss, have been observed in many regions of our country, particularly in the Kozak region. There may be various reasons for this decline in yield, one of which is thought to be the trees' nutritional deficiency. Therefore, the leaf nutrient content of pine nut trees in the village of Karaveliler, located in İzmir-Bergama, was examined. For this purpose, one, two and three year old needle samples were taken from trees in two different periods, in June when the one year old cones started to form and in November when the one year old cones were shed. In addition to differences between trees, differences in needle age and seasons were also examined. As the vegetation period progressed, increases in the concentrations of calcium and magnesium elements occurred in the needle leaves of pine trees, while decreases occurred in other macro and micro nutrient elements. Similarly, as needle age increased, decreases were observed in all nutrient elements except calcium and magnesium. At the end of the analyses, some differences were found among trees in terms of nutrient content. However, no significant deficiencies were detected in any nutrient.

1. Giriş

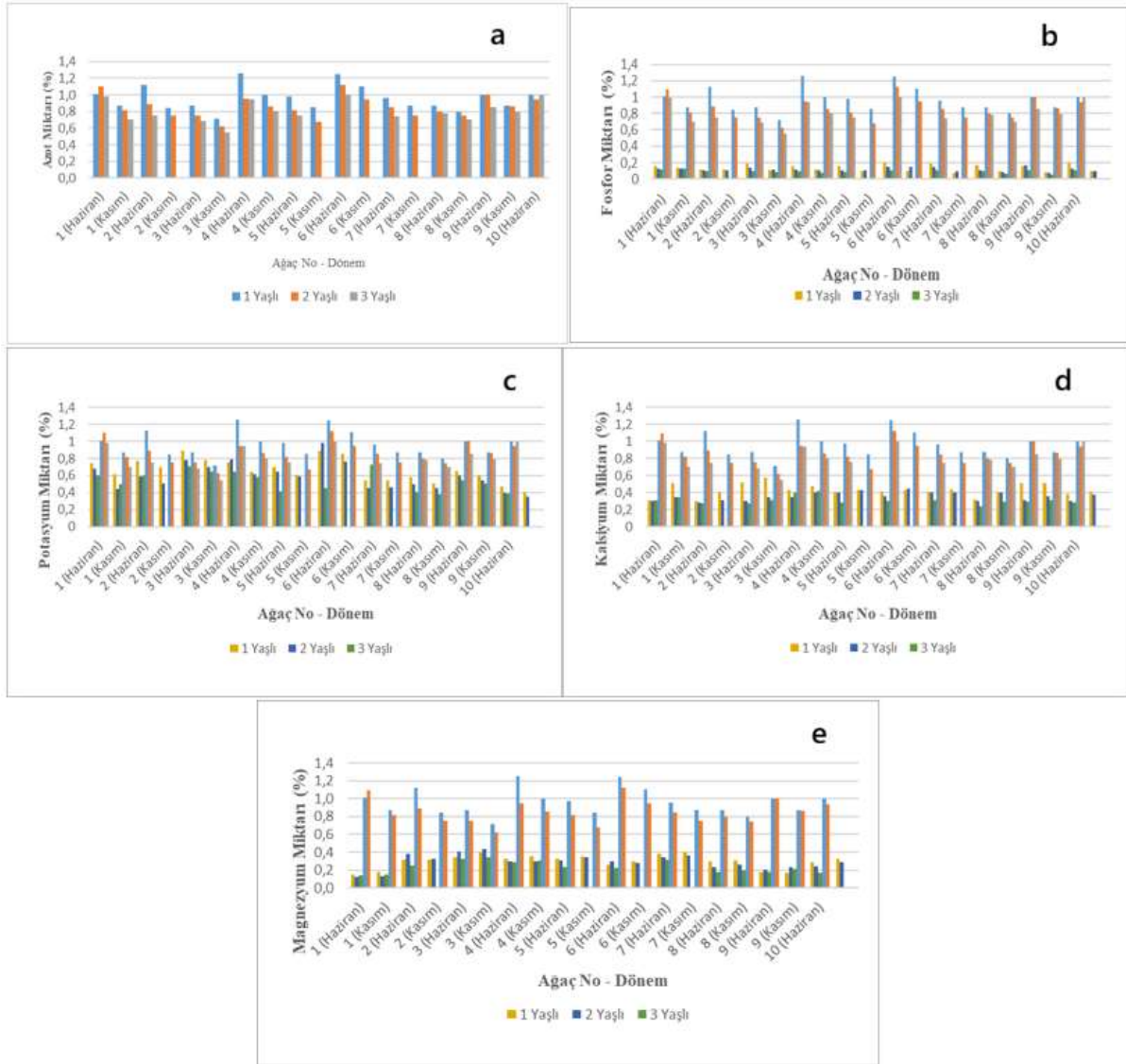
Fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.) Türkiye’de doğal yayılış gösteren beş çam türünden birisidir ve diğer türlerden şemsiye şeklinde taç yapısına sahip olmasıyla ayırt edilir (Joban ve Hepaksoy, 2024). Deniz seviyesinden 1000 m’ye kadar olan yükseltilerde doğal olarak yetişen fıstık çamı (Akkemik, 2014), Portekiz’den Anadolu’ya kadar tüm Akdeniz kıyı şeridinde (Portekiz, İspanya, İtalya, Fransa, Korsika, Türkiye, Yunanistan, Lübnan, Suriye) doğal yayılış gösterir (CABI, 2002; Yılmaz ve ark., 2010). Türkiye’de doğal yayılış yaptığı iller, Artvin, Trabzon, Bartın, Bursa, İzmir, Aydın, Muğla, Antalya ve Kahramanmaraş’dır (Coode and Cullen, 1965). Kumul-kurak gibi sorunlu alanların ağaçlandırılmasında adaptasyonu oldukça iyi olan fıstık çamı (Gezer ve Aslan, 1980) uygun yetişme ortamı bulunan Ege, Marmara ve Akdeniz bölgelerinde bazı yörelerin ağaçlandırılmasında çok tercih edilen türler arasındadır (Bilgin, 2008; Boydak ve Çalışkan, 2021). Fıstık çamı ormanlarından kozalak üretimi yapılmasının, odun üretimine göre orman ekosistemine olumsuz etkisi sınırlı olup, orman köylüsüne sosyal ve ekonomik katkısı bulunmaktadır (Ürgeç ve ark., 1994). Fıstık çamının özellikle ekonomik değeri yüksek olan ve ihracatta değerlendirilen tohumları mevcuttur. Dünyada çam fıstığı üretiminde lider iki ülke Çin ve Rusya Federasyonu’dur. 2018/19 ile 2022/23 yıllarına ait 5 yıllık ortalamalara göre bu ülkelerin üretimleri sırasıyla 8.983 ve 7.320 ton olup, dünya üretiminin % 26 ve % 21’lik payına sahiptirler. Bu ülkeleri Moğolistan (4.375 t), Kuzey Kore (4.110 t), Afganistan (3.620 t), Pakistan (3.092 t), İtalya (1.748 t), Türkiye (643 t), İspanya (266 t), Portekiz (244 t) izlemektedir. 2021/22 dönemine ait dünya toplam çam fıstığı üretimi 49.000 ton olarak gerçekleşmiştir (Anonymous, 2025). 2024 yılında Türkiye 44.206 kg çam fıstığı ihraç ederek, 1.670.783,58 Amerikan doları gelir elde etmiştir. Bir önceki yıl ise, ihracat miktarı 85.085 kg olarak gerçekleşmiştir (Anonim, 2025). Yıllar arasındaki değişimlerin nedenlerinden birisi de, üretimdeki dalgalanmalardır. Yetiştiriciliği yapılan tüm Akdeniz ülkelerinde üretimle ilgili sorunlar yaşanmakta olup, iklim değişikliği de bu sorunları arttırmaktadır. Üretimle ilgili sorunların nedenlerini ortaya koyabilmek amacıyla özellikle İspanya, İtalya ve Portekiz’de çalışmalar yapıldığı gibi, ülkemizde de bu konu üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. Üretimdeki azalmaların muhtemel nedenlerinden birisi de topraktaki besin elementi eksikliği ya da dengesizliği olabileceği noktasından hareketle bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışma, önemli çam fıstığı üretim merkezlerinden birisi olan, İzmir ili Bergama ilçesi Kozak yaylasında gerçekleştirilmiştir. Kozak yaylasında, 15.265 ha doğal alanda, 4.625 ha ağaçlandırma (yeni tesis) alanında çam fıstığı üretimi gerçekleştirilmektedir. Çalışmada, Bergama’da Karaveliler köyünde tam verim çağındaki 30-35 yaşlarında 10 ağaç seçilmiştir. Belirlenen ağaçlardan, ağaç tacının 1/3’lük üst kısmında yer alan ışık gören dallarından farklı yaşlardaki (1, 2, 3 yaşlı) ibre örnekleri 2 farklı dönemde alınmıştır. Erkek çiçeklerin olgunlaştığı ve “ülker” dönemi (bir yaşlı kozalak) birinci dönem (03.06.2021), dişi çiçeklerin oluştuğu ve ülkerlerin döküm zamanı da ikinci dönem (19.11.2021) olarak belirlenmiştir. Alınan ibreler yıkanıp, etüvde kurutulduktan sonra, öğütülmüştür. Kuru ibre örneklerinde Kjeldahl destilasyon metodu ile toplam N analizi yapılmıştır. (Kacar ve İnal, 2008). Kurutulmuş ve öğütülmüş örneklerden yaş yakma metodu ile elde edilen süzükten potasyum, fosfor, kalsiyum, kükürt, magnezyum, çinko, bakır, demir, mangan tayini ICP cihazı ile yapılmıştır (Kacar ve İnal, 2008) N, P, K, Ca, Mg nin sonuçları; kuru maddede % olarak verilmiştir. Fe, Cu, Zn, Mn sonuçları ise, kuru maddede mg kg⁻¹ olarak verilmiştir. Elde edilen veriler SPSS (SPSS Inc., Ver. 11.0 Chicago, USA) istatistik paket programında değerlendirilmiştir. Ağaçlar, yaş ve dönemler ayrı ayrı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, ağaç ve ibre yaşı interaksyonu da değerlendirilerek, farklılıklar % 5 önem seviyesinde Duncan çoklu sınıflandırma testi ile belirlenmiştir.

3. Bulgular

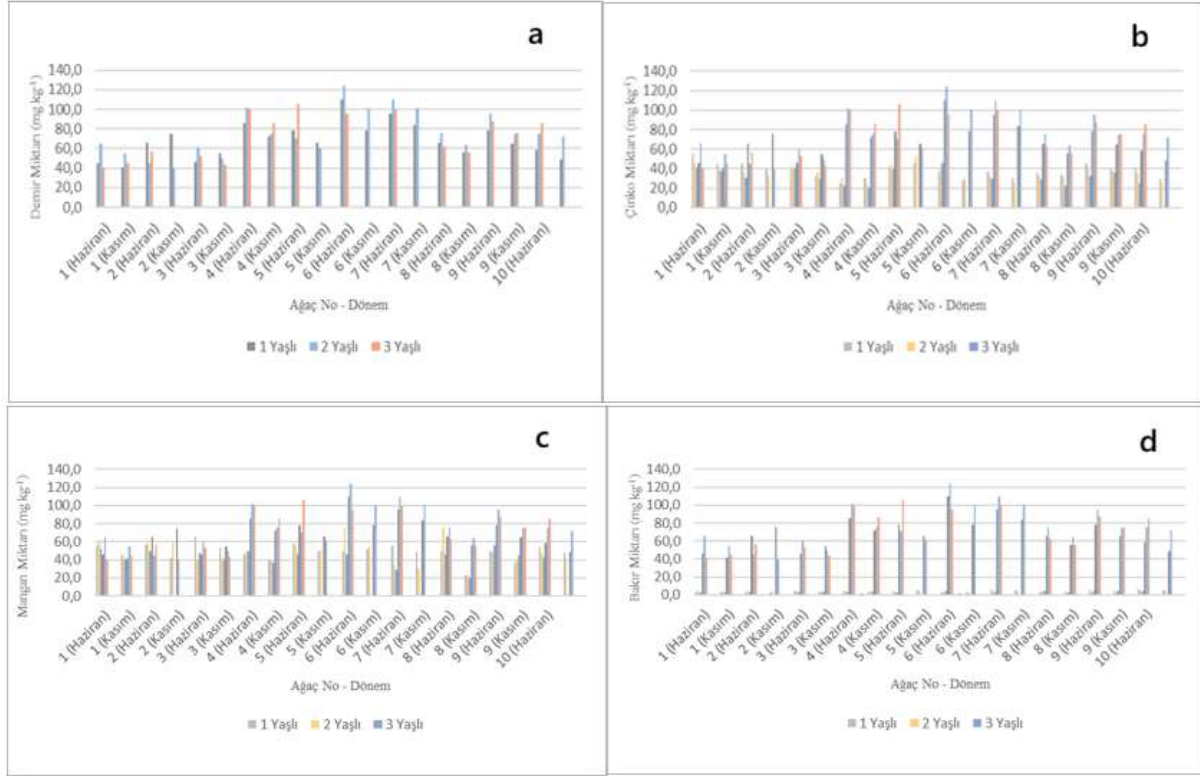
İzmir ili Bergama ilçesinde Kozak yaylasında bulunan Karaveliler Köyüne ait bölgeden haziran ayı başı ve kasım ayı ortasında alınan ibrelerin makro (N, P, K, Ca, Mg) ve mikro (Fe, Cu, Zn, Mn) besin maddesi içeriklerinin istatistiki değerlendirmesine göre ilk dönem örneklerinde bütün makro ve mikro elementler açısından ağaçlar ile ibre yaşları arasındaki farklılıklar $p \leq 0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Ayrıca ağaç x yaş interaksyonu da $p \leq 0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. İkinci dönemde ise, azot ve magnezyum içerikleri açısından ağaç x yaş interaksyonları istatistiki olarak önemli bulunmazken, ağaç ve ibre yaşları arasında $p \leq 0.01$ düzeyinde anlamlı farklılıklar ortaya çıkmıştır. Bu iki element dışındaki diğer tüm makro ve mikro besin elementleri açısından ağaçlar, ibre yaşı ve bu iki parametrenin interaksyonları yine %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Haziran ayında 10 adet ağaçtan alınan ibre örneklerinde, ortalama azot içeriği % 0,771 ile % 1,123 arasında değişmiş, en yüksek ortalama değer (% 1,033) 1 yaşlı ibrelerde, en düşük (% 0,849) 3 yaşlı ibrelerde bulunmuştur. Ağaçlara göre değişmek üzere, 1 yaşlı ibrelerin içeriklerinin % 0,872 (8 nolu) ile % 1,258 (4 nolu), 2 yaşlıların % 0,752 (3 nolu) ile % 1,120 (6 nolu) ve 3 yaşlı ibrelerin % 0,685 (3 nolu) ile % 1,000 (6 nolu) arasında değiştiği saptanmıştır. Kasım ayında alınan ikinci dönem örneklerinde ağaçların ortalama N miktarları % 0,629 (3 nolu) ile % 1,025 (6 nolu) arasında değişim göstermiştir. İbrelerin 1, 2 ve 3 yaşlarına göre ortalama N içerikleri sırasıyla % 0,885 – % 0,787 ve % 0,710 olarak bulunmuştur. Bir yaşlı ibrelerin N miktarları % 0,715 - 1,105; 2 yaşlı ibrelerin % 0,624 - 0,945 ve 3 yaşlı ibrelerin % 0,549 - 0,804 arasında değiştiği saptanmıştır (Şekil 1 a). Fosfor içeriği haziran döneminde % 0,105 (2 nolu) ile % 0,151 (6 nolu) arasında değişmiştir. Bir yaşlı ibreler en yüksek (% 0,168), üç yaşlı ibreler en düşük (% 0,101) P içerirken; ağaçlara bağlı olarak 1, 2 ve 3 yaşlı ibrelerde sırasıyla, % 0,112 – 0,204; % 0,105 – 0,168 ve % 0,087 – 0,112 arasında değişmiştir. Bir yaşlı kozalakların döküm zamanı olan kasım ayında alınan örneklerin P içerikleri ağaçlara göre % 0,071 (9 nolu) ile % 0,130 (1 nolu) arasında bulunmuştur. En yüksek P içeriği (% 0,106) 2 yaşlı, en düşük (% 0,081) 3 yaşlı ibrelerde tespit edilmiştir. Bir yaşlı ibrelerin P içerikleri ağaçlara göre değişmek üzere % 0,078 – 0,142; iki yaşlı ibrelerin % 0,075 – 0,147 ve üç yaşlı ibrelerin % 0,052 – 0,123 arasında değişiklik göstermiştir (Şekil 1 b). Diğer önemli makro element olan potasyum içeriği, erkek çiçeklerin olgunlaştığı ve “ülker” dönemi olarak isimlendirilen periyotta % 0,421 (10 nolu) ile % 0,795 (3 nolu) arasında değişkenlik göstermiştir. Bir yaşlı ibreler ortalama % 0,700 ile en yüksek K’ya, üç yaşlılar ortalama % 0,549 ile en düşük içeriğe sahip olmuşlardır. Ağaçlara bağlı olarak 1, 2 ve 3 yaşlı ibrelerin K içerikleri, sırasıyla % 0,475 – % 0,890; % 0,400 – % 0,985 ve % 0,387 – % 0,724 arasında belirlenmiştir. Kasım ayında 10 nolu ağaç en yüksek (% 0,379), 6 nolu ağaç en düşük (% 0,806) değere sahip olmuştur. Önceki dönemde olduğu gibi, bir yaşlı ibreler en fazla (% 0,627), 3 yaşlı ibreler, en az (% 0,522) K içeriğine sahip olmuşlardır. Ağaçlarda 1 yaşlı ibrelerde % 0,409 (10 nolu) ile % 0,852 (6 nolu); 2 yaşlılarda % 0,349 (10 nolu) ile % 0,759 (6 nolu) ve 3 yaşlılarda % 0,376 (8 nolu) ile % 0,647 (3 nolu) arasında K bulunmuştur (Şekil 1 c). Haziran ayında ibrelerin ortalama kalsiyum içerikleri, % 0,285 (2 ve 8 nolu) ile % 0,391 (4 nolu) arasında bulunmuştur. Bir yaşlı ibreler en yüksek (% 0,398), 3 yaşlı ibreler en düşük (% 0,296) değere sahip olmuştur. İbrelerin Ca içerikleri 1 yaşlılarda % 0,301 – 0,522; 2 yaşlılarda % 0,280 – 0,397 ve 3 yaşlılarda % 0,241 – 0,399 değerleri arasında değişmiştir. İkinci döneme ait ibrelerin kalsiyum içerikleri ise, % 0,353 (2 nolu ağaç) ile % 0,440 (6 nolu ağaç) arasında değişmiştir. Bir yaşlı ibrelerde % 0,458 ile en yüksek, 3 yaşlılarda % 0,336 ile en düşük ortalama değerler bulunmuştur. Bir, iki ve üç yaşlı ibrelerin Ca miktarları sırasıyla, % 0,398 (2 nolu ağaç) ile % 0,574 (3 nolu ağaç), % 0,308 (2 nolu ağaç) ile % 0,451 (6 nolu ağaç) ve % 0,295 (8 nolu ağaç) ile % 0,418 (4 nolu ağaç) arasında değişmiştir (Şekil 1 d).



Şekil 1. İbrelerin ağaç dönemsel ve yaşı göre makro besin elementi içerikleri (a) Azot miktarı (b) Fosfor miktarı (c) Potasyum miktarı (d) Kalsiyum miktarı (e) Magnezyum miktarı

İbrelerin magnezyum içeriğine bakıldığında haziran döneminde % 0,134 (1 nolu) ile % 0,359 (3 nolu) arasında değiştiği, ibrelerin yaşlarına (1, 2 ve 3) bağlı olarak sırasıyla % 0,286 – % 0,283 ve % 0,229 olduğu görülmüştür. Ağaçlarda Mg içerikleri 1 yaşlı ibrelerde % 0,145 ile % 0,378; 2 yaşlılarda % 0,121 ile % 0,345 ve 3 yaşlılarda % 0,135 ile % 0,325 arasında bulunmuştur. Kasım ayında alınan ibrelerin magnezyum besin elementi miktarları % 0,153 (1 nolu ağaç) ile % 0,393 (3 nolu) arasında değişkenlik gösterdiği, % 0,310 ile 1 yaşlı ibreler en yüksek, % 0,242 ile 3 yaşlı ibreler en düşük Mg içerdikleri ortaya konulmuştur. Bir yaşlı ibrelerinin Mg içerikleri % 0,168 ile % 0,400; 2 yaşlıların % 0,134 ile % 0,365 ve 3 yaşlıların da % 0,152 ile % 0,341 arasında değişmiştir (Şekil 1 e). Ağaçlarda mikro elementlerin durumuna bakıldığında demir içeriği haziran ayında $50,443 \text{ mg kg}^{-1}$ (1 nolu) ile $109,830 \text{ mg kg}^{-1}$ (6 nolu) arasında değişmiştir. En yüksek Fe içeriğine $82,240 \text{ mg kg}^{-1}$ ile 2 yaşlı, en düşük içeriğe $72,895 \text{ mg kg}^{-1}$ değeriyle 1 yaşlı ibreler sahip olmuştur. Bir yaşlı ibrelerde $45,482 \text{ mg kg}^{-1}$ (1 nolu ağaç) ile $109,785 \text{ mg kg}^{-1}$ (6 nolu), 2 yaşlı ibrelerde $44,706 \text{ mg kg}^{-1}$ (2 nolu) ile $124,220 \text{ mg kg}^{-1}$ (6 nolu) ve 3 yaşlı olanlarda $40,598 \text{ mg kg}^{-1}$ (1 nolu) ile $105,783 \text{ mg kg}^{-1}$ (5 nolu) arasında demir saptanmıştır. Kasım ayında ise, demir içeriği $47,097 \text{ mg kg}^{-1}$ (1 nolu) ile $92,250 \text{ mg kg}^{-1}$ (7 nolu) arasında bulunmuştur. Bu dönemde de 2 yaşlı ibreler en yüksek ($69,272 \text{ mg kg}^{-1}$) Fe içerirken, en düşük ($61,186 \text{ mg kg}^{-1}$) değer 3 yaşlı ibrelerde bulunmuştur. Ağaçlara

göre değişmek üzere, 1 yaşlı ibrelerin Fe miktarları 41,000 - 83,650 mg kg⁻¹, 2 yaşlı ibrelerin 39,459 - 100,850 mg kg⁻¹ ve 3 yaşlı ibrelerin de 43,500 - 85,960 mg kg⁻¹ arasında tespit edilmiştir (Şekil 2 a).



Şekil 2. İbrelerin ağaç dönemsel ve yaşa göre makro besin elementi içerikleri (a) Demir miktarı (b) Çinko miktarı (c) Mangan miktarı (d) Bakır miktarı

Ülker dönemine denk gelen haziran ayında ibrelerin çinko içeriklerine bakıldığında 4 nolu ağaç (26,179 mg kg⁻¹) en düşük değere sahipken, 1 nolu ağacın (47,462 mg kg⁻¹) en yüksek değere sahip olduğu, 1 yaşlı ibrelerde en yüksek (40,253 mg kg⁻¹), 3 yaşlılarda en düşük (33,557 mg kg⁻¹) değer belirlenmiştir. Ağaçların bir yaşlı ibrelerinde Zn içeriği 25,568 mg kg⁻¹ ile 55,485 mg kg⁻¹; iki yaşlılarda 30,520 mg kg⁻¹ ile 45,782 mg kg⁻¹ ve üç yaşlılarda 22,450 mg kg⁻¹ ile 45,412 mg kg⁻¹ arasında bulunmuştur. İkinci dönem örneklerinde ise, çinko içeriği 25,074 mg kg⁻¹ (4 nolu ağaç) ile 49,098 mg kg⁻¹ (5 nolu ağaç) arasında değişmiş, 1, 2 ve 3 yaşlı ibrelerin ortalama içeriklerinin sırasıyla 35,640 – 33,660 ve 29,168 mg kg⁻¹ olduğu saptanmıştır. Ağaçlara göre ibrelerin Zn miktarları 1 yaşlılarda 27,596 – 45,785 mg kg⁻¹, 2 yaşlılarda 24,051 – 52,410 mg kg⁻¹ ve 3 yaşlılarda 20,501 – 37,526 mg kg⁻¹ arasında bulunmuştur (Şekil 2 b). İbrelerin mangan içerikleri haziran ayındaki örneklerde, 21,440 mg kg⁻¹ (8 nolu) ile 57,039 mg kg⁻¹ (6 nolu) arasında bulunmuş, 1 yaşlı ibreler en yüksek (50,781 mg kg⁻¹) Mn'ye sahip iken, en düşük (43,916 mg kg⁻¹) 3 yaşlı ibreler sahip olmuştur. Bir yaşlı ibrelerinin içerdiği Mn miktarları 15,846 – 65,854 mg kg⁻¹, 2 yaşlıların 25,985 – 75,852 mg kg⁻¹ ve 3 yaşlıların 22,489 – 55,493 mg kg⁻¹ arasında bulunmuştur. Kasım ayındaki ikinci örneklemede, 21,864 mg kg⁻¹ (8 nolu) ile 52,991 mg kg⁻¹ (6 nolu) arasında değişen mangan miktarı, en yüksek (43,867 mg kg⁻¹) bir yaşlı ibrelerde, en düşük (36,458 mg kg⁻¹) üç yaşlı ibrelerde tespit edilmiştir. Ağaçlara göre, 1 yaşlı ibrelerin Mn içerikleri 22,531 mg kg⁻¹ (8 nolu ağaç) ile 52,736 mg kg⁻¹ (3 nolu), 2 yaşlı ibrelerin 23,592 mg kg⁻¹ (8 nolu) ile 60,593 mg kg⁻¹ (2 nolu) ve 3 yaşlı ibrelerin 19,469 mg kg⁻¹ (8 nolu) ile 44,940 mg kg⁻¹ (9 nolu) arasında değişmiştir (Şekil 2 c). İbrelerin diğer bir mikro element olan bakır içerikleri haziran ayındaki örneklerde 3,451 mg kg⁻¹ (5 nolu) ile 4,478 mg kg⁻¹ (10 nolu) arasında bulunmuştur. 1 yaşlı ibreler en yüksek (4,302 mg kg⁻¹), en düşük (3,608 mg kg⁻¹) miktara ise, 3 yaşlı ibreler sahip olmuştur. Ağaçlara bağlı olarak 1 yaşlı

ibrelerde 3,185 mg kg⁻¹ ile 5,789 mg kg⁻¹; 2 yaşlı ibrelerde 3,410 mg kg⁻¹ ile 5,480 mg kg⁻¹ ve 3 yaşlılarda 2,410 mg kg⁻¹ ile 4,751 mg kg⁻¹ arasında bakır tespit edilmiştir. Kasım ayında ise, 2,948 (6 nolu) ile 4,680 mg kg⁻¹ (5 nolu) arasında bulunan bakır konsantrasyonu, önceki dönemde olduğu gibi 1 yaşlı ibrelerde en yüksek (3,950 mg kg⁻¹), 3 yaşlı ibrelerde de en düşük (3,302 mg kg⁻¹) bulunmuştur. Ağaçların 1 yaşlı ibrelerinde Cu değerleri 3,001 (6 nolu) ile 5,102 mg kg⁻¹ (5 nolu), 2 yaşlılarında 2,895 (6 nolu) ile 4,500 mg kg⁻¹ (1 nolu) ve 3 yaşlılarında da 2,782 (1 nolu) ile 4,109 mg kg⁻¹ (9 nolu) arasında belirlenmiştir (Şekil 2 d).

4. Tartışma

İzmir ili Bergama ilçesinde bulunan Kozak yaylasında yer alan Karaveliler köyündeki deneme alanındaki 10 ağacın ibrelerinin ortalama besin maddesi değerleri incelendiğinde; birinci örnek döneminde azot % 0,935, fosfor % 0,133, potasyum % 0,631, kalsiyum % 0,341, magnezyum % 0,266, demir 77,921 mg kg⁻¹, bakır 3,942 mg kg⁻¹, çinko 37,227 mg kg⁻¹ ve mangan 48,190 mg kg⁻¹ bulunmuştur. İkinci dönem olan kasım ayında alınan örneklerde ise, N % 0,818, P % 0,100, K % 0,574, Ca % 0,404, Mg % 0,297, Fe 66,701 mg kg⁻¹, Cu 3,723 mg kg⁻¹, Zn 33,619 mg kg⁻¹, Mn 43,025 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Bu alandaki çam fıstığı ağaçlarının iğne yapraklarının içerdiği besin maddesi konsantrasyonları yaşlara göre dönemsel olarak karşılaştırıldığında, 1 yaşlılarda haziran ayında azot % 1,033, fosfor % 0,168, potasyum % 0,700, kalsiyum % 0,398, magnezyum % 0,286, demir 72,895 mg kg⁻¹, bakır 4,302 mg kg⁻¹, çinko 40,253 mg kg⁻¹ ve mangan 50,781 mg kg⁻¹ iken; kasım ayında değerler sırasıyla % 0,885, % 0,104, % 0,627, % 0,458, % 0,310, 63,990 mg kg⁻¹, 3,950 mg kg⁻¹, 35,640 mg kg⁻¹ ve 43,867 mg kg⁻¹ olmuştur. İlk dönem örneklerinde 2 yaşlı ibrelerdeki N % 0,922, P % 0,129, K % 0,642, Ca % 0,330, Mg % 0,283, Fe 82,240 mg kg⁻¹, Cu 3,915 mg kg⁻¹, Zn 37,870 mg kg⁻¹, Mn 49,874 mg kg⁻¹ bulunmuştur. İkinci dönemde bu değerler N % 0,787, P % 0,106, K % 0,544, Ca % 0,381, Mg % 0,296, Fe 69,272 mg kg⁻¹, Cu 3,623 mg kg⁻¹, Zn 33,660 mg kg⁻¹, Mn 43,015 mg kg⁻¹ değerine ulaşmıştır. Üç yaşlılarda ilk dönem, N % 0,849, P % 0,101, K % 0,549, Ca % 0,296, Mg % 0,229, Fe 78,629 mg kg⁻¹, Cu 3,608 mg kg⁻¹, Zn 33,557 mg kg⁻¹, Mn 43,916 mg kg⁻¹ iken, ikinci dönem N % 0,710, P % 0,081, K % 0,522, Ca % 0,336, Mg % 0,242, Fe 61,186 mg kg⁻¹, Cu 3,302 mg kg⁻¹, Zn 29,168 mg kg⁻¹, Mn 36,458 mg kg⁻¹ olmuştur. Çalışma alanlarındaki fıstık çamı (*Pinus pinea* L.) ağaçlarının besin maddesi içerikleri, yapılan az sayıdaki çalışmalarla karşılaştırıldığında, benzer sonuçlar olduğu gibi, farklı sonuçlar da bulunmaktadır. Kılıcı ve ark. (2000), ibrelerde doğal fıstık çamı alanlarında % 0,681-1,260, plantasyonlarda % 0,846-1,720 arasında azot belirlemişlerdir. P değeri doğal ve plantasyon alanlarında sırasıyla, 590-1600 mg kg⁻¹, ve 650-1320 mg kg⁻¹ arasında; K değeri 1860-7730 mg kg⁻¹ ve 2770-8350 mg kg⁻¹ arasında; Ca miktarını 1600-3600 mg kg⁻¹ ve 1400-3700 mg kg⁻¹ arasında; Mg miktarını da 1860-3010 mg kg⁻¹ ve 1840-3640 mg kg⁻¹ arasında tespit etmişlerdir. Mikro elementler ise, yine doğal alanlarda ve plantasyonlarda sırasıyla Fe miktarı 56-128 mg kg⁻¹ ve 90-186 mg kg⁻¹ arasında; Cu 1-7 mg kg⁻¹ ve eser-6 mg kg⁻¹ arasında; Zn 13-27 mg kg⁻¹ ve 18-32 arasında Mn ise, 31-230 mg kg⁻¹ ve eser-310 mg kg⁻¹ arasında saptanmıştır. Görüldüğü gibi, plantasyon fıstık çamı alanlarında, doğal alanlara göre besin maddesi miktarları genellikle biraz daha yüksek bulunmuştur. Bergama/Kozak havzasındaki Karaveliler Köyünde bulunan 25 yaşındaki fıstık çamı plantasyon alanında ortalama besin elementi miktarları N % 0,898, P 1390 mg kg⁻¹, K 6077 mg kg⁻¹, Ca 4749 mg kg⁻¹, Mg 1783 mg kg⁻¹, Fe 97,3 mg kg⁻¹, Cu 6,3 mg kg⁻¹, Zn 18,0 mg kg⁻¹ ve Mn 92,3 mg kg⁻¹ olarak rapor edilmiştir (Kılıcı ve ark., 2012). Bergmann (1992), *Pinus sylvestris* (Sarı çam) türü için uygun azot değerini % 1,40-1,70; fosfor değerini 1400-3000 mg kg⁻¹; potasyum değerini 4000-8000 mg kg⁻¹; kalsiyum değerini 2500-6000 mg kg⁻¹; magnezyum değerini 1000-2000 mg kg⁻¹; bakır değerini 4-10 mg kg⁻¹; çinko değerini 20-70 mg kg⁻¹; mangan değerini de 50-500 arasında vermektedir. İzmir / Bergama'da bulunan Karaveliler Köyü alanındaki ağaçlardan alınan kasım ayı örneklerinde haziran ayına göre kalsiyum ve magnezyum dışındaki diğer tüm besin elementlerinde azalma meydana

gelmiştir. Haziran ayı başında alınan ilk dönem örneklerinde mikro besin elementlerinden demir 2 yaşlı ibrelerde, 1 yaşlılara göre daha fazla bulunurken, 3 yaşlılarda azalma meydana gelmiştir. İbre yaşı arttıkça diğer bütün makro ve mikro besin elementlerinde düşüşler saptanmış, en düşük değerler 3 yaşlılarda bulunmuştur. İkinci dönemde, ibrelerin yaşlara göre besin maddesi miktarlarında, fosfor ve demirde 2 yaşlılarda yükseliş, ardından 3 yaşlı ibrelerde azalış görülürken, diğer besin elementlerinde yine yaş arttıkça azalma gerçekleşmiştir. Bütün örneklerde 3 yaşlı ibrelerde hareketli besin maddeleri olan N, P ve K konsantrasyonları, 1 yaşlılara göre daha düşük bulunmuştur. İğne yapraklı ağaçlarda iğne yaşı ile birlikte azot, fosfor ve potasyum konsantrasyonları azalır ve kalsiyum konsantrasyonu artar (Grigal et al., 1976; Kimmins, 1987). Çünkü yeni gelişim çağındaki ibrelerde, N, P ve K gibi metabolizma ile ilişkili besin maddeleri en yüksek düzeyde iken, ilerleyen dönemde seyreltici etkiler ve resorpsiyonun (yeniden taşınması) sonucu azalırlar. Bitkilerde fosfor, tohum ve meyvenin oluşması için esas besin olup, fazla miktarda bulunur. Bitkiler gereksinim duydukları fosforun tamamına yakın bölümünü gelişmelerinin ilk dönemlerinde alarak bünyelerinde biriktirirler, gelişmenin sonlarına doğru ise, tohum ya da meyveye taşınarak orada birikir (Kacar, 1977). Bu nedenle vejetasyon ilerledikçe yapraklarda azalma meydana gelir. Çalışmada bu durum tespit edilmiştir. İlkbahar ve yaz başında olgun ibrelerde, hareketli besin maddeleri olan N, P ve K konsantrasyonlarında meydana gelen azalma, sürgün ve ibrelerin uzamasına bağlanabilir. Diğer bir ifadeyle, muhtemelen bu elementler büyüyen sürgünlere ve ibrelere taşınmakta, bunun sonucunda da azalmalar meydana gelmektedir. İğne yaprakların yaşlanması sırasında, hareketli besin maddelerinin konsantrasyonlarındaki artış, yaşlananlardan yeniden yer değiştirme yanı sıra, topraktan daha fazla alınabilirlikle ilişkili olabilir. Sonbaharda, besin resorpsiyonu, depolanma amacıyla gerçekleşir. Chapin and Kedrowski (1983)'ye göre, yaprak dökmeyen bitkilerde kış boyunca karbon ve besinlerin ana depolanma yeri, gövdeden ziyade yapraklardır. Bu nedenle, sonbaharın sonlarında ibrelerdeki besin konsantrasyonları, depolanan besin maddelerinin miktarını temsil eder. Besin maddesi açısından bazı farklılıklar bulunmakla birlikte, Bergmann (1992)'nin *Pinus sylvestris* türü için önerdiği sınır değerleri ile karşılaştırıldığında, ağaçlarda, önemli bir besin elementi eksikliğine rastlanmamıştır. *Pinus pinea* türü için belirlenen sınır değerler bulunmadığı için *Pinus* cinsi içerisinde yer alan diğer önemli bir çam türü için mevcut olan sınır değerler ile karşılaştırma yapılarak Karaveliler köyündeki alanlarda seçilen ağaçlarda besin maddesi noksanlığı olmadığı sonucuna varılmıştır.

5. Sonuç

Akdeniz havzası başta olmak üzere, dünyada yetiştiriciliği yapılan bütün alanlarda fıstık çamı ağaçlarında sık sık karşılaşılan verim düşüklüğünün muhtemel nedenleri arasında yer alan besin maddesi noksanlıkları üzerine yapılan bu çalışma sonunda, incelenen alan olan İzmir-Bergama'da yer alan Kozak yaylası için bu hipotez geçerli olmamıştır. Ağaçlar bazında önemli makro ve mikro element içerikleri incelendiğinde, genel olarak sorun olmadığı belirlenmiştir. Ancak, yine de besin maddelerinin miktarları ile oranlarının verim ve kalitede önemli bir faktör olduğu hiçbir zaman göz ardı edilmemelidir.

Yazarların Katkı Beyanı

Her iki yazar da araştırmanın tasarımı, veri toplama, analiz, yorumlama ve makalenin yazım aşamalarına eşit düzeyde katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar olarak aramızda bu çalışmayı etkileyebilecek mali olan ya da olmayan herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma, Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenen 22926 numaralı proje kapsamında yürütülmüştür. Sağladığı değerli katkılar ve desteklerinden dolayı Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teşekkür ederiz. Bu makale ilk yazarın (Hajir Dawood Sulaiman JOBAN) yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Kaynaklar

- Akkemik, Ü., 2014. Türkiye'nin Doğal Egzotik Ağaç ve Çalıları. Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Anonim, 2025. Ege İhracatçılar Birliği, Çamfıstığı istatistiği, (<https://www.eib.org.tr/>), (Erişim tarihi: 01.08.2025)
- Anonymous, 2025. World Pine Nut Production, (<https://academia.nutfruit.org/>), (Erişim tarihi: 01.10.2025)
- Bergmann, W., 1992. Colour Atlas Nutritional Disorders of Plants. New York.
- Bilgin, S., 2008. Fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.)'nın tohum-fidan ilişkileri ve fidanlıkta fidan yetiştirme teknikleri. Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Boydak M., Çalışkan S., 2021. Ağaçlandırma. 2. Baskı, OGEMVAK.
- CABI, 2002. Pines of Silvicultural Importance, Compiled from the Forestry Compendium, CAB International.
- Chapin, F.S., Kedrowski, R.A., 1983. Seasonal changes in nitrogen and phosphorus fractions and autumn retranslocation in evergreen and deciduous taiga trees. *Ecology*, 64: 376–391.
- Coode, M.J.E., Cullen, J., 1965. *Pinus* L. In Davis, P.H. (ed.). *Flora of Turkey and East Aegean Islands*. Edinburgh University Press, Edinburgh, pp. 7275.
- Gezer, A., Aslan, S., 1980. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde İyi Gelişim Gösteren Bazı İğne Yapraklı Ağaç Türlerinin Seçimi Üzerine Araştırmalar, No:103. OAE Yayınları Teknik Bülten Serisi, Ankara.
- Grigal, D.F., Ohmann, L.F., Brander, R.B., 1976, Seasonal dynamics of tall shrubs in northeastern Minnesota: biomass and nutrient element changes. *Forest Science*. 22: 195–208.
- Joban, H.D.S., Hepaksoy, S., 2024. Aydın/Koçarlı'da fıstık çamı ağaçlarının bazı ibre özelliklerinin belirlenmesi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 29(1): 62-70.
- Kacar, B., İnal, A., 2010. Bitki analizleri Yayın No: 1241, Nobel Yayınları, Ankara.
- Kaçar, B., 1977. Bitki Besleme. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Ders Kitabı, Ankara.
- Kılıcı, M., Sayman, M., Akbin, G., 2000. Batı Anadolu'da Fıstık Çamı (*Pinus pinea* L.)'nın Gelişmesini Etkileyen Faktörler. Orman Bakanlığı Yayın No: 115, İzmir Orman Toprak Laboratuvar Müdürlüğü Yayın, İzmir.
- Kılıcı, M., Sayman, M., Akkaş, M.E., Bucak, C., Parlak, S., Boza, Z., 2012. Kozak Havzası Fıstık Çamı (*Pinus pinea* L.) Ormanlarında Kozalak Verimini Etkileyen Ekolojik Faktörler. Ege Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları Çeşitli Yayınlar Serisi No: 5. İzmir.

- Kimmins, J.P., 1987. Forest Ecology. Macmillan, New York.
- Ürgeç, S., Boydak, M., Eler, Ü., 1994. Antalya-Belek sahil kumulunda sahil çamı orijin denemesi ve sahil çamı ile fıstıkçamında büyüme ilişkileri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi Seri A*, (44): 1-15.
- Yılmaz, M., Tonguç, F., Bozali, N., 2010. Kahramanmaraş Önsen doğal fıstıkçamı ormanı üzerine genel bir değerlendirme. *III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi*, Artvin, 20-22 Mayıs, s.895-904.

