

Artvin Çoruh Üniversitesi

Mühendislik ve
Fen Bilimleri Dergisi
Artvin Çoruh University
Journal of Engineering
and Sciences ACUJES

Artvin Çoruh University

Mühendislik ve
Fen Bilimleri Dergisi
Artvin Çoruh University
Journal of Engineering
and Sciences ACUJES

Cilt/Volume:3

Sayı/Issue:1

Yıl/Year:2025

Sahibi / Owner
Artvin Çoruh Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi Adına
Prof. Dr. Özgür EMİNAĞAOĞLU

Baş Editör / Editor in Chief
Prof.Dr. Ayla BİLGİN

Yardımcı Editör / Associate Editor
Dr. Öğr.Üyesi Haluk KELEŞ

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü / Managing Editor
Doç. Dr. Ömer KASAR

Alan Editörleri / Field Editors

Prof.Dr.Necmi ALTIN (Elektrik - Elektronik Mühendisliği, Gazi Üniversitesi, Türkiye)

Prof. Dr. Yaşar KOBYA (Fizik, Artvin Çoruh Üniversitesi, Türkiye)

Prof. Dr. Selim LATİF SANİN (Çevre Mühendisliği, Hacettepe Üniversitesi, Türkiye)

Prof. Dr. Ayla BİLGİN (Çevre Mühendisliği, Artvin Çoruh Üniversitesi, Türkiye)

Prof. Dr. Ayşe YAVUZ ÖZALP (Harita Mühendisliği, Artvin Çoruh Üniversitesi, Türkiye)

Prof.Dr.Murat MAYDA (Makine Mühendisliği, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Türkiye)

Prof.Dr.Nazish SHAHİD (Matematik, Forman Christian College, A Chartered University, Pakistan)

Prof Dr. Özgür EMİNAĞAOĞLU(Orman Mühendisliği, Artvin Çoruh Üniversitesi, Türkiye)

Prof Dr. Temel GÖKTÜRK (Orman Mühendisliği, Artvin Çoruh Üniversitesi, Türkiye)

Doç. Dr. Ömer KASAR (Elektrik - Elektronik Mühendisliği, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Türkiye)

Yayın Kurulu / Editorial Board

Prof.Dr. Bülent YILMAZ (Matematik, Marmara Üniversitesi, Türkiye)

Prof.Dr. Çetin KURNAZ (Elektrik - Elektronik Mühendisliği, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Türkiye)

Prof.Dr.Güleda ENGİN (Çevre Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye)

Prof.Dr.Hakan DİLİPAK (Elektrik - Elektronik Mühendisliği, Gazi Üniversitesi, Türkiye)

Prof.Dr.Halil AKINCI (Harita Mühendisliği Bölümü, Artvin Çoruh Üniversitesi, Türkiye)

Prof.Dr. Meriç ALBAY (Su Ürünleri Temel Bilimleri Bölümü, İstanbul Üniversitesi, Türkiye)

Yabancı Dil Editörü / Language Editor

Dr. Öğr. Üyesi Serkan BİÇİCİ

Mizanpaj/ Layout

Dr. Öğr.Üyesi. Ali KAYA

Dr. Öğr.Üyesi Haluk KELEŞ

Arş. Gör. Bekir BERKCAN

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

ARAŞTIRMA MAKALELERİ RESEARCH ARTICLES

Cabreúva-vermelha (<i>Myroxylon peruiferum</i> L.f.) Ahşabında Ağartma Uygulaması <i>Bleaching Application on Cabreúva-vermelha (Myroxylon peruiferum L.f.) Wood</i> Hüseyin Peker, Ümit Ayata, Göksel Ulay, Abdi Atılğan.....	1-15
Yukarı Kızılırmak Havzasında Hidrolojik Kuraklık Eğilimleri: SSP2 ve SSP5 Senaryolarının Karşılaştırılması <i>Hydrological Drought Trends in The Upper Kızılırmak Basin: A Comparison of SSP2 and SSP5 Scenarios</i> Sefa Furkan Selçuk, Meltem Sarioğlu Cebeci.....	16- 28
Elektrik Dağıtım İşlerinde Bulanık Mantık Yöntemiyle Risk Değerlendirmesi <i>Risk Assessment with Fuzzy Logic Method in Electricity Distribution Works</i> Muharrem Bilgen, İbrahim Sefa.....	29-47
Sibirya Çamı Odununda Renklendirme Amaçlı Pancar ile Narçiçeği Ekstraktlarının ve Arap Zamkının Kullanılması Üzerine Bir Çalışma <i>A Study on the Use of Beetroot and Pomegranate Flower Extracts along with Gum Arabic for Coloring Siberian Pine Wood</i> Hüseyin Peker, Göksel Ulay, Ümit Ayata, Abdi Atılğan.....	48-61

DERLEME MAKALELERİ REVIEW ARTICLES

Nehir Tipi HES Projelerinde Balık Geçitlerinin Önemi <i>Importance of Fish Passages in River Type HEPP Projects</i> Esin Acar.....	62 – 72
---	----------------

Araştırma Makalesi / Research Article

Cabreúva-vermelha (*Myroxylon peruiferum* L.f.) Ahşabında Ağartma Uygulaması

Hüseyin PEKER¹, Ümit AYATA²*, Göksel ULAY³, Abdi ATILGAN⁴

1 Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstrisi Mühendisliği Bölümü, Artvin, Türkiye

2 Bayburt Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Bayburt, Türkiye

3 Van Yüzüncüyıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, Mobilya Ve Dekorasyon Programı, Van, Türkiye

4 Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksekokulu, Afyon /Türkiye

peker100@artvin.edu.tr, umitayata@yandex.com, g.ulay@yyu.edu.tr, atilgan03@aku.edu.tr

Received/Geliş Tarihi: 24.11.2024

Accepted/Kabul Tarihi: 04.06.2025

Özet: Bu çalışmada, cabreúva-vermelha (*Myroxylon peruiferum* L.f.) ahşabında ağartma uygulaması yapılması sonrasında meydana gelen bazı yüzey özelliklerindeki (beyazlık indeksi: WT^* , parlaklık ve renk parametreleri) değişimleri incelenmiştir. Ağartma uygulamasında 2 farklı kimyasallar kullanılmıştır ($C_2H_2O_4$ ve $H_2O_2 + NaOH$). Ağartılmış ahşap yüzeyler ile ağartılmamış yüzeyler birbirleri ile kıyaslanmıştır. Bütün testler üzerinde varyans analizleri anlamlı olarak bulunmuştur. Her iki ağartma kimyasalı ile L^* , b^* ve h^o değerlerinde artışlar görülmüştür. C^* ve a^* değerlerinde ise $C_2H_2O_4$ ile artış ve $H_2O_2 + NaOH$ ile azalış elde edilmiştir. Ağartma uygulamaları ile 60 ve 85 derecelerde her iki yönde yapılan parlaklık değerlerinde azalışlar bulunmuştur. ΔE^* değerleri en yüksek $H_2O_2 + NaOH$ kimyasalı ile 10.00 olarak elde edilirken, $C_2H_2O_4$ kimyasalı ile 5.43 bulunmuştur. $H_2O_2 + NaOH$ kimyasalı, $C_2H_2O_4$ kimyasalından yüksek ΔE^* değeri vermiştir. ΔL^* , Δa^* , Δb^* ve ΔC^* değerleri $C_2H_2O_4$ kimyasalı ile pozitif olarak elde edilmiştir. $H_2O_2 + NaOH$ ile ΔL^* ve Δb^* değerleri pozitif bulunurken, Δa^* ve ΔC^* değerleri ise negatif olarak hesaplanmıştır. $H_2O_2 + NaOH$ ile WT^* değerleri her iki yöndeki ölçümlerde artış durumu sergilemiştir.

Anahtar Kelimeler: Cabreúva-vermelha, Renk, Ağartma, Parlaklık, Beyazlık indeksi

Bleaching Application on Cabreúva-vermelha (*Myroxylon peruiferum* L.f.) Wood

Abstract: In this study, changes in some surface properties (whiteness index: WT^* , glossiness, and color parameters) of cabreúva-vermelha (*Myroxylon peruiferum* L.f.) wood after bleaching treatment have been investigated. Two different chemicals were used in the bleaching treatment ($C_2H_2O_4$ and $H_2O_2 + NaOH$). Significant differences were detected in all variance analyses conducted across the entire range of tests. Increases in L^* , b^* , and h^o values were observed with both bleaching chemicals. For C^* and a^* values, an increase was achieved with $C_2H_2O_4$ while a decrease was obtained with $H_2O_2 + NaOH$. Decreases in glossiness evaluations conducted in both directions at 60 and 85 degrees were found with bleaching treatments. The ΔE^* values were found to be 10.00 in the samples exposed to the $H_2O_2 + NaOH$ chemical, while they were determined to be 5.43 in the $C_2H_2O_4$ chemical. The $H_2O_2 + NaOH$ chemical yielded a higher ΔE^* value compared to the $C_2H_2O_4$ chemical. The ΔL^* , Δa^* , Δb^* , and ΔC^* values were obtained positively with $C_2H_2O_4$. With $H_2O_2 + NaOH$, ΔL^* and Δb^* values were found to be positive, while Δa^* and ΔC^* values were calculated to be negative. With $H_2O_2 + NaOH$, WT^* values exhibited an increase in measurements conducted in both directions.

Keywords: Cabreúva-vermelha, Color, Bleaching, Glossiness, Whiteness index

1. Giriş

Doğal ve yenilenebilir bir kaynak olarak, ahşap genel olarak toksik olmayan, kolay erişilebilir ve ucuz bir biyokütle türüdür. İnsanlık, antik çağlardan beri ahşabı, içsel özelliklerine dayanarak

*: Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

kullanmıştır; yani belirli bir tür veya ağacın bir parçası, en iyi performansı elde etmek için kullanılmıştır (Sandberg vd., 2017). Santos (*Myroxylon balsamum* (L.) Harms) (Fabaceae familyası) büyük boyutlu, beyaz çiçekli, kanatlı ve aromatik meyvelere sahip bir ağaçtır (syn. *Myroxylon peruiferum* L.f.). Dağılımı geniştir ve Meksika'nın güneyinden Arjantin'in kuzeyine kadar yayılmıştır. Brezilya'da dağılımı ülkenin orman bölgesinde geniş bir alanı kapsar ve Bahia, Paraná ve Mato Grosso eyaletlerinde çok yaygındır. "Cabriuna" ve "cabriúna - vermelha" olarak bilinir (Rizzini ve Mors, 1995; Mathias vd., 2000). Costa Rica'da, bu ağacın yaygın adı chirracó veya chirraca olarak bilinir (Aguilar-Sandí, 2019; 2020); bu ad aynı zamanda *M. Balsamum*'un da aldığı isimdir, bu da türün diğer bir temsilcisi olup bálsamo veya sándalo olarak da bilinir (Fournier ve García, 1998; León ve Poveda, 1999; Aguilar-Sandí, 2020). Atlantik Ormanı sıcak noktasının yarı yaprak dökken ormanlarında yaygın olarak bulunur. Bu dökülen yapraklı ağaç, yoğun birincil orman içinde ve ikincil ormanlarda da bulunabilir. Tohumlarının dağılım sendromu rüzgarla taşınan (anemokorik) tohumlardır ve tozlaşma anemofili yoluyla gerçekleşir (Yamamoto vd., 2007; Schwarcz vd., 2014).

Yapraklar sırayla dizilmiş olup iki, üç, dört ve bazen beş çift neredeyse karşılıklı olan yaprakçıktan oluşur. Bunlar oval lanset şeklinde, ucu uzun ama biraz sivri ve yuvarlatılmış, bütün, pürüzsüz ve parlaktır, alt yüzeyleri tüylüdür ve birçok saydam noktayla işaretlenmiştir. Kısa saplara yerleştirilmişlerdir. Birçok yaprak beş, altı veya dokuz yapraktan oluşan bir biçimde sonlanır. Ortak saplar oldukça kalın ve tüylüdür (Wood ve Bache, 1833). Bu ağaç, Brezilya'ya özgü yerli bir tür olup, endemik olmamakla birlikte Kuzeydoğu (Bahia, Ceará, Paraíba), Orta Batı (Federal Bölge, Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso), Güneydoğu (Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo) ve Güney (Paraná) bölgelerinde, Cerrado ve Atlantik Ormanları biyomlarında doğrulanmış bir coğrafi dağılıma sahiptir (Sartori vd., 2015).

Gri renkli, lentisel içeren kabukları, dökülen estipülleri, sıralı, tek sayılı tüy yaprakları, sayıları artan, yarı şeffaf noktalı ve çizgili yaprakçıkları, salkımsı çiçek durumları, zygomorfik çiçekleri, samaroid meyveleri ve böbrek şeklinde tohumları vardır (Zamora vd, 2010; Sartori vd., 2015; Aguilar-Sandí, 2019). Bu ağaç türü yaklaşık 10 ila 20 metre yüksekliğinde yaprak dökken bir bitki, heliophyte'dir (Lorenzi ve Matos, 2008). Bu ağaç türü, büyük ölçüde türün genetik çeşitliliğini tehlikeye atan ve yok olmaya karşı savunmasızlığını artıran kereste kullanımının neden olduğu popülasyon boyutunda önemli bir azalma yaşadı (Mamede vd., 2007). Bu tür, Atlantik Ormanı boyunca, özellikle tehdit altındaki türlere odaklanarak, bozulmuş alanlarda yüksek düzeyde bitki taksonomik çeşitliliğini geri kazanmayı amaçlayan restorasyon programlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Brancalion vd., 2012).

Ahşapları, çürümeye karşı yüksek direnci nedeniyle mobilyalar, kaplamalar ve sivil yapılar için uygundur (Lorenzi, 1998). Ahşabında shore D sertlik değeri 77.20 HD (Esteves vd., 2021), selüloz %41.10, hemiselüloz %30.10, lignin %28.40 (Horst vd., 2013), eğilme direnci 32.87 N/mm², elastikiyet modülü 11671.42 N/mm², liflere paralel yönde basınç direnci 45.71 N/mm² (Pushpakumara vd., 2023) olarak bulunmuştur.

Meyvelerin toz halinde hazırlanan bir pomadı, kabuklarla birlikte içinde baş ağrılarını azaltmak için bir katı olarak uygulanır. Ezilmiş taze yaprakların da yeni yaraları iyileştirdiği bildirilmiştir (Pabst, 1980). Ezilmiş meyveler astım tedavisi için inhalan olarak kullanılır. Kabuk kazınır ve kaynatılır, ardından su soğuk algnılığı ve ishal için bir çare olarak içilir. Meyveler bir kolyeye dizilir ve boyun etrafına takılır, böylece kokularını solunum sistemini temizlemek için burundan çekerek soğuk algnılığı tedavisi olarak kullanılır (DeFilippis vd., 2004).

Bu çalışmada, cabreúva-vermelha ahşabında ağartma uygulaması yapılması sonrasında meydana gelen yüzey değişimleri incelenmiştir. Bu çalışma, cabreúva-vermelha ahşabında uygulanan ağartma

işleminin yüzey özellikleri üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla yapılmıştır. Ahşap malzemelerde estetik görünümü iyileştirmek, renk homojenliği sağlamak ve yüzeydeki kusurları gidermek amacıyla yaygın olarak kullanılan ağartma işlemleri, farklı ağaç türlerinde farklı sonuçlar verebilmektedir. Ancak literatürde, özellikle Güney Amerika kökenli ve yüksek yoğunluklu bir tropik tür olan cabreúva-vermelha üzerine yapılmış ağartma işlemi sonrası yüzey değişimlerine dair çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu durum, söz konusu türün işlenebilirliği, nihai ürün kalitesi ve endüstriyel kullanım potansiyeli hakkında yeterli bilgiye ulaşılamamasına neden olmaktadır. Bu eksiklikten yola çıkılarak hazırlanan çalışma, hem bilimsel literatüre katkı sağlamayı hem de cabreúva-vermelha'nın endüstriyel kullanımı öncesinde uygulanabilecek kimyasal işlemlerin etkilerini ortaya koyarak ahşap işleme süreçlerine rehberlik etmeyi amaçlamaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

2.1.1. Ahşap Malzeme

Özel bir kereste satıcısından satın alınarak elde edilen cabreúva-vermelha (*Myroxylon peruiferum* L.f.) ahşabına ait deney malzemeleri 100 mm x 100 mm x 15 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Numuneler üzerinde iklimlendirme uygulamaları yapılmıştır (20±2°C ile %65 bağıl nem) (ISO 554, 1976).

2.1.2. Ağartma Kimyasalları

Araştırmada, oksalik asit [(C₂H₂O₄): sıvı, renksiz, kokusuz, pH değeri 2.0±0.5] ile hidrojen peroksit [(H₂O₂): A bileşeni] ve sodyum hidroksit [(NaOH): B bileşeni, 2:1 oranı, pH değeri 7, sıvı, kokusuz, renksiz, çözünür, seyreltici maddesi su] kimyasalları kullanılmıştır.

2.2. Metot

2.2.1. Ağartma Uygulanmasının Yapılması

Bir sünger yardımıyla bu kimyasallar ahşap malzeme yüzeylerine tek kat olarak uygulanmıştır.

2.2.3. Renk Özelliklerinin Belirlenmesi

CS-10 (CHN Spec, Çin) cihazı kullanılarak [CIE 10° standart gözlemci; CIE D65 ışık kaynağı, aydınlatma sistemi: 8/d (8°/dağınık aydınlatma)] renk parametreleri belirlenmiştir (ASTM D 2244-3, 2007).

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0.5} \quad (1)$$

$$h^\circ = \arctan (b^*/a^*) \quad (2)$$

$$\Delta C^* = (C^*_{\text{ağartma işlemi görmüş ahşap malzeme}} - C^*_{\text{ağartma işlemi görmemiş ahşap malzeme}}) \quad (3)$$

$$\Delta a^* = (a^*_{\text{ağartma işlemi görmüş ahşap malzeme}} - a^*_{\text{ağartma işlemi görmemiş ahşap malzeme}}) \quad (4)$$

$$\Delta L^* = (L^*_{\text{ağartma işlemi görmüş ahşap malzeme}} - L^*_{\text{ağartma işlemi görmemiş ahşap malzeme}}) \quad (5)$$

$$\Delta b^* = (b^*_{\text{ağartma işlemi görmüş ahşap malzeme}} - b^*_{\text{ağartma işlemi görmemiş ahşap malzeme}}) \quad (6)$$

$$\Delta H^* = [(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2]^{0.5} \quad (7)$$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{0.5} \quad (8)$$

ΔC^* : kroma kısmı veya doygunluk farkı ve ΔH^* : ton bölümü veya gölge farkı olarak tanımlanmıştır (Lange, 1999).

Tablo 1. ΔL^* , Δa^* , Δb^* ve ΔC^* değerlerine ait bazı önemli bilgiler (Lange, 1999)

Negatif durumda	Parametre	Pozitif durumda
Referanstan daha koyu	$\blacktriangleleft \Delta L^* \blacktriangleright$	Referanstan daha açık
Referanstan daha yeşil	$\blacktriangleleft \Delta a^* \blacktriangleright$	Referanstan daha kırmızı
Referanstan daha mavi	$\blacktriangleleft \Delta b^* \blacktriangleright$	Referanstan daha sarı
Mat, referanstan daha bulanık	$\blacktriangleleft \Delta C^* \blacktriangleright$	Referanstan daha net, daha parlak

Tablo 2. DIN 5033, (1979) standardına göre ΔE^* için kıyaslama kriterleri

Toplam renk farkı (ΔE^*)	Görsel renk puanı farkı	Toplam renk farkı (ΔE^*)	Görsel renk puanı farkı
<0.20	Algılanamaz	3.00 ila 6.00	Çok belirgin
0.20 ila 0.50	Çok zayıf	6.00 ila 12.00	Güçlü
0.50 ila 1.50	Zayıf	> 12.00	Çok güçlü
1.50 ila 3.00	Belirgin		

Aşağıdaki formüllerle toplam renk farklılıkları hesaplanmıştır.

2.2.3. Beyazlık İndeksi Özelliklerinin Belirlenmesi

Whiteness Meter BDY-1 cihazının kullanılması beyazlık indeksi (WI^*) değerleri belirlenmiştir (ASTM E313-15e1, 2015).

2.2.4. Parlaklık Özelliklerinin Belirlenmesi

Parlaklık testleri, ETB-0833 model gloss meter cihazında üç farklı açıda olacak şekilde (20° , 60° ve 85°) liflere dik ($\perp$) ve paralel ($\parallel$) yönlerde yapılmıştır (ISO 2813, 1994).

2.3. İstatistiksel Analiz

Elde edilmiş olan veriler bir SPSS programında değerlendirilmiştir. Ayrıca yüzde (%) değişim oranları, en küçük ve en büyük değerler, standart sapmaları ve çok değişkenli varyans analizleri yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Renk parametrelerine, parlaklık değerlerine ve beyazlık indeksi (WI^*) değerlerine ait varyans analizi sonuçları Tablo 3’de verilmiştir. Tablodaki varyans analizi sonuçları, kullanılan ağartma kimyasalı türünün cabreúva-vermelha ahşabının yüzey özellikleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiler yarattığını göstermektedir. Işıklılık (L^*), kırmızı (a^*) ve sarı (b^*) renk tonları, kroma (C^*) ve ton (h°) açısı gibi renk parametrelerinde yapılan testlerin tamamında kimyasal türünün etkisi yüksek F değerleriyle anlamlı bulunmuştur. Bu durum, ağartma kimyasallarının ahşabın renk parlaklığı ve tonunda belirgin değişikliklere yol açtığını ortaya koymaktadır (Tablo 3). Ayrıca, farklı açılarda yapılan parlaklık ölçümlerinde ($\perp$ ve $\parallel$ yönlerinde 20° , 60° ve 85°) de kimyasal türünün etkisi anlamlı bulunmuş, özellikle 60° ve 85° açılarında parlaklık değerlerindeki değişimin daha belirgin olduğu görülmüştür. Beyazlık indeksi (WI^*) ölçümleri de her iki yönde kimyasal türünden önemli derecede etkilenmiş, bu da ağartma işleminin yüzey beyazlığını ciddi biçimde değiştirdiğine işaret etmektedir. Genel olarak, düşük hata kare ortalamaları ve yüksek F değerleri, ağartma kimyasallarının ahşabın optik özellikleri üzerindeki etkisinin güvenilir ve belirgin olduğunu göstermektedir (Tablo 3).

Tablo 3. Varyans analizi sonuçları (*: anlamlı)

Test	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0.05$
Işıklılık (L^*)	394.403	2	197.201	183.699	0.000*
Kırmızı (a^*) renk tonu	259.469	2	129.735	361.956	0.000*
Sarı (b^*) renk tonu	142.154	2	71.077	260.374	0.000*
Kroma (C^*)	191.600	2	95.800	282.892	0.000*
Ton (h°) açısı	1649.840	2	824.920	391.846	0.000*
$\perp 20^\circ$ 'de parlaklık	0.021	2	0.010	8.455	0.001*
$\perp 60^\circ$ 'de parlaklık	2.114	2	1.057	202.404	0.000*
$\perp 85^\circ$ 'de parlaklık	0.043	2	0.021	4.235	0.025*
$\parallel 20^\circ$ 'de parlaklık	0.013	2	0.006	4.171	0.026*
$\parallel 60^\circ$ 'de parlaklık	4.589	2	2.294	109.641	0.000*
$\parallel 85^\circ$ 'de parlaklık	2.691	2	1.345	252.250	0.000*
Beyazlık indeksi ($\perp$)	413.139	2	206.569	435.052	0.000*
Beyazlık indeksi ($\parallel$)	549.374	2	274.687	1423.795	0.000*

Renk parametrelerine ait ölçüm sonuçları Tablo 4'de ve bu sonuçlara ait grafiksel gösterimi Şekil 1'de gösterilmiştir. L^* değeri için her iki uygulama ile artışlar görülmüş olsa da, en düşük artış %0.38 ile $C_2H_2O_4$ kimyasalında bulunurken, en yüksek artış NaOH + H_2O_2 uygulanmış deney örneklerinde %16.38 olarak tespit edilmiştir. L^* değeri için $C_2H_2O_4$ kimyasalında ahşabın yüzeyinde çok az bir değiştirici etkiye bulunmuştur. En düşük L^* değeri kontrol deney grubu örneklerinde (47.50) tespit edilirken, en yüksek sonuç H_2O_2 + NaOH kimyasalında (55.28) belirlenmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. Renk parametrelerine ait ölçüm sonuçları

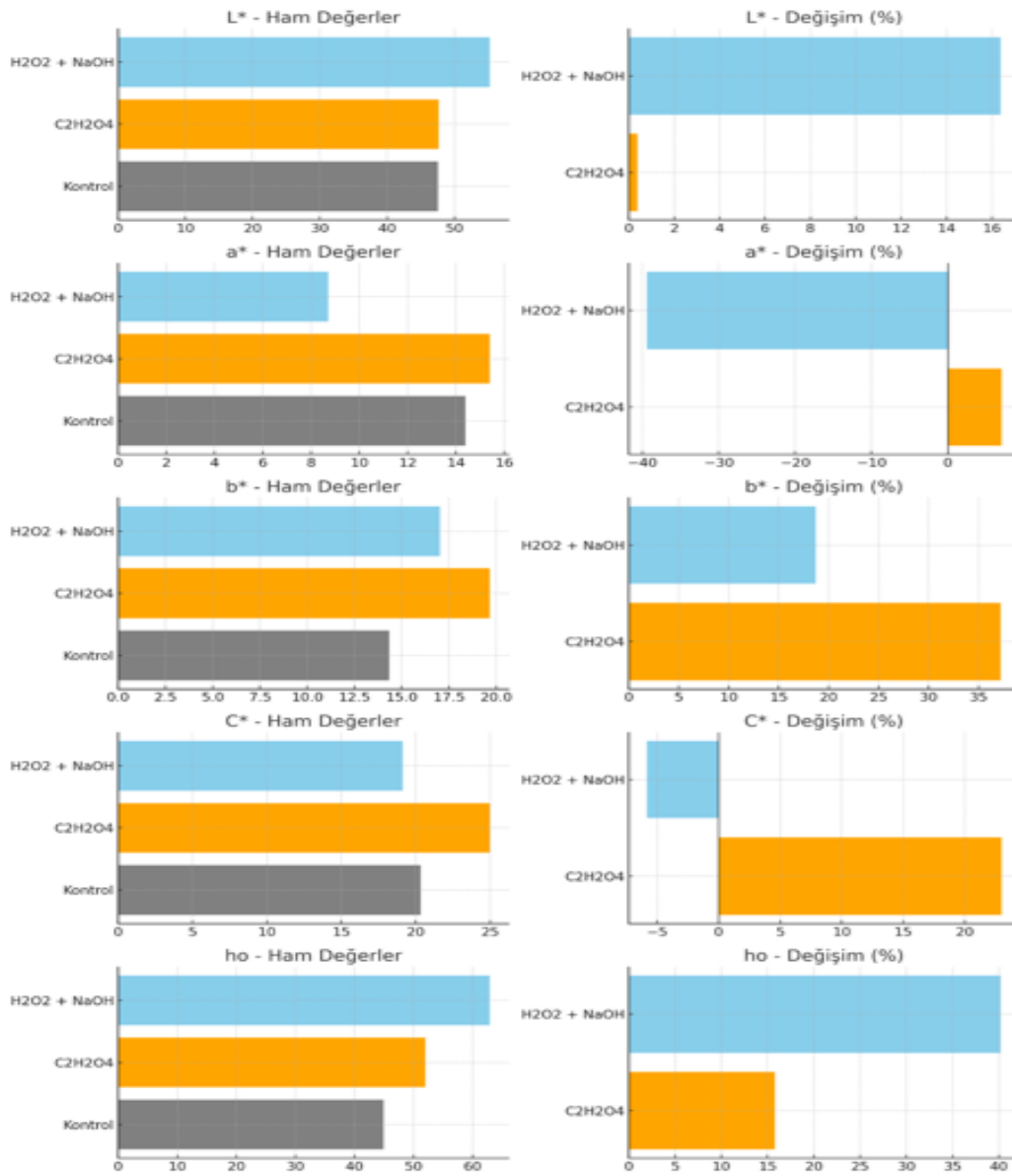
Test	Ağartma Kimyasalı Türü	Ortalama	Değişim (%)	Homojenlik Grubu	Standart Sapma	Minimum	Maksimum	Varyasyon Katsayısı
L^*	Kontrol	47.50	-	B**	0.49	46.90	48.49	1.04
	$C_2H_2O_4$	47.68	↑0.38	B	1.52	44.14	49.34	3.18
	H_2O_2 + NaOH	55.28	↑16.38	A*	0.82	53.87	56.27	1.49
a^*	Kontrol	14.39	-	B	0.32	13.99	15.04	2.23
	$C_2H_2O_4$	15.40	↑7.02	A*	0.70	14.17	16.48	4.52
	H_2O_2 + NaOH	8.71	↓39.47	C**	0.70	7.59	9.58	8.01
b^*	Kontrol	14.33	-	C**	0.46	13.77	15.11	3.21
	$C_2H_2O_4$	19.66	↑37.19	A*	0.64	18.28	20.46	3.26
	H_2O_2 + NaOH	17.01	↑18.70	B	0.44	16.20	17.66	2.61
C^*	Kontrol	20.31	-	B	0.44	19.79	21.12	2.16
	$C_2H_2O_4$	24.98	↑22.99	A*	0.71	24.05	26.13	2.85
	H_2O_2 + NaOH	19.12	↓5.86	C**	0.56	18.01	19.77	2.94
h°	Kontrol	44.87	-	C**	0.98	43.12	46.51	2.19
	$C_2H_2O_4$	51.94	↑15.76	B	1.44	48.64	53.90	2.77
	H_2O_2 + NaOH	62.90	↑40.18	A*	1.81	60.67	66.56	2.88
Ölçüm Sayısı: 10, Homojenlik Grubu sütunu için *: En yüksek, **: En düşük değer								

a^* değerinde, $C_2H_2O_4$ kimyasalı ahşap malzeme yüzeylerinde %7.02 oranında artış olmasına sebep olurken, H_2O_2 + NaOH uygulanmış deney örneklerinde %39.47 oranında azalışın elde edilmesine neden olmuştur. a^* için en yüksek sonuç kontrol deney örneklerinde (14.39) elde edilirken, en düşük sonuç NaOH + H_2O_2 kimyasalı uygulanmış deney örneklerinde (8.71) bulunmuştur (Tablo 4).

b^* parametresinde ise, her iki uygulama ile artışlar görülmüş olsa da, en düşük artış %18.70 oranıyla H_2O_2 + NaOH ağartıcısında elde edilirken, en yüksek artış $C_2H_2O_4$ kimyasalı uygulanmış deney örneklerinde %37.19 olarak bulunmuştur. b^* için en düşük sonuç kontrol deney örneklerinde (14.33) tespit edilirken, en yüksek sonuç $C_2H_2O_4$ kimyasalı uygulanmış deney örneklerinde (19.66) belirlemiştir (Tablo 4).

C^* değeri en düşük sonuç $H_2O_2 + NaOH$ ağartıcısı uygulanmış örneklerde (19.12) elde edilirken, en yüksek sonuç $C_2H_2O_4$ kimyasalı uygulanmış örneklerde (24.98) görülmüştür. C^* değerinde $C_2H_2O_4$ kimyasalı ahşap malzeme yüzeylerinde %22.99 oranında artış vermesine neden olurken, $H_2O_2 + NaOH$ uygulanmış örneklerde %5.86 oranında azalışın görülmesine sebep olmuştur (Tablo 4).

h^o değerine bakıldığında her iki uygulama ile artışlar belirlenmiştir. h^o değeri en düşük sonuç kontrol deney grubu örneklerinde (44.87) görülürken, en yüksek sonuç $H_2O_2 + NaOH$ ağartıcı kimyasalı uygulanmış örneklerde (62.90) bulunmuştur. h^o için en düşük artış %15.76 ile $C_2H_2O_4$ kimyasalında belirlenirken, en yüksek artış $H_2O_2 + NaOH$ uygulanmış deney örneklerinde %40.18 olarak elde edilmiştir (Tablo 4).



Şekil 1. Renk parametrelerine ait ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterim

Parlaklık değerlerine ait ölçüm sonuçları Tablo 5’de ve bu sonuçlara ait grafiksel gösterimi Şekil 2’de sunulmaktadır.

Liflere dik ($\perp$) yönde 20° 'de parlaklık değerlerine bakıldığında uygulamaların her ikisi ile artışlar elde edilmiştir. En düşük sonuç kontrol deney grubu örneklerinde (0.10) görülürken, en yüksek sonuç $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{NaOH}$ ağartıcı kimyasalı uygulanmış örneklerde (0.16) bulunmuştur. En düşük artış %15.76 ile $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ kimyasalında %10.00 olarak belirlenirken, en yüksek artış $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{NaOH}$ uygulanmış deney örneklerinde %60.00 olarak elde edilmiştir (Tablo 5).

Tablo 5. Parlaklık değerlerine ait ölçüm sonuçları

Test	Ağartma Kimyasalı Türü	Ortalama	Değişim (%)	Homojenlik Grubu	Standart Sapma	Minimum	Maksimum	Varyasyon Katsayısı
$\perp 20^\circ$	Kontrol	0.10	-	B**	0.00	0.10	0.10	0.00
	$\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$	0.11	$\uparrow 10.00$	B	0.03	0.10	0.20	28.75
	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{NaOH}$	0.16	$\uparrow 60.00$	A*	0.05	0.10	0.20	32.27
$\perp 60^\circ$	Kontrol	1.18	-	A*	0.10	1.00	1.30	8.75
	$\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$	0.53	$\downarrow 55.08$	C**	0.05	0.50	0.60	9.11
	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{NaOH}$	0.84	$\downarrow 28.81$	B	0.05	0.80	0.90	6.15
$\perp 85^\circ$	Kontrol	0.18	-	A*	0.12	0.10	0.40	68.29
	$\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$	0.10	$\downarrow 44.44$	B**	0.00	0.10	0.10	0.00
	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{NaOH}$	0.10	$\downarrow 44.44$	B**	0.00	0.10	0.10	0.00
$\parallel 20^\circ$	Kontrol	0.12	-	AB	0.04	0.10	0.20	35.14
	$\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$	0.10	$\downarrow 16.67$	B**	0.00	0.10	0.10	0.00
	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{NaOH}$	0.15	$\uparrow 25.00$	A*	0.05	0.10	0.20	35.14
$\parallel 60^\circ$	Kontrol	1.60	-	A*	0.24	1.40	2.00	15.02
	$\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$	0.66	$\downarrow 58.75$	C**	0.05	0.60	0.70	7.82
	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{NaOH}$	0.97	$\downarrow 39.38$	B	0.05	0.90	1.00	4.98
$\parallel 85^\circ$	Kontrol	0.80	-	A*	0.00	0.80	0.80	0.00
	$\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$	0.26	$\downarrow 67.50$	B	0.13	0.10	0.40	48.65
	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{NaOH}$	0.10	$\downarrow 87.50$	C**	0.00	0.10	0.10	0.00
Ölçüm Sayısı: 10, Homojenlik Grubu sütunu için *: En yüksek, **: En düşük değer								

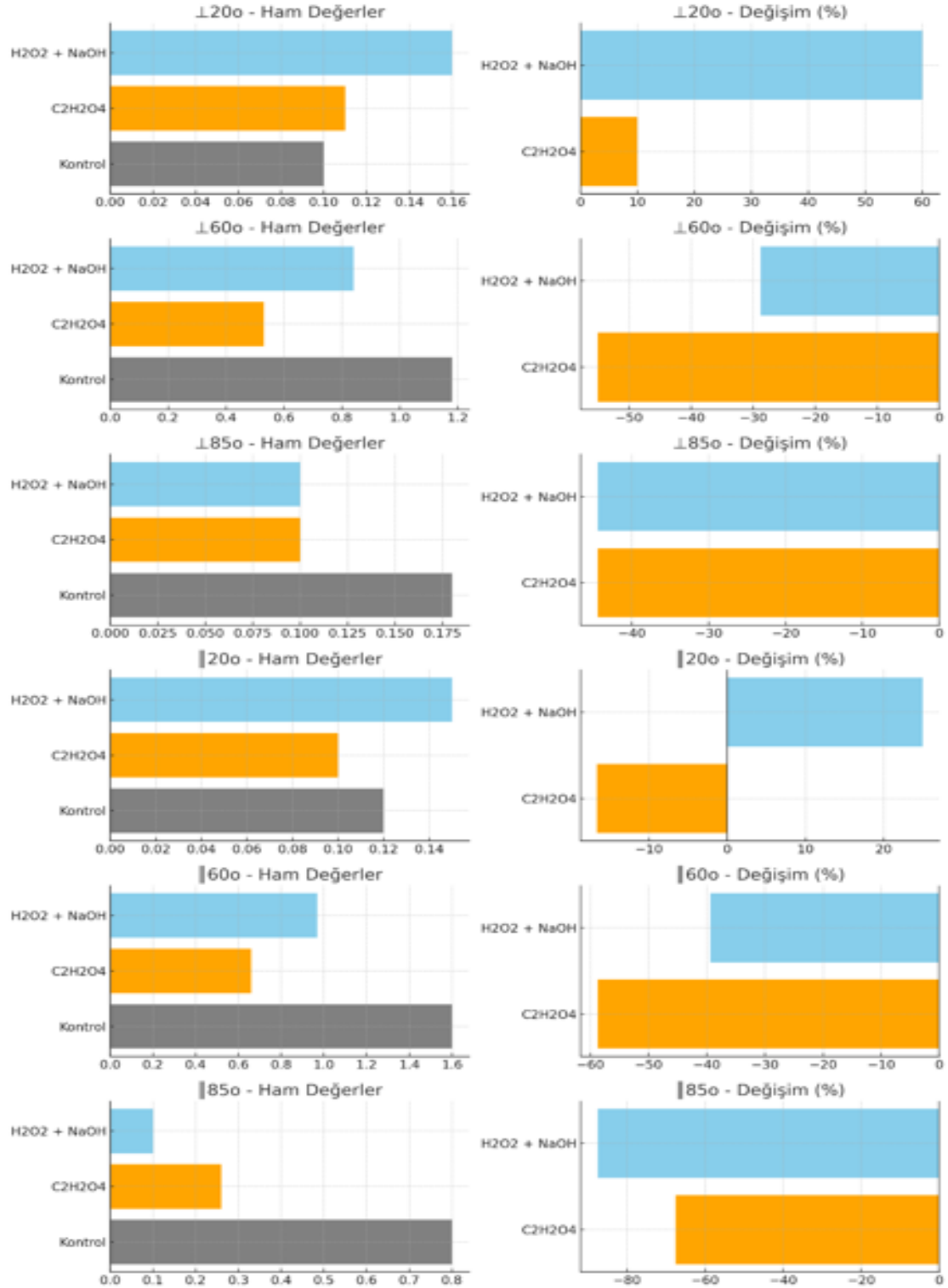
Liflere dik ($\perp$) yönde 60° 'de parlaklık değerlerinde, her iki uygulamalarla azalışlar tespit edilmiştir. $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ kimyasalı ahşap malzeme yüzeylerinde %55.08 oranında ve $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{NaOH}$ uygulanmış deney örneklerinde %28.81 oranında azalışların elde edilmesine neden olmuştur. En yüksek sonuç kontrol deney örneklerinde (1.18) elde edilirken, en düşük sonuç $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ kimyasalı uygulanmış deney örneklerinde (0.53) bulunmuştur (Tablo 5).