EJONS

Uluslararası Matematik, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi
International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences

Research Article

e-ISSN: 2602 - 4136

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17953599>

Şanlıurfa'da İkinci Ürün Olarak Yetiştirilen Börülce (*Vigna sinensis* L.)'de Bitki Sıklığının Bazı Tarımsal Karakterlere Etkisinin Araştırılması

Mustafa Cemil BÜYÜKKILIÇ ¹, Habip ARTAN ^{*2}

¹ Harran Üniversitesi, Şanlıurfa Teknik Meslek Yüksekokulu, Şanlıurfa, Türkiye

² Harran Üniversitesi, Ceylanpınar Tarım Meslek Yüksekokulu, Şanlıurfa, Türkiye

Sorumlu Yazar Email: hartan@harran.edu.tr

Makale Tarihçesi

Geliş: 15.11.2025
Kabul: 12.12.2025

Anahtar Kelimeler

Börülce,
İkinci Ürün,
Bitki Sıklığı

Özet: Bu araştırma, Şanlıurfa koşullarında buğday hasadından sonra ekimi yapılacak börülcenin bitki sıklığının bazı tarımsal karakterlere etkisinin araştırılması amacıyla yapılmıştır. Araştırma 1994 yılı yaz sezonunda, Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri bölümü deneme alanında, tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekrarlamalı olarak kurulmuştur. Ekimde sıra arası 70 cm, sıra üzeri 5, 10 ve 15 cm olarak uygulanmıştır. Bitki sıklığının bitkide bakla sayısı ve baklada tane sayısında önemli ölçüde etkilediği, diğer karakterlere önemli bir etkisinin olmadığı saptanmıştır.

A Research of The Effects of Some Agricultural Characters of Plant Density on Cowpea Grown as Double Crop in Şanlıurfa

Article Info

Received: 15.11.2025
Accepted: 12.12.2025

Keywords

Cowpea,
Second Crop,
Plant Density

Abstract: This study was conducted in order to research of effects of plant density on some agricultural characters of cowpea, was sowed after wheat harvesting, in Şanlıurfa Experiment was made to randomized blocks with respect to experiment design as three replication at experiment field at the Field Crops Department of Agriculture Faculty of Harran University in 1994's summer season. Experiment was applied different row spacing and intra row that row spacing was selected 70 cm and intra row selected 5, 10, 15 cm respectively. It was determined that the plant density effected significantly.

1. Giriş

Tarımsal ürünlerdeki artışın, dünya nüfus artışı karşısında yetersiz kalışı, insanların beslenme sorununu gündeme getirmiştir. Nüfus artışına paralel olarak hayvan sayısı ve yem ihtiyacının artışına karşın, hayvansal verimlerin düşük olduğu, bunun yetersiz beslenme koşullarından ileri geldiği bilinen bir gerçektir. Bir açlık tehlikesinin baş göstermesi için yem üretimini de kapsayan bitkisel üretimin artırılması gerekmektedir (Okant, 1992).

Bitkisel üretimin artırılması ürünün kalitesinin yükseltilmesi, uygun bir gübreleme yapılmasına, kültürel tedbirlerin zamanında alınması ve dekara atılacak tohum miktarının saptanmasına bağlıdır. Makineli tarımda ekim, bakım ve hasat gibi tarımsal işlemlerin başarılı olması uygun bir bitki sıklığının seçilmesi ile mümkündür. Dolayısıyla bitkisel üretimin artırılmasında bitki sıklığının önemli bir yeri vardır.

Ülkemizde tahıl ve endüstri bitkilerinin üretimi artarken, toprağı ıslah edebilecek, nadas alanlarını daraltabilecek baklagil yem bitkilerinin tarım arazileri içindeki ekim alanı çok azdır. Oysa, baklagil yem bitkilerinden elde edilen verim dünya ortalama verimlerinden yüksektir. Bu da ülkemiz ekolojik koşullarında baklagil yem bitkilerinin üretimine elverişli olduğunu göstermektedir.

Börülce (*Vigna sinensis* (L.) yeşil ve kuru dane olarak insan, kuru ot, yeşil yem, dane yem, silaj ve mera yemi olarak hayvan beslenmesinde kullanılan, tohumlarında % 23-31 ham protein içeren, tek yıllık sıcak iklim bitkisidir. Yüksek sıcaklığa ve kurak periyotlara dayanıklıdır. Latin Amerika ülkelerinde, Güney Dogu Asya'da başta Nijerya, Nijer, Uganda ve Senegal olmak üzere çeşitli Afrika ülkelerinde börülce tarımı oldukça yaygındır (Gençkan, 1983).

Börülcenin ekim alanı ve üretiminin düşük olması, bir yandan bu bitkinin yurdumuzun her tarafında değil, belirli yörelerde yetiştirilmesi (Ekim alanlarının % 80'ni Çanakkale, Denizli, İsparta, İçel, İzmir, Manisa ve Uşak illerinde) diğer yandan yurdumuzda bugüne kadar börülce üzerine detaylı bir çalışma yapılmamış olmasındandır (Ceylan, 1980). Ülkemizin diğer bölgelerinde ve ilimizde sadece aile ihtiyacını gidermek için çok az miktarda yetiştirilmektedir.

Harran Ovası'nda sulu tarıma açılacak alanlarda börülcenin ekim nöbetine girmesi, bölgenin yem bitkileri ihtiyacını karşılanması, toprak yapısının düzeltilmesi, su ve toprak muhafazasının temini, toprak verimliliğinin artırılması, toprak yorgunluğunun giderilmesi, yabancı ot, hastalık ve zararlılarla mücadelede etkinlik sağlanması gibi hususlarda oldukça önem kazanacaktır.

Bölgemizde bugüne kadar üzerinde çalışma olarak ele alınmamış olan börülcede, bitki sıklığının bazı tarımsal karekterlere etkisinin araştırılması ve en uygun bitki sıklığının bölge çiftçilerine tavsiye edilmesi bu araştırmanın esas macını oluşturmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

Deneme materyali olarak Şanlıurfa'nın, Birecik ilçesinden temin edilen, tane rengi kirli beyaz, göbek başı etrafında siyah renkli bir halka bulunan, tane şekli silindirik ve irice olan, 1000 tane ağırlığı 200-275 g arasında değişen yerel börülce çeşidi (*Vigna sinensis* L.) kullanılmıştır (Eser, 1982).

Araştırma yeri topraklarının ana materyali aluvyal olup, kırmızımsı kahverengi derin toprak özelliğindedir. Araştırma yeri toprakları ağır bünyeli, tuzlulukları zararsız, hafif alkali reaksiyonda, kireçli, organik madde yönünden fakir, fosforca yetersiz, potasyumca çok zengin durumdadır (Ding ve ark., 1986). Bu topraklara ilişkin bazı fiziksel ve kimyasal özellikler, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü laboratuvarında analiz edilerek sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Deneme Yerine Ait Toprakların Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Horizon	Toprak Derinliği (cm)	Kil	Kum	Silt	Su ile Doymuş Toprakta pH	Kireç (CaCo ₃) (%)	Fosfor (P ₂ O ₅) (Kg/da)	Potasyum (K ₂ O) (kg/da)	Organik Madde (%)
A	0-30	57	11	31	7.03	27.79	6.40	30.05	0.97

Şanlıurfa, Güneydoğu Anadolu iklim bölgesine dahil olmakla beraber, Akdeniz ikliminin etkisi altındadır. Yazları kurak ve sıcak, kışları ise ılık bir iklim özelliği göstermektedir. Güneyden kuzeye, batıdan doğuya gittikçe yağış miktarı artmaktadır. Bölgenin güneyindeki çöl ikliminin etkisi altında olması güneydoğu torosların kuzeyden gelen serin hava kitlelerinin bölgeye girmesine engel olması yaz aylarının çok sıcak geçmesine neden olmaktadır. Şanlıurfa ili, 1994 araştırma yılına ait iklim değerleri Tablo 2’de görülmektedir.

Tablo 2. Şanlıurfa İli Araştırma Yerine Ait Bazı Ortalama İklim Değerleri

AYLAR	Max Sıcaklık (°C)	Min Sıcaklık (°C)	Ort. Sıcaklık (°C)	Yağış (mm)	Rüzgar Hızı m/s	Nispi Nem (%)	Yağış G.Say. (Gün)	Güneş Süresi (saat)	Toprak Sıcaklığı (20 cm)
Haziran	37.5	17.8	28.4	-	2.3	33.7	-	12.1	29.7
Temmuz	41.1	21.1	31.8	-	2.3	36.8	-	11.9	31.6
Ağustos	42.9	19.0	31.4	-	2.0	32.6	-	11.4	31.3
Eylül	40.2	17.5	29.3	6.4	1.2	34.2	4	8.5	28.8
Ekim	34.2	13.1	21.0	45.8	1.0	59.9	8	7.3	22.1

* MGM, (1994)

Harran Ovası sulu koşullarında ikinci ürün olarak yetiştirilen börtölcede en uygun sıra üzeri mesafesini saptamak amacı ile yapılan bu araştırma Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Araştırma alanında, tesadüf parselleri deneme desenine göre, 1994 yılında, 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur.

Araştırmada, sıra arası mesafesi 70 cm, sıra üzeri mesafeleri ise 5 cm, 10 cm ve 15 cm olarak uygulanmıştır. Her bir parsel 5 m uzunluğunda 6 sıradan oluşmuştur. Hasat alanı, parsellerdeki kenar etkisini gidermek için parsel başlarından 0,5 m, parsel kenarlarından birer sıra atlayarak 4 m x 2.8 m = 11.2 m² olarak alınmıştır. Bitki sıklığı ve dekarda bitki sayısı Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Bitki Sıklığı ve Dekarda Bitki Sayısı

Uygulama	Bitki Sıklığı		Dekarda Bitki Sayısı (Bitki/da)
	Sıra Arası	Sıra Üzeri	
Uygulama-1	70	5	28572
Uygulama-2	70	10	14286
Uygulama-3	70	15	9523

Araştırma yeri, buğday hasadından sonra anız uzaklaştırılarak tarla pullukla sürülmüştür. Daha sonra disk-harrow çekilerek, tapanla düzeltilmiştir. Tohum yatağının yeterli derecede nemli olması ve elverişli bir çimlenmeyi sağlamak için, deneme alanına ekimden bir hafta önce su verilerek tohum yatağında yeterli nem sağlanmıştır.

Ekimle birlikte bir defaya mahsus olmak üzere 6 kg/da saf N, 6 kg/da saf P₂O₅ gelecek şekilde 20-20-0 kompoze gübre uygulanmıştır. Haziran ayının 3. haftasında tohum yatağı hazırlanarak ekim elle yapılmıştır. Çıkıştan sonra seyreltme yapıp istenilen bitki sıklığı sağlanmıştır. Yetiştirme süresince su verilerek, kaymak tabakasının kırılması ve yabancı ot

mücadelesi için çapa yapılmış ve diğer kültürel işlemler yürütülmüştür. Hasat, baklalar kuruyup sarıya dönüştüğünde elle yapılmıştır.

Araştırmada; bitki boyu, bitkide bakla sayısı, baklada tane sayısı, bin tane ağırlığı ile tane verimi incelenmiştir. Araştırma sonunda elde edilen veriler; MSTATC istatistik paket programı yardımıyla varyans analizine tabi tutulmuş, ortalamalar arasındaki farklar L.S.D. (% 5) 'e göre bulunmuştur.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Bitki boyu (cm)

Üç farklı bitki sıklığına göre, bürölcede bitki boyuna ait ortalamalar ve oluşan gruplar Tablo 4'te görülmektedir. Bitki boyu yönünden uygulamalar arasında istatistiki olarak önemli bir fark görülmemiştir. Bitki boyu 116.0-122.1 cm arasında değişim göstermiştir. 70x10 cm bitki sıklığında diğer uygulamalara göre daha düşük bitki boyu değerleri tesbit edilmiştir. İstatistiki olarak Bitki boyunun, bitki sıklığından etkilenmediği şeklindeki bulgularımız, Arıoğlu ve İşler (1987), Ceylan ve Sepetoğlu (1980) ve Gülümser ve ark. (1989)'nın bulgularıyla uyum içerisinde.

Tablo 4. Bitki Boyu Ortalama Değerleri ile Çoklu Karşılaştırma Testlerine Ait Oluşan Gruplar*

Uygulamalar	Bitki Sıklığı (cm)	Bitki Boyu (cm)	Oluşan Gruplar
Uygulama-1	70x5	122.00	
Uygulama-2	70x10	116.00	
Uygulama-3	70x15	122.10	
Ortalama		120.03	
D.K. (%)		10.12	
Lsd (%5)	Önemli Değil (bitki sıklığı)		

*) Aynı sütunda benzer harf grubu ile belirtilen ortalamalar, Lsd (%5) değerine göre farklı değildir.

3.2. Bitkide bakla sayısı

Tablo 5'te bitkide bakla sayısına ait, ortalamalar ve oluşan gruplar izlenmektedir. Buna göre uygulamalar arasında farkın önemli olduğu bulunmuştur. Bitkide bakla sayısı 18.17-24.97 adet arasında değişim göstermiştir. 70x5 sıklık uygulamasında en yüksek, 70x10 sıklık uygulamastnda da en düşük bakla sayısı tespit edilmiştir. Bulgularımız Ceylan ve Sepetoglu (1980), Ceylan ve Sepetoglu (1983), Gülümser ve ark. (1989)'nın bulguları ile uyum içerisinde.

Tablo 5. Bitkide Bakla Sayısı Ortalama Değerleri ile Çoklu Karşılaştırma Testlerine Ait Oluşan Gruplar*

Uygulamalar	Bitki Sıklığı (cm)	Bakla Sayısı	Oluşan Gruplar
Uygulama-1	70x5	24.97	A
Uygulama-2	70x10	18.17	A
Uygulama-3	70x15	20.20	AB
Ortalama		21.11	
D.K. (%)		11.67	
Lsd (%5)	5.59 (bitki sıklığı)		

*) Aynı sütunda benzer harf grubu ile belirtilen ortalamalar, LSD (%5) değerine göre farklı değildir.

3.3. Baklada tane sayısı

Baklada tane sayısına ait, ortalamalar ve oluşan gruplar Tablo 6'da görülmektedir. Uygulamalar arasında istatistiki olarak önemli bir fark görülmüştür. Baklada tane sayısı 4.70-5.63 adet arasında değişim göstermiştir. Baklada tane sayısı değerleri, 70x5 cm bitki sıklığında yüksek, 70x10 bitki sıklığında ise daha düşük olarak tespit edilmiştir. Yüksek sıcaklığın fotosentez ve solunum dengesini bozarak büyümeyi yavaşlattığını bildiren Eser (1986)'nın

bulguları araştırmadaki bulgularımızı destekler niteliktedir. Elde ettiğimiz bulgular, Baklada tane sayısının 3-15 adet/bakla arasında değişebileceğini bildiren Ceylan ve Sepetoğlu (1980), Ceylan ve Sepetoglu (1983), Gülümser ve Ark. (1989), Sepetoğlu (1994) ile uyum içerisindedir.

Tablo 6. Baklada Tane Sayısı Ortalama Değerleri ile Çoklu Karşılaştırma Testlerine Ait Oluşan Gruplar*

Uygulamalar	Bitki Sıklığı (cm)	Baklada Tane Sayısı	Oluşan Gruplar
Uygulama-1	70x5	5.63	A
Uygulama-2	70x10	4.70	B
Uygulama-3	70x15	4.73	B
Ortalama		5.02	
D.K. (%) 7.57			
Lsd (%5)	0.86(bitki sıklığı)		

*) Aynı sütunda benzer harf grubu ile belirtilen ortalamalar, Lsd (%5) değerine göre farklı değildir.

3.4. Bin tane ağırlığı (g)

Bin tane ağırlığına ait ortalamalar ve oluşan gruplar Tablo 7’de görülmektedir. Uygulamalar arasında istatistiki olarak önemli bir fark görülmemiştir. Bin tane ağırlığı 223.30-232.90 g. arasında değişim göstermiştir. Bin tane ağırlığının istatistiki olarak 3 farklı bitki sıklığı uygulamalarından etkilenmediğini görebiliriz. Eser (1981), Karnıkara börülce çeşidiyle yaptığı çalışmada; 1000 tane ağırlığının 200-275 g. arasında değişim gösterdiğini bildirmektedir. Ayrıca bulgularımız, Akçin (1988), Ceylan ve Sepetoğlu (1980), Ceylan ve Sepetoğlu (1983), Clarke ve Skeete (1982), Gençkan (1983), Sağlamtimur ve Ark. (1990) ve Sepetoğlu (1994)’nın bulguları ile uyum içerisindedir.

Tablo 7. Bin Tane Ağırlığı Ortalama Değerleri ile Çoklu Karşılaştırma Testlerine Ait Oluşan Gruplar*

Uygulamalar	Bitki Sıklığı (cm)	Bin Tane ağırlığı (gr)	Oluşan Gruplar
Uygulama-1	70x5	223.30	
Uygulama-2	70x10	225.70	
Uygulama-3	70x15	232.90	
Ortalama		227.30	
D.K. (%) 3.40			
Lsd (%5)	Önemli Değil (bitki sıklığı)		

*) Aynı sütunda benzer harf grubu ile belirtilen ortalamalar, Lsd (%5) değerine göre farklı değildir.

3.5. Tane verimi (kg/da)

Tane verimine ait ortalamalar ve oluşan gruplar Tablo 8’de görülmektedir. Uygulamalar arasında istatistiki olarak önemli bit fark çıkmamıştır. Tane verimi 146.2-205.4 kg/da arasında değişim göstermiştir. 70x15 sıklık uygulamasında diğer uygulamalara göre daha yüksek tane verimi elde edilmiştir. Uygulamalar arasında istatistiki bit fark olmasada 3. uygulamadaki bu artış bol ışığın tane ağırlığını artırabileceğini bildiren Eser (1986) ile uyumludur. Tane verimi ile ilgili yapılan çalışmada verimin 100-250 kg/da arasında olduğunu bildiren Ceylan ve Sepetoglu (1983), ayrıca Aguirre ve Palencia (1967), Angne ve ark. (1993), Anonymous (1985), Ceylan ve Sepetoglu (1980), Clarke ve Skeets (1982), Gençkan (1983), Gülümser ve ark. (1989), Herbert ve Baggerman (1983), Porto ve Ark. (1989), Rachis (1974), Sağlamtimur ve ark. (1990)’nın bulguları araştırmamızdaki bulgularımızı desteklemektedir.

Tablo 8. Tane Verimi Ortalama Değerleri ile Çoklu Karşılaştırma Testlerine Ait Oluşan Gruplar*

Uygulamalar	Bitki Sıklığı (cm)	Tane Verimi (kg/da)	Oluşan Gruplar
Uygulama-1	70x5	146.20	
Uygulama-2	70x10	174.10	
Uygulama-3	70x15	205.40	
Ortalama		175.23	
D.K. (%) 19.27			
Lsd (%5)	Önemli Değil (bitki sıklığı)		

*) Aynı sütunda benzer harf grubu ile belirtilen ortalamalar, Lsd (%5) değerine göre farklı değildir.

4. Sonuç

Yapmış olduğumuz araştırmada bürölcede, en yüksek bitki boyu; 122.10 cm ile sıra üzeri 15 cm mesafede, en düşük bitki boyu 116.00 cm ile sıra üzeri 10 cm'lik bitki sıklığından elde edilmiş olup sıra üzeri mesafenin bitki boyunda istatistiki olarak önemli bir değişim izlenmemiştir.

Bitkide bakla sayısı; en düşük 18.17 ad/bitki ile sıra üzeri 70x10 cm uygulamasında, en yüksek 24.97 ile 70x5 uygulamasında elde edildiği, bitki sıklığı bakımından uygulamalar arasında istatistiki olarak önemli bir farkın olduğu izlenmiştir.

Baklada tane sayısı; en yüksek 5.63 ad/bakla ile 70x5 cm sıklıkta, en düşük 4.70 ad/bakla ile 70x5 cm. mesafede bulunduğu, baklada tane sayısı bakımından farklı bitki sıklığında uygulamalar arasında istatistiki olarak önemli bir farkın olduğu tespit edilmiştir.

Bin tane ağırlığı; en yüksek 232.90 gr 70x5 cm uygulamasında, en düşük 223.30 g 70x5 uygulamasında görülmüştür. Bin tane ağırlığı bakımından farklı bitki sıklığında uygulamalar arasında istatistiki olarak önemli bir farkın olmadığı izlenmiştir.

Tane verimi, en yüksek 205.4 kg/da ile sıra üzeri 15 cm bitki sıklığında, en düşük ise 146.2 kg/da ile sıra üzeri 5 cm bitki sıklığında elde edilmiştir. Tane verimi bakımından farklı bitki sıklığında uygulamalar arasında istatistiki olarak önemli bir farkın olmadığı izlenmiştir.

Sonuç olarak; 3 farklı sıra üzeri uygulamalarında (5,10,15, cm) bitki boyu, bin tane ağırlığı ve tane verimi parametrelerinde istatistiki olarak bir değişim izlenmediği, ancak 3 farklı sıra üzeri uygulamalarında (5,10,15 cm); bitkide bakla sayısı ve baklada tane sayısı parametrelerinde istatistiki olarak kayda değer bir artış izlenmiştir.

Yazarların Katkı Beyanı

Yazarlar makaleye eşit katkıda bulunduklarını, makalenin yayına hazır son halini gördüklerini/okuduklarını ve onayladıklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Tüm yazarlar, bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Açıklama

Bu araştırmada kullanılan veriler, ilk yazarın yüksek lisans tezi olup, 55440 nolu Ulusal tez merkezinden alınmıştır. Ayrıca makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Kaynaklar

Aguirre, E., Palencia, O., 1967. Evaluation of 35 varieties and selections of cowpeas under the conditions of sanana grande experimental stations. *Agronomia*, 2(6): 27-42.

- Angne, M., Patil, R., Mhadkar, U., Khanvilkar, S., 1983. Response of cowpea to nitrogen, phosphorus and stand geometry. *Journal of Maharashtra Agricultural Universities*, 18(1): 121-122.
- Akçın, A., 1988. Yemeklik dane baklagiller. Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 8, Konya.
- Anonymous, 1985. IITA Annual Report and research highligns. Baden, Nigeria.
- Anonymous, 1994. Aylık meteoroloji bültenleri. Başbakanlık Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Arıoğlu, H.H., İslar, N., 1987. Çukurova bölgesinde birinci ürün soya (*Glycine max* L.) merr. yetiştiriciliğinde farklı sıra arası uzaklığının verim ve bazı bitkisel özelliklere etkisi üzerinde bir araştırma. *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2(3): 82-95.
- Ceylan, A., Sepetoğlu, H., 1980. Farklı kökenli börülcelerin (*vigna sinensis* endi) bornova ekolojik koşullarında bazı agronomik özelliklerinin saptanması üzerine araştırma. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. No: 387. Bornova/İzmir.
- Ceylan, A., Sepetoğlu, H., 1983. Börülcede (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) çeşit-ekim zamanı üzerinde araştırma. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(1): 25-40.
- Clarke, B., Skeete, S., 1982. Response of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.)), cultivar arauca, to planting density. 18 th Annual Meeting, Carribean Food Crops Society.
- Eser, D., 1981. Yemeklik Baklagiller. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, No: 59, Ankara.
- Gençkan, S., 1983. Yem bitkileri tarımı. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. No: 67. Bornova/İzmir.
- Gülümser, A., 1986. Baklagillerin ekim nöbetindeki yeri ve önemi. *19 Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 1(1): 99-110.
- Herbert, S., Baggerman, F., 1983. Cowpea tesponse to row width, density and irrigation, *Agronomy Journal*, 75: 982-986.
- Okant, M., 1992. Çukurova koşullarında mısır (*Zea mays* L.) ve soya (*Glycine max* (L.) Merrill)'nin birinci ve ikinci ürün olarak birlikte yetiştirilmesinin verim ve bazı tarımsal karakterlere etkisi üzerinde araştırmalar. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Porto, E.R., Silva, A.D.S., Brito, L.D.L., Monteiro, M.A.R., 1989. " In situ" rain-water harvesting. II. Stand density in cowpea.
- Rachle, K.O., 1974. Cowpeas. Guide for Field Crops in The Tropics and The Subtropics. Technology Bureau Agency for International Development Washington D.C.
- Sağlamtimur, T., Tansı, V., Baytekin, H., 1990. Yem bitkileri. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, No:74, Adana.
- Sepetoğlu, H., 1994. Yemeklik dane baklagiller. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 24, Bornova/ İzmir.

EJONS

Uluslararası Matematik, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi
International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences

Research Article e-ISSN: 2602 - 4136 <https://doi.org/10.5281/zenodo.17953929>

Atık Opal Mineralinin Seramik Sırına Etkilerinin Araştırılması

Pınar BİÇİCİ ÇETİNKAYA ^{*1}, Hikmet Serdar MUTLU ¹, Merve DİKİCİ ¹

¹ İnönü Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Seramik Bölümü, Malatya, Türkiye
Sorumlu Yazar Email: pinar.bicici@inonu.edu.tr

Makale Tarihçesi

Geliş: 15.11.2025
Kabul: 15.12.2025

Anahtar Kelimeler

Seramik,
Sır,
Bentonit,
Opal,
Atık

Özet: Bu çalışmada, Ordu-Ünye bentonit atığı olarak elde edilen opal mineralinin seramik sırına etkisi araştırılmıştır. Bentonit, yüksek oranda su emme ve plastiklik özelliği nedeniyle seramik bünye ve sır üretiminde kullanılmaktadır. Bentonit üretimi sırasında atık olarak ortaya çıkan opal minerali yüksek oranda silisyum içermektedir. Araştırma kapsamında, 1050°C sıcaklık için tasarlanan farklı sır reçetelerine artan oranlarda atık opal minerali ilave edilmiştir. Elde edilen sonuçlar yüzey, teknik ve estetik olarak değerlendirilmiştir. Özellikle sır reçetelerinde artan ergitici oranına göre opal mineralinin seramik sırlarına olumlu etkilerinin olduğu görülmüştür. Tüm bu veriler değerlendirildiğinde atık opal mineralinin seramik sırlarına üstün teknik ve estetik özellikler kazandırdığı görülmüştür. Bu çalışmada atık opal mineralinin çevreye olan zararının azaltılmasına katkı sağlaması amaçlanmıştır.

Investigation of the Effects of Waste Opal Mineral on Ceramic Glaze

Article Info

Received: 15.11.2025
Accepted: 15.12.2025

Keywords

Ceramic,
Glaze,
Bentonite,
Opal,
Waste

Abstract: In this study, the effect of opal mineral obtained as Ordu-Ünye bentonite waste on ceramic glaze was investigated. Bentonite is used in the production of ceramic bodies and glazes due to its high water absorption and plasticity properties. The opal mineral produced as waste during bentonite production contains high amounts of silicon. As part of the research, waste opal mineral was added in increasing proportions to different glaze recipes designed for a temperature of 1050°C. The results were evaluated in terms of surface, technical, and aesthetics. It was observed that opal mineral had positive effects on ceramic glazes, particularly as the flux ratio in the glaze recipes increased. When all these data were evaluated, it was observed that waste opal mineral imparts superior technical and aesthetic properties to ceramic glazes. This study aimed to contribute to reducing the environmental impact of waste opal mineral.

1. Giriş

Seramiği keşfeden insan, zamanla onu geliştirerek kullanım alanlarını genişletmiştir. Her geçen gün seramiğe yeni özellikler kazandırılmış, işlevsel ve yaygın kullanılan materyal haline gelmiştir. Seramik; dayanıklı, yanmaz, hijyen, güvenli ve temizliği kolay ve estetik görünümde bir malzemedir. Genel olarak seramik, metal ve metal olmayan minerallerin tasarlanan oranlarda harmanlanıp öğütülmesi ve şekillendirilerek yüksek sıcaklıkta pişirilmesiyle oluşan yarı camı yapılarıdır (Çakıcı, 2014). Seramik ve sır üretiminde kullanılan kil ve kaolin hem plastiklik hem de pişirme sonrası gövde oluşumunu sağlayan hammaddelerdir. Bu mineraller, granit gibi feldspatik kayaçların doğa koşullarında fiziksel ve kimyasal bozulmaları sonucunda oluşmuştur. Montmorillonit grubu olan kil mineralleri genellikle bentonit olarak bulunur. Bentonit, alüminyum ve magnezyum açısından zengin volkanik kül, tuf ve lavların kimyasal ayrışmasıyla oluşan, çok küçük kristalli, koloidal silis yapılı, yumuşak, gözenekli ve kolay şekil alabilen bir kil türüdür (Toprakezer, 2009). Bentonit üretiminde atık malzeme olarak bilinen opal minerali ise, çok düşük sıcaklıktaki deniz tabanında ve 100 °C derecenin üzerindeki hidrotermal yataklarda oluşmakta, zaman ve sıcaklık etkisiyle daha kristalli kuvarslara dönüşebilmektedir. Oluşumunda su oranı yaklaşık %10 olan düzensiz kristobalit ve tridimitten oluşan silikanın sulu bir formu olduğu düşünülmektedir (Zucca, 2013).

Seramik sıırı ise, seramik ürünlerin yüzeyini kaplayan ve reçetesine bağlı olarak yüksek sıcaklıklarda eriyen, ince ve camı bir katmandır. Başka bir deyişle sır, farklı seramik ve sır hammaddelerinin belli oranlarda karıştırılması, su ile öğütülmesi ve seramik yüzeye uygulanarak pişirilmesi ile yüzeyini kaplayan camı bir tabakadır (MEGEP, 2007). Bentonit, volkanik kül veya tufün kimyasal ayrışmasıyla oluşan, montmorillonit içeren küçük kristalli, yumuşak ve gözenekli bir kildir. Bu grup killer, volkanik kökenli kayaçlarda bulunan camı malzemelerin hidrotermal etkilerle değişime uğramaları sonucunda oluşur. Yan ürün olarak zeolit, silisyumdioksit ve eriyik halinde metal iyonları ortaya çıkmaktadır. Bentonitler kökeni olan kayacın bileşimine göre sodyum, kalsiyum ve potasyum montmorillonitler halinde oluşmaktadır. Suda şişme özelliğine sahip olan bentonitler içerdikleri sodyum ve kalsiyum iyonlarına göre; sodyum bentonit, karışık bentonit (sodyum- kalsiyum) ve kalsiyum bentonit olmak üzere üç ana gruba ayrılmaktadır (Ertürk, 2006). Na-bentonitler bünyeler 1-15 kat su emebilir ve koloidal özelliği ile geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Su şişme özelliği olmayan Ca-bentonitlerin tabakaları arasında değişebilen iyonlarda kalsiyum bulunmaktadır (Bol, 1986). Genelde bentonitler 950-1100 °C sıcaklıkları arasında sinterleşir ve daha üzeri sıcaklıklarda ergime görülürken, bentonitin kimyasal ve mineralojik yapısı yanında tüm fizikokimyasal özellikleri de değişmektedir (O'driscoll, 1992). Bentonitlerin kullanım alanlarının belirlenmesinde kimyasal bileşimlerinden çok fiziksel özellikleri önem taşımaktadır. Bentonit su ile karıştırıldığında koloidal özellik gösterir. Su ve bazı organik ortamlarda hacimce şişerek ve yüksek plastik özelliğe sahip olması nedeniyle birçok kullanım alanına sahiptir (Chimeddorj, 2007). Başlıca kullanım alanlarını; sondaj ve döküm sanayi, demir tozlarının peletlenmesi, inşaat sektörü (temel, baraj ve sıvı sızdırmazlığı), hayvan yemi sanayi, gübre yapımı ve toprak ıslahı, yemeklik sıvı yağların ağartılması, şarap ve meyve sularının berraklaştırılması, ilaç, kâğıt ve lastik sanayi, çimento ve seramik sanayi, kedi kumu üretimi, petrol rafinasyonu, atık suların temizlenmesi, boya sanayi ve yangın söndürücü üretimleri olarak sıralanabilir. Çalışmada kullanılan opal minerali Bentaş Bentonit Fabrikasından temin edilmiştir. Fabrika bu minerali, farklı element yapısına sahip bentonitlerin oluşturduğu çeşitli stok alanlarından tesise getirerek üretmektedir. Opal genellikle volkanik bölgelerde hidrotermal sular ve gayzerlerden oluşmaktadır. Ayrıca kayaçların çatlak ve boşluklarında solüsyon olarak da ortaya çıkan opalin yaygın olarak bulunması, düşük sıcaklıklarda oluşmasından kaynaklıdır. Opal minerali doğal yüzeylenmiş kristal düzeninden ziyade amorf silika yığınları veya küreleri şeklinde bulunmaktadır.

Çalışmada kullanılan opal minerali Bentaş Bentonit Fabrikasından temin edilmiştir. Fabrika bu minerali, farklı element yapısına sahip bentonitlerin oluşturduğu çeşitli stok alanlarından tesise getirerek üretmektedir. Opal genellikle volkanik bölgelerde hidrotermal sular ve gayzerlerden oluşmaktadır. Solisyon olarak kayaların çatlak ve boşluklarında da yaygın olarak bulunur. Bunun nedeni opalin düşük sıcaklıklarda oluşmasından kaynaklıdır. Opal minerali doğal yüzeylenmiş kristal düzeninden ziyade amorf silika yığınları veya küreleri şeklinde bulunmaktadır. Opal, renk oyunu gösteren ve bileşimi sulu silisyum dioksit olan önemli süs taşlarından birisidir. Ancak opaller renksiz, beyaz, sarı, turuncu, kırmızı, mor, mavi, yeşil, gri, kahverengi ve siyah renklerde görülebilirler. Fiziksel özelliklerine opalin 99 çeşidi bulunmaktadır, Ayrıca değerli olma, doğal ve yapay olma özelliklerine göre de sınıflandırılmaktadır. Bu araştırmanın amacı, bentonit üretiminde atık malzeme olan opal mineralinin seramik sırlarında değerlendirilmesi ve atık malzeme ile ilgili deneyimsel bilgi edinmektir. Aynı zamanda atık malzemelerin bir çevre sorununa dönüşen tehlikelerine karşı farkındalık yaratmak ve geri dönüşüm durumuna dikkat çekmek istenmiştir. Bu çalışmada kuramsal ve uygulamalı yöntemler birlikte kullanılmıştır. Kuramsal olarak literatür taraması yapılmış; seramikte sır teknolojisi, kil mineralleri, bentonit ve atık opal minerali üzerine bilimsel kaynaklar incelenmiştir. Ayrıca, seramik sırında atık malzeme kullanımı yapılan çalışmalar araştırılmıştır. Mimarlık alanında atıkların geri dönüşümü ile oluşturulan projeler incelendiğinde konut ölçeğinden, kentsel ölçekte kamusal mekânların oluşturulmasına kadar çeşitlilik gösterdiği görülmektedir. (Batar ve ark., 2009) atık bor, atık kağıt ve Perlit katkılı sıva malzemesi üretmiştir. Endüstriyel atık malzemelerin seramik ürünlerde geri dönüştürülmesi/yeniden kullanılması, ekonomik ve çevresel etkileri nedeniyle son yıllarda trend olan bir araştırma konusu olmuştur. (Çakır ve ark., 2023) üretiminde ortaya çıkan atık demir oksidi Aventurin sırlarda kullanılmasını araştırmıştır. Uygulama aşamasında ise, atık opal minerali farklı sır reçetelerine belirli oranlarda eklenerek harmanlanmış ve test karo yüzeylerine uygulanmıştır. Denemeler 1050°C’de elektrikli kamara fırınında pişirilmiştir. Sırın yüzey oluşumları teknik ve Şekil açısından incelenmiş ve sonuçlar atık opal mineralinin sır içindeki etkileri değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında, Ordu-Ünye bölgesindeki bentonit atığı olan opal minerali, sır reçetelerine artan oranlarda eklenmiş ve bu sır yüzeylerinde farklı etkileri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Sır reçetelerinde kullanılan Ordu-Ünye bölgesindeki bentonit ve atığı olan opal minerali ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmada kullanılan opal minerali Bentaş Bentonit Fabrikasından temin edilmiştir. Fabrika bu minerali, farklı element yapısına sahip bentonitlerin oluşturduğu çeşitli stok alanlarından tesise getirerek üretmektedir. Opal genellikle volkanik bölgelerde hidrotermal sular ve gayzerlerden oluşmaktadır. Ayrıca kayaların çatlak ve boşluklarında solüsyon olarak da ortaya çıkan opalin yaygın olarak bulunması, düşük sıcaklıklarda oluşmasından kaynaklıdır. Opal minerali doğal yüzeylenmiş kristal düzeninden ziyade amorf silika yığınları veya küreleri şeklinde bulunmaktadır. Opal, renk oyunu gösteren ve bileşimi sulu silisyum dioksit olan önemli süs taşlarından birisidir. Ancak bazı opaller de renksiz, beyaz, sarı, turuncu, kırmızı, mor, mavi, yeşil, gri, kahverengi ve siyah renklerde görülebilirler. Fiziksel özelliklerine opalin 99 çeşidi bulunmaktadır, Ayrıca değerli olma, doğal ve yapay olma özelliklerine göre de sınıflandırılmaktadır.

2.1. Araştırmada tasarlanan sır reçetelerinde kullanılan hammaddeler

- Sülyen (Pb_3O_4): Seramik sırlarında en çok kullanılan hammaddelerden biri olan sülyen, 880 °C’de eriyen kurşun bileşiğidir. Silikat karışımının içinde çok iyi ergitici görevi üstlenen kurşun oksit (PbO) sıırı yumuşatarak, esneklik kazandırır ve renk veren oksitler için de çok iyi

bir çözücüdür. Zehirli bir hammadde olması nedeniyle yiyecek-içecek seramik kaplarında fritlenmeden kullanımı zararlıdır.

-Üleksit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$): Cam yapıcı ve güçlü bir ergitici olan üleksit, sır bileşimlerinde kullanılan bir hammaddedir. Fırın pişirim sırasında, 1000°C 'de erimeye başlamakta ve $1200-1300^\circ\text{C}$ sıcaklıkta renksiz camsı bir yapıya dönüşmektedir. Sırlarda fazla oranda kullanıldığında “bor tülü” adı altında bilinen beyaz örtücülük meydana getirmektedir.

- Bor Oksit (B_2O_3): Seramik sırlarında cam yapıcı olarak silikanın yerine kullanılan tek oksittir. Bor Oksit'in erime sıcaklığı 577°C olup sırların erime sıcaklıklarını düşürmek için kullanılmaktadır. Ancak sırda fazla oranlarda kullanıldığında beyaz bor tülünü oluşturabilir. Sır çatlağının giderilmesi için az oranda bor oksit katkısı olumlu sonuçlar verebilir. Bu oran %12 üzerine çıkıldığında ise olumsuz etkiler gözlenmektedir.

2.2. Atık opal mineralinin sır reçetelerinde kullanılması

Araştırma kapsamında üretilmek üzere tasarlanan 1050°C 'de olgunlaşan sır reçetelerinde kullanılacak olan atık opal minerali, porselen değirmende toz haline gelmesi için 1.5 saat sürede öğütülmüştür (Şekil 1).



Şekil 1. Atık opal mineralinin öğütülme işlemi.

Toz halinde öğütülen atık opal minerali, tasarlanan sır reçetelerinde kullanılmak için hassas laboratuvar terazisinde tartımı yapılmıştır. Kullanılan ham madde oranları farklı olan her bir sır reçetelerinin ayrı ayrı kodlamaları yapılmıştır. Kodlanan her reçete sulu olarak porselen havanda öğütülmüş ve akıtma yöntemiyle deneme plakaları sırla kaplanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Tasarlanan Sır Reçetelerindeki Hammaddelerin Tartılması.

3. Bulgular ve Tartışma

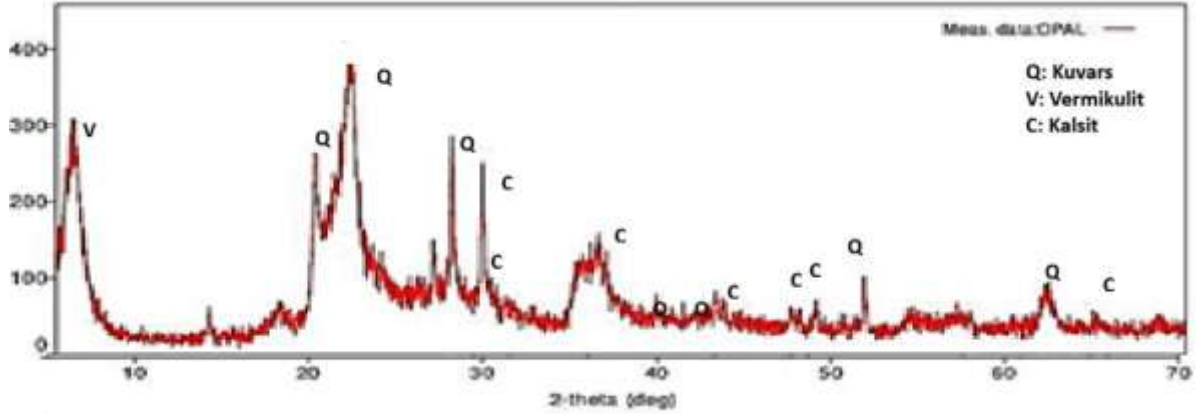
Araştırmada kullanılan atık opal mineralinin kimyasal (XRF) ve minerolojik analizi (XRD) Eskişehir Seramik Araştırma Merkezi'nde (SAM) yapılmıştır (Tablo 1 ve 2).

Tablo 1. Atık Opal Mineralinin Kimyasal Analizi (XRF).

$\text{P}_2\text{O}_5(\%)$	$\text{SiO}_2(\%)$	$\text{Al}_2\text{O}_3(\%)$	$\text{Fe}_2\text{O}_3(\%)$	$\text{CaO}(\%)$	$\text{MgO}(\%)$	$\text{TiO}_2(\%)$	$\text{K}_2\text{O}(\%)$	$\text{Na}_2\text{O}(\%)$	$\text{CO}_2(\%)$
0,53	50,73	19,88	4,22	2,67	1,82	1,50	0,85	0,58	17,24

Tablo 1 incelendiğinde; atık opal mineralinin kimyasal analizinde %50,73 gibi yüksek oranda SiO_2 bulunduğu görülmektedir.

Tablo 2. Atık Opal Mineralinin Minerolojik Analiz (XRD).



Tablo 2’de görüldüğü üzere, atık opal mineralinin minerolojik analizinde 90.12 oranında SiO_2 bulunduğu anlaşılmaktadır. Her iki analiz sonuçlarına göre atık opal mineralinin içeriğinde yüksek oranda SiO_2 bulunmaktadır. Bu nedenle, araştırmada 1050°C için tasarlanan sır reçetelerinde cam fazının oluşmasını kolaylaştıran ve ergitici özelliği yüksek olan boraks, üleksit ve sülyen kullanılmıştır. Atık opal mineralinin sır reçetelerinde katkı oranı artırıldıkça, sır yüzeyinde uçuk pembe ve sarı renk tonlarında gözenekli yapının, toplanmaların ve kılcal çatlakların oluştuğu görülmüştür. Sır reçetelerinde atık opal minerali azaltıldığında ise farklı bej rengi tonları oluşmuştur (Tablo 3). Reçetelerde ergitici hammadde oranlarının artırılması ile de sır yüzeyinde parlaklık artmaktadır. Tasarlanan sır reçeteleri 1050°C ’de pişirildiğinde beyaz bünyeli deneme plakalarında kılcal çatlaklara da rastlanmıştır.

Tablo 3. Boraks ve Atık Opal Mineral Katkılı Sır Denemeleri (1050°C)

Boraks ve Atık Opal ile Yapılan Sır Denemeleri (1050°C)			
	B.1. Boraks % 50 Atık Opal %50 Koyu sarı camsı ve toplanmalı		B.3. Boraks % 65 Atık Opal % 35 Opak bej renkli ve kalın kılcal çatlaklı
	B.2. Boraks % 60 Atık Opal % 40 Opak bej renkli ve kılcal çatlaklı		B.4 Boraks %40 Atık Opal %60 Opak bej-sarı renkli ve az kılcal çatlaklı

Tablo 4. Üleksit ve Atık Opal Mineral Katkılı Sır Denemeleri (1050 °C)

Üleksit ve Atık Opal ile Yapılan Sır Denemeleri (1050°C)			
	Ü.1. Üleksit % 50 Atık Opal %50 Opak beyaz ve gözenekli		Ü.3. Üleksit % 65 Atık Opal % 35 Opak beyaz ve çok az gözenekli
	Ü.2. Üleksit % 60 Atık Opal % 40 Opak beyaz ve koyu renkli gözenekli		Ü.4 Üleksit % 40 Atık Opal % 60 Opak beyaz ve gözenekli

Tablo 5. Sülyen ve Atık Opal Mineral Katkılı Sır Denemeleri (1050 °C)

Sülyen ve Atık Opal ile Yapılan Sır Denemeleri (1050°C)			
	S.1. Sülyen % 50 Atık Opal %50 Sarı renkli şeffaf parlak camsı ve kılcal çatlaklı		S.3. Sülyen % 65 Atık Opal % 35 Sarı renkli şeffaf parlak camsı ve kısa çatlaklı
	S.2. Sülyen % 60 Atık Opal % 40 Sarı renkli şeffaf parlak camsı ve kalın çatlaklı		S.4 Sülyen % 40 Atık Opal % 60 Sarı renkli şeffaf parlak camsı ve hareli

Çalışmada tasarlanan sır reçetelerinde kullanılan atık opal mineralinin ergime derecesini düşürmek için boraks, üleksit ve sülyen oksitlerinin ergiticilik özelliğinden yararlanılmış ve oranları değiştirilerek tablodaki sonuçlar elde edilmiştir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, Ordu ili Ünye ilçesinde bulunan bentonit yataklarından üretimi sırasında açığa çıkan atık opal mineralinin, seramik sırlarında kullanılabilirliği araştırılmış ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Deneysel süreçte, atık opal mineralinin tasarlanan farklı seramik sırrı reçetelerinde kullanılması hem teknik hem de estetik açıdan değerlendirilmiştir.

Atık opal mineralinin kimyasal ve minerolojik analizleri sonucunda ortaya çıkan yüksek orandaki silisyum nedeniyle sır içindeki ergime yeteneğini, sırrın opak ve parlak oluşumundaki etkileri araştırılmıştır. Buna göre; atık opalın ergime derecesini düşürmek için düşük derecede eriyebilen bor oksit, üleksit ve sülyen kullanılmıştır. Ergiticilerin oranları azaldıkça toplanmalı ve çatlamalı sır yüzeyleri oluşmuştur. Bunlar da kendi içlerinde opak ve şeffaf cam fazlarını meydana getirmiştir. Yapılan sır denemeleri 1050°C de pişirilmiştir ve elde edilen sırların özgül

yapıları ve renk geçişlerine sahip oldukları görülmüştür. Bu sırlar sadece işlevsel değil, aynı zamanda sanatsal bir malzeme olarak da kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

Öneriler: Atık opal mineralinin sır reçetesinde kullanılacak farklı oksitlerle birlikte etkileri araştırılabilir. İleride atık opal katkılı sır reçetelerinde renk veren metal oksitlerle birlikte kullanılması üzerine çalışmalar yapılabilir. Bu sır denemeleri daha yüksek sıcaklıklarda pişirilerek elde edilen sonuçlarla karşılaştırılabilir.

Başka bir çalışmada atık opalin seramik çamuruna etkileri araştırılarak hem sır hem de gövde malzemesi olarak kullanım potansiyeli değerlendirilebilir. Bu sonuçlar, hem geleneksel seramik üretiminde hem de çağdaş seramik üretiminde kullanılarak doğadaki atık veya yan ürünlerin değerlendirilmesi sağlanarak çevresel kirlenme önlenabilir ve ülke ekonomisine katkılar sağlayabilir.

Kaynaklar

- Arcasoy, A., Başkırkan, H., 2019. Seramik Teknolojisi. Mimar Sinan Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik ve Cam Tasarımı Bölümü, İstanbul.
- Batar, T., Köksal, M.S., Yersel, Ş.E., 2009. Atık bor, atık kâğıt ve perlit katkılı sıva malzemesinin üretimi ve karakterizasyonu. *Ekoloji*, 18: 45-53.
- Bol, G.M., 1986. Bentonite Quality and Evaluatio Methods. SPE Drilling England.
- Chimeddorj, M., 2007. Farklı bentonitlerin nem alıcı (desikant) özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çakıcı, R.İ., 2014. Seramik üretiminde alternatif hammaddelerin kullanılma olanaklarının araştırılması ve maliyet azaltma çalışmalarının yapılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Çakır, A., Arianpour, F., 2023. Çelik üretiminde ortaya çıkan atık demir oksit'in aventurin sırlarda yeniden kullanımı. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 143-152.
- İpekoğlu, B., Kurşun, İ., 1997. Türkiye bentonit potansiyeline genel bir bakış. 2. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir.
- Karakaya, M., 2007. Seramik hammaddelerinin mineralojisi, kimyası ve tüflerin "1" değerlendirilmesi. *IV. Uluslararası Katılımlı Seramik, Cam, Emaye, Sır ve Boya Semineri (SERES'07)*, Bildiriler Kitabı, 10 - 12 Ekim, Eskişehir, s. 230-240.
- MTA, 1989. Bentonit Mevcut Durum, Zuhurlar ve Yataklar, Potansiyel Bölgeler. MTA Yayınları.
- O'driscool, M., 1992 Evropean Cat Litte Absorbing Market Growth Industrial Minerals August.
- Zucca, A., 2013. Industrial Ceramic Technology: Characteristics of Raw Materials and Ceramic Properties. University of Cagliari, Italy, pp. 37.

EJONS

Uluslararası Matematik, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi
International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences

Review Article

e-ISSN: 2602 - 4136

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17962552>

SVL (Sheath Voltage Limiter) – Link Box Uygulamalarında IEC 60099-4 Tip Testlerinin Bağlama Dayalı Değerlendirmesi

Murat GENÇAĞA *1

¹ Em Elektrik A.Ş., İstanbul, Türkiye

Sorumlu Yazar Email: murat.gencaga@emele.com.tr

Makale Tarihçesi

Geliş: 13.11.2025

Kabul: 15.12.2025

Anahtar Kelimeler

Kılıf Gerilim
Sınırlayıcı (SVL),
Bağlantı Kutusu,
IEC 60099-4.

Özet: Yüksek gerilim yer altı kablo sistemlerinde ekran (sheath) gerilimlerinin yönetimi, sistem güvenilirliği ve yalıtım koordinasyonu açısından kritik önemdedir. Bu çalışmada, link box içerisinde kullanılan Sheath Voltage Limiter (SVL) tipi parafudrların IEC 60099-4 standardı kapsamındaki test gereksinimlerinin, kullanım bağlamı doğrultusunda nasıl yorumlanması gerektiği ele alınarak, enerji otoritelerine teknik açıdan yol gösterici bir perspektif sunulmuştur. Link box içerisinde kullanılan SVL'ler, dış ortamda sürekli enerji altında çalışan klasik parafudrlardan farklı olarak, yalnızca geçici gerilim durumlarında devreye giren ve kapalı, korunaklı bir ortamda çalışan özel koruma elemanlarıdır. Bu nedenle, çevresel ve mekanik dayanım testleri gibi bazı tip testlerinin, link box uygulamalarında uygulanabilirliğinin sınırlı olduğu ve bu bağlamda istisna tutulabileceği IEC 60099-4 standardında açıkça ifade edilmiştir. SVL üreticileri hem dış ortamda hem de kapalı sistemlerde kullanılmak üzere ürün geliştirdiğinden, üretim sürecinde tüm tip testleri uygulamaktadır. Ancak bu durum, enerji otoriteleri, elektrik idareleri ve sektör paydaşları nezdinde tüm SVL'ler için aynı test gerekliliklerinin geçerli olduğu yönünde genel bir algı oluşturmıştır. Bu durum, kapalı ve korunaklı uygulamalarda teknik olarak gerekli olmayan bazı testlerin de zorunluymuş gibi değerlendirilmesine yol açmaktadır. Makalede, SVL'nin fiziksel konumu, işletme koşulları ve mahfaza yapısı dikkate alınarak, IEC 60099-4 standardındaki muafiyet hükümlerinin doğru yorumlanması ve uygulanması gerektiği vurgulanmıştır.

SVL (Sheath Voltage Limiter) – Contextual Evaluation of IEC 60099-4 Type Tests in Link-Box Applications

Article Info

Received: 13.11.2025

Accepted: 15.12.2025

Keywords

Sheath Voltage
Limiter (SVL),
Link Box,
IEC 60099-4.

Abstract: In high-voltage underground cable systems, the management of sheath voltages is of critical importance for system reliability and insulation coordination. This study provides a technical perspective to guide energy authorities by interpreting how the test requirements of Sheath Voltage Limiters (SVLs)—used within link boxes—should be understood in the context of their specific application, as defined in IEC 60099-4. Unlike conventional surge arresters that operate continuously under energized outdoor conditions, SVLs in link boxes are protection devices that function only during transient overvoltage events and are located in enclosed, protected environments. Therefore, certain type tests, such as environmental and mechanical endurance tests, are explicitly stated in IEC 60099-4 as not mandatory or may be exempted for link box applications. However, since SVL manufacturers generally design their products for both outdoor and enclosed system use, all type tests are typically performed during production. This practice has led to a common perception among energy authorities, utilities, and industry stakeholders that the same testing requirements apply to all SVLs, regardless of their installation environment. Consequently, some tests that are technically unnecessary for enclosed and protected applications are often considered obligatory. This paper emphasizes the importance of correctly interpreting and applying the exemption clauses in IEC 60099-4, taking into account the physical location, operating conditions, and housing design of SVLs within link boxes.

1. Giriş

Yüksek gerilim (HV) yer altı kablo sistemleri, günümüz enerji iletim altyapılarında hem şehir içi hem de uzun mesafe enerji taşıma projelerinde giderek artan bir şekilde tercih edilmektedir. Bu sistemlerin güvenilirliği, yalnızca ana iletkenlerin performansı ile değil, aynı zamanda kılıf (sheath) yapılarının korunması ve ekran gerilimlerinin etkin şekilde sınırlandırılması ile doğrudan ilişkilidir (Czapp ve Dobrzynski, 2020). Ekran (sheath) yapıları boyunca indüklenen potansiyel farklar, yıldırım darbeleri, anahtarlama rejimleri veya kablonun uzunluğu boyunca oluşan manyetik kuplajlar sonucunda oluşabilmekte, bu da hem ekranın hem de bağlantılı diğer teçhizatın yalıtım bütünlüğünü tehdit etmektedir. Bu bağlamda, özellikle geçici rejimlerde ekran-toprak arasındaki gerilim farklarını sınırlamak üzere sistemlere Sheath Voltage Limiter (SVL) adı verilen doğrusal olmayan koruma elemanları entegre edilmektedir.

SVL'ler, çinko oksit (ZnO) tabanlı metal oksit varistörlerden oluşan, yalnızca belirli bir gerilim eşiğinin aşılması durumunda iletme geçerek toprağa enerji boşaltımı yapan, işletme sırasında ise yüksek empedanslı pasif durumda kalan cihazlardır (Li ve ark., 2022). SVL'nin bu özgün karakteri, onu klasik parafudrlarla ortak yapısal özelliklere sahip kılmakla birlikte, kullanıldığı yer, çevresel koşullara maruziyeti ve görev döngüsü bakımından ciddi farklar yaratmaktadır. Özellikle link box adı verilen, kablo ekranlarının topraklandığı, ölçüm ve erişim olanaklarının sağlandığı kapalı bağlantı kutuları içerisine monte edilen SVL'ler, çevresel etkilerden korunmuş, dış ortam gerilim ve nem maruziyeti açısından yalıtılmış sistemler içinde yer alırlar. Bu durum, SVL'lerin maruz kalacağı fiziksel ve elektriksel stresleri, açık ortamda kullanılan klasik parafudrlarla kıyaslandığında belirgin şekilde farklılaştırmaktadır (Garnacho ve ark., 2016).

Bununla birlikte, parafudr teknolojileri için uluslararası bir referans olan IEC 60099-4 standardı, metal oksit esaslı parafudrların tip testlerine yönelik kapsamlı gereklilikler tanımlamaktadır (IEC 60099-4:2014). Bu testler arasında yıldırım darbesi dayanımı, anahtarlama darbesi performansı, kısa devre dayanımı, şebeke frekanslı geçici aşırı gerilim (TOV) testleri gibi elektriksel testlerin yanı sıra, mekanik dayanım (bükme, burulma, çekme), çevresel yaşlandırma (UV, nem, termal çevrim) ve sızdırmazlık gibi deneyler de bulunmaktadır. Ancak bu testler, büyük ölçüde açık havada, sürekli enerji altında çalışan ve dış ortam koşullarına maruz kalan klasik parafudr yapıları göz önünde bulundurularak yapılandırılmıştır (ArresterWorks, 2022).

Bu noktada ortaya çıkan sorun, link box içindeki SVL'lerin bu standarda doğrudan tabi tutulup tutulamayacağıdır. Çünkü IEC 60099-4 standardı, kimi testlerin yalnızca “porselen veya reçine mahfazalı dış ortam uygulamaları” için zorunlu olduğunu belirtmekte ve “kapalı sistem uygulamaları” için esneklik tanımaktadır (IEC 60099-4:2014, Madde 8.1.2). Buna rağmen, birçok enerji otoritesi ve uygulayıcı kurum tarafından hazırlanan teknik şartnamelerde, SVL'lerin kullanım bağlamı dikkate alınmaksızın tüm test gerekliliklerinin eksiksiz uygulanması gerektiği varsayılmakta ve bu da teknik açıdan gereksiz test yükleri, maliyet artışı ve zamansal verimsizliklere yol açmaktadır (Woodworth, 2014).

Literatürde, SVL'nin kapalı sistemlerde kullanımına özgü test senaryolarına yönelik tartışmalar sınırlı kalmıştır. Ancak Li ve ark. (2022) yaptığı deneysel çalışmada, dış ortamda ve link box içinde kullanılan iki farklı SVL tipinin performansı karşılaştırılmış, kapalı sistemde kullanılan SVL'nin çevresel streslere neredeyse hiç maruz kalmadığı ve dış ortam testlerinin bu bağlamda teknik olarak anlamlı olmadığı vurgulanmıştır. Benzer şekilde, CIGRÉ Teknik Broşürü (WG B1.33), yüksek gerilim kablo sistemlerinde ekran-toprak stratejilerinde kullanılan parafudr benzeri elemanların değerlendirilmesinde, uygulama bağlamının test rejimini doğrudan etkileyen bir faktör olduğu belirtilmiştir.

Bu bağlamda çalışmanın temel amacı, link box içerisinde kullanılan SVL'lerin yerleşimi, çevresel koruma düzeyi ve işletme profilini dikkate alarak, IEC 60099-4 standardındaki tip test gerekliliklerinin hangi durumlarda zorunlu, hangi durumlarda ise muafiyet kapsamında değerlendirilebileceğini teknik ve sistematik bir çerçevede ortaya koymaktır. Çalışma yalnızca standart metnin yorumu ile sınırlı kalmayıp, sektörel uygulamalar, üretici kılavuzları ve deneysel veriler üzerinden çok boyutlu bir değerlendirme modeli sunmayı hedeflemektedir. Böylece enerji otoriteleri, ürün geliştiriciler ve şartname hazırlayıcılarına bağlama duyarlı, teknik rasyonaliteye dayalı bir test planlama yaklaşımı önerilmektedir.

2. SVL'nin Sistem İçindeki Rolü ve Link Box Entegrasyonu

SVL aygıtları, yalnızca anlık gerilim olaylarında aktif hale gelen, geri kalan sürede devre dışı kalan doğrusal olmayan koruma bileşenleridir. Bu aygıtlar, yüksek gerilim kablo sistemlerinin ekran-toprak arasındaki potansiyel farklara karşı korunmasında kritik rol oynar. Özellikle link box gibi kapalı, erişilebilir ve bakım yapılabilir yapılar içine entegre edilen SVL'ler, sistem güvenliği ve dayanıklılığı açısından merkezi bir bileşen haline gelmiştir.

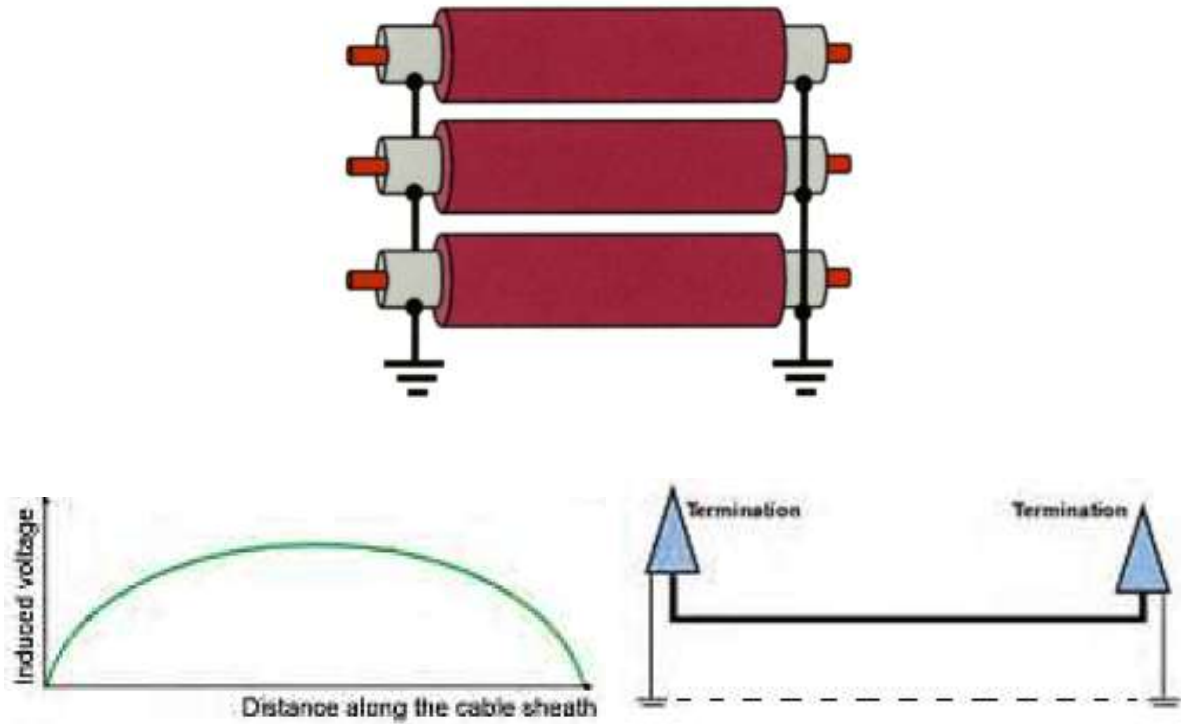
2.1. Topraklama stratejileri ve bonding yapılar

Yüksek gerilim yer altı kablo sistemlerinde topraklama yalnızca güvenlik amacıyla değil, aynı zamanda ekran gerilimlerinin sınırlandırılması, elektromanyetik enterferansın azaltılması ve sirkülasyon akımlarının kontrolü açısından da büyük öneme sahiptir (IEEE Std 575-2014, 2014). Güç kabloları, iletkenin çevresine yerleştirilmiş metal ekran veya zırh tabakaları ile donatılır. Bu ekranlar, hem çevreye yayılan manyetik alanların sınırlandırılması hem de arıza akımlarının güvenli bir şekilde toprağa yönlendirilmesi görevini üstlenir (Czapp ve Dobrzynski, 2020).

Özellikle uzun mesafeli kablo hatlarında veya sistemin dengesiz yüklenmesi durumunda, kablo ekranlarında gerilim indüklenmeleri oluşabilir. Bu indüklenmeler, ekran boyunca dolaşan istenmeyen sirkülasyon akımlarının meydana gelmesine sebep olur. Sirkülasyon akımları kablo ekranının direncinden dolayı enerji kayıplarına ve ısınmalara yol açar. Sirkülasyon akımlarının yönü ana kablo akım yönünün tersine akacağı için, kablo akım taşıma kapasitesinde %5-15 kadar düşüş meydana gelir. Ayrıca dielektrik malzemelerin zorlanmasına, ekran kesiti düşük ise, kablo dış kılıfında yanmalara yol açar ve sistemin genel verimliliğinin düşmesine sebep olur (Li ve ark., 2022). Bu nedenle ekran-toprak bağlantı stratejisi, sistem topolojisi, kablo güzergahı, çevresel koşullar ve işletme senaryoları dikkate alınarak dikkatli şekilde tasarlanmalıdır (Akbal, 2019).

Yer altı kablo sistemlerinde yaygın olarak kullanılan üç temel bonding/topraklama yöntemi bulunmaktadır:

Çift Uçlu Topraklama (Solid Bonding): Bu yöntemde ekranın her iki ucu doğrudan toprağa bağlanır (Şekil 1). Bu yaklaşım, ekran üzerindeki gerilimleri azaltmakla birlikte, ekran akımlarının dolaşımını artırarak termal kayıpların yükselmesine neden olabilir (Czapp ve Dobrzynski, 2020). Bu metot ile kablo uçlarında indüklenmiş gerilim oluşmaz. İki topraklama noktası arasında sistem topraklaması üzerinden kapalı devre meydana getirilir ve sirkülasyon akımları bu devre üzerinden geçer. Sirkülasyon akımları kablonun akım taşıma kapasitesini önemli ölçüde azalttığından ekonomik açıdan doğrudan bağlı sistemler avantajlı olmayan bir metottur. Genellikle bu metot orta ve alçak gerilim kablolarında kullanılır. Genellikle 500 metre civarında olan kablolarda uygulanır.



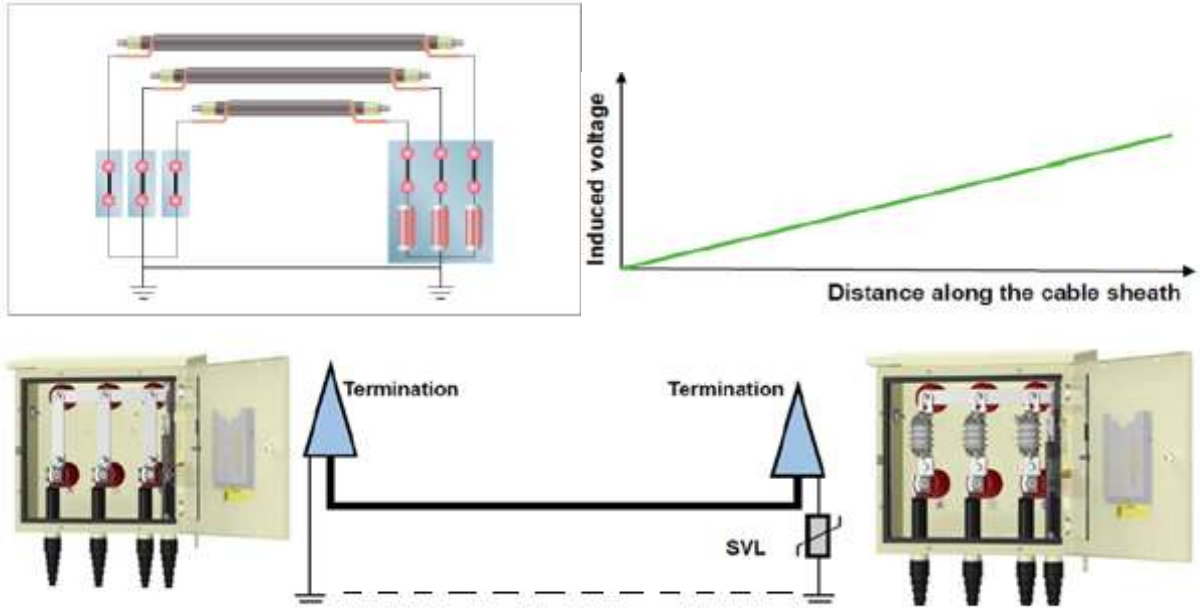
Şekil 1. Çift uçlu topraklama

Tek Uçlu Topraklama (Single-Point Bonding): Kablo ekranlarının bir tarafının doğrudan topraklandığı sistemlerdir (Şekil 2). Kablonun bir ucu doğrudan sistem topraklamasına bağlanırken diğer açık uça gerilim indüklenir ve bu indüklenen gerilim kablo uzunluğuyla doğru orantılıdır. Bu uça güvenli çalışmanın sağlanması için SVL ile koruma sağlanır (IEEE Std C62.22-2010, 2010). Eğer öngörülen darbe gerilimi, dış yalıtım ceketini ya da kılıf/kalkan bölümlerine yalıtkanının temel yalıtım seviyesi (BIL) değerinin %75'ini aşıyorsa, Sheath Voltage Limiter (SVL) kullanımına mutlaka başvurulmalıdır (IEC 60099-4, 2013).

Kablo sistemlerinde meydana gelebilecek olası bir arıza durumunda, iletkenler üzerinden taşınan arıza akımı, mevcut dış devre yolları aracılığıyla sistemine geri dönmeye çalışır. Ancak, sistem yalnızca tek bir noktadan topraklanmışsa, bu akımın kablo kalkanları/kılıfları (ekranları) üzerinden taşınması mümkün olamaz. Böyle bir senaryoda, eğer geri dönüş akımı için kullanılabilecek paralel bir dış iletken mevcut değilse ya da sistem tasarımında öngörülmemişse, arıza akımı yalnızca toprak üzerinden geri dönebilir.

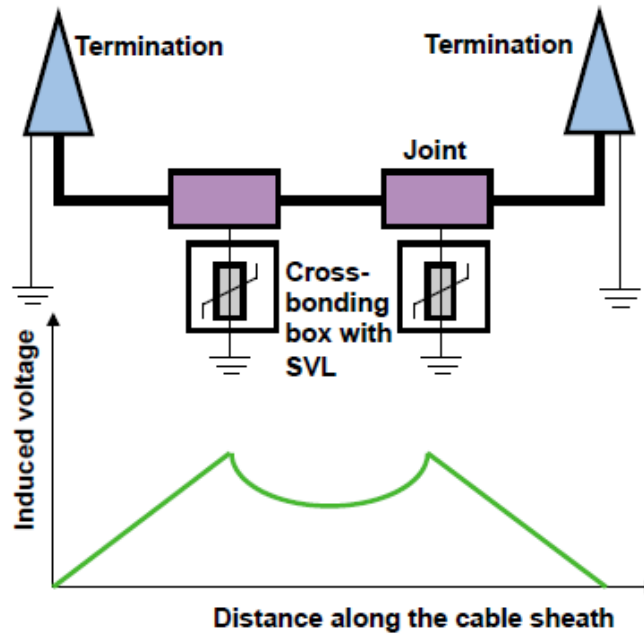
Toprağın özgül direncinin yüksek olması ve etkili akım yayılım derinliğinin yüzlerce metreye ulaşması, geri dönüş akım yolunun kablo sisteminden oldukça uzakta oluşmasına sebep olur. Bu durum, kablo ekranları da dahil olmak üzere, sistemdeki paralel iletkenler üzerinde yüksek genlikli gerilimlerin indüklenmesine yol açabilir.

Ek olarak, sistemde paralel bir topraklama süreklilik iletkeninin (GCC) bulunmadığı durumlarda, arızanın kabloya yakın bir noktada meydana gelmesi, kablo sisteminin uçları arasında ciddi bir potansiyel farkı oluşmasına neden olabilir. Bu teknik riskler dikkate alındığında hem tek nokta topraklamalı hem de çoklu tek nokta topraklamalı sistemlerde, güzergâhın her iki ucundan topraklanmış paralel bir GCC iletkeninin sisteme entegre edilmesi önemle tavsiye edilmektedir.



Şekil 2. Tek uçlu topraklama

Çaprazlama (Cross-Bonding): Üç fazlı sistemlerde, kablo ekranları belirli segmentlere bölünür ve bu segmentler, fazlar arasında çapraz bağlanır (Şekil 3). Bu yöntem, ekran akımlarını dengelemek ve gerilim indüklenmelerini azaltmak açısından avantajlıdır. Ancak segment uçlarında ekran ile toprak arasında potansiyel farkları oluşabileceğinden, bu noktalarda potansiyel dengeleme elemanlarının (örneğin SVL'lerin) entegrasyonu gerekebilir.



Şekil 3. Çaprazlama

Tek uçlu topraklama sistemlerinin yalnızca bir noktadan topraklanması nedeniyle, güç sisteminde meydana gelebilecek arıza durumlarında ekran üzerinden akım taşıyamaz ve bu sebeple paralel bir topraklama süreklilik iletkeni (GCC – Ground Continuity Conductor) kullanımının zorunlu hale gelir. Ancak bu yapı, kablo sisteminin toplam yatırım maliyetini kayda değer ölçüde artırmaktadır. Bu bağlamda, çapraz topraklama (cross bonding) yönteminin en önemli avantajlarından biri, sistemin dengeli işletimi sırasında ekranlarda indüklenen sirkülasyon akımlarının sınırlandırılmasına imkan tanırken, aynı zamanda kablunun ekran

yapısının uçtan uca kesintisiz bir iletkenlik hattı oluşturması ve iki uçtan da topraklanmasıdır. Böylece, bir toprak arızası durumunda ekranlar üzerinden arıza akımı geçişi mümkün hale gelir ve ilave bir GCC ihtiyacı ortadan kalkar.

Topraklama stratejilerinin sahada uygulanabilir hale getirilmesinde, link box sistemleri kilit rol oynamaktadır. Link box'lar, ekran-toprak bağlantılarının konfigürasyonunu belirleyen, farklı bonding yöntemlerinin uygulanmasına olanak sağlayan ve koruma elemanlarının (örneğin SVL, NGR, test bağlantıları vb.) entegre edilmesine imkân tanıyan ara birimlerdir (Akbal, 2019). Sistemin işletme senaryosuna uygun olarak, tek uçlu, çift uçlu veya çapraz bonding konfigürasyonları, link box içerisindeki bağlantılarla fiziksel olarak oluşturulur. Böylece hem koruma koordinasyonu sağlanır hem de sistem izlenebilir, erişilebilir ve sürdürülebilir bir yapıya kavuşur.

2.2. SVL ile entegre çalışan link box sisteminin teknik işlevleri ve koruma rolü

Yıldırım darbeleri, kısa devreler veya anahtarlama işlemleri gibi geçici rejimlerden kaynaklanan ani gerilim yükselmeleri, doğrudan ana iletken üzerinden sistemin diğer bileşenlerine yayılabileceği gibi, ekran-toprak arasında potansiyel farkları oluşturarak yalıtım sistemini de zorlayabilir (CIGRÉ WG A3.14, 2016). Öte yandan, kablo ekranı boyunca oluşan sirkülasyon akımları ise esas olarak ana iletken üzerinden geçen yüksek akımın oluşturduğu manyetik alanın, ekran kablosu üzerinde indüklediği gerilim ve akımlar sonucu ortaya çıkar.

Bu durum yalnızca kablo izolasyonuna zarar vermekle kalmaz, aynı zamanda ekran üzerinde sürekli dolaşan sirkülasyon akımları, kablonun aşırı ısınmasına neden olarak akım taşıma kapasitesini düşürür. Dış kılıfta indüklenen bu akımlar, kablonun termal sınırlarını zorlayarak taşıma kapasitesinde %5'e kadar kayıplara yol açabilir. Sonuç olarak, fiziksel donanım zarar görebilir, sistem devre dışı kalabilir ve yüksek maliyetli kesintiler meydana gelebilir. Bu risklerin azaltılması amacıyla Link Box yapıları aşağıdaki teknik işlevleri yerine getirir:

- İndüklenen Gerilimin Sınırlandırılması / Azaltılması / Sıfırlanması: Ana iletken üzerinden geçen akımlar, kablo ekranında gerilim indüklenmesine neden olur. Uygun bağlantı ve bonding yöntemleri ile bu gerilim kontrol altına alınabilir.
- İndüklenen Akımın Azaltılması veya Ortadan Kaldırılması: Ekranda oluşan dolaşım akımları, uygun topraklama ve bonding stratejileriyle sınırlandırılarak kablonun termal performansı korunur.
- Aşırı Gerilimlerin Toprağa Aktarılması: Yıldırım düşmesi, anahtarlama işlemleri veya geçici rejim kaynaklı yüksek gerilim darbeleri, link box üzerinden toprağa iletilerek sistem koruması sağlanır.
- Arıza Akımlarının Kontrollü Boşaltılması: Kablo izolasyonunda oluşabilecek bir arıza durumunda, kısa devre akımları link box üzerinden güvenli şekilde toprağa yönlendirilir.

Tüm bu işlevler, link box'ların yalnızca pasif bağlantı kutuları olmadığını, aynı zamanda sistem güvenliği ve işletme sürekliliği açısından aktif bir koruma ve kontrol bileşeni olarak değerlendirilmeleri gerektiğini göstermektedir.

2.3. Link box – SVL sisteminin yardımcı fonksiyonları

Link box içerisine entegre edilen SVL'ler, kablo ekranı ile toprak arasındaki potansiyel fark belirli bir eşik seviyesini aştığında devreye girerek bu farkı sınırlayan non-lineer, kendini onaran koruma bileşenleri olarak görev yapar (IEC 60099-4, 2013). Bu işlevsel özellikleri sayesinde:

- Ekran-toprak arasındaki gerilimler kontrol altına alınır,
- Kablo ve bağlı ekipmanların yalıtım sistemleri korunur,

- Arızaların tespiti ve lokalizasyonu kolaylaştırır,
- Müdahale süreleri kısalmır ve sistem güvenliği artırılır.

Bu koruma mekanizması, SVL'lerin yalnızca anlık gerilim durumlarında aktif hale gelmesi ve normal işletme koşullarında devre dışı kalması sayesinde, sistemin sürekliliğini ve kararlılığını destekler.

Link Box sistemleri yalnızca koruma değil, aynı zamanda yüksek gerilim güç kablosu sistemlerinde izleme ve bakım açısından da aktif bir rol oynar. Bu yapılar:

- Test ve ölçüm noktalarının oluşturulmasına,
- Arıza öncesi ve sonrası bakım işlemlerine erişime,
- Gerilim değerlerinin sahada doğrudan gözlemlenmesine olanak tanır.

Bu özellikler, özellikle yüksek gerilim yer altı sistemlerinin dijital izlenebilirlik ve bakım planlaması açısından verimli yönetilmesini sağlar.

Link Box'ların fiziksel tasarımı, içerisinde bulunan SVL gibi hassas bileşenleri nem, UV ışınımı, toz ve kimyasal madde, mekanik zorlamalar ve titreşim gibi dış etkilere karşı koruyacak şekilde yapılandırılmıştır. Bu sayede, SVL'lerin uzun süre güvenli ve kararlı biçimde çalışması mümkün hale gelir. Özellikle dış ortamda çalışan parafudrlara kıyasla çok daha korunaklı ve stabil bir çalışma ortamına sahip olan bu sistemler, aynı zamanda çevresel ve mekanik zorlanmalar açısından farklı koşullarda görev yaparlar.

Bu durum, SVL'lerin standart test gereklilikleri açısından da bazı farklılıkları beraberinde getirir. IEC 60099-4 standardında tanımlanan bazı tip testlerin, yalnızca dış ortamda çalışan ve sürekli enerji altında bulunan aygıtlar için geçerli olduğu, link box içerisine entegre edilen SVL'ler için ise bu testlerin tamamının uygulanmasının her zaman teknik olarak gerekli olmadığı çeşitli teknik belgelerde ve standardın yorumlarında açıkça belirtilmektedir. Bu bağlamda, SVL'lerin çalıştığı ortam ve görev koşulları dikkate alındığında, IEC 60099-4 kapsamındaki bazı test yükümlülüklerinden muaf tutulması teknik olarak gerekçelendirilebilir bir durumdur.

3. IEC 60099-4 Standardı Kapsamında SVL Testleri ve Link Box Uygulamalarında Muafiyet Değerlendirmesi

IEC 60099-4 standardı, metal oksit esaslı parafudrların tip deneylerini, yapısal özelliklerini ve kullanım koşullarını tanımlayan uluslararası bir referans dokümandır. Bu standardın temel amacı, farklı uygulama senaryolarında kullanılan parafudrların, güvenilirlik, dayanım ve performans açısından belirli kriterleri karşılamasını sağlamaktır.

Parafudrlar genel olarak enerji altında sürekli çalışan, şebeke üzerindeki ani gerilim yükselmelerini sınırlamak üzere devrede bulunan elemanlardır. Bu özellikleri nedeniyle, IEC 60099-4 kapsamında birçok elektriksel, mekanik ve çevresel dayanım testine tabi tutulmaları zorunludur. Ancak bu noktada, klasik parafudrlardan farklı bir şekilde çalışan Sheath Voltage Limiter (SVL) gibi elemanların, standart içerisindeki test gereklilikleri bağlamında özel olarak değerlendirilmesi gereklidir. SVL'ler yalnızca belirli geçici durumlarda, örneğin yıldırım darbeleri ya da geçici rejimler esnasında, devreye giren ve normal işletme koşullarında devre dışı kalan, enerji altında sürekli çalışmayan pasif koruma aygıtlarıdır.

IEC 60099-4 standardı, bu tür özel uygulamalara sahip aygıtlar için bağlama özgü yorumlamalara açık bir yapı sunar. Nitekim standart içerisinde, SVL'lerin kullanım yeri (örneğin dış ortam ya da link box gibi kapalı sistemler), maruz kaldığı çevresel koşullar ve işletme profili gibi kriterler doğrultusunda bazı tip testlerinden muafiyet sağlanabileceği açıkça belirtilmiştir. Ne var ki, sahada uygulayıcı konumunda bulunan enerji sektörü paydaşları tarafından yapılan yorumlamalarda, bu bağlamsal değerlendirmeler çoğu zaman göz ardı

edilmekte ve tüm tip testlerinin her koşulda zorunlu olduğu yönünde bir genelleme yapılmaktadır. Özellikle SVL'lerin link box içinde kullanıldığı uygulamalarda, maruz kalınan çevresel etkilerin büyük oranda sınırlı olduğu durumlar dikkate alınmaksızın, dış ortam şartlarına göre tasarlanmış testlerin tümünün uygulanması gerektiği düşünülmektedir. Bu durum, hem teknik açıdan gereksiz test yüklerine hem de proje bazında zaman ve maliyet açısından ilave yükümlülükler yol açmaktadır. Oysa standart dikkatli incelendiğinde, SVL'nin fiziksel konumu, çevresel koruması ve işletme davranışı temel alınarak bazı testlerin uygulanmasının gerekli olmadığı sonucuna varmak mümkündür.