Liflere dik ($\perp$) yönde 85° 'de parlaklık değerleri için her iki uygulama ile azalışlar görülmüştür. Her iki kimyasala ağartıcılarında eşit oranda elde edilen azalış sonuçları %44.44 olarak belirlenmiştir. En yüksek değer kontrol deney grubu örneklerinde (0.18) tespit edilirken, en düşük her ki ağartma kimyasalında (0.10) belirlenmiştir (Tablo 5).

Liflere paralel ($\parallel$) yönde 20° 'de parlaklık değerlerinde en yüksek sonuç $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{NaOH}$ ağartıcısı uygulanmış örneklerde (0.15) elde edilirken, en düşük sonuç $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ kimyasalı uygulanmış örneklerde (0.10) görülmüştür. $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ kimyasalı ahşap malzeme yüzeylerinde %16.67 oranında azalış vermesine neden olurken, $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{NaOH}$ uygulanmış örneklerde %25.00 oranında artışın görülmesine sebep olmuştur (Tablo 5).

Liflere paralel ($\parallel$) yönde 60° 'de parlaklık değerleri için her iki kimyasalda da azalışlar tespit edilmiştir. $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ kimyasalı ahşap malzeme yüzeylerinde %58.75 oranında ve $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{NaOH}$ uygulanmış deney örneklerinde %39.38 oranında azalışların elde edilmesine neden olmuştur. En yüksek sonuç kontrol deney örneklerinde (1.60) elde edilirken, en düşük sonuç $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ kimyasalı uygulanmış deney örneklerinde (0.66) bulunmuştur (Tablo 5).

Liflere paralel (||) yönde 85°'de parlaklık değerlerinde ise her iki uygulama ile azalışlar belirlenmiştir. En yüksek sonuç kontrol deney örneklerinde (0.80) tespit edilirken, en düşük sonuç $H_2O_2 + NaOH$ kimyasalı uygulanmış deney örneklerinde (0.10) belirlemiştir. En yüksek azalış %87.50 ile $NaOH + H_2O_2$ ağartıcısında elde edilirken, en düşük azalış $C_2H_2O_4$ kimyasalı uygulanmış deney örneklerinde %67.50 olarak bulunmuştur (Tablo 5).



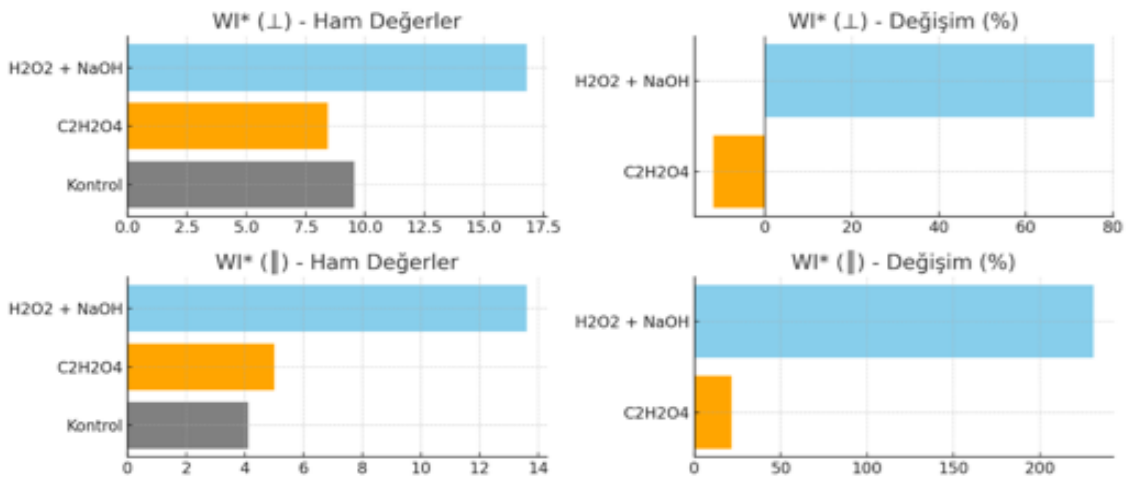
Şekil 2. Parlaklık değerlerine ait ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi

Beyazlık indeksi (WI^*) değerlerine ait ölçüm sonuçları Tablo 6’da ve bu sonuçlara ait grafiksel gösterimi Şekil 3’de verilmiştir.

Tablo 6. Beyazlık indeksi (WI^*) değerlerine ait ölçüm sonuçları

Test	Ağartma Kimyasalı Türü	Ortalama	Değişim (%)	Homojenlik Grubu	Standart Sapma	Minimum	Maksimum	Varyasyon Katsayısı
WI^* ($\perp$)	Kontrol	9.56	-	B	1.15	8.60	11.20	12.00
	$C_2H_2O_4$	8.42	↓11.92	C**	0.08	8.30	8.50	0.94
	$H_2O_2 + NaOH$	16.80	↑75.73	A*	0.32	16.40	17.20	1.90
WI^* ($\parallel$)	Kontrol	4.11	-	C**	0.37	3.70	4.50	9.06
	$C_2H_2O_4$	5.00	↑21.65	B	0.30	4.70	5.50	5.96
	$H_2O_2 + NaOH$	13.60	↑230.90	A*	0.59	12.50	14.00	4.36

Ölçüm Sayısı: 10, Homojenlik Grubu sütunu için *: En yüksek, **: En düşük değer



Şekil 3. Beyazlık indeksi (WI^*) değerlerine ait ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi

Liflere paralel ($\parallel$) ve dik ($\perp$) yönlerde yapılmış olan beyazlık indeksi (WI^*) ölçümlerinde $H_2O_2 + NaOH$ uygulanmış örneklerde sırasıyla %75.73 ve %230.90 oranlarında artış verdiği görülmüştür. $C_2H_2O_4$ kimyasalı uygulanmış örneklerde ise liflere dik ($\perp$) yönde %11.92 oranında azalış görülürken, liflere paralel ($\parallel$) yönde ise %21.65 oranında artış elde edilmiştir (Tablo 6).

Liflere dik ($\perp$) yönde WI^* değeri en yüksek $H_2O_2 + NaOH$ kimyasalında (16.80) belirlenirken, en düşük $C_2H_2O_4$ kimyasalında (8.42) elde edilmiştir. Liflere paralel ($\parallel$) yönlerdeki WI^* değeri ise en düşük kontrol deney örneklerinde (4.11) bulunurken, en yüksek $H_2O_2 + NaOH$ kimyasalına maruz kalmış örnekler üzerinde (13.60) görülmüştür. Ayrıca, liflere dik ölçümler, liflere paralel ölçümlerden yüksek elde edilmiştir (Tablo 6).

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile ağartma işlemleri üzerine yapılan çeşitli araştırma sonuçlarının kıyaslanması Tablo 7’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre ahşap malzemelere (ağacın türüne göre farklılık) uygulanan farklı ağartıcı kimyasalları ile uygulama sonunda renk parametrelerinin değiştiği (artış veya azalış) görülmektedir.

Uygulama esnasında ahşabın rengine katkıda bulunan lignin gruplarının bir parçası olan kinonlar oksitlenerek renksiz yapılara dönüşmektedir. Lignindeki konjuge çift bağ yapıları ve koniferil aldehit grupları parçalanır (Lindholm vd., 2009).

Tablo 7. Ağartma işlemleri üzerine yapılan çeşitli araştırmalara ait kıyaslamalar

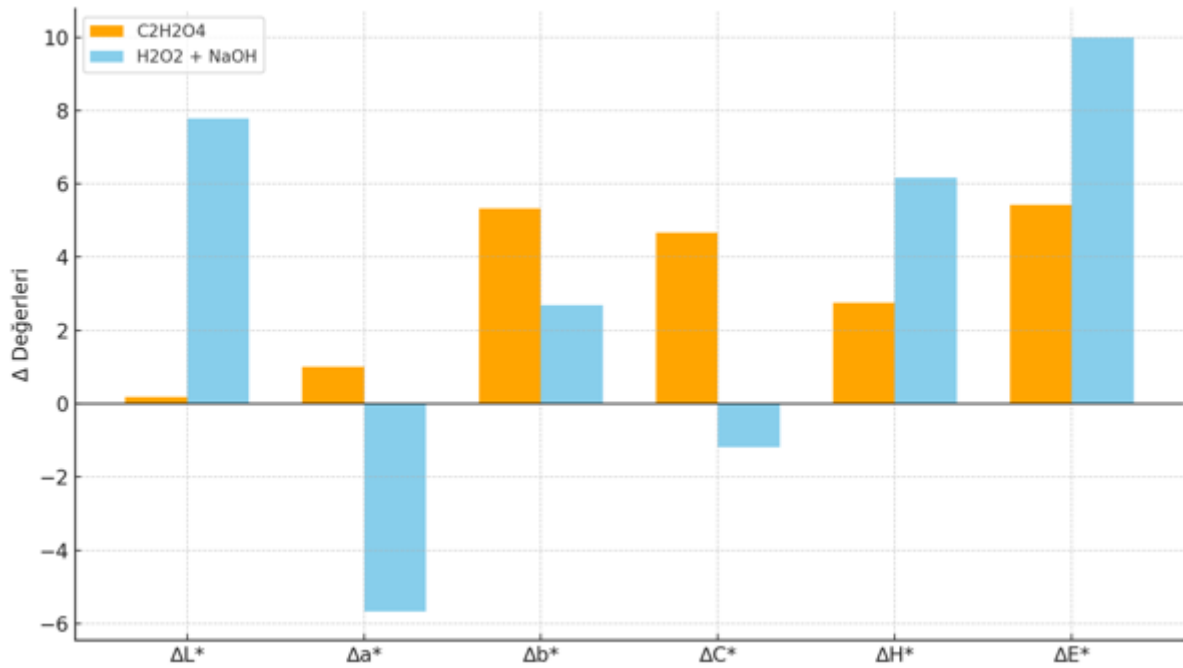
Ağaç Türü	Ağartma Maddesi	Uygulama Sonrası Değişim					Kaynaklar
		L^*	a^*	b^*	C^*	h^o	
Cabreúva-vermelha	$C_2H_2O_4$	↑	↑	↑	↑	↑	Bu çalışma
	$H_2O_2 + NaOH$	↑	↓	↑	↓	↑	
Cocobolo	$C_2H_2O_4$	↓	↓	↓	↓	↓	Çamlıbel ve Ayata, (2024)
	$H_2O_2 + NaOH$	↑	↓	↑	↑	↑	
Bulletwood	$C_2H_2O_4$	↑	↑	↑	↑	↓	Peker vd., (2023a)
	$H_2O_2 + NaOH$	↑	↓	↑	↑	↑	
Movingui	$C_2H_2O_4$	↑	↑	↑	↑	↑	Peker vd., (2023b)
	$H_2O_2 + NaOH$	↑	↓	↑	↑	↑	
Satinwood ceylon	$C_2H_2O_4$	↓	↓	↑	↓	↑	Ayata ve Çamlıbel, (2023)
	$H_2O_2 + NaOH$	↑	↓	↓	↓	↑	
Ilomba	$C_2H_2O_4$	↑	↑	↑	↑	↑	Ayata ve Bal, (2023)
	$H_2O_2 + NaOH$	↑	↓	↓	↓	↑	
Olon	$C_2H_2O_4$	↑	↑	↑	↑	↑	Peker ve Ayata, (2023)
	$H_2O_2 + NaOH$	↑	↓	↓	↓	↑	
Canelo	$C_2H_2O_4$	↑	↑	↑	↑	↑	Peker, (2023a)
	$H_2O_2 + NaOH$	↑	↑	↑	↑	↑	
Lotofa	$C_2H_2O_4$	↑	↓	↑	↑	↑	Peker, (2023b)
	$H_2O_2 + NaOH$	↑	↓	↓	↓	↑	
Yalancı akasya	$C_2H_2O_4$	↑	↓	↑	↓	↑	Peker ve Ulusoy, (2023)
	$H_2O_2 + NaOH$	↑	↓	↓	↓	↓	
İhlamur	$C_2H_2O_4$	↓	↑	↑	↑	↓	Çamlıbel ve Ayata, (2023a)
	$H_2O_2 + NaOH$	↑	↓	↓	↓	↑	
Ekop	$C_2H_2O_4$	↓	↑	↑	↑	↑	Çamlıbel ve Ayata, (2023b)
	$H_2O_2 + NaOH$	↑	↓	↑	↑	↑	
İzombé	$C_2H_2O_4$	↓	↑	↑	↑	↑	Peker vd., (2023c)
	$H_2O_2 + NaOH$	↑	↓	↑	↑	↑	
Sipo	NaClO	↓	↓	↓	↓	↓	Ulay ve Ayata, (2023a)
Sarıçam		↑	↑	↑	↑	↓	Ulay ve Ayata, (2023c)
Sapelli		↓	↓	↓	↓	↑	Ulay ve Ayata, (2023b)
Anadolu kestanesi		↓	↑	↑	↑	↓	Ulay ve Ayata, (2023d)
Ayous	NaOH	↑	↓	↓	↓	↑	Lu vd., (2023)
İhlamur		↑	↓	↓	↓	↑	
Kavak		↑	↓	↓	↓	↑	
Japon melezi	H ₂ O ₂	↑	↓	↑	-	-	Park vd., (2022)
Moğol meşesi		↑	↓	↑	-	-	
Bambu		↑	↑	↑	-	-	Liu vd., (2015)
Huş		↑	↓	↓	-	-	
Maritime çamı		↑	↓	↓	-	-	Mehats vd., (2021)
Sığilli huş		↑	↓	↑	-	-	Mononen vd., (2005)
Huş		↑	↓	↓	-	-	Yamamoto vd., (2017)
Tik		↑	↑	↑	↑	↓	
Saplı meşe		↑	↓	↑	↑	↑	Möttönen vd., (2003)
Huş		↑	↓	↓	↓	↑	
Çınar yapraklı akçağaç		↑	↓	↑	↑	↑	
Avrupa ladini		↑	↓	↑	↑	↑	

Oksalik asit: $C_2H_2O_4$, Sodyum hidroksit: NaOH, Sodyum hipoklorit: NaClO, Hidrojen peroksit: H_2O_2

Toplam renk farklılıklarına ait sonuçları Tablo 8’de ve bu sonuçlara ait grafiksel gösterimi Şekil 4’de verilmiştir. ΔC^* değeri $C_2H_2O_4$ kimyasalında pozitif olarak belirlendiği için referanstan daha net, daha parlak olarak, $H_2O_2 + NaOH$ ise negatif olarak tespit edildiği için mat, referanstan daha bulanık olarak bulunmuştur. Δa^* değerleri ise $C_2H_2O_4$ kimyasalında pozitif (referanstan daha kırmızı) olarak elde edilirken, $NaOH + H_2O_2$ için negatif (referanstan daha yeşil) olarak tespit edilmiştir. ΔL^* (referanstan daha açık) ve Δb^* (referanstan daha sarı) değerleri her iki kimyasal türü için pozitif olarak bulunmuştur. ΔE^* değerleri en yüksek $H_2O_2 + NaOH$ kimyasalına maruz kalmış deney örneklerinde 10.00 olarak bulunurken, $C_2H_2O_4$ kimyasalında ise 5.43 olarak tespit edilmiştir. Renk değiştirme kriterleri (DIN 5033, 1979) ile elde edilen Tablo kıyaslandığında, $C_2H_2O_4$ kimyasalının “çok belirgin (3.0 ila 6.0)” kriterini ve $H_2O_2 + NaOH$ kimyasalının ise “güçlü (6.0 ila 12.0)” kriterini verdiği görülmektedir (Tablo 8).

Tablo 8. Toplam renk farklılıklarına ait sonuçlar

Ağartma Kimyasalı Türü	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔC^*	ΔH^*	ΔE^*	Renk Değiştirme Kriterleri (DIN 5033, 1979)
$C_2H_2O_4$	0.18	1.01	5.33	4.67	2.76	5.43	Çok belirgin (3.0 ila 6.0)
$H_2O_2 + NaOH$	7.78	-5.67	2.69	-1.18	6.16	10.00	Güçlü (6.0 ila 12.0)



Şekil 4. Toplam renk farklılıklarına ait sonuçların grafiksel gösterimi

Bu çalışmada, aynı ağaç türüne aynı yöntemle farklı ağartma kimyasalları uygulandığında farklı renk sonuçlarının elde edildiği görülmektedir. Bu durum; ağacın doğal renk farklılıkları, odunun fiziksel ve yapısal özellikleri ile kimyasal bileşimi (ekstraktif maddeler, yoğunluk, gözenek yapısı, hücre düzeni gibi), ağartma kimyasallarının ahşaba emilim biçimi, kullanılan kimyasalların yapısal içeriği, odunun yaşı, büyüme koşulları ve hasat zamanı gibi çeşitli etkenlerden kaynaklanıyor olabilir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, cabreúva-vermelha ahşabına uygulanan iki farklı ağartma kimyasalının yüzey özelliklerine etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, her iki kimyasalın da ahşap yüzeyin optik karakteristiklerinde önemli değişimler yarattığını göstermiştir. Her iki kimyasal da ışıklılık (L^*), sarılık (b^*) ve ton açısı (h°) değerlerinde artış sağlamıştır. Ancak $C_2H_2O_4$ uygulaması, kırmızılık

(a^*) ve renk doygunluğu (C^*) gibi parametrelerde artışa neden olurken; $H_2O_2 + NaOH$ uygulamasında bu değerlerde düşüş gözlenmiştir. Ayrıca, $H_2O_2 + NaOH$ kimyasalı ile beyazlık indeksi (WI^*) anlamlı şekilde artmış, bu durum ağartma etkisinin daha belirgin olduğunu ortaya koymuştur. Her iki kimyasal, yüksek açılarda yapılan parlaklık ölçümlerinde düşüşe neden olmuş; bu da yüzeyin ışık yansıtma özelliklerinde azalma olduğunu göstermiştir. Genel olarak, $H_2O_2 + NaOH$ kombinasyonu daha yüksek renk farkı (ΔE^*) değerleri oluşturmuş ve daha güçlü bir ağartma etkisi sergilemiştir. Sonuçlar, ağartma kimyasallarının ahşabın renk ve optik özellikleri üzerinde farklı yönlü etkiler oluşturduğunu ve hedeflenen estetik görünüme göre uygun kimyasal seçiminin yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Cıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Kaynaklar

Aguilar-Sandí, D. (2019). El árbol *Myroxylon peruiferum* (Fabaceae), nuevo registro en la flora de Costa Rica. UNED Research Journal, 11(3), 424–429. <https://doi.org/10.22458/urj.v11i3.2722>.

Aguilar-Sandí, D. (2020). Localización de árboles de chirraca (*Myroxylon peruiferum*, Fabaceae) en San Ramón de Alajuela a partir de la novela Juan Varela. Revista Herencia, 33(1), 87–98.

ASTM International. (2007). Standard practice for calculation of color tolerances and color differences from instrumentally measured color coordinates (ASTM Standard D2244-07). West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM International. (2015). Standard practice for calculating yellowness and whiteness indices from instrumentally measured color coordinates (ASTM Standard E313-15e1). West Conshohocken, PA: ASTM International.

Ayata, Ü., & Bal, B. C. (2023). Ilomba (*Pycnanthus angolensis* Exell) odununda bazı yüzey özellikleri üzerine çeşitli ağartıcı kimyasallarının uygulanması. In 2. Uluslararası Sağlık, Mühendislik ve Uygulamalı Bilimler Kongresi bildirileri (pp. 95–105). Belgrad: European Conferences.

Ayata, Ü., & Çamlıbel, Ç. (2023). İç ve dış mekânda kullanılan satinwood ceylon (*Chloroxylon swietenia* DC) ahşabında ağartma uygulamasının yapılması üzerine bir çalışma. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 14(2), 273–281. <https://doi.org/10.29048/makufebd.1343434>

Brancalion, P. H. S., Viani, R. A. G., Aronson, J., Rodrigues, R. R., & Nave, A. G. (2012). Improving planting stocks for the Brazilian Atlantic Forest restoration through community-based seed harvesting strategies. Restoration Ecology, 20(6), 704–711. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2011.00839.x>.

Çamlıbel, O., & Ayata, Ü. (2023a). İhlamur (*Tilia tomentosa* Moench.) odununda ağartma uygulaması. In Uzakdoğu 2. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi bildirileri (pp. 107–116). Manila, Filipinler: Kongre Organizasyon Komitesi.

Çamlıbel, O., & Ayata, Ü. (2023b). Ahşap ağartıcı kimyasallarının ekop (*Tetraberlinia bifoliolata* Haum.) ahşabında uygulanması. In Uzakdoğu 2. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi bildirileri (pp. 125–135). Manila, Filipinler: Kongre Organizasyon Komitesi.

Çamlıbel, O., & Ayata, Ü. (2024). Cocobolo (*Dalbergia retusa* Hemsl.) odununda ağartma uygulamasının denemesi. Journal of Architecture, Engineering & Fine Arts, 6(1). Basım aşamasında.

DeFilipps, R. A., Maina, S. L., & Crepin, J. (2004). Medicinal plants of the Guianas (Guyana, Surinam, French Guiana). Washington, DC: Smithsonian National Museum of Natural History, Department of Botany.

Deutsches Institut für Normung. (1979). DIN 5033: Farbmessung. Berlin: Beuth Verlag.

Esteves, B., Şahin, S., Ayata, Ü., Domingos, I., Ferreira, J., & Gurleyen, L. (2021). The effect of heat treatment on Shore-D hardness of some wood species. *BioResources*, 16(1), 1482–1495. <https://doi.org/10.15376/biores.16.1.1482-1495>

Fournier, L. A., & García, E. G. (1998). Nombres vernáculos y científicos de árboles de Costa Rica. San José, Costa Rica: Editorial Guayacán.

Horst, D. J., Behainne, J. J. R., & Vieira, R. D. A. (2013). HPLC analysis of compounds obtained from diluted acetic acid hydrolysis using wastes from Brazilian wood species. *Revista Eletrônica Fafit/Facic*, 4(1), 19–27.

International Organization for Standardization. (1994). ISO 2813: Paints and varnishes — Determination of specular gloss of non-metallic paint films at 20°, 60°, and 85°. Geneva, Switzerland.

International Organization for Standardization. (1976). ISO 554: Standard atmospheres for conditioning and/or testing. Geneva, Switzerland.

Lange, D. R. (1999). Fundamentals of colourimetry: Application report No. 10e. New York, NY: DR Lange.

León, J., & Poveda, L. J. (1999). Los nombres comunes de las plantas en Costa Rica. Heredia, Costa Rica: EUNA.

Lindholm, C., Jäkärä, J., & Mårtens, H. (2009). Bleaching of mechanical pulps. In *Mechanical pulping* (pp. 360–398). Helsinki, Finland: Paper Engineers' Association.

Liu, Y., Guo, H., Gao, J., Zhang, F., Shao, L., & Via, B. K. (2015). Effect of bleach pretreatment on surface discoloration of dyed wood veneer exposed to artificial light irradiation. *BioResources*, 10(3), 5607–5619. <https://doi.org/10.15376/biores.10.3.5607-5619>

Lorenzi, H. (1998). Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa, SP: Plantarum.

Lu, D., Xiong, X., Lu, G., Gui, C., & Pang, X. (2023). Effects of NaOH/H₂O₂/Na₂SiO₃ bleaching pretreatment method on wood dyeing properties. *Coatings*, 13(2), 233. <https://doi.org/10.3390/coatings13020233>

Mamede, M. C. H., Souza, V. C., Prado, J., Barros, F., Wanderley, M. G. L., & Rando, J. G. (2007). Livro vermelho das espécies vegetais ameaçadas do Estado de São Paulo. São Paulo, SP: Instituto de Botânica.

Mathias, L., Vieira, I. J., Braz-Filho, R., & Rodrigues Filho, E. (2000). A new pentacyclic triterpene isolated from *Myroxylon balsamum* (syn. *Myroxylon peruiferum*). *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 11, 195–198. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532000000200017>

Mehats, J., Castets, L., Grau, E., & Grelier, S. (2021). Homogenization of maritime pine wood color by alkaline hydrogen peroxide treatment. *Coatings*, 11(7), 839. <https://doi.org/10.3390/coatings11070839>

Mononen, K., Jääskeläinen, A. S., Alvila, L., Pakkanen, T. T., & Vuorinen, T. (2005). Chemical changes in silver birch (*Betula pendula* Roth) wood caused by hydrogen peroxide bleaching and monitored by color measurement (CIELab) and UV–vis light spectroscopy. *Wood Science and Technology*, 39(6), 439–451. <https://doi.org/10.1007/s00226-005-0004-6>

Möttönen, V., Asikainen, A., Malvaranta, P., & Öykkönen, M. (2003). Peroxide bleaching of parquet blocks and glue lams. *Holzforschung*, 57(1), 75–80. <https://doi.org/10.1515/HF.2003.012>

- Nguyen, Q. T., Nguyen, T., & Nguyen, N. B. (2019). Effects of bleaching and heat treatments on *Indosasa angustata* bamboo in Vietnam. *BioResources*, 14(3), 6608–6618. <https://doi.org/10.15376/biores.14.3.6608-6618>
- Pabst, G. F. J. (1980). [Title of the article]. *Botanical Museum Leaflets*, Harvard University, 28, 277.
- Park, K. C., Kim, B., Park, H., & Park, S. Y. (2022). Peracetic acid treatment as an effective method to protect wood discoloration by UV light. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 50(4), 283-298. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2022.50.4.283>
- Peker, H. (2023a). Canelo (*Drimys winteri* J. R. Forst. & G. Forst.) ahşabında ağartma uygulamaları. In ICAFVP 3. Uluslararası Tarım, Gıda, Veteriner ve Eczacılık Bilimleri Kongresi bildirileri (pp. 165–174). Beyrut, Lübnan: Kongre Organizasyon Komitesi.
- Peker, H. (2023b). Lotofa (*Sterculia rhinopetala*) odununda tek ve çift bileşenli ağartıcılarının uygulanması. In ICAFVP 3. Uluslararası Tarım, Gıda, Veteriner ve Eczacılık Bilimleri Kongresi bildirileri (pp. 173–182). Beyrut, Lübnan: Kongre Organizasyon Komitesi.
- Peker, H., & Ayata, Ü. (2023). Olon (*Zanthoxylum heitzii*) odununun bazı yüzey özellikleri üzerine ağartıcı kimyasalların etkileri. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 6(2), 210–218. <https://doi.org/10.33725/mamad.1369843>
- Peker, H., & Ulusoy, H. (2023). Ahşap ağartıcı kimyasalları uygulanmış yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.) odununda bazı yüzey özelliklerinin belirlenmesi. In 8. Asya Pasifik Uluslararası Modern Bilimler Kongresi bildirileri (pp. 464–465). Delhi, India: Kongre Organizasyon Komitesi.
- Peker, H., Bilginer, E. H., Ayata, Ü., & Çamlıbel, O. (2023b). Mobilya sektöründe kullanılan movingui (*Distemonanthus benthamianus* Baillon) odununda tek ve çift bileşenli ahşap ağartıcı kimyasallarının uygulanması üzerine bir araştırma. *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2(2), 73–79.
- Peker, H., Bilginer, E. H., Ayata, Ü., Çamlıbel, O., & Gürleyen, L. (2024). Ahşap ağartma kimyasalları uygulandıktan sonra balmumu ile muamele edilmiş balau red (*Shorea guiso*) odununda bazı yüzey özelliklerinin belirlenmesi. *Türk Bilim ve Mühendislik Dergisi*, basım aşamasında.
- Peker, H., Bilginer, E. H., Ayata, Ü., Çamlıbel, O., & Gürleyen, L. (2023a). Ağartıcı kimyasallarının (oksalik asit ve hidrojen peroksit + sodyum hidroksit) bulletwood (*Manilkara bidentata* (A.DC.) A. Chev.) ahşabında uygulanması. *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 1(2), 48–54.
- Peker, H., Bilginer, E. H., Ayata, Ü., Gürleyen, L., & Çamlıbel, O. (2023c). İç ve dış mekânlara ait tasarımlarda kullanılan izombé (*Testulea gabonensis* Pellegr.) ahşabında farklı ahşap ağartıcı kimyasallarının uygulanması. In 2. Uluslararası Kültür, Sanat ve İletişim Sempozyumu (UKSANİL 2) bildirileri (pp. 289–303). Bayburt, Türkiye: Sempozyum Düzenleme Kurulu.
- Pushpakumara, B. H. J., Gunasekara, M. T., & Abhayathunge, U. I. (2023). Investigation on mechanical and physical properties of Sri Lankan timber species for construction applications. *Case Studies in Construction Materials*, 19, e02269. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02269>
- Rizzini, C. T., & Mors, W. B. (1995). *Botânica econômica brasileira* (2nd ed.). Rio de Janeiro, Brasil: Âmbito Cultural.
- Sartori, A. L. B., Lewis, G. P., Mansano, V. F., & Tozzi, A. M. G. A. (2015). A revision of the genus *Myroxylon* (Leguminosae: Papilionoideae). *Kew Bulletin*, 70, 48(1–12). <https://doi.org/10.1007/S12225-015-9604-7>

Schwarcz, K. D., Bajay, M. M., Macrini, C. M., Salazar, V. L., Souza, A. P., Pinheiro, J. B., Brancalion, P. H. S., Rodrigues, R. R., & Zucchi, M. I. (2014). Microsatellite markers for the Cabreúva tree, *Myroxylon peruiferum* (Fabaceae), an endangered medicinal species from the Brazilian Atlantic Forest. *Genetics and Molecular Research*, 13(3), 6920–6925. <https://doi.org/10.4238/2014.March.26.1>

Ulay, G., & Ayata, Ü. (2023b). İç mekân temizlik kimyasalına maruz kalmış sapelli (*Entandrophragma cylindricum*) odununda renk parametrelerinin incelenmesi. In A. Bobat (Ed.), *Küreselleşen dünyada ziraat, orman ve su ürünleri* (pp. 61–75). Duvar Kitapevi. <https://isbnsearch.org/isbn/9786256945395>

Ulay, G., & Ayata, Ü. (2023c). Sariçam (*Pinus sylvestris* L.) odununda renk parametreleri üzerine sodyum hipoklorit (NaClO) kimyasalının etkisi. In Karadeniz 12. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi bildirileri (pp. 380–388). Rize, Türkiye: Kongre Organizasyon Komitesi.

Ulay, G., & Ayata, Ü. (2023d). Isıl işlem görmüş Anadolu kestanesi (*Castanea sativa* Mill.) odununda bazı yüzey özellikleri üzerine çeşitli kimyasalların etkileri. In Latin Amerika 5. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi bildirileri (pp. 114–124). Medellin, Kolombiya: Kongre Organizasyon Komitesi.

Ulay, G., & Ayata, Ü. (2023a). Farklı uygulama yöntemleri kullanılarak iç mekân temizlik kimyasalı ile muamele edilmiş sipo (*Entandrophragma utile*) odununda renk parametrelerinin araştırılması. In ICHEAS 4. Uluslararası Sağlık, Mühendislik ve Uygulamalı Bilimler Kongresi bildirileri (pp. 24–31). Dubai, Birleşik Arap Emirlikleri: Kongre Organizasyon Komitesi.

Wood, G. B., & Bache, F. (1833). Notice of the Dispensatory of the United States of America. *American Journal of Science and Arts*, 24(1), 151.

Yamamoto, A., Rohumaa, A., Hughes, M., Vuorinen, T., & Rautkari, L. (2017). Surface modification of birch veneer by peroxide bleaching. *Wood Science and Technology*, 51, 85–95. <https://doi.org/10.1007/s00226-016-0880-7>

Yamamoto, L. F., Kinoshita, L. S., & Martins, F. R. (2007). Síndromes de polinização e de dispersão em fragmentos da floresta estacional semidecídua montana, SP, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 21(3), 553–573. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062007000300005>

Zamora, N. (2010). Fabaceae. In B. E. Hammel, M. H. Grayum, C. Herrera, & N. Zamora (Eds.), *Manual de plantas de Costa Rica. Vol. V: Dicotiledóneas (Clusiaceae–Gunneraceae)* (Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden, Vol. 119, pp. 395–775). St. Louis, MO: Missouri Botanical Garden Press.

Araştırma Makalesi / Research Article

Yukarı Kızılırmak Havzasında Hidrolojik Kuraklık Eğilimleri: SSP2 ve SSP5 Senaryolarının Karşılaştırılması

Sefa Furkan SELÇUK^{1*}, Meltem Sarioğlu CEBECİ²

¹ Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Artvin, TÜRKİYE

² Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği, Sivas, TÜRKİYE

sefaturkan.selcuk@artvin.edu.tr, sarioğlu@cumhuriyet.edu.tr

Received/Geliş Tarihi: 05.03.2025

Accepted/Kabul Tarihi: 13.06.2025

Özet: Bu çalışma, Yukarı Kızılırmak Havzası'nda SSP2 ve SSP5 iklim değişikliği senaryoları altında hidrolojik kuraklık eğilimlerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, 2100 yılına kadar öngörülen akarsu akım verileri kullanılarak Streamflow Drought Index (SDI) hesaplanmış ve zaman serileri üzerinde Mann-Kendall ile Sen'in eğilim testleri uygulanmıştır. Sonuçlar, SSP5 senaryosu altında hidrolojik kuraklığın daha uzun süreli ve şiddetli olabileceğini göstermektedir. Özellikle İstasyon 6'da 2090 sonrası SDI değerlerinin -2 seviyesinin altına inerek aşırı kuraklık kategorisine ulaşabileceği tahmin edilmektedir. Mann-Kendall trend analizi sonuçlarına göre, SSP2 senaryosunda yalnızca iki istasyonda istatistiksel olarak anlamlı negatif eğilimler gözlemlenirken, SSP5 senaryosu altında tüm istasyonlarda anlamlı düşüş eğilimleri tespit edilmiştir. Hidrolojik kuraklığın mekânsal dağılımı incelendiğinde, üst havzadaki istasyonlarda SDI değerlerinin daha yüksek seyrettiği, buna karşın alt havzalarda kuraklığın daha belirgin olduğu görülmektedir. Bu bulgular, iklim değişikliğinin havzadaki hidrolojik rejimi önemli ölçüde etkileyebileceğini ve su yönetimi açısından yeni stratejiler geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Gelecekteki çalışmalarda, havzanın farklı iklim modelleriyle karşılaştırmalı analizinin yapılması ve su yönetimi politikalarının geliştirilmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hidrolojik kuraklık, SDI, Trend analizi, Yukarı Kızılırmak

Hydrological Drought Trends in The Upper Kizilirmak Basin: A Comparison of SSP2 and SSP5 Scenarios

Abstract: This study aims to evaluate hydrological drought trends in the Upper Kızılırmak Basin under SSP2 and SSP5 climate change scenarios. In the study, streamflow data projected until 2100 were used to calculate the Streamflow Drought Index (SDI), and Mann-Kendall and Sen's slope tests were applied to the time series. The results indicate that hydrological drought may be more prolonged and severe under the SSP5 scenario. Particularly, after 2090, SDI values at Station 6 are projected to drop below -2, reaching the extreme drought category. According to Mann-Kendall trend analysis, only two stations exhibit statistically significant negative trends under SSP2, whereas all stations show significant decreasing trends under SSP5. An analysis of the spatial distribution of hydrological drought reveals that SDI values are generally higher in the upper basin, whereas drought conditions become more pronounced in the lower sub-basins. These findings suggest that climate change could significantly impact the hydrological regime of the basin, necessitating new strategies for water resource management. Future studies should compare different climate models and develop adaptive water management policies.

Keywords: Hydrological drought, SDI, Trend analysis, Upper Kızılırmak

1. Giriş

Su, yaşamın sürdürülebilirliği için elzem bir elementtir ve onun yönetimi, tarımdan sanayiye, enerji üretiminden içme suyu sağlamaya kadar birçok alanda kritik öneme sahiptir. Türkiye, coğrafi konumu ve iklimi nedeniyle su kaynakları açısından zengin bir potansiyele sahip olmasına rağmen, son yıllarda artan nüfus, hızlı şehirleşme, tarımsal ve sanayi faaliyetlerindeki artış gibi faktörler su talebini önemli ölçüde artırmıştır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) ve Devlet Su İşleri (DSİ) verilerine göre,

2000 yılında kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 1652 m³ iken, bu miktar 2020 yılında 1346 m³'e gerilemiştir (DSİ, 2020). Bu düşüş, Türkiye'yi "su stresi" yaşayan ülkeler kategorisine sokmakta ve su kaynaklarının sürdürülebilir yönetiminin önemini daha da artırmaktadır.