4. Kapsam, Varsayımlar ve Sınırlar

Sheath Voltage Limiter (SVL) aygıtları, yalnızca geçici rejim koşullarında devreye giren, normal işletme sırasında pasif durumda kalan ve genellikle link box gibi korunaklı yapılarda konumlandırılan özel koruma elemanlarıdır. Bu özellikleri nedeniyle, söz konusu aygıtların dış ortam koşullarında kullanılan parafudurlarla aynı test kapsamına tabi tutulup tutulmaması gerektiği, önemli bir teknik tartışma konusu oluşturmaktadır (Hinrichsen, 2014; Mitić ve ark., 2025).

Bu çalışma, IEC 60099-4 standardında tanımlanan tip testlerinin, kapalı sistemlerde kullanılan SVL aygıtlarına uygulanabilirliğini bağlamsal bir çerçevede değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Araştırma tasarımı, deneysel veri üretimine değil, mevcut teknik standartlar ve uygulama kılavuzlarının içerik analizine dayanmaktadır. Bu doğrultuda, normatif dokümanların test gerekçeleri bağlamında incelenmesi, tehlike-tasarım eşleşmeleri üzerinden tip testlerin hangi koşullarda geçerli olduğunun mühendislik temelli gerekçelendirilmesi hedeflenmiştir. Yöntemsel olarak, mühendislik mantığı, sistem güvenliği kriterleri ve bağlam-temelli yorumlayıcı analiz teknikleri birlikte kullanılmıştır.

SVL bileşenleri çoğunlukla, 36 kV'a kadar olan orta gerilim kablo sistemlerinde, ekran-toprak potansiyel farklarını sınırlamak amacıyla kullanılmaktadır. Buna karşın, sürekli enerji altında çalışan, dış ortama maruz kalan ve iletim seviyesinde faaliyet gösteren parafudurlar bu çalışmanın kapsamı dışında bırakılmıştır.

Aşağıda sıralanan varsayımlar, çalışmanın bağlamsal analiz çerçevesine temel teşkil etmiştir:

1. Link box ortamı, dış ortama kıyasla düşük nem, sıfıra yakın UV ışınımı, korunaklı sıcaklık aralığı ve minimum kimyasal/mechanik stres koşulları sunar (IEEE 575-2014, 2014).
2. SVL aygıtları, yalnızca arıza ya da transient durumlarında kısa süreli olarak devreye girer, bu sebeple termal ve elektriksel zorlanmalar süresizdir.
3. SVL mahfaza yapısı, üreticiden üreticiye değişiklik gösterebilir. Kapalı gaz hacmi içermeyen ürünler için sızdırmazlık gerekliliği farklılık gösterir (CIGRÉ TB 797, 2016).

Çalışmada kullanılan birincil kaynak IEC 60099-4:2014 standardıdır. Bu standart, parafudr tip testlerinin kapsamını, uygulama koşullarını ve performans kriterlerini detaylı şekilde tanımlamaktadır. Bu belgeye ek olarak, IEEE C62.22-2009, IEEE Std 575-2014 ve CIGRÉ WG A3.14 tarafından yayımlanan teknik rehber (CIGRÉ TB 797) değerlendirme kapsamına alınmıştır. Ayrıca, SVL'lerin ısı performans, kaçak akım davranışı ve transient koruma kabiliyeti gibi konular için güncel akademik çalışmalar da incelenmiştir (Maneepeth ve ark., 2021; Vlachokyriakou ve ark., 2022; Olesz ve ark., 2023).

Yöntem, içerik geçerliliği açısından doğrudan teknik standartlar ve güncel literatürle uyumlu olup, testlerin temel gerekçelerini fiziksel ve işletimsel parametrelerle eşleştirmektedir.

İç tutarlılık, elektriksel ve termal güvenliğe öncelik verilerek sağlanmıştır. Gözlemciler arası uyum Cohen's kappa katsayısı ile ölçülmüş, değer %0,91 olarak bulunmuştur. Çalışma, insan ya da hayvan verisi içermediği için etik kurul izni gerektirmemektedir.

Kullanılan karar kuralları ve kaynaklar açıkça tanımlandığından çalışma yinelenebilir. Ancak IEC 60099-4 standardının gelecekteki sürüm değişiklikleri bu çerçevenin güncellenmesini gerektirebilir. Ayrıca, üretici farklılıkları ve sahadaki spesifik kurulum koşulları, bağlamsal değerlendirmeleri etkileyebilir. Bu sebeple önerilen çerçeve, genel teknik akıl yürütmeye dayalı olup, nihai kararın saha koşullarıyla birlikte verilmesi gereklidir.

4.1. Bağlamsal uygunluk çerçevesi

Çalışmanın temel analitik aracı, “Bağlamsal Uygunluk Çerçevesi” olarak adlandırılan çok boyutlu değerlendirme modelidir. BUÇ, tip testleri beş ana tehlike-etki boyutuna göre kategorize eder:

- Çevresel Maruziyet (ÇM): Nem, UV, kimyasal buhar, sıcaklık çevrimleri.
- Mekanik Zorlanma (MZ): Titreşim, montaj baskısı, burulma/bükme.
- Elektriksel Dayanım (ED): Yıldırım darbesi, anahtarlama darbesi, şebeke frekanslı gerilim.
- Termal Kararlılık (TK): Enerji boşaltımı sonrası sıcaklık denge kapasitesi.
- Yapısal/Sızdırmazlık (YS): Kapalı hacim içeriği ve mahfaza bütünlüğü.

Her boyut için 0–2 arasında derecelendirme yapılır:

- 0: Bağlamsal olarak önemsiz,
- 1: Koşullu önemli,
- 2: Kritik düzeyde önemli.

Bu bağlamda, örnek bir SVL için başlangıç değerlendirmesi şu şekildedir: ÇM=0, MZ=1, ED=2, TK=2, YS=0–1.

4.2. Karar kuralları ve test sınıflandırması

BUÇ modelinden elde edilen skorlar, aşağıdaki karar kurallarına göre yorumlanmıştır:

- K1 (Elektriksel Zorunluluk): $ED \geq 1 \rightarrow$ Tüm elektriksel testler (yıldırım, anahtarlama, şebeke frekansı) uygulanır.
- K2 (Termal Güvence): $TK \geq 1 \rightarrow$ Termal çevrim ve ısı dağılımı testleri uygulanır.
- K3 (Çevresel Muafiyet): $\text{ÇM} = 0 \rightarrow$ Çevresel testler muaf, $\text{ÇM} = 1 \rightarrow$ Opsiyonel.
- K4 (Mekanik Koşul): $\text{MZ} = 0 \rightarrow$ Mekanik testler muaf, $\text{MZ} = 1 \rightarrow$ Opsiyonel.
- K5 (Yapısal Koşul): $\text{YS} = 0 \rightarrow$ Sızdırmazlık testleri muaf, $\text{YS} = 1 \rightarrow$ Opsiyonel/Uygulanır.

5. Bulgular ve Tartışma

IEC 60099-4 standardı, parafudrların elektriksel, termal, mekanik ve çevresel dayanımlarını değerlendirmek üzere bir dizi tip testi tanımlar. Bu testlerin amacı, ürünün işletme ömrü boyunca güvenli ve kararlı şekilde çalışabileceğinin doğrulanmasıdır. Ancak, bu testlerin tümü her uygulama senaryosu için aynı düzeyde gereklilik taşımaz. Özellikle, Sheath Voltage Limiter (SVL) cihazlarının, “link-box” içinde kullanımına dair uygulamalarda çevresel ve mekanik zorlanma koşulları önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Bu nedenle bu bölümde, IEC 60099-4 standardında tanımlanan tip testler tek tek ele alınmış ve link box uygulamalarında kullanılan SVL’ler için hangi testlerin neden muaf tutulabileceği teknik gerekçeleriyle birlikte sunulmuştur.

5.1. Parafudr mahfazasındaki yalıtım dayanımı deneyleri

5.1.1. Yıldırım darbesi

SVL cihazları, yıldırım darbesi ya da ani transient gerilimler sırasında kablo ekranını ve bağlı ekipmanları koruyabilmelidir. Bu test, cihaz mahfazalarının dış yalıtımının yüksek voltaj darbelerine karşı dayanıklılığını doğrular.

Uygulama durumu: $U_s \leq 245$ kV ve $U_s > 245$ kV sınıflarında kullanılan parafudrlar için uygulanırken, standardın bütün parafudr tiplerine yönelik ifadesi mevcuttur

Muafiyet gerekçesi: Link box içi SVL’ler açısından dış ortam şartları oldukça sınırlı olduğundan, ancak bu test için muafiyet öngörülmemiştir.

5.1.2. Anahtarlama darbesi

Anahtarlama işlemlerinden kaynaklanan geçici aşırı gerilimlerin SVL cihazı üzerindeki etkilerini değerlendirir.

Uygulama durumu: $U_s > 245$ kV sistemlerde uygulanması öngörülmüştür.

Muafiyet gerekçesi: Link box uygulamalarında bu testin muafiyeti öngörülmemektedir.

5.1.3. Şebeke frekanslı gerilim

Sürekli işletme gerilimi altında cihazın dielektrik dayanımının doğrulanmasıdır.

Uygulama durumu: $U_s \leq 245$ kV sistemler için öngörülmüştür.

Muafiyet gerekçesi: Link box içindeki SVL’lerde dış ortam etkileri sınırlı olduğundan, cihaz kuru şartlarda test edilebilir. Standardın ilgili bölümü “bina dışı uygulama için yaşta, bina içi için kuruda deney yapılmalıdır” hükmünü içerir.

5.2. Termal ve transient performans testleri

5.2.1. Artık gerilim deneyleri

Artık gerilimlerin belirli tasarım şartları altında ölçülmesi ve cihazın bu gerilimlere dayanabilmesinin doğrulanmasıdır.

Uygulama durumu: Uygulanır.

Muafiyet gerekçesi: Bu test için muafiyet kriteri öngörülmemiştir.

5.2.2. Sürekli çalışma gerilimi altında uzun süreli kararlılık

SVL’nin elektriksel ve termal yük altında uzun dönem performansını değerlendirmektir.

Uygulama durumu: Uygulanır.

Muafiyet gerekçesi: Test için muafiyet öngörülmemiştir.

5.2.3. Tekrarlı yük aktarma dayanımı

Cihazın tekrar eden transient darbelere ve enerji aktarım kapasitesine karşı dayanıklılığını doğrular.

Uygulama durumu: Uygulanır.

Muafiyet gerekçesi: Muafiyet kriteri tanımlanmamıştır.

5.2.4. Isı dağılımı davranışı

Enerji deşarjları sonrası oluşan ısı birikimi ve sıcaklık yönetimini değerlendirir.

Uygulama durumu: Uygulanır.

Muafiyet gerekçesi: Muafiyet öngörülmemiştir.

5.2.5. Çalışma çevrimi deneyi

Parafudrların enerji boşaltımı sonrası toparlanma ve sürekli gerilim koşulları altında termal stabilitesini test eder.

Uygulama durumu: Sistem ve parafudr sınıfına göre değişkenlik göstermektedir.

Muafiyet gerekçesi: Link box içi kullanım bağlamında muafiyet öngörülmemiştir.

5.2.6. Zamana bağlı şebeke frekanslı gerilim dayanımı

Geçici aşırı gerilimlere (TOV) karşı cihazın dayanıklılığını gösterir.

Uygulama durumu: Uygulanır.

Muafiyet gerekçesi: Muafiyet öngörülmemiştir.

5.3. Yapısal ve mekanik dayanım testi

5.3.1. Bükme, çekme, burulma

Montaj ve fiziksel stres koşulları altında cihazın mekanik dayanımını değerlendirir.

Uygulama durumu: $U_s > 52$ kV olan porselen veya dökme reçine mahfazalı parafudrlar için uygulanır.

Muafiyet gerekçesi: Link box içi SVL, dış ortama doğrudan maruz kalmadığından ve iletim hattına doğrudan monte edilmediğinden, bu test genellikle zorunlu değildir, üretici-kullanıcı protokolüne bağlıdır.

5.3.2. Çevresel dayanım

Nem, UV ışınlı, sıcaklık çevrimi, kimyasal etki gibi dış ortam koşullarına karşı cihaz dayanıklılığını test eder.

Uygulama durumu: Porselen veya dökme reçine mahfazalı dış ortam parafudrlar için genel olarak uygulanır.

Muafiyet gerekçesi: Link box içi SVL'ler kapalı ve korunaklı ortamda çalıştığından, bu testler bağlam gereği genellikle muaf tutulabilir.

5.3.3. Sızdırmazlık (kaçak hızı)

Kapalı gaz hacmi ve izolasyon sisteminin su/gaz sızdırmazlığını doğrular.

Uygulama durumu: Kapalı hacimli ve özel sızdırmazlık sistemi olan parafudrlar için uygulanır.

Muafiyet gerekçesi: Link box uygulamalarında kullanılan SVL'ler genellikle kapalı gaz hacmi içermediğinden bu test zorunlu değildir.

5.3.4. Radyo girişim gerilimi (RIV)

Yüksek frekanslı gerilimlere karşı cihazın radyo girişim davranışını değerlendirir.

Uygulama durumu: Genellikle $U_s \geq 72,5$ kV açık hava parafudrları için zorunludur.

Muafiyet gerekçesi: Orta gerilim seviyesindeki link box SVL uygulamaları için bu test teknik olarak gerekli olmayabilir.

5.3.5. Parafudr ayırıcı/arıza göstergesi testi

Ayırıcı veya arıza göstergelerinin fonksiyonel çalışmasını doğrular.

Uygulama durumu: Opsiyonel, ayırıcı cihaz yoksa uygulanmaz.

Muafiyet gerekçesi: Link-box içi SVL uygulamalarında ayırıcı mevcut değilse bu test kapsam dışı bırakılabilir.

5.3.6. Kısa devre dayanımı

Yüksek arıza akımlarına karşı parafudr mahfazalarının bütünlüğünü koruyabilme kapasitelerini test eder.

Uygulama durumu: Her parafudr için uygulanır.

Muafiyet gerekçesi: Muafiyet öngörülmemiştir.

Bağlamsal Uygunluk Çerçevesi (BUÇ) kullanılarak yapılan analiz sonucunda, link box içi SVL'lerin elektriksel ve termal testler açısından standart test prosedürlerine tabi olması gerektiği görülmüştür. Buna karşın, çevresel ve mekanik testlerin çoğu bağlam gereği muaf tutulabilir veya koşullu şekilde uygulanabilir. Bu durum, test süreçlerinde önemli bir teknik ve ekonomik optimizasyon potansiyeli doğurmaktadır. Özellikle çevresel testlerin maliyetli ve zaman alıcı doğası göz önüne alındığında, gereksiz testlerin ortadan kaldırılması, hem üretici hem de kullanıcı tarafında verimlilik sağlar. Elektriksel testlerin neredeyse tamamı için muafiyet tanınmaması, SVL'lerin arıza veya geçici rejimlerde devreye girerek yüksek enerji boşalttığı senaryolarda kritik işlevler üstlenmesinden kaynaklanmaktadır. Bu testler, cihazın koruma görevini gerektiği anlarda yerine getirebilme yeteneğini güvence altına alır. Buna karşılık, çevresel yaşlandırma, mekanik zorlanma veya sızdırmazlık gibi testlerin, SVL'nin kapalı, sabit ve korunaklı ortamlarda kullanılması nedeniyle aynı önemde olmayabileceği görülmektedir. Bu bağlamda, IEC 60099-4 standardının bazı testler için "açık hava uygulaması" vurgusu yapması, aslında bağlamsal farklılıkların standarda kısmen de olsa yansıdığını göstermektedir. Ayrıca, üretici test yükünün rasyonelleştirilmesi, ürün geliştirme döngüsünün hızlandırılması ve uygun maliyetli ürün sunumu açısından da bağlamsal test planlaması büyük avantajlar sunmaktadır. Ancak burada dikkat edilmesi gereken husus, muafiyetin sistem güvenliğini riske atmaması ve yerine alternatif doğrulama yöntemlerinin (örneğin tipik koşullarda hızlandırılmış yaşlandırma, simülasyon tabanlı stres analizi gibi) kullanılabilir olmasıdır. Sonuç olarak, SVL uygulamalarında bağlama duyarlı test yaklaşımlarının, hem teknik doğruluk hem de ekonomik sürdürülebilirlik açısından tercih edilmesi gerektiği görülmektedir. Ancak bu yaklaşım, standartların katı şekilde yorumlanması yerine, mühendislik analizleri ve sistem gereksinimlerinin bütüncül değerlendirilmesiyle desteklenmelidir.

6. Sonuç

Bu çalışma, Sheath Voltage Limiter (SVL) cihazlarının link box uygulamaları özelinde IEC 60099-4 standardı kapsamındaki tip test gerekliliklerinin bağlamsal olarak nasıl

değerlendirilebileceğini sistematik bir biçimde ele almıştır. Bulgular, SVL'nin yalnızca geçici rejimlerde aktifleşen ve korunaklı link box sistemleri içerisinde yer alan yapısal karakterinin, standartta tanımlanan tüm testlerin teknik olarak her durumda geçerli olmayabileceğini ortaya koymaktadır. Özellikle çevresel dayanım, mekanik zorlanma ve sızdırmazlık gibi testlerin, SVL'nin korunaklı ortamlarda çalışması ve dış ortam streslerine doğrudan maruz kalmaması nedeniyle bağlamsal olarak muaf tutulabileceği gösterilmiştir. Buna karşılık, elektriksel dayanım (yıldırım, anahtarlama darbesi, şebeke frekanslı gerilim) ve termal kararlılık (ısı dağılımı, çevrim testleri) gibi testlerin, SVL'nin esas fonksiyonlarını doğrudan etkilediği ve dolayısıyla bağlamdan bağımsız olarak uygulanması gerektiği net bir şekilde ortaya konulmuştur. Çalışmada geliştirilen "Bağlamsal Uygunluk Çerçevesi (BUÇ)", test gerekliliklerinin 5 boyutlu bir değerlendirme ile (Çevresel Maruziyet, Mekanik Zorlanma, Elektriksel Dayanım, Termal Kararlılık, Yapısal/Sızdırmazlık) analiz edilmesine olanak sağlamış, her testin "Uygulanır", "Opsiyonel" ya da "Muaf" olarak sınıflandırılmasına bilimsel ve teknik bir temel sunmuştur. Bu yaklaşım, enerji otoriteleri, dağıtım şirketleri ve şartname hazırlayıcılarının karar alma süreçlerinde teknik rasyonaliteye dayalı, bağlama duyarlı bir yol haritası izlemelerine katkı sunabilir.

Öneriler:

SVL'nin fiziksel yerleşimi (link box içinde), çevresel yalıtımı, anma boşalma akımı ve enerji sınıfı gibi teknik özellikler test gerekliliklerinin belirlenmesinde temel alınmalıdır.

Özellikle çevresel testler, mekanik yük testleri ve bükme/çekme/burulma deneyleri yalnızca dış ortam tipi (outdoor) uygulamalarda değerlendirilmelidir.

Kapalı sistemlerde kullanılan SVL'ler için test planlamasında, ürünün nominal gerilim kademesi ve kullanım amacı (örneğin dağıtım veya transformatör bağlantısı) dikkate alınmalıdır.

IEC 60099-4 standardı, test gerekliliklerini yalnızca çevresel koşullara değil, aynı zamanda parafudrun sınıfına, muhafaza yapısına ve nominal karakteristiklerine göre tanımlar. Bu nedenle, her ürün için bağlama özgü teknik değerlendirme yapılmalıdır.

"Her ürün için her test zorunludur" gibi genellemeler yerine, standardın tanımladığı uygulama sınıfı, enerji seviyesi ve yapı tipi temelli muafiyet hükümleri esas alınmalıdır.

Şartname hazırlayıcılar, uygulayıcı firmalar ve karar verici enerji otoriteleri, test taleplerini, SVL'nin kullanım bağlamı, enerji seviyesi ve muhafaza yapısı dikkate alınarak şekillendirmelidir.

Testlerin sistematik olarak uygulanması ve sonuçların teknik parametrelerle ilişkilendirilerek değerlendirilmesi, SVL'lerin performans ve güvenlik kriterlerinin objektif biçimde doğrulanmasını sağlar.

Farklı üretici ve otoriteler arasında teknik uyumun sağlanabilmesi için, IEC 60099-4 standardı temel alınarak ortak rehber dokümanlar ve uygulama prensipleri geliştirilmelidir.

Sonuç olarak, SVL cihazlarının test kapsamlarını bağlamdan bağımsız şekilde yorumlamak yerine, sistemin fiziksel yerleşimi, işletme profili ve çevresel koruma düzeyine göre şekillendirmek, hem mühendislik doğruluğu hem de kaynak verimliliği açısından daha sürdürülebilir bir yaklaşım sunmaktadır. IEC 60099-4 standardının sunduğu esnek yapı, bu bağlamsal farklılıkların teknik düzlemde meşrulaştırılmasına olanak vermektedir. Bu yaklaşımın sektörel farkındalıkla desteklenmesi, gereksiz test yüklerinden kaçınılmasını ve enerji altyapılarının daha etkin yönetilmesini sağlayacaktır.

Kaynaklar

- Akbal, B., 2020. High-voltage cable bonding to prevent cable termination faults based on zero-sequence current. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 30(3): e12212.
- ArresterWorks., 2014. Overview of the IEC 60099 4 Ed 3.0 2014 Energy Handling Tests (ArresterFacts 033 Rev 3). (https://www.arresterworks.com/arresterfacts/pdf_files/ArresterFacts_033_IEC_Energy_Handling_Tests.pdf), (Erişim Tarihi: 01.08.2025).
- Brown, M., 2018. Thermal effects of circulating currents on cable insulation. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 33(4): 2005-2013.
- Cigré Working Group A3.14., 2016. Guide for the Application of Metal Oxide Surge Arresters. CIGRÉ Technical Brochure.
- Czapp, S., Dobrzynski, K., 2020. Safety issues referred to induced sheath voltages in high voltage power cables – case study. *Applied Sciences*, 10(19): 6706.
- Czapp, S., Dobrzynski, A., 2020. Evaluation of sheath currents and voltages in hv cable systems. *Applied Sciences*, 10(19): 6706.
- Garnacho, F., Khamlichi, A., Valero, A., 2016. Guide to EHV/HV Cable Sheath Bonding Application Software. CIGRÉ Technical Brochure, Ref: ISH2015_52.
- IEC 60099-4:2014, 2014. Metal-oxide surge arresters – Part 4: Selection and application recommendations. International Electrotechnical Commission.
- IEEE Std C62.22-2010., 2010. IEEE Guide for the Application of Metal-Oxide Surge Arresters for AC Power Circuits.
- IEEE. IEEE Std 575-2014., 2014. IEEE Guide for Bonding Shields and Sheaths of Single-Conductor Power Cables Rated 5 kV through 500 kV. IEEE.
- IEEE Standards Association, 2010d. IEEE Std C62.22 2010: IEEE Guide for the Application of Metal Oxide Surge Arresters for AC Power Circuits. IEEE.
- Li, G., 2022. Analysis of excessive sheath currents in multiple cable circuits. *IET High Voltage*.
- Li, Q., Xie, Y. ve Gao, X., 2022. Protection performance assessments of two types of sheath voltage limiters by studying the effect of parameters on the voltages and absorbed energy. *Electrical Power and Energy Systems*, 143: 108596.
- Patel, U.R., Gustavsen, B., Triverio, P., 2014. Proximity-aware calculation of cable series impedance for systems of solid and hollow conductors. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 29(5): 2101-2109.
- Pham, T.C., Pham, H.T., Tran, V.T., 2019. Selection of Sheath Voltage Limiter for Mixed Overhead Underground Cable in 220 kV Transmission Lines. (<https://www.scribd.com/document/777524234/Selection-of-Sheath-Voltage-Limiter>), (Erişim Tarihi: 01.08.2025).
- Woodworth, J., 2014. Overview of the IEC 60099-4 Ed 3.0 2014 Energy Handling Tests. ArresterWorks Technical Paper. (https://www.arresterworks.com/arresterfacts/pdf_files/ArresterFacts_033_IEC_Energy_Handling_Tests.pdf), (Erişim Tarihi: 01.08.2025).

EJONS

Uluslararası Matematik, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi
International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences

Research Article

e-ISSN: 2602 - 4136

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17998151>

Hirshfeld Surface Analysis and Intermolecular Interaction Profiling of Cyproheptadine Hydrochloride Sesquihydrate

Esra ÖZTÜRK ^{*}1, Seda GÜNEŞDOĞDU SAĞDINÇ ¹

¹Kocaeli University, Department of Physics, 41380 Kocaeli, Turkey
Corresponding Author Email: esra3.ozturk@gmail.com

Article Info

Received: 14.11.2025

Accepted: 16.12.2025

Keywords

Cyproheptadine
Hydrochloride,
Hirshfeld Surface
Analysis, Crystal
Structure, Van Der
Waals Interactions

Abstract: Cyproheptadine is a serotonin and histamine antagonist exhibiting notable anticholinergic and sedative properties. In the present study, Hirshfeld surface (HS) analysis and two-dimensional (2D) fingerprint plots were utilized to gain a deeper understanding of the intermolecular interactions governing the stability of the cyproheptadine hydrochloride sesquihydrate crystal. The HS analysis, performed using CrystalExplorer17.5, enabled visualization of interaction patterns within the crystal lattice through electron density partitioning, while the 2D fingerprint plots provided a quantitative assessment of atom–atom contact contributions. The findings demonstrate that hydrogen bonding interactions predominate and play a crucial role in maintaining the structural integrity and stability of the crystal, offering valuable insights for crystal engineering and pharmaceutical formulation studies.

1. Introduction

Cyproheptadine hydrochloride (CYP HCl, $C_{21}H_{21}N \cdot HCl \cdot 1.5H_2O$), chemically known as *4-(5H-dibenzo[a,d]-cyclohepten-5-ylidene)-1-methylpiperidine hydrochloride*, is a first-generation antihistaminic compound widely recognized for its sedative and antiserotonergic effects (Sweetman et al., 2002; Yamamoto et al., 2006; Feás et al., 2009a; Feás et al., 2009b; Feás et al., 2009c). The crystal structure of its hydrochloride sesquihydrate form has previously been characterized by Birknes (Birknes, 1977), revealing its distinct molecular packing. The chemical structure of cyproheptadine hydrochloride (CYP HCl) is shown in Figure 1. In addition to histamine H_1 receptor antagonism, CYP HCl exhibits serotonin receptor-blocking activity and calcium channel-modulating properties, particularly in smooth muscle and pancreatic islet cells. Due to its broad pharmacological profile, CYP HCl has been employed not only in the treatment of allergic disorders but also in certain endocrine conditions and for alleviating side effects associated with antidepressant medications (Sweetman et al., 2002).

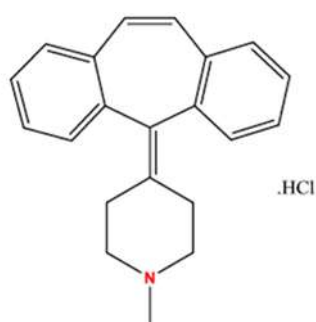


Figure 1. The chemical structure of cyproheptadine hydrochloride (CYP HCl)

Beyond its conventional antihistaminic use, cyproheptadine hydrochloride has demonstrated therapeutic efficacy in various neuropsychiatric disorders. Several studies have reported its effectiveness in reducing nightmares related to posttraumatic stress disorder (PTSD) (Feás et al., 2009a; Feás et al., 2009b). Moreover, it has been successfully used in the management of moderate to severe serotonin syndrome, a potentially life-threatening condition caused by excessive serotonergic activity. The drug's mechanism in this syndrome is attributed to dual antagonistic actions—blocking histamine H_1 receptors and inhibiting serotonin receptor subtypes 5-HT_{1A} and 5-HT_{2A}, both of which play crucial roles in mediating the symptoms of serotonin toxicity (Birknes, 1977; Yamamoto et al., 2006; Feás et al., 2009c). Structurally, only one crystalline salt form of cyproheptadine hydrochloride sesquihydrate has been reported so far in the Cambridge Structural Database (CSD entry: CYPHEP01), originally described by Birknes (Birknes, 1977). In this crystal form, the piperidine ring adopts a chair conformation and is double-bonded to a tricyclic aromatic framework, contributing to the molecular rigidity and solid-state stability of the compound.

In previous computational studies (Yoshida et al., 2014; Sağdıç et al., 2015), the molecular geometry, Mulliken charge distribution, natural bond orbital (NBO) characteristics, nonlinear optical (NLO) behavior, and vibrational frequencies of CYP HCl were investigated using both Hartree-Fock (HF) and density functional theory (DFT) methods. These analyses provided a solid theoretical basis for understanding the molecule's electronic and structural features, which now support the present crystallographic exploration.

The sesquihydrate nature of cyproheptadine hydrochloride is expected to play a significant role in its crystal packing behavior. Lattice water molecules can act as additional hydrogen-bond donors and acceptors, extending the intermolecular interaction network and contributing to a more balanced and stable crystal lattice. In contrast, a hypothetical anhydrous

form would lack such water-mediated bridging interactions, potentially resulting in a more limited hydrogen-bonding scheme and an alternative packing arrangement. Therefore, understanding the role of hydration is essential for a comprehensive interpretation of the crystal stability and intermolecular interactions of CYP HCl. Hirshfeld surface analysis is a powerful tool (Hirshfeld, 1977) for visualizing and quantifying intermolecular interactions in molecular crystals. This method extends the concept of the atomic weight function to describe not only individual atoms within a molecule but also the spatial boundaries of entire molecules in a crystalline environment. The isosurface, typically defined using a weight function $w(r) = 0.5$, encloses each molecule and partitions the crystal electron density to reveal the three-dimensional region dominated by a particular molecular unit. By incorporating contributions from both the central molecule and its surrounding atoms, this approach provides detailed insights into intermolecular interactions such as hydrogen bonding, van der Waals forces, and π - π stacking (Hirshfeld, 1977). Complementary two-dimensional (2D) fingerprint plots derived from these surfaces offer a quantitative visualization of the types and relative frequencies of intermolecular contacts, thereby enabling a deeper understanding of the crystal packing forces. Although cyproheptadine hydrochloride (CYP HCl) has been the subject of several pharmacological and computational studies, detailed crystallographic investigations such as Hirshfeld (Hirshfeld, 1977) surface or fingerprint plot analyses appear to be rather limited. Therefore, in this study, the intra and intermolecular interactions of CYP HCl were systematically examined through Hirshfeld surface and two-dimensional fingerprint plot analyses to elucidate the key factors governing its molecular packing and crystal stability.

2. Materials and Method

Cyproheptadine hydrochloride sesquihydrate ($C_{21}H_{21}N \cdot HCl \cdot 1\frac{1}{2}H_2O$) crystallizes in the orthorhombic crystal system (Figure 2.), space group Fdd2, with unit cell parameters $a = 43.53(1) \text{ \AA}$, $b = 18.226(6) \text{ \AA}$, $c = 9.578(4) \text{ \AA}$, and $Z = 16$. One water molecule is located on a twofold symmetry axis. The tricyclic core of the molecule is folded, with an angle of 124.1° between the planes of the two benzene rings. (Sağdınc et al., 2015). The piperidine ring adopts a chair conformation, while the seven-membered ring exhibits a boat conformation. The cyproheptadine molecule displays Cs symmetry within the experimental limits. The crystal structure was refined to an R-factor of 3.9%. The ring system can be approximately divided into two distinct planes, each defined by a benzene ring.

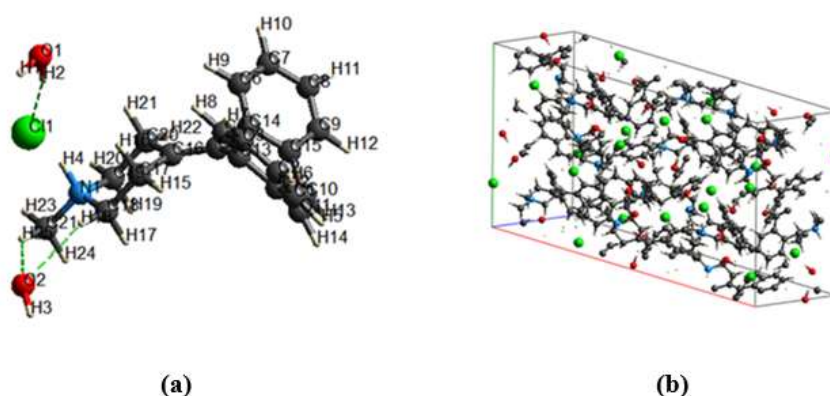


Figure 2. (a) The crystal structure, **(b)** crystal packing fragment (along a crystal axis) of Cyproheptadine hydrochloride sesquihydrate

A Hirshfeld surface (HS) analysis was performed using CrystalExplorer 17.5 to examine and visualize the intermolecular interactions present within the crystal structure of the title

compound (Moser et al., 1990; McKinnon et al., 2004). In this method, the distances from any point on the Hirshfeld surface to the nearest internal and external nuclei are expressed as d_i and d_e , respectively. The d_{norm} parameter, which provides a normalized measure of intermolecular contact distances, is calculated using d_i , d_e , and the van der Waals (vdW) radii of the involved atoms (Baylan et al., 2019).

$$d_{norm} = \frac{d_i - r_i^{vdW}}{r_i^{vdW}} + \frac{d_e - r_e^{vdW}}{r_e^{vdW}} \quad (1)$$

The d_{norm} surface has been visualized using a red–white–blue color scheme. Intermolecular contacts that are shorter than the sum of the van der Waals (vdW) radii are shown as red spots on the surface, indicating close interactions. Blue regions correspond to longer contacts, while white areas represent contacts approximately equal to the sum of the vdW radii.

The shape index (S) is a measure of the surface shape and is defined in terms of the principal curvatures κ_1 and κ_2 . It is given by Eq. (2):

$$S = \frac{2}{\pi} \arccos \left(\frac{\kappa_1 + \kappa_2}{\kappa_1 - \kappa_2} \right) \quad (2)$$

Curvedness (C) is a measure of how much curvature is present on the surface, and it is defined in terms of the principal curvatures κ_1 and κ_2 and given by Eq. (3).

$$C = \frac{2}{\pi} \ln \sqrt{\kappa_1^2 + \kappa_2^2} / 2 \quad (3)$$

Two-dimensional (2D) fingerprint plots were generated from the Hirshfeld surfaces to provide a visual and quantitative summary of the intermolecular contacts within the crystal structure (Spackman et al., 2002). These plots illustrate the frequency distribution of distance pairs d_e and d_i across the molecular surface by correlating these two parameters, the plots enable the identification of distinct types of intermolecular interactions and the estimation of the relative surface area associated with each contact type (Spackman et al., 2002).

In general, hydrogen bonding interactions dominate the overall pattern of these plots, typically appearing as two sharp, symmetric spikes extending toward the lower left region. The position and intensity of these spikes provide valuable information regarding the strength and nature of hydrogen bonds. Specifically, the upper spike (where $d_e > d_i$) represents the hydrogen bond acceptor region, while the lower spike (where $d_i > d_e$) corresponds to the donor region. In addition to hydrogen bonds, broad and diffuse regions in the plots signify van der Waals interactions and $H \cdots H$ contacts, while less frequent features may indicate $\pi \cdots \pi$ stacking or halogen-mediated interactions, depending on the molecular environment. Collectively, these 2D plots complement the 3D Hirshfeld surface visualization by quantifying and distinguishing the contributions of different interaction types to the overall crystal packing.

3. Results and Discussion

In the Hirshfeld surface (HS) (Figure 3) mapped over d_{norm} , the white regions indicate contacts with distances approximately equal to the sum of van der Waals (vdW) radii. Red regions represent closer-than-expected contacts (shorter than the vdW radii), indicating strong or close interactions, while blue regions correspond to longer contacts (distant interactions). Bright red spots observed near atoms H1, H2, H3, Cl1, and others highlight their involvement as donors or acceptors in the dominant C–H $\cdots$ O and O–H $\cdots$ Cl hydrogen bonding interactions. These oxygen and hydrogen atoms also appear as blue and red regions, respectively, on the electrostatic potential-mapped Hirshfeld surface, corresponding to positive and negative electrostatic potentials. In this mapping, blue regions indicate areas of positive electrostatic potential (typically hydrogen bond donors), whereas red regions correspond to negative potential zones (typically hydrogen bond acceptors). In this study, the molecular Hirshfeld surfaces, d_{norm} in the range of -0.5712 to 1.3458, d_e in the range of 0.7538 to 2.6295, d_i in the range of 0.7547 to 2.6255 of Cyproheptadine hydrochloride sesquihydrate are shown in Figure 3. As can be seen in Figure 3(a), d_{norm} map revealed significant red spots around electronegative atoms and hydrogen donors, which are indicative of hydrogen bonding interactions. Blue regions correspond to longer contacts, confirming the absence of close intermolecular interactions in these areas, while in Figure 3(b), d_i mapping highlighted regions of close proximity to the atomic cores. Small d_i values (blue) were concentrated around hydrogen atoms, whereas larger d_i values (green/yellow) were associated with bulkier substituents. This indicates steric crowding near hydrogen donors and also in Figure 3(c), d_e mapping demonstrated red areas around electronegative atoms, emphasizing short external contacts, while blue/green zones suggested less accessible regions. These results complement the d_i analysis and further confirm the dominance of hydrogen bonding.

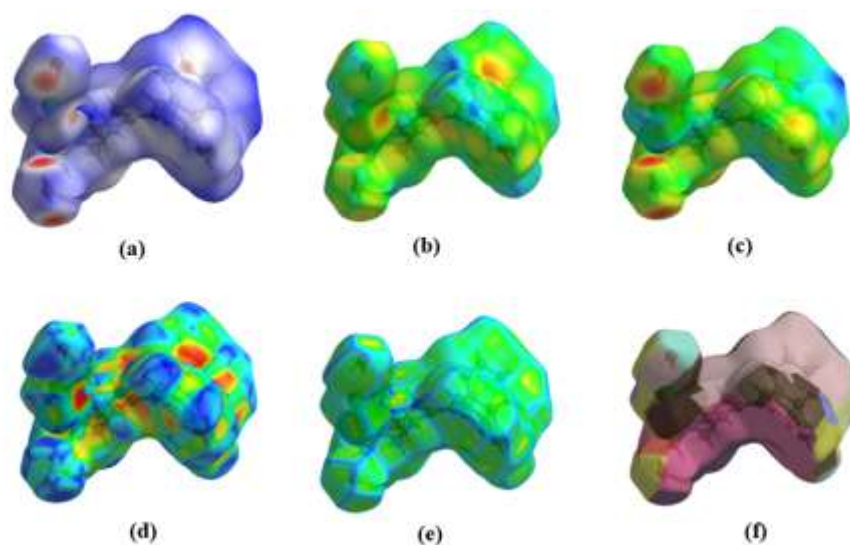


Figure 3. View of 3D Hirshfeld surface of the title complex plotted over (a) d_{norm} , (b) d_e , (c) d_i , (d) shape index, (e) curvedness and (f) fragment patch of the molecule.

The shape index and curvedness maps are useful tools for recognizing distinctive packing features within the crystal, including planar stacking motifs and the specific patterns by which neighboring molecules interact with each other (Baylan et al., 2019). Shape index mapped in the color range of -1.0000 to 1.0000, curvedness in the range of -4.0000 to 0.4000 and fragment patch in the range of 0 to 32.000 of Cyproheptadine hydrochloride sesquihydrate are shown in Figure 3. As can be seen in Figure 3(d), the shape index displayed alternating red and blue

patches on aromatic rings, characteristic of $\pi \cdots \pi$ stacking interactions. These face-to-face contacts are crucial in stabilizing layered arrangements in the crystal lattice. In Figure 3(e), the curvedness map identified large flat green regions, which are indicative of potential stacking interactions. Highly curved blue areas correspond to sterically hindered sites, reducing the likelihood of intermolecular overlap in these regions and in Figure 3(f), the fingerprint patch surface clearly separated different types of intermolecular contacts by color coding. Hydrogen $\cdots$ hydrogen, hydrogen $\cdots$ oxygen, and hydrogen $\cdots$ halogen interactions were distinguished, highlighting their individual contributions to the overall crystal packing.

The two-dimensional (2D) representation of the Hirshfeld surface is known as the fingerprint plot (Figure 4). These plots can be decomposed to highlight specific atom-pair close contacts, defined by d_e and d_i , across the molecular surface. This allows not only the identification of different types of intermolecular interactions but also provides insight into the relative surface area associated with each interaction type. Hydrogen bonds are the dominant features in these plots, typically appearing as a pair of sharp spikes pointing toward the bottom left corner of the plot. In each case, the upper spike (where $d_e > d_i$) corresponds to a hydrogen bond donor, while the lower spike (where $d_e < d_i$) corresponds to a hydrogen bond acceptor (Baylan et al., 2019). The two-dimensional (2D) fingerprint plots (Figure 4a-j) provide a detailed visualization of the intermolecular contacts that govern the crystal packing of cyproheptadine hydrochloride sesquihydrate. As shown in Figure 4(a), the overall plot offers a global view of the crystal interactions. The dense blue region in the center and the two sharp downward spikes indicate that most points on the Hirshfeld surface are in close proximity to hydrogen atoms. This observation suggests that the crystal structure is primarily stabilized by hydrogen-involving interactions ($H \cdots H$, $H \cdots C$, $H \cdots Cl$, and $H \cdots O$), rather than a single dominant bonding motif. In Figure 4(b), the plot isolating the $Cl \cdots H/H \cdots Cl$ contacts reveals a distinct, narrow spike, characteristic of directional hydrogen bonds involving chlorine atoms. These interactions, typically observed in $N-H \cdots Cl$ or $O-H \cdots Cl$ motifs, exhibit a pronounced electrostatic component that contributes significantly to crystal cohesion, even though their overall surface contribution is moderate. The $O \cdots H/H \cdots O$ interactions, illustrated in Figure 4(c), appear as short spikes near the lower left region of the plot, confirming hydrogen bonds involving water molecules within the lattice consistent with the sesquihydrate nature of the compound. Their relatively small proportion indicates that only a limited number of water-mediated contacts locally reinforce the lattice structure. As depicted in Figure 4(d), the $O \cdots C/C \cdots O$ contacts are minimal, reflected by the nearly featureless fingerprint. This finding supports the role of oxygen atoms as hydrogen-bond acceptors rather than as participants in close carbon contacts, emphasizing their polar rather than dispersive contribution to the lattice. In Figure 4(e), the reciprocal $H \cdots Cl$ plot confirms the mutual participation of hydrogen and chlorine atoms in short, directional contacts, further validating the presence of a stable hydrogen-bonding network within the crystal. Similarly, Figure 4(f) presents the $H \cdots O$ interactions, which display a weaker but consistent pattern compared with Figure 4(c). These contacts are attributed to hydrogen atoms bonded to oxygen or nitrogen donors that interact with lattice water molecules, supporting the presence of a water-bridged hydrogen-bonding network. The dominant feature in Figure 4(g) corresponds to $H \cdots H$ interactions, accounting for approximately 56.4% of the total surface area. The broad and diffuse blue region reflects extensive van der Waals contacts between hydrogen atoms of neighboring molecules. Although individually weak, these numerous interactions collectively define the dense molecular packing typical of organic crystals. In Figure 4(h), the $H \cdots C/C \cdots H$ contacts ($\approx 10\%$) represent close approaches between hydrogen atoms and the aromatic carbon framework. The elongated blue streak suggests weak $C-H \cdots \pi$ and edge-to-face interactions that enhance lattice stabilization through dispersive forces. The contributions of $C \cdots O$ contacts in Figure 4(i) are negligible, indicating minimal overlap between carbon atoms and oxygen lone pairs. This finding

reinforces the idea that oxygen participates mainly in hydrogen bonding, with little involvement in π -O or dipolar interactions. Finally, the $C\cdots H$ contacts shown in Figure 4(j) display a broader and more diffuse distribution, representing multiple geometrically distinct approaches between carbon and hydrogen atoms. Together with $H\cdots C$ contacts, they contribute to efficient molecular packing and complement the overall hydrogen-bonding framework. Quantitatively, the decomposed fingerprint plots show that the crystal packing is stabilized by a balance between strong polar and weak dispersive interactions. $H\cdots H$ contacts (56.4%) dominate, reflecting the hydrogen-rich molecular surface. $H\cdots C$ and $C\cdots H$ interactions (≈ 21 –22%) contribute to π -associated dispersion around the tricyclic aromatic system. The $H\cdots Cl/Cl\cdots H$ contacts (≈ 14 –15%) and $H\cdots O/O\cdots H$ interactions ($\approx 7\%$) highlight the key structural roles of chloride anions and water molecules in forming hydrogen-bonding networks that anchor the lattice. The negligible contribution of $C\cdots O$ and $O\cdots C$ ($<1\%$) confirms that oxygen atoms act primarily as hydrogen-bond acceptors rather than engaging in nonpolar contacts.

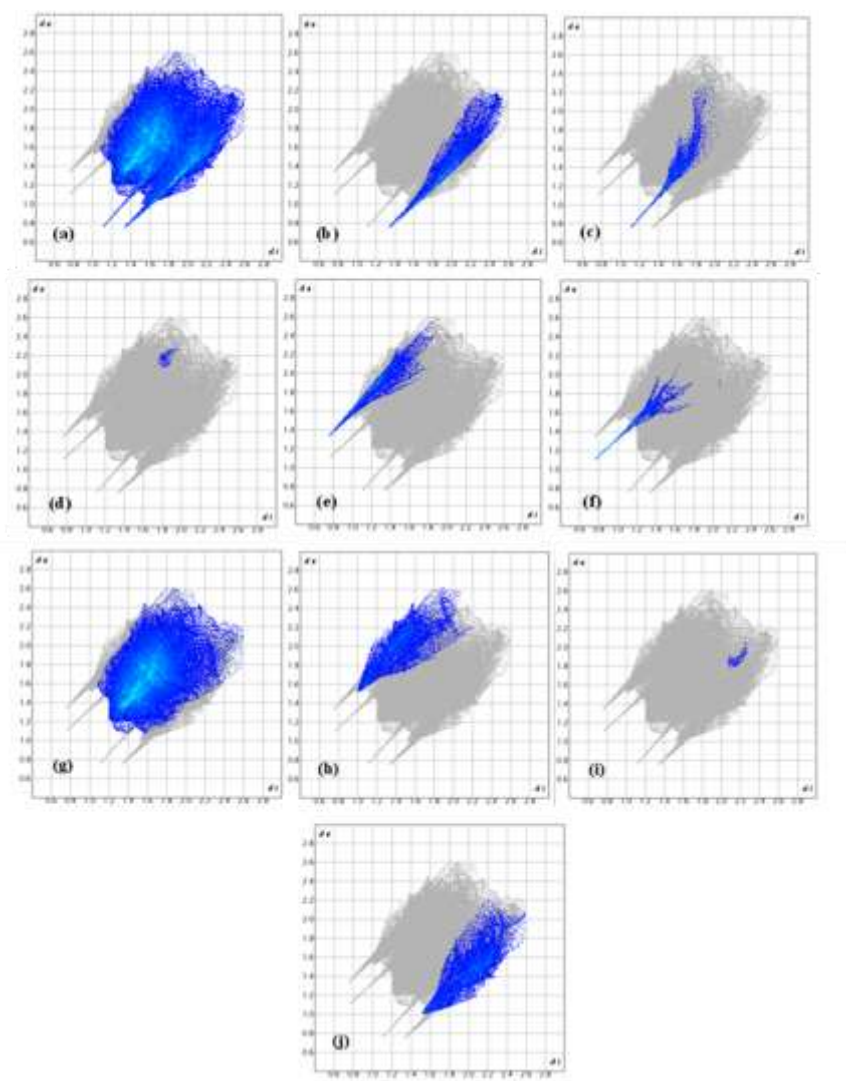


Figure 4. 2-D fingerprint plots of (a) all, (b) Cl-H, (c) O-H, (d) O-C, (e) H-Cl, (f) H-O, (g) H-H, (h) H-C, (i) C-O, (j) C-H interactions.

Overall, these findings demonstrate that the crystal packing of cyproheptadine hydrochloride sesquihydrate is dominated by hydrogen-mediated interactions, with chloride and water molecules serving as pivotal acceptor sites in the lattice. The combination of strong hydrogen bonds and complementary van der Waals and π -type interactions results in a stable,

compact molecular arrangement typical of pharmaceutically relevant organic salts. The percentage contributions of various intermolecular contacts obtained from the Hirshfeld surface analysis are summarized in Table 1.

Table 1. Percentage contributions of intermolecular contacts to the Hirshfeld surface of cyproheptadine hydrochloride sesquihydrate.

Contact Type	Interaction Symbol	Percentage Contribution (%)	Interaction Type
Hydrogen–Hydrogen	H···H	56,4	van der Waals
Hydrogen–Carbon	H···C	11,6	C–H··· π / dispersion
Carbon–Hydrogen	C···H	10,1	C–H··· π / dispersion
Hydrogen–Chlorine	H···Cl	9,2	Hydrogen bonding
Chlorine–Hydrogen	Cl···H	5,3	Hydrogen bonding
Hydrogen–Oxygen	H···O	3	Hydrogen bonding (via water)
Oxygen–Hydrogen	O···H	4	Hydrogen bonding (via water)
Oxygen–Carbon	O···C	0,1	Weak / negligible
Carbon–Oxygen	C···O	0,1	Weak / negligible

5. Conclusions

In this study, a comprehensive Hirshfeld surface and two-dimensional fingerprint plot analysis was performed on Cyproheptadine Hydrochloride Sesquihydrate to elucidate the key intermolecular interactions governing its crystal structure and stability. The analysis revealed that hydrogen bonding plays a dominant role in the molecular packing, supported by secondary van der Waals and $\pi\cdots\pi$ stacking interactions that contribute to the overall lattice cohesion. Specifically, H···H contacts accounted for more than half of the total surface contribution, confirming the hydrogen-rich environment of the molecule, while H···Cl and H···O interactions were identified as the major directional hydrogen bonds responsible for stabilizing the crystalline network through chloride anions and lattice water molecules. The 3D Hirshfeld surfaces, mapped over parameters such as d_{norm} , d_i , d_e , shape index, and curvedness, provided detailed visualization of close contacts, revealing the spatial distribution of electrostatic and dispersive interactions within the crystal lattice. The corresponding 2D fingerprint plots quantitatively decomposed these interactions, allowing the identification of dominant contact types and their relative contributions to crystal packing. These findings highlight the balance between strong polar and weak dispersive forces, which collectively ensure the structural robustness of the compound. The dominance of hydrogen bonding interactions, supported by lattice water molecules and complementary dispersive contacts, suggests that the sesquihydrate form of cyproheptadine hydrochloride possesses enhanced solid-state stability and a well-defined hydration environment, factors that are highly relevant for solid-form selection and pharmaceutical formulation. From a pharmaceutical standpoint, understanding the nature of these interactions provides valuable insights into the physicochemical behavior of Cyproheptadine Hydrochloride Sesquihydrate. The hydrate form, stabilized by hydrogen-bonding networks, is likely to exhibit enhanced storage stability and consistent bioavailability compared to its anhydrous counterparts. Therefore, the present results not only contribute to a deeper understanding of the crystallographic characteristics of CYP HCl Sesquihydrate but also provide a structural foundation for rational drug design, solid-form selection, and quality control in pharmaceutical formulations.

Declaration of Author Contributions

All authors declare that they have contributed equally to this manuscript, have reviewed the final version, and have approved it for publication.

Declaration of Conflicts of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding this study.

References

- Baylan, D., Sağdıç, S.G., 2019. Hirshfeld surface analysis of diclofenac acid. *AIP Conference Proceedings*, 2178: 030029.
- Birknes, B., 1977. The structure of an antihistamine: cyproheptadine hydrochloride sesquihydrate, *Acta Crystallographica*, B33: 687-691.
- Feás, X., Ye, L., Regal, P., Fente, C.A., Hosseini, S.V., Cepeda, A., 2009a. Application of dummy molecularly imprinted solid-phase extraction in the analysis of cyproheptadine in bovine urine. *Journal of Separation Science*, 32: 1740-1747.
- Feás, X., Seijas, J.A., Vázquez-Tato, M.P., Regal, P., Cepeda, A., Fente, C., 2009b. Syntheses of molecularly imprinted polymers: Molecular recognition of cyproheptadine using original print molecules and azatadine as dummy templates. *Analytica Chimica Acta*, 631: 237-244.
- Feás, X., Fente, C.A., Hosseini, S.V., Seijas, J.A., Vázquez, B.I., Franco, C.M., Cepeda, A., 2009c. Use of acrylic acid in the synthesis of molecularly imprinted polymers for the analysis of cyproheptadine. *Materials Science and Engineering C*, 29: 398-404.
- Hirshfeld, F.L., 1977. Bonded-atom fragments for describing molecular charge densities. *Theoretical Chemistry Accounts*, 44: 129-138.
- McKinnon, J.J., Spackman, M.A., Mitchell, A.S., 2004. Novel tools for visualizing and exploring intermolecular interactions in molecular crystals. *Acta Crystallographica*, B60: 627-668.
- Moser, P., Sallman, A., Weisemberg, I., 1990. Synthesis and quantitative structure-activity relationships of diclofenac analogs. *Journal of Medicinal Chemistry*, 33: 2358-2368.
- Sağdıç, S.G., Erdaş, D., Gündüz, I., Şahintürk, A.E., 2015. FT-IR and FT-Raman spectra, molecular structure and first-order molecular hyperpolarizabilities of a potential antihistaminic drug, cyproheptadine HCl. *Spectrochimica Acta, Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 134: 350–360.
- Spackman, M.A., McKinnon, J.J., 2002. Fingerprinting intermolecular interactions in molecular crystals. *CrystEngComm*, 4: 378-392.
- Sweetman, S.C., 2002. Martindale-The Complete Drug Reference (33rd Ed.). Pharmaceutical Press, London.
- Yamamoto, Y., Niwa, S., Iwayama, S., Koganei, H., Fujita, S., Takeda, T., Kito, M., Ono, Y., Saitou, Y., Takahara, A., Iwata, S., Yamamoto H., ShojiBioorg, M., 2006. Discovery, structure activity relationship study, and oral analgesic efficacy of cyproheptadine derivatives possessing N-type calcium channel inhibitory activity. *Medical Chemistry*, 14: 5333-5339.
- Yoshida, T., Mashima, A., Sasahara, K., Chuman, H., 2014. A simple and efficient dispersion correction to the Hartree–Fock theory. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 24(4): 1037-1042.

EJONS

Uluslararası Matematik, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi
International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences

Research Article

e-ISSN: 2602 - 4136

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17999088>

Neuroprotective Properties of Naringenin Against 5-Fluorouracil Chemotherapy in an Adult Rat Model

Sedat BİLGİÇ ^{*1}, İbrahim AKTAŞ ², Ahmad YAHYAZADEH ³

¹ Department of Medical Biochemistry, Vocational School of Health Services, Adıyaman University, Adıyaman, Türkiye

² Adıyaman University, Department of Pharmacology, Vocational School of Health Services, Adıyaman, Türkiye

³ Department of Histology and Embryology, Faculty of Medicine, Karabuk University, Karabuk, Türkiye
Corresponding Author Email: sbilgic@adiyaman.edu.tr

Article Info

Received: 10.11.2025

Accepted: 16.12.2025

Keywords

Naringenin,
5-Fluorouracil,
Brain,
Neurotoxicity,
Neuroprotective

Abstract: Fluorouracil (5-FU), a widely used chemotherapeutic agent, is known to induce oxidative stress and neurotoxicity in addition to its anticancer effects. The aim of our study is to determine the protective effect of naringenin (NAR) with antioxidant capacity against the undesirable effects that 5-FU used against cancer may have on the brain. Twenty-eight adult male Sprague–Dawley rats were randomly assigned to four groups (n = 7 each): control, NAR, 5-FU, and 5-FU + NAR. 150 mg/kg 5-FU was administered intraperitoneally to the 5-FU and 5-FU + NAR groups. 100 mg/kg NAR was administered to the NAR and 5-FU + NAR groups via a gavage catheter. Biochemical analyses performed on brain tissues taken from the animals at the end of the experiment showed that 5-FU increased the levels of brain oxidative stress markers. It was found that glutathione (GSH), superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) levels decreased and malondialdehyde (MDA) levels increased in brain tissue due to the effect of 5-FU. It was also confirmed that the situation was normalized as a result of the combined application of 5-FU and NAR. Immunohistochemical studies showed that 5-FU increased the expression of caspase 3 and TNF- α in the brain, while NAR, which has antioxidant, antiapoptotic and anti-inflammatory effects, largely inhibited their increase. These findings suggest that NAR may serve as a promising adjunct therapeutic agent to mitigate neurotoxicity associated with 5-FU chemotherapy.

1. Introduction

Chemotherapy is one of the leading methods used in modern medicine to combat cancer. In addition, it is known that chemotherapy drugs cause oxidative stress in animals and humans (Il'yasova et al., 2011). These drugs have also been found to increase lipid peroxidation and upregulate levels of malondialdehyde (MDA) in the hippocampus (Ashok and Sheeladevi, 2014). Therefore, as a result of an increase in MDA levels, cognitive impairment and neuronal loss can develop in the brain. One of the most common problem encountered in chemotherapy is the good balancing of damage to tumor cells and healthy tissues. The negative side effects encountered in this treatment also make it difficult for patients to comply with the treatment and follow-up to the treatment (Han et al., 2008).

One of the medications used for treatment in this regard is 5-fluorouracil (5-FU) (Mihlon, et al., 2010). 5-FU is an antimetabolite used in the treatment of many cancers, including prostate, colorectal (bowel), and breast cancer. It has also been confirmed that this chemotherapeutic drug passively crosses the blood brain barrier and damages cell proliferation processes (Formica et al., 2006). In addition, 5-FU performs its anticancer activity by inhibiting the thymidylate synthase enzyme. 5-FU's inhibition of this enzyme also causes DNA damage (ElBeltagy et al., 2012). The incorporation of metabolites of 5-FU into RNA causes disruption and damage to RNA functions. Studies provide data indicating that 5-FU negatively affects cell proliferation and cell survival in the rat brain. As a result, it has been confirmed that this situation can cause a decrease in immature neurons and cognitive impairment (ElBeltagy et al., 2010). Previous studies have demonstrated that 5-FU increases the expression of TNF- α and caspase-3, which are markers of inflammation and apoptosis, respectively, in the cerebellum, cerebrum and hippocampus (Zhang et al., 2019; Zhou et al., 2023; Raafata et al., 2023). 5-FU also causes a formation called chemobrain in which cognitive changes occur (Mustafa et al., 2008). It has also been reported that 5-FU triggers oxidative stress, hippocampal neurodegeneration, neuroinflammation and lipid peroxidation by increasing harmful oxygen radicals. Moreover, 5-FU reduces the expression of markers of immature neurons and the antioxidant defense system in rat brain (Welbat et al., 2018).

In patients receiving cancer treatment, reducing the side effects that occur and providing alternatives that support the treatment can increase the chance of success. Supportive herbal products are used to enable these patients to live a better quality of life, reduce the unwanted effects of chemotherapy, achieve a stronger immune system, and minimize the spread of cancer. In this regard, the use of herbal medicines together with drugs used in cancer treatment is increasing. Flavonoids, an antioxidant abundant in human food sources, are frequently used in the treatment of chronic diseases (Chen et al., 2007; Azirak et al., 2019). Naringenin (NAR) is a natural flavanone constituent isolated from citrus fruits, grapes, cherries, bergamot, tomatoes, and plants. The biological activities of NAR include antioxidant, anti-inflammatory, antitumor, anti-apoptotic and neuroprotective properties (Mir and Tikku, 2015). In previous studies, various benefits of NAR used for therapeutic purposes in neurodegenerative diseases such as Parkinson's disease, neuroinflammation, neurotoxicity have been proven (Krishna Chandran et al., 2019; Azirak et al., 2025). It was also found in these studies that the blood brain barrier could not prevent the passage of NAR (Youdim et al., 2003). NAR can provide both an increase in cognitive functions and protection against neurodegeneration due to its antioxidant properties (Ghofrani et al., 2015). NAR exhibits neuroprotective effects against oxidative stress and prevents neuronal death. NAR achieves these beneficial effects through its antioxidant capacity and regulating effect on neuronal survival (Spencer, 2008).

In this study, the neuroprotective effects of NAR against the adverse effects of 5-FU in a rat model were investigated biochemically and immunohistochemically.

2. Material and Methods

2.1. Chemicals

5-FU, which we used in the current study, was ordered from Actavis (Little Island, Cork, Ireland) and NAR from Madaus (Madaus, Istanbul, Turkey). Other chemicals we needed were purchased from Sigma Kimya A.Ş.

2.2. Experimental applications

In our applications, 28 Sprague-Dawley type male rats weighing 210-255 g and 8-9 weeks old were obtained from Adıyaman University Research Center. The experimental study was carried out after receiving ethics committee approval (2024/021). The rats were given fresh drinking water every day and cage cleaning was performed regularly. Additionally, the shelters were set to an environment where the temperature was $21 \pm 2^{\circ}\text{C}$, the humidity was $50 \pm 5\%$, and the lighting was 12 hours light and 12 hours dark. Standard pellet feed was used ad libitum to feed the subjects. Rats were randomly divided into 4 equal groups according to the inducing and protective agents to be given. All experimental procedures were conducted in accordance with the National Institutes of Health Guidelines for the Care and Use of Laboratory Animals (NIH Publications No. 8023, revised 1978) and ARRIVE Guidelines.

1. Control group (n = 7): These rats were not given any medication.
2. Experimental group (5-FU group, n = 7): In the experiment, a single dose of 5-FU (150 mg/kg) was administered i.p. on day 6 (Arafah et al., 2022).
3. Experimental group (NAR group, n = 7): NAR was orally administered to these rats after being dissolved in 100 mg/kg distilled water for 7 days (Wali et al., 2020).
4. Experimental group (5-FU + NAR group, n = 7): 5-FU and NAR were administered at the same routes and doses as the previous groups.

Rats were sacrificed on day 7 after intramuscular injection of ketamine (30 mg/kg i.m.) and xylazine (5 mg/kg i.m.) and an intracardiac blood sample was taken using a syringe to determine brain enzyme activity. Serum samples were separated by centrifugation at $5,000 \times g$ for 15 min and the serum was stored at -80°C for biochemical analysis. Brain tissues were excised and weighed. The brain was divided into two parts. One part was stored at -80°C until biochemical analysis was performed. The other part was fixed in 10% neutral formalin for histopathological evaluation.

2.3. Oxidative stress biomarkers

Brain homogenization was performed using a homogenizer (Turrax T 25, Wilmington, USA). Homogenates (0.5-1.0 g tissue) were obtained by centrifuging the samples at $10,000 \times g$ for 15 min at 4°C . Glutathione (GSH), catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD) and MDA were determined using a spectrophotometer (UNICO Instruments C., Dayton, USA). Protein density analysis was performed using the method of Lowry et al. (1951) (Lowry et al., 1951). MDA was evaluated using the Draper and Hadley (1990) method. The tissues were reacted with thiobarbituric acid (95°C , pH 3 and 15 min) and a pink pigment was obtained. The parameter evaluation process was calculated on a device (UNICO Instruments C., Dayton, USA) with maximum absorption at 532 nm (Draper and Hadley, 1990). GSH was assessed by the method of Ellman (1959). 5'-dithiobis 2-nitrobenzoic acid was added to the prepared sample and a yellow-green color was formed as a result of the reaction between this chemical and glutathione. The measurement was made with a spectrophotometer (410 nm absorbance) (Ellman, 1959). SOD was measured by the method of Marklund and Marklund (1974). The mechanism is inhibition of autoxidation of pyrogallol. The measurement was made in a

spectrometer (180 s at 440 nm) and determined as U/mg Hb (Marklund and Marklund, 1974). CAT was measured by the method of Aebi (1984). Analysis; 10% homogenates were centrifuged (15 min, 4°C and $8,500 \times g$) in 0.9% NaCl and hydrolysis of hydrogen peroxide was performed in phosphate buffer (pH 7.0). The measurement was determined as nmol/mg protein in a spectrometer (240 nm absorbance) (Aebi, 1984).

2.4. Histological analysis

After anesthesia was performed and the brain was removed, it was left to fix in 10% neural formalin solution for one day. After fixation, the tissues were washed in tap water overnight, dehydrated by passing through a graded alcohol series, and polished by passing through a xylol series. The tissues were then infiltrated in liquid paraffin and embedded in paraffin. After this stage, the tissue blocks obtained were cut with a microtome at 5 μ m thickness and placed on polylysine-coated slides.

2.5. Immunohistochemistry

Tissue sections deparaffinised by passing through xylene and alcohol series were subjected to Microwave-stimulated antigen retrieval step as detailed in previous publication (Gur and Timurkaan, 2012). After this process, tissue sections were incubated with 3% (in methanol) H_2O_2 for 5 minutes to block endogenous peroxidase. Polyclonal primary antibodies used in the study, anti-caspase-3 (AF6311, lot 73g3336) and anti-TNF- α (AF7014, lot 2h43451), were diluted 1/100 and 1/200 with PBS, respectively. Then, tissue sections were incubated with diluted primary antibodies in a humid chamber for 16-20 hours. Tissue sections used as negative control were incubated with PBS instead of primary antibody. After incubation, tissue sections that went through the steps detailed in previous study (Gur and Aktas, 2020; Gur, 2022) were examined and photographed with an Olympus Bx-52 photomicroscope.

2.6. Statistical analysis

Data were calculated as mean $\pm$ standard error (SEM). The Shapiro-Wilk test was used in the normality assessment process. Parametric and non-parametric data were obtained in biochemical parameters. ANOVA and Tukey HSD paired comparison methods were used when comparing groups with homogeneous variance. The Welch test was used for groups with heterogeneous variances. The processes of the Kruskal Wallis test were adhered to in evaluating non-parametric data. $P \leq 0.05$ value was taken as basis for statistical significance.

3. Results

3.1. Oxidative stress analyses

MDA increased in the 5-FU group compared to the control ($p < 0.01$). Antioxidants GSH ($p < 0.02$), SOD ($p < 0.03$) and CAT ($p < 0.01$) decreased in 5-FU compared to the control. Treatment of 5-FU in combination with NAR shows significant outcomes compared to 5-FU alone. It was observed that NAR application (5-FU + NAR) normalized all the deteriorated values in 5-FU by preventing oxidative stress (Table 1).

Table 1. Brain tissue oxidative stress biomarkers

Brain tissue oxidative stress biomarkers	Control	NAR	5-FU	5-FU + NAR
SOD (U/mg protein)	5.01 ± 0.09^b	6.69 ± 0.34	$3.08 \pm 0.29^{a,c}$	4.85 ± 0.14^b
CAT (k/g protein)	2.33 ± 0.40^b	3.58 ± 0.25	$1.04 \pm 0.32^{a,c}$	2.01 ± 0.31^b
GSH (μ mol/g)	0.304 ± 0.23^b	0.475 ± 0.41	$0.105 \pm 0.16^{a,c}$	0.320 ± 0.30^b
MDA (nmol/g tissue)	2.05 ± 0.20^b	3.14 ± 0.09	$1.46 \pm 0.22^{a,c}$	2.40 ± 0.05^b

Data are means $\pm$ SEM, n = 7.

a: Significant from Control; b: Significant from 5-FU; c: Significant from 5-FU + NAR.

Abbreviations: 5-FU: 5-Fluorouracil; NAR: naringenin; SOD: superoxide dismutase; CAT: catalase; GSH: glutathione; MDA: malondialdehyde.

3.2. Immunohistochemistry

When the brain and cerebellum tissues of the control and NAR group rats were examined, it was determined that these tissues were TNF- α -negative. In the brain tissues of the FU group rats, it was observed that some of the pyramidal and other neurons were TNF- α -positively stained, while others were TNF- α -negative. TNF- α -positive and negatively stained neurons were found in the molecular layer of the cerebellum tissue. In the examinations, it was seen that most of the Purkinje cells and type II ganglion cells were TNF- α -positive. Although TNF- α expression in the brain and cerebellum tissues of the 5-FU + NAR group rats decreased compared to the FU group. TNF- α was evaluated as positive in some of the Purkinje cells and other neurons (Figure 1.). Although caspase-3-positive immunoreaction was formed in all examined groups, positive staining was observed the most in the FU group. It was observed that most of the pyramidal and other neurons in the brain tissue of the FU group rats were caspase-3-positive. However, caspase-3-positive immunoreaction in cerebellar tissue was only observed in Purkinje cells. Some of the Purkinje cells of the rats in this group were caspase-3-positive, while the others were negative. Although caspase-3 expression in the brain and cerebellar tissues of the rats in the 5-FU + NAR group was decreased compared to the FU group, the proportion of caspase-3-positive Purkinje cells and other neurons was higher than in the control and NAR groups (Figure 1.).

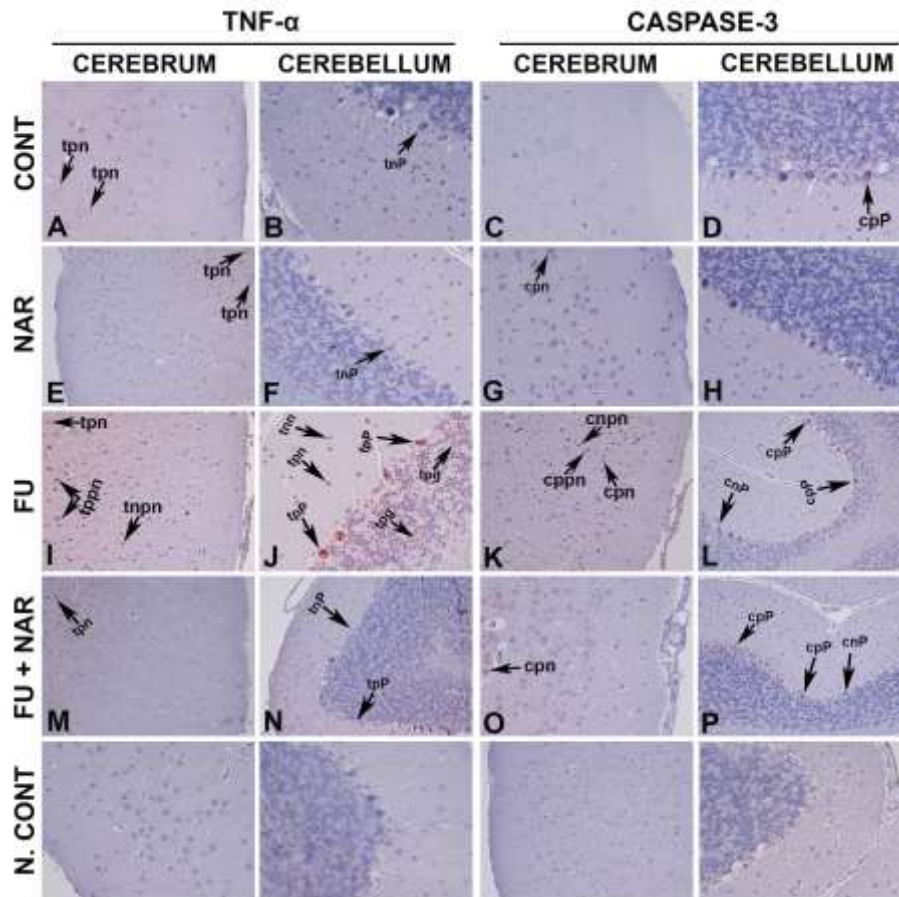


Figure 1. TNF- α and CAS-3 positive cells in brain tissue sections of control, NAR, FU and 5-FU + NAR groups. tpn, TNF- α -positive neuron; tnn, TNF- α -negative neuron; tppn, TNF- α -positive pyramidal neuron; tnP, TNF- α -negative Purkinje cell; tpP, TNF- α -positive Purkinje cells; tpg, TNF- α -positive Golgi type II cell; cpn, CAS-3-positive neuron; cppn, caspase-3-positive pyramidal neuron; cnP, CAS-3-negative Purkinje cells; cpP, caspase-3-positive Purkinje cells; cnP, CAS-3-negative Purkinje cells (E, I, K, L, M, N, P $\times 200$; A, B, C, D, F, G, H, J, O $\times 400$).

4. Discussion

5-FU neurotoxicity remains poorly understood, with limited mechanistic or prospective clinical trial data available to define risk factors or effective management strategies. The use of chemotherapeutic drugs for therapeutic purposes is extremely common in clinical areas (Iraz et al., 2015; Bilgiç et al., 2022; Aktaş et al., 2024a; Aktaş et al., 2025). 5-FU, in addition to being an anti-tumor drug, also has neurodegenerative, neuroinflammatory, cytostatic and immunosuppressive effects. Despite several advantages, the clinical application of 5-FU was limited due to the development of drug resistance after chemotherapy. Previous studies have confirmed that 5-FU induces apoptosis and suppresses proliferation of cells in many neurogenic regions of the brain (Dietrich et al., 2006). In patients receiving 5-FU treatment, reducing side effects and providing alternatives that support the treatment can increase the chance of success. In addition, supportive herbal products can be used to help these patients live a better quality of life, reduce unwanted effects, and gain a stronger immune system (Bilgiç et al., 2021; Aktaş et al., 2024b). In this context, the use of herbal compounds is increasing along with 5-FU treatment (Sadek et al., 2018; Zeweil et al., 2020). It is known that the natural compound NAR is among the most suitable alternatives in this regard. In our study, we assumed that the application of 5-FU together with NAR for preventing brain damage could both enhance the effect of NAR and prevent the damage caused by 5-FU. Therefore, NAR was used to eliminate or minimize the side effects of the chemotherapy drug 5-FU.

Chemotherapeutic applications generally cause oxidative stress, leading to increased oxidative damage in lipids and DNA (Uzkeser et al., 2012; Gür and Bilgiç, 2022; Bilgiç et al., 2023; Gür et al., 2025). It is known that the main source of damage caused by 5-FU in the brain is oxidative stress. In the literature on this subject, they confirm that 5-FU increases the formation of free oxygen radicals. At the same time, this chemotherapeutic drug causes lipid peroxidation, leading to an increase in MDA (Zhang et al., 2019; Bilgiç and Aktaş, 2022). As is known, there is a balance in the production and destruction of free oxygen radicals in order to sustain life in living organisms. In our study, it is seen that 5-FU effectively activates oxidative stress in the brain. This situation is confirmed by the decrease in GSH level, CAT and SOD activities and the increase in MDA level in the 5-FU group. In the present study, it was determined that there was a significant increase in SOD, CAT and GSH levels in animals treated with 5-FU + NAR compared to the 5-FU group. These findings proved that NAR could cause an increase in antioxidant enzyme levels that play an active role in clearing oxygen radicals in the brain after 5-FU application. Similarly, many studies have reported that NAR acts as a free radical scavenger through its antioxidant properties (Mansour et al., 2023). It can also be interpreted that NAR indirectly reduces oxidative stress by stimulating antioxidant enzymes. Therefore, these results show that NAR may reduce neuronal damage due to 5-FU application by suppressing oxidative stress.

In our study, TNF- α and caspase 3 expression, a markers of inflamattion and apoptosis in brain tissues, was absent in the control group, while intense immunostaining was observed in the 5-FU group. In this case, the increase in TNF- α and caspase-3 activity in normal brain tissues and the induction of apoptosis can be attributed to the 5-FU treatment. These findings overlap with the findings of previous studies and confirm the effects of 5-FU on increasing TNF- α and caspase-3 expressions and thus apoptosis in the central nervous system (Zhang et al., 2019; Zhou et al., 2023; Aktaş and Bilgiç, 2025a,b). In our study, it can be thought that 5-FU caused tissue damage by triggering oxidative damage and initiated inflammatory and apoptotic processes (Zhou et al., 2023; Raafata et al., 2023). In conclusion, our findings show that oxidative stress induced by 5-FU can initiate a series of harmful reactions, causing cell death. Therefore, the presence of weak TNF- α and caspase-3 immunostaining in the NAR-treated group can be interpreted as NAR treatment inhibiting apoptosis by preventing the

increase in TNF- α and caspase-3 levels in normal brain tissue affected by 5-FU. Depending on all these data obtained, it can be said that NAR treatment in our study reduces apoptosis and oxidative stress in accordance with previous studies (Zhou et al., 2023). The data we obtained are also compatible with the literature on this subject. In our study, the significant improvements in histopathological changes in the 5-FU + NAR group confirm that NAR application is effective. In addition, studies on this subject confirm that NAR provides significant improvement in neurotoxicity (Zhou et al., 2023; Raafata et al., 2023). In light of all these findings, it can be stated that NAR has a neuroprotective effect against 5-FU-induced brain damage. In line with the data of our study, it has been proven biochemically and histopathologically that the combination of 5-FU and NAR reduces the neurotoxicity caused by 5-FU. However, for the clinical application of NAR and 5-FU together in cancer treatment, their antitumor efficacy and toxicity need to be confirmed by numerous clinical studies.

5. Conclusion

In our study, 5-FU increased TNF- α expression and oxidative stress in the brain, which ultimately caused cellular damage and apoptosis. It can be interpreted that NAR is neuroprotective against oxidative stress thanks to its different properties, especially antioxidant. NAR largely prevented the negative effects of 5-FU in the brain with its anti-apoptotic, antioxidant, immunomodulatory and anti-inflammatory effects. Therefore, it has been demonstrated that NAR is potentially protective against 5-FU-induced neurotoxic effect. As a result, these two drugs show that they can be an effective combination in cancer treatment. We also believe that the results of this study may shed light on determining the treatment outcomes of 5-FU in the clinic.

Acknowledgment

We would like to thank Adıyaman University Scientific Research Fund for their support of this study.

Authorship Contribution Statement

Sedat Bilgiç: Writing – review & editing, Validation, Supervision, Project administration, Methodology. İbrahim Aktaş: Resources, Methodology, Investigation, Funding acquisition, Data curation. Ahmad Yahyazadeh: Validation, Software, Methodology.

Conflict of Interest

All authors confirm that they have no interests to declare.

Declaration

We have not used any AI tools or technologies to prepare this manuscript.

Ethics Statement

The procedures were carried out according to the protocol (Protocol 2024/021) received from the ethics committee of the Adıyaman University Research Center, Adıyaman, Türkiye.

Data Availability Statements

The data supporting this study's findings are available upon request from the corresponding author.

Funding

This study was supported by a grant from the Scientific Research Fund of Adıyaman University (Project No.SHMYOMAP/2023-0002).

References

- Aebi, H., 1984. Catalase in vitro. *Methods Enzymology*, 105: 121-126.
- Aktaş, I., Bilgiç, S., 2025a. Human health and selenium. *EJONS*, 9(2): 153-169.
- Aktaş, I., Bilgiç, S., 2025b. Lutein's protection against cisplatin's pulmonary toxicity. *EJONS*, 9(2): 170-177.
- Aktaş, I., Bilgiç, S., Gür, F.M., 2025. Protection of naringenin against 5-fluorouracil toxicity in the liver. *Tissue and Cell*, 96: 103023.
- Aktaş, I., Gur, F.M., Martínez, J.L., Bilgiç, S., Körkoca, H., 2024b. Protective effects of silymarin against paclitaxel-induced cardiac toxicity. *Bol Latinoam Caribe Plant Med Aromat*, 23(5): 749-759.
- Aktaş, I., Gür, F.M., Bilgiç, S., 2024a. Protective effect of misoprostol against paclitaxel-induced cardiac damage in rats. *Prostaglandins & Other Lipid Mediators*, 171: 106813.
- Arafah, A., Rehman, M.U., Ahmad, A., AlKharfy, K.M., Alqahtani, S., Jan, B.L., Almatroudi, N.M., 2022. Myricetin (3,3',4',5,5',7- Hexahydroxyflavone) prevents 5-fluorouracil-induced cardiotoxicity. *ACS Omega*, 7(5): 4514-4524.
- Ashok, I., Sheeladevi, R., 2014. Biochemical responses and mitochondrial mediated activation of apoptosis on long-term effect of aspartame in rat brain. *Redox Biol*, 2: 820-831.
- Azirak, S., Bilgiç, S., Tastemir Korkmaz, D., Armağan, I., Ozer, M.K., 2025. Thymoquinone prevents valproic acid-induced hepatotoxicity via modulation of cytochrome P450, PPARs, and apoptotic pathways. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 28(7): 899-906.
- Azirak, S., Bilgiç, S., Tastemir Korkmaz, D., Güvenc, A.N., Kocaman, N., Ozer, M.K., 2019. The protective effect of resveratrol against risperidone-induced liver damage through an action on FAS gene expression. *Gen Physiol Biophys*, 38: 215-225.
- Bilgiç, S., Tastemir Korkmaz, D., Azirak, S., Güvenc, A.N., Kocaman, N., Ozer, M.K., 2018. Olanzapine-induced renal damages and metabolic side effects: the protective effects of thymoquinone. *Journal of Turgut Ozal Medical Center*, 25(1): 70-5.
- Bilgiç, S., Aktaş, I., 2022. Investigation of protective effects of misoprostol against paclitaxel-induced ovarian damage in rats. *Annals of Medical Research*, 29(3): 233-239.
- Bilgiç, S., Gür, F.M., Aktaş, I., 2022. Biochemical and histopathological investigation of the protective effect of lutein in rat kidney exposed to cisplatin. *Medical Records-International Medical Journal*, 4(3): 433-438.
- Bilgiç, S., Özgöçmen, M., Ozer, M.K., 2023. Thymoquinone ameliorates amikacin induced oxidative damage in rat brain tissue. *Biotechnic & Histochemistry*, 98(1): 38-45.
- Chandran, A.M.K., Christina, H., Das, S., Mumbreakar, K.D., Rao, B.S., 2019. Neuroprotective role of naringenin against methylmercury induced cognitive impairment and mitochondrial damage in a mouse model. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 71: 103224.
- Chen, D., Chen, M.S., Cui, Q.C., Yang, H., Dou, Q.P., 2007. Structure-proteasome-inhibitory activity relationships of dietary flavonoids in human cancer cells. *Front Biosci*, 12(1): 1935-45.