İklim değişikliği, dünya genelinde olduğu gibi Türkiye'de de su kaynaklarının geleceği üzerinde önemli bir belirsizlik faktörüdür. Türkiye'nin coğrafi ve iklimsel özellikleri, iklim değişikliğinin etkilerinin özellikle su kaynakları üzerinde yoğun hissedilmesine neden olmaktadır. Bilimsel araştırmalar, Türkiye'nin özellikle güney ve iç bölgelerinde kuraklık olaylarının sıklığının ve şiddetinin artabileceğini, bu durumun hem doğal ekosistemler hem de tarım, enerji üretimi ve içme suyu gibi temel insan ihtiyaçlarını karşılayan sektörler üzerinde ciddi etkiler yaratabileceğini öngörmektedir (Türkeş, 2014). Bu nedenle, iklim değişikliği bağlamında su kaynaklarının yönetimi, sadece güncel ihtiyaçların karşılanması değil, aynı zamanda gelecekteki olası senaryolara karşı dayanıklılığın artırılması açısından da büyük önem taşımaktadır.

Bu kapsamda, hidrolojik havza modelleme araçları, Türkiye'de su kaynaklarının yönetiminde kritik bir rol oynamaktadır. Bu araçlar, çeşitli iklim değişikliği senaryoları altında su döngüsünün nasıl etkileneceğini anlamak için kullanılmakta ve böylece gelecekteki su talebi ve arzı arasındaki muhtemel uyumsuzlukları belirlemekte yardımcı olmaktadır. Hidrolojik modelleme, yağış, buharlaşma, akış ve yeraltı su seviyeleri gibi su döngüsünün temel bileşenlerini simüle ederek, su yönetimi politikalarının ve stratejilerinin geliştirilmesine temel teşkil etmektedir.

Ayrıca, iklim değişikliği senaryoları için yapılan projeksiyonlar, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi açısından stratejik planlama yapmak için zorunludur. Bu projeksiyonlar sayesinde, su yöneticileri ve politika yapımcıları, değişen iklim koşullarına uyum sağlamak, su kaynaklarını korumak ve kullanımını optimize etmek için gerekli önlemleri alabilirler. Bu önlemler arasında, su tasarrufu teknolojilerinin teşviki, suyun yeniden kullanımının artırılması, yağmur suyu hasadı gibi yenilenebilir su kaynaklarına yatırım yapılması ve su yönetimindeki karar alma süreçlerine iklim değişikliği verilerinin entegrasyonu yer alabilir.

Türkiye'nin karşı karşıya olduğu su kaynakları ve iklim değişikliği ile ilgili zorlukların üstesinden gelmek için, bilimsel araştırmalara ve teknolojik ilerlemelere dayalı dinamik ve esnek bir su yönetimi yaklaşımı benimsemesi gerekmektedir. Hidrolojik modelleme ve iklim değişikliği senaryolarına dayalı projeksiyonlar, bu süreçte kritik öneme sahip araçlardır ve Türkiye'nin su güvenliğini sağlamak ve gelecek nesillere sağlıklı bir çevre bırakmak için alınacak kararlara rehberlik etmektedir. Türkiye'nin su güvenliğini sağlamak ve gelecek nesillere sağlıklı ekosistemler bırakmak için, kaynakların korunması ve akılcı kullanımı konusunda proaktif ve yenilikçi politikaların uygulanması gerekmektedir.

Kızılırmak Havzası, Türkiye'nin en geniş akarsu havzalarından biridir. Bu havzanın, Türkiye içerisinde doğup yine Türkiye sınırları içerisinde denize ulaşması, onu ülkenin önemli bir su kaynağı haline getirir. Yerel düzeyde gerçekleştirilen araştırmalarda, Yukarı Kızılırmak havzasını da kapsayacak şekilde Türkiye'nin iç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde, kuraklık olaylarının şiddetinin ve kapsadığı alanın genişlediği belirlenmiştir (Türkeş, 2014). Küresel ısınmanın etkilerinin artmasıyla birlikte, kuraklık olaylarının daha da şiddetlenmesi beklenmektedir. Bölge için oluşturulan iklim projeksiyonları, çeşitli iklim değişikliği senaryoları altında, kuraklık olaylarının sayısının artacağını ve yağış miktarlarının azalacağını ortaya koymaktadır (Sen vd., 2012; Selçuk vd., 2022). Bu gelişmeler, havza yönetiminin sürdürülebilir ve etkin bir şekilde yapılmasının önemini daha da vurgulamaktadır. Böylece, bölgedeki hidrolojik değişikliklerin incelenmesi ve geleceğe yönelik projeksiyonların hazırlanması, su kaynaklarının sürdürülebilirliği ve güvenliği açısından büyük bir önem taşımaktadır.

Uluslararası literatürde de benzer şekilde, hidrolojik kuraklık analizlerinde özellikle akarsu debisine dayalı kuraklık indislerinin (örneğin, SDI) farklı havzalarda yaygın biçimde kullanıldığı görülmektedir. Kimaru vd. (2019), Kenya'daki Nakuru Gölü havzasında SWAT modeli ile akarsu akımlarını simüle ederek SDI, SPI ve SPEI indislerini karşılaştırmış; havza ölçeğinde kuraklık eğilimlerinin zamansal dağılımını başarıyla ortaya koymuştur. Benzer biçimde Malik vd. (2019), Hindistan'daki Ramganga Nehri havzasında çok zaman ölçekli SDI değerleri kullanarak yapay sinir ağları ve regresyon modelleriyle hidrolojik kuraklık tahmininde yüksek doğruluk elde etmişlerdir. İran'ın Lorestan bölgesinde yapılan bir çalışmada, SDI kullanılarak 32 yıllık akım verisi üzerinden hidrolojik kuraklık şiddeti ve sürekliliği analiz edilmiş, bölgesel kuraklık haritaları oluşturulmuştur (Jahangir ve Yarahmadi, 2020). Ayrıca, Tareke ve Awoke (2022), Etiyopya'da sekiz büyük nehir havzasında SDI kullanarak yıllık ve mevsimlik ölçeklerde hidrolojik kuraklık eğilimlerini değerlendirmiş ve özellikle 1980'li yıllarda kuraklığın yüksek şiddette yaşandığını raporlamıştır. Bu çalışmalar, hidrolojik kuraklık analizinde SDI'nin etkinliğini göstermekte ve modelleme temelli projeksiyonlarla desteklendiğinde havza bazında su yönetimi kararları için güçlü bir temel oluşturduğunu ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada SSP2 ve SSP5 iklim değişikliği senaryoları altında Yukarı Kızılırmak için hidrolojik kuraklık analizi yapılmıştır. İklim değişikliği senaryolarına ait akarsu akım veri seti olarak daha önce bölge için yapmış olduğumuz modelleme çalışmasının çıktıları kullanılmıştır. 2100 yılına kadar elde edilmiş akarsu akım verileri üzerinden kuraklık indeksi zaman serileri oluşturulmuş ve trend analizi yöntemleri ile değerlendirilmiştir.

2. Materyal Metot

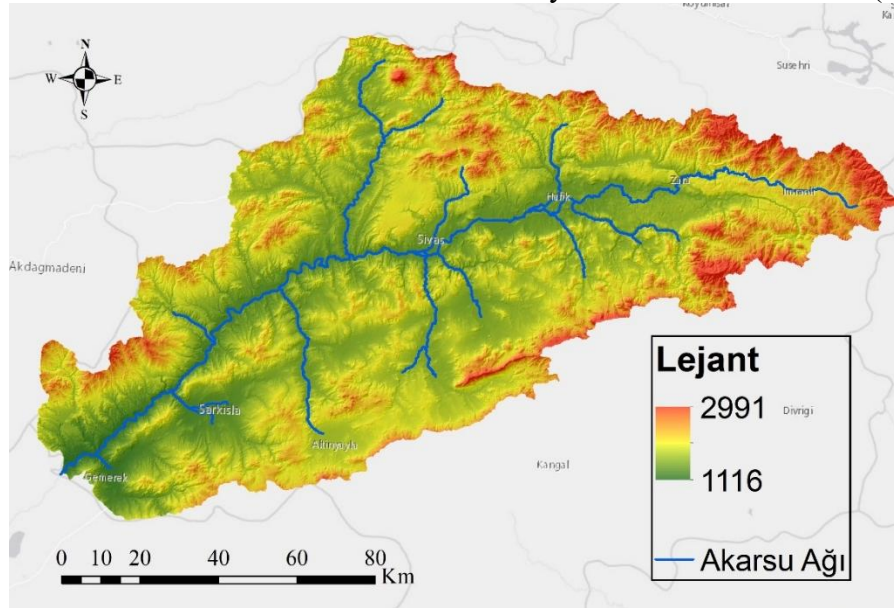
2.1. Çalışma Alanı

Kızılırmak 1355 km uzunluğu ile Türkiye'nin en uzun akarsuyudur. Akarsuyun havzası ise Türkiye'nin ikinci büyük havzasıdır (Ercan ve Yüce, 2017). Akarsuyun Türkiye topraklarından doğarak yine Türkiye topraklarından denize dökülmesi su kaynağını daha da önemli bir hale getirmektedir. Akarsuyun Sivas il sınırları içerisinde kalan kısmı (yaklaşık 300km) Yukarı Kızılırmak olarak isimlendirilmektedir (Sağdıç ve Koç, 2012).

Kızılırmak Nehri, Sivas ilinden doğarak, Kayseri, Nevşehir, Kırşehir, Aksaray, Ankara ve Kırıkkale gibi birçok şehirden geçen bir rota izler ve Samsun sınırları içerisinde Karadeniz'e dökülür. Nehrin doğduğu İmranlı ilçesindeki Kızıldağ'ın kırmızı toprak yapısı sebebiyle sürüklediği kumlu – killi toprağın suyun rengini kırmızı yapması nedeniyle Kızılırmak ismi verilmiştir. Nehir, içinden geçtiği bölgelerdeki sulama sistemleri ve hidroelektrik santralleri ile önemli bir su kaynağıdır. Kızılırmak Nehri'nin suladığı topraklar tarımsal üretim için oldukça verimlidir ve bu nedenle tarım faaliyetleri için önemli bir kaynak olarak kullanılır. Nehir, genellikle ovalar boyunca akar ve bu ovaların bazıları geniş tarım alanlarına dönüştürülmüştür. Kızılırmak Nehri'nin coğrafi konumu, Türkiye'nin iç bölgelerinden başlayarak Karadeniz'e ulaşan bir akarsu olarak Türkiye'nin jeopolitik ve ekonomik açıdan önemli bir bölgesel özelliği olduğunu gösterir.

Çalışma alanı olarak seçilen Yukarı Kızılırmak havzası, Orta Anadolu platosuyla Doğu Anadolu'nun dağlık coğrafyası arasında geçiş bölgesidir. Havza doğu ve güneyde dağlık alanlarla sınırlanmış olup batı bölgesinde engebeli platolar bulunmaktadır. Havzanın topoğrafyası doğudan batıya doğru alçalarak genişleyen bir yapıdadır (Circi Selçuk ve Irmak, 2022). Şekil 1'de çalışma alanına ait uydu görüntüsü bulunmaktadır. Havza yüksekliği 1116-2991m arasında değişmektedir. Havza alanında evaporitli sedimanter kayaçların bulunduğu bazı alanlarda yüzeysel akışı çok hızlı bir şekilde yer altına geçiren karstik çöküntü yapıları bulunmaktadır (Kaçaroğlu vd., 1997; Değirmenci vd., 1995).

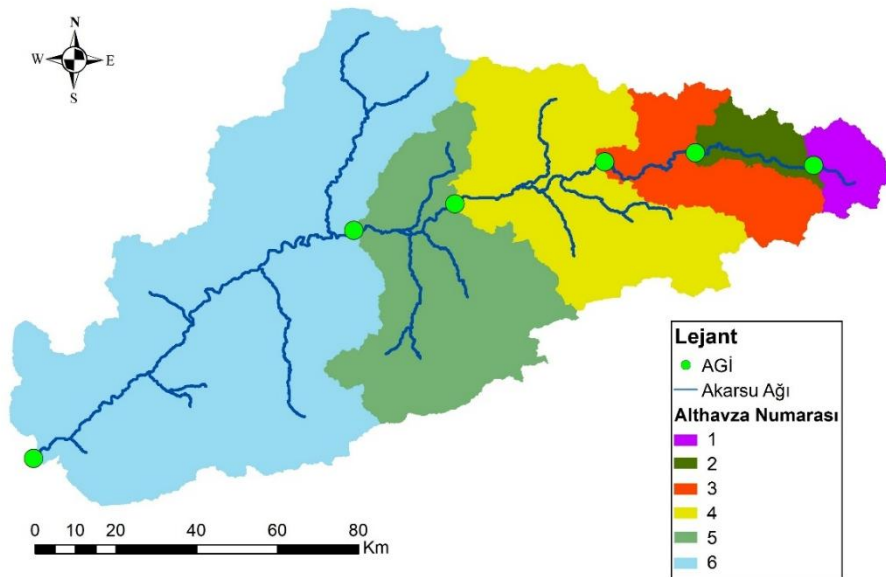
Kızılırmak suyundan tarımsal sulama, enerji üretimi ve turizm amaçlı yararlanmak için birçok tesis ve proje bulunsada Yukarı Kızılırmak kısmında kısıtlı sayıda tesis bulunmaktadır (Koç vd., 2018).



Şekil 1. Çalışma alanının uydu görüntüsü (Landsat 8)

2.2. Kullanılan Veri Seti

İklim değişikliği senaryoları altında öngörülen akarsu akım verileri daha önce doktora tezi kapsamında yapılmış havza modelleme çalışmasının çıktılarından alınmıştır. Modelleme çalışmasıyla ilgili ayrıntılı bilgiye (Selçuk, 2023) çalışmasından ulaşılabilir. İlgili çalışmada kurulan model kalibrasyon/validasyon aşamalarından geçirilmiş ve havza temsiliyeti yüksek olduğu kanıtlanmış bir modeldir. Model çıktılarından SSP2 ve SSP5 iklim değişikliği senaryoları altında Yukarı Kızılırmak bölgesinde Kızılırmak üzerinde 6 noktadan akarsu akımı için öngörülen değerler alınmıştır (Şekil 2). Bu değerler 2023-2100 yılları arasını kapsamaktadır.



Şekil 0. Alt havza sınırları

Bu çalışmada SSP2 ve SSP5 senaryolarının seçilmesinin nedeni, bu senaryoların temsil ettikleri sosyo-ekonomik gelişme yolları bakımından karşıt kutupları yansıtmalarıdır. SSP2, mevcut politikaların ve kalkınma eğilimlerinin sürdürülmesini temel alan ‘orta yol’ senaryosu olup,

gerçekleşme olasılığı yüksek olan en iyimser senaryolardan biri olarak kabul edilmektedir. Diğer yandan SSP5, fosil yakıt temelli hızlı ekonomik büyüme ve düşük çevresel önceliklerle karakterize edilen, yüksek sera gazı emisyonlarına sahip bir senaryo olarak öne çıkmakta ve iklim değişikliği açısından en olumsuz gelecek projeksiyonlarını temsil etmektedir. SSP1 gibi düşük emisyonlu ve sürdürülebilirlik odaklı senaryoların ise mevcut küresel kalkınma eğilimleri göz önüne alındığında gerçekleşme olasılığı sınırlı görülmektedir.

2.3. Hidrolojik kuraklık analizi

İklim değişikliği senaryolarına göre Yukarı Kızılırmak'ın kuraklık analizi Streamflow Drought Index (SDI) kullanılarak yapılmıştır. SDI değerleri DrinC yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır (Tigkas vd. 2015). SDI ya da diğer adıyla akış kuraklık indeksi, hidrolojik kuraklık göstergelerinden biridir ve su kaynakları yönetimi için önemli bir araçtır. Belirli bir nehir veya akarsuyun su debisindeki azalmayı ölçerek, kuraklık koşullarını tespit etmek için kullanılır. Azalmadaki ölçüt, belirlenen zaman aralığındaki ortalama akış miktarıdır. Aylık akış zaman serisi üzerinden hesaplanır. Yöntemde öncelikle Denklem 1'e göre kümülatif akış hacmi hesaplanmaktadır. Daha sonra Denklem 2'ye göre SDI değerleri hesaplanmaktadır. Denklemlerde i ; hidrolojik yılı, j ; ayı, Q ; aylık akış hacimlerini, k ; referans dönemi, V ; kümülatif akış hacmini, $\bar{V}$; ortalama kümülatif akış hacmini, S ; akarsu akımlarının kümülatif akış hacimlerinin standart sapmasını ve SDI kuraklık indeksini temsil etmektedir (Nalbantis ve Tsakiris, 2009). Çalışmada kuraklık analizi yıllık ($k=4$) SDI değerleri üzerinden yapılmıştır.

$$V_{i,k} = \sum_{j=1}^{3k} Q_{i,j} \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad j = 1, 2, 3, \dots, 12 \quad k = 1, 2, 3, 4 \quad (1)$$

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \bar{V}_k}{s_k} \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad k = 1, 2, 3, 4 \quad (2)$$

SDI değerlerine göre hidrolojik kuraklığın şiddeti 5 farklı sınıfa ayrılmaktadır. Bu sınıflandırma ile ilgili değerler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Hidrolojik kuraklık sınıfları (Nalbantis ve Tsakiris, 2009)

Değerler	Kuraklık Sınıfı
$SDI \geq 0$	Kurak Olmayan
$0 > SDI \geq -1$	Hafif Kuraklık
$-1 > SDI \geq -1,5$	Orta Derecede Kuraklık
$-1,5 > SDI \geq -2$	Şiddetli Kuraklık
$SDI \leq -2$	Aşırı Kuraklık

Mann-Kendall trend analizi ve Sen'in eğilim testleri, hidrolojik ve meteorolojik zaman serilerinde artış veya azalış trendlerinin belirlenmesi için yaygın olarak kullanılan parametrik olmayan istatistiksel analiz yöntemleridir (Gocic and Trajkovic, 2013; Nyikadzino vd., 2020; Chauluka vd., 2021; Tan vd., 2020). Çalışmada, SDI verilerine ait zaman serilerinin trend analizi için bu yöntemler kullanılmıştır. Oluşturulan zaman serilerinde Mann-Kendall test istatistiği Denklem 3'e göre hesaplanmıştır (Mann, 1945; Kendall, 1975).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (3)$$

Denklemden, n veri sayısını, x_j ve x_i ise $x_1, \dots, x_n$ zaman serisindeki verileri temsil etmektedir. Pozitif S değerleri artış eğilimlerini, negatif S değerleri ise azalış eğilimlerini göstermektedir. S değerinin varyansı Denklem 4'e göre, Mann-Kendall istatistiği Denklem 5'e göre hesaplanmaktadır.

$\text{Var}(S) = 1/18[n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)]$ (4)
Burada m, veri setindeki bağıl grupların sayısını ve t_i , i uzunluğundaki bir seride bağılı gözlemleri sembolize etmektedir.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)}}, & S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Zaman serilerinde eğilim değerini tahmin etmek için Sen'in eğilim tahmin metodu kullanılmıştır. Metoda göre, ortalama eğilimin tahmini Denklem 6 ve Denklem 7 kullanılarak yapılmaktadır (Sen, 1968).

$$Q_i = \frac{x_i - x_k}{j - k} \quad i = 1, \dots, N \quad (6)$$

$$N = n(n-1)/2 \quad (7)$$

Burada n, zaman periyotlarının sayısını; x_j ve x_k , $j > k$ olmak koşuluyla j ve k zamanlarındaki verileri temsil etmektedir.

Sen'in eğilim değerinin (Q_{med}) hesaplanması için; Q_i 'nin N değerleri küçükten büyüğe sıralanır ve N'nin çift sayı olması durumunda Denklem 8, N'nin tek sayı olması durumunda ise Denklem 9 ile Q_{med} hesaplanır.

$$Q_{\text{med}} = Q_{(N+1)/2} \quad (8)$$

$$Q_{\text{med}} = \frac{1}{2}(Q_{N/2} + Q_{(N+2)/2}) \quad (9)$$

Sen'in eğilimi için $1 - \alpha$ güven aralığı şu şekilde hesaplanır:

$$N = C(n, 2) \quad (10)$$

$$k = Z_{1-\alpha/2} * \sqrt{\text{var}(s)} \quad (11)$$

$$\text{Alt Limit} = x_{(N-k)/2} \quad (12)$$

$$\text{Üst Limit} = x_{(\frac{N+k}{2}+1)} \quad (13)$$

Burada $Z_{1-\alpha/2}$, standart normal dağılım tablosundan elde edilir. Bu çalışmada, güven aralığı $\alpha = 0,05$ anlamlılık seviyesinde hesaplanmıştır.

3. Bulgular

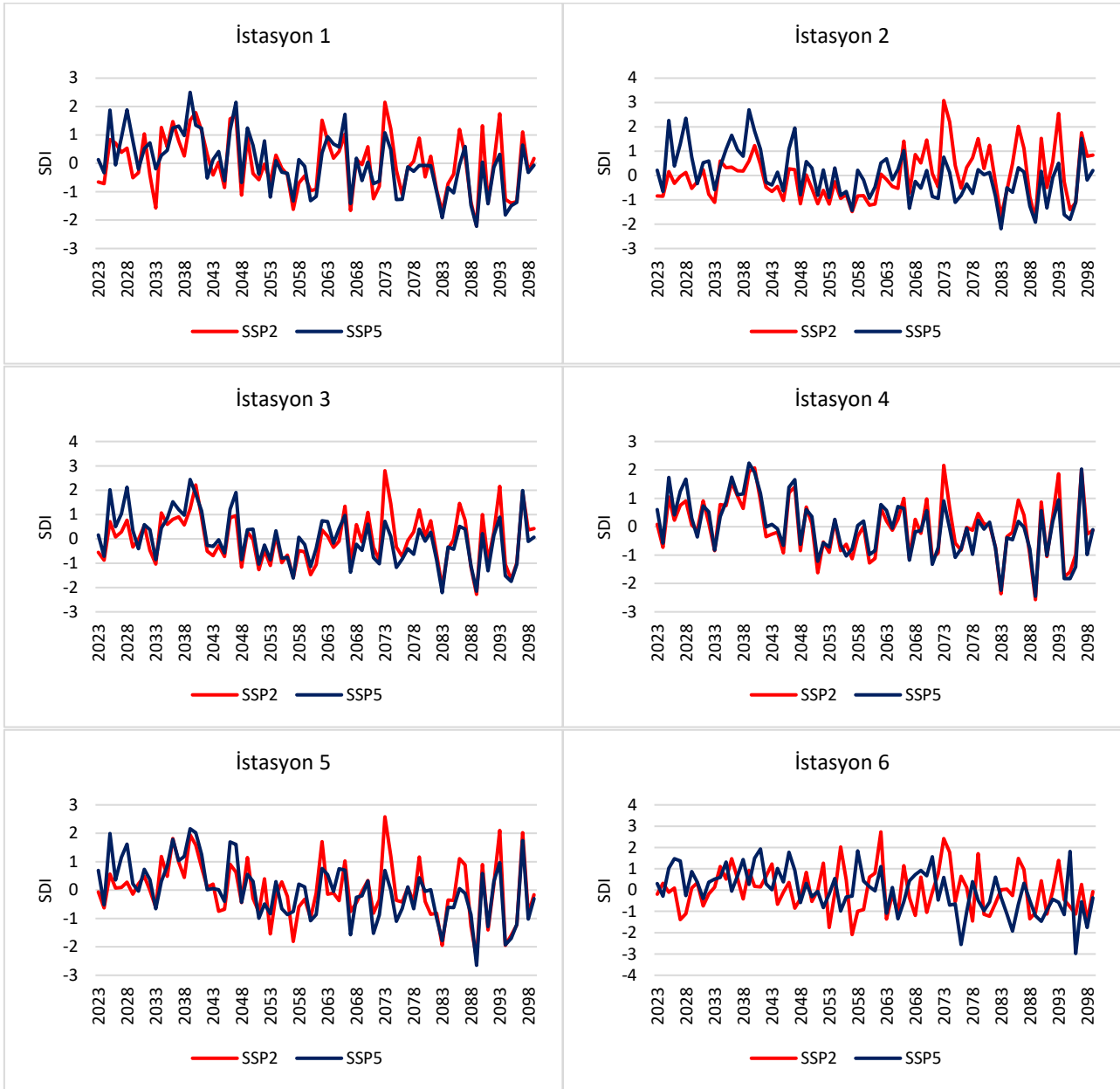
Bu bölümde, SSP2 ve SSP5 iklim değişikliği senaryoları altında Yukarı Kızılırmak bölgesinde gerçekleştirilen hidrolojik kuraklık analizine ilişkin elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Analiz kapsamında, SDI değerleri hesaplanarak hidrolojik kuraklık eğilimleri incelenmiş ve Mann-Kendall ile Sen'in Eğilim Testleri kullanılarak zaman serileri üzerindeki eğilimler belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, çalışma alanında uzun vadede beklenen kuraklık dinamiklerini ortaya koyarak, farklı

senaryolar altında meydana gelebilecek değişimleri göstermiştir. Bulgular, SSP2 ve SSP5 senaryoları arasında belirgin farklar olduğunu göstermekte olup, özellikle SSP5 senaryosu altında daha belirgin eğilimlerin gözlemlendiği tespit edilmiştir.

Şekil 3, Yukarı Kızılırmak bölgesinde hesaplanan SDI değerlerinin zamansal değişimini göstermektedir. SSP2 senaryosuna göre; zaman serisi boyunca SDI değerlerinde dalgalanmalar gözlemlenmekte olup, belirli dönemlerde kuraklık olaylarının daha belirgin hale geleceği tahmin edilmektedir. Özellikle 2027, 2045-2050 ve 2090 sonrası dönemlerde SDI değerlerinde önemli düşüşlerin yaşanabileceği görülmektedir. Bu dönemlerde akarsu akımlarının normal seviyelerin altına inerek hidrolojik kuraklığın etkisinin artması muhtemeldir. 2027 yılında İstasyon 6'da SDI değeri -1,39'a düşerek ciddi kuraklık sinyalleri vermektedir. İstasyon bazında incelendiğinde, İstasyon 4 ve İstasyon 5'te SDI değerlerinin genellikle sıfırın üzerinde seyretmesine rağmen belirli yıllarda ani düşüşler görülmektedir. Özellikle 2045-2050 yılları arasında bu istasyonlarda SDI değerlerinde önemli dalgalanmalar beklenmektedir. Buna karşılık, İstasyon 2'de SDI değerlerinin genel olarak -1 seviyesinin altında kalmadığı ve kuraklık şiddetinin diğer istasyonlara göre daha hafif olduğu görülmektedir. Kuraklık periyotlarının zamansal dağılımı incelendiğinde, İstasyon 1 ve İstasyon 3'te 2024 yılında SDI değerlerinde düşüşler yaşansa da 2025-2030 yılları arasında olumlu bir artış gözlemlenmektedir. Öte yandan, İstasyon 6'da 2027 itibariyle SDI değerlerinde belirgin bir azalma meydana gelmiş olup, bu istasyonun özellikle yüzyılın ortalarına doğru kuraklık baskısı altında kalabileceği görülmektedir. En fazla kuraklık görülmesi beklenen dönem ise 2045-2050 yılları olup, bu süreçte SDI değerleri birçok istasyonda kritik seviyelere gerileyebilir. Özellikle İstasyon 6, en fazla kuraklığa maruz kalan bölge olarak öne çıkmakta ve bu istasyonda uzun süreli düşük SDI değerleri gözlemlenmektedir. Bununla birlikte, en şiddetli kuraklığın 2089 yılında İstasyon 4'te yaşanacağı öngörülmektedir. Bu yılda SDI değeri -2,57 seviyesine düşerek aşırı kuraklık sınırına ulaşmaktadır. Bu durum, havza genelinde kuraklık olaylarının mekânsal olarak homojen dağılmayacağını ve belirli bölgelerde daha yoğun hissedileceğini göstermektedir.

SSP2 senaryosuna kıyasla, SSP5 senaryosu altında daha uzun süreli ve daha şiddetli kuraklık dönemlerinin yaşanabileceği öngörülmektedir. Zaman serisi boyunca SDI değerlerinde belirgin düşüşler gözlemlenmekte olup, özellikle 2060-2075 ve 2090-2100 yılları arasında hidrolojik kuraklığın belirgin şekilde arttığı tahmin edilmektedir. Bu yıllarda SDI değerleri sık sık -1,5'in altına düşerek şiddetli kuraklık seviyesine ulaşmakta, özellikle 2090-2100 yılları arasında bazı istasyonlarda SDI değerleri -2 seviyesinin altına inerek aşırı kuraklık kategorisine girebilmektedir.

İstasyonlar bazında incelendiğinde, SSP5 senaryosu altında kuraklık eğilimlerinin bölge genelinde daha yaygın ve daha güçlü olduğu görülmektedir. İstasyon 1, İstasyon 2 ve İstasyon 6'da SDI değerleri belirgin bir düşüş eğilimi göstermekte ve özellikle 2050 sonrasında kuraklığın daha şiddetli olabileceği tahmin edilmektedir. Özellikle İstasyon 6, yüzyılın sonlarına doğru en keskin düşüşü yaşayarak SDI değerlerinin sıklıkla -2'nin altına inmesine neden olabilir. En şiddetli kuraklık ise 2096 yılında İstasyon 6'da yaşanacak olup, bu yıl SDI değeri -2,98'e düşerek aşırı kuraklık seviyesine ulaşacaktır. İstasyon 4 ve İstasyon 5'te de belirgin azalma eğilimleri gözlemlenirken, SSP2 senaryosuna kıyasla daha düşük SDI değerleri kaydedilmiştir. Bunun aksine, İstasyon 3'te diğer istasyonlara kıyasla kuraklık olayları daha seyrek ve daha az şiddetli olabilir. Ancak bu istasyonda da 2060 sonrasında SDI değerlerinde düşüş eğilimi başlamaktadır. Bu durum, SSP5 senaryosu altında Yukarı Kızılırmak havzasında kuraklık olaylarının daha şiddetli ve yaygın olacağını ve belirli istasyonların diğerlerine kıyasla daha büyük bir risk altında olduğunu göstermektedir.



Şekil 3. Kuraklık değerlerinin zaman serileri

Tablo 2, Mann-Kendall trend analizinin sonuçlarını sunmaktadır. Trend analizi, zaman serisinin genel eğilimini belirlemek için kullanılan parametrik olmayan bir yöntemdir ve istatistiksel olarak anlamlı eğilimleri tespit etmeye yardımcı olur. Tablodaki Z istatistikleri ve P değerleri incelendiğinde, altı istasyondan yalnızca ikisinde istatistiksel olarak anlamlı bir düşüş eğilimi tespit edilmiştir. İstasyon 4 ve İstasyon 5'te SDI değerlerinde anlamlı bir azalma eğilimi olduğu görülmektedir. Bu durum, bu istasyonların bulunduğu bölgelerde hidrolojik kuraklığın zamanla belirgin bir şekilde artabileceğine işaret etmektedir. Diğer istasyonlarda ise eğilim tespit edilmemiştir, yani SDI değerleri istatistiksel olarak anlamlı bir artış veya azalış göstermemektedir.

Tablo 2. SSP2 senaryosuna göre Mann-Kendall testi istatistiksel sonuçları

İstasyon No	Alfa	S	S.E.	Z	P	Trend
1	0.05	-429	227	-1.883	0.06	Hayır
2	0.05	410	227	1.799	0.072	Hayır
3	0.05	-85	227	-0.37	0.712	Hayır
4	0.05	-503	227	-2.208	0.027	Evet
5	0.05	-567	227.34	-2.49	0.013	Evet
6	0.05	-211	227	-0.924	0.356	Hayır

Tablo 3, Sen'in eğilim tahmin yöntemine dayalı olarak eğilim değerlerini göstermektedir. Mann-Kendall testi yalnızca eğilimlerin varlığını değerlendirirken, Sen'in eğilim tahmini yöntemi bu eğilimlerin büyüklüğünü hesaplamaktadır. Tabloda İstasyon 4 ve 5 için negatif eğilimlerin tespit edilmesi, bu bölgelerde SDI değerlerinde azalma eğiliminin güçlü olabileceğini desteklemektedir. Özellikle İstasyon 4'te yıllık ortalama eğilim değeri -0.01207 ve İstasyon 5'te -0.01193 olarak hesaplanmıştır. Bu eğilimler, bu bölgelerde hidrolojik kuraklığın yıllar içinde belirgin bir şekilde artabileceğini göstermektedir. İstasyon 2 ve İstasyon 6'da ise eğilim değerleri sıfıra yakın çıkmış, bu da bu bölgelerde SDI değerlerinde uzun vadede belirgin bir değişim olmayabileceğini göstermektedir. İstasyon 2'de hafif bir artış eğilimi tespit edilmiş olsa da (0.00898), bu eğilim istatistiksel olarak anlamlı seviyede değildir. Özellikle bazı istasyonlarda eğilimler tespit edilirken, diğerlerinde nötr bir eğilim görülmesi, SSP2 senaryosu altında kuraklık dinamiklerinin havza genelinde homojen dağılmayacağını göstermektedir. Bu sonuçlar, belirli alt havzaların daha yüksek kuraklık riski taşıyabileceğine ve bu bölgelerin ilerleyen yıllarda daha sık ve şiddetli kuraklık olayları yaşayabileceğine işaret etmektedir.

Tablo 3. SSP2 senaryosu Sen'in eğilim testi istatistiksel sonuçları

İstasyon No	Alfa	Eğilim	Alt Limit	Üst Limit
1	0.05	-0.01056	-0.0213	0.000455
2	0.05	0.00898	-0.0008	0.02
3	0.05	-0.00214	-0.01345	0.008929
4	0.05	-0.01207	-0.02152	-0.00122
5	0.05	-0.01193	-0.02077	-0.00313
6	0.05	-0.005	-0.01512	0.005517

Tablo 4'te sunulan Mann-Kendall trend analizi sonuçları, SSP5 senaryosunun kuraklık eğilimlerinin daha belirgin olduğunu ortaya koymaktadır. Mann-Kendall testi sonucunda altı istasyonun tamamında istatistiksel olarak anlamlı negatif eğilimler tespit edilmiştir. SSP2 senaryosunda yalnızca iki istasyonda anlamlı bir trend görülürken, SSP5 senaryosu altında İstasyon 6'da $S=-1054$, $Z=-4.632$ ve $P=3.63E-06$ gibi oldukça düşük bir P değeri elde edilmiştir, bu da güçlü bir azalma eğilimi olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, İstasyon 1 ve 2'de de $P<0.0001$ değerleriyle belirgin azalma eğilimleri tespit edilmiştir. Bu bulgular, havza genelinde hidrolojik kuraklığın kalıcı bir eğilim haline gelebileceğini ve bölgedeki akım miktarlarında uzun vadede önemli azalmaların yaşanabileceğini göstermektedir.

Sen'in eğilim testi sonuçlarını içeren Tablo 5 incelendiğinde, tüm istasyonlarda negatif eğilimlerin varlığı doğrulanmaktadır. İstasyon 6, -0.02358'lik yıllık eğilim değeriyle en hızlı SDI düşüşünü gösteren istasyon olarak öne çıkmaktadır. İstasyon 1 ve İstasyon 2'de de sırasıyla -0.02247 ve -0.02 değerleriyle hidrolojik kuraklığın zamanla belirgin bir şekilde artabileceği görülmektedir. SSP2 senaryosunda bu istasyonlarda belirgin bir trend görülmezken, SSP5 senaryosu altında tüm

istasyonların SDI değerlerinde azalma göstermesi, bu senaryonun daha kurak koşullara neden olacağını desteklemektedir.

Tablo 4. SSP5 senaryosuna göre Mann-Kendall testi istatistiksel sonuçları

İstasyon No	Alfa	S	S.E.	Z	P	Trend
1	0.05	-982	227.34	-4.315	1.6E-05	Evet
2	0.05	-943	227.335	-4.144	3.42E-05	Evet
3	0.05	-753	227.343	-3.308	0.00094	Evet
4	0.05	-908	227.337	-3.99	6.62E-05	Evet
5	0.05	-970	227.312	-4.263	2.02E-05	Evet
6	0.05	-1054	227.343	-4.632	3.63E-06	Evet

Tablo 5. SSP5 senaryosuna göre Sen'in eğilim testi istatistiksel sonuçları

İstasyon No	Alfa	Eğilim	Alt Limit	Üst Limit
1	0.05	-0.02247	-0.03188	-0.01239
2	0.05	-0.02	-0.0308	-0.0102
3	0.05	-0.01778	-0.02788	-0.00725
4	0.05	-0.02062	-0.03071	-0.01
5	0.05	-0.022	-0.03242	-0.01188
6	0.05	-0.02358	-0.03333	-0.01412

Bu analizler, SSP5 senaryosunun SSP2'ye kıyasla daha kurak bir iklim öngördüğünü ve hidrolojik kuraklığın bölgesel olarak şiddetleneceğini ortaya koymaktadır. Mann-Kendall ve Sen'in eğilim testlerinin sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, tüm istasyonlarda hidrolojik kuraklığın zamanla daha belirgin hale gelmesi ve özellikle 2060 sonrasında kuraklık olaylarının hem daha sık hem de daha yoğun yaşanması beklenmektedir.

4. Tartışma

Bu çalışma, Yukarı Kızılırmak Havzası'nda SSP2 ve SSP5 iklim değişikliği senaryoları altında hidrolojik kuraklığın gelecekteki eğilimlerini değerlendirmektedir. Elde edilen bulgular, iklim değişikliğinin bölgedeki hidrolojik rejimi önemli ölçüde etkileyebileceğini ve özellikle SSP5 senaryosu altında hidrolojik kuraklık olaylarının daha şiddetli ve uzun süreli olabileceğini göstermektedir. Bu bulgular, Türkiye ve dünya genelinde yapılan önceki çalışmalarla büyük ölçüde uyumludur ve bölgedeki su kaynaklarının gelecekte daha büyük baskı altında olabileceğine işaret etmektedir.

Türkeş (2014) çalışmasında, özellikle İç Anadolu Bölgesi'nde 2030'lu yıllardan itibaren kuraklığın belirginleşmeye başlayacağı ve yüzyılın ikinci yarısında daha uzun süreli kuraklık periyotlarının yaşanabileceği ifade edilmiştir. Bu çalışmada ise SSP5 senaryosu altında 2030-2040 yılları arasında SDI değerlerinde düşüş eğilimlerinin başlaması ve 2060 sonrası dönemde şiddetli kuraklık periyotlarının daha sık görülmesi, Türkeş'in bulgularıyla örtüşmektedir.

Benzer şekilde, Selçuk vd. (2022) Kızılırmak Havzası için yapılan iklim projeksiyonlarında özellikle 2070-2100 yılları arasında yağış miktarlarının belirgin şekilde azalacağını ve sıcaklık artışının buharlaşmayı artırarak akım miktarlarını düşürebileceğini öngörmüştür. Bu çalışma, SDI analizleri sonucunda SSP5 senaryosu altında 2090 sonrası SDI değerlerinde önemli düşüşlerin yaşanabileceğini ve özellikle İstasyon 6'nın aşırı kuraklık kategorisine girebileceğini göstermektedir. Bu durum,

Selçuk vd. (2022) tarafından yapılan yağış projeksiyonlarıyla doğrudan ilişkilidir ve bölgedeki kuraklık eğilimlerinin iklim projeksiyonlarıyla örtüştüğünü göstermektedir.

Hidrolojik modelleme temelli çalışmalar da bu bulguları desteklemektedir. Koç vd. (2018), Yukarı Kızılırmak Havzası'nda hidrolojik modelleme kullanarak akım rejimlerindeki değişimleri analiz etmiş ve havzanın üst kesimlerinde akımın nispeten sabit kalabileceğini ancak alt havzalarda akımın belirgin şekilde azalabileceğini göstermiştir. Bu çalışmada ise İstasyon 4 ve İstasyon 5'te SSP2 senaryosunda bile SDI değerlerinde azalma eğiliminin olması ve SSP5 senaryosunda bu eğilimin daha da belirgin hale gelmesi, Koç vd. (2018) çalışmasının bulgularını desteklemektedir.

Bölgedeki kuraklık eğilimlerinin daha geniş ölçekli araştırmalarla uyumluluğu da dikkat çekicidir. Sen vd. (2012), Türkiye genelinde hidrolojik kuraklık projeksiyonları yapmış ve özellikle 2050 sonrası dönemde kuraklık olaylarının şiddetleneceğini belirtmiştir. Bu çalışmada SSP5 senaryosu altında 2060 sonrası dönemde SDI'nin sıklıkla -1.5'in altına düşmesi ve 2090 sonrası bazı istasyonlarda aşırı kuraklık koşullarının oluşması, Sen ve arkadaşlarının öngörülerıyla örtüşmektedir.

Ayrıca, IPCC'nin 2021 yılında yayımladığı 6. Değerlendirme Raporu'nda, Akdeniz bölgesinde ortalama sıcaklıkların artacağı, yağışların azalacağı ve hidrolojik kuraklıkların daha sık ve şiddetli hale geleceği öngörülmektedir. Bu çalışmada elde edilen bulgular, IPCC'nin projeksiyonlarıyla uyumlu olup, özellikle SSP5 senaryosu altında bölgedeki hidrolojik kuraklığın belirgin şekilde artabileceğini göstermektedir.

5. Sonuç

Bu çalışma, Yukarı Kızılırmak Havzası'nda SSP2 ve SSP5 iklim değişikliği senaryoları altında hidrolojik kuraklık eğilimlerini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, 2100 yılına kadar öngörülen akarsu akım verileri kullanılarak SDI zaman serileri oluşturulmuş ve Mann-Kendall ile Sen'in eğilim testleri uygulanmıştır. Elde edilen bulgular, iklim değişikliğinin bölgedeki hidrolojik rejimi üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceğini göstermektedir.

Sonuçlar, SSP5 senaryosu altında kuraklık olaylarının daha uzun süreli ve şiddetli olabileceğini ortaya koymuştur. SSP2 senaryosunda kuraklık eğilimleri belirli istasyonlarla sınırlı kalırken, SSP5 senaryosunda istasyonların tamamında anlamlı düşüş eğilimleri gözlemlenmiştir. Özellikle İstasyon 6, 2090 sonrası dönemde en belirgin kuraklık eğilimlerinden birini göstermektedir ve SDI değerleri -2 seviyesinin altına inerek aşırı kuraklık kategorisine ulaşabilmektedir. Bu durum, havzanın belirli bölgelerinin iklim değişikliğine karşı daha hassas olduğunu ve gelecekte su yönetimi açısından kritik öneme sahip olabileceğini göstermektedir. SSP5 senaryosunun bu denli olumsuz sonuçlar doğurmasının temel nedeni, yüksek sera gazı emisyonlarını ve fosil yakıtlara dayalı hızlı ekonomik büyümeyi öngören yapısıdır. Bu senaryo, sıcaklık artışlarını ve buharlaşma kayıplarını artırarak bölgedeki su döngüsünü daha şiddetli biçimde etkilemekte; dolayısıyla hidrolojik kuraklık riskini belirgin biçimde yükseltmektedir. Buna karşın, SSP2 senaryosu görece daha dengeli bir sosyo-ekonomik gelişme öngörmekte ve emisyon artışlarını sınırlı tuttuğu için kuraklık etkileri de daha sınırlı düzeyde kalmaktadır.

Bu çalışma, Yukarı Kızılırmak Havzası özelinde yapılan hidrolojik kuraklık analizlerine bilimsel bir katkı sağlamakta ve iklim değişikliğinin bölgesel etkilerini anlamaya yönelik önemli bulgular sunmaktadır. Sonuçlar, Türkiye'nin iç bölgelerinde hidrolojik kuraklık eğilimlerinin artabileceğini öngören önceki çalışmalarla büyük ölçüde uyumludur. Ayrıca, havza ölçeğinde yapılan analizler, kuraklık eğilimlerinin mekânsal olarak homojen dağılmadığını ve alt havzalar arasında belirgin farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Gelecekteki çalışmalar, farklı iklim modellerinin karşılaştırılması ve hidrolojik kuraklığın diğer bileşenlerle (tarımsal ve meteorolojik kuraklık) birlikte değerlendirilmesi yönünde genişletilebilir. Bunun yanı sıra, havzada iklim değişikliğine uyum stratejileri geliştirilmesi için su kaynakları yönetimine yönelik simülasyon çalışmaları yapılması önerilmektedir. Bu tür kapsamlı analizler, havzanın su potansiyelinin sürdürülebilir yönetimi için kritik bilgiler sağlayacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma birinci yazarın doktora tez çalışması kapsamında yapılmış çalışmalardan oluşturulmuştur.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Kaynaklar

- Chauluka, F., Singh, S. & Kumar, R. (2021). Rainfall and streamflow trends of Thuchila River, Southern Malawi. *Materials Today: Proceedings*, 34, 846-855. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.228>
- Circi Selcuk, B. & Irmak, M.A. (2022). A study on the adequacy and requirement of urban active green areas in Sivas. *Fresenius Environmental Bulletin*, 31(02), 2209-2220.
- Değirmenci, M., Kaçaroglu, F. & Cerit, O. (1995). Sivas Yakın Doğusu Jips Karstı Hidrojeolojisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi Jeoloji Mühendisliği Seksiyonu*, 8, 77-92
- DSİ (2020). DSİ 2019 Yılı Faaliyet Raporu. DSİ, Ankara. (http://www.dsi.gov.tr/docs/stratejik_plan/dsi-2019-faaliyetraporu.pdf?sfvrsn=2). Erişim Tarihi: 14 Mayıs 2020.
- Ercan, B. & Yüce, M.İ. (2017). Trend Analysis of Hydro-Meteorological Variables of Kızılırmak Basin. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6 (ICOCEE 2017 Özel Sayı), 333-340.
- Gocic, M. & Trajkovic, S. (2013). Analysis of changes in meteorological variables using Mann Kendall and Sen's Slope estimator statistical tests in Serbia. *Global and Planetary Change*, 100, 172-182. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.10.014>
- Jahangir, M.H. & Yarahmadi, Y. (2020). Hydrological drought analyzing and monitoring by using Streamflow Drought Index (SDI) (case study: Lorestan, Iran). *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 110. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-5059-8>
- Kaçaroglu, F., Değirmenci, M. & Cerit, O. (1997). Karstification in Miocene gypsum: an example from Sivas, Turkey. *Environmental Geology*, 30(1-2), 88-97. <https://doi.org/10.1007/s002540050136>
- Kendall, M.G. (1975). Rank Correlation Methods. Griffin, 160p, London, UK
- Kimaru, A.N., Gathanya, J.M. & Cheruiyot, C.K. (2019). The temporal variability of rainfall and streamflow into Lake Nakuru, Kenya, assessed using SWAT and hydrometeorological indices. *Hydrology*, 6(4), 88. <https://doi.org/10.3390/hydrology6040088>
- Koç, H., Doğru, D. & Han, E. (2018). Yukarı Kızılırmak Havzası'nda ırmak sularının tarımda sulama amaçlı kullanım özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. *Türk Coğrafya Dergisi*, 70, 57-70. <https://doi.org/10.17211/tcd.321037>
- Malik, A., Kumar, A. & Singh, R.P. (2019). Application of heuristic approaches for prediction of hydrological drought using multi-scalar streamflow drought index. *Water Resources Management*, 33, 3985-4006. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02350-4>

- Mann, H.B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13, 245-259. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- Nalbantis, I. & Tsakiris, G. (2009). Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23(5), 881–897. <https://doi.org/10.1007/s11269-008-9305-1>.
- Nyikadzino, B., Chitakira, M. & Muchuru, S. (2020). Rainfall and runoff trend analysis in the Limpopo river basin using the Mann Kendall statistic. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 117, 102870. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2020.102870>
- Sağdıç, M. & Koç, H. (2012). Yukarı Kızılırmak Havzası'nın İklimi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 58, 1-20.
- Selçuk, S.F., Cebeci, M.S., Cerit, O., Selçuk, B.Ç. & Karagözoğlu, M.B. (2022). Sivas ilinin iklim değişikliği projeksiyonları. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(3), 522-533. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1091466>
- Selçuk, S.F. (2023). Yukarı Kızılırmak Havzasında iklim değişikliği ve arazi kullanımı/örtüsü değişimi etkilerinin SWAT ile modellenmesi. Doktora Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye.
- Sen, B., Topcu, S., Türkeş, M., Sen, B. & Warner, J.F. (2012). Projecting climate change, drought conditions and crop productivity in Turkey. *Climate Research*, 52, 175-191. <https://doi.org/10.3354/cr01074>
- Sen, P.K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American statistical association*, 63(324), 1379-1389.
- Tan, G., Ayugi, B., Ngoma, H. & Ongoma, V. (2020). Projections of future meteorological drought events under representative concentration pathways (RCPs) of CMIP5 over Kenya, East Africa. *Atmospheric research*, 246, 105112. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105112>
- Tareke, K.A. & Awoke, A.G. (2022). Hydrological drought analysis using Streamflow Drought Index (SDI) in Ethiopia. *Advances in Meteorology*, 2022, 7067951. <https://doi.org/10.1155/2022/7067951>
- Tigkas D., Vangelis H. & Tsakiris G. (2015). DrinC: a software for drought analysis based on drought indices. *Earth Science Informatics*, 8(3):697-709. <https://doi.org/10.1007/s12145-014-0178-y>
- Türkeş, M. (2014). Türkiye'deki 2013-2014 Kuraklığının ve Klimatolojik/Meteorolojik Nedenlerinin Çözümlemesi. *Konya Toprak Su Dergisi*, 2, 20-34.

Araştırma Makalesi / Research Article

Elektrik Dağıtım İşlerinde Bulanık Mantık Yöntemiyle Risk Değerlendirmesi

Muharrem BİLGİN^{1*}, İbrahim SEFA²

¹ Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması ABD, Ankara, TÜRKİYE

² Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara, TÜRKİYE
mbilgen007@gmail.com, isefa@gazi.edu.tr

Received/Geliş Tarihi: 25.03.2025

Accepted/Kabul Tarihi: 03.06.2025

Özet: Bu çalışma, elektrik dağıtım işlerinde iş sağlığı ve güvenliği açısından tespit edilen risklerin bulanık mantık yöntemiyle analiz edilmesini amaçlamaktadır. Elektrik dağıtım sektörü, çok tehlikeli sınıfta yer alan bir sektör olup, yapılan çalışmada 1994-2019 yılları arasında 18.549 iş kazası meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu kazaların 666'sı ölümlü, 1.826'sı ağır yaralanmalı, 14.903'ü hafif yaralanmalı ve 1.154'ü maddi hasarlı olarak kaydedilmiştir. Kazaların büyük bir kısmının elektrik çarpması, elektrik arkı ve yüksekte düşme neticesinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Çalışmada, elektrik dağıtım işlerinde tespit edilen 152 adet risk analiz edilmiştir. Bu risklerin, risk skorlarının hesaplanması için MATLAB® bulanık mantık araç kutusu kullanılarak bir model geliştirilmiştir. Modelde, giriş değişkenleri olarak olasılık, frekans ve şiddet kullanılarak, bulanık mantık tip 2 yöntemiyle risk skorları hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama neticesinde; 23 risk çok yüksek, 31 risk yüksek, 31 risk önemli, 55 risk olası ve 12 risk düşük olarak sınıflandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bulanık mantık tip 2, Elektrik dağıtım işleri, Risk değerlendirmesi

Risk Assessment with Fuzzy Logic Method in Electricity Distribution Works

Abstract: This study aims to analyze the risks identified in electricity distribution works in terms of occupational health and safety using the fuzzy logic method. The electricity distribution sector is classified as a highly dangerous sector, and the study determined that 18,549 occupational accidents occurred between 1994 and 2019. Among these accidents, 666 were fatal, 1,826 resulted in serious injuries, 14,903 resulted in minor injuries, and 1,154 caused property damage. It was identified that the majority of these accidents occurred due to electric shock, electric arc, and falls from height. In this study, 152 identified risks in electricity distribution works were analyzed. A model was developed using the MATLAB® fuzzy logic toolbox to calculate the risk scores of these risks. In the model, risk scores were calculated using the type 2 fuzzy logic method by utilizing likelihood, frequency, and severity as input variables. As a result of the calculations, 23 risks were classified as very high, 31 as high, 31 as significant, 55 as probable, and 12 as low.

Keywords: Electricity distribution works, Fuzzy logic type 2, Risk assessment

1. Giriş

Çalışma hayatında, iş kazası ve meslek hastalıklarını önlemek iş sağlığı ve güvenliği yönetiminin sorumluluğunda olup bu konuda yönetim; “tehlikeleri tanımlamak, her tehlike için riskin boyutunu saptamak, riskin kabul edilebilir olup olmadığına karar vermek ve riski kontrol altına almak” olmak üzere 3 temel görev düşmektedir (Özkılıç, 2005).

Tehlikeye neden olan faktörleri belirlemek, tanımlamak ve elemine etmek için öncelikle tehlikenin ne olduğunu bilmek gerekir. Tehlike, “büyük zarar veya yok olmaya yol açabilecek durum” şeklinde tanımlanabilmektedir. Daha geniş manada, kötü sonuca yol açabilecek durum olarak da tanımlanabilir (Ceylan ve Başhelvacı, 2011). Buradaki kötü sonuç insanlarda yaralanma veya hastalığa neden olan; sistemlerde maddi kayıplara yol açan, çevrenin çeşitli zararlara uğramasına neden olabilen gerçek veya potansiyel durum olarak tanımlanabilir (Ceylan ve Başhelvacı, 2011; Ericson, 2005).

Risk, genel olarak bir olayın olma ihtimali ile bu olay olduğunda ortaya çıkacak olumlu veya olumsuz durumların bileşkesi olarak tanımlanır. Riskin iki bileşeni vardır: Olayın meydana gelme ihtimali (olasılık) ve olay meydana geldiğindeki etkisinin büyüklüğü. Bu nedenle risk olasılık ve etkinin bir fonksiyonu olacak şekilde tasarlanabilir (Stranks, 2006; Ingle vd., 2001).

Risk değerlendirme “risk yönetimi” işleminin önemli bir bileşenidir. Risk değerlendirme tüm operasyonlarda riskin büyüklüğünü tahmin etmek ve riskin kabul edilip edilemeyeceğine karar verme sürecidir. (Karakaş, 2006). Risk değerlendirmesinin amacı; riskleri tanımlayarak gerekli kontrol önlemlerinin alınması amacıyla risk yönetimi çalışmaları için bilgi sağlamaktır (Pokoradi, 2002; Foroutan ve Maleki, 2011).

Risk değerlendirme çalışmaları tamamlandıktan sonra tespit edilen risklerin kontrol altına alınmasıyla ilgili planlamalar yapılır. Burada öncelikle hangi riskin bertaraf edilmesi gerektiği ve bunun nasıl bir plan dâhilinde yapılacağı, kontrol uygulamalarının sonuçlarının nasıl değerlendirileceği konuları “risk yönetimi” olarak adlandırılır. Risk değerlendirilmesi teknik bir çalışma olmasına karşın risk yönetimi bir politika’dır (URL-1, 2025).

Yurttaş (2019), Çamlıbel Elektrik Dağıtım A.Ş.’nin Sivas tesislerinde, Hata Ağacı Analizi, Olay Ağacı Analizi ve Bow-Tie (Papyon) Analizi yöntemlerini kullanarak ve 12 olay üzerinde senaryolar oluşturularak risk değerlendirme çalışmaları yapmıştır. Üç yöntemin birlikte kullanılmasının daha ayrıntılı ve daha geniş risk değerlendirme çalışmalarına katkı sunacağından bahisle üç yöntemin birlikte kullanılmasının elektrik sektöründe iş kazalarını azaltacağı hususu vurgulanmıştır. Üç yöntemin birlikte kullanılarak yapılmış bir çalışma olmamasının yapılan araştırma için detaylı analizleri zorlaştırdığı çalışmanın kısıtı olarak belirtilmiştir.

Aydın (2021), Elektrik Dağıtım Sektöründe Fine Kinney metodu kullanarak risk değerlendirme çalışmaları yapmış ve sonucunda elektrik dağıtım sektöründeki çalışmalarda karşılaşılan farklı risk düzeyi seviyelerinde 224 adet risk tespit etmiştir. Tespit edilen risklerin, 9’u çok yüksek, 66’sı ciddi, 109’u önemli, 37’si düşük ve 3’ü kabul edilebilir risk olarak hesaplanmıştır. Geliştirilen düzenleyici önleyici faaliyetler sonrası ise tespit edilen risklerin önemli ölçüde düşük risk seviyesine indirildiği, kabul edilemez ve ciddi risk kategorisinde herhangi bir risk kalmadığı sonucu ortaya konulmuştur. Geliştirilen koruyucu, önleyici faaliyetlerin işletmeler için ilave maliyet getireceği bir kısıt olarak sunulmuştur.

Batra ve Ioannides (2011)’in Yunanistan Elektrik Enerji Sektöründe işçi ve yöneticilere anket uygulayarak, İş Güvenliği ve Yönetim sistemlerinin değerlendirmesinin yapıldığı çalışmada kazaların nedenselliği ortaya konulmuştur. Elektrik güç sistemlerinde meydana gelen kazaların dikkatsizlik, kişisel koruyucu donanımların kullanılmaması ve beklenmedik durumlardan kaynaklandığı belirtilmiştir. Yapılan çalışmada elektrik kazalarının detaylı analiz edilmesinin kazaların önlenmesinde daha iyi sonuçlar ortaya koyacağı belirtilmiştir. Ayrıca, İş Sağlığı ve Güvenliği Kurulu’nun sorumluluğunun sadece iş kazaları ve meslek hastalıkları ile ilgili konularda değil, çalışma koşullarını etkilediği ölçüde üretimle ilgili tüm konular olması gerektiği vurgulanmıştır. Ancak veri toplamak için kullanılan anketin tüm katılımcılar tarafından doldurulmaması bir eksiklik olarak vurgulanmıştır.

Marhavalas ve Koulouriotis (2012)’in Stokastik ve Deterministik süreçleri kullanarak Yunanistan Elektrik Şirketi (Üretim, İletim, Dağıtım) için yeni bir risk değerlendirme metodolojisi önerdikleri çalışmada; 17 yıllık kaza istatistikleri kullanılmıştır. Yapılan çalışmada iş kazalarının daha çok düşmeler, sıkışma, ezilme, sabit nesnelere çarpmalar ve çökmeler sonucu meydana geldiği belirtilmiştir. Ayrıca çalışmada tek bir metodolojinin kazaların önlenmesinde tek başına yeterli olmayacağı, farklı metodolojilerin paralel kullanılarak risk analizi çalışmalarının yapılması

gerekliliği ortaya konulmuştur. Bu nedenle risk önleme çalışmalarında kullanılmak üzere stokastik ve deterministik süreçlerin birlikte kullanıldığı hibrit bir model önerilmiştir. Yapılan analizlerde risk değerlendirme çalışmaları için önerilen modelin daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Yapılan çalışmanın sadece risk skorlarının belirlenmesi için yapıldığı, koruma önleme faaliyetlerine yönelik herhangi bir veri içermediği bunun için yeni çalışmalar yapılması gerektiği belirtilmektedir.

Bostancıoğlu ve Arslan Çakmak (2024)'ın TCDD Sivas Beton travers fabrikasında tespit edilen 109 adet iş sağlığı ve güvenliği riskini; L tipi matris, Fine-Kinney, Hata türleri ve etkileri analizi ile bulanık mantık yöntemleriyle analiz ederek kıyasladıkları çalışmada bulanık mantık yönteminin en iyi performansı gösteren risk değerlendirme yöntemi olduğu belirtilmiştir. Bulanık mantık ile risk değerlendirmesi çalışmalarında girdi ve çıktı üyelik fonksiyonlarının uzman görüşüyle seçilebilmesinin yöntemin verimliliği üzerine etkin bir faktör olduğu hususu vurgulanmıştır. Ancak çalışmada bir duyarlılık analizi yapılmamasının bulanık mantık yönteminin başarısı üzerine kesin bir yargıya varılmasını zorlaştırdığı hususu belirtilmiştir.

Ergün ve Kahraman (2023)'ın elektrik yapım işi sektöründe faaliyet gösteren bir firmada tespit edilen 915 risk üzerinde bulanık Fine-Kinney yöntemi ile klasik Fine-Kinney yöntemini kıyaslayarak yapmış oldukları çalışmada, klasik Fine-Kinney yönteminin ara değerleri tespit edememesi ve hassas sonuç üretememesi nedeniyle yetersiz kaldığı vurgulanmıştır. Bulanık Fine-Kinney yönteminin çıktılarına bakıldığında risklerin, klasik Fine-Kinney'e göre bir üst önem derecesinde çıkmış olduğu ve bunun iş sağlığı ve güvenliği önlemlerinin belirlenmesi açısından olması gereken bir durum olduğu belirtilmiştir. Ancak klasik yöntem göre bir üst önem derecesinde çıkan riskler için alınacak önlemlerin maliyeti arttıracığı konusu üzerinde durulmuştur.

Engin ve Canlar Durmaz (2023)'ın on blok on iki katlı ve yirmi ana faaliyeti olan inşaat şantiyelerinde bulanık risk analiz yöntemini kullanarak yapmış oldukları ve en önemli risklerin, çalışanın kazı çukuruna düşmesi, işçinin kalıp üzerinden düşmesi, kalıbın çökmesi, çalışanın iskeleden düşmesi, vinç devrilmesi, duvar çökmesi ve elektrik çarpması olduğu 198 adet risk tespit edilmiştir. Bulanık mantık yöntemiyle elde edilen risk skorlarının hata türleri ve etkileri analizi yöntemi ile kıyaslandığı çalışmada, bulanık mantık yönteminin daha doğru ve mantıklı sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Ancak çok kriterli bulanık mantık yöntemi kullanılmasının, inşaat sahalarında iş kazası ve meslek hastalıklarını önlemede daha etkili olabileceği belirtilmiştir.

Gada vd. (2024)'nin Hindistan'da halı dokuma işlerinde çalışan 200 işçiyle risk faktörlerini ölçerek bunların kas-iskelet sistemi bozuklukları üzerindeki etkilerine dair bulanık mantık yöntemiyle geliştirmiş oldukları ve sonuçlarını gerçek kas iskelet sistemi hastalık verileriyle kıyasladıkları çalışmalarında, bulanık mantık model sonucu ile gerçek kas iskelet sistemi hasar verileri arasında yüksek oranda bir korelasyon elde edildiği belirtilmiştir. Dolayısıyla bulanık mantık ile yapılan bu çalışmanın gerçek veriler olmadan da gerçeğe yakın çıktılar verdiği üzerinde durulmuştur. Ancak çalışmanın sadece Hindistan'da yapılmasının halı dokuma işi yapan diğer ülke çalışanlarına birebir uygulanmasının çalışma koşullarının farklılıklarından dolayı kesin sonuçlar ortaya koyamayacağı belirtilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, mevzuatımıza göre çok tehlikeli sınıfta yer alan elektrik dağıtım işlerindeki iş sağlığı ve güvenliği risklerinin tespit edilerek bulanık mantık tip 2 yöntemiyle risk skorlarının hesaplanmasıdır. Çalışmada, elektrik dağıtım sektöründe meydana gelen iş kazalarına ait 25 yıllık istatistikler analiz edilerek gerekli veri toplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda elektrik dağıtım işlerinde yapılan iş ve işlemlere ait 152 adet risk tespit edilmiştir. Tespit edilen risklerin, risk skorlarının hesaplanması amacıyla MATLAB® bulanık mantık araç kutusu yardımıyla 3 giriş ve 1 çıkıştan oluşan sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan sistemin MATLAB® 2023b bulanık mantık araç kutusu tip-2 versiyonunda çalıştırılmasıyla 152 riske ait risk skorları

hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama neticesinde elektrik dağıtım işlerinde, 12 risk düşük, 55 risk olası, 31 risk önemli, 31 risk yüksek ve 23 risk çok yüksek olarak tespit edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Veri Toplama ve Hazırlama

Çalışmada 1994 yılından 2019 yılına kadar Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. tarafından yayımlanan istatistik kitapçıkları incelenerek genel iş kazası istatistiklerinin derlemesi yapılmıştır. Yapılan çalışmada 25 yıl boyunca elektrik dağıtım işlerinde 18549 iş kazası meydana geldiği tespit edilmiştir. Meydana gelen iş kazalarının, 666'sı ölüm, 1826'sı ağır yaralanma, 14903'ü hafif yaralanma ve 1154'ü de maddi hasarla sonuçlanmıştır (TEDAŞ, 2019). Tablo 1'de, elektrik dağıtım işlerinde meydana gelen iş kazalarının kaza sonucuna göre dağılımı ve dağılım yüzdeleri gösterilmektedir.

Tablo 1. Elektrik dağıtım işlerinde meydana gelen iş kazaları (TEDAŞ, 2019)

İş Kazası Sonucu	Kaza Sayısı	Yüzde (%)
Ölüm	666	3,59
Ağır yaralanma	1826	9,84
Hafif yaralanma	14903	80,34
Maddi hasarlı	1154	6,22
Toplam	18549	~100,0

Tablo 1'de 25 yıl boyunca meydana gelen kazaların genel görünümü verilmiştir. Ancak elektrik dağıtım işlerinde etkili bir risk değerlendirmesi yapılabilmesini sağlamak amacıyla daha ayrıntılı ve özel verilere ihtiyaç duyulmaktadır.

Tablo 2: Elektrik dağıtım işlerinde meydana gelen iş kazalarının kaza sonucuna göre dağılımı (TEDAŞ, 2019)

Kaza nedeni	İş kazası
Elektrik çarpmaları	3083
Duvardan, merdivenden, ağaçtan veya uygun olmayan yükseltici platformdan düşme	1427
Yürürken düşme, ayak burkulması, kırılması vb. ile bayılmalar, çarpmalar	1077
Direkten düşmeler	1710
Direkle birlikte düşmeler	441
Elektrik arkları	3518
İşçinin üzerini malzeme düşmesi veya sıcak, asitli vb. sıvı dökülmesi	477
Kesikler, sıkışma, ezilme, cisim batması, zehirlenme vb.	2315
Hayvan saldırısı, ısırması, sokması vb.	1121
Müşteri saldırısı, darp vb.	843
Trafik kazaları	2400
Kalp krizi	25
Boğulma	5
Sepetli araçtan düşme	107
Toplam kaza sayısı	18549

Bu aşamada elektrik dağıtım işlerinde meydana gelen 18549 iş kazasının kaza raporları incelenerek kazaların daha detaylı analizleri yapılmış, kazaların hangi işi yaparken ve nasıl meydana geldiği detaylı olarak belirlenmiştir. Kazalara ilişkin detaylı veriler Tablo 2 ve 3'te gösterilmektedir.

Tablo 2 incelendiğinde en fazla iş kazasının elektrik arkları sonucu meydana geldiği, bunu elektrik çarpması, trafik, kesikler, sıkışma, ezilme, cisim batması, zehirlenme vb. kaynaklı iş kazalarının izlediği görülmektedir.

Tablo 3: Elektrik dağıtım işlerinde meydana gelen iş kazalarının kaza yerine göre dağılımı (TEDAŞ, 2019)

Kazanın olduğu yer	İş kazası sayısı
Alçak gerilim dağıtım hattı iş ve işlemleri	2140
Aydınlatma şebekesi iş ve işlemleri	1032
Alçak gerilim dağıtım panosu ve saha dağıtım kutusu çalışmaları	2150
Abone bağlantı hattı iş ve işlemleri	1616
Elektrik sayacı sökme, takma, okuma vb. iş ve işlemleri	2887
Alçak veya yüksek gerilim yer altı kablosu iş ve işlemleri	488
Yüksek gerilim hattı iş ve işlemleri	1323
Müşterek direkte yapılan çalışmalar	516
Direk üstü trafo iş ve işlemleri	371
Ayırıcı direğinde yapılan işler	340
Yüksek gerilim sigorta değişimi	117
Dağıtım merkezi, indirici merkez veya transformatör binalarında yapılan çalışmalar	839
Sepetli araçlarda yapılan çalışmalar	430
Elektrik şebekesi yapım ve bakım işleri	1634
Yükleme, boşaltma, montaj vb. mekanik işler ile atölyede yapılan işler	488
Ofislerde yapılan çalışmalar ile işe gidiş gelişler, araçlara binme ve inme sırasındaki iş kazaları	2178
Toplam kaza sayısı	18549

Tablo 3 incelendiğinde elektrik dağıtım işlerindeki kazaların en çok 'elektrik sayacı sökme, takma, okuma vb. iş ve işlemleri' sırasında meydana geldiği, bunu sırasıyla ofislerde yapılan çalışmalar, alçak gerilim dağıtım panosu ve saha dağıtım kutusu çalışmaları, alçak gerilim dağıtım hattında yapılan çalışmalar, elektrik şebekesi yapım ve bakım çalışmaları ile yüksek gerilim hattı iş ve işlemleri sırasındaki çalışmaların izlediği görülmektedir.

Çalışmamızın sonraki aşamalarında kaza şiddeti değişkeninin hesaplanabilmesi amacıyla ölümlü ve ağır yaralanmalı iş kazalarının kaza nedenine göre gruplandırılması yapılmıştır.

Tablo 4'ten de görüleceği üzere elektrik dağıtım işlerindeki ölümlü ve ağır yaralanmalı kazalar genellikle elektrik çarpması, elektrik arkları ve direktten düşmeler, direklerle birlikte düşmeler ve trafik kazaları sonucu meydana gelmiştir.

Tablo 4: Elektrik dağıtım işlerinde meydana gelen ölümlü ve ağır yaralanmalı iş kazası sayıları (TEDAŞ 2019)

Kaza nedeni	İş kazası sayısı
Elektrik çarpmaları	1205
Duvardan, merdivenden, ağaçtan veya uygun olmayan yükseltici platformdan düşme	48
Direkten düşmeler	286
Direkle birlikte düşmeler	101
Elektrik arkları	450
İşçinin üzerini malzeme düşmesi veya sıcak, asitli vb. sıvı dökülmesi	43
Kesikler, sıkışma, ezilme, cisim batması, zehirlenme vb.	22
Hayvan saldırısı, ısırması, sokması vb.	7
Müşteri saldırısı, darp vb.	14
Trafik kazaları	298
Kalp krizi	13
Boğulma	5
Toplam kaza sayısı	2492

2.2. Tehlike ve Risklerin Belirlenmesi

Tehlikelerin tanımlanmasıyla ortaya çıkabilecek kaza senaryolarının belirlenmesi de kolaylaşacaktır. Kaza senaryolarında insanın tehlikeli durumlar karşısında nasıl davranacağı, hangi etkilere maruz kalacağı belirlenmiştir. Bu durum risk analizi işlemlerinde öncelikle tehlikelerin belirlenmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır (Aras vd., 2011).

Çalışmamızda 1994-2019 yılları arasında meydana gelen iş kazalarının hangi iş ve işlemlerde ortaya çıktığının analiz edilmesiyle elektrik dağıtım işlerinde ne tür tehlike ve risklerin olduğu kendiliğinden ortaya çıkmıştır. Tehlikelerin tespit edilmesinin ardından sistemdeki riskler tespit edilmiştir. Belirlenen tehlikelerin ne tür riskler doğurabileceği 25 yıllık kaza raporları incelenerek belirlenmiştir. Yapılan çalışmada öncelikle tüm tehlike ve risklerin tespiti yapılmış ardından benzer olanlar birleştirilmiştir. Neticesinde elektrik dağıtım işlerine ait 33 benzersiz tehlike, 17 benzersiz risk tespit edilmiştir. Tespit edilen benzersiz tehlike ve riskler Tablo 5 ve Tablo 6'da gösterilmektedir.

Tablo 5: Elektrik dağıtım işlerindeki tehlikeler

Yüksekte yapılan çalışmalarda emniyet kemeri, tırmanma kancası kullanılmaması
Enerji kontrolü yapılmadan çalışmaya başlanması
Alçak gerilim şebeke ve tesislerinde enerji altında çalışılması
Ağaç direk sağlamlık kontrolü yapılmadan çalışılması
Çalışma bölgesinde kişisel koruyucu donanımlar olmadan bulunulması
İşe başlamadan önce çalışma alanında gerekli çevre kontrollerinin yapılmaması
Çalışma alanında gerekli güvenlik önlemlerinin alınmaması, çevre kontrolü yapılmaması
Çalışma alanında trafik güvenliği önlemlerinin alınmaması
İş yaparken veya işe geliş gidişlerde aceleci davranılması
Gerekli topraklama ve kısa devre işlemlerinin yapılmaması
Yüksek veya alçak gerilim sigortası yerine tel sarılması
Trafo veya ayırıcı direklerinde sigortaların bulunduğu bölümden direğe çıkılması
Adi ayırıcının yük altında açılması
Adi ayırıcı kontaklarının açıldığının gözle kontrol edilmemesi
Çalışma sırasında gerekli iş güvenliği malzemelerinin kullanılmaması
Enerji yakınında yapılan çalışmalarda emniyet mesafelerine dikkat edilmemesi
Çalışma alanının dağınık veya düzensiz olması, çalışma alanındaki aydınlatmasının yetersiz olması

Tablo 5'in devamı

Kullanılan ölçü ve test cihazlarının tesis tipine uygun olmaması
Transformatör rezerve tankının koklanması
Müşterek direklerde alçak gerilim hattında çalışma yapılırken yüksek gerilim hattının enerjisinin kesilmemesi
Alçak gerilim hatlarında bulunan aydınlatma şebekelerinde alçak gerilim hattının enerjisinin kesilmeden çalışılması
Tesis, teçhizat veya ölçü test cihazları bakımlarının zamanında yapılmaması
Çalışanların gerekli teknik eğitimleri almadan çalışması veya çalıştırılması
Çalışmalarda işe veya tesise uygun merdiven veya yükseltici platform kullanılmaması
Platformlu araçla yapılan çalışmalarda sepet içinde emniyet kemeri kullanılmaması
Sepetli araç periyodik bakımlarının zamanında yapılmaması
Uygun olmayan metotlarda malzeme taşınması veya yüklenmesi
Araçla işe gidiş gelişler sırasında trafik kurallarına uyulmaması
Çalışanların periyodik muayenelerinin zamanında ya da usulüne uygun yapılmaması
Müşteri iletişimde yaşanan aksaklıklar
Çalışma ofislerinin ergonomik olmaması
Ofis çevresinde başıboş sokak hayvanlarının bulunması
Çalışanlara gerekli iş güvenliği eğitimlerinin verilmemesi

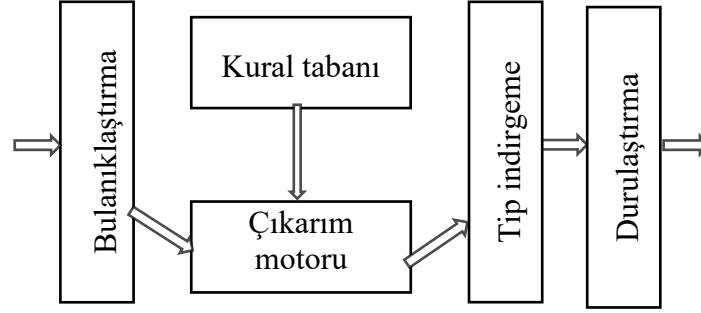
Tablo 6: Elektrik dağıtım işlerindeki riskler

Direkten düşme sonucu meydana ölüm veya yaralanmalar
Elektrik arkından kaynaklı yanıklar nedeniyle oluşan ölüm veya yaralanmalar
Elektriğe çarpılma sonucu meydana gelen ölüm veya yaralanmalar
Direkle birlikte düşmeler nedeniyle oluşan ölüm veya yaralanmalar
Kesme, sıkışma, ezilme, cisim batması neticesinde oluşan ölüm veya yaralanmalar
İşçinin üzerini malzeme düşmesi sonucu meydana gelen ölüm veya yaralanmalar
Hayvan saldırısı, ısırması, sokması vb. neticesinde meydana gelen yaralanmalar
Trafik kazaları sonucu ortaya çıkan ölüm veya yaralanmalar
Yürürken düşme, ayak burkulması, kırılması vb. sonucu oluşan vücut hasarları
Uygun olmayan seyyar yükseltici iş platformlarından düşme dolayısıyla oluşan ölüm veya yaralanmalar
Müşteri saldırısı nedeniyle oluşan ölüm veya yaralanmalar
Duvardan, ağaçtan veya merdivenden düşme sonucu meydana gelen ölüm veya yaralanmalar
Bina içerisinde düşme veya çarpma neticesinde oluşan ölüm veya yaralanmalar
Zehirlenme nedeniyle oluşan ölüm veya yaralanmalar
Sistemde kullanılan malzeme veya teçhizatın patlaması sonucu oluşan vücut hasarları
Sepetli aracın devrilmesi veya sepetin kontrolsüz şekilde düşmesi neticesinde oluşan ölüm veya yaralanmalar
Kalp krizinin neden olduğu ölüm veya diğer yaralanmalar

Elektrik dağıtım işlerindeki tehlike ve risklerin belirlenmesi sonrası konu alanı uzmanı araştırmacı tarafından ortaya çıkabilecek risklerin listesi hazırlanmıştır. Yapılan tüm bu işlemlerin neticesinde elektrik dağıtım işlerindeki ana faaliyet alanlarında 152 adet risk tespit edilmiştir.