- Dietrich, J., Han, R., Yang, Y., Mayer-Pröschel, M., Noble, M., 2006. CNS progenitor cells and oligodendrocytes are targets of chemotherapeutic agents in vitro and in vivo. *Journal of Biology*, 5: 22.
- Draper, H.H., Hadley, M., 1990. Malondialdehyde determination as index of lipid peroxidation. *Methods Enzymol*, 186: 421-431.
- ELBeltagy, M., Mustafa, S., Umka, J., Lyons, L., Salman, A., Dormon, K., Wigmore, P., 2012. The effect of 5-fluorouracil on the long term survival and proliferation of cells in the rat hippocampus. *Brain Research Bulletin*, 88(5): 514-518.
- ELBeltagy, M., Mustafa, S., Umka, J., Lyons, L., Salman, A., Tu, C.Y.G., Wigmore, P.M., 2010. Fluoxetine improves the memory deficits caused by the chemotherapy agent 5-fluorouracil. *Behavioural Brain Research*, 208(1): 112-117.
- Ellman, G.L., 1959. Tissue sulfhydryl groups. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 82(1): 70-77.
- Formica, V., Leary, A., Cunningham, D., Chua, Y.J., 2006. 5-fluorouracil can cross brainblood barrier and cause encephalopathy: should we expect the same from capecitabine? A case report on capecitabine-induced central neurotoxicity progressing to coma, cancer chemother. *Pharmacol*, 58(2): 276-278.
- Ghofrani, S., Joghataei, M. T., Mohseni, S., Baluchnejadmojarad, T., Bagheri, M., Khamse, S., Roghani, M., 2015. Naringenin improves learning and memory in an Alzheimer's disease rat model: Insights into the underlying mechanisms. *European Journal of Pharmacology*, 764: 195-201.
- Gur, F.M., 2022. Immunoexpression of androgen receptor in genital tissues of male balb/c mice. *Annals of Medical Research*, 29: 1049-1053.
- Gur, F.M., Aktas, I., 2020. The localization of er alpha and er beta in rat testis and epididymis. *Annals of Medical Research*, 27: 2534-2539.
- Gur, F.M., Timurkaan, S., 2012. Effects of prepubertal epididymal ligation on the androgen receptor distribution of the rat testis. *Anal Quant Cytopathol Histopathol*, 34(6): 317-24.
- Gür, F.M., Bilgiç, S., 2022. A synthetic prostaglandin E1 analogue, misoprostol, ameliorates paclitaxel-induced oxidative damage in rat brain. *Prostaglandins & Other Lipid Mediators*, 162: 106663.
- Gür, F.M., Bilgiç, S., Aktaş, I., 2025. Lutein, a non-provitamin a carotenoid, reduces cisplatin-induced cardiotoxicity. *Prostaglandins & Other Lipid Mediators*, 177: 106965.
- Han, R., Yang, Y.M., Dietrich, J., Luebke, A., Mayer-Pröschel, M., Noble, M., 2008. Systemic 5-fluorouracil treatment causes a syndrome of delayed myelin destruction in the central nervous system. *Journal of Biology*, 7(4): 12.
- Il'yasova, D., Kennedy, K., Spasojevic, I., Wang, F., Tolun, A.A., Base, K., Dewhirst, M.W., 2011. Individual responses to chemotherapy-induced oxidative stress. *Breast Cancer Research and Treatment*, 125(2): 583-589.
- Iraz, M., Bilgic, S., Samdanci, E., Ozerol, E., Tanbek, K., 2015. Preventive and early therapeutic effects of β -glucan on the bleomycin-induced lung fibrosis in rats. *European Review for Medical & Pharmacological Sciences*, 19(8).
- Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L., Randall, R.J., 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193(1): 265-275.

- Mansour, L.A., Elshopakey, G.E., Abdelhamid, F.M., Albukhari, T.A., Almeahmadi, S.J., Refaat, B., Risha, E.F., 2023. Hepatoprotective and neuroprotective effects of naringenin against lead-induced oxidative stress, inflammation, and apoptosis in rats. *Biomedicines*, 11(4): 1080.
- Marklund, S., Marklund, G., 1974. Involvement of the superoxide anion radical in the autoxidation of pyrogallol and a convenient assay for superoxide dismutase. *Journal of Cellular Physiology*, 47(3): 469-474.
- Mihlon, F., Ray, C.E.J., Messersmith, W., 2010. Chemotherapy agents: a primer for the interventional radiologist. *Semin Intervent Radiol*, 27(4): 384-90.
- Mir, I.A., Tikku, A.B., 2015. Chemopreventive and therapeutic potential of “naringenin,” a flavanone present in citrus fruits. *Nutrition and Cancer*, 67: 27-42.
- Mustafa, S., Walker, A., Bennett, G., Wigmore, P.M., 2008. 5-fluorouracil chemotherapy affects spatial working memory and newborn neurons in the adult rat hippocampus. *European Journal of Neuroscience*, 28(2): 323-330.
- Raafat, R.S., Habib, M.Z., AbdElfattah, A.A., Olama, N.K., Abdelraouf, S.M., Hendawy, N., Aboul-Fotouh, S., 2023. Amisulpride attenuates 5-fluorouracil-induced cognitive deficits via modulating hippocampal Wnt/GSK-3 β / β -catenin signaling in Wistar rats. *International Immunopharmacology*, 124: 110945.
- Sadek, K.M., Lebda, M.A., Abouzed, T.K., Nasr, S.M., El-Sayed, Y., 2018. The molecular and biochemical insight view of lycopene in ameliorating tramadol-induced liver toxicity in a rat model: Implication of oxidative stress, apoptosis, and MAPK signaling pathways. *Environmental Science and Pollution Research International*, 25(33): 33119-30.
- Spencer, J.P., 2008. Food for thought: The role of dietary flavonoids in enhancing human memory, learning and neuro-cognitive performance: Symposium on ‘diet and mental health’. *Proceedings of the Nutrition Society*, 67: 238-52.
- Uzkeser, H., Sener, E., Bakan, E., Hacimuftuoglu, A., 2012. Preventive role of mirtazapine in methotrexate induced nephrotoxicity in rats. *Scienceasia*, 38: 129-135.
- Wali, A.F., Rashid, S., Rashid, S.M., Ansari, M.A., Khan, M.R., Haq, N., Rehman, M.U., 2020. Naringenin regulates doxorubicin-induced liver dysfunction: impact on oxidative stress and inflammation. *Plants*, 9(4): 550.
- Welbat, J.U., Chaisawang, P., Pannangrong, W., Wigmore, P., 2018. Neuroprotective properties of asiatic acid against 5-fluorouracil chemotherapy in the hippocampus in an adult rat model. *Nutrients*, 10: 1053.
- Youdim, K.A., Dobbie, M.S., Kuhnle, G., Proteggente, A.R., Abbott, N.J., Rice-Evans, C., 2003. Interaction between flavonoids and the blood–brain barrier: in vitro studies. *Journal of neurochemistry*, 85(1): 180-192.
- Zeweil, M.M., Sadek, K.M., Elsadek, M.F., Mahmoud, S.F., Ahmed, B.M., Khafaga, A.F., 2020. Sidr honey abrogates the oxidative stress and downregulates the hyaluronic acid concentration and gene expression of TGF- β 1 and COL1a1 in rat model of thioacetamide-induced hepatic fibrosis. *Animal Science Journal*, 91(1): e13434.
- Zhang, Y., Yin, N., Liang, S., Shen, S., Li, D., Faiola, F., 2019. 5-fluorouracil-induced neurotoxicity in rat cerebellum granule cells involves oxidative stress and activation of caspase-3 pathway. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine*, 12(3): 2334-2343.

Zhou, P., Wang, Z., Chen, C., Famurewa, A.C., Olatunji, O.J., 2023. Naringin ameliorates 5-fluorouracil elicited neurotoxicity by curtailing oxidative stress and iNOS/NF- κ B/caspase-3 pathway. *Open Chemistry*, 21(1): 20230126.

EJONS

Uluslararası Matematik, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi
International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences

Research Article

e-ISSN: 2602 - 4136

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18000585>

Investigation of Anticancer, Antioxidant, and Phytochemical Properties of *Cyperus esculentus* Extracts Obtained Using Different Solvents

Hatice BEKÇİ ^{*1}, Handan ŞAPCI SELAMOĞLU ¹, Nihat YILMAZ ²

¹ Kayseri Üniversitesi, Develi Hüseyin Şahin Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Kayseri

² Kayseri Üniversitesi, Safiye Çıkrıkçıoğlu Meslek Yüksekokulu, Organik Tarım Bölümü, Kayseri
Sorumlu Yazar Email: haticebekci@kayseri.edu.tr

Article Info

Received: 01.11.2025

Accepted: 16.12.2025

Keywords

Cyperus esculentus,
Anti-Cancer,
Antioxidant

Abstract: The chemical constituents of extracts from *Cyperus esculentus* were analyzed by GC-MS. Sixteen compounds were identified in the chloroform extract, accounting for 93.75% of the total oil that consisted mainly of hexadecanoic acid, methyl ester (CAS) (46,47%), 2(3H)-furanone, dihydro-3-(phenylmethyl)-(CAS) (24,60%). Seventeen compounds were identified methanol and hexan extract, accounting for 93.75% of the total oil that consisted mainly of respectively cheilanth-13(14)-enic methyl ester (12,03%), 1,4-benzenediol,2,5-bis(1,1-dimethylethyl) (10,20%), cholesta-9 (11), 20 (22)-dieene-3,23-dione, 6-hydroxy-5. Alpha, 6.alpha) (13,35%) and chlorhhiophps sulfoxide (11,83%). The extracts showed significant activities against the two "classical" cell lines DU-145 and PC-3 with X-chellengence. Chloroform, methanol, and hexan extracts against the DU-145 cell line with the IC50 values of 1,73461 g/mL, 101,409 µg/mL, and 32,146 µg/mL, respectively. Chloroform, methanol, and hexan extracts against the PC-3 cell line with the IC50 values of 1.222, 1.941, and 2.081 µg/mL, respectively. The antioxidant activity of *Cyperus esculentus* extracts obtained using various solvents was evaluated through different in vitro antioxidant assays. The methanol extract of *Cyperus esculentus* exhibited higher activity compared to the other extracts. Among the extracts, the chloroform extract showed the strongest DPPH scavenging activity.

1. Introduction

Cyperus esculentus L. (Tiger nut) is a small, sweet tuber produced by the roots of an edible, perennial herbaceous plant. It is commonly found in Mediterranean countries (Coşkuner et al., 2002). The species *Cyperus esculentus* was first described by Linnaeus in 1771. Although subsequent studies evaluated the species at different taxonomic levels within the genera *Pterocyperus*, *Pycneus*, and *Cyperus*, the currently accepted classification of the species is *C. esculentus* (Şapcı, 2016). In addition, it grows in both tropical and temperate regions and can also be found in the wild; it is also referred to as chufa, habbuleziz, and yellow ground almond (Sidohounde et al., 2014; Bilgili et al., 2018; Anonymous, 2019a; Anonymous, 2019b; Yılmaz, 2019). Known by various names such as chufa, yellow nut sedge, earth almond, and ground almond, *Cyperus esculentus* is a perennial plant naturally distributed across tropical and temperate regions. It is widely cultivated in parts of Africa and China, as well as in several regions of Europe especially Spain, the Arabian Peninsula, and many areas of Asia (Şapcı, 2016; Abdelkader et al., 2017). The tubers of this plant are commonly used in confectionery production (Zohary, 1986). *Cyperus esculentus* has an erect, triangular stem, yellowish-green leaves, and a height ranging from 20 to 60 cm. Its rhizomes store protein, starch, and other nutrients that contribute to the formation of its tubers. Its flowers range in color from golden yellow to brown (Abdelkader et al., 2017). Due to its rapid growth, it is often mistaken for a weed in some areas. It grows best in well-drained sandy or loamy soils with a pH between 5.0 and 7.5 and thrives at temperatures above 20°C (Dyer, 2009). Thanks to the valuable compounds found in its tubers, *Cyperus esculentus* has economic importance in various sectors, including the food industry, animal feed, paper and fiber production, the pharmaceutical industry, and as an ornamental plant (Şapcı, 2016). In some parts of the world, *Cyperus esculentus* (Tiger Hazel) is widely used as a healthy food for both humans and animals due to its many nutritional and functional properties. The underground tuber of the tiger nut is called chufa. It can be consumed fresh, soaked, roasted, or dried. These tubers are rich in energy (~400–450 kcal/100 g) and contain approximately 26–30% and 21–25% starch and fat, respectively. They also contain protein (3–8%), fiber (8–10%), various vitamins (E and C), and minerals such as phosphorus and potassium (Bosch et al., 2005; Arafat et al., 2009; Chinma et al., 2009; Chukwuma et al., 2010; Adejuyitan, 2011; Tigernuts Traders, 2014). The main fatty acids in tiger nut oil are monounsaturated fats (>60%), making its profile comparable to olive oil or hazelnut oil (Dubois et al., 2007). Recent research and studies on this plant have primarily focused on its organoleptic properties, phytochemical composition, oil content, biochemical activities, and nutritional value. However, its medicinal properties are rarely discussed, despite its well-known traditional medicinal use in some regions (Achoribo et al., 2017). Tiger hazel has been used as a health herb for over 4000 years due to its mineral, energy, and oleic acid content. It also contains high amounts of arginine (Bamishaiye and Bamishaiye, 2011). Thanks to its phosphorus, potassium, calcium, magnesium, and iron content, tiger hazel is beneficial for bones, tissue repair, muscles, blood circulation, and supports body development (Mohdaly, 2019). Moreover, tiger nut has been reported to have protective effects against cardiovascular diseases (Borges et al., 2008; Chukwuma et al., 2010; Tigernuts Traders, 2014), and due to its vitamin E content, it plays a role in red blood cell formation and function, and is also effective against cancer (Gambo and Da'u, 2014). The vitamin C present in tiger nut is a good antioxidant, promotes iron absorption, helps maintain vitamin E levels, and provides essential protection for the immune system and tissues (Roselló-Soto et al., 2019). In Turkey, the cultivation of tiger nut is very limited and is carried out in small quantities at the Eastern Mediterranean Agricultural Research Institute in Adana. While in Spain, the tubers are consumed as human food, they are also reported to be used in the pharmaceutical and perfumery industries, as well as in fish feed, turkey, and chicken feed production (Nazlıcan, 2007).

2. Material and Method

2.1. Sample extraction

All above-ground parts of the collected plant samples were dried in a sunless environment and then crushed using a food processor. 13-17 grams of this powdered sample were weighed and dissolved in 200 mL of organic solvent. Chloroform, hexane, and methanol were used as solvents. After extraction for 6 hours using a 250 ml Soxhlet apparatus, the solvents were separated using an evaporation device, and the resulting extracts were stored at +4°C (Doğaner et. al., 2014).

2.2. GS-MS

In this study, extracts were prepared from *Cyperus esculentus* (ground almond) tubers using chloroform, methanol, and hexane solvents, and the resulting extracts were then analyzed using a GC-MS (SHIMADZU, QP2010 ULTRA) instrument. The aim was to comparatively determine the chemical components obtained according to the type of solvent. As a result of the analysis, various phytochemicals specific to each extract were identified (Kilani et al., 2008).

Sample: *Cyperus esculentus* tubers

Solvents: Chloroform, methanol, hexane

Extraction: A separate cold extraction method was applied to each solvent.

GC-MS instrument: (Instrument model can be added here if available)

Column type: DB-5MS capillary column

Carrier gas: Helium

Injection temperature: 250 °C

Oven program: Gradual heating between 60–300 °C

Spectral library: NIST/Wiley databases

2.3. DPPH radical scavenging capacity

In the analysis of DPPH radical scavenging capacity, 1.5138 g of Tris (Trizma base, MW: 121.1 g/mol) was dissolved in 200 ml of deionized water, HCl was used to adjust the pH to 7.4, and the volume was completed to 250 ml with distilled water. Thus, Tris-HCl buffer (50 mM, pH 7.4) was prepared. The DPPH solution was prepared by dissolving 9.86 mg DPPH in 250 mL of methanol and stored in a dark bottle.

The DPPH radical scavenging activity of *Cyperus esculentus* extracts was determined according to the method of Brand-Williams et al. (1995). Different concentrations were tested for each antioxidant. Results were expressed as the molar ratio of the antioxidant to DPPH. For the experiment, 450 µl of Tris-HCl buffer (50 mM, pH 7.4), 1 ml of 0.1 mM DPPH methanol solution, and 50 µl of extract were mixed. A reagent mixture without extract was used as a control, and catechin was used as a positive control. The mixtures were incubated in the dark at room temperature for 0, 1, 15, and 30 minutes. The measured absorbance value was 515 nm.

The DPPH concentration in the reaction medium (CDPPH) was calculated using the following calibration equation:

$$\text{DPPH}_{515\text{nm}} = 3.6852 \times (\text{CDPPH}) + 4.9334$$

Antioxidant activity was defined as the amount of antioxidant required to reduce DPPH concentration by 50% (IC₅₀). The IC₅₀ value represents the antioxidant concentration that

causes a 50% reduction in the initial DPPH concentration. The time required to reach equilibrium concentration was calculated from kinetic curves and defined as TEC50 (Sánchez-Moreno et al., 1998). All analyses were performed in triplicate, and mean values were used.

2.4. Determination of total phenolic content

The total phenolic content of the extracts was determined using the Folin-Ciocalteu method described by Sağdıç and Özcan (2002). For the experiment, 40 µL of extract was added to test tubes, followed by 2.4 mL of distilled water. Then, 200 µL of Folin-Ciocalteu reagent, 600 µL of sodium carbonate solution, and 760 µL of distilled water were added to the mixture and stirred for 15 seconds. Reduction of the Folin-Ciocalteu reagent in an alkaline environment resulted in the formation of a blue color. It was left to stand at room temperature for 2 hours. Subsequently, absorbance was measured at 765 nm using a spectrophotometer. All measurements were performed in triplicate, and the results were expressed as gallic acid equivalents per liter (GAE).

2.5. Cytotoxic activity

2.5.1. Cell lines used in the study

The cell lines used in this study were obtained from the cell bank of the Department of Biochemistry, Faculty of Pharmacy, Erciyes University.

2.5.2. Cell culture

Cells were cultured at 37°C in a sterile incubator containing 5% carbon dioxide. The cells were maintained in RPMI medium supplemented with 10% fetal bovine serum (FBS) that had been heat-inactivated at 55°C for 30 minutes, 100 U/ml penicillin, 100 µg/ml streptomycin, and 2 mM glutamine. Cells were cultured in 75 cm² culture flasks and transferred to new flasks using 0.25% trypsin/EDTA to separate them from the surface (Freshney, R. I. (2016), Riss, T. L. et al. (2019)). The cell lines used in our study were obtained from the Erciyes University Drug Application and Research Center cell bank.

2.6. Real-time cell analysis (xCELLigence)

The xCELLigence system was used to monitor the real-time effects of *C. esculentus* extracts on DU-145 and PC-3 cells according to the manufacturer's instructions (Ke et al. 2011). The xCELLigence system was used to monitor the real-time effects of *C. esculentus* extracts on DU-145 and PC-3 cell lines according to the manufacturer's protocol (Ke et al., 2011). The system consists of four main components: an RTCA analyzer, an RTCA SP station, an RTCA computer with integrated software, and a disposable E-plate 96 (Figure 1). The RTCA SP station was placed inside the incubator, while the analyzer and the laptop equipped with software were positioned outside.

E-plate 96 is a disposable, single-use platform designed for cell-based experiments using an RTCA SP system. Unlike conventional 96-well microtiter plates, E-plate 96 incorporates integrated gold microelectrode sensor arrays at the bottom of each well, enabling the detection of impedance changes caused by cells within the wells (Bird et al., 2009; Ke et al., 2011). Impedance changes can be recorded at intervals as short as two minutes, allowing for continuous monitoring of cellular physiological responses.

The impedance detected between the electrodes in each well is affected by the electrode configuration, the number of cells, and the degree of cell adhesion to the electrode surface. When cells adhere to the electrode sensors, they alter the local ionic environment at the electrode-solution interface, causing an increase in impedance. The cell index reflects cell adhesion, morphological changes, and cell separation associated with cell death. Therefore, the cytotoxic effects of the tested substances can be assessed through changes in the cell index (Ke et al., 2011).

DU-145 and PC-3 cells were cultured in flasks, and when they reached approximately 80% density, the cells were separated and seeded onto the E-plate 24. After seeding, the plates were incubated at room temperature for 30 minutes to allow the cells to settle. The E-plates were then transferred to 96 incubators, and different cell densities (50,000, 25,000, 12,500, 6,250, and 3,125 cells per well) were tested to determine the optimum seeding concentration. Based on the achievement of a logarithmic growth phase, the optimum seeding densities were determined to be 20×10^3 cells/well for DU-145 cells and 10×10^3 cells/well for PC-3 cells. Cell attachment, proliferation, and dispersal were monitored every 15 minutes by measuring impedance changes in the E-plate wells.

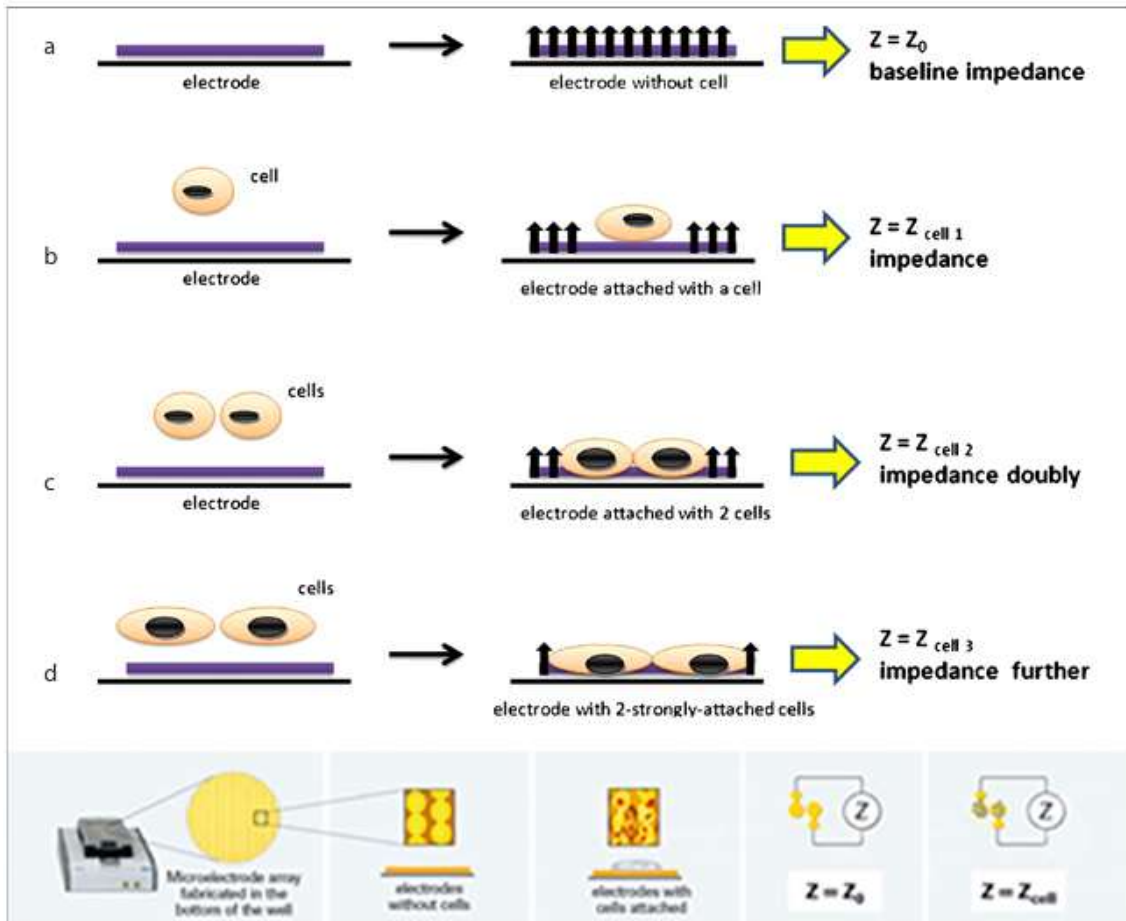


Figure 1: The bottom of the 96-well E-plate contains gold electrodes that are responsive to cell attachment, growth, and size increase. In the absence of cells (a) on the well bottom, the measured impedance is zero ($Z = Z_0$). The presence of adherent cells modifies the impedance (b), while an increased number of cells (c) leads to a further rise in impedance. Cell enlargement also influences impedance (d); when cells increase in size without undergoing mitotic division, impedance changes accordingly, and the cell index increases (Dokumacı et al., 2019).

2.6.1. Cytotoxicity assay using Xcelligence system

To determine the cytotoxic effect of hexane, chloroform, and methanol on DU-145 and PC-3 cell lines, RTCA (xcelligence) was used. A total of DU-145 10×10^3 cells/ well and PC-3 10×10^3 cells were seeded in the E-plate 96 wells, and approximately 24h post-seeding, when the cells were in the log growth phase, the cells were treated with extracts and only medium control. Controls received medium and treated groups (all extraction at 400, 200, 100, 50, 25, 12,5 $\mu\text{g/mL}$ concentrations) were replicated 4 times, and the experiments were run for 96 h. All calculations were done with the RTCA-integrated software of the xCelligence system. The

RTCA software performs the curve-fitting of selected “sigmoidal dose-response equation” and calculates the logarithmic half maximum effect of concentration [$\log(\text{IC}_{50})$] values at a given time point based on log concentration producing 50% reduction of cell index (CI) value relative to the control CI value (100%). Cell index value represents the alteration of cell viability, cell attachment, and cellular growth rate. Likewise, when the cell index data is obtained during the experiment at the particular time points, dynamic monitoring of the cells’ response can be elucidated.

2.7. Statistical analysis

For each experimental group, results were obtained from a minimum of three independent experiments. All statistical evaluations were performed using one-way analyses of variance (ANOVA), followed by Bonferroni post hoc tests. The same statistical approach was applied to calculate the standard deviation (SD). Differences between the groups were considered statistically significant at $p < 0.05$, as determined using the same software. Data are expressed as mean $\pm$ SD.

3. Results

3.1. GS-MS

3.1.1. Methanol extract (chromatogram I)

The total ion chromatogram (TIC) of the methanolic extract of *Cyperus esculentus* tubers, recorded over a total run time of approximately 104 min, exhibits a highly complex and information-rich chemical profile. The chromatogram is characterized by numerous well-resolved peaks with good signal-to-noise ratios, indicating efficient chromatographic separation and the presence of a wide range of polar and semi-polar phytochemicals.

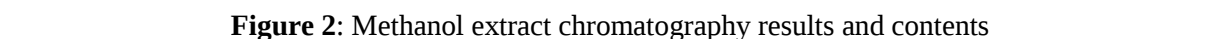
The early retention time region is dominated by low-molecular-weight oxygenated compounds, including 2-furanmethanol, 1,2-cyclopentanedione, 4-oxo-5-methoxy-2-penten-5-olide, and 2,4-dihydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furan-3-one. These compounds are typically associated with carbohydrate degradation products, Maillard-type reaction intermediates, and lactone derivatives. Such constituents are well known for their antioxidant and redox-active properties, suggesting a strong contribution of these early-eluting compounds to the pronounced antioxidant activity observed for the methanol extract.

This region represents the most intense section of the chromatogram, with several dominant peaks corresponding to oxygenated monoterpenes and cyclic ketones, such as trans- α -carveol, D-limonene-2-propyl, p-cymen-7-ol, and 2-cyclohexanedione derivatives. The abundance of these terpenoid-related compounds highlights the ability of methanol to extract moderately polar secondary metabolites. These compounds have been widely reported to exhibit antioxidant, antimicrobial, and cytotoxic activities, which is consistent with the significant biological effects recorded for this extract.

A notable peak assigned to 2-furanone, dihydro-3-(phenylmethyl)- further emphasizes the prevalence of lactone-type structures, which are often implicated in radical scavenging mechanisms and apoptosis-related cytotoxicity.

In the late retention region, fatty acids and fatty acid methyl esters such as hexadecanoic acid methyl ester, n-hexadecanoic acid (palmitic acid), 9,12-octadecadienoic acid methyl ester, and 8,11,14-docosatrienoic acid methyl ester become predominant. These compounds contribute substantially to the total chromatographic area and reflect partial co-extraction of lipophilic constituents despite the polar nature of methanol.

The final segment of the chromatogram reveals the presence of high-molecular-weight sterols and triterpenoid derivatives, including cholesta-5,6-dien-3-ol benzoate (β -sitosterol derivative) and campesterol.



3.1.2. Hexane extract (chromatogram II)

Only a limited number of early-eluting compounds are observed in this region, indicating minimal extraction of low-molecular-weight polar constituents. Minor peaks correspond to small hydrocarbons and weakly oxygenated terpenes, present at relatively low intensities.

The mid retention region contains a moderate number of peaks associated mainly with non-polar terpenoid hydrocarbons and simple aromatic derivatives. Compared to the methanol extract, oxygenated monoterpenes are less abundant, consistent with the low polarity of hexane.

This region dominates the hexane TIC and is characterized by very intense peaks corresponding to long-chain fatty acids and fatty acid methyl esters, including hexadecanoic acid methyl ester, 9,12-octadecadienoic acid methyl ester, and related unsaturated fatty acid derivatives. These compounds account for a significant proportion of the total chromatographic area and explain the pronounced lipophilic nature of the extract.

Sterol-like compounds and triterpenoid derivatives, such as cholestane-related structures, are detected in this region. Their presence, although at lower relative abundances, is notable due to their known membrane-modulating and antiproliferative effects.

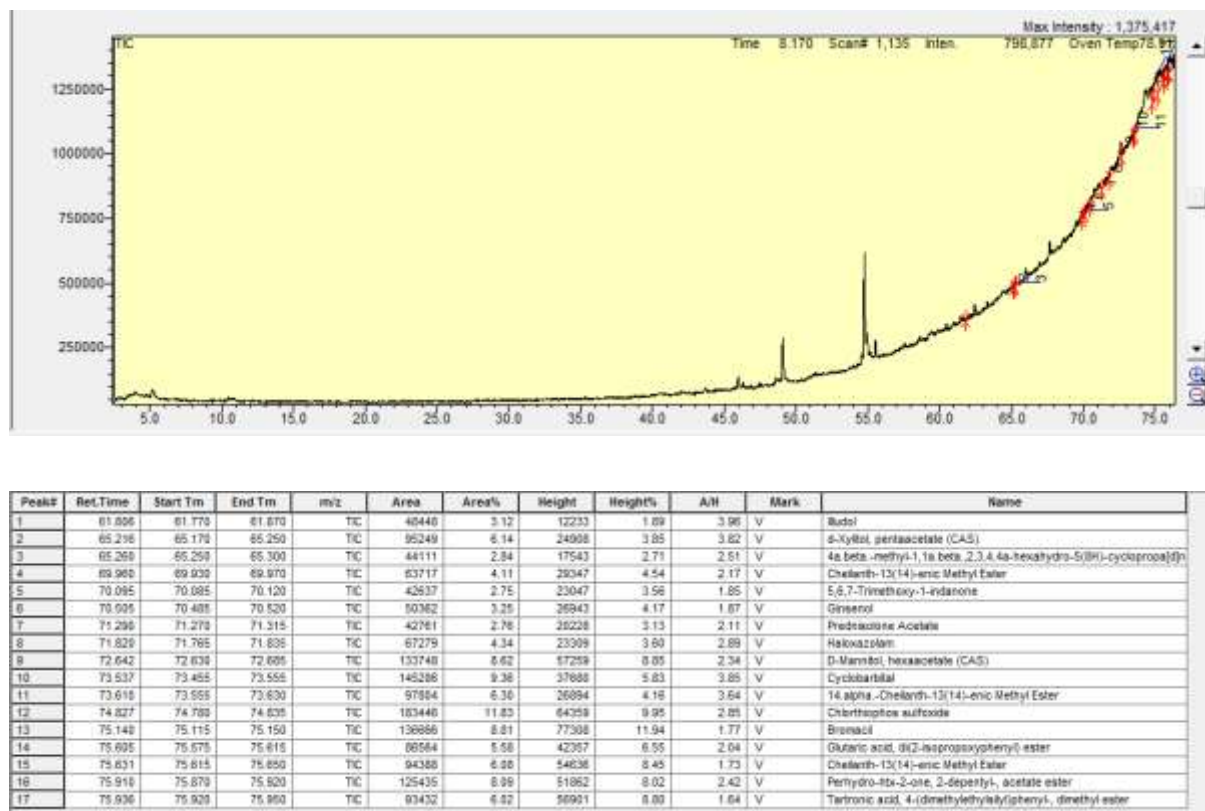


Figure 3: Hexane extract chromatography results and contents

3.1.3. Chloroform extract (chromatogram III)

The TIC of the chloroform extract exhibits an intermediate chemical complexity between the methanol and hexane extracts, reflecting the semi-polar nature of chloroform.

The early region is dominated by low-molecular-weight oxygenated compounds such as 2,3-butanediol, 5-methylfurfural, 5,5-dimethyl-3-hepten-2-one, and 2,4-dihydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furan-3-one. Notably, 5-hydroxymethylfurfural (HMF) appears as a major component, occupying a substantial proportion of the total chromatographic area. HMF is widely recognized for its antioxidant and redox-active properties.

This region contains aromatic and furan-based compounds such as benzeneacetic acid and 1-(2-furanyl)-2-hydroxyethanone. The dominance of these oxygenated structures indicates that chloroform effectively extracts semi-polar compounds with strong biological relevance.

Only a limited number of late-eluting compounds are detected, including minor amounts of polycyclic aromatic hydrocarbons such as substituted naphthalene derivatives. The near absence of long-chain fatty acids and sterols beyond this region distinguishes the chloroform extract from the hexane extract.

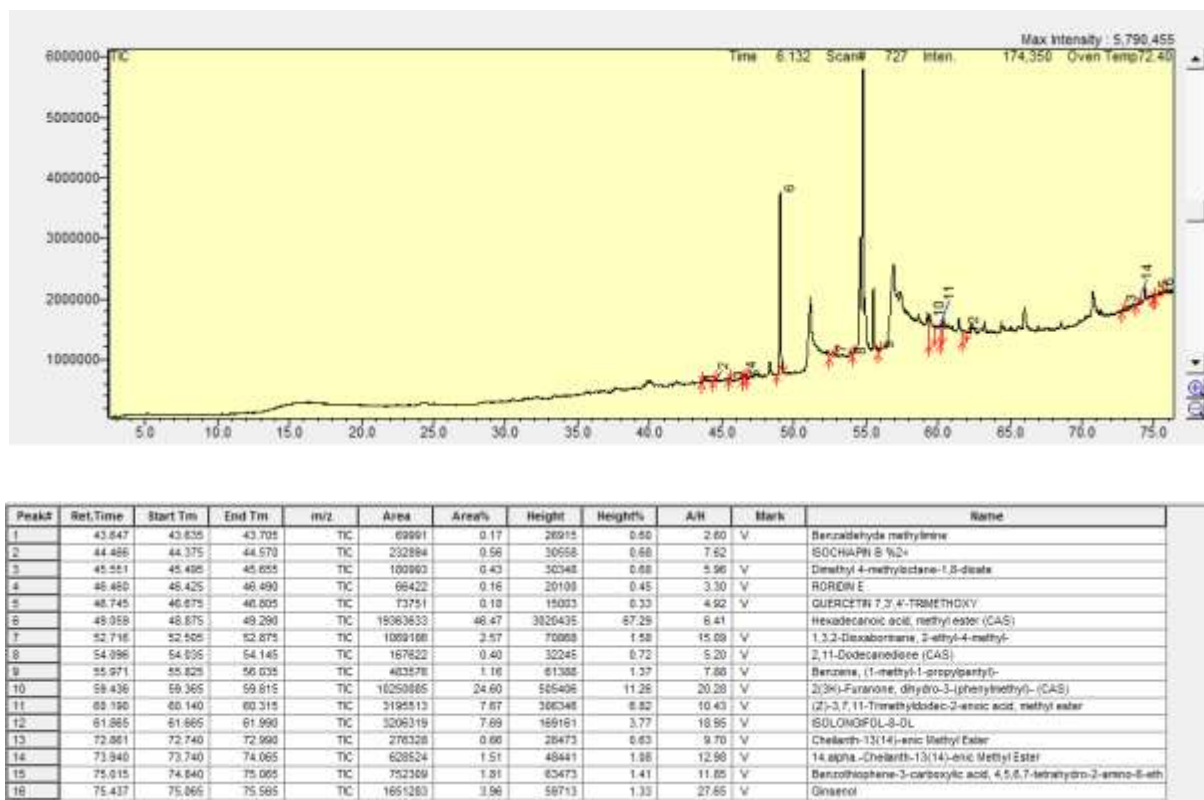


Figure 4: Chloroform extract chromatography results and contents

3.2. DPPH radical scavenging capacity

The DPPH scavenging activity was depicted in Figures 2,3,4. The chloroform, hexane, and methanol extracts all exhibit DPPH activity. Chloroform, hexane, and methanol extracts all exhibit DPPH activity. Concentrations are 0.1, 0.5, 1, 2, 4, and 5 mg/ml. In the chloroform extract, the observed values were 0.838 ± 0.001 , 0.488 ± 0.002 , 0.530 ± 0.004 , 0.310 ± 0.002 , 0.179 ± 0.002 , and 0.169 ± 0.001 , respectively. In the hexane extract, the values are 0.816 ± 0.001 , 0.586 ± 0.001 , 0.39 ± 0.001 , 0.236 ± 0.001 , 0.141 , and 0.156 ± 0.006 , respectively. In the methanol extract, the values are 0.841 ± 0.001 , 0.546 ± 0.001 , 0.163 ± 0.002 , 0.099 ± 0.105 , and 0.110 mg/ml (Figure 5,6,7).

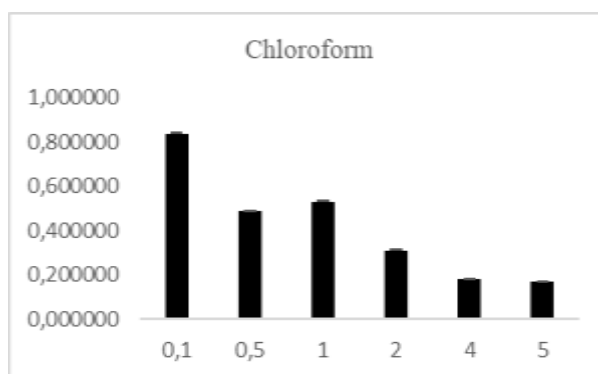


Figure 5: DPPH scavenging activity of the aqueous and chloroform extracts of *C. esculentus*

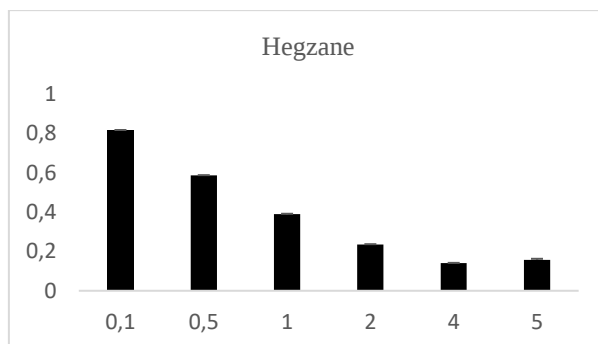


Figure 6: DPPH scavenging activity of the aqueous and Hexane extracts of *C. esculentus*

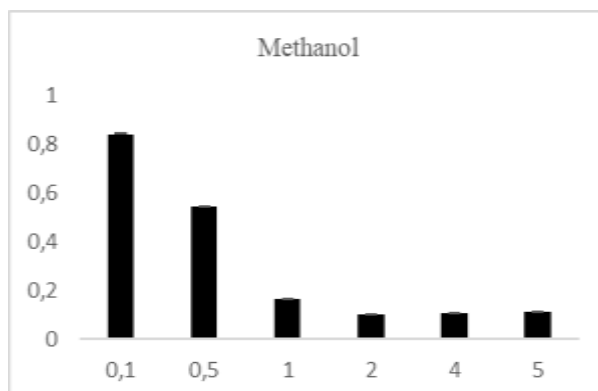


Figure 7: DPPH scavenging activity of the aqueous and methanol extracts of *C. esculentus*

3.3. Determination of total phenolic content

Figures 8, 9, and 10 depict the total phenol contents of both chloroform, hexane, and methanol aqueous extracts. In Figure 7, all extracts have shown a level of phenol content, with the highest value. All solvents had an affinity for phenolic compounds. As the concentration increased, the amount of phenolic compounds also increased. Total flavonoids are present in all solvents of the *C. esculentus* plant.

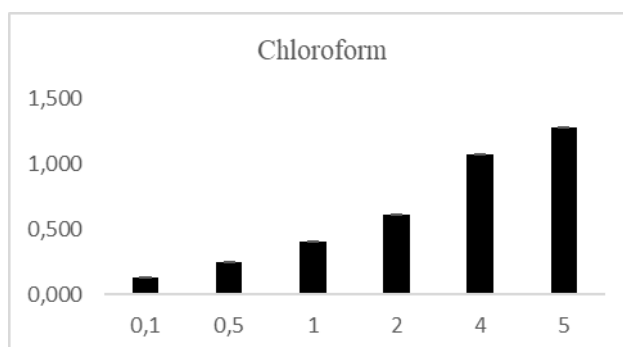


Figure 8: Total flavonoid content of the aqueous and chloroform extracts of *C. esculentus*

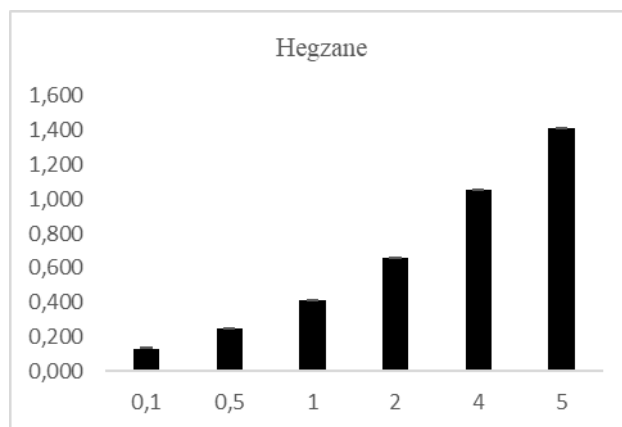


Figure 9: Total flavonoid content of the aqueous and hexane extracts of *C. esculentus*

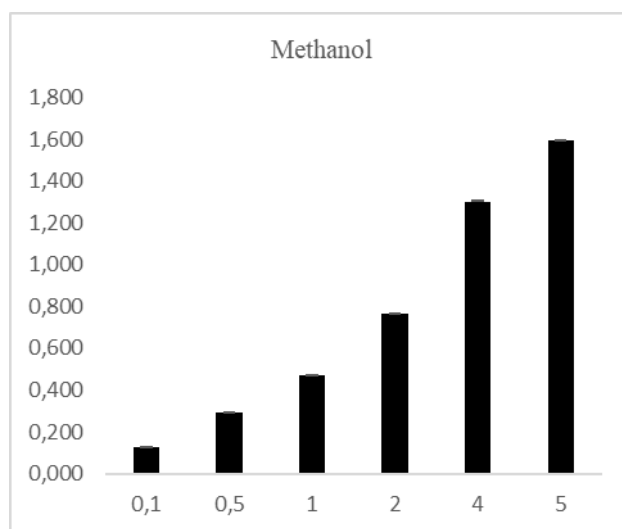


Figure 10: Total flavonoid content of the aqueous and methanol extracts of *C. esculentus*

3.4. Cytotoxic activity

3.4.1. Cytotoxic activity in DU-145 cell line

The effect of plant extracts obtained from different solvents on the viability of DU-145 cells was analyzed using an xCELLigence instrument after 24 hours of incubation with different doses (12.5-25-50-100-200-400 $\mu\text{g/mL}$) and control groups. The percentage cell viability graph obtained as a result of the analysis is given in Figures 11,12,13.