2.3. MATLAB® Bulanık Mantık Araç Kutusu ile Sistemin Modellenmesi

Yapılan analizlerden yola çıkarak uygulama alanında tespit edilen 152 adet riskin, risk skorlarının hesaplanabilmesi amacıyla bulanık mantık tip-2 tabanlı bir sistem tasarlanmıştır. Şekil 1'de sistemin modellenmesi gösterilmektedir.



Şekil 1: Bulanık mantık tip-2 sistem modeli (Karaköse ve Makinist, 2013)

2.3.1. Girdi Değişkenlerinin Belirlenmesi

Girdi değişkenlerinin bulanıklaştırılması, üyelik fonksiyonları vasıtasıyla uygun bulanık kümelerin her birine ait olma derecelerini belirleyen çıkarım sistemindeki ilk adımdır (Duijne, 2008). Elektrik dağıtım işlerinde risk değerlendirmesi için önerilen bulanık çıkarım sisteminde girdi değişkenleri, olabilirlik, frekans ve şiddettir.

2.3.2. Olabilirlik Giriş Değişkeni ve Belirlenmesi

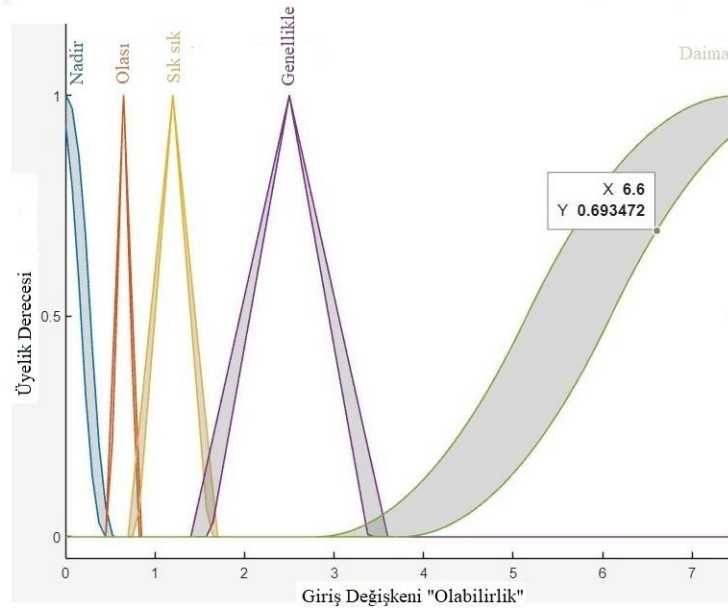
Bir senaryonun gerçekleşme ihtimalini değerlendirmek için öncelikle bir ürünün tehlikeli olma veya tehlikeli hale gelme olasılığının belirlenmesi gerekir (Güranlı, 2006). Kaza olabilirliği; gerçekleşecek, gerçekleşmesi muhtemel bir olayın olabilirlik derecesini incelemekte ve sayısal olarak açıklayabilmektedir (Høj ve Kröger, 2002). Olabilirliğin belirlenmesi amacıyla; geçmiş kayıtlardan, uygun basılmış literatürden, saha araştırmalarından, tecrübe ve prototiplerden, ortaya konulmuş diğer metotlardan ve uzman görüşlerinden yararlanılabilmektedir (IEC ISO 31010, 2019).

Çalışmamızda, ‘olabilirlik’ parametresinin hesaplanması amacıyla IEC/ISO 31010 standardında belirtilen beş kategori referans alınmıştır (Reliability Analysis Center, 1993). Olabilirlik değişkeni kazaların olma olasılığını ifade ettiği varsayımından hareketle 25 yıllık iş kazalarının çalışma alanlarına göre yüzdesel dağılımı hesaplanmıştır. Elde edilen yüzde dağılımına göre IEC 31010:2019-06 standardında belirtilen beş kategori referans alınarak Tablo 7’de belirtilen olabilirlik parametresi elde edilmiştir.

Tablo 7: Olabilirlik değişkeni üyelik dereceleri

Olabilirlik	Tanım	Açıklama
$\mu \leq 0,5$	Nadir	İstisnai durumlarda olabilir
$0,5 < \mu \leq 0,75$	Bazen	Bazı zaman belki olabilir
$0,75 < \mu \leq 1,5$	Sık Sık	Ara sıra olabilir
$1,5 < \mu < 3$	Genellikle	Çoğu zaman olma olasılığı var
$\mu \geq 3$	Daima	Her çalışmada olması muhtemel

Tablo 7’ye göre 5 kategoriye ayrılan ‘olabilirlik’ değişkeni için kazaların olma yüzdesine göre bulanık mantık dilsel değişken tanımlaması yapılmıştır. Kaza olma olasılığı; %0,5’ten düşük kazalar için ‘nadir’, %0,5 ile 0,75 arası kazalar için ‘bazen’, %0,75 ile %1,5 arası kazalar için ‘sık sık’, %1,5 ile %3 arası kazalar için ‘genellikle’, %3’ten büyük kazalar için ise ‘daima’ dilsel değişkenleri tanımlanmıştır. Tanımlanan dilsel değişkenlere göre MATLAB® bulanık mantık araç kutusu ile oluşturulan olabilirlik değişkenine ait üyelik dereceleri ekran çıktısı Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 2: Olabilirlik değişkeni üyelik dereceleri gösterimi

2.3.3. Frekans Değişkeni ve Belirlenmesi

Kazaların olabilirlik değerleri gelecek olasılık değerlerinin hesaplanmasında veya tahmin edilmesinde tek başına yeterli değildir. Bazı durumlarda meydana gelen kazaların hangi sıklıkta ortaya çıktığının belirlenmesi gelecek tahminlerinde yol gösterici olabilmektedir. Bu gibi durumlarda eldeki veriler yeterli ise geçmiş dönem istatistiklerinden faydalanılarak kazaların frekans değerleri hesaplanır (Güranlı ve Müngen, 2006).

Frekans değerleriyle ilgili farklı çalışmalarda farklı sayısal değerler kullanılsa da tanım olarak hemen hemen aynı ifadeler kullanılmıştır. Genel olarak belirlenen sayısal değerler eldeki istatistiklerden yararlanılarak uzman görüşüyle oluşturulmaktadır (Kinney ve Wiruth, 1976).

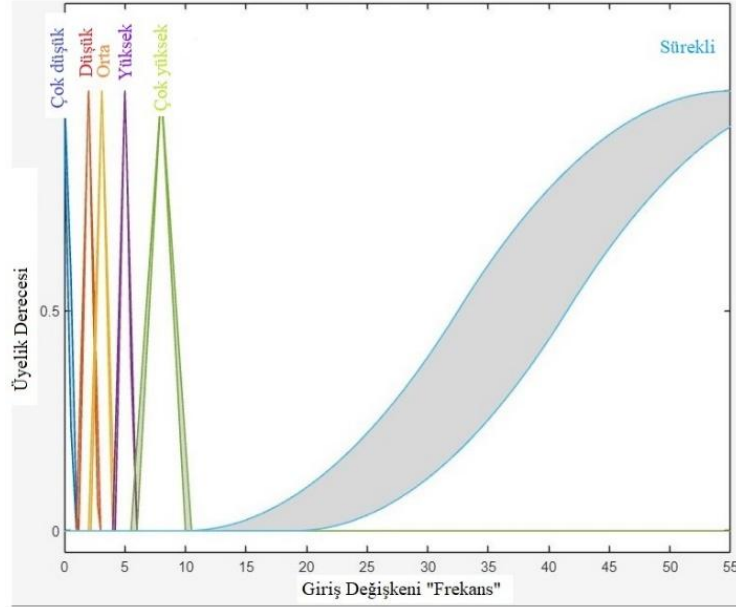
Çalışmamızda frekansın nümerik değerinin belirlenmesi amacıyla, MIL-STD-882 standartlarından türetilen ve 1976 yılında Kinney & Wiruth tarafından geliştirilen niceliksel bir risk değerlendirme yöntemi olan Fine Kinney risk değerlendirme metodu kullanılmıştır (Ulu ve Şahin, 2020).

Çalışmada 'frekans' değerinin hesaplanması amacıyla 25 yıllık iş kazası sayılarının yıllık ortalama dağılımları hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler doğrultusunda bulanık mantık risk analizinin frekans bileşenini tanımlayabilmek için Fine Kinney metodunda belirtilen altı kategori temel alınarak girdi değişkeni oluşturulmuştur.

Tablo 8: Frekans değişkeni üyelik dereceleri

Frekans	Tanım	Açıklama
$\mu \leq 1$	Çok düşük	Görülme sıklığı çok düşük
$1 < \mu \leq 2.5$	Düşük	Düşük sıklıkla görülebilir
$2.5 < \mu \leq 4$	Orta	Sık olmamakla birlikte gerçekleşmesi muhtemel
$4 < \mu \leq 6$	Yüksek	Yaşanması oldukça muhtemel
$6 < \mu < 10$	Çok Yüksek	Çalışmalarda görülmemesi hemen hemen imkânsız
$\mu \geq 10$	Sürekli	Tüm çalışmalarda ortaya çıkabilir

Tablo 8'e göre 6 kategoriye ayrılan frekans değişkeni için yılda ortalama; 1 defadan az meydana gelen kazalar için 'çok düşük', 1 ile 2,5 defa meydana gelen kazalar için 'düşük', 2,5 ile 4 defa meydana gelen kazalar için 'orta', 4 ile 6 defa meydana gelen kazalar için 'yüksek', 6 ile 10 defa meydana gelen kazalar için 'çok yüksek', 10 defadan çok meydana gelen kazalar için ise 'sürekli' dilsel değişkenleri tanımlanmıştır. Tanımlanan dilsel değişkenlere göre MATLAB® bulanık mantık araç kutusu ile oluşturulan frekans değişkenine ait üyelik dereceleri ekran çıktısı Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3: Frekans değişkeni üyelik dereceleri gösterimi

2.3.4. Şiddeti Değişkeni ve Belirlenmesi

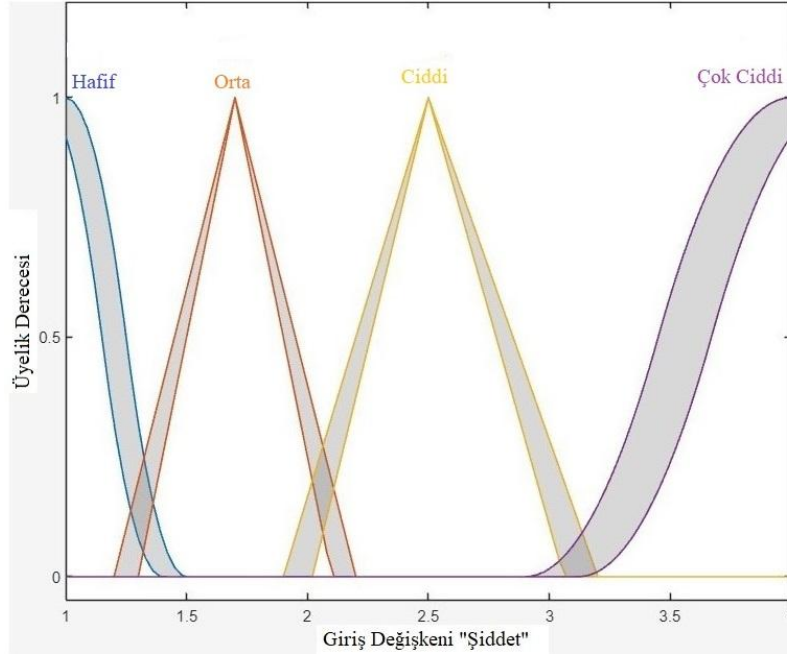
Bir tehlikenin çalışan üzerinde yol açabileceği yaralanmanın şiddeti farklı derecelerde olabilir. Şiddet, tehlikelerin kazaya dönüştüğünde nasıl etki göstereceğini belirlemektedir (European Commission, Guidelines for the management of the European Union Rapid Information System, 2018). Yaralanmaların veya sağlığa verilen zararın şiddet derecesi, iyileşebilir yaralanmalar, kalıcı vücut hasarları ve ölüm dikkate alınarak belirlenebilir (IEC ISO 31000:2018, 2018).

Çalışmamızda 'şiddet' girdi değişkeni üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi amacıyla; Avrupa Birliği 2001/95/EC direktifi doğrultusunda hazırlanan genel ürün güvenliği ve bildirim sistemi rehberinde risk değerlendirmesi şiddet bileşeni için önerilen 4 seviyesi baz alınmıştır (European Commission, Guidelines for the management of the European Union Rapid Information System, 2018). Şiddet değişkeni üyelik dereceleri Tablo 9'da gösterilmektedir.

Tablo 9: Şiddet değişkeni üyelik dereceleri

Şiddet	Tanım	Açıklama
$\mu \leq 1$	Hafif	Maddi hasarla sonuçlanan kazalardır
$1 < \mu \leq 2$	Orta	İyileşebilir küçük kesikler, morluklar, birinci derece yanıklar.
$2 < \mu \leq 3$	Ciddi	Kalıcı kas iskelet sistemi hasarları, körlük, işitme kaybı, üçüncü derece yanıklar.
$3 < \mu \leq 4$	Çok ciddi	Uzuv kayıplı veya ölümle sonuçlanan kazalar

Tablo 9'a göre 4 kategoriye ayrılan şiddet değişkeni için; çalışanın vücut bütünlüğüne zarar vermeden sadece sistemde yer alan malzeme, teçhizat veya araç, gereçlerin zarar gördüğü kazalar için 'hafif', ayakta tedavi edilebilen veya 20 günden daha az iş göremezlikle sonuçlanan kazalar için 'orta', 20 gün ve üzeri iş göremezlikle sonuçlanan kazalar için 'ciddi', uzuv kayıplı veya ölümlü kazalar için ise 'çok ciddi' dilsel değişkenleri tanımlanmıştır. Tanımlanan dilsel değişkenlere göre MATLAB® bulanık mantık araç kutusu ile oluşturulan şiddet değişkenine ait üyelik dereceleri ekran çıktısı Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4: Şiddet değişkeninin MATLAB® üyelik fonksiyonu gösterimi

2.3.5. Risk Düzeyi Çıktı Değişkeni ve Belirlenmesi

Risk analizi; riskin ele alınması gerekip gerekmediğine, nasıl ele alınacağına, en uygun risk önleme stratejisi ve yöntemlerine ilişkin kararlara girdi sağlar. Sonuçlar, seçeneklerin farklı tür ve düzeylerde risk içerdiği kararlar hakkında bilgi sağlar (Sii vd., 2001).

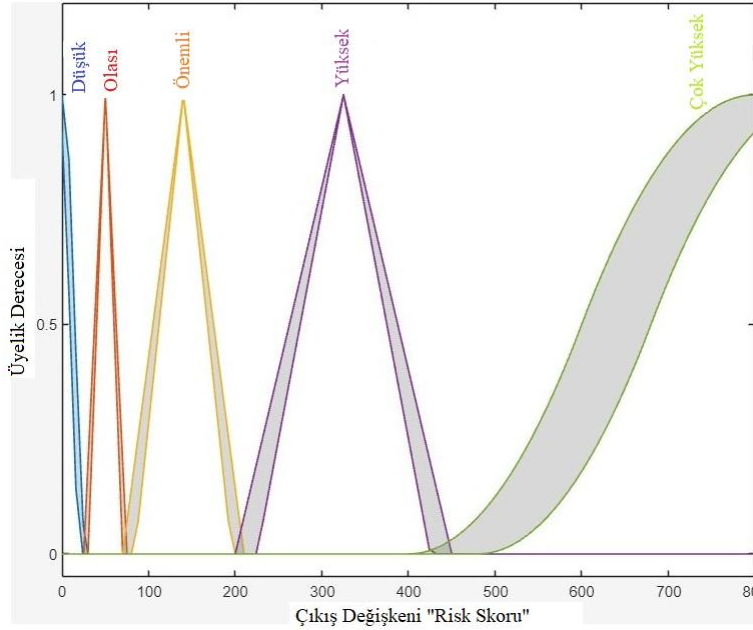
Risk değerlendirme çalışmalarında kullanılan risk düzeyini belirlemek için genel olarak dört veya beş farklı sözel ifade kullanılmaktadır. Bunlar çok yüksek, yüksek, olası, düşük ve kabul edilebilir risk şeklinde tanımlanabilirler (Kinney ve Wiruth, 1976). Bu değişkenler aynı zamanda iş güvenliği çalışmalarının etkinliğini değerlendirmek amacıyla da kullanılabilirler. Burada çok yüksek risk zayıf iş güvenliği, düşük risk ise iyi iş güvenliğinin göstergesi olarak da değerlendirilebilmektedir (Tadic vd., 2012).

Tablo 10: Risk skoru üyelik dereceleri

Risk skoru	Tanım	Açıklama
≥ 400	Çok yüksek	Çalışmanın durdurulması düşünülmeli
$200 < \mu < 400$	Yüksek	Acil düzeltme gerekli
$70 < \mu \leq 200$	Önemli	Düzeltilme gerekli
$20 < \mu \leq 70$	Olası	Dikkat edilmeli
≤ 20	Düşük	Kabul edilebilir risk

Risk düzeyini niceliksel olarak tanımlamak için üç faktörü dikkate almamız gerekir. Bunlar; sonuçların ciddiyeti, tehliken ortaya çıkma olasılığı ve tehlike kaynağına maruz kalma sıklığıdır (Aras vd., 2011). Çalışmamızda, Fine Kinney metodunda yer alan 5 kategori temel alınarak Tablo 10'da belirtilen risk düzeyi üyelik dereceleri belirlenmiştir (Kokangül vd., 2017).

Tablo 10'a göre 5 kategoriye ayrılan 'risk skoru'nun 20 ve altında olduğu durumlar için 'düşük', 20 ile 70 arasında olduğu durumlar için 'olası', 70 ile 200 arası olduğu durumlar için 'önemli', 200 ile 400 arasında olduğu hallerde 'yüksek', 400 ve üzeri durumlar için 'çok yüksek' dilsel değişkenleri tanımlanmıştır. Tanımlanan dilsel değişkenlere göre MATLAB® bulanık mantık araç kutusu ile oluşturulan risk skoru değişkenine ait üyelik dereceleri ekran çıktısı şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5: Risk skoru değişkeninin MATLAB® üyelik fonksiyonu gösterimi

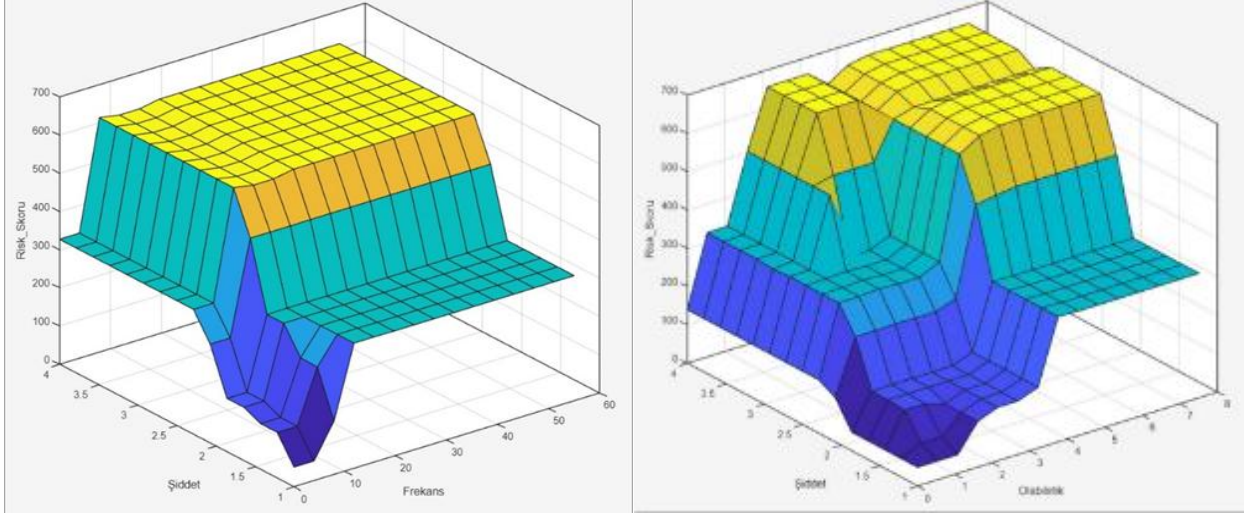
2.3.6. Bulanık Mantık Kural Tabanının Tanımlanması

Bulanık sistemleri tanımlayan dilsel bulanık kurallar 'eğer-ise' arasındaki öncül blok ile onu takip eden sonuç bloğu olmak üzere iki kısımdan oluşur (Sii vd., 2001). Bu araştırmada öncül bloklar olabilirlik, frekans ve şiddet değişkenleri için dilsel değerlerden oluşmakta olup her bir değişkenin risk skoruna olan etkisini belirleyen; hafif, orta, ciddi, çok ciddi; çok düşük, düşük, yüksek, çok yüksek, sürekli; nadir, bazen, sık sık, genellikle, daima değerlerini içermektedir. Sonuç bloğu ise, risk düzeyi için düşük, olası, önemli, yüksek ve çok yüksek dilsel tanımlamalarını içerir. Çıkış bloğundaki risk skorunu belirlemek için giriş ve çıkış blokları arasındaki bağıntıyı gösteren 120 adet kural tanımlanmıştır. Tablo 11'de kural tablosuna ait rastgele seçilmiş 7 örnek gösterilmektedir.

Tablo 11: MATLAB® bulanık mantık kural tabanı için rastgele seçilmiş 7 örnek

Risk No	Olabilirlik	Frekans	Şiddet	Risk Düzeyi
1:	Nadir	Çok düşük	Hafif	Düşük
7:	Nadir	Çok düşük	Çok ciddi	Olası
37:	Olası	Çok düşük	Ciddi	Olası
44:	Olası	Orta	Çok ciddi	Önemli
65:	Sık sık	Çok yüksek	Hafif	Olası
79:	Genellikle	Düşük	Çok ciddi	Yüksek
101:	Daima	Yüksek	Çok ciddi	Çok yüksek

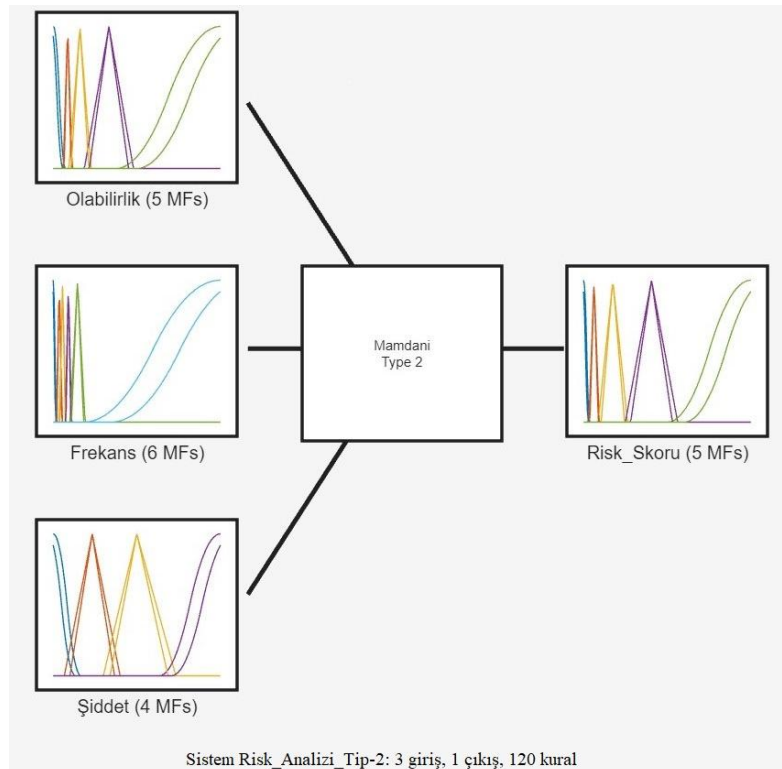
Yukarıdaki tabloda bazı örnekleri verilen MATLAB® bulanık mantık araç kutusu ile oluşturulan 120 kurala ait kural tablosunun, şiddet, olabilirlik ve frekans arasındaki bağıntıyı gösteren yüzey görselleri şekil 6 (a) ve (b)'de gösterilmektedir.



Şekil 6: Oluşturulan kural tablosunun MATLAB® yüzey görünümü (a) Şiddet – Frekans yüzey görünümü, (b) Şiddet – Olabilirlik yüzey görünümü

2.3.7. Sistemin Çalıştırılması ve Durulaştırma

Elektrik dağıtım işlerinde yapılan işlerin Risk düzeylerinin hesaplanması amacıyla MATLAB® bulanık mantık araç kutusu ile tasarlanan, 3 giriş 1 çıkış ve 120 kuraldan oluşan Mamdani tipi bulanık mantık sistemi şekil 7'de görülmektedir. Çalışmamızda tanımlanan kuralların sonuçlarının birleştirilmesi için, hızlı ve basit bir operatör olan max-min bulanık çıkarım mekanizması kullanılmıştır. Elde edilen çıktıların durulaştırılması için ise en yaygın yöntem olan ağırlık merkezi (centroid) yöntemi kullanılmıştır (Hagras, 2007).



Şekil 7: Tasarlanan sistemin MATLAB® gösterimi

3. Bulgular

Yapılan çalışmada öncelikle elektrik dağıtım işlerinde meydana gelen iş kazalarının genel istatistikleri çıkarılmıştır. 1994-2019 yılları arasında 666'sı ölümlü, 1826'sı ağır yaralanmalı, 14903'ü hafif yaralanmalı ve 1154'ü maddi hasarlı olmak üzere 18549 iş kazası meydana gelmiştir.

Yapılan analizlerde; kaza oluş şekli bakımından, iş kazalarının yoğun olarak elektrik arkı (3518 kaza), elektrik çarpması (3083 kaza) ve direktten düşmeler (1710 kaza) sonucu meydana geldiği tespit edilmiştir.

Kaza oluş şekli bakımından ölümlü ve ağır yaralanmalı iş kazaları incelendiğinde, iş kazalarının daha çok elektrik çarpması (1205 kaza), elektrik arkı (450 kaza) ve direktten düşmeler (387 kaza) neticesinde meydana geldiği görülmüştür.

Meydana gelen iş kazalarının kaza oluş yeri göz önüne alınarak incelemesi yapıldığında ise, en fazla iş kazasının abone sayaç bağlantısı iş ve işlemleri (2887 kaza), alçak gerilim dağıtım panosu ile saha dağıtım kutusu iş ve işlemleri (2150 kaza), alçak gerilim hattı iş ve işlemleri (2140 kaza) sırasında meydana geldiği görülmüştür.

Alçak gerilim hattında meydana gelen kazaların büyük bölümünü elektrik çarpması ve düşmeler oluştururken (1192 kaza), abone sayaç bağlantısı, saha dağıtım kutusu ve alçak gerilim dağıtım panosunda yaşanan kazaların büyük bölümünü elektrik arkları ve elektrik çarpmaları (1588 kaza) oluşturmaktadır.

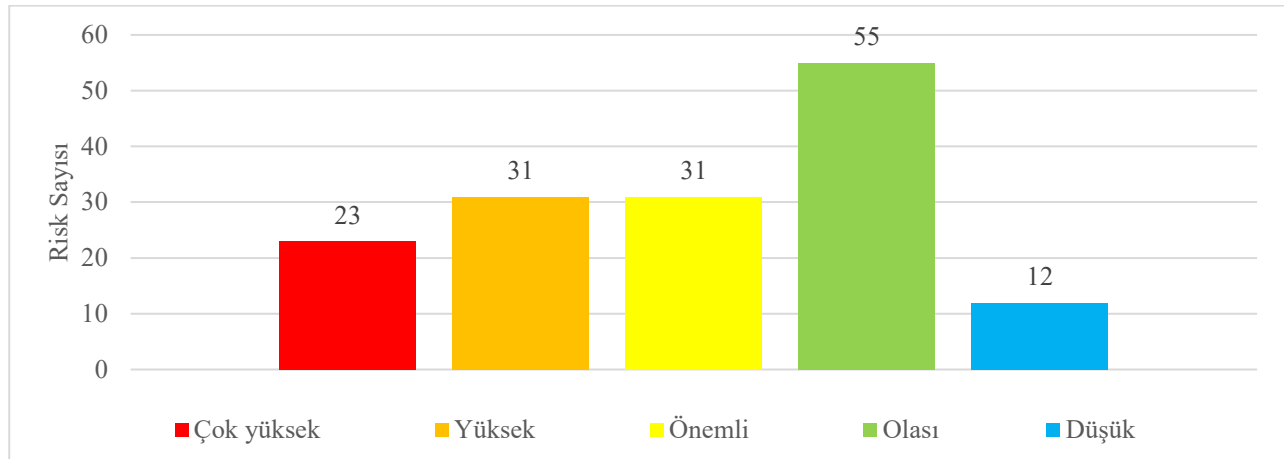
Ölümlü ve ağır yaralanmalı iş kazaların daha çok yüksek gerilim hattı iş ve işlemleri (518 kaza), alçak gerilim hattı iş ve işlemleri (431 kaza), dağıtım merkezi, kök binası, indirici merkez, trafo binasında yapılan çalışmalar (133 kaza) sırasında ortaya çıktığı tespit edilmiştir.

Karayollarında yapılan çalışmalar veya işe gidiş gelişler sırasında yaşanan 64'ü ölümlü, 234'ü ağır yaralanmalı olmak üzere 2400 trafik kazası meydana geldiği ortaya çıkarılmıştır.

Tespit edilen risklerin risk değerlendirme çalışmalarında kullanılabilmesi için risk skorlarının belirlenmesi gerekmektedir. Çalışmada, risk skorlarının hesaplanması için, düşük, yüksek, orta, az, çok gibi dilsel ifadelerin matematiksel modeller olmadan sisteme tanımlanabileceği, bulanık mantık yöntemiyle yapılmıştır.

Bu aşamada önceki bölümlerde bahsedilen MATLAB® bulanık mantık araç kutusu yardımıyla tasarlanan sistemin MATLAB® 2023b versiyonunda çalıştırılmasıyla daha önce tanımlanmış olduğumuz 152 adet riske ait risk düzeyleri, MATLAB® bulanık mantık araç kutusu tip 2 yöntemine göre sistem tarafından hesaplanmıştır. Bulanık mantık araç kutusu çıkarım mekanizmasında, basit ve hızlı bir metot olan bulanık mantık tip 1 yerine belirsizliğin yüksek olduğu sistemlerde üyelik fonksiyonlarının daha iyi tanımlanabildiği (Hagras, 2007) bulanık mantık tip 2 yöntemi tercih edilmiştir.

Hesaplama sonucunda tespit edilen risklerin, 23'ü çok yüksek, 31'yüksek, 31'i önemli, 55'i olası ve 12'si de düşük çıkmıştır. Tespit edilen risklere ait dağılımlar şekil 8'de sunulan grafiklerde gösterilmektedir.



Şekil 8: Elektrik dağıtım işlerinde tespit edilen risklerin dağılımları

Sistemin MATLAB® 2023b versiyonunda çalıştırılmasıyla; en düşük risk düzeyinin 19,35, en yüksek risk düzeyinin ise 658,15 olduğu sistem tarafından hesaplanmıştır. Sistemde var olan risklerin tehlike kaynaklarına göre gruplandığı bazı örnekleri Tablo 12’de sunulmaktadır.

Tablo 12: Elektrik dağıtım işlerinde tespit edilen risklere ait risk düzeyi örnekleri tablosu

Tehlike	Risk	Olabilirlik	Frekans	Şiddet	Risk Skoru
Alçak gerilim dağıtım hattı iş ve işlemleri					
Yüksekte yapılan çalışmalarda emniyet kemeri, tırmanma kancası kullanılmaması	Direkten düşme sonucu meydana ölüm veya yaralanmalar	2,84	21,04	4	634,58
Gerekli topraklama ve kısa devre işlemlerinin yapılmaması, enerji kontrolü yapılmadan çalışılması	Elektrik arkından kaynaklı yanıklar nedeniyle oluşan ölüm veya yaralanmalar	1,17	8,68	3	325,14
İşe başlamadan önce çalışma alanında gerekli çevre kontrollerinin yapılmaması	Hayvan saldırısı, ısırması, sokması vb. neticesinde meydana gelen yaralanmalar	0,205	1,52	2	19,35
Yüksek gerilim hattı iş ve işlemleri					
Yüksekte yapılan çalışmalarda emniyet kemeri, tırmanma kancası kullanılmaması	Direkten düşme sonucu meydana ölüm veya yaralanmalar	1,17	8,68	4	325,04
Gerekli topraklama ve kısa devre işlemlerinin yapılmaması, enerji kontrolü yapılmadan çalışılması	Elektriğe çarpılma sonucu meydana gelen ölüm veya yaralanmalar	2,776	20,06	4	629,67
Dağıtım merkezi, indirici merkez, transformatör binalarında yapılan çalışmalar					
Açık tip hücrede ayırıcının yük altında açılması	Elektrik arkından kaynaklı yanıklar nedeniyle oluşan ölüm veya yaralanmalar	2,1	17,2	4	604,00
Çalışma alanının dağınık, düzensiz olması, aydınlatmasının yetersiz olması	Bina içerisinde düşme veya çarpma neticesinde oluşan ölüm veya yaralanmalar	0,5	3,68	2	47,93
Müşterek direkli şebeke iş ve işlemleri					
Alçak gerilim hattında çalışma yapılırken yüksek gerilim hattının enerjisinin kesilmemesi	Elektriğe çarpılma sonucu meydana gelen ölüm veya yaralanmalar	1,09	8,08	4	325,03
Aydınlatma şebekesi iş ve işlemleri					
Alçak gerilim hattıyla aynı şebeke üzerinde bulunan aydınlatma şebekelerinde alçak gerilim hattının enerjisinin kesilmeden çalışılması	Elektriğe çarpılma sonucu meydana gelen ölüm veya yaralanmalar	1,62	12	3	504,00

Tablo 12'nin devamı

Abone bağlantı hattı iş ve işlemleri					
Yüksekte yapılan çalışmalarda emniyet kemeri kullanılmaması	Direkten düşme sonucu meydana ölüm veya yaralanmalar	1,4	10,36	3	328,00
Çalışma sahasında gerekli iş güvenliği tedbirlerinin alınmaması	Müşteri saldırısı nedeniyle oluşan ölüm veya yaralanmalar	2,19	16,24	2	260,00
Alçak gerilim dağıtım panosu ve saha dağıtım kutusunda yapılan çalışmalar					
Enerji kesilmeden veya enerji kontrolü yapılmadan çalışması	Elektrik arkından kaynaklı yanıklar nedeniyle oluşan ölüm veya yaralanmalar	6,92	51,36	3	658,15
Sepetli araç ile çalışmalar					
Sepetli araç periyodik bakımlarının zamanın yapılmaması	Sepetli aracın devrilmesi veya sepetin kontrolsüz düşmesi neticesinde oluşan ölüm veya yaralanmalar	0,27	2,31	3	49,26
Yer altı kablosu çalışmaları					
Çalışma sırasında gerekli iş güvenliği malzemelerinin kullanılmaması	Kesme, sıkışma, ezilme, cisim batması neticesinde oluşan ölüm veya yaralanmalar	0,67	4,96	2	82,93
Elektrikle şebekesi yapım ve bakım çalışmaları					
Çalışma bölgesinde kişisel koruyucu donanımlar olmadan bulunma	İşçinin üzerini malzeme düşmesi sonucu meydana gelen ölüm veya yaralanmalar	0,7	5,2	2	82,93
Yükleme, boşaltma, montaj vb. işler ile atölyede yapılan işler					
Uygun olmayan metotlarda malzeme taşıma veya yükleme işlerini yapma	İşçinin üzerini malzeme düşmesi sonucu meydana gelen ölüm veya yaralanmalar	0,77	5,68	2	154,00
Ofis çalışmaları, işe gidiş gelişler sırasında yaşanan kazalar					
Araçla işe gidiş gelişler sırasında trafik kurallarına uymama	Trafik kazaları sonucu ortaya çıkan ölüm veya yaralanmalar	7,35	54,56	1	325,03
Yürüyerek işe gidiş gelişlerde dikkatsiz veya acele hareket edilmesi	Yürürken düşme, ayak burkulması, kırılması vb. sonucu oluşan vücut hasarları	1,89	14	2	260,00

4. Sonuç ve Öneriler

Elektrik dağıtım işlerinde tespit edilen 152 adet riske ait Tablo 12'de bazı örnekleri verilen risk skorları incelendiğinde, benzer risklerin farklı tehlike kaynaklarında farklı değerler aldığı görülmektedir. Bunun sebebi daha önceki bölümlerde belirlemiş olduğumuz olabilirlik, frekans ve şiddet giriş değişkenlerinin farklı olmasıdır.

Tablo incelendiğinde dikkate değer görülen bir diğer husus da elektrik çarpması veya ark yanıkları ile sonuçlanan kazaların risk skorlarının çok yüksek olduğudur. Bu durum risk yönetimi profesyonellerinin iş güvenliği tedbirlerini belirlerken veya çalışanları eğitirken göz önüne alması gereken bir durumdur.

Ayrıca tablonun detaylı incelemesi yapıldığında, klasik risk analizi yöntemleriyle hesaplandığında çok düşük çıkabilecek risk düzeylerinin bulanık mantık metodolojisiyle hesaplandığında yüksek veya çok yüksek çıkabildiği görülmektedir. Bu durum giriş değişkenlerini dilsel tanımlamanın ve bulanık mantık eğer-ise kural tabanının risk değerlendirme süreçlerinde araştırmacılara sağlamış olduğu bir avantaj olarak değerlendirilmektedir. Oturakçı ve Dağsuyu (2017)'nin, "bir yapı merkezi inşaatında belirlenen tehlikelere, Klasik ve Bulanık Fine - Kinney metotları uygulayarak karşılaştırdıkları" çalışmada, "Bulanık Fine - Kinney Yönteminin Klasik yöntemle göre sonuçlara hassasiyet kazandırdığı" ortaya konulmuştur (Oturakçı ve Dağsuyu, 2017). Ak (2017)'in, bulanık mantık ve yapay sinir ağlarını

birlikte kullanarak etkili bir metot sunmayı amaçladığı çalışmasında, nöro bulanık mantığın risk değerlendirme çalışmalarında daha iyi sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur (Ak, 2017).

Risk düzeyi çıktı sonuçlarının analizinde üzerinde durulması gereken başka bir husus da şiddet değeri 2 gibi düşük olan bazı risklerin risk düzeylerinin yüksek çıktığıdır. Bu durumun nedeni risk bileşenlerinin klasik risk değerlendirme yöntemlerindeki gibi matematiksel değil bulanık mantığın bulanık kural tabanlı olarak tanımlanmasıdır. Pinto vd. (2011) tarafından geleneksel yöntemlerin yetersizliğinden hareketle inşaat sektörüne ait bulanık tabanlı bir risk değerlendirme metodolojisi önerilmiştir. Çalışmada, insan merkezli problemlerin çözümünde bulanık kümeler metodunun daha esnek çıkarımlar yapılmasına olanak sağlayan bir metot olduğu belirtilmiştir (Pinto vd., 2011).

Yapılan çalışmada tespit edilen 152 riskten, 85 riskin önemli, yüksek ve çok yüksek sınıfında yer alması, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığınca yayımlanan, İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliğine göre ‘çok tehlikeli’ sınıfta yer alan ‘elektrik dağıtım işleri’ için, ne denli doğru bir tanımlama yapıldığının adeta kanıtı gibidir.

Yapılan çalışmada ortaya konulan bir diğer gerçekte, elektrik dağıtım işlerinde sadece elektrik çarpmasıyla sonuçlanan kazalar değil elektrik arkları sonucu ortaya çıkan kazalarda ciddi güvenlik sorunudur. Çünkü çalışmanın sonuçları incelendiğinde en yüksek risk, 658,15 risk düzeyi değerine sahip ‘alçak gerilim dağıtım panosu ve saha dağıtım kutusunda enerji kesilmeden veya enerji kontrolü yapılmadan çalışılması’ sonucu oluşan ‘elektrik arkından kaynaklı yanıklar nedeniyle oluşan ölüm veya yaralanmalara’ aittir.

Çalışmanın gösterdiği ve üzerinde durulması gereken bir diğer sonuçta alçak gerilim dahi olsa elektrik çarpmasıyla sonuçlanan kazaların mutlaka dikkate alınması gerektiğidir. Çünkü alçak gerilimde yapılan işlerde elektrik çarpmasıyla sonuçlanan kazaların risk düzeyleri çok yüksek sınıftadır.

Elektrik dağıtım işlerindeki risklerin tespit edilerek risk skorlarının belirlendiği bu çalışmanın, sektördeki iş kazalarının önlenmesine katkı sunacağı düşüncesiyle elde edilen sonuçların Uyarlanabilir Nöro-Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ile optimize edilerek daha da geliştirilebileceği düşünülmektedir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Kaynaklar

Ak, M. F. (2017). İş Sağlığı ve Güvenliğinde Sinirsel Bulanık Mantık Yaklaşımı Kullanılarak Risk Değerlendirmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

Aras, A. S. M., Azis, A. F., Ali, F. A. & Abdul Hamid, F. (2011). Performances Evaluation and Comparison of Two Algorithms for Fuzzy Logic Rice Cooking System, *IEEE Conference on Open Systems (ICOS2011)*, 25-28 Eylül 2011, Langkawi, Malaysia.

Aydın, O. (2021). Elektrik Dağıtım Sektöründe Risk Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye.

Batra, P. E. & Ioannides, M. G. (2001). Assessment of the Occupational Safety and Management System in the Greek Electric Power Industry, *International Congress on Humanising Work and Work Environment – HWWE*, 11-14 Aralık 2001, Bombay, India.

- Bostancıoğlu, M. & Arslan Çakmak, E. (2024). Use of fuzzy logic method to create risk hierarchy: concrete sleeper factory example, *Journal of Engineering Faculty*, 2(2), 35-50.
- Ceylan, H., Başhelvacı, V.S., (2011). Risk Değerlendirme Tablosu Yöntemi ile Risk Analizi: Bir Uygulama, *International Journal of Engineering Research and Development*, 3(2), 25-33.
- Duijne, F., Aken, D. & Schouten, E. G. (2008). Considerations in developing complete and quantified methods for risk assessment”, *Safety Science*, 46, 245–254.
- Engin, O. & Canlar Durmaz, R. (2023). An Occupational Safety Fuzzy Risk Analysis: An Application in a Building Construction Sites, *Celal Bayar University Journal of Science*, 19(2), 159-165.
- Ergün, U. & Kahraman, F. (2023). Elektrik Yapım İş Sektöründe Bulanık Fine-Kinney Metodu ile Risklerin Önceliklendirilmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 38(1), 281-292.
- Ericson, C.A. (2005). Hazard Analysis Techniques for System Safety, A John Wiley & Sons, Inc., ABD.
- European Commission, (2018). *Guidelines for the management of the European Union Rapid Information System 'RAPEX' established under Article 12 of Directive 2001/95/EC on general product safety and its notification system*. Brussels, Belgium.
- Foroutan, F. & Maleki, J. (2011). Risk Assessment for Urban Area Using Fuzzy Logic, *Uluslararası Afet Yönetimi için Coğrafi Bilgi Sistemleri Konferansı*, 31 Ekim – 4 Kasım 2011, Antalya, Türkiye
- Gada, H., Parvez, S. & Ahmad, B. (2024). Fuzzy Logic Modelling of Risk Variables Influencing Musculoskeletal Disorders in Carpet Industry: A Cross-Sectional Study, *Journal of Chiropractic Medicine*, 23(3), 83-92.
- Gürcanlı, G. E. & Müngen, U. (2006). Bulanık kümeler ile inşaatlarda yeni bir iş güvenliği risk analizi yöntemi, *İtüdergisi/d*, 5(4), 83-94.
- Gürcanlı, G. E. (2006). İnşaat Şantiyelerinde Bulanık Kümeler Yardımıyla İş Güvenliği Risk Analizi Yöntemi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Hagras, H. (2007). Type-2 FLCs: A New Generation of Fuzzy Controllers. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 2, 30-43.
- Høj, N. P. & Kröger, W. (2002). Risk analyses of transportation on road and railway from a European Perspective, *Safety Science*, 40, 337–357.
- IEC ISO 31010:2019-06(en-fr), *Risk management – Risk assessment techniques*, 2019.
- IEC ISO 31000:2018, *Risk management — Guidelines*, 2018.
- Ingle, M., Atique, M. & Dahad, S.O. (2001). Risk Analysis Using Fuzzy Logic, *International Journal of Advanced Engineering Technology*, c2(3), 96-99.
- Karakaş, İ. (2006). İş Kazası & Meslek Hastalıkları İhtilafları ve Çözüm Yolları, Yaklaşım Yayıncılık San. ve Tic. AŞ, Ankara, Türkiye.

- Karaköse, M. & Makinist, S. (2013). Image Processing Based Defuzzification Method for Type-2 Fuzzy Systems, *9th Asian Control Conference (ASCC)*, 23-26 Haziran 2013, İstanbul, Türkiye.
- Kinney, G. F. & Wiruth, A. D., (1976). Practical Risk Analysis for Safety Management, *Naval Weapons Center China Lake California*, California, ABD.
- Kokangül, A. & Polat, U., Dağsuyu, C. (2017). A new approximation for risk assessment using the AHP and Fine Kinney methodologies, *Safety Science*, 91, 24–32.
- Marhavidas, P. K. & Koulouriotis, D. E. (2012). Developing a new alternative risk assessment framework in the work sites by including a stochastic and a deterministic process: A case study for the Greek Public Electric Power Provider, *Safety Science*, 50, 448–462.
- Oturakçı, M. & Dağsuyu, C. (2017). Risk Değerlendirmesinde Bulanık Fine-Kinney Yöntemi ve Uygulaması, *Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 1(1), 17-25.
- Özkılıç, Ö. (2005). İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri, Ajäns-Türk Basın ve Basım A.Ş., Ankara, Türkiye.
- Pinto, A., Nunes, I.L. & Ribeiro, R. A. (2011). Occupational risk assessment in construction industry – Overview and reflection, *Safety Science*, 49, 616-624.
- Pokoradi, L. (2002). Fuzzy Logic Based Risk Assessment, *Academic Affairs And Research Management System*, 1(1), 63-73.
- Reliability Analysis Center New York US, (1999). *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA)*, New York, ABD.
- Stranks, J. (2006) The Health & Safety Handbook, Kogan Page Limited., İngiltere.
- Sii, H. S., Ruxton, T. & Wang, J. (2001). A fuzzy-logic approach to qualitative safety modelling for marine systems, *Reliability Engineering & system Safety*, 73, 19-34.
- Tadic, D., Djapan, M., Misita, M., Stefanovic, M. & Milanovic, D. D. (2012). A Fuzzy Model for Assessing Risk of Occupational Safety in the Processing, *Industry, International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 18(2), 115-126.
- Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi (TEDAŞ), (2019). TEDAŞ 2019 Yılı İş Kazaları İstatistikleri, Ankara, Türkiye.
- Ulu, M. & Şahin, H. (2020). Risk Assessment in an Engineering Faculty with Error Type and Effects Analysis Technique, *Elec Lett Sci Eng*, 16(2), 63-76.
- URL – 1, (2025). <https://www.ilo.org/ankara/areas-of-work/osh/lang--tr/index.htm>, 21 Mart 2025.
- Yurttaş, K. (2019). Bir Elektrik Dağıtım İşletmesinde Risk Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye.

Araştırma Makalesi / Research Article

Sibirya Çamı Odununda Renklendirme Amaçlı Pancar ile Narçiçeği Ekstraktlarının ve Arap Zamkının Kullanılması Üzerine Bir Çalışma

Hüseyin PEKER¹, Göksel ULAY², Ümit AYATA^{3*}, Abdi ATILGAN⁴

¹ Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Artvin, Türkiye

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojileri Bölümü, Van, Türkiye

³ Bayburt Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Bayburt, Türkiye

⁴ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksekokulu, İç Mekan Tasarımı Programı, Afyon/Türkiye
peker100@artvin.edu.tr, gokselulay@gmail.com, umitayata@yandex.com, atilgan03@aku.edu.tr

Received/Geliş Tarihi: 24.04.2025

Accepted/Kabul Tarihi: 19.06.2025

Özet: Bu çalışmada, Sibirya çamı (*Pinus sibirica*) odununun renklendirilmesinde pancar ve narçiçeği ekstraktlarının yanı sıra Arap zamkı kullanılarak yapılan deneylerin etkisi incelenmiştir. Çözeltilerin farklı [Çözelti 1: Arap zamkı uygulanmış deney örneği, Çözelti 2: narçiçeği ekstraktı uygulanmış deney örneği, Çözelti 3: narçiçeği ekstraktı uygulaması sonrasında Arap zamkı uygulanmış deney örneği, Çözelti 4: narçiçeği ekstraktı + Arap zamkı karışımı uygulanmış deney örneği, Çözelti 5: pancar ekstraktı uygulanmış deney örneği, Çözelti 6: pancar ekstraktı uygulaması sonrasında Arap zamkı uygulanmış deney örneği ve Çözelti 7: pancar ekstraktı + Arap zamkı karışımı uygulanmış deney örneği] kombinasyonlarıyla uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara göre bütün çözeltilerle yapılan uygulamalarda, L^* ve h^o parametreleri azalırken, C^* ve a^* parametrelerinde artışlar görülmüştür. ΔE^* değerleri çözelti 1 için 8.21, çözelti 2 için 9.59, çözelti 3 için 12.81, çözelti 4 için 8.69, çözelti 5 için 7.23, çözelti 6 için 9.92 ve çözelti 7 için 8.62 olarak elde edilmiştir. Sonuçlar, pancar ve narçiçeği ekstraktları ile Arap zamkının, Sibirya çamı odununun estetik özelliklerini değiştirmek ve renklendirme uygulamalarında etkili bir alternatif olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Arap zamkı, Doğal boyar madde, Narçiçeği, Pancar, Renk, Sibirya çamı

A Study on the Use of Beetroot and Pomegranate Flower Extracts along with Gum Arabic for Coloring Siberian Pine Wood

Abstract: This study investigates the effect of using beetroot and pomegranate flower extracts, as well as Arabic gum, for the coloring of Siberian pine (*Pinus sibirica*) wood. The experiments were conducted using different solution combinations: solution 1: application of Arabic gum, solution 2: application of pomegranate flower extract, solution 3: pomegranate flower extract followed by Arabic gum application, solution 4: a combination of pomegranate flower extract and Arabic gum, solution 5: application of beetroot extract, solution 6: beetroot extract followed by Arabic gum application, and solution 7: a combination of beetroot extract and Arabic gum. According to the results, all treatments with the solutions resulted in a decrease in L^* and h^o parameters, while increases were observed in C^* and a^* parameters. The ΔE^* values were 8.21 for solution 1, 9.59 for solution 2, 12.81 for solution 3, 8.69 for solution 4, 7.23 for solution 5, 9.92 for solution 6, and 8.62 for solution 7. The results indicate that beetroot and hibiscus extracts, together with gum arabic, can be used to modify the aesthetic properties of Siberian pine wood and serve as an effective alternative for coloring applications.

Keywords: Beet, Color, Gum arabic, Natural dye, Pomegranate flower, Siberian pine

1. Giriş

Doğal renklendiriciler; bitkiler, böcekler ve mineraller gibi doğal kaynaklardan elde edilen boya ve pigmentleri kapsamaktadır. Doğal renklendiricilerle boyama, insanlık tarihindeki en eski tekniklerden biri olarak antik medeniyetlerde yaygın şekilde uygulanmıştır (Prabhu ve Bhute, 2012).

Tarihsel olarak, bitkiler doğal boyaların çoğunun çıkarılması için kullanılmıştır. Kök, yaprak, gövde, öz odun, çiçek, meyve ve kabuk gibi bitki parçaları doğal boya kaynağı olarak kullanılmaktadır (Saxena ve Raja, 2014).

Pancar ve narçiçeği gibi doğal bitkiler, içeriklerinde bulunan pigmentler sayesinde tarihsel olarak boyar madde elde etme amacıyla kullanılmıştır. Pancar ve narçiçeği ekstraktları, özellikle ahşap, tekstil ve diğer yüzeylerde doğal renk verme işlemleri için değerli kaynaklar olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, Arap zamkı gibi doğal bağlayıcı maddelerle birleştirildiğinde, bu boyar maddeler daha kalıcı ve etkili bir şekilde yüzeylere uygulanabilmektedir.

Dünyanın en eski gıdalarından biri olan nar, ilk olarak günümüz İran'ını kapsayan bölgeden geldiği görülmektedir. Yabani çeşitler, biyoçeşitliliği zengin Kopet dağ sırasından türetilmiştir. Neolitik Devrim'le birlikte, yaklaşık M.Ö. 10.000 yıllarında nar, insanlar tarafından tarıma alınarak evcilleştirilmiştir. İnsanların tercihleri doğrultusunda yapılan uzun süreli seçim sonucunda, yabani türlerde bulunmayan tat, aroma ve meyve büyüklüğü gibi özellikler zamanla narın kültür formlarında ortaya çıkmıştır. Narın ilk arkeolojik izleri, M.Ö. üçüncü binyılın başında ortaya çıkmış olup, Orta Doğu'daki Jericho, Arad ve Nimrud sitelerinde yapılan kazılarda karbonlaşmış nar çekirdekleri bulunmuştur. Nar (*Punica granatum*) dışında, *Punica* cinsinde başka bir tür daha bulunmaktadır. Nadir bulunan nar, yaygın narın türediği bir öncü tür olarak kabul edilmektedir. Bu türün doğal yayılımı, Yemen açıklarındaki Socotra Adası ile sınırlıdır. Ancak, *P. protopunica* genellikle oldukça acı olduğundan yenmemektedir. *Punica*, aynı botanik familyadan olan *Myrtle*, *Lythraceae* ile ilişkili olmaktadır (Zohary vd., 2012; Stone, 2017).

Son zamanlarda, taze meyve ve doğal meyve suyu tüketimi, sadece besin değeri değil, aynı zamanda tedavi edici etkisi nedeniyle de geniş ölçüde artmıştır. Nar, taze meyve olarak, içeceklerde, gıda ürünlerinde ve bitkisel ilaçlar ile diyet takviyelerinde botanik bileşen olarak kullanılan ekstraktlarda yaygın olarak tüketilmektedir. Diyet açısından narın fitokimyasal maddelerinin ana kaynağı, meyvenin kabuğu, çekirdekleri ve suyudur (Elfalleh vd., 2011; Mekni vd., 2013).

Nar, Eski Mısır'da yetiştirilmiş ve erken dönemlerde Yunanistan, İtalya ve Irak'ta da yetiştirilmiştir. Daha sonra, Türkmenistan, Afganistan, İran, Hindistan, Çin gibi Asya ülkelerine, Kuzey Afrika'ya ve Akdeniz Avrupa'sına yayılmıştır (Melgarejo ve Martínez, 1992; Singh vd., 2010).

Narçiçeği (*Punica granatum* L.), yaprak döken bir çalı veya küçük ağacı olan nar ailesine ait kurutulmuş taç yaprakları, geleneksel Çin tıbbında ve Uygur tıbbında yaygın bir ilaçtır. Geleneksel Çin tıbbında narçiçeği, ağırlıklı olarak kanama ve iltihaplanma için kullanılır. Uygur tıbbında ise genellikle bulantı, katarakt ve sinir zayıflığını tedavi etmek için kullanılır (Bhaskar ve Kumar, 2012; Yu vd., 2017; Zhang vd., 2019; Li vd., 2020). Bu meyve bitkisinin yüksek (44°C) ve düşük (-12°C) sıcaklıklara karşı gösterdiği eşik limitler, onun benzersiz plastikliğini ortaya koymaktadır (Westwood, 1978; Jalikop, 2010).

Günümüzde gıda ürünlerine meyve ve sebzelerin doğal renklerine yakın bir renk vermek amacıyla, bazı durumlarda insan sağlığı açısından risk taşıyan ve kanserojen potansiyeli bulunan sentetik boyalar kullanılmaktadır. Bu nedenle, kırmızı pancar suyundan gıda sınıfı boyar madde üretme teknolojisinin geliştirilmesi oldukça önemli bir görevdir (Scotter, 2015; Gras vd., 2017; Sheiko vd., 2019).

Pancar, yaygın olarak bilinen adıyla kırmızı pancar, etli kökü ve genç yaprakları için yıllık olarak yetişen iki yıllık bir bitkidir. *Magnoliophyta* sınıfı ve *Mangnoliopsida* sınıfına ait bir üyedir. *Chenopodiaceae* familyasına ait olan pancar, onuncu en güçlü sebzeler arasında yer almaktadır. Bu bitki, genellikle ılıman iklimlerde yetişen bienal veya çok yıllık bir bitkidir. Pancar bitkisi, üç ana bölümden oluşmaktadır: kazık kök, saplar ve yapraklar (Chhikara vd., 2019; Sooch vd., 2024).

Pancarın (*Beta vulgaris* L.) yenilebilmekte olan kısmı, ortalama 1-2 m yüksekliğe sahip olan köküdür; ana kök uzun, sivri ve tıknazdır; yan kökler yoğun bir doku oluşturmaktadır. Kökler genellikle küre veya silindir şeklindedir ve pancar çeşidine bağlı olarak kırmızı-mor/altın sarısı/kırmızı-beyaz renktedir. Pancar yaprakları hipokotil tacından kaynaklanmaktadır ve büyüklük, şekil ve renk bakımından çeşitlidir. Tohumlara çok tohumlu tohumlar denir çünkü bir tohum birden fazla fideye yol açabilmektedir. Tohumun mantar benzeri dış yüzeyi fenolik bileşikler içermektedir ve fiziksel bariyer olarak çimlenmeyi engellemektedir. Saplar yatay, dik ve çok dallıdır. Çiçek beş taç yapraklı çok küçüktür (Kezi ve Sumathy, 2014; Chhikara vd., 2019).

Gum arabic, diğer adıyla Arap zamkı, *Acacia* cinsine ait ağaçlardan özellikle *Acacia senegal* ve *Acacia seyal* elde edilmektedir. Ana gum arabic üreticisi ülkeler arasında Sudan, Nijerya, Çad ve Senegal bulunmaktadır. Sudan, dünyanın en büyük gum arabic üreticisi olarak kabul edilmektedir. Gum arabic, polisakkarit bitki salgıları arasında en eski ve en iyi bilinenidir. Antik Mısırlılar tarafından resimlerinde mineral pigmentler için bir yapıştırıcı olarak ve mumyaları sarmak için keten örtüler yapmak amacıyla kullanılmıştır (Caius ve Radha, 1939; Idris ve Haddad, 2012). Arap zamkının ana içeriği Arap asidi maddesidir ve bu madde parçalandığında arabinoz vermektedir. Bu nedenle Arap zamkına Arap asidi denmektedir ve sakız çözeltisi hafif asidik olup, pH değeri 4.66'dır (Karamalla, 1999; Mariod, 2018).

Bu çalışmada, pancar ve narçiçeği ekstraktlarının bağlayıcı olarak Arap zamkı ile Sibirya çamı (*Pinus sibirica*) odunu üzerinde renk değişimi sağlama potansiyeli araştırılmıştır. Doğal boyar maddelerin ahşap yüzeylere uygulanabilirliğini incelemek, hem çevre dostu üretim süreçlerinin geliştirilmesine katkı sağlamak hem de sentetik boyalara alternatif oluşturabilecek sürdürülebilir çözümler ortaya koymak açısından önemlidir. Özellikle açık renkli yapısıyla renklendirme uygulamalarına uygun bir tür olan Sibirya çamı, bu çalışmada değerlendirilmiş ve doğal ekstraktların bu tür üzerindeki etkisi renk parametreleri üzerinden incelenmiştir. Bu kapsamda elde edilen veriler, doğal boyaların ve bağlayıcıların ahşap malzemelerdeki renk performansına dair yeni bir bakış açısı sunmayı amaçlamaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

2.1.1. Ahşap Malzeme

Çalışmada deneysel malzeme olarak Sibirya çamı (*Pinus sibirica*) odunu tercih edilmiştir. Deney örnekleri, belirlenen yüzey işlemlerine tabi tutulmadan önce görsel olarak kusursuz (çatlak, budak vb. içermeyen) malzemeler arasından seçilmiştir. Odun örnekleri 100 mm x 100 mm x 20 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Örnekler üzerinde iklimlendirme işlemleri gerçekleştirilmiştir (ISO 554, 1976). Çalışmada kullanılan Arap zamkı, nar çiçeği ve pancar bitkisi yerel bir aktardan temin edilmiştir. Her grup başına 10'ar örnek kullanılmıştır.

2.2. Metot

2.2.1. Uygulamanın Yapılması

Deneysel tasarım aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur:

Kontrol Grubu: Herhangi bir uygulama yapılmamış örnekler.

Çözeltili 1: Arap zımkı (20 g olarak öğütölmüş Arap zımkı ve 100 mL saf su 20 dakika süre ile kaynatma) uygulanan örnekler.

Çözeltili 2: Narçiceği ekstraktı (10 g ve 100 mL saf su 20 dakika süre ile kaynatma) uygulanan örnekler.

Çözeltili 3: Narçiceği ekstraktı uygulandıktan sonra Arap zımkı uygulanan örnekler.

Çözeltili 4: Narçiceği ekstraktı (10 g) ve Arap zımkı karışımı (20 g olarak öğütölmüş Arap zımkı ve 100 mL saf su 20 dakika süre ile kaynatma) uygulanan örnekler.

Çözeltili 5: Pancar ekstraktı (10 g ve 100 mL saf su 20 dakika süre ile kaynatma) uygulanan örnekler

Çözeltili 6: Pancar ekstraktı uygulandıktan sonra Arap zımkı uygulanan örnekler.

Çözeltili 7: Pancar ekstraktı ve Arap zımkı karışımı uygulanan örnekler.

Uygulama Yöntemi: Kimyasal çözeltiler fırça ile odun yüzeylerine homojen bir şekilde uygulanmıştır. Uygulama sonrasında örnekler kurutulmuştur. Kuruma süresi tamamlandıktan sonra, her bir örnekte renk parametreleri ölçölmüştür.

2.2.2. Renk Özelliklerinin Belirlenmesi

Çalışmada farklı kimyasal çözeltiler Sibirya çamı yüzeylerine uygulanmış ve renk parametreleri ölçölmüştür. Uygulama öncesi ve sonralarına ait yüzeyler üzerinde yapılan renk değışimleri CS-10 cihazında (ASTM D 2244-3, 2007) belirlenmiştir. ΔC^* : kroma kısmı veya doygunluk farkı ve ΔH^* : ton bölümü veya gölge farkı olarak tanımlanmıştır (Lange, 1999). Aşağıdaki formüller ile toplam renk farklılıklarına ait sonuçları hesaplanmıştır.

$$\Delta H^* = [(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2]^{0.5} \quad (1)$$

$$\Delta a^* = (a^*_{\text{çözeltili uygulanmış}} - a^*_{\text{çözeltili uygulanmamış}}) \quad (2)$$

$$\Delta L^* = (L^*_{\text{çözeltili uygulanmış}} - L^*_{\text{çözeltili uygulanmamış}}) \quad (3)$$

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0.5} \quad (4)$$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{0.5} \quad (5)$$

$$\Delta C^* = (C^*_{\text{çözeltili uygulanmış}} - C^*_{\text{çözeltili uygulanmamış}}) \quad (6)$$

$$h^{\circ} = \arctan(b^*/a^*) \quad (7)$$

$$\Delta b^* = (b^*_{\text{çözeltili uygulanmış}} - b^*_{\text{çözeltili uygulanmamış}}) \quad (8)$$

ΔL^* , Δa^* , Δb^* ve ΔC^* değerlerine ait tanımlamalar (Lange, 1999) Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. ΔL^* , Δa^* , Δb^* ve ΔC^* değerlerine ait tanımlamalar (Lange, 1999)

Parametre	Pozitif durumda	Negatif durumda
ΔC^*	Referansa göre, daha net ve daha parlak	Mat, referansa göre daha bulanık
Δa^*	Referansa göre daha kırmızı	Referansa göre daha yeşil
Δb^*	Referansa göre daha sarı	Referansa göre daha mavi
ΔL^*	Referansa göre daha açık	Referansa göre daha koyu

ΔE^* kıyaslama kriterleri (DIN 5033, 1979) Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. ΔE^* için kriterler (DIN 5033, 1979)

ΔE^* değeri	Görsel fark	ΔE^* değeri	Görsel fark
<0.20	Algılanamaz	3.00 ila 6.00	Çok belirgin
0.20 ila 0.50	Çok zayıf	6.00 ila 12.00	Güçlü
0.50 ila 1.50	Zayıf	> 12.00	Çok güçlü
1.50 ila 3.00	Belirgin		

2.3. İstatistiksel Analiz

Bir istatistik programı ile en düşük ve en yüksek ölçümlere ait veriler, varyans analizleri, ortalamalar, standart sapma, % değişim oranları ve homojenlik grupları hesaplanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Varyans analizi sonuçları Tablo 3’de gösterilmiştir. Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre, kullanılan çözeltiler, L^* , a^* , b^* , C^* ve h° parametreleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip oldukları, her bir parametrede çözelti türüne bağlı olarak renk parametrelerinin değiştiği bulunmuştur ($p \leq 0.05$) (Tablo 3).

Tablo 3. Varyans analizi sonuçları (*: anlamlı)

Test	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	$p \leq 0.05$
L^*	Çözelti Türü	480.568	7	68.653	167.306	0.000*
	Hata	29.545	72	0.410		
	Toplam	321136.011	80			
	Düzeltilmiş Toplam	510.112	79			
a^*	Çözelti Türü	466.807	7	66.687	857.078	0.000*
	Hata	5.602	72	0.078		
	Toplam	19345.856	80			
	Düzeltilmiş Toplam	472.409	79			
b^*	Çözelti Türü	464.763	7	66.395	360.413	0.000*
	Hata	13.264	72	0.184		
	Toplam	48630.908	80			
	Düzeltilmiş Toplam	478.026	79			
C^*	Çözelti Türü	422.448	7	60.350	370.344	0.000*
	Hata	11.733	72	0.163		
	Toplam	67996.356	80			
	Düzeltilmiş Toplam	434.181	79			
h°	Çözelti Türü	2040.995	7	291.571	717.512	0.000*
	Hata	29.258	72	0.406		
	Toplam	270539.887	80			
	Düzeltilmiş Toplam	2070.253	79			

a^* : Kırmızı renk tonu değerini ifade etmektedir. b^* : Sarı renk tonu değerini ifade etmektedir.
 C^* : Kroma değerini ifade etmektedir. h° : Ton açısı değerini ifade etmektedir. L^* : Işıklılık değerini ifade etmektedir.

Toplam renk farklılıklarına ait sonuçları Tablo 4’de ve bu sonuçlara ait grafiksel gösterimi Şekil 1’de verilmiştir.

ΔE^* değerleri çözelti 1 için 8.21, çözelti 2 için 9.59, çözelti 3 için 12.81, çözelti 4 için 8.69, çözelti 5 için 7.23, çözelti 6 için 9.92 ve çözelti 7 için 8.62 olarak tespit edilmiştir. Bütün çözeltiler üzerinde ΔL^* değerleri negatif (referansa göre daha koyu) olarak elde edilirken, Δa^* ve ΔC^* değerleri (sırası ile referansa göre daha kırmızı ve referansa göre, daha net ve daha parlak) pozitif olarak elde edilmiştir. Δb^* değerleri ise çözelti 2, çözelti 4, çözelti 5 ve çözelti 7 ile negatif (referansa göre daha mavi) olarak bulunurken, çözelti 1, çözelti 3 ve çözelti 6 ile pozitif (referansa göre daha sarı) olarak belirlenmiştir. ΔH^* değerleri çözelti 1 için 2.03, çözelti 2 için 7.24, çözelti 3 için 7.61, çözelti 4 için 6.04, çözelti 5 için 5.08, çözelti 6 için 4.91 ve çözelti 7 için 4.82 olarak elde edilmiştir. Renk

değiştirme kriterleri (DIN 5033, 1979) açısından incelendiğinde çözelti 3 ile “çok güçlü (> 12.00)” kriteri şeklinde sonuç olarak bulunurken, diğer bütün çözeltiler ile “güçlü (6.00 ila 12.00)” şeklinde bir sonuç olarak tespit edildikleri görülmektedir (Tablo 4).

Tablo 4. Toplam renk farklılıklarına ait sonuçları

Çözelti Türü	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔC^*	ΔH^*	ΔE^*	Renk kriteri (DIN 5033, 1979)
Çözelti 1	-5.48	4.23	4.41	5.76	2.03	8.21	Güçlü (6.00 ila 12.00)
Çözelti 2	-6.28	6.40	-3.40	0.28	7.24	9.59	
Çözelti 3	-9.21	8.90	0.16	4.62	7.61	12.81	Çok güçlü (> 12.00)
Çözelti 4	-6.21	5.64	-2.30	0.73	6.04	8.69	Güçlü (6.00 ila 12.00)
Çözelti 5	-4.85	5.30	-0.84	1.72	5.08	7.23	
Çözelti 6	-6.29	7.07	2.99	5.90	4.91	9.92	
Çözelti 7	-6.95	5.05	-0.75	1.66	4.82	8.62	

Çözelti 1: Arap zımkı uygulanan örnekler.

Çözelti 2: Narçiçeği ekstraktı uygulanan örnekler.

Çözelti 3: Narçiçeği ekstraktı uygulandıktan sonra Arap zımkı uygulanan örnekler.

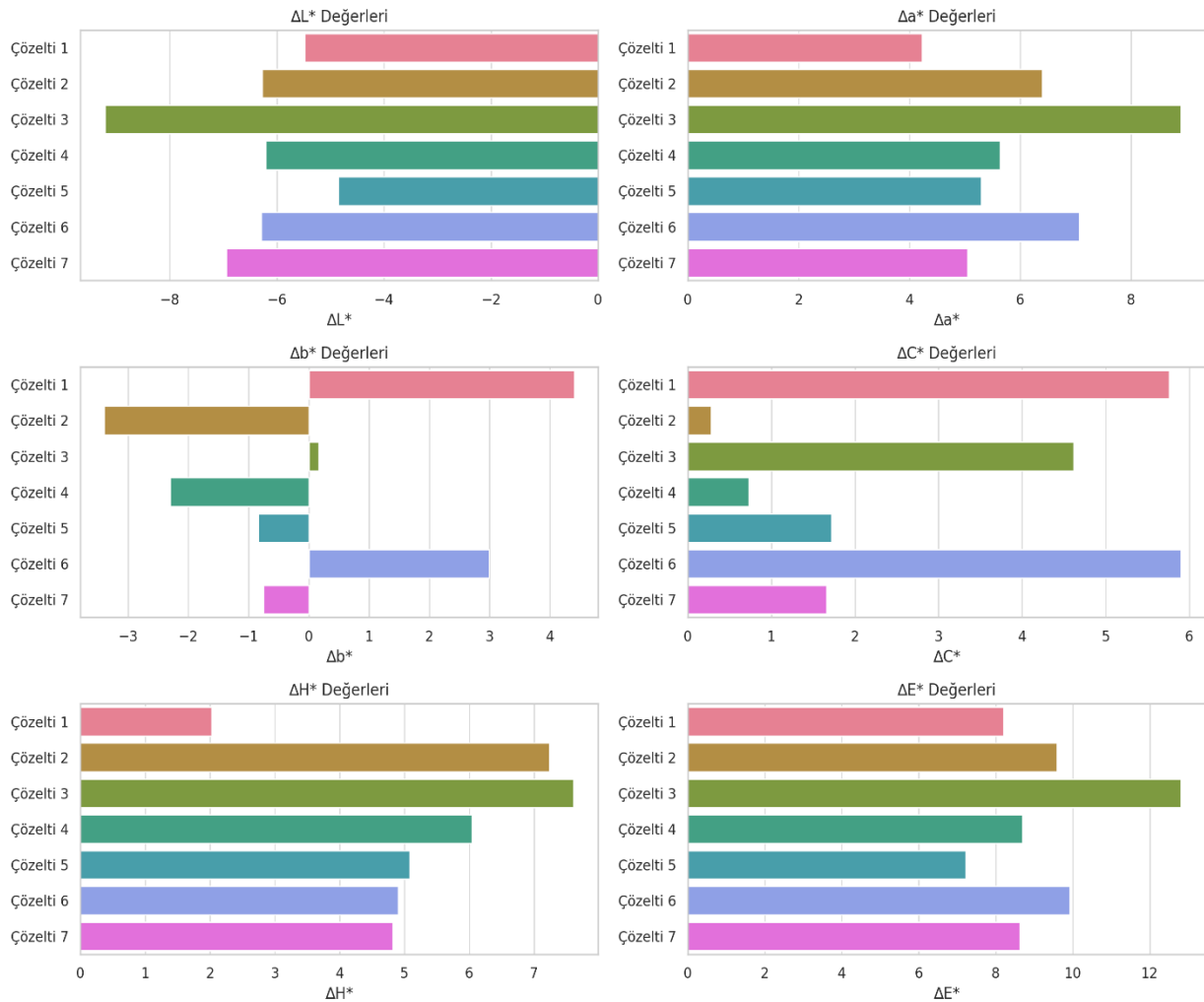
Çözelti 4: Narçiçeği ekstraktı ve Arap zımkı karışımı uygulanan örnekler.

Çözelti 5: Pancar ekstraktı uygulanan örnekler

Çözelti 6: Pancar ekstraktı uygulandıktan sonra Arap zımkı uygulanan örnekler.

Çözelti 7: Pancar ekstraktı ve Arap zımkı karışımı uygulanan örnekler.

Çözelti Türlerine Göre Renk Değişim Parametreleri (Δ)



Şekil 1. Toplam renk farklılıklarına ait sonuçları grafiksel gösterimi

Renk parametrelerine ait ölçüm sonuçları Tablo 5’de ve bu sonuçlara ait grafiksel gösterimi Şekil 2’de sunulmuştur.