In cell DU-145, IC₅₀ values were calculated for plant samples in different solvents (hexane, chloroform, and methanol) as 32.146 $\mu\text{g/mL}$, 1.73461 $\mu\text{g/mL}$, and 101.409 $\mu\text{g/mL}$, respectively. Accordingly, the most effective result was obtained with the hexane extract. Based on the results of extracts obtained from different solvents of *Cyperus esculentus* L., the chloroform extract was observed to be ineffective.

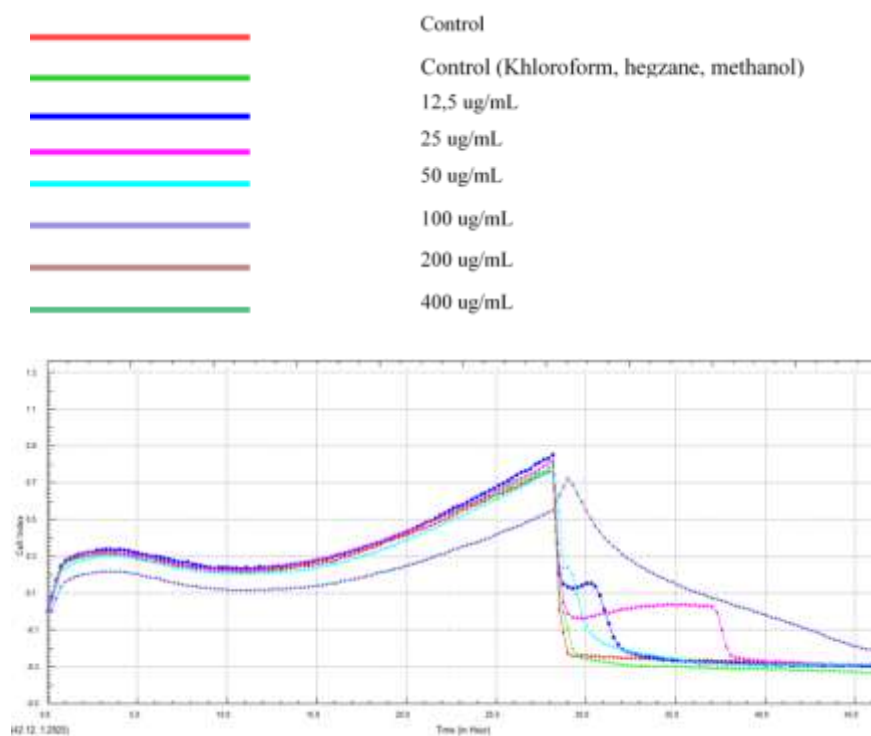


Figure 11: Cell viability in chloroform extract

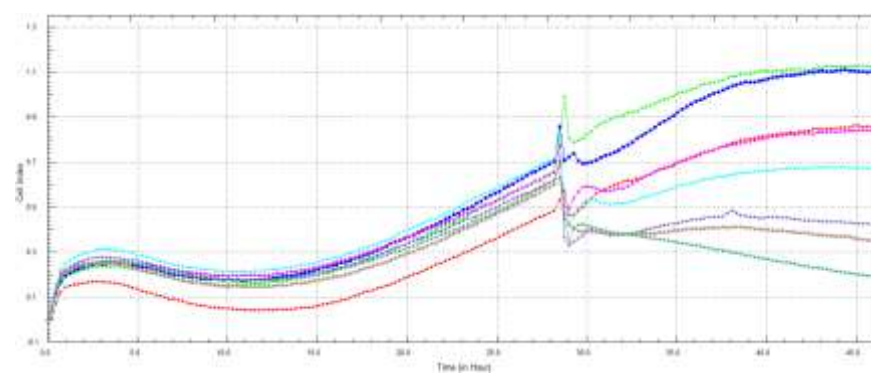


Figure 12: Cell viability in hexane extract

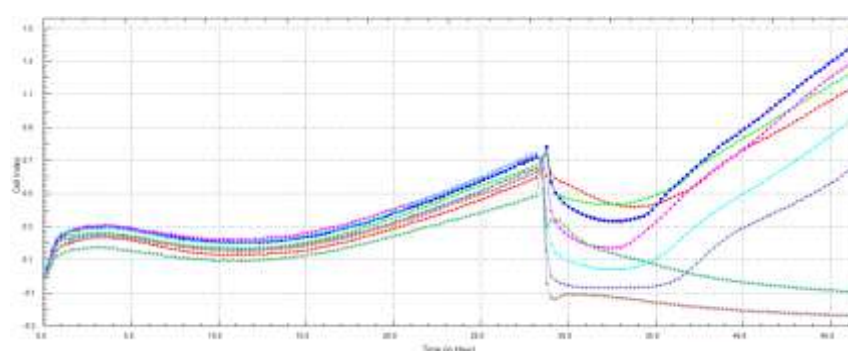


Figure 13: Cell viability in methanol extract

3.4.2. Cytotoxic activity in PC-3 cell line

The effect of plant extracts obtained from different solvents on PC-3 cell viability was analyzed using an xCELLigence instrument after 24 hours of incubation with different doses

(12.5-25-50-100-200-400 $\mu\text{g/mL}$) and control groups. The percentage cell viability graph obtained as a result of the analysis is given in Figures 14,15,16.

In the PC-3 cell, IC₅₀ values were calculated for plant samples in different solvents (hexane, chloroform, and methanol) as 2.081 $\mu\text{g/mL}$, 1.222 $\mu\text{g/mL}$, and 1.941 $\mu\text{g/mL}$, respectively. Accordingly, the most effective result was obtained with the chloroform extract. Based on the results of extracts obtained from different solvents of *Cyperus esculentus L.*, it was observed that all extracts were effective.

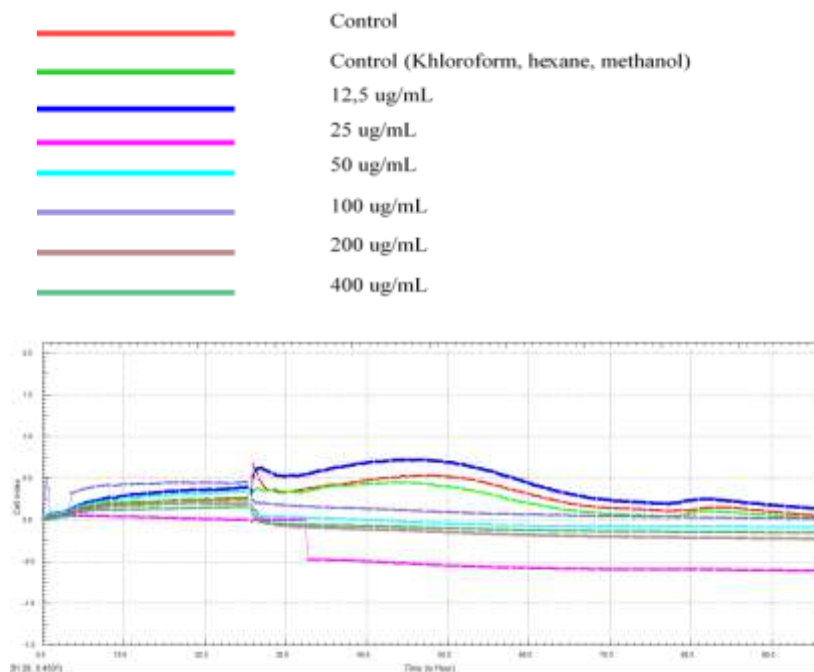


Figure 14: Cell viability in chloroform extract

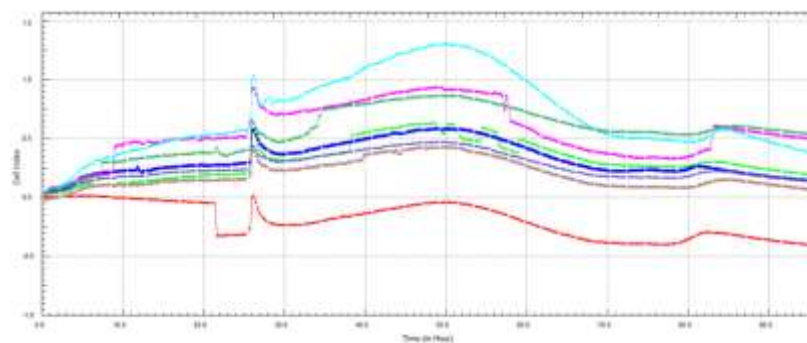


Figure 15: Cell viability in hegane extract

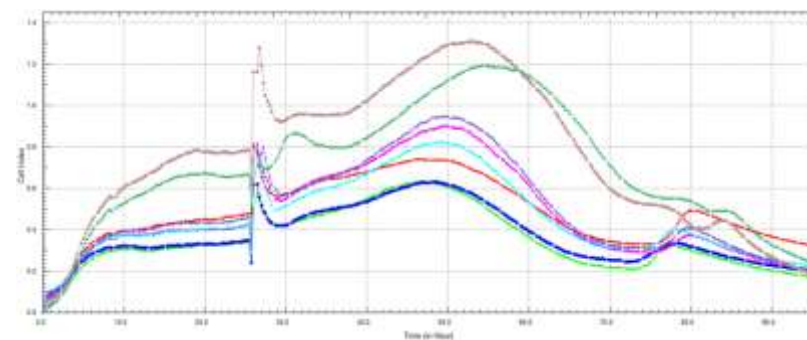


Figure 16: Cell viability in methanol extract

The results of the extracts in all cells are shown in the table below.

Table 1. Ekstrelerin DU-145 ve PC-3 hücrelerindeki inhibisyon aktiviteleri (ug/mL)

	Chloroform	Hegzane	Methanol
DU-145	32,146	1,73461 (g/mL)	101,409
PC-3	2,081	1,222	1,941

4. Conclusion

In this study, we evaluated the biological activities of extracts obtained from *Cyperus esculentus* (tiger nut) using different solvents on two prostate cancer cell lines: PC-3 and DU-145. The findings showed that the anticancer activity varied significantly, depending on both the type of solvent used and the specific characteristics of each cell line. The most notable inhibitory effect was observed in the PC-3 cell line when treated with the hexane extract, which had an IC₅₀ value of 1,222 µg/mL. In contrast, the highest activity in the DU-145 cell line was detected with the chloroform extract. Notably, the hexane extract demonstrated no anticancer activity against DU-145 cells. These results indicate that the polarity of the solvent plays a crucial role in extracting biologically active compounds and in producing cell line-specific effects. Overall, *Cyperus esculentus* shows significant anticancer potential against PC-3 prostate cancer cells. Therefore, tiger nut may be considered a promising candidate for developing novel anticancer agents. However, further molecular studies are necessary to identify the active compounds, clarify the underlying mechanisms of action, and confirm efficacy in in vivo models.

Acknowledgments

This study was financially supported by Kayseri University, Scientific Research Projects. Project Number: 1031

Declaration of Author Contributions

The authors declare that they have contributed equally to the article, that they have read and approved the final version of the article, ready for publication.

Declaration of Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- AbdelKader, H., Ibrahim, F., Ahmed, M., El-Ghadban, E., 2017. Effect of some soil additives and mineral nitrogen fertilizer at different rates on vegetative growth, tuber yield, and fixed oil of tiger nut (*Cyperus esculentus* L.) plants. *Journal of Agricultural Production*, 8(1): 39–48.
- Achoribo, E.S., Ong, M.T., 2017. Tiger nut (*Cyperus Esculentus*): Source of natural anticancer drug? Brief review of existing literature. *Euromediterranean Biomedical Journal*, 12(19): 091-094
- Adejuyitan, J.A., 2011. Tigernut processing: its food uses and health benefits. *American Journal of Food Science and Technology*, 6: 197–201.
- Anonymous, 2019a. Tigernuts/Chufas. (<https://www.tigernuts.com/pdf/tigernuts.profile.pdf>), (Access Date: 17.08.2025).
- Anonymous, 2019b. Yerbade mi. (<https://www.tunaproject.com.tr/urunler-321269/tarimsal-urunler/superfoods/detay/417425/yer-bademi--tiger-nuts->), (Access Date: 17.08.2025).

- Arafat, S.M., Gaafar, A.M., Basuny, A.M., Nassef, S.L., 2009. Chufa tubers (*Cyperus esculentus* L.): as a new source of food. *World Applied Sciences Journal*, 7: 151–156.
- Bamishaiye, E., Bamishaiye, O.M., 2011. Tiger nut: An unexploited rich food in northern Nigeria. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 11(5).
- Bilgili, M.E., Çubukcu, P., Vurarak, Y., 2018. Evaluation of the cultivation and mechanization of almond trees. *International Journal of Eastern Mediterranean Agricultural Research Institute*, 1(2): 20-33.
- Borges, O., Gonçalves, B., de Carvalho, J.L.S., Correia, P., Silva, A.P., 2008. Nutritional quality of chestnut (*Castanea sativa* Mill.) cultivars from Portugal. *Food Chemistry*, 106: 976–984.
- Bosch, L., Alegría-Torán, A., Farré-Rovifa, R., 2005. RP-HPLC determination of tiger nut and orgeat amino acid contents. *Food Science and Technology International*, 11: 33–40.
- BrandnWilliams, W., Cuvelier, M.E., Berset, C., 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1): 25-30.
- Chinma, C.E., Adewuyi, O., Abu, J.O., 2009. Effect of germination on the chemical, functional, and pasting properties of flour from brown and yellow varieties of tigernut (*Cyperus esculentus*). *Food Research International*, 42: 1004-1009.
- Chukwuma, E.R., Obioma, N., Christopher, O.I., 2010. The phytochemical composition and some biochemical effects of nigerian tigernut (*Cyperus esculentus* L.) tuber. *Pakistan Journal of Nutrition*, 9: 709-715.
- Coskuner, Y., Ercan, R., Karababa, E., Nazlican, A.N., 2002. Physical and chemical properties of chufa (*Cyperus esculentus* L) tubers grown in the Cukurova region of Turkey. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82: 625–631.
- Doğaner, G.N., 2024. *Leymus cappadocicus*, *aeluopus littoralis* ve *agropyron cristatum* bitkileri üzerinde kimyasal içerik belirleme ve biyolojik aktivite çalışmaları. (<https://www.proquest.com/dissertations-theses/em-leymus-cappadocicus-aeluopus-littoralis-ve/docview/3263324488/se-2>), (Access Date: 04.09.2025).
- Dokumacı, A.H., Fayemi, P.O., Aycan, Yerer, B., 2019. Real-time monitoring of cytotoxicity of *Callistemon citrinus* against the Colo-205 cell line. *İstanbul Journal of Pharmacy*, 49(1): 25-32.
- Dubois, V., Breton, S., Linder, M., Fanni, J., Parmentier, M., 2007. Fatty acid profiles of 80 vegetable oils about their nutritional potential. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109: 710-732.
- Dyer, A.R., 2009. The ecology of chufa (*Cyperus esculentus sativus*). Report from the University of South Carolina Aiken. Columbia.
- Freshney, R.I., 2016. *Culture of Animal Cells: A Manual of Basic Technique and Specialized Applications* (7th ed.). Wiley-Blackwell.
- Gambo, A., Da'u, A., 2014. Tiger nut (*Cyperus esculentus*): composition, products, uses and health benefits – a review. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, 7: 56-61.
- Ke, N., Wang, X., Xu, X., Abassi, Y.A., 2011. The xCELLigence system for real-time and label-free monitoring of cell viability. *Mammalian Cell Viability*, Springer, pp. 33-43.

- Kilani, S., Ledauphin, J., Bouhlef, I., Sghaier, M., Boubaker, J., Skandrani, I., Mosrati, R., Ghedira, K., Barillier, D., Chekir-Ghedira, L., 2008. Comparative study of cyperus rotundus essential oil by a modified GC/MS analysis method. evaluation of its antioxidant, cytotoxic, and apoptotic effects. *Chemistry & Biodiversity*, 5: 729-742.
- Mohdaly, A., 2019. Tiger Nut (*Cyperus esculentus* L.) Oil. In: Ramadan MF, editor. Fruit Oils: Chemistry and Functionality. Egypt: Springer International Publishing, p. 243-269.
- Nazlıcan, A.N., 2007. A new alternative in oil, starch, and sugar production: Ground almond. *Agroscop Agriculture Food Livestock Journal*, 1(1): 54-55.
- Riss, T., Niles, A., Moravec, R., Karassina, N., Vidugiriene, J., 2019. Cytotoxicity assays: in vitro methods to measure dead cells. Assay guidance manual.
- Roselló-Soto, E., Garcia, A., Fessard, A., Barba, F.J., Muneke, P., Jose, M.L., Remize, F., 2019. Nutritional and microbiological quality of tiger nut tubers (*Cyperus esculentus*), derived plant-based and lactic fermented beverages. *Ferment*, 5(1): 3.
- Sağdıç, O., Özcan, M., 2002. The antioxidant activity of wild plants: *Rosa canina* L., *Crataegus monogyna* Jacq., *Centaurea depressa* M.B., *Sambucus ebulus* L., *Rhus coriaria* L., *Rosa pimpinellifolia* L. *Food Chemistry*, 79(4): 307-313.
- Sánchez-Moreno, C., Larrauri, J.A., Saura-Calixto, F., 1998. A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76(2): 270-276.
- Sapcı, H., 2016. Türkiye *Cyperus* L. Cinsinin Taksonomik ve Moleküler Revizyonu. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Sidohoude, A., Nonviho, G., Djenontin, S.T., Agbangnan, P., Paris, C., Sohounhloue, D.C.K., 2014. Physicochemical characterization of vegetable oil and defatted meal from two varieties of *Cyperus esculentus* from Benin. *Chemistry Journal*, 4(1): 1-7.
- Tigernuts Traders, 2014. (www.tigernuts.com), (Access Date: 10.09.2025).
- Yılmaz, Y., 2019. Yer bademi Sütü (Horchata) yan ürünlerinin ekmek üretiminde değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Zohary, D., 1986. The origin and early spread of agriculture in the Old World. In: Barigozzi C, editor. The origin and domestication of cultivated plants. Amsterdam: Elsevier, pp. 3–20.

EJONS

Uluslararası Matematik, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi
International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences

Review Article

e-ISSN: 2602 - 4136

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18033976>

İpliği Boyalı Gömleklik Kumaşlarda Renk Tasarımı: Yapısal ve Estetik Yaklaşımlar

Bilge BERKHAN KASTACI *1

¹ Tekirdağ Namık kemal Üniversitesi, Çerkezköy Meslek Yüksekokulu, Tekirdağ
Sorumlu Yazar Email: bberkhan@nku.edu.tr

Makale Tarihçesi

Geliş: 08.11.2025

Kabul: 16.12.2025

Anahtar Kelimeler

İpliği Boyalı Kumaş,
Renk Algısı,
Örgü Tipi,
Dokuma Tasarımı,
Estetik Etkileşim

Özet: İpliği boyalı dokuma kumaşlarda renk tasarımı, tekstil tasarım sürecinin hem teknik hem de estetik boyutlarını bütünleştiren çok katmanlı bir olgudur. Kumaş yüzeyinde algılanan renk, yalnızca pigment veya boyarmadde kaynaklı bir etki olmayıp; ipliğin yapısal özellikleri, büküm yönü, örgü tipi, dokuma sıklığı ve yüzey topografyasıyla doğrudan ilişkilidir. Bu çalışmada, gömleklik kumaşlarda renk-örgü-desen etkileşimi kavramsal bir bakış açısıyla ele alınmış; renk planlamasının yapısal, optik ve algısal temelleri bütüncül biçimde değerlendirilmiştir. Renk algısının temel bileşenleri olan ton (hue), değer (value) ve doygunluk (chroma), iplik geometrisi, örgü yapısı ve dokuma parametreleriyle ilişkilendirilerek yüzeydeki görsel derinlik, parlaklık ve kontrast etkileri tartışılmıştır. Çalışma, dokuma tasarımında renk kararlarının yalnızca estetik bir seçim değil, aynı zamanda yüzey geometrisiyle tanımlanan bir yapısal problem olduğunu vurgulamaktadır. Bu bağlamda, ipliği boyalı gömleklik kumaşlarda renk tasarımına yönelik yapısal-estetik temelli bir planlama yaklaşımı önerilmekte; tasarımcının teknik bilgiyle estetik duyarlılığı bir araya getirebildiği bir karar sistemi ortaya konulmaktadır.

Color Design in Yarn-Dyed Shirting Fabrics: Structural and Aesthetic Approaches

Article Info

Received: 08.11.2025

Accepted: 16.12.2025

Keywords

Yarn-Dyed Fabric,
Color Perception,
Weave Type,
Woven Design,
Aesthetic Interaction

Abstract: Color design in yarn-dyed woven fabrics is a multifaceted process that integrates both technical and aesthetic dimensions of textile design. The perceived color of a fabric is not solely determined by pigments or dyes but is intrinsically related to the structural properties of the yarn, twist direction, weave type, fabric density, and surface topography. In this study, the interaction between color, weave, and pattern in shirting fabrics is examined from a conceptual perspective, emphasizing the structural, optical, and perceptual foundations of color planning. The fundamental components of color perception—hue, value, and chroma—are analyzed in relation to yarn geometry, weave structure, and fabric parameters to explain visual depth, brightness, and contrast effects on the surface. The study highlights that color decisions in woven design represent not merely aesthetic preferences but also structural configurations that define the fabric's optical behavior. Consequently, a structural-aesthetic design framework is proposed for color planning in yarn-dyed shirting fabrics, offering designers an integrative approach that unifies technical knowledge and aesthetic sensibility within a coherent decision-making process.

1. Giriş

İpliği boyalı dokuma kumaşlarda renk tasarımı, tekstil tasarım sürecinin en dikkat gerektiren aşamalarından biridir. Bu kumaş grubunda renk, sadece yüzeye uygulanan bir unsur değil, kumaşın yapısına dâhil edilmiş bir bileşendir. Renk, ipliğin lif yapısından itibaren üretim sürecinin her aşamasına etki eder; bu da onu yüzey boyalı kumaşlardan ayıran en temel farktır. Bu nedenle ipliği boyalı kumaşlarda renk hem estetik bir karar hem de yapısal bir tasarım problemidir.

Gömleklik kumaşlarda renk tasarımı, genellikle iplik seçimi, örgü tipi ve desen planı kararlarının aynı anda verilmesini gerektirir. Bu kararlar yalnızca estetik bir uyum değil, aynı zamanda teknik bir tutarlılık da oluşturmalıdır. Kullanılan ipliğin büküm yönü, elyaf parlaklığı veya kalınlığı gibi fiziksel özellikler, dokuma yapısında renk görünümünü doğrudan etkiler. Örneğin, dimi örgüde yüzey yansımaları renkleri daha doygun ve parlak gösterirken, bezayağı örgüde renkler daha mat ve yumuşak algılanır. Bu etkileşimler, tasarım sürecini salt renk seçiminin ötesine taşır; her bir yapısal karar, renk algısının bir bileşeni hâline gelir.

Renk, kullanıcı deneyimini yönlendiren en güçlü görsel göstergelerden biridir. Gömleklik kumaşlarda renk planı, ürünün kullanım bağlamına ve hedef kullanıcı profiline göre belirlenir. Ofis, günlük veya casual giyim için seçilen renkler yalnızca beğeniye değil, aynı zamanda kumaşın ifade ettiği karaktere de karşılık gelir. Tasarımcı, bu noktada hem renk psikolojisini hem de doku-ışık etkileşimini birlikte düşünerek renk uyumunu planlamalıdır. Böylece kumaş, görsel olarak dengeli, algısal olarak ise tutarlı bir kimlik kazanır.

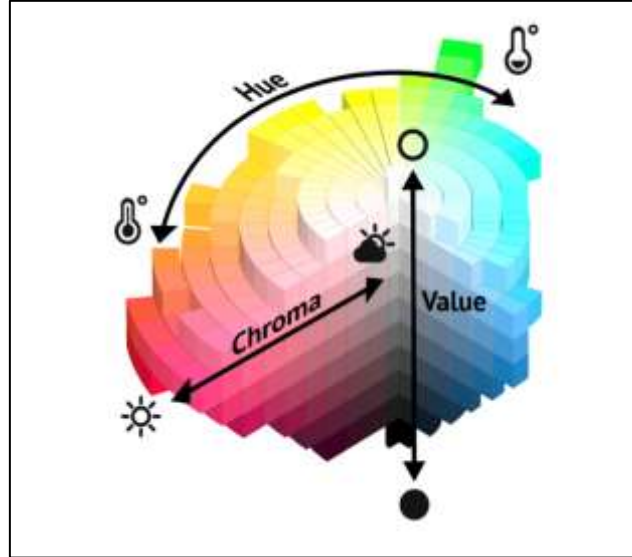
Bu çalışmanın temel amacı, ipliği boyalı gömleklik kumaşlarda renk tasarım sürecini iplik yapısı, örgü tipi, dokuma parametreleri ve estetik algı ilişkisi bağlamında bütüncül bir yaklaşımla incelemektir. Literatürde renk teorisi, doku algısı ve örgü yapısı genellikle ayrı disiplinler olarak ele alınmaktadır. Ancak ipliği boyalı dokuma kumaşlarda bu bileşenler tek bir tasarım sisteminin parçalarıdır. Bu derleme çalışması, söz konusu bileşenleri bir araya getirerek renk tasarımını hem teknik hem estetik açıdan değerlendirmeyi; böylece tasarımcılara iplik, örgü ve renk planı kararlarında yön gösterici bir çerçeve sunmayı hedeflemektedir.

2. Kuramsal Temel: Renk Algısı ve Dokuma Yapısı

2.1. Renk algısının temelleri

Renk, ışığın yüzey tarafından soğurulması ve yansıtılması sonucu gözde oluşan bir algıdır. Dokuma kumaşlarda renk algısı yalnızca pigment kaynaklı değildir; ipliklerin yüzey düzeni, büküm biçimi ve örgü yönleri ışığın kumaş yüzeyinde kırılma biçimini değiştirerek rengin tonunu, parlaklığını ve derinliğini etkiler. Ellis (1951), renk algısının yalnızca fiziksel bir olay değil, aynı zamanda kumaşın yapısal organizasyonu ile ilişkili görsel bir olgu olduğunu belirtmiştir.

Renk üç temel bileşenle açıklanır: ton (hue), değer (value) ve doygunluk (chroma). Hue, rengin türünü ifade eder; örneğin kırmızı, mavi veya yeşil gibi ana tonların her biri farklı bir hue'dur. Value, rengin açıklık veya koyuluk derecesini belirler ve ışığın yüzeydeki yansıma miktarına bağlı olarak değişir. Chroma ise rengin saflığı ya da canlılığıdır; yani rengi “kirlenen” gri bileşenlerden ne kadar arınmış olduğunu gösterir. Bu üç özellik bir araya geldiğinde, yüzey üzerinde görülen rengin hem fiziksel hem de algısal karakteri ortaya çıkar (Fairchild, 2013).



Şekil 1. Renk algısını oluşturan üç temel bileşen: ton (hue), değer (value) ve doygunluk (chroma) (Color and Style, 2025).

Renk algısı yalnızca fiziksel değil, aynı zamanda çevresel ve psikolojik faktörlerle de şekillenir. Dickinson (2011), renk algısının çok katmanlı bir süreç olduğunu; dokuma yüzeylerde ipliklerin parlaklığı, örgü tipi ve ışığın geliş açısının renk algısında belirleyici rol oynadığını vurgulamıştır. Parlak yüzeyler ışığı yönlü yansıtarak daha canlı ve keskin bir renk görünümü oluştururken, mat yüzeylerde ışık difüz şekilde dağılır ve renkler daha yumuşak algılanır. Bu nedenle aynı renk tonu, farklı iplik ve örgü kombinasyonlarında birbirinden oldukça farklı görünebilir.

Renk algısının oluşumunda insan gözünün fizyolojik yapısı da önemli rol oynar. Retinada yer alan koni hücreleri kırmızı, yeşil ve mavi dalga boylarına duyarlıdır; bu üç ana uyarım kombinasyonu sayesinde tüm renkler algılanır. Ancak kumaş yüzeyinde bu renklerin bir arada bulunması durumunda, göz bu renkleri ayrı ayrı değil, optik bir karışım olarak yorumlar. Bu olay “görsel karışım” veya “eşzamanlı kontrast” olarak adlandırılır.

Itten (1970) ve Chevreul (1839) renk teorilerine göre, eşzamanlı kontrast ilkesi dokuma kumaşlarda ipliklerin yan yana geldiği renk etkileşimini açıklar. Farklı renkli iplikler aynı yüzeyde dokunduğunda, göz bu renkleri bağımsız değil, bir karışım alanı olarak algılar. Bu durum, özellikle ipliği boyalı gömleklik kumaşlarda çizgi, ekose veya end-on-end gibi desenlerde renk doygunluğunu ve algısal yoğunluğu belirleyen ana etkindir.

Renk aynı zamanda duygusal ve kültürel bir iletişim aracıdır. Tasarımcı için renk, yalnızca fiziksel bir görünüm değil, bir anlatım dilidir. Renklerin sıcak-soğuk, açık-koyu, mat-parlak karşıtlıkları, kumaşın kullanıcıya ilettiği duygusal mesajı şekillendirir. Gömleklik kumaşlarda örneğin mavi tonlar “rahatlık” ve “güvenilirlik” duygusunu pekiştirirken, kırmızı ve bordo tonları “enerji” ve “dikkat çekicilik” etkisi yaratır. Bu psikolojik etkiler, dokuma tasarımında ürün kimliğini oluşturan en önemli unsurlardan biridir (Choo ve Kim, 2003).

Renk algısı; dokuma yüzeyinin fiziksel yapısı, insan gözünün optik algılaması ve tasarımcının estetik kararı arasında kurulan çok katmanlı bir ilişkidir. Renk, yalnızca bir görsel uyarım değil, kumaşın yapısal kimliği ve duygusal ifadesidir.

2.2. Dokuma yapısının renk üzerindeki etkisi

Renk algısı yalnızca kullanılan boyarmaddenin niteliğiyle değil, kumaşın yapısal özellikleriyle de yakından ilişkilidir. Dokuma yüzeyinde ipliklerin diziliş biçimi, yüzme uzunlukları, sıklık değerleri ve yüzey topografyası, ışığın kumaş yüzeyine çarpma ve yansıma

yönünü belirler. Watson (2005), dokuma kumaşların renk karakterinin “elyaf yapısı, iplik geometrisi ve yüzeyin ışığı yansıtma biçiminin toplam sonucu” olduğunu vurgulamıştır. Dolayısıyla örgü tipi ve iplik özellikleri, renk görünümünün en belirleyici iki parametresidir.

Dokuma kumaşlarda örgü tipi, renk doygunluğu ve yüzey parlaklığı üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Dimi örgülerde yüzme uzunlukları fazla olduğundan, ışık yönlü bir biçimde yansır ve yüzey daha parlak görünür. Buna karşılık bezayağı örgülerde, bağlantı noktalarının sık olması nedeniyle ışık farklı yönlerde kırılır; bu da daha mat ve yumuşak bir renk algısı oluşturur. Aksoy (2018) bu etkiyi “örgü–renk kontrastı” olarak tanımlamış, Uğurlu (2018) ise farklı ipliklerin değişik örgü yapılarında gözle görünür biçimde farklı tonlarda algılandığını belirtmiştir. Benzer şekilde Mathur ve Seyam (2000), örgü yapısı ile renk görünümü arasındaki etkileşimin yalnızca optik değil, aynı zamanda geometrik bir sonuç olduğunu ve yüzey topografyasının renk algısını doğrudan yönlendirdiğini göstermiştir.

Renk görünümü üzerindeki bir diğer yapısal unsur iplik türü ve yüzey parlaklığıdır. Elyafın ışığı yansıtma kabiliyeti, iplik yüzeyinin düzgünlüğü ve büküm oranına bağlıdır. Mercerize pamuk, ipek ve polyester gibi parlak elyaflar, daha yönlü yansıma göstererek renkleri canlı ve doygun hale getirirken; pamuk, keten veya viskon gibi mat elyaflar daha difüz yansıma yaratır ve renk tonları daha yumuşak görünür. Başer G (2023), bu farkın kumaşın “optik derinlik” hissini belirlediğini ve özellikle gömleklik kumaşlarda ürün karakteri açısından önemli olduğunu vurgulamıştır.

Işık–renk etkileşiminde büküm yönü de belirleyici bir parametredir. Z bükümlü ipliklerde yüzey spiral yönü ışığı daha fazla yansıtırken, S bükümlü ipliklerde ışık kırılımı farklı yönlere dağılır ve yüzey daha mat bir görünüm kazanır. Özgen Keleş ve Yılmaz (2019), büküm yönü ve iplik kalınlığının kumaşın renk yoğunluğunu doğrudan etkilediğini; özellikle çözü ve atkı iplikleri farklı büküm yönlerinde seçildiğinde renk kontrastının daha belirgin hale geldiğini belirtmiştir.

Dokuma sıklığı, yani çözgü (EPI) ve atkı (PPI) değerleri de renk görünümünü etkileyen önemli faktörlerdendir. Sık dokunmuş kumaşlarda iplikler daha yoğun bir yüzey oluşturduğundan, renkler daha koyu ve doygun algılanır; gevşek dokumalarda ise ışık geçişi arttığı için renk daha açık görünür. Kothari (2008), bu etkinin dokuma sıklığının optik yansıma dengesine bağlı olduğunu ve açık renkli gömleklik kumaşlarda ışık yansımalarını dengelemek için sıklık ayarının dikkatle yapılması gerektiğini vurgulamıştır.

Tüm bu etkenler bir arada değerlendirildiğinde, dokuma kumaşlarda renk algısının yapısal temeli ortaya çıkar. Elyafın ışığı yansıtma özelliği, iplik geometrisi, örgü tipi ve sıklık parametreleri birlikte yüzeyin “optik davranışını” belirler. Başka bir deyişle, dokuma kumaşlarda renk yalnızca boyama sonucu değil, yapısal tasarım kararlarının toplam etkisidir. Bu nedenle ipliği boyalı gömleklik kumaşlarda, renk planlaması her zaman iplik yapısı ve örgü geometrisiyle birlikte ele alınmalıdır.

2.3. Tasarım düşüncesi ve renk planlaması

Tasarım süreci, yalnızca teknik parametrelerin değil, aynı zamanda estetik, psikolojik ve düşünsel kararların bütünüdür. İpliği boyalı dokuma kumaşlarda renk planlaması hem görsel uyum hem de yapısal bütünlük açısından tasarımcının en kritik karar alanlarından birini oluşturur. Renk, örgü ve iplik seçimi bir arada düşünüldüğünde, ortaya çıkan yüzey yalnızca fiziksel bir ürün değil, aynı zamanda tasarımcının düşünme biçiminin bir ifadesidir.

Igoe (2021), tekstil tasarımını “yapım temelli düşünce (thinking through making)” kavramı üzerinden tanımlayarak, tasarımcının üretim süreci boyunca malzeme ile düşünsel bir etkileşim içinde olduğunu vurgulamaktadır. Bu yaklaşıma göre renk planı, yalnızca çizim aşamasında belirlenen bir estetik düzen değil; dokuma sırasında malzemenin verdiği tepkilere

göre sürekli evrilen bir karardır. Bu nedenle dokuma tasarımında renk seçimleri, soyut bir kompozisyon değil; malzeme ve yapının birlikte şekillendirdiği, somut bir düşünme pratiği olarak değerlendirilmektedir.

Renk planlamasında hedef, yüzeyde algısal denge oluşturmaktır. Renklerin yoğunluğu, sıcaklık dereceleri ve parlaklıkları arasında kurulan ilişkiler, kumaşın kullanıcıda yarattığı duygusal etkiyi belirler. Choo ve Kim (2003) tarafından yapılan algı testlerinde, renk ve doku kombinasyonlarının kumaş imajını “elegant, comfortable, simple” gibi kategorilerde değiştirdiği görülmüştür. Bu sonuç, renk planlamasının yalnızca estetik değil, aynı zamanda psikolojik bir iletişim unsuru olduğunu göstermektedir. Benzer biçimde Dickinson (2011), renk düzenlerinin ürün kimliğini ifade eden bir “görsel dil” işlevi taşıdığını ve dokuma tasarımında renk seçiminin tasarımcının anlatım biçimiyle doğrudan ilişkili olduğunu vurgulamıştır.

Dokuma kumaşlarda renk planı, tasarımcı niyeti ve kullanım bağlamı ile değerlendirilmelidir. Örneğin, gömleklik kumaşlarda ofis kullanımı için seçilen renk paletleri genellikle düşük kontrastlı, pastel veya nötr tonlardan oluşur; bu tür kombinasyonlar profesyonel ve dengeli bir algı oluşturur. Buna karşın günlük giyim veya casual tarzdaki gömlekliklerde, kontrastlı ve canlı renk paletleri tercih edilerek dinamizm ve özgürlük hissi vurgulanır. Böylece renk planı yalnızca bir estetik tercih değil, ürünün ifade ettiği karakterin de bir yansıması haline gelir.

Renk planlaması sürecinde kullanılan temel yaklaşımlar arasında monokromatik, analog ve komplementer renk düzenleri öne çıkar. Monokromatik planlar, aynı rengin farklı tonlarını kullanarak yumuşak geçişler yaratırken; analog planlar renk çemberinde birbirine yakın tonları bir araya getirerek görsel uyum sağlar. Komplementer planlar ise zıt renkleri bir araya getirerek yüzeyde dikkat çekici bir kontrast oluşturur. Dokuma kumaşlarda bu üç yaklaşım, iplik renklerinin çözgü ve atkı yönlerinde dengeli biçimde dağıtılmasıyla uygulanır.

Fletcher ve Tham (2019), sürdürülebilir tasarım yaklaşımında renk kararlarının yalnızca estetik bir seçim değil, aynı zamanda düşünsel bir farkındalık biçimi olduğunu ileri sürmüştür. Bu yaklaşım, dokuma kumaşlarda renk planlamasının sadece görsel değil, aynı zamanda çevresel, duygusal ve üretimsel bir bütünlük taşıdığını ortaya koyar. Dolayısıyla ipliği boyalı kumaş tasarımında renk, tasarımcının hem estetik hem de düşünsel sorumluluğunun bir uzantısı haline gelir.

Tasarım düşüncesi, ipliği boyalı dokuma kumaşlarda renk planlamasının yönünü belirleyen temel unsurdur. Tasarımcı hem estetik duyarlılığını hem de teknik bilgisini kullanarak iplik yapısı, örgü tipi ve renk kombinasyonları arasında bir bütünlük kurar. Böylece ortaya çıkan kumaş, yalnızca görsel bir tasarım ürünü değil, aynı zamanda yapısal estetiğin somut bir ifadesidir.

3. Gömleklik Kumaşlarda Tasarım Parametreleri

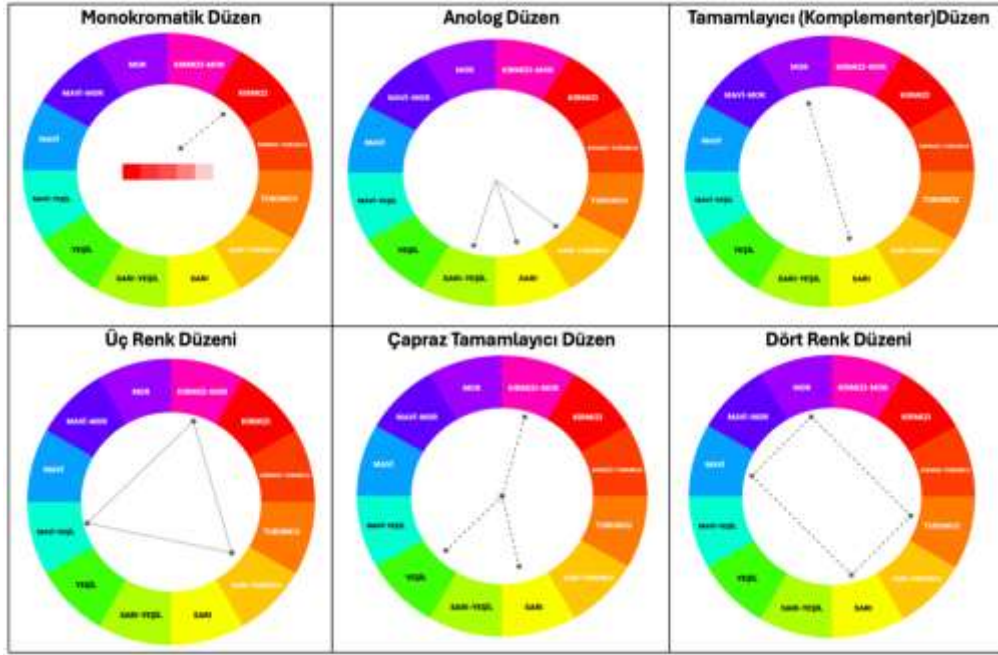
İpliği boyalı gömleklik kumaş tasarımı, renk ile yapı arasındaki ilişkinin en net biçimde gözlemlenebildiği alanlardan biridir. Renk, iplik yapısı ve örgü tipi arasındaki denge, kumaşın hem görsel hem de duyuşal karakterini belirler. Tasarımcı açısından bu dengeyi oluşturmak; renk uyumu, doku algısı, yüzey parlaklığı ve desen ölçeği gibi değişkenlerin birlikte ele alınmasını gerektirir. Dokuma parametreleri arasındaki küçük farklar dahi, kumaşın genel görünümünde belirgin etkiler yaratabilir (Başer, 2023).

3.1. Renk seçimi ve palet planlaması

Gömleklik kumaşlarda renk seçimi, ürünün kullanım amacına ve hedef kullanıcıya bağlı olarak değişir. Renk planlamasında amaç, yüzeyde görsel bir uyum ve okunabilirlik sağlamaktır. Ofis tipi gömleklik kumaşlarda genellikle düşük kontrastlı, pastel veya nötr tonlar

tercih edilirken; günlük ve casual kullanıma yönelik kumaşlarda canlı, komplementer renk kombinasyonlarıyla dinamik bir ifade oluşturulur (Choo ve Kim, 2003).

Renk paleti, genellikle üç ana gruptan oluşur: ana renk (dominant), destekleyici renk (secondary) ve dengeleyici nötr renk (balancing). Bu üçlü yapı, desen planında hem ritim hem de kontrast etkisi oluşturur (Dickinson, 2011). Palet seçiminde renk çemberinden yararlanılarak monokromatik, analog veya komplementer düzenler uygulanabilir. Monokromatik planlar aynı rengin farklı tonlarıyla sade ve zarif yüzeyler üretirken; analog planlar birbirine yakın tonları kullanarak görsel uyum sağlar. Komplementer planlar ise zıt tonları bir araya getirerek enerjik ve hareket hissi oluşturur.



Şekil 2. Renk düzeni çeşitleri (monokromatik, analog, tamamlayıcı, üç renk, çapraz tamamlayıcı, dört renk düzenleri) (Güzel, 2025)

Bu yaklaşımlar, gömleklik kumaşlarda özellikle çizgi ve ekose desenlerin optik yoğunluğunu belirleyen temel görsel stratejilerdir. Tasarımcı, renk seçiminde yalnızca beğeniye değil, aynı zamanda kumaşın ışık altında sergileyeceği optik davranışa da dikkat etmelidir (Watson, 2005). Laitala, Klepp ve Henry (2021) ise gömleklik kumaşlarda renk, doku ve kullanım bağlamı ilişkisinin hem estetik hem de işlevsel düzeyde dengelenmesi gerektiğini vurgulamıştır. Bu yaklaşım, gömleklik kumaşlarda renk kararlarının yalnızca görsel değil, aynı zamanda konfor, kullanım ve kullanıcı algısıyla ilişkili olduğunu göstermektedir.

İpliği boyalı gömleklik kumaşlarda renk planlaması ve palet oluşturma süreci, tasarımcının hem teknik bilgisini hem de estetik duyarlılığını bir araya getiren bütüncül bir yaklaşımdır. Kumaş yüzeyinde renk, örgü ve iplik yapısı arasındaki uyum; ürünün kimliğini ve kullanım amacına uygunluğunu belirleyen temel tasarım parametresidir.

Seçilen renk paletlerinin dokuma yüzeyine aktarılabilmesi için, ipliği boyalı dokuma kumaşlarda renk planlaması çözgü ve atkı ipliklerinin renk raporları üzerinden yürütülen sistematik bir tasarım süreci olarak ele alınır. Renk raporları, tek renkli ya da sınırlı tekrar içeren basit düzenlerden, çok renkli, çoklu tekrar ve ritmik yapı içeren karmaşık düzenlere kadar farklı düzeylerde planlanabilmektedir. Bu bağlamda renk planı, örgü yapısı ve dokuma parametreleriyle birlikte değerlendirildiğinde, kumaş yüzeyinde algılanan desen ve doku karakterinin oluşumunda belirleyici bir rol üstlenir.

3.2. İplik seçimi

İplik seçimi, renk görünümünü belirleyen en önemli teknik kararlardan biridir. Elyaf türü, iplik tipi, büküm yönü, iplik numarası, kat sayısı ve yüzey düzgünlüğü gibi faktörler, yüzeyin ışıkla etkileşimini ve dolayısıyla renk algısını doğrudan etkiler (Aksoy, 2018; Özgen Keleş ve Yılmaz, 2019; Başer, 2023).

- Elyaf türü: Pamuk iplikleri doğal ve mat bir yüzey oluştururken; pamuk/polyester veya pamuk/viskon karışımları yüzeyde daha fazla parlaklık ve renk canlılığı kazandırır. Elyaf karışım oranı arttıkça yüzeyin yansıma miktarı ve dolayısıyla optik parlaklık da artar.

- İplik tipi: Compact iplikler, az tüylü ve düzgün yüzeyleri sayesinde renkleri daha keskin ve net gösterir. Klasik ring iplikler, yüzeydeki mikro tüylülük nedeniyle renk doygunluğunu azaltarak daha yumuşak bir görünüm oluşturur. Aksoy (2018), bu farkın dokuma kumaşlarda özellikle örgü tipiyle birleştiğinde “yüzey kontrastı” ve “optik algı” üzerinde belirleyici olduğunu vurgulamıştır. Benzer biçimde, Goswami et al. (2004) compact ipliklerin düzgün geometrisi sayesinde ışığın daha yönlü yansıdığını ve bu nedenle renklerin daha net algılandığını belirtmiştir.

- Büküm yönü: Z bükümlü ipliklerde spiral yapı ışığı yönlü biçimde yansıtır ve yüzey parlak görünürken, S bükümlü ipliklerde ışık farklı açılara dağılır ve yüzey daha mat algılanır. Çözü ve atkı ipliklerinde farklı büküm yönlerinin tercih edilmesi, yüzeyde renk kontrastını ve optik canlılığı artırılabilir (Aksoy, 2018; Özgen Keleş ve Yılmaz, 2019).

- Numara (incelik): İplik numarası büyüdükçe iplik incelir ve daha yüksek sıklıkta dokunmaya olanak verir; renk yüzeyde daha homojen ve net algılanır. Daha küçük numaralar (kalın iplikler) yüzeyde mikro gölge geçişleri ve dokusal derinlik oluşturarak difüz yansıma ve optik derinlik etkisi yaratır (Özgen Keleş ve Yılmaz, 2019; Başer, 2023). Örneğin; 40 Ne (ince) > 60 Ne (daha ince); 80 Ne (çok ince) olduğu gibi.

- Kat sayısı: Aynı birleşik numarada (örneğin 60/2 $\approx$ 30 Ne) çift kat iplikler, tek kat 30/1'e göre daha yuvarlak ve düzenli kesit yapısına sahiptir. Bu durum yüzey tüylülüğünü azaltır, rengi daha parlak ve çizgileri daha keskin hale getirir. Tek kat ipliklerde ise tüylülük ve mikrotekstür, yüzeyin daha mat ve yumuşak görünmesine yol açar (Aksoy, 2018; Özgen Keleş ve Yılmaz, 2019; Goswami ve ark., 2004). Örneğin; 80/2 ($\approx$ 40 Ne) iplik, 60/2 ($\approx$ 30 Ne)'ye göre daha ince olduğundan yüzeyde daha temiz renk ve daha yüksek çözünürlüklü çizgi / ekose görünümü sağlar. İplik yapısı ve geometrisi, dokuma kumaşlarda renk algısının fiziksel temelini oluşturur. Elyaf tipi, iplik bükümü, kat sayısı ve numara gibi değişkenlerin her biri, kumaşın hem optik hem de dokusal estetiğini belirleyen bütüncül tasarım parametreleridir.

3.3. Örgü tipi

Örgü tipi, ipliklerin yüzeyde oluşturduğu geometrik düzeni belirler ve renk dağılımının yönünü doğrudan etkiler. Bezayağı, dimi, panama, kırık dimi veya balıksırtı gibi örgüler, aynı renk paletiyle bile farklı görsel algılar yaratabilir. Bezayağı örgü, sık bağlantı noktaları sayesinde ışığı çok yönlü kırar; bu nedenle renk görünümü mattır ve yüzey düzenlidir. Dimi örgü (özellikle 2/2 veya 3/1), daha uzun yüzmeler nedeniyle ışığı daha çok yansıtır, renkler daha doygun ve parlak görünür (Watson, 2005). Panama örgü, blok bağlantı yapısı sayesinde yumuşak renk geçişleri ve optik karışım etkisi yaratır (Uğurlu, 2018). Kırık dimi veya balıksırtı yapılarında, yüzey yönlülüğü sayesinde gölge-ışık değişimleri oluşur; bu da renklerde derinlik hissi verir (Aksoy, 2018). Mathur ve Seyam (2000), farklı örgü yapılarında çözgü-atkı renk kombinasyonlarını inceleyerek, renk görünümündeki değişimlerin yalnızca optik yansıma değil, aynı zamanda örgü geometrisinin neden olduğu topografik farklılıklardan da kaynaklandığını göstermiştir. Bu bulgu, örgü tipinin renk algısını belirleyen hem fiziksel hem de geometrik bir unsur olduğunu desteklemektedir.



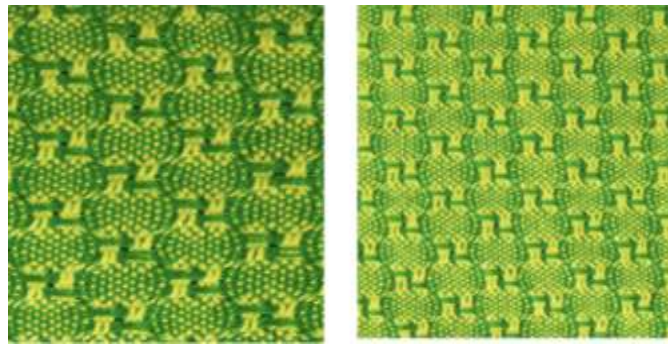
Şekil 3. Aynı renk ipliklerle dokunmuş bezayağı (sol) ve atkı sateni (sağ) örgü yapılarında yüzey düzeni ve yansıma farkının renk görünümüne etkisi. Bezayağı örgü sık bağlantı noktalarıyla daha mat ve düzenli bir yüzey oluştururken, saten örgü uzun yüzmeleri nedeniyle daha parlak ve doygun bir renk algısı yaratır (Mathur ve Seyam, 2000).

Tasarımcı, renk planı oluştururken örgü yapısını da bu optik farklara göre belirlemelidir. Aynı palet, bezayağı örgüde sade ve yumuşak bir etki oluştururken, dimi örgüde daha canlı ve belirgin bir görünüm kazanabilir. Bu durum, renk seçiminin yalnızca ton veya doygunlukla değil, örgü yapısının ışıkla etkileşim biçimiyle de yönlendiğini gösterir. Dickinson (2011), örgü yapısının yalnızca fiziksel bir doku değil, aynı zamanda renk kompozisyonunun algısal düzenini belirleyen bir tasarım kararı olduğunu vurgulamıştır.

Örgü tipi, dokuma kumaşlarda renk algısının en önemli belirleyicilerinden biridir. Bezayağı örgüler renkleri nötrleştirerek mat bir yüzey oluştururken; dimi ve panama örgüler parlaklık ve optik derinlik kazandırır. Bu nedenle örgü yapısının seçimi, kumaşın hem teknik performansını hem de estetik kimliğini doğrudan etkileyen temel bir tasarım unsurudur.

3.4. Dokuma parametreleri

Dokuma parametreleri, özellikle çözgü sıklığı (EPI), atkı sıklığı (PPI) ve gramaj, renk yoğunluğu üzerinde doğrudan etkilidir. Bu değişkenler, kumaş yüzeyinin yoğunluk, geçirgenlik ve yansıma özelliklerini belirleyerek, optik davranışını şekillendirir. Sık dokuma (yüksek EPI ve PPI) yüzeyde daha kapalı bir yapı oluşturur; bu da renkleri koyu, derin ve doygun gösterir. Gevşek dokuma ise iplikler arasında daha fazla boşluk bırakarak ışığın geçişini artırır, bu durumda renkler açık, mat ve yumuşak algılanır (Başer, 2023).



Şekil 4. Aynı renk ipliklerle dokunmuş iki kumaşa çözgü sıklığının renk algısına etkisi: solda daha düşük çözgü sıklığı nedeniyle atkı ipliği (yeşil ton) baskın görünürken, sağda artan çözgü sıklığı çözgü ipliğinin (sarı ton) yüzeyde daha belirgin hale gelmesine neden olmuştur (Warp and Weave, 2025)

Kothari (2008), dokuma sıklığının renk yoğunluğu üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemiş ve sıklık arttıkça kumaşın optik geçirgenliğinin azaldığını, bunun da renklerin daha koyu ve derin algılanmasına neden olduğunu belirtmiştir. Bu bulgu, renk–yapı ilişkisinin yalnızca boyarmadde yoğunluğuyla değil, aynı zamanda kumaşın geometrik organizasyonu da belirlendiğini göstermektedir.

Gömleklik kumaşlarda genellikle EPI 90–120 ve PPI 80–100 aralıkları tercih edilir. Bu aralıklar hem renk homojenliği hem de konfor özellikleri açısından optimum dengeyi sağlar. Çok sık dokunmuş kumaşlarda renk daha net algılansa da, düşük hava geçirgenliği konforu azaltabilir. Bu nedenle, gömleklik kumaşlarda dokuma parametrelerinin seçimi, yalnızca görsel etki değil, aynı zamanda kullanıcı konforu ve kumaşın işlevsel performansı açısından da önem taşır (Özgen Keleş ve Yılmaz, 2019).

Gramaj da renk görünümünde belirleyici parametrelerden biridir. Kumaş gramajı arttıkça, yüzeydeki iplik yoğunluğu artar ve bu da renklerin daha doygun görünmesini sağlar. Düşük gramajlı kumaşlarda ise yüzeyin açık yapısı ışığı daha fazla geçirir, bu nedenle renk algısı daha açık olur. Kothari (2008) bu durumu, dokuma yapısının porozitesi ile ilişkilendirerek açıklamış; porozite arttıkça renk yoğunluğunun azaldığını ve yüzeyin daha “saydam” algılandığını ifade etmiştir.

Dokuma sıklığı, gramaj ve yüzey yoğunluğu gibi parametreler, ipliği boyalı kumaşlarda renk görünümünü doğrudan belirleyen optik tasarım bileşenleridir. Sıklık renk derinliğini, gramaj yüzey doygunluğunu, porozite ise renk parlaklığını etkiler. Gömleklik kumaşlarda bu parametrelerin dikkatle dengelenmesi hem estetik hem de teknik anlamda bütüncül bir renk tasarımı elde edilmesini sağlar.

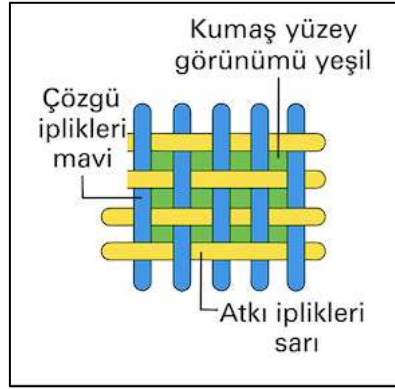
4. Renk Örgü Desen Etkileşimi

İpliği boyalı dokuma kumaşlarda desen, renk planı ve örgü yapısının etkileşimi sonucu ortaya çıkan bir yüzey olgusudur. Tasarım sürecinde ya hedeflenen desene uygun renk planı ve örgü seçilir ya da belirlenen renk–örgü kombinasyonları üzerinden deneysel desen varyasyonları geliştirilir. Bu bağlamda renk, örgü ve desen kavramlarının, birbirinden bağımsız tasarım değişkenleri olarak değil, yüzeyde algılanan görsel ve optik etkinin birlikte üretildiği etkileşimli bir sistemin bileşenleri olarak değerlendirilmelidir.

Dokuma kumaşlarda renk, örgü ve desen etkileşimi; kumaşın hem görsel kimliğini hem de teknik karakterini tanımlayan temel ilişkidir. Renk planı, ipliklerin çözgü ve atkı yönlerinde düzenlenmesiyle ortaya çıkan örgü geometrisiyle birleştiğinde, yüzeyde algılanan renk ve desen yapısı oluşur. Bu nedenle renk yalnızca yüzeysel bir özellik değil, örgü yapısının ayrılmaz bir bileşenidir (Watson, 2005).

Watson (2005), dokuma yüzeylerinde renk etkisinin yalnızca boya kaynaklı olmadığını; yapısal renk (structural colour) olarak adlandırılan, yüzey geometrisinin ışığı yönlü biçimde yansıtmasıyla oluşan optik bir olgu olduğunu vurgulamıştır. Böylece iplik yönü, bağlantı noktaları ve yüzey topografyası, renk tonunun parlaklık ve doygunluk derecesini belirleyen fiziksel etmenler hâline gelir.

Renk–örgü uyumu, kumaşın optik davranışını belirleyen en önemli faktörlerden biridir. Dini örgülerde yüzme uzunlukları fazla olduğundan ışık yönlü biçimde yansır ve yüzey daha parlak görünürken, bezayağı örgülerde bağlantı sıklığının fazla olması ışığın farklı açılarda kırılmasına neden olur ve daha mat bir görünüm oluşturur (Aksoy, 2018). Bu fark, aynı renk ipliklerle dokunmuş iki kumaşta bile renk doygunluğunun ve parlaklığın değişmesine yol açar. Halaçeli (2015), örgü düzeninin yalnızca yüzey dokusunu değil, renklerin birbirine karışma biçimini de etkilediğini; dolayısıyla örgü yapısının görsel kontrast üzerinde belirleyici rol oynadığını vurgulamaktadır.



Şekil 5. Çözü (mavi) ve atkı (sarı) ipliklerinin dokuma yüzeyinde oluşturduğu optik karışım sonucu algılanan yeşil renk görünümü (yazar tarafından hazırlanmıştır).

Aksoy (2018), dimi örgülerin yönlü yansıma etkisi nedeniyle renkleri daha doygun ve net gösterdiğini; Uğurlu (2018) ise bağlantı sıklığı yüksek panama örgülerde renk geçişlerinin daha yumuşak ve dengeli algılandığını belirtmiştir. Bu bulgular, örgü tipinin yüzeydeki renk etkisini yalnızca parlaklık değil, algısal yoğunluk düzeyinde de değiştirdiğini göstermektedir.

Desen planlamasında çözü ve atkı ipliklerinin renk oranı, yüzeyde oluşan ritim ve kontrastın temel belirleyicisidir. Çözü ve atkının eşit aralıklarla renk değiştirdiği 1:1 planlarda çizgisel bir etki elde edilirken, 2:2 veya 5:5 oranlarında renk blokları genişleyerek desen daha belirgin hâle gelir. Uğurlu (2018), bu oran değişimlerinin yüzeyde “algısal denge” ve “görsel yoğunluk” hissini doğrudan etkilediğini göstermiştir. Desen ve örgü planı birlikte değerlendirildiğinde, tasarımcının renk bloklarının yönünü ve tekrar sıklığını doğru belirlemesi, kumaşın bütün estetik yapısını şekillendirir.

Renk–örgü etkileşiminin bir diğer boyutu optik karışım etkisidir. Farklı renkli ipliklerin çok küçük aralıklarla dokunması, gözde üçüncü bir renk algısı oluşturur. Chevreul (1839), ortaya koyduğu eşzamanlı kontrast yasasında, yan yana duran iki rengin birbirinin parlaklık ve doygunluğunu etkilediğini, böylece yeni bir optik denge yarattığını açıklamıştır. Bu prensip, dokuma yüzeylerinde renk bloklarının sıcak–soğuk algısını da değiştirir. Uğurlu (2018) ve Aksoy (2018), bu etkiyi özellikle karışık çözü (end-on-end) ve ince çizgili kumaşlarda gözlemlemiş; optik karışımın renk geçişlerini yumuşatarak yüzeyde derinlik ve sıcaklık hissi yarattığını belirtmişlerdir.

Desen ölçeği de renk–örgü ilişkisinin algısal boyutunu belirler. Küçük ölçekli ekoselerde renk geçişleri birbirine karışarak daha homojen bir görünüm oluştururken, geniş ölçekli desenlerde her renk alanı ayrı bir görsel odak hâline gelir (Başaran ve Keşikci, 2020). Bu durum, kumaşın “okunabilirlik” düzeyini etkiler; yani kullanıcı bir yüzeye baktığında desenin düzenini ne kadar net algıladığını belirler.

Tüm bu ilişkiler, tasarımcının karar sürecinde bir bütün olarak değerlendirilmelidir. Çünkü renk, örgü ve desen parametrelerinden biri değiştiğinde, diğerleri de buna bağlı olarak yeniden dengelenir. Renk tonunun küçük bir değişimi örgü yüzeyinde parlaklık farkı yaratabilir; örgü tipinin değişimi ise renklerin karışım biçimini dönüştürebilir. Bu nedenle ipliği boyalı kumaş tasarımında renk ve yapı bir arada düşünülmelidir.

Bu çok boyutlu ilişki, tasarım sürecinde deneysel yaklaşımları da gerekli kılar. Tasarımcı, iplik rengi ve örgü tipi kombinasyonlarını farklı ışık koşullarında test ederek yüzeyin gerçek görünümünü değerlendirmelidir. Renk–örgü–desen etkileşimi, böylece yalnızca görsel bir tasarım değil, aynı zamanda malzeme üzerinden sürekli bir iletişim sürecine dönüşür. Igöe (2021), bu durumu tasarımcının “malzeme ile düşünme biçimi” olarak tanımlamış; renk, yapı ve desenin sürekli geri besleme yoluyla evrildiğini vurgulamıştır.

Dokuma kumaşlarda renk ve örgü arasındaki etkileşim, desen planlamasının algısal temelini oluşturur. Renk–örgü ilişkisinin doğru kurgulanması, kumaş yüzeyinde hem teknik bütünlük hem de estetik tutarlılık sağlar.

4.1. Dokuma kumaşlarda renk ve örgü kaynaklı görsel etkiler

Dokuma kumaşlarda renk ve örgü kombinasyonları, yüzeyde yalnızca dekoratif bir desen değil, aynı zamanda algısal bir görsel etki üretir. Çözgü ve atkı yönlerinde renk dağılımı, örgü geometrisi ve tekrar oranları birlikte değerlendirildiğinde, kumaş yüzeyinde belirli görsel efektler ortaya çıkar. Bu efektler, özellikle ipliği boyalı gömleklik kumaşlarda yüzey okunabilirliğini, desen algısını ve kullanım bağlamına uygunluğu doğrudan etkileyen tasarım çıktılarıdır.

Çizgi–çubuk efektleri (Şekil 6), çözgü veya atkı yönünde düzenli renk tekrarlarıyla elde edilir ve yüzeyde yönlü bir algı oluşturur. İnce çizgili yapılar daha sade ve resmi bir görünüm sağlarken, geniş çizgiler desenin algısal baskınlığını artırarak daha dinamik bir etki yaratır. Gömleklik kumaşlarda bu etki, özellikle ofis ve klasik kullanım için tercih edilen düzenli ve dengeli yüzeyler oluşturur.



Şekil 6. İpliği boyalı kumaşlarda çizgi- çubuk efekti

Kuş gözü (bird's eye) efektleri (Şekil 7), küçük ölçekli renk tekrarları ve örgü bağlantı noktalarının düzenli dağılımı ile oluşur. Bu tür yapılarda renkler göz tarafından tek tek algılanmak yerine optik olarak karışır ve yüzeyde homojen, yumuşak bir görünüm ortaya çıkar. Kuş gözü efektleri, gömleklik kumaşlarda sade ancak derinlik hissi veren, uzun süreli kullanımda görsel yorgunluk yaratmayan yüzeyler sunar.



Şekil 7. İpliği boyalı kumaşlarda kuş gözü efekti

Basamak (step) efektleri (Şekil 8), renk raporlarının belirli aralıklarla kaydırılması sonucu oluşan kademeli geçişlerdir. Bu etki, yüzeyde hareket hissi ve ritmik bir yapı oluşturur. Bu tür basamak etkileri, renk raporlarının kademeli kaydırılmasıyla oluşan geçişlerin, ekose veya çizgisel düzenler içinde uygulanmasıyla da elde edilebilir. Basamak efektleri, özellikle casual ve sportif gömleklik kumaşlarda yüzey dinamizmini artırmak amacıyla kullanılır.



Şekil 8. İpliği boyalı kumaşlarda basamak efekti

Diyagonal ve zikzak efektler (Şekil 9), örgü yapısının yönlülüğü ile renk planının örtüşmesi sonucu ortaya çıkar. Dimi, kırık dimi veya balıksırtı gibi örgülerde renk raporlarının diyagonal yönlenmesi, yüzeyde akışkan ve hareketli bir algı yaratır. Bu tür efektler, kumaşın görsel enerjisini artırarak daha genç ve dinamik bir karakter kazandırır.



Şekil 9. İpliği boyalı kumaşlarda diyagonal efekt

End-on-end ve melanj görünüm, farklı renkli ipliklerin çok ince aralıklarla çözgü ve atkıda bir araya getirilmesiyle oluşan optik karışım etkilerine dayanır. Bu yapılarda yüzey, tek bir renk gibi algılanmakla birlikte yakından bakıldığında çok tonlu bir yapı sergiler. End-on-end efektler, gömleklik kumaşlarda hem sade hem de sofistike bir görünüm sunarak klasik ve modern kullanım arasında denge kurar.



Şekil 10. İpliği boyalı kumaşlarda melanj efekt

Bu görsel etkiler, ipliği boyalı gömleklik kumaşlarda yalnızca estetik çeşitlilik sağlamakla kalmaz; aynı zamanda desen ölçeği, yüzey okunabilirliği ve kullanım algısını belirleyen temel tasarım araçları olarak işlev görür. Tasarımcı, renk planı ve örgü yapısını birlikte değerlendirerek hedeflenen kullanım bağlamına uygun görsel etkiyi bilinçli biçimde kurgulamalıdır.

5. Uygulama İlkeleri: Renk ve Doku Uyumunun Planlanması

Renk ve doku uyumu, ipliği boyalı dokuma kumaşların estetik kalitesini belirleyen en temel tasarım ilkelerinden biridir. Bu uyum, renk seçiminden dokuma parametrelerine kadar tüm süreçte hem estetik tercihlerin hem de teknik kısıtların dengelendiği çok katmanlı bir yapıyı gerektirir. Renk seçimi, iplik tipi, örgü yapısı ve dokuma sıklığı gibi parametreler yalnızca görsel bir bütünlük oluşturmakla kalmaz, aynı zamanda kumaşın üretilebilirliğini ve kullanım performansını da belirler. Bu nedenle renk tasarımı süreci, her aşaması birbirine bağlı bir karar zinciri olarak ele alınmalıdır.



Şekil 11. İpliği boyalı gömleklik kumaşlarda renk planlaması sürecinde tasarımcının karar aşamalarını gösteren akış diyagramı (yazar tarafından hazırlanmıştır).

Renk–doku uyumunun planlanmasında ilk adım, tasarım amacının belirlenmesidir. Kumaşın kullanım alanı — örneğin ofis, casual veya özel tasarım gömleklik — renk paletinin genel karakterini yönlendirir. Nötr ve pastel tonlar kurumsal giyim için uygun bir denge sağlarken, canlı ve kontrast tonlar günlük giyimde dinamizm ve gençlik hissi oluşturur. Ayrıca renk paletleri belirlenirken yalnızca kullanım alanı değil, kumaşın mevsimsel bağlamı da dikkate alınmalıdır. Soğuk tonlar kışlık koleksiyonlarda derinlik ve ağırlık hissi verirken, sıcak ve açık tonlar yaz koleksiyonlarında ferahlık ve hacim algısını destekler. Bu aşamada tasarımcı yalnızca renk beğenisine değil, hedef kullanıcının algısal konforuna da odaklanmalıdır.

İkinci adımda iplik seçimi, renk davranışıyla uyumlu hale getirilmelidir. Elyaf türü, büküm oranı ve yüzey parlaklığı renk algısında belirleyici rol oynar. Parlak elyaflar (örneğin ipek veya merserize pamuk) renkleri daha canlı ve derin gösterirken, mat elyaflar (örneğin viskon veya keten) daha yumuşak geçişler sağlar. Ayrıca ipliğin büküm yönü (S veya Z) ve kat sayısı, yüzeyin ışığı yönlü ya da difüz biçimde yansıtmasını etkiler; bu da renk tonunun matlık veya parlaklık düzeyini belirler. Tasarımcı, iplik tipi ve yapısını seçerken hedeflenen renk etkisini ve kumaşın yansıma karakterini göz önünde bulundurmalıdır.

Üçüncü adımda örgü tipi ve renk planı birlikte değerlendirilmelidir. Örgü tipi, yüzeydeki renk kontrastının ve parlaklık dağılımının temel belirleyicisidir. Bezayağı örgüler, sık bağlantı noktaları sayesinde ışığı çok yönlü kırarak mat bir etki oluştururken; dimi örgülerde uzun

yüzmeler nedeniyle yüzey daha parlak görünür ve renk sınırları daha belirgin hale gelir. Bu nedenle kontrastlı renk paletleri bezayağı yapılarda, pastel ve ton-sur-ton kombinasyonları ise dimi yapılarda daha uyumludur. Desen planlamasında çözgü ve atkı renklerinin oranı dikkatle ayarlanmalı; 1:1 veya 2:2 dağılımlar yüzeyde ritim ve optik denge oluşturmalıdır.

Dördüncü adımda, dokuma parametrelerinin renk doygunluğu üzerindeki etkisi dengelenmelidir. Sıklık arttıkça yüzeydeki iplik örtüşü yoğunlaşır ve renkler daha koyu algılanır; gevşek dokumalarda ise ışık geçişi artar ve renkler açılır. Bu nedenle renk ve sıklık parametreleri arasında görsel bir denge kurulmalıdır. Renk planı oluşturulurken teknik değerler (EPI, PPI, gramaj) estetik hedefle birlikte düşünülmelidir. Kothari (2008), dokuma sıklığının artmasıyla kumaşın optik geçirgenliğinin azaldığını, dolayısıyla renklerin daha koyu ve doygun algılandığını belirtmiştir. Bu, teknik yoğunluk ile algısal derinlik arasındaki doğrudan ilişkiyi açıklar.

Beşinci adım, tasarımın değerlendirilmesi ve revizyonudur. İpliği boyalı kumaşlarda renk-örgü ilişkisi çoğu zaman dokuma sonrası numune üzerinden gözlemlenir. Bu nedenle tasarım süreci yalnızca planlama değil, aynı zamanda gözlem ve revizyon aşamalarını da içerir. Igoe (2021), bu süreci tasarımcının malzeme ile etkileşim içinde düşünmesini sağlayan deneysel bir öğrenme pratiği olarak tanımlar. Bu bağlamda renk-doku ilişkisi yalnızca planlanmaz; aynı zamanda gözlemlerle yeniden inşa edilir. Numune kumaşlar üzerinden yapılan bu gözlemler, tasarımcının renk paleti veya örgü tipinde gerekli ayarlamaları yapmasını sağlar.

Renk ve doku uyumu, tasarımcının teknik bilgisi ile estetik duyarlılığını bir arada kullanabilme becerisine dayanır. Her bir parametre, diğerleriyle karşılıklı etkileşim içindedir; dolayısıyla tek başına doğru bir karar yoktur. Başer (2023), bu durumu “dokuma tasarımında denge kavramı” olarak tanımlamakta ve tasarımcının her kararı bir diğerine göre yeniden tartması gerektiğini vurgulamaktadır. Bu bütüncül yaklaşım, özellikle gömleklik kumaşlarda hem üretim kolaylığı hem de görsel süreklilik sağlar.

Renk ve doku uyumu yalnızca görsel bir estetik meselesi değil, dokuma kumaşın kimliğini oluşturan çok katmanlı bir sistemdir. Tasarımcı, renk, iplik, örgü ve dokuma parametrelerini birbirine bağlı bir ağ olarak görmeli; her kararı bu ilişkiler bütünü üzerinden değerlendirmelidir. Böylece kumaş, yalnızca renkli bir yüzey değil, malzeme ve anlamın birleştiği bütüncül bir tasarım ürünü hâline gelir. Bu yaklaşım, ipliği boyalı gömleklik kumaşlarda renk-doku bütünlüğünü hem estetik hem de üretim ölçeğinde sürdürülebilir kılar.

Bu süreç, yalnızca estetik bir tercih sıralaması değil; tasarımcının düşünme biçimini biçimlendiren bir deneysel döngüdür. Tasarımcı her adımda, malzeme davranışını gözlemleyerek renk-doku-ışık etkileşimini yeniden değerlendirir. Böylece süreç, çizimden üretime uzanan bir geri besleme sistemi hâline gelir.

İpliği boyalı gömleklik kumaşlarda renk tasarımı süreci, deneysel düşünme ile teknik gözlem arasında kurulan bir köprüdür. Renk, iplik, örgü ve sıklık kararları birbirini tamamlayan dinamik bir sistem oluşturur. Ortaya çıkan kumaş hem teknik doğruluk hem de estetik bütünlük taşır. Böylece tasarım süreci, malzemenin kendisiyle birlikte gelişen yaşayan bir pratik hâline gelir.

6. Sonuç

İpliği boyalı gömleklik kumaşlarda renk tasarımı, dokuma sürecinin hem teknik hem de estetik bileşenlerini bir araya getiren çok katmanlı bir tasarım problemidir. Bu çalışma, literatürde çoğunlukla ayrı ele alınan renk, iplik ve dokuma yapısı ilişkilerini tasarım perspektifinden bütüncül biçimde bir araya getiren derleme niteliğindedir. Çalışma boyunca, renk algısının fiziksel temelleri, dokuma yapısının renk görünümü üzerindeki etkileri ve örgü-

desen etkileşimi, yapısal ve estetik boyutlarıyla birlikte ele alınmıştır. Elde edilen değerlendirmeler, renk kararlarının hiçbir zaman örgü, iplik veya sıklık parametrelerinden bağımsız olarak düşünülemeyeceğini göstermektedir.

Renk tasarımı, yalnızca görsel bir uyumun kurulmasından ibaret değildir; aynı zamanda optik, yapısal ve psikolojik boyutların kesiştiği dinamik bir denge sistemidir. Kumaş yüzeyinde renk algısı, ışığın iplikler arasındaki yolculuğuna, ipliğin büküm yönüne, örgü tipinin yüzey geometrisine ve desenin tekrar biçimine bağlı olarak sürekli değişkenlik gösterir. Bu durum, tasarımcının yalnızca “görsel bir estetik” değil, yapısal bir estetik inşa etmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Başka bir deyişle, renk bir pigment değil, kumaşın yüzeyinde yaşayan bir “ışık dili”dir.

Gömleklik kumaşlarda renk planlaması, kullanıcı profili ve kullanım alanı ile doğrudan ilişkilidir. Renk seçimi, ürünün hedeflediği kimlik üzerinden değerlendirilmelidir. Klasik bir ofis kumaşında sakın ve nötr tonlar denge ve güven duygusu yaratırken, casual giyim kumaşlarında kontrastlı ve canlı renkler dinamizm ve özgürlük hissi uyandırır. Bu nedenle renk, yalnızca yüzeyin görünümünü değil, kumaşın kullanıcıya ilettiği duyguyu da belirleyen güçlü bir iletişim aracıdır. Böylece renk, görsel olduğu kadar psikolojik bir deneyim alanı da oluşturur.

Dokuma parametreleri açısından değerlendirildiğinde, renk–örgü–desen uyumu tasarımcının karar sürecinin merkezinde yer alır. Her bir yapısal değişken, diğer bileşenlerin etkisini yeniden tanımlar. Bu nedenle renk tasarımı, durağan değil dinamik bir sistem yaklaşımı olarak ele alınmalıdır. Tasarımcı, her yeni iplik, örgü veya sıklık kombinasyonunda yüzeyin optik davranışını yeniden yorumlar. Renk paletindeki küçük bir ton farkı, örgü tipinde veya sıklıkta denge değişikliğini gerektirebilir; bu da renk tasarımı deneysel, gözleme dayalı ve sürekli evrilen bir süreç haline getirir.

Sonuç olarak, ipliği boyalı gömleklik kumaşlarda renk tasarımı yalnızca pigmentlerin seçimiyle değil, dokuma yapısının kurgulama biçimiyle anlam kazanır. Renk, iplik, örgü ve desen parametreleri birlikte değerlendirildiğinde, kumaşın estetik kimliği ile teknik karakteri arasında dengeli bir bütünlük kurulur. Bu bütünlük, hem tasarımcının malzeme ile kurduğu bilinçli ilişkiyi hem de ürünün kullanıcı üzerindeki algısal etkisini güçlendirir. Tasarımcının bu süreçteki rolü, renk ve yapıyı birer araç olmaktan çıkarıp, onları kumaşın “ifade dili” haline getirmektir.

Bu çalışmayla önerilen yaklaşım, renk tasarımı yüzeyel bir estetik probleminden çıkararak dokuma yapısının merkezine yerleştirmektedir. Gelecek çalışmalarda, bu ilişkilerin dijital renk planlama yazılımları, dokuma simülasyon sistemleri ve yapay zekâ destekli tasarım algoritmalarıyla bütünleştirilmesi hem akademik hem de endüstriyel açıdan yeni açılımlar sunabilir. Böylece ipliği boyalı kumaş tasarımı, yalnızca üretimsel bir süreç değil, veriye dayalı, estetik temelli ve sürdürülebilir bir tasarım alanına dönüşebilir.

Kaynakça

- Aksoy, S., 2018. Dokuma kumaş tasarımlarında renk, doku ve desen ilişkileri üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.
- Başaran, F., Keşikci, N., 2020. Desen ve yüzey tasarımında renk örgü uyumu. *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, 30(2): 145–154.
- Başer, E., 2023. Dokuma Kumaş Tasarımı ve Teknolojisi. İstanbul: Beta Yayınları.
- Başer, G., 2023. Structural and aesthetic design of woven fabrics. *Tekstil ve Mühendis (Journal of Textiles and Engineer)*, 30(2): 45–58.

- Chevreur, M.E., 1839. The Principles of Harmony and Contrast of Colours. London: Henry G. Bohn.
- Choo, S., Kim, Y., 2003. Effect of colour on fashion fabric image. *Color Research and Application*, 28(3): 221–226.
- Color and Style, 2025. (<https://en.color-style.com/compatibility/>), (Erişim Tarihi: 01.10.2025).
- Dickinson, K., 2011. The use of colour in textile design. In R. Sinclair (Ed.), *Textiles and Fashion: Materials, Design and Technology*. Cambridge: Woodhead Publishing, pp. 171–187.
- Ellis, M., 1951. Colour Perception in Woven Textiles. Manchester: Textile Institute.
- Fairchild, M.D., 2013. Color Appearance Models (3rd ed.). Hoboken, NJ: Wiley–IS&T.
- Fletcher, K., Tham, M., 2019. Earth Logic: Fashion Action Research Plan. London: The J. J. Charitable Trust.
- Goswami, B.C., Martindale, J.G., Scardino, F.L., 2004. Textile Yarns: Technology, Structure and Applications. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Güzel, H., 2022. (<https://medium.com/technical-library/renk-teorisi-ve-tasar%C4%B1m-a0b86fa97eea>), (Erişim Tarihi: 01.10.2025).
- Halaçeli, H., 2015. Dokuma kumaş tasarımında yaratıcılık için bir yöntem önerisi. *Yedi Dergisi*, 13(14): 59–68.
- Hunt, R.W.G., Pointer, M.R., 2011. Measuring Colour (4th ed.). Chichester: Wiley.
- Igoe, E., 2021. Textile Design Theory in the Making. London: Bloomsbury Academic.
- Itten, J., 1970. The Elements of Color. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Kothari, V.K., 2008. Textile Design: Principles, Advances and Applications. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Laitala, K., Klepp, I.G., Henry, B., 2021. Functional and aesthetic requirements of shirt fabrics. *Clothing and Textiles Research Journal*, 39(4): 275–288.
- Mathur, K., Seyam, A.F.M., 2000. Color and weave relationship in woven fabrics. *Textile Research Journal*, 70(5): 405–412.
- Özgen Keleş, B., Yılmaz, E., 2019. Dokuma Teknolojileri ve Uygulamaları. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Uğurlu, H., 2018. Dokuma kumaşlarda renk, doku ve desen uygulamaları üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, Isparta.
- Warp and Weave, 2025. <https://warpandweave.com/color-mixing-handweaving-fundamentals-scale/>, (Erişim Tarihi: 01.10.2025).
- Watson, W., 2005. Textile Design and Colour (7th ed.). Manchester: Textile Institute.