Tablo 5. Renk parametrelerine ait ölçüm sonuçları

Test	Çözeltili Türü	Ortalama	Değişim (%)	Homojenlik Grubu	Standart Sapma	Minimum	Maksimum	Varyasyon Katsayısı
L^*	Kontrol	68.97	-	A*	0.24	68.64	69.34	0.03
	Çözeltili 1	63.48	↓7.96	C	0.92	62.13	65.43	0.15
	Çözeltili 2	62.69	↓9.11	D	1.04	60.73	63.53	0.17
	Çözeltili 3	59.76	↓13.35	F**	0.88	58.16	60.67	0.15
	Çözeltili 4	62.76	↓9.00	D	0.52	61.76	63.36	0.08
	Çözeltili 5	64.12	↓7.03	B	0.22	63.62	64.36	0.03
	Çözeltili 6	62.67	↓9.13	D	0.19	62.37	62.90	0.03
	Çözeltili 7	62.02	↓10.08	E	0.42	61.40	62.86	0.07
a^*	Kontrol	10.04	-	H**	0.14	9.83	10.36	0.14
	Çözeltili 1	14.27	↑42.13	G	0.21	13.98	14.69	0.15
	Çözeltili 2	16.44	↑63.75	C	0.27	16.11	16.88	0.16
	Çözeltili 3	18.93	↑88.55	A*	0.27	18.40	19.20	0.14
	Çözeltili 4	15.68	↑56.18	D	0.39	15.08	16.25	0.25
	Çözeltili 5	15.33	↑52.69	E	0.23	15.07	15.73	0.15
	Çözeltili 6	17.10	↑70.32	B	0.31	16.55	17.45	0.18
	Çözeltili 7	15.08	↑50.20	F	0.34	14.44	15.47	0.22
b^*	Kontrol	24.50	-	C	0.18	24.23	24.84	0.07
	Çözeltili 1	28.91	↑18.00	A*	0.34	28.35	29.26	0.12
	Çözeltili 2	21.10	↓13.88	F**	0.54	20.18	21.93	0.26
	Çözeltili 3	24.66	↑0.65	C	0.79	23.32	25.87	0.32
	Çözeltili 4	22.20	↓9.39	E	0.32	21.74	22.59	0.14
	Çözeltili 5	23.66	↓3.43	D	0.23	23.13	23.90	0.10
	Çözeltili 6	27.49	↑12.20	B	0.23	27.13	27.82	0.08
	Çözeltili 7	23.75	↓3.06	D	0.45	23.00	24.38	0.19
C^*	Kontrol	26.48	-	E**	0.18	26.15	26.74	0.07
	Çözeltili 1	32.24	↑21.75	A	0.25	31.86	32.55	0.08
	Çözeltili 2	26.76	↑1.06	E	0.36	26.09	27.28	0.13
	Çözeltili 3	31.09	↑17.41	B	0.67	30.00	32.17	0.22
	Çözeltili 4	27.21	↑2.76	D	0.48	26.45	27.98	0.18
	Çözeltili 5	28.20	↑6.50	C	0.23	27.61	28.39	0.08
	Çözeltili 6	32.37	↑22.24	A*	0.22	32.06	32.71	0.07
	Çözeltili 7	28.14	↑6.27	C	0.54	27.16	28.82	0.19
h^o	Kontrol	67.72	-	A*	0.31	67.09	68.29	0.05
	Çözeltili 1	63.69	↓5.95	B	0.64	62.27	64.26	0.10
	Çözeltili 2	52.07	↓23.11	F**	1.03	50.63	53.49	0.20
	Çözeltili 3	52.46	↓22.53	F	0.88	51.03	53.53	0.17
	Çözeltili 4	54.78	↓19.11	E	0.52	53.86	55.25	0.09
	Çözeltili 5	57.05	↓15.76	D	0.47	56.32	57.67	0.08
	Çözeltili 6	58.10	↓14.21	C	0.56	57.25	58.91	0.10
	Çözeltili 7	57.58	↓14.97	CD	0.31	56.95	57.88	0.05

Kontrol Grubu: Herhangi bir uygulama yapılmamış örnekler.

Çözeltili 1: Arap zamkı uygulanan örnekler.

Çözeltili 2: Narçiçeği ekstraktı uygulanan örnekler.

Çözeltili 3: Narçiçeği ekstraktı uygulandıktan sonra Arap zamkı uygulanan örnekler.

Çözeltili 4: Narçiçeği ekstraktı ve Arap zamkı karışımı uygulanan örnekler.

Çözeltili 5: Pancar ekstraktı uygulanan örnekler.

Çözeltili 6: Pancar ekstraktı uygulandıktan sonra Arap zamkı uygulanan örnekler.

Çözeltili 7: Pancar ekstraktı ve Arap zamkı karışımı uygulanan örnekler.

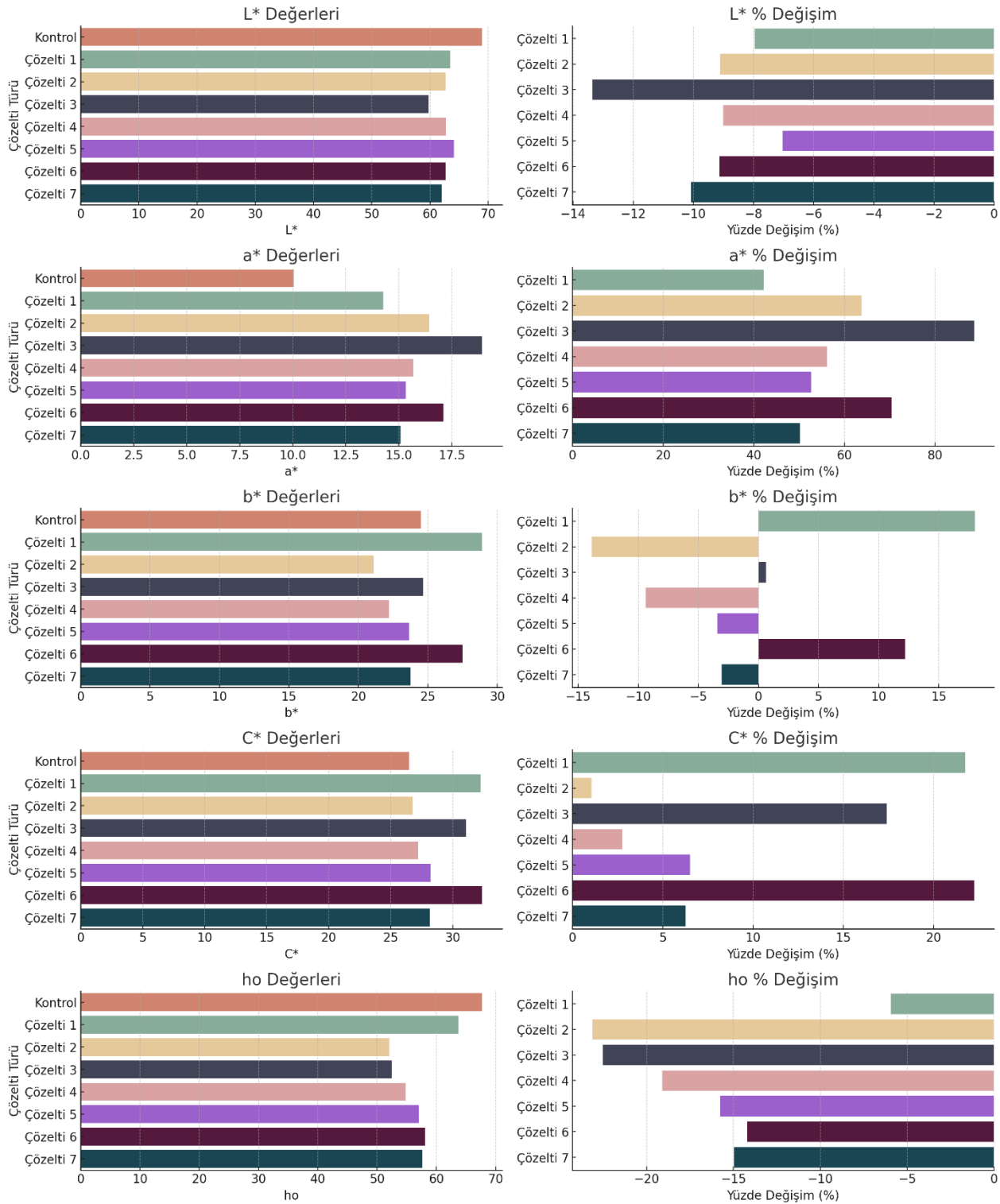
Homojenlik grubu sütunu için *: En yüksek sonuç, **: En düşük sonuç.

a^* : Kırmızı renk tonu değerini ifade etmektedir. L^* : Işıklılık değerini ifade etmektedir.

C^* : Kroma değerini ifade etmektedir. h^o : Ton açısı değerini ifade etmektedir.

b^* : Sarı renk tonu değerini ifade etmektedir.

Çözeltilerine Göre Renk Parametrelerinin Ham Değerleri ve Yüzde Değişimleri



Şekil 2. Renk parametrelerine ait ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi

L^* parametresi kontrol örneği için 68.97 olarak ölçülmüş olup, uygulanan tüm çözeltiler sonrasında L^* değerlerinde belirgin bir azalma meydana gelmiştir. Bu durum, yüzeyin koyulaştığını ve çözeltilerin ahşap rengini etkilediğini göstermektedir. En yüksek renk değişimi çözeltili 3 (narçiçeği ekstraktı uygulaması sonrasında Arap zıncı uygulanmış deney örneği)'te görülmüş olup, L^* değeri 59.76'ya düşerek kontrol örneğine kıyasla %13.35 oranında azalma göstermiştir. Benzer şekilde, çözeltili 7 (pancar ekstraktı + Arap zıncı karışımı uygulanmış deney örneği)'de %10.08'lik bir

değişimle koyulaşma eğilimi sergilemiştir. En düşük değişim ise %7.03 azalma ile çözelti 5 (pancar ekstraktı uygulamasına sahip deney örneği)'te gerçekleşmiştir. Çözeltilerin yüzey rengindeki farklı etkileri, içeriklerinde bulunan kimyasal bileşenlerin ahşap yüzeyiyle etkileşim düzeyine bağlı olarak değişmektedir (Tablo 5).

a^* değeri kontrol örneği için 10.04 olarak bulunmuş olup, uygulanan tüm çözeltiler sonrasında a^* değerlerinde belirgin bir artış meydana gelmiştir. Bu artış, yüzeyin kırmızımsı tonlarının yoğunlaştığını göstermektedir. En yüksek artış çözelti 3 (narçiçeği ekstraktı uygulaması sonrasında Arap zamkı uygulanmış deney örneği)'te gözlemlenmiş olup, a^* değeri 18.93'e yükselerek kontrol örneğine kıyasla %88.55 oranında bir artış sergilemiştir. Benzer şekilde, çözelti 6 (pancar ekstraktı uygulaması sonrasında Arap zamkı uygulanmış deney örneği)'de %70.32'lik bir artışla kırmızı tonlarında önemli bir yükseliş sağlamıştır. En düşük artış ise %42.13 ile çözelti 1 (Arap zamkı uygulamasına sahip deney örneği)'de görülmüştür. Bu sonuçlar, çözeltilerin içerdiği bileşenlerin ahşap yüzeyindeki renk değişimi üzerinde doğrudan etkili olduğunu göstermektedir. Özellikle çözelti 3 ve çözelti 6, diğer çözeltilere kıyasla daha belirgin bir kırmızılaşma eğilimi göstermiştir (Tablo 5).

Tablo 5'de, kontrol örneği için ölçülen b^* değeri 24.50 olarak elde edilmiş, çözeltiler sonrasında b^* değerlerinde hem artış hem de azalma gözlemlenmiştir. En belirgin artış, %18.00 ile çözelti 1 (Arap zamkı uygulamasına sahip deney örneği)'de gözlemlenmiş olup, b^* değeri 28.91'e yükselmiştir. Benzer şekilde, çözelti 6 (pancar ekstraktı uygulaması sonrasında Arap zamkı uygulanmış deney örneği)'de %12.20'lik bir artışla ahşap yüzeyde sarı tonlarını belirgin şekilde artırmıştır. Öte yandan, en yüksek azalma %13.88 ile çözelti 2 (narçiçeği ekstraktı uygulamasına sahip deney örneği)'de meydana gelmiş olup, b^* değeri 21.10'a düşmüştür. Bunu %9.39 ile çözelti 4 (narçiçeği ekstraktı + Arap zamkı karışımı uygulanmış deney örneği) takip etmektedir. Çözelti 3 (narçiçeği ekstraktı uygulaması sonrasında Arap zamkı uygulanmış deney örneği)'te ise b^* değeri yalnızca %0.65 artış göstermiş, yani yüzey renginde belirgin bir değişim meydana gelmemiştir. Bu sonuçlar, çözeltilerin içeriğindeki bileşenlerin ahşap yüzeyinin renk değişimi üzerinde farklı etkiler yarattığını göstermektedir. Bu farklılıkların çözeltilerin kimyasal yapısı ve ahşap yüzeyiyle etkileşimi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Tablo 5).

C^* parametresinde kontrol örneği için 26.48 olarak tespit edilmiş olup, çözeltiler sonrasında tüm örneklerde belirgin bir artış gözlemlenmiştir. En yüksek artış, %22.24 ile çözelti 6 (pancar ekstraktı uygulaması sonrasında Arap zamkı uygulanmış deney örneği)'de gözlemlenmiştir, bu da yüzeyin renk doygunluğunun en belirgin şekilde arttığını göstermektedir. Çözelti 1 (Arap zamkı uygulamasına sahip deney örneği)'de %21.75'lik bir artışla renk doygunluğunda önemli bir yükselme sağlamıştır. Daha düşük artışlar ise çözelti 5 (pancar ekstraktı uygulamasına sahip deney örneği)'te %6.50, çözelti 7 (pancar ekstraktı + Arap zamkı karışımı uygulanmış deney örneği)'de %6.27 ve çözelti 3 (narçiçeği ekstraktı uygulaması sonrasında Arap zamkı uygulanmış deney örneği)'te %17.41 olarak gözlemlenmiştir. Çözelti 2 (narçiçeği ekstraktı uygulamasına sahip deney örneği) ise sadece %1.06'lık bir artış göstermiştir, bu da çözeltinin renk yoğunluğu üzerindeki etkisinin oldukça sınırlı olduğunu belirtmektedir (Tablo 5).

h^o parametresi kontrol örneğinde 67.72 iken, çözeltiler uygulandıktan sonra bu değerlerde belirgin bir azalma gözlemlenmiştir. En büyük azalma %23.11 ile çözelti 2 (narçiçeği ekstraktı uygulamasına sahip deney örneği)'de gerçekleşmiş olup, bu çözeltinin uygulandığı yüzeyde renk tonunun belirgin şekilde soğuduğu anlaşılmaktadır. Çözelti 3 (narçiçeği ekstraktı uygulaması sonrasında Arap zamkı uygulanmış deney örneği), %22.53'lük bir azalma ile ikinci sıradadır. Diğer çözeltiler de benzer şekilde, kontrol örneğine göre daha düşük oranda h^o değerinde azalmalar göstermiştir. Çözelti 1 (Arap zamkı uygulamasına sahip deney örneği için %5.95), çözelti 4 (narçiçeği ekstraktı + Arap zamkı karışımı uygulanmış deney örneği için %19.11), çözelti 5 (pancar ekstraktı uygulamasına sahip deney örneği için %15.76), çözelti 6 (pancar ekstraktı uygulaması sonrasında Arap zamkı uygulanmış deney

örneği için %14.21) ve çözelti 7 (pancar ekstraktı + Arap zamkı karışımı uygulanmış deney örneği için %14.97) (Tablo 5).

Ulay vd., (2025a) yürüttüğü araştırmada, pancar bitkisinden elde edilen doğal boya çözeltisinin jatobá, kosipo ve aniégré odun türlerinin yüzey rengi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çözelti uygulanmadan önce ve sonra yapılan ölçümler sonucunda, tüm örneklerde L^* değerlerinin düştüğü, yani yüzeylerin koyulaştığı belirlenmiştir. Ayrıca a^* değerlerinde artış gözlenmiş, bu da kırmızı tonlarının belirginleştiğini göstermiştir. b^* ve C^* değerleri ağaç türüne bağlı olarak değişiklik gösterirken, h° açısında genel bir azalma tespit edilmiştir; bu da rengin kırmızıya doğru kaydığını işaret etmektedir. Çalışma sonuçları, pancar çözeltisinin, kimyasal mordan kullanılmadan da, ahşap yüzeylerde etkili bir doğal renklendirme sağlayabileceğini göstermektedir.

Roh ve Jo (2022) çalışmasında, 11 bitkisel ve 2 hayvansal doğal boya ile boyanmış Hanji kâğıdının renk özellikleri ve mordanlama sonrası renk değişimleri incelenmiştir. Elde edilen örneklerde siyah, morumsu mavi, kırmızımsı mor, sarımsı mor ve sarı gibi farklı tonlar gözlenmiştir. En yüksek renk verimi Çin mürekkebi, çivit otu ve lak ile en düşük ise gardenya tohumu ve kırmızı kök ile elde edilmiştir. Renk haslığı ise kullanılan boyar maddeye göre önemli farklılık göstermiştir. Mordan uygulamaları (Al, Cu, Fe) bazı örneklerde belirgin ton değişimlerine yol açmış, en büyük renk farkı demir mordanı ile gözlenmiştir.

Liu vd. (2020) tarafından yapılan araştırmada, ağartılmış kavak odunu, *Lasiodiplodia theobromae* türü mantar tarafından salgılanan melaninle boyanmıştır. Boyama süresinin uzatılmasıyla, kalın melaninle yapılan boyama, kaplama levhalarının boya alımını artırmış; parlaklık değeri artmış, ancak yansıma oranı azalmıştır. Lif yapısına ait yüzey, zamanla kalın melanin boyasıyla kaplanmış ve agar ortamında birikmiş daha fazla melanin partikülü gözlemlenmiştir. 50 mg/L boyama çözeltisiyle boyanmış kaplamanın renk koordinatlarında sarıya eğilim gösterildiği, ancak boyama süresindeki değişimle esasen değişmediği tespit edilmiştir.

Peker ve arkadaşlarının (2025) gerçekleştirdiği çalışmada, Arap zamkı uygulamasının kızılçam öz ve diri odunlarının renk özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, ΔE^* öz odun için 6.76, diri odun için ise 7.17 olarak ölçülmüştür. Çözelti uygulaması her iki odun tipinde de C^* değerlerinde artışa neden olmuş; L^* değerlerinde ise azalma gözlemlenmiştir. Ayrıca, a^* ve b^* parametrelerinde hem öz hem de diri odunlarda artış tespit edilmiştir. h° açısında, öz odun yüzeylerinde azalma, diri odun yüzeylerinde ise artış meydana gelmiştir.

Bi vd., (2023) tarafından yürütülen çalışmada, bitki bazlı ekstraktların, özellikle nötr renge sahip hızlı büyüyen ağaç türlerinden elde edilen odunların renklendirilmesinde çevre dostu bir boya alternatifi olabileceği ortaya konmuştur. Çalışmada, ısıtılmış işlem uygulanmış *Larix gmelinii* odunundan elde edilen ekstrakt kullanılarak kavak odunu renklendirilmiştir. ΔE^* değerleri sırasıyla ekstrakt-greftli kavakta 5.9, 9.0 ve 7.7 olarak ölçülmüştür. Bu değerler, yalnızca ekstraktla boyanmış kavakta (7.9, 9.5, 11.0) ve AGR ile boyanmış kavakta (14.3, 13.0, 13.4) elde edilen değerlere kıyasla daha düşüktür. Bu durum, enzimatik greftleme ile renk dayanımının daha da iyileştirilebileceğini ortaya koymuştur.

Ulay vd., (2025b), Arap zamkı uygulamasının üvez, adi dişbudak ve Anadolu kestanesi odunlarının renk özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Elde edilen bulgulara göre, en belirgin renk değişimi kestane odununda gerçekleşmiş; bunu sırasıyla dişbudak ve üvez izlemiştir. Uygulama sonucunda ΔE^* kestane için 12.42, dişbudak için 6.14 ve üvez için 2.49 olarak tespit edilmiştir. Tüm ağaç türlerinde uygulama sonrasında L^* ve h° değerlerinde azalmalar, b^* , a^* ve C^* değerlerinde ise artışlar belirlenmiştir.

Beldean ve Timar (2023) tarafından yapılan çalışmada, sentetik boyalara çevre dostu bir alternatif olarak doğal boya ekstraktlarının ahşap üzerindeki etkisi incelenmiş ve iç mekânda bir yıl süren doğal

ışık maruziyeti sonrası renk değişimleri değerlendirilmiştir. Bu amaçla, ceviz kabuğu (E1), soğan kabuğu (E2) ve boğadikenini (E3) kullanılarak üç farklı doğal ekstrakt hazırlanmıştır. Boyama işlemi 60 °C'de 30 dakika süreyle daldırma yöntemiyle gerçekteştirilmiştir. Ekstraktlar, sıcak ekstraksiyon yöntemiyle hazırlanmış ve bazıları demir sülfat mordanı ile işlem görerek EM1, EM2, EM3 şeklinde kodlanmıştır. Renk ölçümleri CIELab sistemine göre 30, 60 ve 365 gün sonra yapılmış ΔE^* hesaplanmıştır. Elde edilen bulgulara göre, doğal ekstraktlarla boyanan örnekler, boyanmamışlara kıyasla daha az renk değişimi göstermiştir. En düşük renk farkı soğan kabuğu ekstraktında gözlemlenmiş, ardından boğadikenini ve ceviz kabuğu gelmiştir. Mordan eklenen örneklerde ise ΔE^* değerlerinin arttığı ve görsel olarak daha belirgin farklar oluştuğu belirlenmiştir.

Ulay ve Ayata (2025) tarafından yapılan çalışmada, belirli oranlarda hazırlanarak saf su ile kaynatılan Arap zamkı çözeltilisinin, Santos, sapelli, maun ve Malta eriği odunlarına uygulanması sonucunda meydana gelen renk parametrelerindeki değişimler incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre ΔE^* değerleri; Malta eriği için 3.76, maun için 4.97, Santos için 8.20 ve sapelli için 6.50 olarak belirlenmiştir. Tüm ağağ türlerinde uygulama sonrası L^* değerlerinde azalma gözlemlenmiştir. Maun odununda b^* , C^* , h° ve a^* değerlerinde düşüşler meydana gelirken; Malta eriği odununda a^* , b^* ve C^* parametrelerinde artış, h° değerinde ise azalma tespit edilmiştir. Santos ve sapelli türlerinde ise h° , b^* ve C^* değerlerinde azalma görölmüş, buna karşılık a^* değerlerinde artış kaydedilmiştir.

4. Sonuçlar

Çalışma sonuçları, narçiceği ekstraktı ile Arap zamkı kombinasyonunun Sibiry'a çamı odun yüzeyinde homojen ve kalıcı bir renk değişimi sağladığını göstermektedir. Bu doğal kombinasyon, çevre dostu ve sürdürülebilir bir renklendirme yöntemi olarak önemli bir potansiyele sahiptir. Elde edilen bulgular, bu yöntemin odunun estetik özelliklerini iyileştirmek ve uzun süreli kullanımda kalıcı renk sağlamak için etkili bir alternatif olduğunu ortaya koymaktadır.

L^* (ışıkla ilgili parlaklık ölçütü): Kontrol örneği, başlangıçta belirli bir parlaklık seviyesine sahipken, çözeltilerle yapılan uygulamalarla parlaklık değerlerinde azalma gözlemlenmiştir. Çözelti 3 en büyük düşüşü göstermiştir.

a^* (kırmızı-yeşil eksenindeki renk değişimi): Kontrol örneğinde, başlangıçta belirli bir kırmızı-yeşil dengesine sahipken, çözeltilerle yapılan uygulamalarla kırmızı yönünde önemli artışlar gözlemlenmiştir. En belirgin artış Çözelti 3'te görölmüştür.

b^* (mavi-sarı eksenindeki renk değişimi): Kontrol örneğinde, başlangıçta belirli bir mavi-sarı dengesine sahipken, çözeltilerle yapılan uygulamalar sonucu renk değişimleri hem artış hem de azalma göstermektedir. Çözelti 2'de belirgin bir azalma olmuşken, Çözelti 1'de artış görölmüştür.

C^* (doğal renk doygunluğu): Kontrol örneği, başlangıçta belirli bir renk doygunluğuna sahipken, çözeltilerle yapılan uygulamalarda doygunluk artışı gözlemlenmiştir. Çözelti 6, en büyük doygunluk artışını göstermiştir.

h° (renk tonu açısı): Kontrol örneğinde, başlangıçta belirli bir renk tonu açısı varken, çözeltilerle yapılan uygulamalarla renk tonu değeri düşmüştür. Çözelti 2 ve Çözelti 3'te en büyük düşüşler gözlemlenmiştir.

Gelecekte, farklı odun türleri üzerinde benzer uygulamaların gerçekteştirilmesi, ekstraktların yüzey uygulaması sonrasında kurutma süreleri ve çözeltilinin yoğunluğu gibi parametrelerin optimize edilmesi için çalışmalar yapılması önerilmektedir. Ayrıca, UV ışınları, nem ve sıcaklık gibi çevresel

etmenlere maruz bırakılarak gerçekleştirilecek yaşlandırma testleriyle, bu doğal renklendirme yönteminin dayanıklılığı ve uzun ömürlülüğü daha kapsamlı şekilde değerlendirilebilir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Kaynaklar

ASTM D 2244-3, (2007). Standard practice for calculation or color tolerances and color, differences from instrumentally measured color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.

Beldean, E. & Timar, M.C., (2023). Wood Colouring with Natural Dye Extracts. New Research and Perspectives. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry Wood Industry Agricultural Food Engineering*, 16(65): 81-92. DOI: 10.31926/but.fwiafe.2023.16.65.2.5.

Bhaskar, A. & Kumar, A., (2012). Antihyperglycemic, antioxidant and hypolipidemic effect of *Punica granatum* L flower extract in streptozotocin induced diabetic rats. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2(3): S1764-S1769. DOI: 10.1016/S2221-1691(12)60491-2.

Bi, Z., Yan, L., Yan, Z., Chen, Z. & Lei, Y., (2023). Improve color stability of plant extract dye through chemical grafting of laccase to wood substrate. *Industrial Crops and Products*, 194: 116293. DOI: 10.1016/j.indcrop.2023.116293.

Caius, J.F. & Radha, K.S., (1939). The gum arabic of the bazaars and shops of Bombay. *Journal of the Bombay Natural History Society*, 41(3): 261-271.

Chhikara, N., Kushwaha, K., Sharma, P., Gat, Y. & Panghal, A., (2019). Bioactive compounds of beetroot and utilization in food processing industry: A critical review. *Food Chemistry*, 272: 192-200. DOI: 10.1016/J.FOODCHEM.2018.08.022.

DIN 5033, (1979). Deutsche Normen, Farbmessung. Normenausschuß Farbe (FNF) im DIN Deutsches Institut für Normung eV, Beuth, Berlin März.

Elfalleh, W., Hannachi, H., Tlili, N., Yahia, Y., Nasri, N. & Ferchichi, A. (2012). Total phenolic contents and antioxidant activities of pomegranate peel, seed, leaf and flower. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(32): 4724-4730.

Gras, C.C., Nemetz, N., Carle, R. & Schweiggert, R.M., (2017). Anthocyanins from purple sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) and their color modulation by the addition of phenolic acids and food-grade phenolic plant extracts, *Food Chemistry*, 235: 265-274. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.04.169.

Idris, O.H.M. & Haddad, G.M., (2012). Gum Arabic's (gum Acacia's) journey from tree to end user.

ISO 554, (1976). Standard atmospheres for conditioning and/or testing, International Standardization Organization, Geneva, Switzerland.

Jalikop, S.H., (2010). Pomegranate breeding. *Fruit, vegetable and cereal science and Biotechnology*, 4(2): 26-34.

Liu, Y., Zhang, Y., Yu, Z., Qi, C., Tang, R., Zhao, B., Wang, H. & Han, Y. (2020). Microbial dyes: dyeing of poplar veneer with melanin secreted by *Lasioidiplodia theobromae* isolated from wood. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104, 3367-3377. DOI: 10.1007/s00253-020-10478-2.

Karamalla, K.A., (1999). Gum Arabic: Production, Chemistry and Application, Manager Research and Development Department, Sudan: Gandil Agricultural Company Ltd.

- Kezi, J. & Sumathy, J.H., (2014). Betalain-a boon to the food industry. *Discovery*, 20: 51-58.
- Lange, D.R., (1999). Fundamentals of Colourimetry - Application Report No. 10e. DR Lange: New York, NY, USA.
- Li, T., Zhang, L., Jin, C., Xiong, Y., Cheng, Y.Y. & Chen, K., (2020). Pomegranate flower extract bidirectionally regulates the proliferation, differentiation and apoptosis of 3T3-L1 cells through regulation of PPAR γ expression mediated by PI3K-AKT signaling pathway. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 131: 110769. DOI: 10.1016/j.biopha.2020.110769.
- Mariod, A.A., (2018). Chemical properties of gum Arabic, In Gum arabic (pp. 67-73). Academic Press.
- Mekni, M., Azez, R., Tekaya, M., Mechri, B. & Hammami, M., (2013). Phenolic, non-phenolic compounds and antioxidant activity of pomegranate flower, leaf and bark extracts of four Tunisian cultivars. *Journal of Medicinal Plants Research*, 7(17): 1100-1107. DOI: 10.5897/JMPR13.2579.
- Melgarejo Moreno, P. & Martínez, V.R., (1992). El Grando, Ediciones Mundi Prensa, Madrid, 203 pp.
- Peker, H., Ulay, G., Çamlıbel, O. & Ayata, Ü., (2025). Kızılçam öz ve diri odunlarına Arap zamkı uygulaması: renk parametrelerinin karşılaştırmalı analizi. *Mekansal Çalışmalar Dergisi*, 2(1): 23-29.
- Prabhu, K.H. & Bhute, A.S., (2012). Plant based natural dyes and mordants: A Review. *Journal of Natural Product and Plant Resources*, 2(6): 649-664.
- Roh, J. & Jo, H.J., (2022). Dyeing and color fastness properties of natural dyed actual size hanji. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 50(1): 31-45. DOI: 10.5658/WOOD.2022.50.1.31.
- Saxena, S. & Raja, A.S.M., (2014). Natural dyes: sources, chemistry, application and sustainability issues. *Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing*, 37-80. DOI: 10.1007/978-981-287-065-0_2.
- Scotter, M.J., (2015). Methods of analysis for food colour additive quality and safety assessment. In Scotter, M.J. Colour Additives for Foods and Beverages. Woodhead Publishing, p. 131-188. DOI: 10.1016/B978-1-78242-011-8.00006-4.
- Sheiko, T., Tkachenko, S., Mushtruk, M., Vasylyv, V., Deviatko, O., Mukoid, R., Bilko, M. & Bondar, N., (2019). Studying the processing of food dye from beet juice. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 13(1): 688-694. DOI: 10.5219/1152.
- Sooch, B.S., Sandhu, N., Mann, M.K. & Ray, R.C. (2024). Valorization of Beetroot Waste for Extraction of Natural Dye for Textile and Food Applications. In: Ray, R.C. (eds) Roots, Tubers, and Bulb Crop Wastes: Management by Biorefinery Approaches. Springer, Singapore, 237-260. DOI: 10.1007/978-981-99-8266-0_11.
- Stone, D., (2017). Pomegranate: A global history, Published by Reaktion Books Ltd. eISBN: 9781780237954.
- Ulay, G., Peker, H. & Ayata, Ü., (2025a). Aniéggré, jatobá ve kosipo odunlarında renk değiştirme amaçlı pancar bitkisinin kaynatılması ile elde edilen boyar maddenin kullanılması üzerine bir çalışma, *ASERC 2. Uluslararası Sağlık, Mühendislik, Mimarlık ve Matematik Kongresi*, 6-8 Haziran 2025, İstanbul, Türkiye.
- Ulay, G., Peker, H. & Ayata, Ü., (2025b). Çeşitli sanayi alanlarında kullanılan Arap zamkının üvez, dişbudak ve kestane ahşap türlerinde uygulanması üzerine bir çalışma, *Erzurum 1. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi*, 9-11 Mayıs 2025, Erzurum, Türkiye, 142-149.
- Ulay, G. & Ayata, Ü., (2025). Hint zamkının renk değiştirme amaçlı Malta eriği, santos, sapelli ve maun odunlarına uygulanması, Gece Kitaplığı, Orman Endüstri Mühendisliği Alanında Araştırmalar ve

Değerlendirmeler, Editörler: Prof. Dr. Nihat Sami ÇETİN, Prof. Dr. Nilgöl ÇETİN, Doç. Dr. Mustafa Batuhan KURT, Birinci Basım Mart 2025, Ankara, 27-38. ISBN: 978-625-388-233-4.

Westwood, M.N., (1978). Temperate-zone Pomology, W.H. Freeman and Co., San Francisco, 428 pp.

Yu, X., Wang, X.-P., Lei, F., Jiang, J.-F., Li, J., Xing, D.-M. & Du, L.-J., (2017). Pomegranate leaf attenuates lipid absorption in the small intestine in hyperlipidemic mice by inhibiting lipase activity. *Chinese Journal of Natural Medicines*, 15(10): 732-739. DOI: 10.1016/S1875-5364(17)30104-8.

Zhang, L., Naeem, A., Wei, S., Li, Z., Zang, Z., Wang, M., Liu, Y. & Su, D., (2019). PPTS inhibits the TGF- β 1-induced epithelial-mesenchymal transition in human colorectal cancer SW480 cells. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2019(1): 2683534. DOI: 10.1155/2019/2683534.

Zohary, D., Hopf, M. & Weiss, E., (2012). Domestication of Plants in the Old World: The origin and spread of domesticated plants in Southwest Asia, Europe, and the Mediterranean Basin. Oxford University Press, pp. 134-135.

Derleme Makale / Review Article

Nehir Tipi HES Projelerinde Balık Geçitlerinin Önemi

Esin ACAR^{1*}

¹ Artvin Çoruh Üniversitesi, Borçka Acarlar Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Artvin, TÜRKİYE
esin.acar@artvin.edu.tr

Received/Geliş Tarihi: 05.11.2024

Accepted/Kabul Tarihi: 30.05.2025

Özet: Nehir tipi HES (Hidroelektrik Santral) projeleri daha küçük ölçekli enerji üretim santralleri olup, ülkemizde birçok akarsu üzerine kurulmuş yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarıdır. Bu HES projeleri, akarsu üzerine inşaa edilen regülatör yapıları ile suyun kabartılarak enerji üretim yapıları vasıtasıyla elektrik enerjisinin üretilerek, suyun tekrar akarsu yatağına bırakılması prensibine dayanarak çalışmaktadır. Mevcut akarsu yatağı üzerindeki sucul yaşamın devam edebilmesi amacıyla kurulan balık geçitleri sayesinde balıkların doğal yaşamına olanak sağlayan bu yapıların tasarım ve işletme aşaması oldukça önemlidir. Bu çalışma ile balık geçitlerinin Nehir tipi HES'lerde önemi, çevresel olumlu/olumsuz sonuçları ele alınmıştır. Nehir tipi santrallerin regülatörleri üzerine inşaa edilen balık geçitleri tipleri incelenmiştir. Zira uygun ekosistem canlıları için balık geçidi tipinin belirlenmesi, geçitlerin işletme çalışmasının büyük bir titizlikle yapılması, yeterli can suyunun bırakılması, geçitlerin düzenli temizliklerinin yapılması, balıkların yumurtlama döneminde mansaptan membaya geçişlerinin sağlanması, geçitlerin üzerlerinin ızgaralar ile kapatılarak balıkların korunması, balık geçitlerinin bulunduğu alanda balıkçılık faaliyetlerinin yasaklanması, zamanla oluşabilecek korozyon ve duvar çatlamalarına karşı önlemlerin alınarak suyun yeterli miktarda geçidin içinde bulunmasının sağlanması, geçit bulunmayan regülatörlerde tuzaklama ve taşıma işlemlerinin yapılması sucul yaşamın devamlılığının sağlanması açısından önemlidir. HES projeleri her ne kadar yenilenebilir temiz enerji kaynakları olsa akarsu boyunca doğal yaşamın devam edebilmesi için uygun balık türlerine göre balık geçitlerinin yapılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Nehir Tipi HES, Balık Geçitleri, Akarsu projeleri, Yenilenebilir Enerji

Importance of Fish Passages in River Type HEPP Projects

Abstract: River type HEPP (Hydropower plant) projects are smaller scale power generation plants and are renewable and clean energy sources built on many rivers in our country. These HEPP projects operate on the principle that the water is raised by the regulator structures built on the river, electrical energy is generated by means of power generation structures and the water is released back into the river bed. The design and operation phase of these structures, which enable the natural life of fish thanks to the fish passages established for the continuation of aquatic life on the existing river bed, is very important. In this study, the importance of fish passages in river type HEPPs and their positive/negative environmental consequences are discussed. The types of fish passages constructed on the regulators of river type power plants are examined. Determining the type of fish passage for the appropriate ecosystem species, operating the passages with great care, leaving sufficient life water, regular cleaning of the passages, ensuring the passage of fish from downstream to upstream during the spawning period, and protecting the fish by covering the passages with gratings, It is important to prohibit fishing activities in the area where the fish passages are located, to take precautions against corrosion and wall cracking that may occur over time, to ensure that there is enough water in the passage, and to carry out trapping and transportation operations in regulators where there is no passage in order to ensure the continuity of aquatic life. Although HEPP projects are renewable clean energy sources, fish passages should be built according to the appropriate fish species in order for natural life to continue along the river.

Keywords: River Type HEPP, Fish Passages, River projects, Renewable Energy

1. Giriş

Teknolojinin ilerlemesi beraberinde enerji ihtiyacını da getirmektedir. Bu sebeple temiz ve güvenilir enerjiye ulaşmak hem çevresel hem de endüstriyel anlamda enerji üretimi en büyük ihtiyaç haline gelmektedir. Fosil yakıtları ve nükleer enerjinin çevresel etkileri ve uzun yıllarca verdikleri zararlar

düşünüldüğünde yenilenebilir enerjiye olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Bu kapsamda hidroelektrik, güneş, rüzgâr, biyoenerji gibi kaynaklardan elde edilen enerjiler yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu tip enerjilerin en büyük etkileri yenilenebilir kaynaklardan elde edilmesi ve enerji üretimi sırasında herhangi bir kayba uğramamasıdır. Her bölge için farklı yenilenebilir enerji kaynakları bulunmakta olup, enerji üretimi sağlanabilmektedir.

HES’lerde enerjinin dönüşümü kuralına göre yerçekimi potansiyel enerjisi, suyun yüksekten düşmesiyle ilk olarak kinetik enerjiye, sonrasında ise türbine bağlı jeneratörün çalıştırılmasıyla da elektrik enerjisine dönüştürülmektedir (Kocabaş vd., 2013; Eroğlu vd., 2022). Akarsu yataklarının yoğun olduğu yerlerde de HES projeleri yaygın olarak gelişip, temiz enerji üretimine katkı sağlamaktadır. Bu projeler nehir tipi ya da baraj tipi HES’ler olarak planlama esaslarına göre projelendirilmektedirler. Enerji üretimi için kullanılan akarsuyun debi değerlerine ve coğrafi şartlara göre projelendirmeler belirlenmektedir. Baraj tipi HES projeleri daha büyük yapılar olup, santral kapasiteleri de oldukça yüksektir. Nehir tipi HES projeleri ise daha küçük yapılara sahip olup, debilerin daha düşük olduğu akarsular üzerinde planlanmaktadır. Bu projelerin enerji üretim değerleri Baraj HES’lere göre oldukça düşük kalmaktadır. Nehir tipi HES’ler sadece enerji üretmek için kullanılırken baraj tipi HES’ler enerji, taşkın, sulama, içme suyu gibi birçok alanda hizmet verebilmektedirler. Ayrıca akarsu debisi zamana bağlı değişkenlik gösterdiği için farklı debiler oluşmakta ve enerji üretimi de değişebilmektedir.

Nehir tipi HES projeleri sulama yapısı (regülatör), çökeltim havuzu, su iletim kanalı/tüneli, yükleme havuzu, cebri boru, santral ve kuyruksuyu kanalından oluşmaktadır. Regülatör yapıları suyun düzenlenmesini ve kontrollü bir biçimde suyun çökeltim havuzu vasıtasıyla su iletim kanalına aktarılmasını sağlamaktadır. Regülatörler akarsu yatak kesitlerine dik olacak şekilde planlanmakta olup akarsu yatağındaki suyu kontrollü bir biçimde su iletim yapılarına almaktadır. Bu durumda akarsu işletmesi sırasında akarsu yatağında yer alan sucul yaşamı olumsuz yönde etkilemektedir. Regülatör yapısı akarsu akışını direkt etkilediği için özellikle sucul yaşamdaki balıkların membaya doğru ilerlemeleri zorlaşmaktadır. Twardek vd. (2022), çalışmasında balık geçidinin, balıkların habitatlar arasında serbestçe hareket etmesini sağlayan yapılardan oluştuğunu belirtmiştir (Clay, 1995). Öner ve Sorgucu (2016)’ya göre, su canlılarının popülasyonlarına ve ekosisteme verilen zararı minimuma indirebilmek amacıyla su canlılarının geçişini sağlayacak balık geçitlerinin yapılması gerekmektedir.

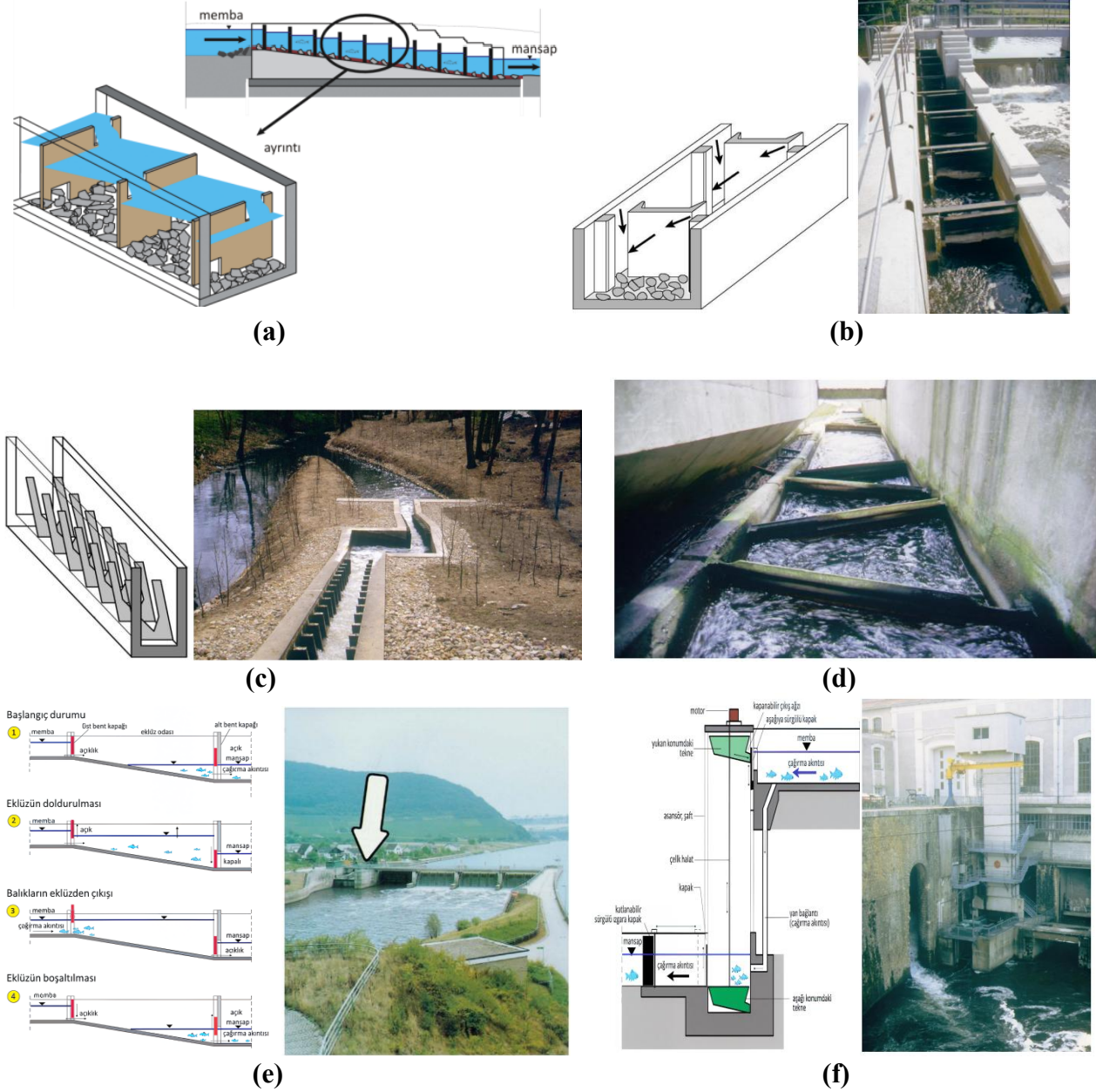
Geçmişte balıkların engelleri geçmesini sağlamak ve engellerin etkilerini en aza indirmek için çeşitli balık geçidi tasarımları geliştirilmiştir (Roscoe ve Hinch, 2010; Alp vd., 2020). Yıldırım (2018) çalışmasında balık geçitlerinin verimliliğinin değerlendirilmesi amacıyla bilgisayarla görme ve sinyal işleme tabanlı analiz yöntemleri geliştirmiştir.

Ekosisteme uyum sağlamak için yapılan regülatör yapısı üzerine balık geçitleri planlanmakta ve balıkların özellikle yumurtlama dönemlerinden mansaptan membaya doğru kolaylıkla geçişleri sağlanabilmektedir. Günümüzde akarsular üzerinde kurulan birçok HES projeleri bulunmakta olup, enerji üretimlerinin dışında sucul yaşam üzerinde de etkileri bulunmaktadır. Bu çalışma ile Nehir tipi HES projelerinin balık geçitleri incelenmiştir. Ayrıca Nehir tipi HES projelerinde inşaa edilen regülatörler üzerindeki balık geçitlerinin önemi ve çevresel etkilerinin ortaya konması amaçlanmıştır.

1.1. Balık Geçidi Türleri

Balık geçitleri, su organizmalarının barajlar ve regülatörler gibi göç etmesine engel olan memba ve mansap göçlerini kolaylaştıran yapılardır (Meşe, 2019). Boiten (2002); Üçüncü ve Altındağ (2012)’ye göre balık geçitlerinin, balıkların geçide doğru yüzmesini sağlayan; su bentleri, perdeler, bölmeler ya da pervanelerle bölümlenmiş eğimli kanallardan oluştuğunu ifade etmiştir. Tüfek (2009); Öner ve

Sorgucu (2016)'a göre zaman içerisinde birçok balık geçidi tipi geliştirilmiştir. Bunların en çok kullanılanları, Havuzlu (orifis savaklı) Geçitler, Yarıklı Geçitler, Denil Geçitler, Yılan Balığı Merdivenleri, Balık Eklüzleri ve Balık Asansörleridir (Şekil 1). Küçük ölçekli hidroelektrik santrallerde genellikle havuzlu tip balık geçidi kullanılmaktadır (Larinier vd., 2002; Baydar, 2014). Balık geçitlerinin tipleri HES proje tiplerine ve sucul yaşam türlerine göre farklılıklar göstermektedir. Anonim (2009)'a göre farklı balık geçit tipleri şu şekildedir;



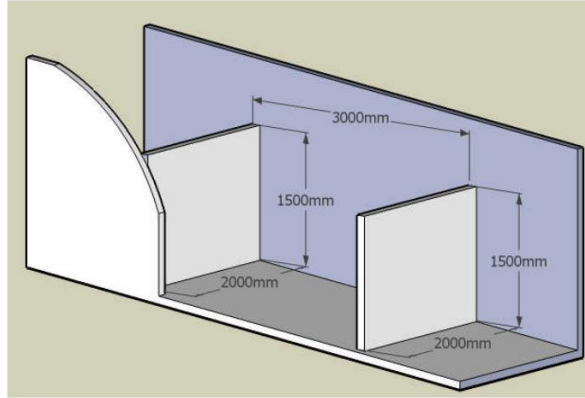
Şekil 1. (a) Havuzlu balık geçidi (Anonim, 2009), (b) Çift dikey yarıklı balık geçidi (Anonim, 2009), (c) Denil Tipi Geçitler (Lonnebjerg, 1980), (d) Yılan Balığı Merdivenleri (Anonim, 2009), (e) Balık Eklüzü (Anonim, 2009), (f) Balık Asansörü (Anonim, 2009)

Balık geçitleri tipleri regülatör yapısına, akarsu özelliklerine ve ekosistemde yaşayan sucul canlıların çeşitlerine göre en uygunu belirlenerek seçilmektedir.

2. Daha Önce Yapılan Deneysel ve Nümerik Çalışmalar

Çalışmada ülkemizde yer alan Nehir tipi HES projelerinin regülatör gövdesinde inşaa edilen balık geçitlerinin tipleri belirtilerek, sucul yaşama olan olumlu/olumsuz etkileri ortaya konmuştur. Daha önce yapılan bu alandaki deneysel ve uygulama çalışmalarından yararlanılmıştır. Ayrıca çevresel etkileri ve işlevsellikleri açısından verimli kullanımları konusundaki çalışmalar belirtilmiştir.

Kadıoğlu (2010) çalışmasında Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) sayısal modelleme programından yararlanarak daha önce yapılmış deneysel çalışmanın sonuçları ile balık geçidinin hidrolik analizini çalışmış ve Şekil 2’de HAD program geometrisi yer almaktadır.



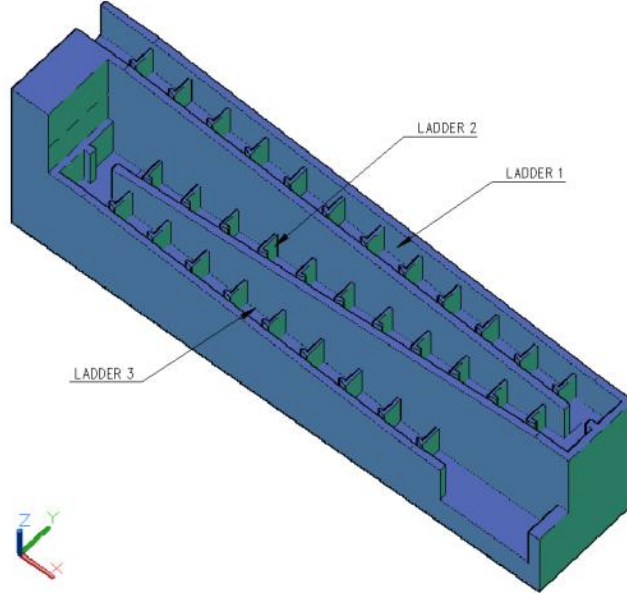
Şekil 2. Balık Geçidi Geometrisi

Sorgucu (2016) balık geçidinin hidrolik hesaplamaları için açık kanal düzeneği ile laboratuvar ortamında çalışma yapmıştır. Havuzlu geçit tipinin modellenmesi amacıyla da kapaklı bir kanal düzeneği oluşturulmuştur (Şekil 3).



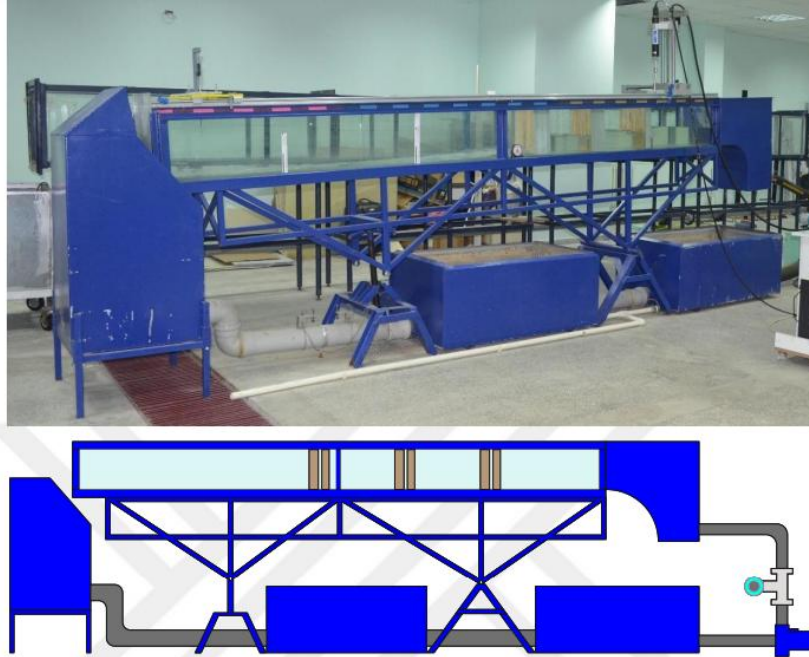
Şekil 3. Balık Geçidi Deney Kanalı

Özkaya (2014) HAD programı ile sayısal modelleme yaparak balık geçitlerindeki serbest yüzeyli akımların incelemiştir. Çalışmada 3 boyutlu modelleme yaparak (Şekil 4) balık geçidini hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ile akımlarını hidrolik açıdan incelemiştir.



Şekil 4. Balık geçidinin 3 boyutlu modellemesi

Can (2022) çalışmasında, açık kanal içerisine yerleştirilen tek yarıklı dikey balık geçitleri (Şekil 5) ile etkileşimde olan akım karakteristikleri deneysel olarak ölçmüştür. Deneysel ölçümlere en yakın sonucu veren sayısal model ile deneysel olarak elde edilmesi zor olan akım özellikleri sayısal olarak incelenmiş ve dikey yarıklı balık geçitlerinin akım yapısı değerlendirilmiştir.



Şekil 5. Açık kanal modeli ve şematik gösterimi

3. Balık Geçitlerinin Çevresel Etkileri

Alp vd. (2015); Bülbül (2019) çalışmasında akarsular üzerinde yapılan bend, baraj ve regülatör gibi birçok yapılar sulara yaşayan canlıların üreme, beslenme ve yaşam alanları gibi hayati fonksiyonlarını olumsuz yönde etkilediğini, bu gibi tehditlerin üreme imkânı bulamayan türlerin neslinin tükenmesine kadar gidebildiğini belirtmiştir. Bu sebeple sadece enerji üreterek ülke

ekonomisine katkıda bulunmak yerine temiz enerji üretiminin prensip edinilmesi ve mevcut canlı yaşamın devamlılığını sağlayacak tedbirler alınması gerekmektedir. Mallen-Cooper (1996); Akşit (2018)'a göre nehirler üzerine inşa edilen su yapılarının üzerinde bulundukları akarsulardaki balık geçişlerini olumsuz etkilemekte olduğunu ve yapılmış olan balık geçitlerinin birçoğunun işlevsel olmadığını belirtmiştir.

Kocabaş vd. (2013), balıkların beslenme ve üreme göçünü yapabilmesi için, yeterli miktarda suyun akarsu yatağından akmasına bağlı olduğunu, balık türü ve büyüklüğüne, bağlı olarak mümkün olabildiğini belirtmiştir. (Bless vd. (1994); Bülbül (2019), yumurtlama ya da beslenme için, membadan mansaba ya da mansaptan membaya göç etmek zorunda olan göçmen balıkların göç yollarına yapılan bu tür su yapılarının balık türü popülasyonlarında azalmalara sebep olduğunu ifade etmiştir (Bless vd., 1994; Bülbül, 2019).

Ekren (2015) ise balık geçitlerinin uygun biçimde planlanması gerektiğini, bu planlamaların ülke ekonomisi için önemini ve tatlı su balıkçılığı için olumlu etkilerinin olduğunu ifade etmiştir. Yıldırım (2018), balık geçitlerinin planlanmasının biyolojik, hidrolik ve kinematik gibi parametreleri barındıran karmaşık bir yapı olduğunu ve birçok balık geçidinin de balık geçişleri için uygun olmadığını belirtmiştir. Bu durumun geçitlerin yeterince analiz edilmemesine, verilerin ve ölçüm tekniklerinin uygun olmamasına bağlamıştır. Akşit (2018), balık geçitlerinin tasarımı balığın balık geçidi girişini bulabilmesi ve balıkların geçitten yüzmeyi başarıyla tamamlayıp engelin diğer tarafına ulaşabilmesi ve balık geçidinde balığın en büyük sorununun, mansaptan membaya geçişteki akıntının hızlı olması olduğunu belirtmiştir. Bu sebeple balık geçitlerinin planlamasında sayısal destekli programlardan yararlanarak mevcut nehir akışı ve balık popülasyonuna göre hidrolik çalışmaların planlama aşamasında yapılması gerekmektedir.

Aslıyüksek (2014), balık geçitleri için en önemli durumun, ekolojik denge suyu olduğunu, bu suyun nehirdeki miktarının ne olduğu ve ne kadar uzunlukta ve mesafede aktığıdır. Bu sebeple bu denge suyunun miktarının çok iyi belirlenmesi ve kontrol edilmesi gerekmektedir. Özellikle birden fazla havzada yer alan Nehir Tipi HES'ler göz önüne alındığında akarsu boyunca oluşacak ekolojik denge suyunun havza planlaması çerçevesinde hesaplanarak, kontrol edilmesi gerekmektedir.

Cooper vd. (2021), büyük nehirlerde yaşayan göçmen balıkların genellikle boylamsal (ve yanal) bağlantıda ciddi kayıplarla karşı karşıya kaldığını (Cooke vd., 2012), sebebinin büyük nehirlerin genellikle barajlar tarafından bölünmesinden kaynaklandığını belirtmektedir (Cooper vd., 2017). Küresel olarak, kritik göçmen balık yollarını yeniden açmak için barajların kaldırılması gerektiğini ve balık geçiş yapılarının inşasına yapılan yatırımların da arttığını belirtmiştir (O'Connor vd., 2015; Silva vd., 2018).

Tan vd. (2024)'e göre balık geçiş tesislerinin (yani balık geçitlerinin) kurulması, nehir parçalanmasını azaltmak, nehir bağlantısını ve balık popülasyonlarını eski haline getirmek için etkili bir araç olarak kabul edilmektedir (Roscoe ve Hinch, 2010; Bunt vd., 2012; Silva vd., 2018; Cooper vd., 2021; Sanchez-Perez vd., 2022; Sun vd., 2023).

Magaju vd. (2023)'e göre balık geçidi araştırmaları, su yolu yapılarının neden olduğu parçalanmış nehir habitatlarının olumsuz etkilerini azaltmak için önemlidir. Wang vd. (2024) çalışmada hidroelektrik projelerinin kapsamlı gelişimi, balık habitatlarının eko hidrolojik koşullarını önemli ölçüde değiştirdiğini, habitat kullanımı ve göç de dahil olmak üzere balık davranışlarını farklı boyutlarda etkilediğini belirtmiştir. Balık göçü dinamiklerini anlamak, ekolojik restorasyon önlemlerinin göçmen balıklar üzerindeki etkisini niceliksel olarak değerlendirmek için gerekli olduğunu ifade etmiştir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Köse (2021), balık geçitlerinin tasarımı için, ilk olarak HES kurulması düşünülen akarsuda habitat çalışmalarının yapılması gerektiğini, bu çalışmalar ile birlikte balık türlerinin belirlenerek, bu türlere uygun balık geçidi tipi seçilmesi gerektiğini belirtmiştir. Baydar (2014) ise habitat çalışmalarının eksikliğinden kaynaklı göç eden balık türlerinin tespit edilemediği, geçitlerin etkili bir biçimde çalışması için HES kurulacak yerlerde öncelikle habitat çalışmalarının yapılması gerektiğini belirtmiştir. Kadioğlu (2010), balık geçitlerinin tasarlanmasındaki en önemli hususun hizmet edeceği balık türünün belirlenmesi olduğunu, geçidin işlevselliği için akımdaki hızlara çok dikkat edilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Sorgucu (2016) çalışmasında balık geçitleri yapımında kullanılacak olan malzemelerin seçilirken çevresindeki doğal yapıya benzer malzemelerin tercih edilmesinin, tasarlanacak olan geçidin doğaya uyumunu arttıracaklarını savunmuştur. Tesis edilecek olan balık geçidinde, bölgenin bitki örtüsüne uygun yeşillendirme çalışmalarının yapılmasını vurgulamıştır .

Balıkların doğal nehir sistemlerindeki hareketleri, barajlar ve savaklar da dahil olmak üzere akarsu içi insan yapımı yapılardan etkilenmektedir (Chanson and Gonzalez, 2024). Balıklar için göç yollarının restorasyonu, barajların geliştirilmesi nedeniyle dünya çapında artan nehir parçalanması bağlamında popülasyonların korunması için çok önemlidir (Grimardias vd., 2022). Bu sebeple özellikle baraj yapılarının balık popülasyonuna olumsuz etkileri konusunda balık geçidi planlamalarının ya da balıkların doğal yaşam dengesinin korunmasına yönelik önlemlerin alınması gerekmektedir.

Barajların ve savakların inşası küresel olarak birçok nehri ve akarsuyu parçalara ayırmıştır ve bu durum biyolojik çeşitlilik için büyük bir tehdittir. Bu etkileri azaltmak için kullanılan en yaygın yöntem balık geçitleri inşa etmektir. Yayınlanmış örnekler, balık geçitlerinin etkili olabilmelerinin yanı sıra performanslarının da oldukça değişken olabileceğini göstermektedir. Bu değişkenlik göz önüne alındığında, balık yolu performansını değerlendirmek için şeffaf hedeflerin belirlenmesi ve kriterlerin geliştirilmesi kritik önem taşımaktadır (O'Connor vd., 2022). Hidroelektrik enerjinin genişlemesinin akarsu ekosistemleri üzerinde yarattığı olumsuz ekolojik etkilerin azaltılması büyük bir zorluktur. Balıkların türbine girmesini önlemek, yaralanma ve ölüm riskini azaltmak için türbin girişlerine sıklıkla yatay veya dikey olarak yönlendirilmiş çubuklara sahip ince ızgaralar gibi fiziksel bariyerler yerleştirilmektedir (Knott vd., 2023). Balıkların güvenli bir biçimde yaşam alanlarının sağlanması, santral yapısı elemanlarından korunması ve ekolojik denge şartlarına göre uygun popülasyon gelişimlerinin korunması çevresel anlamda oldukça önemlidir.

Köse (2021), balık geçitlerinin daha verimli bir şekilde işletilebilmesi için,

- Birçok balık geçidinde balıkların geçide girişini sağlamak için su şırıltısı oluşturmak üzere boru ile çağırma suyu bırakılması,
- Tüm regülatörlerde bulunan balık geçitlerinde can suyu geçit çıkışından verilmektedir ve çıkışta balıkların zarar görebileceği türbülans oluşmamalı,
- Bazı (küçük) regülatörlerde balık geçidi bulunmamaktadır. Bu nedenle balıkların beslenme, üreme vb. yaşamsal faaliyetlerini gerçekleştirebilmeleri için tuzaklama ve taşıma yöntemi kullanılmalıdır.

Balık geçitleri özellikle nehir tipi HES projeleri gibi daha düşük debilere sahip akarsu üzerlerinde mevcut sucul yaşamın idame edebilmesi için uygun şartlarda planlanarak, uygulanması önem arz etmektedir. Zira o bölgede yaşayan balık türlerinin belirlenerek, en verimli çalışabilecek balık geçidi tipinin seçilmesi ve işletme süreçlerinin takip edilmesi gerekmektedir. Balık geçitlerinin düzenli olarak temizliklerinin yapılması, habitata uygun yeterli miktarda suyun bırakılması canlı yaşamının sürekliliğini sağlayacaktır. Balıkların sadece membadan mansaba değil aynı zamanda mansaptan

membaya geçişlerinin sağlanabilmesine olanak tanıyan balık geçitleri planlanmalıdır. Böylece özellikle yumurtlama döneminde balık popülasyonunun korunması sağlanacaktır. Çağırma suyunun bırakılması için oluşturulan kontrollü kapağın belirlenen su miktarını iletebilecek açıklıkta olması ve sürekli kontrol edilmesi gerekmektedir. Balık geçitlerinin üzerinin ızgaralar ile kapalı olması geçiş sırasında balıkları kuş türlerinden koruyacağı için güvenlik amaçlı yapılması gerekmektedir. Balık popülasyonunun korunması amacıyla regülatör ve balık geçitlerinin bulunduğu alanda balıkçılık faaliyetlerinin yasaklanması gerekmektedir. Balık geçitlerinin duvarlarında zamanla oluşabilecek aşınma ve çatlamalara karşı önlem alınmalı ve gerekli tadilatlar yapılmalıdır. Yan duvarlarda meydana gelebilecek çatlaklar su kaybına neden olacağı için geçidin çalışmasına engel teşkil edecektir. Regülatörlerden bırakılacak can suyu balık geçitlerinden verileceği için geçidin çıkışında türbülansa izin verilmeyecek, suyun enerjisinin kırılmasını sağlayacak yapılar inşaa edilmelidir. Balık geçitlerinin düzenli bakım, kontrol ve tadilatlarının yapılması, yeterli miktarda kontrollü suyun akışının sağlanması gerekmektedir. Balık geçitleri bulunmayan regülatörlerde ise tuzaklama ve taşıma yöntemiyle sucul yaşamın devamlılığı sağlanmalıdır.

HES projeleri her ne kadar yenilenebilir temiz enerji kaynakları olsa da akarsu yatağı akışının doğal yapısını değiştirdiği için regülatör yapısından kuyruksuyu kanalına kadar olan akarsu boyunca doğal yaşamın devam edebilmesi için yeterli ve kontrollü biçimde can suyu bırakılması ve uygun balık türlerine göre balık geçitlerinin yapılması gerekmektedir. Ayrıca deneysel ve sayısal modelleme yöntemleri kullanılarak balık türleri ve akarsu akışına göre modellemeler yapılması, uygulama öncesi balık geçitlerinin daha iyi planlanmasına katkıda bulunacaktır. HES projelerinin mevcut ekosisteme olan etkisinin azaltılması ile HES projeleri uzun vadede çevresel etkilerini minimize edecek bir yapıya dönüşecek, doğa ile uyumlu enerji santralleri olarak yerini alacaktır.

Çıkar çatışması

Yazar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Kaynaklar

Akşit, S. (2018). Havuzlu balık geçitlerinin deneysel ve nümerik olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, TÜRKİYE.

Alp, A., Akyüz, A., Özcan, M. & Yerli, S.V. (2015). Ceyhan Nehri'ndeki balık popülasyonlarında göçlerin, habitat tercihlerinin ve balık geçitlerinin etkinliklerinin belirlenmesi. TÜBİTAK 112T266 Nolu Proje Sonuç Raporu, 181 s.

Alp, A., Akyüz, A., Özcan, M. & Yerli, S. (2020). Efficiency and Suitability of the Fish Passages of River Ceyhan, Turkey. *Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research*, 6(1), 1-13. <https://doi.org/10.17216/limnofish.618924>

Anonim. (2009). Balık geçitleri Tasarım, boyutlandırma ve izleme. DSİ yayını, 118s, Ankara.

Aslıyüksek, H.O. (2014). Ekolojik denge suyu debisinin balık geçitleri yönünden değerlendirilmesi: Rize İlindeki hidroelektrik santrallere uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE.

Baydar, Ş. (2014). Doğu Akdeniz Bölgesindeki balık geçit sistemlerinin yapısal özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, TÜRKİYE.

- Bless, R., Lelek, A. & Waterstraat, A. (1994). Rote Liste und Artenverzeichnis der in Deutschland in Binnengewässern vorkommenden Rundmäuler und Fische, Cyclostomata und Pisces: 137-156. Nowak, E., Blab, EJ & Bless.
- Boiten, W. (2002). Flow Measurement Structures. *Flow Measurement and Instrumentation*, 13(5-6), 203–207.
- Bunt, C.M., Castro-Santos, T. & Haro, A. (2012). Performance of fish passage structures at upstream barriers to migration. *River Res. Appl.* 28(4), 457–478. <https://doi.org/10.1002/rra.1565>
- Bülbül, O. (2019). Yukarı Ceyhan havzasındaki iki farklı balık geçidinin performanslarının biyolojik ve hidrolojik açıdan incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, TÜRKİYE.
- Can, M.C. (2022). Dikey yarıklı balık geçitlerinin deneysel ve sayısal modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, TÜRKİYE.
- Chanson, H. & Gonzalez, C. (2024). Downstream fish passage on dam spillway: Low fish mortality rate at Paradise Dam stepped spillway. *Ecological Engineering*, 204, 107267. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2024.107267>
- Clay, C.H. (1995). Design of Fishways and Other Fish Facilities, second ed., Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
- Cooke, S.J., Paukert, C. & Hogan, Z. (2012). Endangered river fish: factors hindering conservation and restoration. *Endanger. Species Res.* 17, 179–191. <https://doi.org/10.3354/esr00426>
- Cooper, A.R., Infante, D.M., Daniel, W.M., Wehrly, K.E., Wang, L. & Brenden, T.O. (2017). Assessment of dam effects on streams and fish assemblages of the conterminous USA. *Science of The Total Environment*, 586, 879–889. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.067>
- Cooper, A.R., Infante, D.M., O’Hanley, J.R., Yu, H., Neeson, T.M. & Brumm, K.J. (2021). Prioritizing native migratory fish passage restoration while limiting the spread of invasive species: A case study in the Upper Mississippi River. *Science of The Total Environment*, 791, 148317. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148317>
- Ekren, M.G. (2015). Evaluation of Fish Passage Design: A Case Study in Vereinigte Weißeritz River, M.Sc. Thesis, İstanbul Technical University, İstanbul, TÜRKİYE.
- Eroğlu, M., Düşükcan, M. & Çoban, M. Z. (2022). Perisuyu Çayı Üzerindeki Hidroelektrik Santraller ve Etkilenmesi Muhtemel Balık Türleri. *Dünya Sağlık Ve Tabiat Bilimleri Dergisi*, 5(2), 142-150. <https://doi.org/10.56728/dustad.1225091>
- Grimardias, D., Chasserieu, C., Beaufils, M. & Cattaneo, F. (2022). Ecological connectivity of the upper Rhone River: Upstream fish passage at two successive large hydroelectric dams for partially migratory species. *Ecological Engineering*, 178, 106545. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106545>
- Kadioğlu, C. (2010). Balık geçitlerinin sayısal analiz ile modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE.
- Knott, J., Mueller, M., Pander, J. & Geist, J. (2023). Bigger than expected: Species- and size-specific passage of fish through hydropower screens. *Ecological Engineering*, 188, 106883. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106883>
- Kocabaş, M., Başçınar, N., Kutluyur, F. & Aksu, Ö. (2013). HES’ler ve Balıklar. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, (1), 128-131.

- Köse, A.E. (2021). Hidroelektrik Santrallerde Balık Geçitleri Sorunları: Gümüşhane ve Bayburt Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane, TÜRKİYE.
- Larinier, M., Travade, F. & Porcher, J.P. (2002). Fishways: Biological Basis, Design Criteria and Monitoring. *Bulletin Francais de la Peche et de la Pisciculture*, 364: 208.L
- Mallen-Cooper, M. G. (1996). Fishways and freshwater fish migration on SouthEastern Australia, Doctoral dissertation, University of Technology Sydney, Sydney, AUSTRALIA.
- Lonnebjerg, N. (1980): Fiskepas af Modströmstypen. – Ingeniörhöjskolen – Horsens Teknikum.
- Magaju, D., John Montgomery, J., Franklin, P., Baker, C. & Friedrich, H. (2023). Machine learning based assessment of small-bodied fish tracking to evaluate spoiler baffle fish passage design. *Journal of Environmental Management*, 325, 116507. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116507>
- Meşe, A. (2019). Hydraulic design of Borland fish lock for Ordu Turnasuyu hydro electric power plant, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE.
- O'Connor, J.E., Duda, J.J. & Grant, G.E. (2015). 1000 dams down and counting. *Science*, 348, 496–497. <https://doi.org/10.1126/science.aaa9204>
- O'Connor, J., Hale, R., Cooper, M. M., Cooke, S.J. & Stuart, I. (2022). Developing performance standards in fish passage: Integrating ecology, engineering and socio-economics. *Ecological Engineering*, 182, 106732. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106732>
- Öner, A.A. & Sorgucu, O. (2016). Havuzlu Balık Geçidi Hidroliğinin Deneysel İncelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(2), 168-176. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.295563>
- Özkaya, K. (2014). Numerical simulation of free surface flows at fish passages, Yüksek lisans tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE.
- Roscoe, D.W. & Hinch, S.G. (2010). Effectiveness monitoring of fish passage facilities: historical trends, geographic patterns and future directions. *Fish Fish.* 11(1),12-33. doi: 10.1111/j.1467-2979.2009.00333.x
- Sanchez-Perez, A., Torralva, M., Zamora-Marin, J.M., Bravo-Cordoba, F.J., Sanz- Ronda, F.J. & Oliva-Paterna, F.J. (2022). Multispecies fishways in a Mediterranean river: contributions as migration corridors and compensatory habitat for fish. *Sci. Total Environ.*, 830, 154613. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154613>
- Silva, A.T., Lucas, M.C., Castro-Santos, T., Katopodis, C., Baumgartner, L.J., Thiem, J.D., Aarestrup, K., Pompeu, P.S., O'Brien, G.C., Braun, D.C., Burnett, N.J., Zhu, D.Z., Fjeldstad, H., Forseth, T., Rajaratnam, N., Williams, J.G. & Cooke, S.J. (2018). The future of fish passage science, engineering, and practice. *Fish Fish.*, 19, 340–362. <https://doi.org/10.1111/faf.12258>
- Sorgucu, O. (2016). Balık geçitlerinin hidrolik açıdan değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, TÜRKİYE.
- Sun, J.J., Tan, J.J., Zhang, Q., Shen, Y.T., Shi, J.Y., Zhang, H. & Shi, X.T. (2023). Attraction and passage efficiency for salmonids and non-salmonids based on fishway: a meta- analysis approach. *River Res. Appl.* 39 (10), 1933–1949. <https://doi.org/10.1002/rra.4194>
- Tan, J., Sun, J., Wang, Y., Tian, H., Cheng, B., Qing, J., Yan, X., Sun, G., Ke, S., Kattel, G.J. & Shi, X. (2024). Fish community dynamics following the low-head dam removal and newly installed fish passage in a

headstream tributary of Jinsha River, Southwest China. *Science of the Total Environment*, 954, 176774. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176774>

Tüfek, Ö.M. (2009). Balık Geçitleri-Tasarım, Boyutlandırma ve İzleme, DSİ Yayınları, Ankara, Türkiye.

Twardek, W.M., Landsman, S.J. & Cooke, S.J. (2022). Collaboration between fish passage scientists and engineers: Insights from an international questionnaire. *Journal of Environmental Management*, 323, 116268. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116268>

Üçüncü, E., & Altındağ, A. (2012). Balık Geçitleri ve Tasarımı Üzerine Genel Bir Bakış. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 15(2), 50-58. <https://doi.org/10.18016/ksujns.23576>

Wang, J., Baoligao, B., Mu, X., Qie, Z. & Li, G. (2024). A coupled machine-learning-individual-based model for migration dynamics simulation: A case study of migratory fish in fish passage facilities. *Ecological Modelling*, 498, 110899. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2024.110899>

Yıldırım, Y. (2018). Video analysis based fish detecton and tail beat frequency estimation in fishways, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE.