

Ziraat, Orman ve Su Ürünleri : Teori, Metodoloji ve Uygulama

Editörler

**Prof. Dr. Nigar Yarpuz Bozdoğan
Prof. Dr. Ali Musa Bozdoğan**

Ziraat, Orman ve Su Ürünleri Teori, Metodoloji ve Uygulama

Editörler

Prof. Dr. Nigar Yarpuz Bozdoğan

Prof. Dr. Ali Musa Bozdoğan

İmtiyaz Sahibi
Platanus Publishing®

Editörler
Prof. Dr. Nigar Yarpuz Doğan & Prof. Dr. Ali Musa Bozdoğan

Kapak & Mizanpaj & Sosyal Medya
Platanus Yayın Grubu

Birinci Basım
Ekim, 2025

Yayımcı Sertifika No
45813

ISBN
978-625-6517-49-3

©copyright
Bu kitabın yayım hakkı Platanus Publishing'e aittir. Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin alınmadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Adres: Natoyolu Cad. Fahri Korutürk Mah. 157/B, 06480, Mamak,
Ankara, Türkiye.

Telefon: +90 312 390 1 118
web: www.platanuspublishing.com
e-mail: platanuskita@gmail.com



Platanus Publishing®

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1	5
Lipya Çiminin (<i>Phyla canescens</i> (Kunth) Greene) Özellikleri ve Kurakçıl Peyzajda Kullanımı	
Salih Parlak & Kamil Erken	
BÖLÜM 2	29
Meyve Yetiştiriciliğinde Bor Elementinin Önemi	
Selma Boyacı & Fatma Günden Demir & Nihan Tazebay Asan	
BÖLÜM 3	47
Bitki Virüslerinin Epidemiyolojisi ve Coğrafi Yayılım Haritalaması	
Yağmur Türkmen	
BÖLÜM 4	69
Küçükbaş Hayvanlarda Ebeveyn Tayini	
Özlem Durğun & Selahaddin Kiraz	
BÖLÜM 5	83
Yabancı Ot Mücadelesinde Yeni Bir Yaklaşım: Püskürtülebilir Sıvı Malç	
Ahmet Tansel Serim	
BÖLÜM 6	95
CPUE Standardizasyonu: Kuramsal Temeller, Uygulama Yöntemleri ve Balıkçılıkta Kullanım Pratikleri	
Tevfik Ceyhan	
BÖLÜM 7	119
Sıcaklık Stresinin ve İklim Değişikliğinin Bitkisel Sistemler Üzerindeki Etkileri	
Ecem Kara & Gökhan Baktemur	
BÖLÜM 8	133
Orman Deposundaki Stok Envanterinde İHA Fotogrametrisi Kullanımı	
Hakan Durgun & Hande Helvacı & Mehmet Eker	

BÖLÜM 9..... 149

**İHA Fotogrametrisiyle Eğim Sınıflarına Göre Orman Yollarının
İşletmeye Açma Kapasitesinin Belirlenmesi**

Hakan Durgun & İrem Feyza Sarıkaya & Mehmet Eker

BÖLÜM 10..... 171

Bitkilerde Kuraklık Stresine Karşı Tolerans Mekanizmaları

Gökhan Baktemur & Ecem Kara

BÖLÜM 11..... 187

**Guibourtia ehie (Gonfolo) ve Pterygota macrocarpa (Koto)
Odunlarında Parlaklık, Sertlik ve Renk Özellikleri Üzerine Isıl İşlemin
Etkileri**

Hikmet Yazıcı



BÖLÜM 1

Lipya Çiminin (*Phyla canescens* (Kunth) Greene) Özellikleri ve Kurakçıl Peyzajda Kullanımı

Salih Parlak¹ & Kamil Erken²

1.GİRİŞ

Küresel ısınma, iklim değişikliği ve kuraklık gibi önemli çevresel sorunların ortaya çıkmasına yol açmakta ve bu durum, şehirlerin peyzaj düzenlemelerine yönelik yeni yaklaşımların geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu yeni peyzaj anlayışında, daha fazla su ve bakım gerektiren egzotik bitki türleri yerine, doğal ekosistemlerde bulunan ve binlerce yıl boyunca yerel iklim ve toprak koşullarına adapte olmuş yerel bitki türlerinin kullanımına öncelik verilmektedir. Bu yaklaşım, su tüketiminin azaltılması, bakım maliyetlerinin düşürülmesi ve sürdürülebilir bir peyzaj ortamının sağlanması hedeflerini gütmektedir. Kurakçıl peyzaj uygulamaları, gelecekte bir tercih olmaktan ziyade, kuraklığın kaçınılmaz etkilerini azaltmak için zorunluluk haline gelecektir.

Türkiye açısından değerlendirildiğinde, küresel ısınmanın en şiddetli etkilerinin yaşanacağı bölgelerden biri Akdeniz Havzası olarak öne çıkmaktadır. Bu havzada yer alan Türkiye'nin özellikle yarı kurak alanlarının artacağı öngörülmektedir. Küresel ısınmanın 1°C artması durumunda, güneydeki kurak kuşakların yaklaşık 250 km kadar kuzeye kayması beklenmektedir (Şen, 2009). Küresel ısınmaya paralel olarak, artan nüfus ve gıda talebi, sınırlı tatlı su kaynaklarının daha verimli bir şekilde kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Son yıllarda yaşanan şiddetli kuraklık, düzensiz yağışlar ve kırsal nüfusun şehir merkezlerine göçü, şehirlerin içme ve kullanma sularında çeşitli sorunların ortaya çıkmasına neden olmuştur. 2007-2008 yılları arasında yaşanan büyük kuraklık döneminde, Türkiye'nin bazı büyük şehirlerinde su kıtlığı belirgin bir şekilde hissedilmiştir (Krellenberg ve Turhan, 2017). Gelecek yıllarda gerekli önlemler alınmadığı takdirde, su kesintilerinin yaşanması kaçınılmaz bir durum haline gelecektir.

¹ Doç. Dr., Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü – Bursa/Türkiye. Orcid ID:0000-0003-3808-3297

² Doç. Dr., Bursa Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü-Bursa/Türkiye. Orcid ID: 0000-0003-3492-7683

Türkiye, kuraklığın olumsuz etkilerinden önemli ölçüde etkilenmektedir. Ülke, yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılık ve yağışlı geçen Akdeniz ikliminin karakteristik özelliklerine sahip olması nedeniyle, dünyanın yarı kurak iklim kuşağında yer almaktadır (Deniz, 2009). Yaz mevsiminde yaşanan kurak ve sıcak koşullar, Türkiye'nin büyük şehirlerindeki çim alanlarında önemli miktarda su kullanımına yol açmaktadır. Bununla birlikte, küresel iklim değişikliğinin bir sonucu olarak ortaya çıkan kuraklığın çim alanları üzerindeki etkisi kaçınılmazdır (Kutlu ve Eroğlu, 2023). Küresel ısınmayla birlikte kuraklıkların süresi ve şiddeti artmakta; bu durum, kuraklığın zamanını, nerede meydana geleceğini ve ne kadar süreceğini tahmin etmeyi zorlaştırmaktadır. Bu bağlamda, sürdürülebilir su yönetim planlarının geliştirilmesi ve uygulanması gereklidir (Devitt ve Morris, 2008). Şehirlerde içme ve kullanma suyu olarak tatlı su kaynaklarının yaklaşık %12'si kullanılmakta (Eylem Planı 1) ve kentlerdeki yeşil açık alanlar yüksek miktarda su tüketmektedir. Şehirlerdeki yeşil alanların sürdürülebilirliği için önemli miktarda temiz tatlı suya ihtiyaç duyulmakta; özellikle yeşil açık alanların bozulmaması için iklim ve bölgelere göre her gün sulanması gerekmektedir. Bu sulamalar, ciddi oranda tatlı su kaynaklarının tüketilmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla, suyun giderek sınırlı ve maliyetli hale gelmesi, çim alanlarında su tasarrufunu son derece önemli kılmaktadır (Beard ve Kenna, 2008). Çimler, susuzluğa dayanıklı değildir (Açıkgöz, 1994) ve yeterli su verilmediğinde görsel kalitesi düşmekte ve kuruyabilmektedir. Çimler genellikle peyzajda su israf eden bitkiler olarak algılanmaktadır (Devitt ve Morris, 2008). Su tüketimi, bölge, iklim şartları ve türlere göre değişiklik göstermekte; genel olarak günde 2.5-7.5 mm arasında su tüketimi olduğu kabul edilmektedir. Havanın sıcak ve nispi nemin düşük olduğu yaz aylarında günlük su tüketimi 10 mm'yi geçebilmektedir (Açıkgöz, 1994). Yaz dönemini yağışsız veya az yağışlı geçiren bölgelerde çimlerin yaz sezonunda mutlaka sulanması gerekmektedir (Carr, 2019).

Su mevcudiyeti giderek sınırlı ve maliyetli hale geldiği için çimlerin sulamasında tasarruf yapmak önemli bir hale gelmiştir (Huang, 2008). Çim alanlardan vazgeçilmesi, kentsel peyzajda su kullanımını azaltmanın bir yolu olarak değerlendirilmektedir (Devitt ve Morris, 2008). Bu düşünce artı ve eksileriyle sorgulanması gereken bir konudur. Çim alanların kentsel ısı adası etkisini azaltma ve insan yaşam kalitesi üzerindeki olumlu etkilerini doğrudan yok sayma anlamına gelir. Alternatif düşünce olarak, çim alanlarda su tüketiminin azaltılması amacıyla çeşitli stratejilerin geliştirilmesi gerekmektedir. Kuraklık nedeniyle sürdürülebilir çim kalitesinin sağlanması için kuraklığa dayanıklı tür ve çeşitlerin kullanımı,

doğal bitki örtüsüne uygun türlerin tercih edilmesi, suyun kısıtlı olduğu bölgelerde su tüketiminin azaltılması ve su kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılması gibi stratejiler uygulanabilir (Kutlu ve Eroglu, 2023). Bir peyzaj alanında su gereksinimini belirleyen temel unsurlar, toprak yapısı, kullanılan türler, boyutları ve yoğunluğudur (Devitt ve Morris, 2008). Kentsel peyzajlar için su tasarrufu programlarına odaklanmak, önemli miktarda tasarruf sağlayabilir. Çimlerin büyüme özellikleri ve kök yapısı da su harcamalarını etkileyen faktörlerdir. Yayılıcı büyüme karakterine sahip rizomlu ve stolonlu türler, genellikle dik büyüme özelliğine sahip türlerden, kuvvetli kök yapısına sahip sıcak iklim türleri daha yüzeysel kök yapısına sahip serin iklim türlerinden daha düşük su tüketimine sahiptir. Diğer taraftan genel olarak, dik sürgün uzama özelliğine sahip çim türleri, yaprak alanının artışı ve buharlaşma nedeniyle, daha yavaş büyüyen veya cüce tipli olanlardan daha yüksek su kullanmaktadır (Shearman ve Beard, 1973; Kim ve Beard, 1988; Huang, 2008). Çoğu çim türünde biçim işlemleri, 5-7 gün aralıklarla yapılması uygun kabul edilmektedir. Büyümenin hızlı olduğu ilkbahar ve sonbahar aylarında biçme aralığı 4-5 güne düşerken, yaz aylarında bu süre 10-15 güne kadar çıkabilmektedir (Açıkgöz, 1994). Çim alanlarına karşı olanlar, çim yetiştirmeyi zaman, para ve kaynak israfı olarak değerlendirmekte, çimlerin “yerel türlerle” tamamen değiştirilmesini önermektedir (Fender, 2008).

2. ALTERNATİF DOĞAL YER ÖRTÜCÜ BİTKİLER

Dünya genelinde ortalama sıcaklıkların artışı, buharlaşma oranlarını yükselterek kuraklık koşullarını daha da kötüleştireceği öngörülmektedir. Yüksek sıcaklıklar, açık alanlardaki bitkilerin su kaybını artıracak ve su ihtiyaçlarını yükseltecektir (Küçükbaş ve ark., 1997; St. Hilaire ve ark., 2008). İklim değişikliği, hava koşullarını etkilemeye devam ettikçe, sürdürülebilir peyzaj uygulamalarının önemi giderek artmaktadır. Su kıtlığı ile başa çıkmanın etkili bir yolu, peyzaj uygulamalarında kuraklığa dayanıklı bitkilerin kullanılmasıdır (Kurapia, 2025). Yeşil alan tasarımında dikkate alınması gereken önemli bir husus, farklı iklimlerde mevsimsel değişikliklere uyum sağlayabilen bitkilerin seçilmesidir (Zarei ve Babarabie, 2024). Bu nedenle, gelecekte daha da şiddetlenecek olan kuraklığa karşı, özellikle kurak veya yarı kurak bölgelerde doğa ile uyumlu sürdürülebilir peyzaj tekniklerinin uygulanması kaçınılmaz bir zorunluluk haline gelmektedir. Kurakçıl peyzaj anlayışında, sıcak ve kurak bölgelerde uygun bitki türlerinin seçimi, çim kullanımının sınırlandırılması, sulama ihtiyacına göre bir dikim sırasının izlenmesi, eğimli alanlarda teraslama yapılması ve su ihtiyacı yüksek olan türlerin daha gölge alanlara dikilmesi

gibi temel prensipler ön plandadır (Wade ve ark., 2002; Çorbacı ve ark., 2011).

Kuraklığa dayanıklı çim türleri ve çeşitlerinin kullanımı, suyun kısıtlı olduğu bölgelerde su tüketimini azaltmak ve su kaynaklarını etkin bir şekilde kullanmak için en önemli stratejilerden biri olarak kabul edilmektedir (Carrow ve ark., 1990). Kuraklık nedeniyle sürdürülebilir çim kalitesinin artırılması için yeni stratejilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu stratejiler arasında alternatif çim türlerinin seçimi, daha az sulama suyu kullanımı ve kuraklığa dayanıklı türlerin yanı sıra doğal bitki örtüsüne uygun türlerin tercih edilmesi bulunmaktadır (Kutlu ve Eroglu, 2023). Çim alanlarının tasarımı, çim yerine daha az bakım gerektiren ve doğal bir görünüm sunan doğal türlerden oluşan bitki örtüsünün tercih edilmesi önerilmektedir. Kavuran ve Yılmaz (2022) ile Çakar (2021), çim alanlarının ekolojik ve ekonomik zararlarının faydalarından çok daha fazla olduğunu belirterek, çim yerine daha az sulama, ilaçlama ve gübreleme gerektiren çayır bitkileri veya yer örtücülerin kullanılmasını önermektedir. Örneğin, *Dichondra repens* (Fare kulağı), *Cerastium tomentosum* (Yazkari), *Trifolium repens* (Ak üçgül), *Vinca major* (Cezayir menekşesi), *Pachysandra terminalis* (Japon süpürgesi), *Thymus vulgaris* L. (Adi kekik), *Ruschia lineolata* (Yıldız halısı) ve *Arenaria verna* (İrlanda yosunu) gibi bitkiler, az su ihtiyacı ve biçim gerektirmemeleri nedeniyle çim yerine kullanılabilecek yer örtücü bitkiler arasında önerilmektedir (Küçükbaş ve ark., 1997; Özgüç Sakar ve ark., 2024). Birçok yer örtücü bitki çok yıllık olduğundan her yıl yeniden dikilmesine gerek olmaması iş gücü maliyetlerini azaltmaktadır (Marble ve ark., 2017). Yer örtücü bitkilerin daha fazla biomas ürettikleri için bazı açılardan estetik ve fonksiyonel olarak katkısı çimlerden daha fazladır; toz ve kirleticileri filtreleyerek havayı temizler, çevrenin aşırı ısınmasını ve kurumasını önler, hava tazeliliğini korur ve çevresel kirliliği azaltmada önemli bir rol oynar. Ayrıca, yabancı otların büyümesini kontrol eder ve toprak erozyonunu en aza indirirler (Amoroso ve ark., 2009; Foo ve ark., 2011; Zarei ve ark., 2018). Yer örtücü bitkiler, mevsimsel renk değişimleri, çeşitliliği ve çiçekleri ile çimlerden daha doğal ve çekici bir görsellik sunmaktadır. Ayrıca otoyollar boyunca kötü koşulların olduğu, çim kullanmanın çok zor yada imkansız olduğu, kazı ve dolgu şevlerinde oluşan dik yamaçlarda, dayanıklı ve uyumlu yer örtücü bitkilerle yeşil, doğal ve estetik bir alan oluşturmak mümkündür (Rezaei ve Zabihi, 2015). Özellikle otoyollarda, her iki kenarda bırakılan boş alanlar ve orta refüjdeki otlama yangın riski oluşturmakta; atılan sigaralardan kaynaklanan otoyol yangınları önemli bir tehlike teşkil etmektedir. Bu otl alanların ve orta refüjün *Lipya çimi* ve

benzeri dayanıklı yerörtütlerle kaplanması, yangın riskini azaltacaktır (Şekil 1).



Şekil 1. Yol şevlerinde doğal haline bırakılan alanlarda yangın riski yüksek alanlar

Kuraklığa dayanıklı birçok yer örtücü, toprak stabilizasyonu sağlayan ve erozyonu önleyen derin ve geniş kök sistemlerine sahiptir. Kuraklığa dayanıklı zemin kaplaması ve çim türlerinin alternatifleri arasında yer alan Lipya çimi (*Phyla canescens* (Kunth) Greene) geniş bir renk, doku ve büyüme alışkanlığı yelpazesine sahiptir. Bodur kekik türleri (*Thymus* spp) damkorukları (*Sedum* spp) ve lavantalar (*Lavandula* spp) gibi bitkiler, bahçelere görsel derinlik katan etkileyici peyzaj oluşturabilirler. Kuraklığa dayanıklı farklı yer örtücülerin yerörtücü olarak kullanılması, biyoçeşitliliği artırma potansiyeline de sahiptir (Küçükbaş ve ark., 1997; Kurapia, 2025).

Peyzajın görsel kalitesi, ışık, sıcaklık ve nem gibi çevresel faktörlerden etkilenmektedir. Peyzajın ihtiyaçları karşılandığı sürece, yüksek görsel kalitesini sürdürebilir (Zarei ve Babarabie, 2024). Bu bağlamda, çim alanlarının görsel kalitesinin sağlanması ve korunması için düzenli sulama, biçim ve bakım yapılması gereklidir. Çim alanları, diğer vejetasyon örtülerine oranla daha fazla sulama ihtiyacı duyar ve genellikle daha fazla bakım gerektirir. Bu nedenle, çim alanlar daha çok estetik odak noktaları ve rekreasyon alanlarının zeminlerinde fonksiyonel kullanımlar için tercih edilmelidir (Barış, 2007; Çakıroğlu, 2011). Kuraklığa dayanıklı yerörtücülerin kullanımı, su tasarrufu açısından önem taşımaktadır. Su, kötü toprak veya iklim koşullarının kaliteli çim alanları oluşturmadaki sınırlayıcı faktörler olduğu bölgelerde, milyonlarca yıl süren doğal seleksiyondan geçmiş yerel türler peyzaj düzenlemeleri açısından büyük

potansiyeye sahiptir (Fender, 2008). Çim türlerinin kullanımının gerekli olduğu durumlarda, daha az suya ihtiyaç duyan ve kuraklığa daha dayanıklı türlerin seçilmesi önerilmektedir (Çakıroğlu, 2011; Rabbani ve Kazemi, 2015). Kuraklık dayanıklılığına sahip çim türleri ve çeşitlerinin seçimi, kuraklık stresi azaltılmasına ve çim kalitesi ile işlevindeki düşüşü önlemeye yardımcı olmaktadır. Su tasarrufu sağlayan peyzajlar uzun zamandır teşvik edilmektedir (St. Hilaire ve ark., 2008). Aşırı su tüketen ve bakım yapılmadığında görselliğini kaybeden çim alanları yerine kuraklığa dayanıklı yer örtücülerin kullanımı, kurakçıl peyzaja uygun bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Yer örtücülerin vejetatif büyüme özellikleri, peyzajda kullanımını etkileyen önemli bir faktördür. Kaplama yeteneği ve estetik çekicilik, büyük ölçüde bitkinin vejetatif büyüme hızına bağlıdır (Zarei ve ark., 2018; Zarei ve Babarabie, 2024).

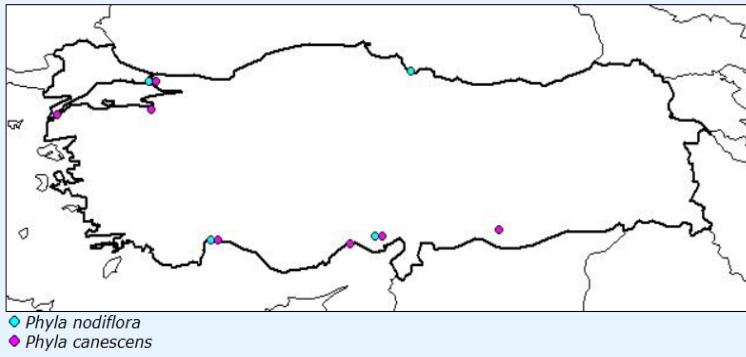
Hava koşullarının giderek daha düzensiz hale geldiği günümüzde, peyzaj uygulamalarına kuraklığa dayanıklı yer örtücülerini eklemek, peyzajın dayanıklılığını artırabilir. Bu bitkiler, kuraklık, sıcaklık ve yoğun yağış dönemlerini daha iyi yönetebilir; zorlu iklim koşullarına rağmen peyzajın canlı ve sağlıklı kalmasını sağlar. Kuraklığa dayanıklı bitkilerle oluşturulan peyzaj alanları, başlangıçta bir yatırım maliyeti gerektirebilir; ancak uzun vadede su ve bakım maliyetlerinde önemli tasarruflar sağlayabilir. Ayrıca, bu bitkilerin çoğu çok yıllık olduğundan, her yıl yeniden dikim yapılmasına gerek bulunmamaktadır (Kurapia, 2025).

2.1.Lipya Çimi (*Phyla canescens* (Kunth) Greene)

Ülkemizin zengin bitki çeşitliliği içinde, kurak ve yarı kurak alanlarda yayılış gösteren birçok doğal tür bulunmaktadır. Bu türlerin bir kısmı, kurakçıl peyzajda kullanılabilecek yer örtücü bitkilerdir. Çim alanlara alternatif olarak kullanılabilecek doğal türlerden biri *Phyla canescens* (Kunth) Greene'dir. Bu tür *Phyla* spp cinsinin Türkiye'de doğal yayılışı olan iki türünden biridir. Literatürde sinonim olarak *Lippia canescens* Kunth olarakta isimlendirilmektedir. *Phyla nodiflora* (L.) Greene Samsun, İstanbul, Adana ve Antalya florasında doğal olarak yayılışı olan bir tür iken *Phyla canescens* (Kunth) Greene, İstanbul, Bursa, Çanakkale Antalya, İçel, Adana Şanlıurfa illeri florasında doğal yayılışı olan bir türdür (Şekil 2.) (TÜBİVES, 2025) *Phyla* spp türleri Türkçe olarak "Lipya çimi" olarak isimlendirilmektedir (Küçükbaş ve ark., 1997). Kaliforniya halı otu olarak bilinen (*Phyla repens*), Şili'ye özgü bir bitki olup Pasifik Kıyısı'na tanıtılmış ve geniş ölçüde çim bitkisi olarak yetiştirilmiştir (Pellett, 1920). Ilıman iklimten tropik bölgelere kadar yayılım göstermektedir (O'Leary ve Múlgura, 2011). *Phyla cinsi* (Verbenaceae) yaklaşık 200 tür içermektedir. Bu türler esas olarak Güney ve Orta Amerika ile Tropik Afrika

bölgelerinde yayılım göstermektedir (Terblanche ve Kornelius, 1996; Pascual ve ark., 2001). *Phyla spp* cinsi türleri çok yıllık, geniş yapraklı bitkilerdir (DiTamaso ve Healy, 2007) ve Güneybatı Amerika'da çim yerine kullanılmaktadır. Avustralya'da da çim olarak kullanılmasına rağmen, yaygın olarak istilacı bir tür olarak kabul edilmektedir (Roberts ve Marston, 2011; Patton ve Law, 2017). Avustralya'daki artan yoğunluğu ve dağılımı, biyoçeşitlilik ile su kenarı alanları için büyük bir tehdit olarak algılanmaktadır (Julien ve ark., 2004; Sosa ve ark. 2008). *Phyla. canescens*, Fransa, İspanya, İtalya, Cezayir, Botswana, Senegal, Mısır, Güney Afrika, Yeni Zelanda ve Avustralya'da doğal hale geçmiştir (Kennedy, 1992; Sosa ve ark. 2008). Avustralya'nın büyük bir kısmını işgal eden bu bitki, toprakta sürünerek ilerlediği için diğer türlerin yaşamasına izin vermeyen sık bir örtü oluşturur. Bu nedenle, doğal kıyı ormanlarının gençleşmesini engellediği düşünülmektedir (Earl, 2003; Crawford, 2008; Galea, 2014). Ülkemizin doğal yayılış gösterdiği alanlarda yapılan gözlemlerde ise bu bitkinin istilacı özellik gösterdiği belirlenmemiştir.

Lipya çiminin (*Phyla canescens*) çeşitli çevresel koşullara uyum sağlama yeteneği ve düşük bakım gereksinimleri, bu bitkinin hem tıbbi hem de süs bitkisi olarak değerini artıran önemli özelliklerdir. Genellikle yer örtücü olarak kullanılmakta, kolay yetişmesi, uyumu ve estetik görünümü nedeniyle tercih edilmektedir (Abhishek ve Sangeeta, 2024).



Şekil 2. TÜBİVES veri tabanına göre Lipya çimi türlerinin (*P. nodiflora* ve *P. canescens*) Türkiye florasındaki dağılımları

Lipya, yatay yönde büyüyen, çok yıllık, geniş yapraklı bitki olup, zemin yüzeyini etkili bir şekilde kaplama yeteneğine sahiptir. Hem vejetatif hem de generatif olarak çoğalan Lipya'nın tohum çimlenme oranı yaklaşık %27 olarak belirlenmiştir (Xu ve ark., 2012). Eğilimli alanlarda erozyon kontrolü sağlama konusundaki etkili gelişimi ile dikkat çekmektedir (Kurapia Blogspot, 2015). Lipya, yaklaşık 7.5 cm yüksekliğe ulaşmakta ve

düzenli biçim gerektirmemektedir (Che ve ark., 2012). Ilıman bölgelerde kış aylarında yeşil kalması, biraz daha serin iklimlerde kış döneminde yapraklarındaki renk bozulmasına rağmen bahardaki hızlı rejenerasyon özelliği, bu bitkinin yeniden tesis edilmesine gerek kalmadan çok yıllık olarak kullanımını mümkün kılmaktadır (Chamberland, 2024). Susuzluğa karşı yüksek bir dayanıklılığa sahip olan Lipya çimi, tropik, sıcak ve ılıman Akdeniz iklimlerinde hızlı bir şekilde büyümektedir. *Phyla spp* genellikle deniz kenarları veya nehir kenarlarında ıslak alanları tercih etmektedir (Sharma, 2018). Ülkemizde Karadeniz, Marmara ve Akdeniz kıyı şeridinde doğal olarak yayılan Lipya çimi (*Phyla canescens*), kurak ve yarı kurak bölgelerde çime alternatif olarak değerlendirilebilecek bir türdür. Kuraklığa dayanıklı bir yer örtücüsü olan Lipya çimi, estetik ve sürdürülebilir bir peyzaj oluşturma potansiyeline sahiptir. Su tasarrufu sağlamanın yanı sıra, bakım maliyetlerini azaltarak biyoçeşitlilik ve toprak sağlığını artırma gibi birçok fayda sunmaktadır (Kurapia, 2025).

2.2. Lipya Çiminde Basılma ve Çiğnenmeye dayanım

Çim alanlarında basılma ve çiğnenmeye dayalı sıkıntılarla sıkça karşılaşılan sorunlardandır. Yol kenarı yeşil bantlar, parklar ve çocuk oyun alanları gibi yoğun çiğnenen yerlerde çim örtüsü büyük ölçüde zarar görmektedir. Çim bitkileri, basılma ve çiğnenmeye karşı dayanıklılık açısından önemli farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar, türlere, çim alanının niteliğine, çevresel koşullara ve basılma yoğunluğuna bağlı olarak değişiklik arz etmektedir. Özellikle yaz aylarında bitkilerin dormant dönemine girmesi ile basılma dayanıklılığı azalmaktadır (Açıkgöz, 1994).

Lipya çimi, basılma açısından buğdaygil çim türlerinden daha dayanıklıdır ve her boğumdan köklenme özelliği sayesinde hasar gören kısımlarını hızla onarabilmektedir. Bu özelliği, tahrip olan alanı hızlı bir şekilde kapatma kapasitesini artırmaktadır. Hatta, kuraklığa ve basılmaya dayanıklılığı ile bilinen ayırık otu (*Agropyron repens*) ile karşılaştırıldığında, yaz kuraklıklarının şiddetli olduğu dönemlerde bile yeşil kalma özelliğini korumaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. İzmir şartlarında (sol) ve Bursa şartlarında (orta ve sağ) yaz aylarında araç park edilen alanda çiğnenmeye dayanıklı ve yeşil kalan Lipya ile sararmaya başlamış ayrık otları (*Agropyron repens*) görülmektedir (Orijinal).

2.3. Lipya Çiminin Büyüme ve Yayılma Özellikleri

Lipya çiminin (*Phyla canescens* (Kunth) Greene), yayılmacı çok yıllık bitki türüdür ve gövde boğumlarından köklenme özelliği bulunmaktadır. Yatay büyüyen bu çok yıllık otsu bitki, 50-80 cm derinliğe kadar salabilmektedir. Her boğumdan gelişen saçak kökleri ile sürünücü gövdeler oluşturur (Julien ve ark., 2003; Julien ve ark., 2004) Sürünücü kollar bir metreye kadar uzanabilmekte ve her boğumdan kökler oluşturmaktadır (Şekil 4). *Lipya çiminin oluşturduğu* kalın örtü diğer bitkiler, otlar, çalılar veya ağaçların gelişimini engelleyebilmektedir (Crawford, 2008; Earl, 2003; Galea, 2014). 50 cm aralıklarla dikildiğinde, alanı yaklaşık 3-4 ay içinde kaplayabilmektedir. Sürgün parçalarıyla vejetatif yayılımı genellikle hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir (Lucy ve ark., 1995). *Lipya*, elverişli çevresel koşullar altında hızla yayılabilmekte ve genellikle içinde çok az veya hiç başka bitki türü bulunmayan yoğun bir çimsi örtü oluşturabilmektedir (McCosker, 1994). Uzun ömürlü bir bitki olup kuraklık dönemlerinde hayatiyetini sürdürme yeteneğine sahiptir.



Şekil 4. Lipya çiminin hiç sulama yapılmamış bir yamaçta yayılışı (Orijinal, Temmuz 2025) ve diğer yabancı otları yoğun kaplama özelliği ile baskılaması

Lipya, zemin örtüsü oluşturma amacıyla diğer bitki topluluklarıyla birlikte varlık gösterebilse de, genellikle monokültürel bir yapı sergilemektedir (Earl, 2003). Sarmal büyüme özelliği ve derin ana kökleri sayesinde rekabet avantajı elde eder. Kuraklık koşullarına dayanıklıdır ve uygun büyüme ortamı sağlandığında, boğumlu gövde yapısı ve yoğun yaprak örtüsü sayesinde toprağı kaplayarak diğer bitki türlerini baskılayabilir. Özellikle çim alanlarına yakın bir şekilde dikildiğinde, çimlerin üzerini kaplayarak gelişimlerini engellediği ve yerini aldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4). Lipya'nın allelopatik etkileri de bilimsel olarak

kanıtlanmıştır (Elakovich, 1987). Bu bitki, diğer bitkilerin büyümesini inhibe edebilen bileşenler üretmektedir; bu allelopatik etkiler, diğer türlerin baskılanmasında önemli bir rol oynayabilir (Elakovich, 1987; Lucy ve ark., 1995; Julien ve ark., 2003; Sharma, 2018). Tek yıllık yabancı otlar, yüksek miktarda tohum üretme kapasitesine sahiptir ve bu tohumlar hızla çim alanlara yayılabilir. Ayrıca, bu tohumlar uzun süre çimlenme yeteneğini koruyabilmekte olup, yabancı otlarla mücadelede önemli bir avantaj sağlamaktadır. Bu tohumlar, rüzgâr, su, hayvanlar ve insanlar aracılığıyla çim alanlara kolayca dağılabilir; bu durum, mücadelenin son derece zor olmasına neden olmaktadır (Açıkgöz, 1994). Lipya, yerleştiği alanda toprak yüzeyini tamamen kaplayarak yabancı otların gelişimini engeller ve çok yıllık otların çeşitliliğini ve yoğunluğunu azaltır (Leigh ve Walton, 2004). Hızlı yayılma ve yüzeyi iyi kapatma kabiliyeti sayesinde bulunduğu alanda diğer bitkilere karşı avantaj sağlar (Şekil 5) (Galea, 2014). Lipya'nın yayıldığı ve kapladığı alanlarda diğer türleri baskılaması, allelopatik etkisiyle desteklenmektedir ve bu durum, yabancı otlarla mücadelede önemli bir avantajdır.



Şekil 5. Orta kavşakta Lipya uygulaması (sol) ve biçim sonrası görünüm (sağ)

2.4. Kuraklık ve Soğuk Toleransı

Kuraklık direnci, bitkilerin kuraklık dönemlerine dayanabilme kapasitesini ifade etmektedir (Fender, 2008). Kuraklığa dayanıklı yer örtücü bitkilerinin en önemli avantajlarından biri, düşük nem koşullarında hayatta kalabilme yetenekleridir. Bu bitkiler, minimum nemle yaşamaya adapte olmuş ve sık sulama gereksinimi duymamaktadır. Kuraklığa dayanıklı çeşitlerin kullanımı, su tüketimini önemli ölçüde azaltabilir (Kurapia, 2025). İyi saçaklanmış ve derin bir kök sistemi, topraktan verimli su alımı için kritik öneme sahiptir. Derin ve yoğun kök sistemine sahip

bitkiler, topraktan daha iyi su alma kapasitesine sahiptir. Derin köklenme, yüzey toprağı kurduğunda bitkilerin toprak profilinin derinliklerinden su alarak su stresinden korunmalarını sağlar (Huang, 2008). Daha derin kök sistemlerine sahip bitkiler, nem için daha geniş bir toprak hacminden yararlanarak sulama veya yağmur kıtlığında daha uzun süre gelişimlerini sürdürebilirler (Shearman, 2008). Lipya, 80 cm'ye kadar kök geliştirme kapasitesine sahip olup, derin nem rezervlerine ulaşma yeteneğı göstermektedir (Julien ve ark., 2004). Derin kök sistemi sayesinde, kuraklık toleransını artırır ve toprak erozyonunu önler. Farklı toprak koşullarında ve dik yamaçlarda etkili bir şekilde yetişebilir; ancak en iyi sonuçları kumlu topraklarda vermektedir. Lipya'nın yoğun örtüsü ve derin kök sistemi, dik yamaçlarda bile mükemmel kuraklık toleransı ve toprak koruması sağlar (Şekil 6). Farklı toprak tiplerine ve koşullarına geniş bir tolerans gösterir. Lipya'nın yüksekliğı yaklaşık 8-10 cm olduğundan, sürekli biçilmeye ihtiyaç duymaz; ancak çiçeklere gelen arı popölasyonlarını azaltmak amacıyla 5 cm'ye kadar düzenli olarak biçilebilir (URL,1, URL 2). Düzenli ve bol sulama ile Lipya, yaklaşık 15 cm kadar boylanabilirken, su kısıtlı bir ortamda adeta toprak yüzeyine yapışık bir şekilde büyüyebilir ve biçim gerektirmeyebilir. Bu nedenle, çim alanlarına kıyasla bakım maliyetlerinin düşürölmesini sağlar.



Şekil 6. Lipya nın doğal ortamda yayılışı ve çiçeklenme dönemi

Lipya, derin kök yapısı sayesinde kuraklık koşullarına dayanıklı bir bitki türüdür ve USDA dayanıklılık zonlarından 7 ve üzeri için önerilmektedir (Patton ve Law, 2017). Bu bitki, yol kenarları ve kaldırım çatlakları gibi son derece olumsuz ortamlarda büyüyebilme yeteneğıne sahiptir. Mükemmel bir yer örtücü olarak değerlendirilmektedir (Gross ve ark., 2017; Sosa ve ark., 2017; Caceres ve ark., 2018; Cáceres ve ark., 2024). Şiddetli kuraklık koşullarında, diğer bitkilerin yok olduğu alanlarda Lipya'nın hayatta kalma yeteneğı dikkat çekmektedir (Julien ve ark., 2003). Kuraklık ve sürekli ayak basılmasına karşı gösterdiği dirençle bilinen Lipya, toprak altı sürgünleri üretmeyip kaldırılmak istendiğinde

kolayca topraktan sökülebilir. Yaz aylarında biçilmeden bırakıldığında aşırı boylanma eğiliminde değildir. Küçük ve gösterişli olmayan çiçekleri, bitkinin genel görünümünü olumsuz etkilemez; aksine, bu çiçekler cazip bir nektar kaynağıdır ve uzun çiçeklenme dönemi boyunca polinatörler tarafından yoğun bir şekilde ziyaret edilerek canlı bir ekosistem oluşturur (Fujino, 2015; Patton ve Law, 2017; Kurapia, 2025). Lipya, beyaz, pembe veya mor çiçekler açar ve kısa, dar yapraklarla toprak üstünü kaplayan sürünücü stolonlar aracılığıyla her boğumdan kök salarak yayılma gösterir (DiTamaso ve Healy, 2007). Hafif trafiği ve hafif gölgeyi tolere edebilse de, gölge altında iyi büyümekte ve bu nedenle gölge alanlara önerilmemektedir (URL 3).

Kış aylarında aşırı soğuk veya yaz aylarında aşırı sıcaklıklar, Lipya'nın gelişim hızını yavaşlatabilmektedir. Bu bitkinin -10 °C'ye kadar dayanabildiği belirlenmiştir. 7 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda iyi gelişim gösterirken, günlük ortalama sıcaklıkların 3 °C civarına düştüğünde büyümesi yavaşlamakta ve yarı dormant bir duruma geçmektedir (URL 1 ; URL 3). Bursa koşullarında -12 °C'de yaprakların zarar gördüğü, ancak ilkbaharda tekrar yeşerdiği gözlenmiştir. Lipya'nın tek olumsuz özelliği, aralık sonundan itibaren, aşırı don olayları meydana geldiğinde görünümünün değişmesi ve görsel kalitesinin bozulmasıdır. Böyle durumlarda kış aylarında birkaç hafta içinde mor-kahverengi bir renk alır. Mart sonunda tekrar yeşermeye başlamakta ve nisan ayında tüm bitkiler boş alanları kaplayarak kabul edilebilir bir görünüm kazanmaktadır (Fujino, 2015; Chamberland, 2024). Sıcak ve ılıman bölgelerde ise kış boyunca kabul edilebilir bir yeşil rengini korumaktadır (Whitlark ve ark., 2023) (Şekil 7,8).



Şekil 7. Çim alanla komşu olarak tesis edilen Lipya, sulama yapılmadığında bile yeşil renk tonunu korumaktadır. Bununla birlikte, çim alanın sulama işlemi durdurulduktan sonra alandaki çim türlerinin sarardığı Lipyanın ise yeşil rengini koruduğu gözlemlenmiştir (sol). Kış mevsiminde Lipyanın yaprakları, -10°C altındaki sıcaklıklardan kaynaklanan morumsu bir ton alırken, ilkbahar döneminde bu bitki yeniden yeşil yapraklarını üretmektedir (sağ).



Şekil 8 Sıcaklığın -12°C ye düştüğünde serin iklim çim türleri (sağ) ve Lipya (sol) görünümü

2.5. Tuzluluğa Tolerans

Lipya türleri, tuzlu topraklar da dahil olmak üzere çeşitli toprak türlerine yüksek tolerans göstermektedir (Chamberland, 2024). Kuraklık ve tuzluluk streslerine karşı dayanıklıdır (Mirzaei ve Dastoory, 2019). Kıyı kumul sistemleri, kumsal göl kıyıları, kıyı çamurları, meralar, yol kenarları ve tuzlu bataklıklar gibi çeşitli habitatlarda yetişme yeteneğine sahiptir. *Phyla spp.*, doğu Afrika'nın bakir kumul sistemlerinden Orta Doğu ve Hindistan alt kıtasındaki kara topraklı sel ovalarına, Mısır'daki çöl vahalarına ve Avustralya'daki göl kenarlarına kadar geniş bir coğrafi dağılıma sahiptir. Ayrıca, Afrika ve Orta Doğu'da dere kenarları, çöl vahaları ve doğal göl kenarlarında da gözlemlenmektedir (Gross ve ark., 2017).

Phyla spp. türlerinin farklı toprak türlerinde büyüebilme yeteneği gözlemlenmiştir. Bitkinin özellikle kıyı tuzlu alanlarda doğal olarak ve yaygın şekilde bulunması, tuzluluğa adaptasyon yeteneğini göstermektedir. Yapılan araştırmalar, *Phyla spp.* türlerinin yüksek tuzluluk koşullarında hayatta kalabilen bir bitki olarak tuz toleransının yüksek olduğunu ortaya koymuştur (Pham ve ark., 2024). Tuzluluğa karşı gösterdiği bu yüksek tolerans, Lipya'nın çok çeşitli kullanım alanlarına sahip olabileceğini göstermektedir. Özellikle her yıl deniz tuzundan etkilenen sahil bantlarındaki çim alanlar ve deniz kenarındaki otellerin açık çim alanlarının Lipya ile bitkilendirilmesi, yıllık yeniden ekim ihtiyacını ortadan kaldıracaktır.

2.6. Sulama

Lipya, Arizona'nın sıcak iklim koşullarında, doğrudan güneş ışığına maruz kalmasına rağmen başarılı bir şekilde yetişmektedir. Bu bitki, Arizona'nın çöl bölgelerinde çim yerine alternatif bir yer örtücü olarak değerlendirilmekte olup, az su tüketimi ile öne çıkmaktadır. Lipya'nın, Bermuda çimi ile karşılaştırıldığında daha az su kullanımı ile sulama, gübreleme, biçme ve işçilik maliyetlerinde tasarruf sağlamaktadır.

Dolayısıyla, Lipya, Bermuda çimine alternatif olarak değerlendirilmektedir (Şekil 9) (Burayu ve Umeda, 2021; Chamberland, 2024). Çim alanlar için önemli bir değer taşıyan Lipya, diğer çim türlerinin ihtiyaç duyduğu bakımın yalnızca onda biri kadar bakım gerektirmekte ve bu durum su tüketimini de aynı oranda azaltmaktadır. Sıcak yaz aylarında ekildiğinde, altı hafta içinde yoğun ve zengin koyu yeşil bir alan oluşturma kapasitesine sahiptir. Ayrıca, mavi çim veya yonca çim alanlarına kıyasla daha uzun süre sağlıklı kalmakta ve gerekli bakım, sulama, yabancı ot temizleme, biçme ve diğer masraflarının onda biri ile yeterli olabilmektedir (Chamberland, 2024). Çoğu çim türünde, büyüme dönemlerinde biçim aralıkları 5-7 gün, yaz aylarında ise 10-15 gün arasında değişkenlik göstermektedir (Açıkgöz, 1994). Biçim sıklığının artmasıyla birlikte su tüketiminin de arttığı belirlenmiştir. Örneğin biçme sıklığı altı haftadan iki haftaya düştüğünde su kullanımında %41 oranında bir artış olduğu kaydedilmiştir (Shearman ve Beard, 1973; Shearman, 2008). Lipya, sulanmadığı veya çok az su verildiğinde yere yapışık bir büyüme karakteristiği sergilemekte olup, bu özellik biçim gerektirmeden büyümesine olanak tanırken, ihtiyaç duyduğu bakım ve su miktarını azaltarak önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Lipya, kuraklığa ve düşük su koşullarına tolerans gösterebilse de, ilk tesis döneminde yayılma ve toprak yüzeyini kaplama sürecinde su kısıtlaması yapılmaması gerekir. Yüksek sıcaklıklar ve düşük nem dönemleri dışında, büyüme sezonunda haftada bir veya iki haftada bir sulama uygulaması genellikle yeterli olmaktadır (URL 1; URL 2). Sulama ihtiyaçları toprak türüne, eğime ve sıcaklığa bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Kaliforniya'da yapılan çalışmada 21-32 °C sıcaklık aralığında tesis edildiğinde haftada bir kez 20 dakika sulama yapılması önerilmektedir (Kurapia, 2025; Chamberland, 2024). Tamamen toprağı kapladığında, Lipya'nın sıcak mevsim çimlerine benzer şekilde, daha sıcak iç iklimlerde referans buharlaşma (ET₀) (ET₀-referans bir bitkiden buharlaşma ve terleme yoluyla kaybedilen toplam su miktarı) miktarının %40-60 seviyesinde, daha serin kıyı bölgelerinde ise %40'tan az seviyede tutulabileceği belirlenmiştir (URL 1). Otomatik sulamada Lipya'nın su kullanımının %40 oranında azalabileceği belirlenmiştir. (Fujino, 2015). Lipya üzerine yapılan bir çalışmada, Temmuz ile eylül arasında ET₀ değerine göre %30, %45 ve %60 oranında su ikamesi sağlanarak kuraklığa dayanıklılık testi gerçekleştirilmiştir. En iyi performans, haftada iki sulama ile kaybedilen suyun %60'ının geri verilmesi ile elde edilmiştir. Ancak, istatistiksel olarak aynı sulama sıklığına sahip su kaybı uygulamaları arasında %30 ve %45 su ikamesi ile anlamlı bir fark tespit edilmemiştir (Orlinski, 2019). Phyla spp türleri kısıtlı sulama seviyelerine son derece

uyum sağlamakta, ancak bu denemedeki en düşük sulama seviyesinde yüksek performans göstermesi nedeniyle, toplam evapotranspirasyonun %40'ından daha fazla sulanması önerilmemektedir. İlk yılda bitkiler, nisan ile kasım arasında ortalama 42 cm büyümüştür. Bitkinin kalitesi sulama seviyesinden önemli ölçüde etkilenmemiştir. Bu derecelendirmelerdeki uygulamalar arasındaki yüzdesel fark çok küçük bulunmuş ve Lipya'nın genel sağlığı, canlılığı veya görünümü açısından anlamlı fark olmadığı belirlenmiştir (Fujino, 2015). Lipya, sürekli su altında kalan alanlarda yaygın değildir, ancak haftalarca veya aylarca su baskınlarına dayanır ve kuraklığa karşı dirençli görünmektedir (McCosker 1994; Mawhinney 2002). Kurak dönemlerde, Lipya genellikle otlatılan alanlarda görülen tek yeşil bitkidir ancak çok şiddetli bir kuraklık Lipya'nın yayılım hızını olumsuz etkileyebilir (Earl, 2003).



Şekil 9. Lipya (sol) ve çimde (sağ) yazınaynı şartlardaki su kısıtında görsel durumları

3. SONUÇLAR

Küresel ısınmanın neden olduğu kuraklığın, önümüzdeki yıllarda ülkemizi daha fazla etkilemesi öngörülmektedir. Bu bağlamda, su kaynaklarının verimli kullanımı ve tasarruf yapılması, sürdürülebilir bir su yönetimi için elzemdir. Şehirlerde tatlı su kullanımının önemli bir kısmı, yeşil açık alanların sulanmasında harcanmaktadır. Ülkemizin Akdeniz Havzası'nda yer alması, kuraklıktan en fazla etkilenecek bölgeler arasında bulunmasına neden olmakta ve bu durum acil eylem planlarının hazırlanmasını ve uygulanmasını gerektirmektedir. Aşırı su tüketen ve bakım gerektiren çim alanların azaltılması ile kurakçıl peyzaj uygulamalarına geçiş, kaçınılmaz bir gereklilik haline gelmiştir. Olumlu bir perspektiften bakıldığında, ülkemizin zengin bitki tür çeşitliliği içerisinde, kurakçıl peyzaja uygun pek çok tür bulunmaktadır; bu durum bir avantaj olarak değerlendirilebilir. Bu türler hakkında kuraklığa, sıcaklığa ve tuzluluğa dayanıklılıkları gibi konularda bilimsel çalışmalar yapılmalı ve büyüme karakteristikleri belirlenerek uygun türlerin çoğaltılması sağlanmalıdır. Ayrıca, yasal düzenlemeler aracılığıyla belediyelerin klasik çim türleri yerine bu türleri kullanımı teşvik edilmeli

veya yaptırım uygulanmalıdır. Mutlaka çim olması gereken alanlar belirlenmeli; geri kalan alanlar, orta refüjler, yol kavşakları, insan hareketinden uzak bölgeler ve büyük açık alanlar gibi çim alanlar, kurakçıl peyzaj anlayışıyla, uygun doğal yerel türlerle kademeli olarak dönüştürülmelidir. Bu uygulamaları hayata geçiren belediyelere, özel şirketlere ve bireylere teşvikler sağlanabilir ya da çim alanlarda kullanılan su maliyetlerine farklı tarifeler uygulanabilir. Bu çalışmalarda buğdaygil çim türlerine alternatif olarak kullanılabilecek doğal bir tür Lipya çimi (*Phyla canescens* (Kunth) Greene)'dir. Lipya çimi, kuraklığa tolerans, az bakım, biçim ve su ihtiyacı, kötü toprak koşullarına dayanım gibi özellikleri ile ön plana çıkan alternatiflerinden biridir.

KAYNAKLAR

- Abhishek, D., & Nehra, S. (2024). Review on Jal Pippali (*Phyla nodiflora*). *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 13, 1138-1146. <https://doi.org/10.21275/SR241209161726>
- Açıkgoz, E. (1994). *Çim alanları yapım ve bakım tekniği*. Çevre Peyzaj Mimarlığı.
- Amoroso, G., Frangi, P., Piatti, R., & Fini, A. (2009). Mulching as an alternative to chemical weed control in nursery containerized crops. *Advances in Horticultural Science*, 23, 276–279.
- Barış, M. E. (2007). Sarıya bezenen kentlerimizi kimler ve nasıl yeniden yeşertebilir. Peyzaj Mimarları Odası.
- Beard, J. B., & Kenna, M. P. (2008). Water quality and quantity issues for turfgrasses in urban landscapes. Council for Agricultural Science and Technology. *CAST Special Publication*, 27.
- Burayu, W., & Umeda, K. (2021). Versatile native grasses and a turf-alternative groundcover for the arid Southwest United States. *Journal of Environmental Horticulture*, 39, 160-167. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-39.4.160>
- Cáceres, N., Imhof, L., Suárez, M., Hick, E. C., & Galetto, L. (2018). Assessing native germplasm for extensive green roof systems of semiarid regions. *Ornamental Horticulture*, 24(4), 466–476. <https://doi.org/10.14295/oh.v24i4.1225>
- Cáceres, N., Robbiati, F. O., Suárez, M., Hick, E. C., Matoff, E., Jim, C. Y., & Galetto, L. (2024). Growth performance of multi-species plant mixtures on an extensive vegetated roof: A two-year experimental study. *Urban Ecosystems*, 27, 1207–1223. <https://doi.org/10.1007/s11252-023-01498-7>
- Carr, T. Q. (2019). Determining water requirements in turfgrass systems. *Theses and Dissertations*. Retrieved from <https://scholarworks.uark.edu/etd/3506>
- Carrow, R. N., Shearman, R. C., & Watson, J. R. (1990). Turfgrass. In B. A. Stewart & D. R. Nielsen (Eds.), *Irrigation of agriculture crops* (Agronomy Monograph, 30, pp. 475). American Society of Agronomy, Madison, WI, USA.
- Chamberland, M. (2024). Lippia – A low-water use groundcover and turfgrass alternative. University of Arizona Cooperative Extension.

- Che, J., Umeda, K., & Burayu, W. (2012). Herbicide effects on Kurapia (*Lippia nodiflora*). Retrieved from https://acis.cals.arizona.edu/docs/defaultsource/communitiy-ipm-documents/presentation/s/2012/kurapia-herbicide-study-che.pdf?sfvrsn=aa6a5c2d_0 (Erişim tarihi 16 Ağustos 2024).
- Crawford, P. (2008). Lippia management (*Phyla canescens*): Challenges, opportunities and strategies. Greenridge Press, Toowoomba, Queensland.
- Çakar, H. (2021). Peyzaj tasarım çalışmalarında çime alternatif olarak bazı yer örtücü bitki türlerinin kullanılabilirliği. *Ziraat, Orman ve Su Ürünlerinde Araştırma ve Değerlendirmeler*. Gece Kitaplığı, Ankara. ISBN 978-625-8002-19-5
- Çakıroğlu, G. (2011). Peyzaj tasarımında su tasarrufuna yönelik güncel uygulamaların irdelenmesi: İstanbul örneği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çorbacı, Ö. L., Ertekin, M., & Özyavuz, M. (2011). Kurak ve yarı kurak alanlarda peyzaj mimarlığı uygulamaları. In *Kurak ve yarı kurak alan yönetimi çalıştay sonuç bildirgeleri ve bildiriler* (pp. 269-280). Ürgü, 5-8 Aralık 2011.
- Deniz, D. (2009). Türkiye'deki kuraklığın standart yağış indeksi (SPI) ile incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çanakkale.
- Devitt, D. A., & Morris, R. L. (2008). Urban landscape water conservation and the species effect. In J. B. Beard & M. P. Kenna (Eds.), *Water quality and quantity issues for turfgrasses in urban landscapes*. Council for Agricultural Science and Technology. CAST Special Publication 27.
- DiTamaso, J. M., & Healy, E. A. (2007). *Weeds of California and other western states*. University of California Agriculture and Natural Resources Pub. 3488.
- Earl, J. (2003). The distribution and impacts of Lippia (*Phyla canescens*) in the Murray Darling system. Murray Darling Lippia Working Group, Guyra, New South Wales.
- Elakovich, S. D. (1987). Sesquiterpines as phytoalexins and allelopathic agents. In G. Fuller & W. D. Nes (Eds.), *Ecology and metabolism of plant lipids* (pp. 93-108). American Chemical Society, Washington.
- Eylem Planı 1. (2024). *İklim Değişikliği Azaltım Stratejisi ve Eylem Planı (2024-2030)*. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, İklim Değişikliği Başkanlığı, Ankara.

- Fender, D. H. (2008). Urban turfgrasses in times of a water crisis: Benefits and concerns. In J. B. Beard & M. P. Kenna (Eds.), *Water quality and quantity issues for turfgrasses in urban landscapes*. Council for Agriculture Science and Technology.
- Foo, C. L., Harrington, K. C., & Mackay, M. B. (2011). Weed suppression by twelve ornamental ground cover species. *New Zealand Plant Protection*, 64, 149–154.
- Fujino, D. (2015). Irrigation trials results for Lippia® 2012-2014. California Center for Urban Horticulture, University of California.
- Galea, L. M. E. (2014). Riparian woodland condition in relation to lippia (*Phyla canescens*(Kunth) Greene) and fire management, southern Queensland. Thesis, University of Southern Queensland, Faculty of Health, Engineering and Sciences School of Agricultural, Computational and Environmental Sciences.
- Gross, C. L., Fatemi, M., Julien, M., McPherson, H., & Van Klinken, R. (2017). The phylogeny and biogeography of *Phyla nodiflora* (Verbenaceae) reveals native and invasive lineages throughout the world. *Diversity*, 9(2), 20. <https://doi.org/10.3390/d9020020>
- Huang, B. (2008). Turfgrass water requirements and factors affecting water usage. In J. B. Beard & M. P. Kenna (Eds.), *Water quality and quantity issues for turfgrasses in urban landscapes* (CAST Special Publication 27). Council for Agricultural Science and Technology.
- Julien, M. H., Storrie, A., & McCosker, R. (2003). Lippia, *Phyla canescens*, an increasing threat to agriculture and the environment. *Fourteenth Australian Weeds Conference*, 476-479.
- Julien, M. H., Storrie, A., & McCosker, R. (2004). Lippia, *Phyla canescens*, an increasing threat to agriculture and the environment. In B. M. Sindel & S. B. Johnson (Eds.), *14th Australian Weeds Conference* (pp. 476–479). Charles Sturt University, Wagga Wagga, Australia.
- Kavuran, D., & Yılmaz, R. (2022). Kurakçıl peyzaj çalışmalarında uygun bitki türü seçimi: Süleymanpaşa, Tekirdağ örneği. *PEMDER Peyzaj, Bilim, Kültür ve Sanat Dergisi*, 4(2), 69-91.
- Kennedy, K. (1992). A systematic study of the genus *Phyla* Lour. (Verbenaceae: Verbenoideae, Lantanae). Doctoral thesis, The University of Texas at Austin, TX, USA.
- Kim, K. S., & Beard, J. B. (1988). Comparative turfgrass evapotranspiration rates and associated plant morphological characteristics. *Crop Science*, 28, 328–331.

- Krellenberg, K., & Turhan, E. (2017). How to respond to climate change at the local level: A guideline for Turkish cities. Retrieved from <https://www.econstor.eu/handle/10419/171261>
- Kurapia Blogspot. (2015). Kurapia- UC tested, science behind water efficient groundcover. Retrieved from <https://kurapia.blogspot.com/2015/03/camelback-golf-club-phoenixarizona.html> (Erişim tarihi 6 June 2025).
- Kurapia INC (2025). Drought Tolerant Groundcover. <https://Lippia.com/the-benefits-of-drought-tolerant-groundcover/> (Erişim Tarihi 30.08.2025)
- Kutlu, B., & Eroğlu, E. (2023). Assessment of the impact of lawn areas on urban ecosystems and their usage potential under drought stress.
- Küçükerbaş, E., Özkan, B., Kaplan, A., & Aslan, N.B. (1997). Lippia çimi (*Phyla nodiflora* L.) bitkisinin İzmir koşullarında optimum su gereksinimi ile basılmaya dayanımının saptanması üzerine araştırmalar. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 21:469-474.
- Leigh, C., & Walton, C. S. (2004). *Lippia (Phyla canescens) in Queensland: Pest status review series – Land protection*. Department of Natural Resources, Mines and Energy.
- Lucy, M., Powell, E., McCosker, R., Inglis, G., & Richardson, R. (1995). *Lippia (Phyla canescens)*. A review of its economic and environmental impact on floodplain ecosystems in the Murray-Darling Basin. Addex 642/040. ISBN 0 646 24625 9.
- Marble, S. C., Koeser, A. K., Hasing, G., McClean, D., & Chandler, A. (2017). Efficacy and estimated annual cost of common weed control methods in landscape planting beds. *HortTechnology*, 27(2), 199–211.
- Mawhinney, W. A. (2002). Restoring biodiversity in the Gwydir Wetlands through environmental flows. *Rivers Symposium*, Brisbane, February 2002.
- McCosker, R. O. (1994). *Lippia (Phyla nodiflora)*: An invasive plant of floodplain systems in the Murray–Darling Basin. A report on the distribution and ecology of lippia in the lower Gwydir Valley and the Murray–Darling Basin prepared for the Gingham Watercourse Landcare Group, Department of Ecosystem Management, University of New England, Armidale, NSW.
- Mirzaei, S., & Dastoory, M. (2019). Evaluating tolerance of ground covers *Phyla nodiflora* L. and *Frankenia thymifolia* Desf. to simultaneous

- salinity and drought stresses. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 20(2), 129 - 142.
- O'Leary, N., & Múlgura, M. (2011). A taxonomic revision of the genus *Phyla* (Verbenaceae). *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 98, 578-596. <https://doi.org/10.3417/2009120>
- Orlinski, P., Xiang, M., Schiavon, M., & Baird, J. (2019). Water use on lippia groundcover. Department of Botany and Plant Sciences, University of California, Riverside.
- Özgüç Sakar, İ. M., Kart Aktaş, N., Emeksiz, B. E., & Özkırım, S. (2024). Küresel iklim değişikliği bağlamında çim alanlarının karbon döngüsüne etkisi: İstanbul ili örneği. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 25(2), 184-195. <https://doi.org/10.17474/artvinofd.1536425>
- Pascual, M. E., Slowing, K., Carretero, E., & Sánchez D. Villar, M. A. (2001). Lippia: Traditional uses, chemistry, and pharmacology: A review. *Journal of Ethnopharmacology*, 76, 201–214.
- Patton, A. J. & Law. Q.D. (2017). *Fundamentals of turfgrass management*. Nick E. Christians. John Wiley & Sons.
- Pellett, F. C. (1920). *American honey plants together with those which are of special value to the beekeeper as sources of pollen*. American Bee Journal, Hamilton, Illinois.
- Pham, A. C., Vo, T. C., Bui, T. D., Van, T. -T. H., & Tran, D. Q. (2024). Evaluating growth and physiological responses of a medicinal plant *Phyla nodiflora* to salinity. *International Journal of Plant Biology*, 15, 187–197. <https://doi.org/10.3390/ijpb15010015>
- Rabbani, M., & Kazemi, F. (2015). Investigating strategies for optimum water usage in green spaces covered with lawn. *Desert*, 20(2), 217-230.
- Rezaei, M., & Zabihi, H. (2015). The effect of cover plants in landscape urban design and providing a solution for economic saving (example lawn). *Congress of New Researches in Civil Engineering, Architecture and the City*, Tehran, Iran.
- Roberts, J., & Marston, F. (2011). Water regime for wetland and floodplain plants: A source book for the Murray-Darling Basin. National Water Commission, Canberra, Australia.
- Sharma, V. (2018). A mini review on medicinally important plant *Lippia nodiflora*. *Asian Journal of Research in Chemistry*, 11(1).
- Shearman, R. C. (2008). Turfgrass cultural practices for water conservation. In J. B. Beard & M. P. Kenna (Eds.), *Water quality and quantity issues*

for turfgrasses in urban landscapes. Council for Agricultural Science and Technology. CAST Special Publication 27.

- Shearman, R. C., & Beard, J. B. (1973). Environmental and cultural preconditioning effects on the water use rate of *Agrostis palustris* Huds., cultivar Pennncross. *Crop Science*, 13, 424–427.
- Sosa, A. J., Cardo, M. V., Julien, M. H., & Moonen, A. C. (2017). Predicting weed distribution at the regional scale in the native range: Environmental determinants and biocontrol implications of *Phyla nodiflora* (Verbenaceae). *Weed Research*, 57(3), 193–203. <https://doi.org/10.1111/wre.12247>
- Sosa, A. J., Traversa M.G., Delhey, R., Kiehr, M., Cardo, M.V., Julien, M.H.. (2008). Biological control of lippia (*Phyla canescens*): Surveys for the plant and its natural enemies in Argentina. *Proceedings of the XII International Symposium on Biological Control of Weeds*. CABI International, Wallingford, UK. La Grand Mote, France.
- St. Hilaire, R., Arnold, M., Wilkerson, D., Devitt, D., Hurd, B., Lesikar, B., Lohr, V., Martin, C., McDonald, G., Morris, R., Pittenger, D., Shaw, D., & Zoldoske, D. (2008). Efficient water use in residential urban landscapes. *HortScience: A Publication of the American Society for Horticultural Science*, 43, 10.21273/HORTSCI.43.7.2081.
- Şen, Z. (2009). Climate change, freshwater resources, and Turkey. *Water Foundation Publications*. Bayrak Publishing and Printing, Istanbul.
- Terblanche, F. C., & Kornelius, G. (1996). Essential oil constituents of the genus *Lippia* (Verbenaceae): A literature review. *Journal of Essential Oil Research*, 8, 471–485.
- TÜBİVES (2025). Türkiye Bitkileri Veri tabanı. http://194.27.225.161/yasin/tubives/index.php?sayfa=1&tax_id=7397
- URL 1, (2025).UCR Turfgrass research & Extencion; Turfgrass Science. <https://turfgrass.ucr.edu/> (Erişim tarihi 16.05.2025)
- URL 2 (2025). The University of Arizona. Turfgrass Research, Education, and Extension <https://turf.arizona.edu/Lippia%20Herbicide%20Study%20Che.pdf> (Erişim tarihi 16.05.2025)
- URL 3, (2025). Water Wise and Salt Tolerant Plants https://wagga.nsw.gov.au/imagesfiles/documents/building-and-development/lloyd-urban-release-area/Water_Wise_and_Salt_Tolerent_Plants.pdf

- Wade, L., James, T., Coder, K. D., Landry, G., & Tyson, A. W. (2002). A guide to developing a water-wise landscape. University of Georgia Environmental Landscape Design Department, Georgia.
- Whitlark, B., Umeda, K., Leinauer, B., & Serena, M. (2023). Considerations with water for turfgrass in arid environments. <https://doi.org/10.19103/AS.2022.0110.21>
- Xu, C. Y., Schooler, S. S., & Van Klinken, R. D. (2012). Differential influence of clonal integration on morphological and growth responses to light in two invasive herbs. *PLoS One*, 7(4).
- Zarei, H., & Babarabie, M. (2024). The growth and qualitative traits of eighteen ornamental cover plants in the climatic conditions of Gorgan, Iran. *Journal of Ornamental Plants*, 14(4), 291-300. <https://doi.org/10.71645/j.op.2024.140305171128528>
- Zarei, H., Zeynali, E., & Babarabie, M. (2018). Investigation the capability of native herbaceous species of Gorgan as the ground covers. *Journal of Plant Ecophysiology*, 9(32), 215-224.



BÖLÜM 2

Meyve Yetiştiriciliğinde Bor Elementinin Önemi

Selma Boyacı¹ & Fatma Günden Demir² &

Nihan Tazebay Asan³

1.GİRİŞ

Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle meyve üretiminde dünya çapında önemli bir yer edinmiştir. Bu durumu açıklayan faktörler arasında, Anadolu'nun üç farklı biyocoğrafik bölgenin birleşim noktasında bulunması ve dünyanın önde gelen genetik merkezlerinden bazılarında ev sahipliği yapması sayılabilir. Anadolu, Akdeniz, İran-Turan ve Avrupa-Sibirya biyocoğrafik bölgelerinin etkisi altındadır. Bu ana bölgelerin yanı sıra, bu bölgelerin birbirine geçiş yaptığı ara bölgeler de yer almakta olup, bu alanlar kendine özgü ekosistemler sunmaktadır. Ayrıca, Akdeniz ve Yakındoğu gibi önemli genetik merkezler de Anadolu'da bulunmaktadır. Bu coğrafi zenginlik ve genetik çeşitlilik, Türkiye'nin bitkisel biyoçeşitliliğini büyük ölçüde artırmıştır. Türkiye, yalnızca yetiştirilen meyve türleri açısından değil ki bu sayı 138'in üzerindedir, aynı zamanda meyve türlerinin çeşit sayısı bakımından da büyük bir zenginliğe sahiptir. Elma, armut, erik, şeftali ve üzüm gibi meyve türlerinde farklı çeşitlerin sayısı oldukça fazladır. Örneğin, elmada 500, armutta 600, erikte 200, şeftalide 100, üzümde ise 1200'ün üzerinde farklı çeşit bulunmaktadır. Ayrıca, Türkiye'deki bitki türlerinin yaklaşık üçte biri endemik özellik taşımaktadır. Anadolu'nun tarihsel olarak farklı uygarlıklara ev sahipliği yapması, tarımsal faaliyetlerin çeşitlenmesi ve bölgenin farklı iklim tipleri, meyve türleri ve çeşitlerinin gelişimine katkıda bulunmuştur. Bunun yanı sıra, Anadolu'nun bir ticaret merkezi olması, bu çeşitliliğin artmasına önemli ölçüde zemin hazırlamıştır (Ağaoğlu ve ark., 1987; Çetinkaya ve ark., 2022).

Ülkemizde farklı ekolojik koşulların mevcudiyeti ılıman iklim meyve türlerinin yanı sıra, subtropik ve bazı tropik meyvelerin yetiştirilmesine

¹ Doç. Dr., Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, ORCID: 0000-0002-3349-839X

² Ziraat Müh., Tarım ve Orman Bakanlığı Personel Genel Müdürlüğü, ORCID: 0009-0001-5488-4740

³ Dr., Tarım ve Orman Bakanlığı Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, ORCID:0000-0003-0453-7481

imkan vermektedir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre 2022 yılında ülkemiz yaş meyve üretim miktarı bir önceki yıla göre %7,7 oranında artarak yaklaşık 26,8 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Meyveler içinde önemli ürünlerin üretim miktarlarına bakıldığında bir önceki yıla göre, kayısı %0,4, zerdali %18,9, kivi %31, kiraz %16,7 oranında artmıştır. Turunçgiller grubunda ise mandarinde %2,5, turunçta %7,4 oranında artış olmuştur. Ülkemiz meyveciliğinde pazarlanabilir ürün miktarının yüksek oranda olması üreticilerin kar marjını artıracaktır. İhracatta rekabeti artırmak için ise meyve kalite bileşenlerinin korunmasına önem gösterilmesi gerekmektedir. Bunun gerçekleşmesi için ise verimli ve kaliteli çeşitlerin ve aynı zamanda sağlıklı damızlık üretim materyalinin kullanılması, kültürel tedbirlerin eksiksiz ve optimum düzeyde uygulanması gerekmektedir. Budama, sulama, hastalık, zararlılar ile mücadele ve gübreleme doğru ve zamanında yapılması ürün kalitesini artıracığı gibi üreticilerin yaş meyve ihracatı için hedef kitlenin sağlık ve çevreyle ilgili hususlarının bilincinde olması hem yasal hem de piyasa gerekliliklerine uygun ürünler sunarak müşterilerinin ihtiyaçlarını karşılaması gerekmektedir. Bu nedenle ISO 9001, ISO 22000, HACCP, GAP ve THE GLOBALGAP gibi araçlar kalite, gıda güvenliği ve çevre bilincinin önemli göstergelerinden kabul edilmektedir. Kültürel uygulamalardan birisi olan gübrelemede ülkemiz üreticileri tarafından önemli bir husus olmasının yanı sıra toprak ve bitki örneklerinde yapılan analizler sonucunda gübre tavsiyeleri dikkate alınarak gübreleme yapılması gerekmektedir (TCTB, 2022).

Bütün bitkilerde olduğu gibi meyve yetiştiriciliğinde de hayati öneme sahip olan toplam 16 bitki besin elementinden söz etmek mümkündür. Bu elementler makro ve mikro besin elementleri olarak sınıflandırılmaktadır. Bu elementlerden biriside mikro besin elementleri sınıfında yer alan bordur (B). Ülkemizde bitkisel üretim altındaki toprakların, en az %25'inde B noksanlığı ($<1 \text{ mg kg}^{-1}$) probleminin olduğu, bazı bölgelerimizde ise (özellikle Orta Anadolu Bölgesinin bazı kısımlarında) B'un, toprakta aşırı (toksik) düzeylerde ($>2 \text{ mg kg}^{-1}$) bulunduğu bildirilmiştir (Çakmak, 2016). Bor (B), bitkiler tarafından kökler aracılığıyla absorbe edildikten sonra ksilem üzerinden taşınmakta, esas olarak transpirasyonla hareket kazanarak bitkinin tüm dokularına dağıtılmaktadır (Huang ve ark., 2005; Mertens ve ark., 2011; Wimmer & Eichert, 2013; Mesquita ve ark., 2016). Bitkilerde B eksikliğinin başlıca nedenlerinden biri, bu elementin floem aracılığıyla taşınımının sınırlı olmasıdır (Boaretto ve ark., 2008; Liu ve ark., 2012). Bor bitkilerde döllenme esnasında polenin çimlenmesi ve çim borusunda ilerlemesi üzerine etkileri ile döllenmede ve aynı zamanda bitkilerde su stresine karşı önemli etkileri ile su ekonomisini yönetmede

değerli bir besin elementidir. Bu çalışmada meyve yetiştiriciliği için önemli besin elementlerinden biri olan B gübrelemesinin önemli etkilerinin belirlenmesi ve bu etkilerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. MEYVECİLİKTE GÜBRELEMENİN ÖNEMİ

Gübreleme, meyvecilikte önemli bir uygulamadır. Meyve ağaçlarının sağlıklı bir şekilde gelişmesi ve yüksek verim elde edilmesi için gübreleme gereklidir. Meyve ağaçları, topraktan her yıl önemli miktarda besin maddesi alırlar. Eğer bu besinler geri verilmezse, ağaçlarda beslenme sorunları ve verim kayıpları yaşanabilir. Bu gibi olumsuzlukları engellemek için, eksik olan besin elementlerinin uygun şekilde takviye edilmesi gerekir. Gübrelemede, bitkilerin ihtiyaç duyduğu kadar gübre verilmesi önemlidir; aynı zamanda besin dengesinin korunması da göz önünde bulundurulmalıdır. Meyve ağaçlarının yeterli ve dengeli şekilde beslenip beslenmediğini anlamak için sürgün uzunlukları önemli bir göstergedir. Ancak sürgün uzunlukları tek başına bir ölçüt olarak yeterli değildir; toprak ve bitki analizleri yapılarak, her iki ortamda da besin elementlerinin seviyeleri düzenli olarak izlenmelidir (Akgün ve Uçkun, 2004).

2.1.Meyvecilikte Temel Bitki Besin Elementleri

Makro besin elementleri: Oksijen (O), bitkiler için çok önemli bir makro besin elementidir ve bitkilerin yaşam döngüsünde hayati bir rol oynar. Ancak oksijen, diğer makro besin elementleri (azot, fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve kükürt) gibi doğrudan bir besin maddesi olarak topraktan alınmaz. Bunun yerine, oksijen atmosferden alınır ve bitkilerde çeşitli biyolojik süreçlerde kullanılır. Azot (N), proteinlerin ve klorofilin ana bileşenidir. Bitkilerde azot eksikliği sararmaya ve zayıf büyümeye yol açar. Fazlalığı ise aşırı yeşil yaprak büyümesine ve meyve gelişiminin yavaşlamasına neden olabilir. Fosfor (P), enerji transferi, hücre bölünmesi ve kök gelişimi için gereklidir. Eksikliği, yavaş büyüme, koyu mor yapraklar ve kök gelişiminde bozukluklara neden olur. Potasyum (K), su dengesini düzenler, hastalıklara karşı direnci artırır ve fotosentezde rol oynar. Potasyum eksikliği yaprakların kenarlarında kahverengi lekelerle kendini gösterir ve zayıf kök gelişimine yol açar. Kalsiyum (Ca), hücre duvarlarının güçlenmesini sağlar, hücre bölünmesi ve büyümesinde önemlidir. Kalsiyum eksikliği, yeni yapraklarda deformasyon ve kök ucunda ölümlerle sonuçlanır. Magnezyum (Mg), klorofilin ana bileşenidir ve fotosentezde kritik rol oynar. Eksikliği, yapraklarda sararmaya (kloroz) neden olur. Kükürt (S), proteinin yapısal bileşeni olup, enzim aktivitesini düzenler. Kükürt eksikliği, sararmaya ve zayıf büyümeye yol açar (Kacar, 2012).

Mikro Besin Elementleri: Demir (Fe), fotosentezde rol oynayan ve klorofilin sentezinde yardımcı olan demir, eksikliğiyle yapraklarda sararma (kloroz) görülür. Manganez (Mn), enzim fonksiyonlarını destekler ve klorofil üretimi ile ilişkili bir elementtir. Eksikliği, yapraklarda sararma ve biçimsiz büyümeye yol açar. Çinko (Zn), bitkilerde hücre büyümesi, protein sentezi ve genetik materyalin düzenlenmesinde rol oynar. Çinko eksikliği, büyüme bozuklukları ve kısalmış yapraklara yol açar. Bakır (Cu), enzim sistemlerinin etkinliği için gereklidir. Bakır eksikliği, bitkilerde solgunluk, yapraklarda kahverengileşme ve meyve dökülmesi gibi belirtiler gösterir. Molibden (Mo), azot metabolizmasında önemli bir rol oynar. Eksikliği, azot alımında zorluklar ve sararmaya yol açar. Klor (Cl), Su dengesini düzenler ve fotosentezde yer alır. Klor eksikliği, büyümeyi engelleyebilir ve yaprak uçlarında yanma belirtileri gösterebilir. Nikel (Ni), bitkilerde üreaz enzimini aktive eder, azot metabolizmasında rol oynar. Nikel eksikliği, bitkilerin gelişiminde bozulmalar ve klorozlara neden olabilir. Sodyum (Na), bitkilerde genellikle düşük konsantrasyonlarda bulunur ve genellikle potasyumla birlikte çalışır. Aşırı sodyum, bitkilerde tuz stresine yol açar ve su dengesini bozar. Bor (B), hücre duvarlarının yapısına katılır, çiçeklenme ve meyve gelişimi için önemlidir. Bor eksikliği, çiçeklerin dökülmesine, kök uçlarının bozulmasına neden olabilir (Kacar, 2012).

3. BOR ELEMENTİNİN BİTKİLERDEKİ ROLÜ

Bor bitkiler için önemli bir mikro besin elementidir ve birçok bitki metabolik sürecin düzgün işlemesi için kritik bir rol oynar. Bor, bitkilerde genellikle düşük miktarlarda bulunur ancak bu, onun önemini azaltmaz. Bor eksikliği, bitkilerin sağlığını ve verimini ciddi şekilde etkileyebilir. B, hücre duvarlarının yapısına katılır ve pektin adı verilen maddelerin sentezinde önemli bir rol oynar. Bu, hücre duvarlarının stabilitesini artırarak bitkilerin büyümesine yardımcı olur. Bor eksikliği, hücre duvarlarının zayıflamasına ve bitkinin genel büyümesinin engellenmesine yol açabilir. Polisakkaritlerin (özellikle pektin ve hemiselüloz gibi hücre duvarı bileşenlerinin) sentezinde yer alır. Bu, bitkilerin hücre yapılarının güçlenmesine yardımcı olur. Aynı zamanda B, hücre bölünmesinde ve hücre uzamasında önemli bir rol oynar. Genç ve aktif büyüyen bitki dokularında B özellikle etkilidir. Eksiklik durumunda, yeni büyüyen hücreler zayıf ve bozuk genişir (Rerkasem, 1996; Ahmad ve ark., 2009).

3.1.Bor Eksikliği

Meyve mahsulü üretimindeki azalmanın temel nedenlerinden biri bor (B) noksanlığıdır (Davarpanah ve ark., 2016). Bitkilerde B'nin floemde sınırlı hareketliliği nedeniyle, eksiklik semptomları öncelikle genç bitki

kısımlarında ortaya çıkarak genç yaprakların uçlarında marjinal kloroza neden olur. B noksanlığı, özellikle kumlu ve alkali toprakların yaygın olduğu kurak ve yarı kurak bölgelerde yaygın bir sorundur (Ceyhan ve ark., 2007; Ceyhan ve ark., 2008; Harmankaya ve ark., 2008; Zhang ve ark., 2015). Bor eksikliği, çözünebilir B konsantrasyonunun 0.5 mg kg^{-1} 'in altına düşmesiyle meydana gelirken, 5.0 mg kg^{-1} 'in üzerindeki konsantrasyonlar toksisiteye yol açabilir (Ahmed ve ark., 2008).

B eksikliğinden etkilenen bitkilerde oksin birikiminde artış gözlemlenir (Ahmad ve ark., 2012), bu durum indol asetik asit (IAA) oksidaz enziminin aktivitesinin inhibisyonu ile ilişkilidir (Hegazi ve ark., 2018). Bor, gövde uzamasında önemli bir rol oynadığından, eksikliği gövdelerin kısa ve tıknaz bir yapıya sahip olmasına ve dolayısıyla rozetlenme durumuna neden olur. Yaprak buruşukluğu ve bodurlaşma, yaprakların yukarı doğru kıvrılması, kloroz, yaprak alanının azalması, büyüme noktalarının ölümü, sararma ve terminal sürgünlerde kırmızımsı damarların belirmesi, geriye doğru ölüm (dieback), ağaç kabuğunda ve sürgün ucunda küçük nekrotik alanların oluşumu ve ardından iç kabuk (floem) ve kambiyumun ilerleyici ölümü, sürgünlerdeki B eksikliğinin karakteristik belirtileridir (Jiao ve ark., 2005).

Yassılaştırmış veya deforme olmuş meyveler, elmalarda iç mantarlaşıma, çatlama ve paslanma, erken olgunlaşma, artan meyve dökümü ve düşük tohum sayısı B eksikliğinin diğer yaygın belirtileridir (Shaaban, 2010). Meyve çatlamasının temel nedeni, borun pektin oluşumu yoluyla bitki hücre duvarı genişlemesindeki doğrudan işlevidir; pektatlar, hücre duvarının yapısal bütünlüğünü sağlayan temel bileşenlerdir (Singh ve ark., 2020). Singh ve ark. (2017) tarafından elde edilen bulgular, yapraktan %0.4 oranında boraks uygulamasının kontrol grubuna kıyasla en düşük meyve çatlama oranını sergilediğini göstermektedir.

Zayıf meyve tutumu ve buna bağlı olarak verim düşüşleri, B'nin üreme gelişimi üzerindeki önemli rolü nedeniyle B eksikliğinin belirgin sonuçlarıdır (Wang ve ark., 2015). Singh ve ark. (2003), %0.2 oranında bor uygulamasının en düşük meyve çatlama yüzdesini ve dolayısıyla en yüksek verimi sağladığını bildirmişlerdir. Litz (2009), mangolarda B eksikliği belirtilerini deforme olmuş yapraklar ve büyümede geriye doğru ölüm şeklinde tanımlamıştır. Turuncgillerde ise B eksikliği düşük şeker içeriği, granülasyon, aşırı meyve dökümü ve borun şeker taşınmasındaki kritik rolünden kaynaklanan kabuk kalınlaşmasına yol açar.

Sajid ve ark. (2010), çiçeklenmeden önce, meyve tutumundan sonra ve meyve erik büyüklüğündeyken uygulanan $\%0.02 \text{ H}_3\text{BO}_3 + \%1 \text{ ZnSO}_4$ yaprak uygulamasının tatlı portakalda geriye doğru ölüm, kloroz ve

rozetlenmeyi önemli ölçüde azalttığını göstermiştir. Fenolik bileşiklerin birikimi de B eksikliğinin göstergelerinden biridir (Seth ve Aery, 2017). Optimum düzeyde bor uygulaması, fotosentetik ürünlerin taşınmasını teşvik ederek geriye doğru ölümü azaltırken, borun azot metabolizmasındaki diğer rolleri kloroz ve rozetlenme oluşumunun azalmasına katkıda bulunur.

Dünya çapında en yaygın mikro besin noksanlığıdır ve mahsul üretiminde ve mahsul kalitesinde büyük kayıplara neden olur. Bor noksanlığı bitkilerin vejetatif ve üreme gelişimini etkiler, hücre genişlemesinin engellenmesine, meristemin ölümüne ve doğurganlığın azalmasına neden olur. Bitkiler hem suda çözünür hem de çözünmez biçimde bor içerir. Sağlam bitkilerde suda çözünebilir bor miktarı, sağlanan bor miktarı ile dalgalanma gösterirken çözünmeyen bor ise değişmez. Bor noksanlığının görünümü, suda çözünmeyen borun azalması ile çakışmaktadır. Çözünmeyen borun fonksiyonel form olduğu, çözünür borun ise fazlalığı temsil ettiği görülmektedir. Elementin birincil işlevi bitkilerde hücre duvarına yapısal bütünlük sağlamaktır. Diğer işlevler muhtemelen plazma zarının ve diğer Metabolizma yollarının bakımını içerir. Bor, oksidasyon ve fotosentez süreçlerini aktive eder. Çiçekler soğuktan zarar görmüş gibi aniden solar ve siyah kahve renk alırlar. Fakat bu haliyle düşmeyip bir süre dalda dururlar. Don zararları aynı görüntüyü yaratmakla beraber, don etkilenmiş çiçekler hemen dökülürler. Şiddetli noksanlık halinde yaprak çıkışı gecikir. Vejetatif büyüme noktaları ölür, sürgünler kısa olur, yapraklar küçük ve bozuk şekilli olurlar. Ancak yapraklarda kloroz görülmez. Elma ve armut meyvelerinde büyük şekil bozuklukları ve iç ve dışta mantarlaşmalar görülür. Meyveler normalden küçüktür ve bazen çatlamalar olur. İleri gelen dış mantarlaşmalar, kalsiyum noksanlığın dan ileri gelen acı benek hastalığı ile karıştırılmamalıdır. Acı benek dalda ya çok geç dönemde, veya daha çok hasattan sonra, depolama sırasında ortaya çıkar.

3.2.Bor Fazlalığı

Esringü ve arkadaşları (2011), bor (B) noksanlığı ve toksisitesi arasındaki dar sınıra dikkat çekerek, toprakta optimum B seviyelerinin sürdürülmesinin zorluğunu vurgulamışlardır. Borun yüksek fitotoksik potansiyeli, düşük konsantrasyonlarda dahi tohum çimlenmesinin engellenmesi, kök büyümesinin kısıtlanması ve sürgün klorozu gibi olumsuz etkilere yol açabilmesi nedeniyle, tehlikeli elementler arasında kabul edilmektedir (Mousavi ve Motesharezadeh, 2020; Uluşık ve ark., 2018). Ayrıca, monokotiledon bitkilerin dikotiledon bitkilere kıyasla daha düşük B alım kapasitesine sahip olduğu ve bu durumun monokot

köklerinin dikotil köklerine göre daha az etkin B emilimiyle ilişkili olduğu belirtilmektedir (Tariq ve Mott, 2007).

Bor toksisitesi, yaprak hasarı, yaprak dökümü ve sürgün anormallikleri gibi çeşitli morfolojik bozukluklara neden olur. Toksisitenin belirgin bir semptomu, yaprak damarları boyunca (orta damar ve yan damarlar) başlayan ve yaprağın genelinde sararma şeklinde kendini gösteren yaprak klorozudur. Bununla birlikte, B toksisitesi yalnızca görsel semptomlarla sınırlı kalmayıp, hücre bölünmesi ve uzamasının inhibisyonu, hücre duvarı bütünlüğünün bozulması ve çeşitli metabolik süreçlerde aksaklıklar gibi fizyolojik süreçleri de olumsuz etkiler (Reid ve ark., 2004). Kot (2015) tarafından yapılan gözlemlerde, kayısı ve kuru erik gibi bazı meyve türlerinin B toksisitesinin belirgin görsel semptomlarını göstermeyebileceği ifade edilmiştir.

4. BORUN MEYVE YETİŞTİRİCİLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Bor, bitkilerde düşük miktarlarda bulunan ancak büyüme ve gelişim için kritik rol oynayan bir mikro besin elementidir. Özellikle meyve yetiştiriciliği açısından borun önemi, meyve üretiminin her aşamasında, çiçeklenmeden meyve olgunlaşmasına kadar çok belirgindir. B eksikliği, meyve veriminde ve kalitesinde ciddi kayıplara yol açabilirken, aşırı bor uygulaması ise toksik etkilere neden olabilir (Zhao ve ark., 2024). B, çiçeklenme ve meyve olgunlaşmasında kritik bir rol oynar. Bor eksikliği, çiçek dökülmesine, meyve bağlanmasında sorunlara ve bozulmuş meyve gelişimine yol açabilir. Ayrıca, polen tüpünün büyümesini ve başarılı döllenmeyi de etkiler. B, bitkilerde karbonhidrat metabolizmasında yer alır ve azot alımına yardımcı olur. Bitkilerin enerji üretimi ve büyüme için gerekli olan bu elementler, B sayesinde daha verimli bir şekilde kullanılabilir. Bor döllenme için gerekli bir besin maddesidir çünkü polen çimlenmesini ve polen tüpü büyümesini kolaylaştırır. Pistillerdeki yüksek bor seviyeleri polen çimlenme ve polen tüpü büyüme oranlarını artırabilir (Perica ve ark., 2001; Ganie ve ark., 2013; Safarahi and Raina, 2021). Su Dengesinin Düzenlenmesi: Bor, bitkilerde suyun taşınmasında ve düzenlenmesinde de rol oynar. Bu, özellikle suyun hücrelere ve dokulara düzgün bir şekilde dağılması için önemlidir (Ödemis ve Uncu, 2022).

Tozlaşma, meyve tutumu üzerindeki etkisi nedeniyle önemli meyve ağaçlarının veriminin artması için önemli bir faktördür ve değişken faktörlere bağlıdır (Acar ve Eti 2008; Nogueira ve ark. 2016). Polen canlılığının in vitro polen çimlenmesi yoluyla tahmin edilmesi, polen canlılığı çalışmaları için yeni bir gösterge (Shivanna ve ark. 1991) olarak kabul edilmektedir (Soares ve ark. 2008). Son yıllarda, farklı bitki ve

ağaçların polen canlılığı için B içeren farklı bileşimlerle zenginleştirilmiş farklı ortamların kullanımını vurgulayan antep fıstığı (Acar ve ark., 2010), kivi (Sotomayor ve ark., 2012), badem (Moheb ve ark., 2016) ve nar (Korkmaz ve Guneri, 2019) gibi meyve türlerinde bir dizi çalışma yapılmıştır. Bor, bitkilerde çiçeklenme ve meyve bağlanmasını doğrudan etkileyen bir elementtir. Polenin dişi organlara ulaşmasını sağlayan polen tüpünün büyümesini teşvik eder. Bor eksikliği, polen tüpünün gelişimini engelleyerek döllenmeyi zorlaştırabilir ve çiçek dökülmesine neden olabilir. Meyve bağlanmasının başarısız olması, potansiyel verimin kaybolmasına yol açar. Bu nedenle bor, özellikle bazı meyve türlerinde (elma, şeftali, kiraz, üzüm vb.) yüksek verim sağlanması için kritik öneme sahiptir (Anonim, 2025). Bor, meyve gelişimini doğrudan etkileyen bir elementtir. Meyve büyüklüğünü artırırken, meyve iç yapısını ve kalitesini de iyileştirir. Bor eksikliği, meyve büyüklüğünde azalmaya, meyve şeklinin bozulmasına ve meyve veriminde düşüşe yol açabilir. Örneğin, bor eksikliği nedeniyle meyveler küçük kalabilir, asidik içerikleri düşebilir, tat ve besin değeri azalabilir. Ayrıca, bor meyve hücre duvarlarının güçlenmesini sağlar, bu da meyve kalitesini artırır (Meena, Yadav, ve Meena 2008; Fischer, Almanza-Merchán, ve Ramírez 2012). Bor, bitkilerin kök sistemlerinin sağlıklı bir şekilde gelişmesini sağlar. Bor eksikliği, köklerin zayıf ve sağlıklı olmasına neden olabilir, bu da su ve besin maddelerinin köklerden alınmasını zorlaştırır. Sonuç olarak, meyve ağaçları su ve besin maddeleri bakımından yetersiz kalır, bu da meyve kalitesinin düşmesine ve verim kaybına yol açar. Day ve Aasim (2020), Borun in vitro koşullarda regenerasyonu teşvik ettiğini ve organ oluşumunu indüklediğini rapor etmişlerdir. Bor, bitkilerde azot ve karbonhidrat metabolizmasında da rol oynar. Bor, azotun bitki tarafından daha verimli bir şekilde kullanılmasına yardımcı olur ve bu sayede bitkinin büyüme hızı artar. Karbonhidratların taşınması ve depolanmasında da bor kritik bir rol oynar, bu da meyve ağaçlarının meyve üretim süreçlerini olumlu şekilde etkiler (Kastori ve Petrovic 1989; Shen ve ark. 1993).

Polonya'da 2003-2004 yıllarında 'Buttner's Red' kiraz çeşidinde yapraktan ve topraktan B uygulaması yapmışlar. Topraktan B uygulaması tomurcuk patlaması aşamasında 2 kg ha oranında yapılmıştır. Yapraktan B uygulaması: (1) ilkbaharda, beyaz tomurcuk, çiçeklenme başlangıcı ve taç yaprak dökümü aşamasında ve (2) sonbaharda, doğal yaprak dökülmesinden yaklaşık dört ila beş hafta önce uygulanmıştır. İlkbahar sprey uygulamalarının her birinde, B 0,2 kg ha⁻¹ oranında ve sonbaharda 0,8 kg ha⁻¹ oranında uygulayıp, B ile muamele edilmeyen ağaçlar kontrol olarak kullanılmıştır. Sonuçlar, çiçek ve yaprak dokularında bu mikro elementin konsantrasyonunun artmasına rağmen, B gübrelemesinin kiraz

ağaçlarının canlılığı ve verimi üzerinde hiçbir etkisi olmadığını göstermiştir. Ortalama meyve ağırlığı, titre edilebilir asitlik ve çatlamaya karşı meyve hassasiyeti de B gübrelmesinden etkilenmemiştir. B ile gübrelenmiş ağaçların meyveleri, uygulama yönteminden bağımsız olarak, kontrol bitkilerine göre daha yüksek SÇKM ve antosiyanin konsantrasyonlarına sahip olmuştur. Bu deneme koşulları altında, meyve kalitesini ve görünümünü iyileştirmek için kiraz kültüründe B gübrelmesinin önerilebileceği sonucuna varılmıştır (Wojcik ve Wojcik, 2024).

Michailidis ve ark., 2024 yapmış oldukları çalışmada, çiçeklenme öncesi bor uygulamasının kiraz meyve tutumu ve gelişimi (S1-S5 aşamaları) üzerindeki fizyolojik, anatomik, metabolik ve transkriptomik etkisi araştırılmıştır. Bulgular, çiçeklenme öncesi dışsal bor uygulamasını takiben erken büyüme aşamalarında (S1 ve S2 aşamaları) endojen bor içeriğinin arttığını ortaya koymuştur. Bor uygulaması meyve tutumunda (S1 ve S2 aşamaları) ve mezokarp hücre genişlemesinde (S2 aşaması) artışa neden olmuştur. Çeşitli şekerler (örn. fruktoz ve glukoz), alkoller (örn. myo-inositol ve maltitol), organik asitler (örn. malik asit ve sitrik asit), amino asitler (örn. valin ve serin) çeşitli gelişim aşamalarında (S1-S5 aşamaları) bor uygulamasına yanıt olarak birikmiştir. Erken dönemde (S1 ve S2 aşamaları) transkriptomik analiz, esas olarak ikincil metabolizma, amino asit metabolizması, kalsiyum bağlama, ribozom biyogenezi, şeker homeostazı ve özellikle fotosentez ile ilgili bora duyarlı genler tanımlanmış, özellikle büyümeyle ilgili olanlar da dahil olmak üzere borun indüklediği/baskıladığı çeşitli genler tespit edilmişlerdir. Bora maruz kalan meyvelerde PavbHLH25, PavATHB.12L ve PavZAT10.1,2 dahil olmak üzere çok sayıda transkripsiyon faktörünün ifadesinde önemli değişiklikler fark edilmiştir. Mevcut çalışma, kiraz meyvesinin erken büyümesi ve genel olarak meyve gelişimi sırasında bor tarafından düzenlenen metabolik süreçlerin anlaşılması için bir temel bilgi sağladığını belirtmiştir.

Bor eksikliği çoğunlukla yüksek pH seviyesine ve minimum toprak organik maddesine sahip kumlu topraklarda görülebilir. Önemli bir mikro besin maddesi olan borun eksikliği, fotosentetik olarak aktif emisyonu ve yapraklar tarafından emilimi azaltabilir. Fotosentetik besin maddelerinin yaprak kısımlarından yeşil kısımlardaki meristematik dokulara ve köklere taşınmasına yardımcı olarak yaprak, sürgün, meyve ve tohum oluşumunu sağlamaktadır. Çalışma Pakistan ekolojik koşullarında ana parselde yer alan kiraz çeşitleri ('Sasha', 'Stella' ve 'Sunburst') ve alt parselde tabi tutulan bor seviyeleri (%0, %0.25, %0.50, %0.75 ve %1) üzerinde bir deneme deseni ile yürütülmüştür. Çeşitler arasında maksimum yaprak alanı (cm²),

meyve çapı, meyve eti yüzdesi, SÇKM, titre edilebilir asitlik (%) ve toplam şeker (%) ile minimum meyve sayısı kg^{-1} 'Sunburst' kiraz çeşidinde kaydedilmiştir. En fazla meyve tutumu (%) ve verimi (kg.bitki^{-1}) ile en az meyve dökümü (%) 'Stella' kiraz çeşidinde kaydedilmiştir. Bor konsantrasyonu ile ilgili olarak, maksimum yaprak alanı (cm^2), meyve tutumu (%), meyve çapı (cm), verim (kg.bitki^{-1}), posa yüzdesi (%), SÇKM, toplam şeker (%) ile minimum meyve dökümü (%) ve meyve sayısı kg^{-1} %1 bor püskürtülen kirazlarda kaydedilmiştir. Ancak, en yüksek titre edilebilir asitlik (%) kontrol uygulamalarında kaydedilmiştir. %1 bor püskürtülen 'Sunburst' ve 'Stella' kiraz çeşitleri verim ve kaliteli meyve üretimi açısından en iyi sonuçları göstermiştir (Sajid ve ark., 2024).

2019 yılında Amik Ovası'nda su stresine maruz kalan 5-6 yaşındaki Mogador çeşidi kayısı ağaçlarında farklı B dozlarının verim, verim komponentleri ve kalite üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yürütülen çalışmada, Bor elementi eksik sulama koşullarında verim artışı sağlarken, tam sulanan kayısı ağaçlarında verim artışı daha yüksek olmuştur. Tam sulama uygulamasında (I100) B225 uygulaması verim üzerinde daha etkili olmuştur. Bor elementi, ışık adsorpsiyonu yoluyla fotosentezde artışa neden olan önemli bir elementtir. Meyve bahçelerinde su stresinin olumsuz etkisini hafifletmek için besin elementlerinin etkilerini araştıran çok fazla araştırma yoktur. Bu araştırma, bor elementinin su stresi koşullarındaki etkilerini ortaya koyması açısından önemlidir (Ödemiş ve Uncu, 2022).

Elma ağaçlarında verim ve kalite artışı için çiçek oluşumu ve meyve tutumu döneminde yeterli bor beslenmesi önemlidir. Bitkilerde yeterli ve gerekli bor miktarı ile zararlı olacak toksik seviye arasındaki farkın çok az olması nedeniyle mikro besin elementleri arasında bor gübrelemesinin özel bir önemi vardır. Bor elementinin, elma ağaçlarında ksilem iletim demetleri aracılığı ile taşınmasının yanı sıra floem iletim demetlerinde de hareketli olması toprak ve yapraktan bor uygulamalarının olabileceği sonucunu doğurmaktadır. Ancak bor gübrelemesinin uygulama dönemi ve birlikte uygulandığı elementler, gübrelemenin başarısı bakımından önem taşıdığı sunucuna varılmıştır (Kocabaş, 2009).

Papadakis ve ark. 2015, kum:perlit (1:2) ortamında farklı (B) konsantrasyonlarında (25, 50, 100, 200 veya 400 μM) sahip Hoagland besin çözeltileriyle sulanan, kontrol grubu, 25 μM B içeren çözelti ile oluşturulan, 6 aylık fide olan yenidoğru (*Eriobotrya japonica* Lindl.) bitkilerinin çeşitli mineral elementleri alımı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla gerçekleştirilen çalışmada, uygulamaların başlangıcından 69 gün sonra bitkiler hasat edilerek yaprak, gövde ve kök olmak üzere ayrılmış ve B, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn ve Na konsantrasyonları belirlenmiştir. Daha sonra, her bir bitki kısmındaki besin

elementlerinin konsantrasyonları ile kuru ağırlıkların çarpılmasıyla bitki başına toplam besin içeriği hesaplanmış. Yüksek B konsantrasyonları (400 μM), bitkilerin K, P, Ca, Mg, Zn, Fe ve Mn alımını önemli ölçüde azalttığını, tüm elementlerin alımı, B konsantrasyonu ile ters orantılı bulunmuştur; bu ilişki P için $r=-0.654$ ($P<0.001$) ve K için $r=-0.744$ ($P<0.01$) arasında değişmektedir. Na bakımından ise, toplam alımda anlamlı bir farklılık gözlenmemesine rağmen, B konsantrasyonu ile Na alımı arasında anlamlı ve hafif düzeyde negatif bir korelasyon bulunduğunu belirtmişlerdir ($r=-0.421$, $P<0.05$). Sonuç olarak, yenidoğuş bitkileri 50 μM 'nin üzerindeki bor konsantrasyonlarına karşı oldukça duyarlıdır ve 400 μM gibi aşırı bor içeren çözeltilerde yetiştirilmeleri durumunda, temel makro ve mikro besin elementlerinin alımı belirgin şekilde baskılandığını bulmuşlardır.

5. SONUÇ

Sonuç olarak, bor (B), meyve yetiştiriciliğinde verim artışı ve meyve kalitesinin iyileştirilmesi açısından kritik bir mikro besin elementi olarak belirginleşmektedir. Çiçeklenmeden meyve olgunlaşmasına kadar olan ontogenetik süreçte gözlemlenen olumlu etkileri, yerli ve uluslararası araştırma bulgularıyla desteklenmektedir. Bu çalışmalar, borun meyve ağaçlarının verimliliğini artırmada, meyve büyüklüğünü ve kalitesini iyileştirmede önemli bir rol oynadığını teyit etmektedir. Bununla birlikte, borun bitki beslenmesindeki çift yönlü doğası dikkate alınmalıdır. Bor noksanlığı, meyve üretiminde önemli verim kayıplarına neden olabilirken, aşırı uygulamalar ise bitkilerde toksik etkilere yol açabilmektedir. Bu nedenle, bor uygulamalarının titizlikle gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Uygulama miktarı, zamanlaması ve yöntemleri; yerel iklim koşulları, toprak özellikleri ve yetiştirilen bitki türünün spesifik gereksinimleri doğrultusunda optimize edilmelidir.

Bitki fizyolojisi düzeyinde incelendiğinde, optimal bor beslenmesinin, başta potasyum (K^+) ve nitrat (NO_3^-) olmak üzere temel besin elementlerinin kökler tarafından alınımı ve taşınımı üzerindeki sinerjistik etkileşimler aracılığıyla bitki besin elementi kullanım etkinliği için vazgeçilmez bir öneme sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bor noksanlığı koşullarında potasyum alımındaki azalmanın, nitrat alımını da olumsuz etkilemesi bu durumu açıkça desteklemektedir. Dolayısıyla, borun doğru ve dengeli bir şekilde uygulanması, meyve üretiminde hem verim artışı hem de meyve kalitesinin iyileştirilmesi için stratejik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, bölgesel koşullara ve bitki ihtiyaçlarına uygun bor gübreleme programlarının geliştirilmesi ve çiftçilere yönelik bilinçlendirme çalışmalarının yapılması, sürdürülebilir ve yüksek kaliteli meyve üretiminin sağlanması açısından kritik adımlar olarak değerlendirilmektedir.

6. KAYNAKÇA

- Acar, I., Ak, B.E., ve Sarpkaya, K. (2010). Effects of boron and gibberellic acid on in vitro pollen germination of pistachio (*Pistacia vera* L.). African Journal of Biotechnology, 9(32), 5126–5130.
- Acar, I., ve Eti, S. (2008). Effect of pistil receptivity, pollen mixtures, and pollen application distances on fruit set of pistachios (*Pistacia vera*). New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 36, 295–300.
- Ağaoğlu, Y.S., Ayfer, M., Fidan, Y., Köksal, İ., Çelik, M., Abak, K., ve Gülşen, Y. (1987). Bahçe Bitkileri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. 1009.
- Ahmad, W., Niaz, A., Kanwal, S., Rahmatullah, M., and Rashedds, K. (2009). Role of Boron in Plant Growth: Review. J. Agric. Res., 47 (3): 329-338.
- Ahmad, W., M. H. Zia, S. S. Malhi, A. Niaz, and S. Ullah. (2012). Boron deficiency in soils and crops: A review. Crop Plant 2012:65–97. doi:10.5772/36702.
- Ahmed, N., M. Abid, and F. Ahmad, (2008). Boron toxicity in irrigated cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Pakistan Journal of Botany 40 (6):2443–52.
- Akgül, H., Uçgun, K. (2004). Meyve Ağaçlarında Gübreleme. 3. Ulusal Gübre Sempozyumu. Cilt 2 (Rehber bilgiler). Tokat. 1277-1313 s.
- Anonymous, (2025). The Role of Boron in Flowering and Fruit, Nut and Seed Formation. <https://agriculture.borax.com/resources/agronomy-notes/boron-in-plant-nutrition/boron-in-flowering-fruit-nut-seed-formation>. Erişim tarihi: 24.02.2025.
- Ceyhan, E., M. H. Önder, M. Armankaya, M. Hamurcu, and S. Gezgin. (2007). Response of chickpea cultivars to application of boron in boron-deficient calcareous soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis 38 (17–18):2381–99. doi:10.1080/00103620701588734.
- Ceyhan, E., M. Önder, Ö. Öztürk, M. Harmankaya, M. Hamurcu, and S. Gezgin. (2008). Effects of application boron on yields, yield component and oil content of sunflower in boron-deficient calcareous soils. African Journal of Biotechnology 7 (16):2854–61.
- Cheng, C. and Rerkasem, B. (1993). Effects of boron on pollen viability in wheat. Pl. Soil. 155/156:313-315.
- Çetinkaya, H., Gözel, H., Türker, S. (2022). Türkiye’de Meyveciliğin Gelişimi ve Durum Değerlendirmesi. In book: Farklı Yaklaşımlarla Tarıma Yeniden Bakış. Bölüm: 39, Orient Yayınları.

- Davarpanah, S., A. Tehranifar, G. Davarynejad, J. Abadía, and R. Khorasani. (2016). Effects of foliar applications of zinc and boron nano-fertilizers on pomegranate (*Punica granatum* cv. Ardestani) fruit yield and quality. *Scientia horticulturae* 210:57–64. doi:10.1016/j.scienta.2016.07.003.
- Day, S., Aasim, M. (2020). Plant Micronutrienst. T.Aftab, K.R. Hakeem (eds.). Role of Boron in Growth and Development of Plant: Deficiency and Toxicity Perspective. Chapter 19 p. 435-453.
- Fischer, G., P. J. Almanza-Merchán, and F. Ramírez. (2012). Source-sink relationships in fruit species: A review. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 6 (2):238–53. doi:10.17584/rcch.2012v6i2.1980.
- Ganie, M.A.; Akhter, F.; Bhat, M.A.; Malik, A.R.; Junaid, J.M.; Abas Shah, M.; Bhat, A.H.; Bhat, T.A. (2013). Boron A critical nutrient element for plant growth and productivity with referance to temperate fruits. *Curr. Sci.*, 104, 76–85.
- Harmankaya, M., M. Önder, M. Hamurcu, E. Ceyhan, and S. Gezgin. (2008). Response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars to foliar and soil applied boron in boron-deficient calcareous soils. *African Journal of Biotechnology* 7 (18):3275–82.
- Hegazi, E. S., R. A. El-Motaium, T. A. Yehia, and M. E. Hashim. (2018). Effect of foliar boron application on boron, chlorophyll, phenol, sugars and hormones concentration of olive (*Olea europaea* L.) buds, leaves, and fruits. *Journal of Plant Nutrition* 41 (6):749–65. doi:10.1080/01904167.2018.1425438.
- Jiao, X. Y., Y. G. Zhu, B. A. Jarvis, W. P. Quick, and P. Christie. (2005). Effects of boron on leaf expansion and intercellular airspaces in mung bean in solution culture. *Journal of Plant Nutrition* 28 (2):351–61. doi:10.1081/PLN-200047629.
- Kacar, (2012). Temel Bitki Besleme. Nobel Yayıncılık, 400 p., Ankara.
- Kastori, R., & Petrovic, N. (1989). Effect of boron on nitrate reductase activity in young sunflower plants. *Journal of Plant Nutrition*, 12, 621–627.
- Kocabaş, (2009). Elma Yetiştiriciliğinde Bor Uygulamasının Önemi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 2(1): 127-130.
- Korkmaz, N., & Guneri, M. (2019). Effect of different boron levels on pollen germination of Hıcaz nar pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivar. *International Journal of Agriculture Forestry and Life Sciences*, 3, 151–156.

- Litz, R. E. (2009). The Mango. In Botany, production and uses, 2nd, 680. Wallingford, Oxfordshire, UK: –CABI. doi:10.1079/9781845934897
- Meena, V. S., P. K. Yadav, and P. M. Meena. (2008). Yields attributes of ber (*Ziziphus mauritiana* Lamk.) cv. Gola as influenced by foliar application of ferrous sulphate and borax. *Agricultural Science Digest* 28 (3):219–21.
- Michailidis, M., Bazakos, C., Kollaros, M., and et al. (2023). Boron stimulates fruit formation and reprograms developmental metabolism in sweet cherry. *Physiol Plant.*, 174(3): e13946. doi: 10.1111/pp1.13946.
- Moheb, M.B., Imani, A., & Shamili, M. (2016). Effects of boron and cold stress on germination of almond pollen in vitro culture. *Journal of Nuts*, 7(2), 149–159.
- Nogueira, P.V. (2016). Establishment of growth medium and quantification of pollen grains and germination of pear tree cultivars. *Revista Ciência Agronômica*, 47(2), 380–386.
- Ödemiş B, Uncu, S. (2022) Determining effects of foliar boron applications on yield and fruit quality of apricot trees for reducing water stress. *MKU. J. Agric. Sci.* 27(1) : 47-60. DOI: 10.37908/mkutbd.1009679.
- Papadakis, Ioannis & Tsiantas, Petros & Psychoyou, M. & Vemmos, Stavros. (2015). The, Effects Of Boron On The Uptake Of Various Mineral Elements By Loquat Plants. *Acta Horticulturae*. 227-233. 10.17660/Actahorti.c.2015.1092.34.
- Perica, S.; Brown, P.H.; Connell, J.H.; Nyomora, A.M.S.; Dordas, C.; Hu, H.; Stangoulis, J. (2001) Foliar boron application improves flower fertility and fruit set of olive. *HortScience* 36, 714–716.
- Rerkasem, B. (1996). Boron and plant reproductive development. In: Sterility in Wheat in Sub-tropical Asia: Extent, Causes and Solutions. Rawson, H .M. and K. D. Subedi (eds.). p. 32-35. ACIAR Proc. No. 72.
- Sajid, M., A. Rab, N. Ali, M. Arif, L. Ferguson, and M. Ahmed. (2010). Effect of foliar application of Zn and B on fruit production and physiological disorders in sweet orange cv. Blood orange. *Sarhad Journal of Agriculture* 26 (3):355–60.
- Sajid, M., Basit, A., Shan, TS., and et al. (2024). Enhancing the Quality and Fruit Yield of Sweet Cherry (*Prunus avium*) Cultivars by Foliar Application of Boron. *Applied Fruit Science*, 66: 485-494.
- Seth, K., and N. C. Aery. (2017). Boron induced changes in biochemical constituents, enzymatic activities, and growth performance of wheat.

- Acta Physiologiae Plantarum 39 (11):1–10. doi:10.1007/s11738-017-2541-3.
- Shaaban, M. M. (2010). National research centre, department of fertilization technology, Dokki, Cairo, Egypt. American Journal of Plant Physiology 5 (5):224–40.
- Singh, A., A. K. Shukla, and P. R. Meghwal. (2020). Fruit cracking in pomegranate: Extent, cause, and management – a review. International Journal of Fruit Science 20 (3):1234–53. doi:10.1080/15538362.2020.1784074.
- Singh, D. B., B. D. Sharma, and R. Bhargava. (2003). Effect of boron and GA3 to control fruit cracking in pomegranate (*Punica granatum*). Current Agriculture 27 (1/2):125–27.
- Singh, A., U. Burman, A. Saxena, and P. R. Meghwal, (2017). Interactive effects of micronutrients, kaolin and mulching under drip irrigation system in managing fruit cracking of pomegranate (*Punica granatum*). In IV International Symposium on Pomegranate and Minor Mediterranean Fruits 1254. 213–18. doi:10.17660/ActaHortic.2019.1254.32.
- Sharafi, Y.; Raina, M. (2021). Effect of boron on pollen attributes in different cultivars of *Malus domestica* L. Natl Acad. Sci. Lett. 44, 189–194.
- Shen, Z. G., Liang, Y. C., & Shen, K. (1993). Effect of boron on the nitrate reductase-activity in oilseed rape plants. Journal of Plant Nutrition, 16, 1229–1239.
- Shivanna, K. R., Linskens, H. F., & Cresti, M. (1991). Pollen viability and pollen vigor. Theoretical and Applied Genetics, 81, 38–42.
- Shivani T., Agnibha S. & Animesh G.B., (2023). Boron- A Critical Element for Fruit Nutrition, Communications in Soil Science and Plant Analysis, DOI: 10.1080/00103624.2023.2252878
- Soares, T. L., et al. (2008). In vitro germination and viability of pollen grains of banana diploids. Crop Breeding and Applied Biotechnology, 8, 111–118.
- Sotomayor, C., Ruiz, R., García-Huidobro, J. (2012). Boron Concentration Affects In Vitro Pollen Germination and Tube Growth in Kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) Cultivar ‘Matua’. Proc. XXVIIIth IHC – Plant Physiol. from Cell to Fruit Prod. Sys. Acta Hort. 932, ISHS 2012.
- Tan Y, Jiang X-W, Ji T-T, Luo Y-F, Dai W, Zhang H, Niu Z-X, Lei Y-D, Zhang Z-Y, Lin T-Y (2024) Identifying the source and fate of boron

- in geothermal water: evidence from B/Na and B isotopes. *Sci Total Environ* 914:169629.
- TCTB, (2022). Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı. İhracat Genel Müdürlüğü, Tarım İşleri Daire Başkanlığı. Yaş Meyve ve Sebze Sektör Raporu. Erişim tarihi: 21.02.2025. https://ticaret.gov.tr/data/5b87_00a513b87614_50e18d81/Ya%C5%9F%20Meyve%20ve%20Sebze.pdf.
- Wang, N., C. Yang, Z. Pan, Y. Liu, and S. A. Peng. (2015). Boron deficiency in woody plants: Various responses and tolerance mechanisms. *Frontiers in Plant Science* 6:916. doi:10.3389/fpls.2015.00916.
- Wojcik and Wojcik, (2024). Effect of Boron Fertilization on Sweet Cherry Tree Yield and Fruit Quality. *Journal of Plant Nutrition*, 29(10):1755-1766.
- Zhang, Y., C. Hu, Q. Tan, Z. Nie, C. Zheng, H. Gui, X. Sun, and X. Zhao. (2015). Soil application of boron and zinc influence fruit yield and quality of satsuma mandarin in acidic soils. *Agronomy Journal* 107 (1):1–8. doi:10.2134/agronj14.0122.
- Zhao, S., Huq, M.E., Fahad, S., Kamran, M., Riaz, M., (2024). Boron toxicity in plants: understanding mechanisms and developing strategies; areview. *Plant Cell Reports*, 43, 283.



BÖLÜM 3

Bitki Virüslerinin Epidemiyolojisi ve Coğrafi Yayılım Haritalaması

Yağmur Türkmen¹

1. Giriş

Bitki virüsleri, tarımsal üretimi doğrudan etkileyen ve ekonomik kayıplara yol açan önemli patojenlerdir (Tatineni & Hein, 2023). Bu virüslerin epidemiyolojisi, yani bir alanda ne şekilde yayıldıkları ve bulaşma dinamiklerinin anlaşılması hem hastalık kontrolü hem de sürdürülebilir tarım stratejilerinin geliştirilmesi açısından kritik öneme sahiptir (Jones, 2021).

Bitki virüsleri, çoğunlukla vektör organizmalar aracılığıyla yayılır; bu vektörler arasında afitler, beyaz sinekler, yaprak pireleri ve bazı toprak kökenli nematodlar ve funguslar yer alır. Bununla birlikte bazı virüsler mekanik temasla, tohumla ya da vegetatif çoğaltma materyali ile de taşınabilir (Hull, 2014).

Bir virüsün bir bölgede veya ürün grubunda yayılma şekli, çevresel koşullar, vektör popülasyon dinamikleri, konukçu bitki yaygınlığı ve virüsün biyolojik özellikleriyle şekillenir (Jeger, 2020). Bu bağlamda, bitki virüslerinin coğrafi dağılımı ve bu dağılımı etkileyen faktörlerin anlaşılması, bölgesel hastalık yönetimi, fitosaniter kontrol stratejileri ve erken uyarı sistemleri açısından vazgeçilmezdir (Hossain vd., 2024).

Bu bölümde, bitki virüs hastalıklarının epidemiyolojik temel kavramları, bulaşma mekanizmaları ve yayılım modelleri ayrıntılı olarak ele alınacak; ayrıca coğrafi yayılımın haritalanmasına yönelik güncel yöntemler ile Türkiye’den vaka örneklerine yer verilecektir.

2. Bitki Virüs Epidemiyolojisinde Temel Kavramlar

2.1. Bulaşma Dinamikleri

Bitki virüslerinin epidemiyolojisinde bulaşma dinamikleri, bir salgının ortaya çıkışı, yayılımı ve şiddeti üzerinde belirleyici rol oynar. Bu süreç, çoğunlukla konukçu-bitki popülasyonu, virüsün enfektivitesi ve vektör organizmaların taşıma kapasitesi arasındaki etkileşimlerin bir sonucudur (Jeger, 2020).

¹ Dr., Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü
Orcid: 0000-0002-0566-1591

Epidemiyolojik açıdan bulaşma, primer (birincil) ve sekonder (ikincil) enfeksiyonlar olmak üzere iki ana başlıkta incelenir. Primer enfeksiyonlar, çoğunlukla enfekteli tohum, vegetatif materyal (yumru, aşı kalemi), enfekteli fide veya taşıyıcı vektörlerle taşınan virüsler ile başlar. Bu kaynaklar genellikle belirti göstermeyen (latent) enfeksiyonlu bitkiler olabilir. Bu nedenle sertifikalı üretim sistemleri ve tarımsal hijyen önlemleri, primer enfeksiyonların kontrolünde önemli rol oynar (Hull, 2014; Jeger, 2020; Jones, 2021; Escalante vd., 2024).

Sekonder enfeksiyonlar ise, hastalığın tarlada veya çevredeki diğer alanlara vektör organizmalar aracılığıyla yayılmasını ifade eder. Uçan vektörler —özellikle afidler, beyaz sinekler ve thripsler— bulaşmanın hızla artmasına neden olur (Wendimu & Gurmu, 2024). Tarla ya da bahçe içindeki yayılım ayrıca budama aletleri, iş gücü hareketliliği ve mekanik temas gibi vektör dışı etkenlerle de gerçekleşebilir (Hull, 2014).

Virüs bitki dokusuna girdikten sonra sistemik olarak yayılmadan önce bir latent (kuluçka) döneme sahiptir. Bu süre boyunca bitki dışarıdan sağlıklı görünebilir, ancak virüs bitki içinde çoğalmaya devam eder. Latent sürenin uzunluğu; virüsün türüne, konukçunun yaşına ve çevresel koşullara göre değişiklik gösterir (Rodrigo vd., 2014; Takahashi vd., 2019).

Salgınların kontrolü açısından önemli olan, bulaşma zincirinin bir noktasında kırılmasıdır. Özellikle enfeksiyon kaynaklarının etkin biçimde ortadan kaldırılması ve vektör popülasyonlarının kontrol altında tutulması, epidemik döngünün kesilmesini sağlar. Bu amaçla geliştirilen epidemiyolojik modeller, hastalığın yayılımını tahmin etmek ve erken uyarı sistemleri oluşturmak için kullanılmaktadır (Gilligan & Bosch, 2008).

2.2. Vektör Organizma Dinamiği

Bitki virüslerinin yayılımında en kritik etmenlerden biri, virüsleri taşıyabilen vektör organizmalardır. Bu vektörler çoğunlukla bitki özsuynunu emerek beslenen canlılardır ve virüsün bitkiden bitkiye aktarılmasında doğal köprü görevi görür. En yaygın vektör grupları arasında afidler (Aphididae), beyaz sinekler (Aleyrodidae), thripsler (Thripidae), yaprak pireleri (Psyllidae) ve bazı coleopter türler yer alır (Nault, 1997; Hull, 2014, Singh vd., 2020, Rao vd., 2024).

Vektörler virüsleri farklı aktarım modlarında taşırlar:

- Non-persistent (geçici): Vektör, virüsü kısa sürede (saniyeler-dakikalar) alır ve hemen başka bitkiye aktarabilir. Bu modda virüs genellikle ağız parçalarının dışında taşınır.

- Semi-persistent: Virüs, vektörün ön bağırsak yapılarında tutulur ve birkaç saatten birkaç güne kadar bulaşabilir.
- Persistent: Virüs, vektörün sindirim sisteminden geçerek hemolenf ve tükürük bezlerine ulaşır; bu da uzun süreli bulaşıcılık sağlar. Bu grupta bazı virüsler vektör içinde çoğalabilir (propagative transmission) (Ng & Falk, 2006; Hogenhout vd., 2008).

Vektör organizmaların etkili olabilmesi için sadece virüsle enfekte olabilmeleri değil, aynı zamanda konukçu bitkiler arasında aktif hareket edebilmeleri gerekir. Bu nedenle uçan vektörlerin (özellikle afit ve beyaz sineklerin) ekolojisi, hastalık yayılımının mekânsal hızını doğrudan etkiler (Jayasinghe vd.; 2021; Naveed vd.; 2023). Uçuş davranışı, bitki tercihleri, çevresel koşullara duyarlılık ve popülasyon dinamikleri, vektörlerin epidemik potansiyelini belirler (Feres & Moreno, 2009; Cunniffe vd.; 2021).

Bununla birlikte, vektörlerin taşıyıcılık kapasitesi tek başına yeterli değildir. Virüs-vektör etkileşimi genellikle oldukça özgüldür. Her vektör her virüsü taşıyamaz. Bu özgüllük, virüs partikülünün vektörün sindirim ya da tükürük bezleriyle olan moleküler etkileşimleri ile belirlenir (Whitfield vd., 2015). Bu nedenle epidemiyolojik modellerin başarısı, yalnızca vektör türünün varlığına değil, aynı zamanda biyolojik uyumuna da bağlıdır.

Ayrıca, iklim değişikliği, tarımsal yoğunluk ve bitki örtüsü yapısı gibi faktörler vektör popülasyonlarının zamansal ve mekânsal dağılımını etkileyerek yeni epidemiyolojik desenlerin oluşmasına neden olabilir (Strauss vd., 2020; Jones, 2021). Özellikle sıcaklık artışı, vektörlerin çoğalma hızını artırmakta, yeni bölgelere yayılmalarına olanak tanımaktadır.

2.3. Konukçu Bitki Faktörleri

Bitki virüslerinin epidemiyolojisinde, konukçu bitkilerin varlığı, yoğunluğu, duyarlılığı ve çeşitliliği, hastalığın çıkışı ve yayılımı açısından merkezi bir öneme sahiptir (Thresh, 2006; Madden vd., 2007; Pagán, 2012; Mcleish vd., 2019; Jeger, 2020). Her virüs belirli konukçu bitki türleriyle sınırlı olabilir, ancak bazı virüsler çok geniş bir konukçu spektrumuna sahiptir; bu durum, yayılım potansiyelini doğrudan artırır (Rothenburg & Brennan, 2020).

Konukçu bitkilerin duyarlılığı, enfeksiyonun başarıyla oluşması ve sistemik yayılımın gerçekleşmesiyle ilişkilidir. Özellikle hassas

genotiplere sahip bitki çeşitleri, virüslerin hem lokal hem de uzak mesafelere yayılımında birincil kaynak işlevi görebilir (Thresh, 2006). Bazı kültür bitkileri, virüsü taşısa da belirti göstermeyebilir; bu “latent enfeksiyon”lar, virüsün fark edilmeden yayılmasına olanak sağlar (Hull, 2014).

Virüslerin doğada uzun süreli olarak varlığını sürdürebilmesi için rezervuar konukçulara, yani yabancı otlar veya çok yıllık bitkilere ihtiyaç duyulur. Bu tür bitkiler, virüsler için doğal bir inokulum kaynağı oluşturarak tarımsal sezonlar arasında hastalık sürekliliğini sağlar (Power & Remold, 1996; Daughtrey vd., 1997; Byron vd., 2019; Tatineni & Hein, 2023). Özellikle yabancı ot florasında bulunan virüsler, vektörler aracılığıyla tarım bitkilerine kolaylıkla taşınabilir (Byron vd., 2019).

Tarla içi ve çevresindeki konukçu yoğunluğu da virüs yayılımının hızını belirleyen anahtar faktörlerdendir. Yüksek yoğunlukta, aynı tür bitkilerin monokültür halinde yetiştirilmesi, epidemilerin hızla ilerlemesine olanak tanır. Buna karşın, konukçu çeşitliliği yüksek olan sistemlerde, vektörlerin hedefini bulması zorlaştığından dolayı bulaşma oranı düşebilir (Douma & Noordhoek, 2025).

Ayrıca, bitki gelişim dönemi (fenolojik evre) de virüs duyarlılığını etkiler. Örneğin genç bitkilerde enfeksiyonlar daha yaygın ve sistemik olabilirken, olgun bitkilerde enfeksiyon sınırlı kalabilir (Melero, 2023).

2.4. Çevresel Etmenler ve Tarımsal Uygulamalar

Bitki virüslerinin epidemiyolojik yapısı yalnızca virüs–konukçu–vektör üçgeni ile sınırlı değildir. İklimsel koşullar, mikroekolojik yapı ve tarımsal uygulamalar da salgınların şiddeti ve seyri üzerinde belirleyici rol oynar (Jeger, 2020; Jones, 2021).

İklimsel Faktörler

Sıcaklık, nem ve ışık yoğunluğu gibi çevresel parametreler hem virüsün replikasyon hızını hem de vektör popülasyonlarının biyolojisini doğrudan etkiler. Örneğin birçok virüs ılıman koşullarda daha aktif yayılırken, bazıları yüksek sıcaklıkta daha agresif hale gelir. Ayrıca sıcaklık artışı, vektörlerin yaşam döngüsünü hızlandırarak bulaşma sıklığını artırabilir (Samuel, 2017; Jones, 2021).

Yağış ve rüzgâr gibi meteorolojik olaylar da virüs taşınımını etkileyebilir. Örneğin rüzgarla taşınan vektörler (beyazsinek, thrips), geniş alanlara yayılım sağlayabilirken, aşırı yağışlar bazı vektörlerin popülasyonunu geçici olarak azaltabilir (Jones & Barbetti, 2012; Krishnareddy, 2013; Sujatha, 2025).

Toprak ve Mikroklima

Toprak tipi, su tutma kapasitesi ve bitki besin maddeleri, bitkinin virüs enfeksiyonlarına karşı dayanıklılığını etkileyebilir. Düşük besin seviyeleri veya stres altında olan bitkiler, genellikle enfeksiyona daha açıktır (Martín-Cardoso, 2025). Ayrıca, sık dikim yapılan alanlarda oluşan nemli mikroklima hem vektör hareketliliğini hem de enfeksiyon başarı oranını artırabilir.

Tarımsal Uygulamalar

Modern tarımda uygulanan yöntemler —özellikle monokültür, sık dikim, yoğun sulama, dengesiz gübreleme ve bilinçsiz pestisit kullanımı— virüslerin yayılım riskini artıran faktörler arasındadır (Grešíková, 2022). Örneğin, aynı türün geniş alanlara homojen şekilde dikilmesi, vektörlerin virüsü hızla bitkiden bitkiye taşımasını kolaylaştırır.

Bitki materyalinin kontrolsüz taşınması (özellikle fide, aşı kalemi, yumru gibi vegetatif materyaller) virüslerin bölgesel ya da uluslararası yayılımına neden olabilir. Bu durum, enfeksiyonun epidemik hale gelmesinde önemli bir etkidir (Jones, 2021).

Ayrıca, mekanizasyonla birlikte kullanılan tarım makineleri ve iş gücü de enfekte bitkilere temas yoluyla mekanik bulaşmayı mümkün kılar (Hull, 2014; Pagán, 2022). Bu nedenle, hijyen kurallarının tarım uygulamalarına entegre edilmesi önerilmektedir.

2.5. Epidemik ve Endemik Yayılım Modelleri

Bitki virüs hastalıklarının yayılımı, iki temel patern üzerinden ele alınır. Bunlar, endemik (yerleşik) yayılım ve epidemik (salgın) yayılımdır. Bu modeller, hastalığın mekânsal-temporal gelişimini anlamak, tahmin etmek ve yönetim stratejileri geliştirmek için kullanılır (Jeger, 2020; Jeger vd., 2023).

Endemik Yayılım

Endemik durum, virüsün belirli bir bölge veya popülasyonda uzun süre boyunca sabit düzeyde varlığını sürdürmesidir. Genellikle, konukçu bitki ve vektör popülasyonlarının dengede olduğu, çevresel koşulların hastalığın patlamasına neden olmayacak kadar istikrarlı olduğu durumlarda görülür (Jeger, 2020).

Bu tip yayılımda virüs, konukçular arasında sınırlı mesafelerde taşınır; genellikle latent enfeksiyonlarla uzun süreli varlık gösterir. Örneğin, süregelen toprakta kalan enfekteli kök artıkları ya da kalıcı vektör popülasyonları, endemik yayılımın sürekliliğini sağlar (Jeger, 2020).

Epidemik Yayılım

Epidemik yayılım, kısa sürede, geniş alanlara yayılan ve konukçu popülasyonunda hızlı artış gösteren enfeksiyonları tanımlar. Bu durum genellikle iklimsel koşullarda ani değişiklikler, duyarlı konukçuların artışı ya da vektör popülasyonlarında patlamayla ilişkilidir (Jeger, 2020; Jones, 2021).

Böyle durumlarda, enfeksiyonun tarlada yayılma şekli sıklıkla odak noktası etrafında başlar ve zamanla merkezden çevreye doğru ilerleyen bir yayılım paterni izlenir. Özellikle non-persistent virüslerin, vektörlerle kısa sürede çok sayıda bitkiye taşınması sonucu bu desen oluşur (Thresh, 1980; Jeger, 2020).

Mekânsal-Yerel Yayılım ve Uzun Mesafe Taşınım

Virüs yayılımı hem lokal (ör. aynı tarlada birkaç metre mesafe) hem de uzun mesafe (ör. fide ile kıtalar arası taşınım) şeklinde gerçekleşebilir. Uzun mesafe taşınım genellikle enfekte vegetatif materyalin, fide veya aşı kalemlerinin ticareti ile mümkündür. Bazı durumlarda, rüzgarla taşınabilen vektörler ya da böcek göçleri de binlerce kilometrelik mesafelerde yayılma sağlayabilir (Jones, 2021).

Matematiksel Epidemiyoloji ve Modeller

Bitki virüslerinin yayılımını analiz etmek için sıklıkla farklı epidemiyolojik modeller kullanılır. Bu modeller enfekte birey sayısının zamana göre değişimini tahmin ederken; vektör popülasyon dinamiği, mevsimsellik, konukçu yoğunluğu ve çevresel faktörleri değişken olarak içerebilir (Jeger, 2020; Coronel, 2023).

Bu tür modellerle geliştirilen risk haritaları, enfeksiyonların öngörülmesi ve kontrol önlemlerinin zamanında alınması açısından stratejik öneme sahiptir (Coronel, 2023).

3. Coğrafi Yayılım ve Haritalama Yöntemleri

Bitki virüslerinin coğrafi dağılımı hem hastalığın epidemiyolojisinin anlaşılması hem de karantina ve yönetim stratejilerinin planlanması açısından kritik öneme sahiptir. Virüslerin farklı agroekolojik bölgelerde gösterdiği varyasyon, yalnızca konukçu bitkinin dağılımıyla değil; aynı zamanda vektör organizmaların varlığı, iklimsel koşullar, tarımsal pratikler ve uluslararası ticaret gibi faktörlerle doğrudan ilişkilidir (Jones, 2009; Shaw & Osbourne, 2011; Jeger, 2020; Jones, 2021).

3.1. Coğrafi Yayılımı Belirleyen Faktörler

Bitki virüslerinin yayılımı aşağıdaki ana etmenlerle şekillenir:

- İklimsel Uyum: Sıcaklık, nem, yağış ve rüzgâr gibi faktörler hem virüs replikasyonu hem de vektör popülasyonlarını doğrudan etkiler. Örneğin, luteovirüslerin çoğu ılıman iklimlerde yaygınken, begomovirüsler daha çok tropik ve subtropik bölgelerde görülür (Navas-Castillo vd., 2011; Reyna vd., 2023).
- Konukçu Bitki Yayılımı: Tarımsal alanlardaki konukçu tür yoğunluğu, özellikle endemik virüslerin sürdürülebilirliği açısından belirleyicidir (LaTourrette & Garcia-Ruiz, 2022). Hıyar mozaik virüsü (CMV) gibi bazı virüsler, konukçu genişliği sayesinde farklı bölgelerde kolayca yerleşebilir (Jacquemond, 2012).
- Vektörlerin Ekolojik Alanı: Vektörlerin coğrafi dağılımı, virüslerin de yayılım sınırlarını belirler. Örneğin, *Bemisia tabaci* (beyaz sinek), tropik bölgelerde birçok begomovirüsün ana taşıyıcısıdır (Oliveira vd., 2001; Navas-Castillo vd., 2011).
- İnsan Faaliyetleri ve Ticaret: Tohum, fide ve aşı materyaliyle yapılan uluslararası ticaret, virüslerin uzun mesafe taşınımında önemli bir rol oynar. Bu durum, bazı karantina virüslerinin kıtalar arası yayılımını kolaylaştırmaktadır (Jones, 2021).

3.2. Haritalama Teknikleri ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

Modern epidemiyolojik çalışmalar, bitki virüslerinin mekânsal dağılımını analiz etmek için çeşitli haritalama ve modelleme tekniklerinden yararlanır (Jones, 2014; Anwer & Singh, 2019). En sık kullanılan yöntemler şunlardır:

- GPS Tabanlı Saha Verisi Toplama: Enfekte bitkilerin koordinatları saha çalışmaları sırasında GPS cihazları ile kaydedilir. Bu veriler daha sonra dijital haritalara aktarılır (Nelson vd., 1999; Anwer & Singh, 2019).
- CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri): CBS yazılımları, mekânsal verilerle epidemiyolojik verileri entegre ederek hastalığın yoğunluk, yaygınlık ve yayılma hızını gösteren tematik haritalar oluşturur (Nelson vd., 1999, Anwer & Singh, 2019). Ayrıca risk bölgelerinin belirlenmesinde ve müdahale planlarının geliştirilmesinde de kullanılır.

- Uzaktan Algılama (Remote Sensing): Uydular ve insansız hava araçları (drone) ile toplanan veriler, geniş tarım alanlarında hastalık belirtilerini tespit etmek için kullanılır. Bitki örtüsü indeksleri, enfeksiyonun erken döneminde tanı konulmasına yardımcı olabilir (Abbas vd., 2023).
- Mekânsal İstatistik ve Modelleme: Kriging, hot spot ve mekânsal otokorelasyon gibi analizler kullanılarak, virüslerin mekânsal düzeni sayısal olarak değerlendirilir. Bu yöntemler, yalnızca varlık haritalaması değil, aynı zamanda bulaş potansiyelinin tahmini için de kullanılır (Madden, 1987; Vaillant vd., 2011; Savory vd., 2014; Gonzalez-Cruces vd., 2022).

3.3. Risk Haritaları ve Erken Uyarı Sistemleri

Coğrafi dağılıma dayalı risk haritaları, belirli bölgelerde virüs salgını potansiyelini tahmin etmek amacıyla oluşturulur. Bu haritalar, modelleme algoritmalarıyla (örneğin lojistik regresyon, makine öğrenimi) zenginleştirilerek daha güvenilir tahminlerde bulunabilir. İklim verileri ve geçmiş enfeksiyon verilerinin entegrasyonu ile oluşturulan erken uyarı sistemleri, üreticilere zamanında müdahale şansı sunar (Jeger, 2020; Jones, 2021).

4. Bitki Virüslerinde İklim Değişikliğinin Etkisi

Küresel iklim değişikliği, sadece sıcaklık artışları ve yağış rejimlerinin değişimiyle sınırlı olmayıp; aynı zamanda bitki-patojen-vektör etkileşimlerinde de önemli değişimlere neden olmakta, bu durum özellikle bitki virüslerinin yayılımı, epidemiyolojisi ve şiddeti üzerinde belirleyici rol oynamaktadır (Jones, 2009; Jones, 2021; Tsai vd., 2022).

4.1. Sıcaklık Artışı ve Virüs Enfeksiyonları

Artan sıcaklıklar, bitki virüslerinin replikasyon hızını ve konukçudaki sistemik yayılımını hızlandırabilir (Amari vd., 2021). Özellikle RNA virüsleri gibi mutasyon oranı yüksek patojenlerde bu durum, daha hızlı adaptasyon ve yeni varyantların ortaya çıkmasını tetikleyebilir (Alcaide vd., 2021). Örneğin, *Turnip mosaic virus* (TuMV), yüksek sıcaklıklarda daha şiddetli belirtiler göstermekte ve virüs yükü artmaktadır (Chung vd., 2015).

4.2. Vektör Popülasyonları ve Dağılımındaki Değişimler

İklimsel ısınma, vektör canlıların (afit, beyaz sinek, trips vb.) popülasyon büyüklüğü, gelişim süresi ve coğrafi dağılımı üzerinde

doğrudan etkili olup; bazı türlerin daha önce görülmediği enlemlerde ya da yüksekliklerde yerleşmesini sağlamaktadır (Canto vd., 2009; Skendžić vd., 2021). Bu durum, yeni bölgelerdeki virüslerin endemik olmaktan çıkıp epidemik hale gelmesine yol açabilir.

Örneğin; *Bemisia tabaci*, Akdeniz havzasında iklim değişikliği ile kuzeye doğru yayılım göstermekte; bu da TYLCV gibi beyaz sinek ile taşınan virüslerin yeni bölgelere taşınmasına neden olmaktadır (Ramos vd., 2019).

4.3. Konukçu Bitki Savunmalarının Zayıflaması

Kuraklık, ısı stresi ve UV artışı gibi çevresel baskılar altında bitkilerin fizyolojik dengesinde bozulmalar olur. Bu da antiviral savunma sistemlerinin (örneğin RNAi yolu) baskılanmasına ve virüslerin daha kolay sistemik yayılmasına yol açar (Prasch & Sonnewald, 2013). Ayrıca bitkilerde stomal açıklığın artması, vektörlerin beslenme davranışını kolaylaştırabilir.

4.4. Yeni Virüslerin Ortaya Çıkışı ve Rekombinasyon

İklim değişikliği, virüs çeşitliliğini ve yeni varyantların ortaya çıkışını da etkileyebilir. Artan sıcaklık ve vektör hareketliliği, aynı bitki üzerinde farklı virüslerin birlikte enfekte olma ihtimalini artırarak genetik rekombinasyona zemin hazırlar (Alcaide vd., 2021). Bu da yeni, potansiyel olarak daha patojenik strainlerin ortaya çıkmasına yol açabilir.

5. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile Bitki Virüslerinin Takibi

Bitki virüslerinin epidemiyolojisinin anlaşılmasında klasik tarama ve laboratuvar tabanlı yöntemler önemli rol oynasa da uzaktan algılama (remote sensing, RS) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS, GIS) teknolojileri son yıllarda giderek artan şekilde kullanılmaktadır (Mirik vd., 2011; Sugiura vd., 2018; Abbas vd., 2023). Bu teknolojiler, virüs enfeksiyonlarının geniş alanlarda hızlı, hassas ve zamansal değişimleriyle birlikte izlenmesine olanak sağlamaktadır.

5.1. Uzaktan Algılama Teknikleri

Uzaktan algılama, uydu görüntüleri, insansız hava araçları (drone) ve hiperspektral kameralar aracılığıyla bitkilerden yansıyan elektromanyetik spektrum verilerinin analiz edilmesi esasına dayanır (Mahlein, 2016). Virüsle enfekte olmuş bitkilerde fotosentez aktivitesi, pigment bileşimi ve yaprak yapısında değişimler meydana gelir. Bu değişimler, özellikle

hiperspektral ve termal görüntüleme teknikleri ile erken dönemde tespit edilebilir (Polder vd., 2014; Bendel vd., 2020).

- Hiperspektral görüntüleme: Görünür (VIS), yakın kızılötesi (NIR) ve kısa dalga kızılötesi (SWIR) bantlardaki yansımalar üzerinden enfeksiyon belirtileri saptanabilir (Szechyńska-Hebda vd., 2025).
- Termal görüntüleme: Su kaybı ve stomal düzenlemenin bozulması sonucu enfekte bitkilerde yaprak sıcaklık değişimleri gözlemlenir (Pineda vd., 2021).
- Multispektral kameralar: Daha düşük bant çözünürlüğü sunmasına rağmen tarla ölçeğinde hızlı taramalar için uygundur (Laveglia vd., 2025).

5.2. CBS ile Mekânsal Analiz

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), farklı kaynaklardan elde edilen verilerin (uydu görüntüsü, GPS koordinatları, iklimsel veriler, tarımsal kayıtlar) bir araya getirilerek mekânsal analiz yapılmasına imkân tanır. CBS ile:

- Virüslerin coğrafi yayılım haritaları oluşturulabilir,
- Vektör popülasyonlarının hareketleri izlenebilir,
- İklimsel değişkenlerle hastalık yayılımı arasındaki ilişki modellenilebilir (Anwer & Singh, 2019).

5.3. Erken Uyarı Sistemleri ve Karar Desteği

Uzaktan algılama ve CBS'nin entegre edilmesi, tarımsal alanlarda erken uyarı sistemleri geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Bu sistemler, üreticilerin hastalık salgınlarını önceden tahmin etmesine, vektör kontrolünü zamanında başlatmasına ve verim kaybını azaltmasına olanak verir (Calderón Madrid vd., 2014; Wang vd., 2025). Ayrıca, elde edilen veriler karar destek sistemleri (Decision Support Systems, DSS) ile entegre edilerek hastalık yönetimi stratejileri geliştirilebilir (Tratwal vd., 2025).

6. Gelecekteki Yaklaşımlar ve Yönetim Stratejileri

Bitki virüslerinin epidemiyolojisi ve coğrafi yayılımı küresel tarım için giderek artan bir tehdit oluşturmaktadır. İklim değişikliği, küresel ticaret ve vektör popülasyonlarının dinamikleri, gelecekte virüs hastalıklarının daha geniş alanlara yayılmasını olası kılmaktadır (Jones, 2021). Bu nedenle, entegre yönetim stratejileri ve ileri teknolojilerin kullanımı büyük önem taşımaktadır.

6.1. Erken Teşhis ve Moleküler Tanı Yöntemleri

Virüslerin hızlı ve güvenilir teşhisi, epidemiyolojik çalışmalarda kritik rol oynar. Geleneksel serolojik yöntemler (ELISA) ve moleküler teknikler (RT-PCR, qPCR) hâlen yaygın kullanılmaktadır. Son yıllarda yüksek verimli dizileme (HTS) ve CRISPR tabanlı tanı sistemleri de sahada uygulanabilir hale gelmektedir (Mehetre vd., 2021; Jaybhave vd., 2024; Maina vd., 2024; Karimi vd., 2025). Bu yöntemler, özellikle yeni ortaya çıkan veya latent seyreden virüslerin tespitinde önemlidir.

6.2. Vektör Yönetimi

Virüslerin en önemli yayılma yollarından biri vektör böceklerdir. İklim değişikliği, beyaz sinek (*Bemisia tabaci*) ve yaprak bitleri gibi vektörlerin ekolojik adaptasyonunu kolaylaştırmaktadır (Skendžić vd., 2021). Biyolojik mücadele ajanlarının (doğal düşmanlar) kullanımı, feromon tuzakları ve entegre zararlı yönetimi (IPM) yaklaşımları, gelecekte daha fazla ön plana çıkacaktır (Skendžić vd., 2021; Jaisval vd., 2023).

6.3. Dayanıklı Çeşit Geliştirme

Virüs hastalıklarıyla mücadelede en sürdürülebilir yöntemlerden biri genetik dayanıklılık geliştirilmesidir. Geleneksel ıslahın yanında, RNA interferansı (RNAi) ve CRISPR-Cas9 gen düzenleme teknolojileriyle virüs dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar hız kazanmıştır (Zaidi vd., 2016; Zhao vd., 2019). Özellikle domates, patates ve üzüm gibi ekonomik değeri yüksek ürünlerde bu tür uygulamalar umut verici sonuçlar vermektedir (Tashkandi vd., 2018; Tiwari vd., 2022; Spencer vd., 2023).

6.4. Dijital Tarım ve Yapay Zekâ

Uzaktan algılama verilerinin yapay zekâ algoritmaları ile analiz edilmesi, virüslerin erken teşhisi ve yayılımının tahmin edilmesinde yeni bir paradigma sunmaktadır. Makine öğrenmesi (ML) ve derin öğrenme (DL) tabanlı modeller, uydu görüntüleri, drone verileri ve tarla sensörlerinden elde edilen büyük veriyi işleyerek salgın tahmin sistemleri oluşturabilir (Yang & Everitt, 2011; Barbedo, 2018; Danishta vd., 2025).

6.5. Politikalar ve Uluslararası İş birliği

Bitki virüsleri, sınır tanımayan bir tehdit olduğundan, yönetim stratejilerinin sadece ulusal değil, uluslararası iş birliği çerçevesinde ele alınması gerekir. Karantina önlemleri, tohum ve fidan ticaretinde sıkı denetim, veri paylaşımı ve bölgesel erken uyarı sistemleri, gelecekteki en kritik adımlar arasında yer almaktadır (Rodoni, 2009; Ugandhar, 2025).

7. Sonuç

Bitki virüsleri, tarımsal üretim üzerinde ciddi verim ve kalite kayıplarına yol açan, küresel ölçekte yayılım gösteren önemli patojenlerdir. Epidemiyolojilerinin anlaşılması, yalnızca virüs-bitki-vektör üçgeninin değil, aynı zamanda çevresel ve sosyo-ekonomik faktörlerin de bütüncül şekilde değerlendirilmesini gerektirir. İklim değişikliği, küresel ticaret ve tarımsal pratiklerdeki değişimler, virüslerin yayılım dinamiklerini hızlandırmakta ve yeni coğrafi alanlara taşınmalarına zemin hazırlamaktadır.

Günümüzde moleküler teşhis yöntemleri, genomik araçlar ve uzaktan algılama teknolojileri, epidemiyolojik araştırmalarda önemli ilerlemeler sağlamaktadır. Bununla birlikte, sürdürülebilir virüs yönetimi için dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi, vektör popülasyonlarının entegre yönetimi ve karantina önlemlerinin uygulanması kritik öneme sahiptir.

Gelecekte yapay zekâ destekli tahmin modelleri, büyük veri analitiği ve CRISPR gibi yeni biyoteknolojik yaklaşımlar, bitki virüs hastalıklarının erken teşhisi ve kontrolünde önemli katkılar sağlayacaktır. Ancak bu teknolojik ilerlemelerin etkili olabilmesi için uluslararası iş birliği, veri paylaşımı ve politika düzeyinde koordinasyonun güçlendirilmesi gereklidir.

Sonuç olarak, bitki virüslerinin epidemiyolojisi ve coğrafi yayılım haritalaması konusundaki bilimsel çalışmalar, tarımsal sürdürülebilirliğin ve gıda güvenliğinin korunmasında kilit bir rol oynamaktadır.

Kaynaklar

- Abbas, A., Zhang, Z., Zheng, H., Alami, M. M., Alrefaei, A. F., Abbas, Q., Naqvi, S. A. H., Rao, M. J., Mosa, W. F. A., Abbas, Q., Hussain, A., Hassan, M. Z., & Zhou, L. (2023). Drones in plant disease assessment, efficient monitoring, and detection: A way forward to smart agriculture. *Agronomy*, 13(6), 1524. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061524>
- Alcaide, C., Sardanyés, J., Elena, S. F., & Gómez, P. (2021). Increasing temperature alters the within-host competition of viral strains and influences virus genetic variability. *Virus Evolution*, 7(1), veab017. <https://doi.org/10.1093/ve/veab017>
- Amari, K., Huang, C., & Heinlein, M. (2021). Potential impact of global warming on virus propagation in infected plants and agricultural productivity. *Frontiers in Plant Science*, 12, 649768. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.649768>
- Anwer, M. A., & Singh, G. (2019). Geo-spatial technology for plant disease and insect pest management. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 8(12), 1–12. <http://www.beppls.com>
- Barbedo, J. G. A. (2018). Impact of deep learning on plant disease detection and classification. *Computers and Electronics in Agriculture*, 153, 46–70. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.08.011>
- Bendel, N., Kicherer, A., Backhaus, A., Köckerling, J., Maixner, M., Bleser, E., Klück, H.-C., Seiffert, U., Voegelé, R. T., & Töpfer, R. (2020). Detection of Grapevine Leafroll-Associated Virus 1 and 3 in white and red grapevine cultivars using hyperspectral imaging. *Remote Sensing*, 12(10), 1693. <https://doi.org/10.3390/rs12101693>
- Byron, M., Treadwell, D., & Dittmar, P. (2019). Weeds as reservoirs of plant pathogens affecting economically important crops. *EDIS*, 7, HS1335. <https://doi.org/10.32473/edis-hs1335-2019>
- Calderón Madrid, R., Borrego, M., Landa, B., Navas Cortés, J., & Zarco-Tejada, P. (2014). Detection of downy mildew of opium poppy using high-resolution multispectral and thermal imagery acquired with an unmanned aerial vehicle. *Precision Agriculture*, 15, 1–19. <https://doi.org/10.1007/s11119-014-9360-y>
- Canto, T., Aranda, M. A., & Fereres, A. (2009). Climate change effects on physiology and population processes of hosts and vectors that influence the spread of hemipteran-borne plant viruses. *Global Change Biology*, 15(7), 1884–1894. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01820.x>

- Chung, B., Choi, K., Ahn, J., Joa, J., Do, K., & Park, K.-S. (2015). Effects of temperature on systemic infection and symptom expression of Turnip mosaic virus in Chinese cabbage (*Brassica campestris*). *The Plant Pathology Journal*, 31(4), 363–370
- Coronel, A., Huancas, F., & Berres, S. (2024). Study of an epidemiological model for plant virus diseases with periodic coefficients. *Applied Sciences*, 14(1), 399. <https://doi.org/10.3390/app14010399>
- Cunniffe, N. J., Taylor, N. P., Hamelin, F. M., & Jeger, M. J. (2021). Epidemiological and ecological consequences of virus manipulation of host and vector in plant virus transmission. *PLoS Computational Biology*, 17(12), e1009759. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1009759>
- Danishta, A., Summira, R., Pawan, S., Ishtiyah, A., Basanagouda, G., Aafreen, R. S., Shafiya, R., Pooja, S., Khan, G. R., Khurshid, A., Singh, G., Belaghihalli, N. G., & Iliya, N. M. (2025). Remote sensing and artificial intelligence: Revolutionizing pest management in agriculture. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1551460>
- Douma, J. C., & Noordhoek, R. (2025). The effect of plant host density on disease incidence: A meta-analysis. *Plant, Cell & Environment*, 48(9), 6632–6644. <https://doi.org/10.1111/pce.15634>
- Escalante, C., Sanz-Saez, A., Jacobson, A., Otulak-Kozieł, K., Kozieł, E., Balkcom, K. S., Zhao, C., & Conner, K. (2024). Plant virus transmission during seed development and implications to plant defense system. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1385456. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1385456>
- Fereres, A., & Moreno, A. (2009). Behavioural aspects influencing plant virus transmission by homopterian insects. *Virus Research*, 141(2), 158–168. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2008.10.020>
- Gilligan, C. A., & van den Bosch, F. (2008). Epidemiological models for invasion and persistence of pathogens. *Annual Review of Phytopathology*, 46(1), 385–418. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.45.062806.094357>
- Gonzalez-Cruces, J. A., Arista-Carmona, E., Díaz-Arias, K. V., Ramírez-Razo, K., Hernández-Livera, A., Acevedo-Sánchez, G., Mendoza Ramos, C., & Mora-Aguilera, G. (2022). Epidemiology of Bean common mosaic virus and *Alternaria alternata* in 12 *Phaseolus vulgaris* genotypes. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 40, 1–12. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2202-8>

- Grešíková, S. (2022). The transmission of plant viruses. *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, 68(3), 119–126. <https://doi.org/10.2478/agri-2022-0011>
- Hossain, M. M., Sultana, F., Mostafa, M., Ferdus, H., Rahman, M., Rana, J. A., Islam, S. S., Adhikary, S., Sannal, A., Hosen, M. A. E., Nayeema, J., Emu, N. J., Kundu, M., Biswas, S. K., Farzana, L., & Sabbir, M. A. A. (2024). Plant disease dynamics in a changing climate: Impacts, molecular mechanisms, and climate-informed strategies for sustainable management. *Discover Agriculture*, 2, 132. <https://doi.org/10.1007/s44279-024-00144-w>
- Hull, R. (2014) *Plant Virology*. 5th Edition, Academic Press, London, 854 p.
- Hogenhout, S. A., Ammar, E. D., Whitfield, A. E., & Redinbaugh, M. G. (2008). Insect vector interactions with persistently transmitted viruses. *Annual Review of Phytopathology*, 46(1), 327–359. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.022508.092135>
- Jacquemond, M. (2012). Cucumber mosaic virus. In G. Loebenstein & H. Lecoq (Eds.), *Advances in Virus Research* (Vol. 84, pp. 439–504). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394314-9.00013-0>
- Jaisval, G., Dwivedi, H., Pandey, A., Jaiswal, S., Kumar, A., Kushwaha, D., & Shukla, P. (2023). A comprehensive review on plant disease vectors and their management. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13, 2518–2530. <https://doi.org/10.9734/IJECC/2023/v13i92486>
- Jayasinghe, W., Akhter, M., Nakahara, K., & Gowda, M. (2021). Effect of aphid biology and morphology on plant virus transmission. *Pest Management Science*, 78(5), 1765–1775. <https://doi.org/10.1002/ps.6629>
- Jaybhave, S. G., Chavhan, R. L., Hinge, V. R., Deshmukh, A. S., & Kadam, U. S. (2024). CRISPR-Cas assisted diagnostics of plant viruses and challenges. *Virology*, 597, 110160. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2024.110160>
- Jeger, M. J. (2020). The epidemiology of plant virus disease: Towards a new synthesis. *Plants*, 9(12), 1768. <https://doi.org/10.3390/plants9121768>
- Jeger, M., Hamelin, F., & Cunniffe, N. (2023). Emerging themes and approaches in plant virus epidemiology. *Phytopathology*, 113(7), 1201–1215. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-10-22-0378-V>

- Jones, R. A. C. (2009). Plant virus emergence and evolution: Origins, new encounter scenarios, factors driving emergence, effects of changing world conditions, and prospects for control. *Virus Research*, 141(2), 113–130. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2008.07.028>
- Jones, R. A. C. (2014). Trends in plant virus epidemiology: Opportunities from new or improved technologies. *Virus Research*, 186, 3–19. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2014.05.017>
- Jones, R. A. C. (2021). Global plant virus disease pandemics and epidemics. *Plants*, 10(2), 233. <https://doi.org/10.3390/plants10020233>
- Jones, R. A. C., & Barbetti, M. J. (2012). Influence of climate change on plant disease infections and epidemics caused by viruses and bacteria. *CABI Reviews*, 7(022), 1–11. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20127022>
- Karimi, M., Ghorbani, A., Niazi, A., et al. (2025). CRISPR-Cas13a as a next-generation tool for rapid and precise plant RNA virus diagnostics. *Plant Methods*, 21, 83. <https://doi.org/10.1186/s13007-025-01401-9>
- Krishnareddy, M. (2013). Impact of climate change on insect vectors and vector-borne plant viruses and phytoplasma. In H. Singh, N. Rao, & K. Shivashankar (Eds.), *Climate-resilient horticulture: Adaptation and mitigation strategies* (pp. 337–350). Springer India. https://doi.org/10.1007/978-81-322-0974-4_23
- Laveglia, S., Altieri, G., Genovese, F., Matera, A., Scarano, L., & Di Renzo, G. C. (2025). Development of a short-range multispectral camera calibration method for geometric image correction and health assessment of baby crops in greenhouses. *Applied Sciences*, 15(6), 2893. <https://doi.org/10.3390/app15062893>
- Mahlein, A.-K. (2016). Plant disease detection by imaging sensors – Parallels and specific demands for precision agriculture and plant phenotyping. *Plant Disease*, 100(2), 241–251. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-15-0340-FE>
- Maina, S., Donovan, N. J., Plett, K., Bogema, D., & Rodoni, B. C. (2024). High-throughput sequencing for plant virology diagnostics and its potential in plant health certification. *Frontiers in Horticulture*, 3. <https://doi.org/10.3389/fhort.2024.1388028>
- Madden, L. V. (1987). Analysis of spatial patterns of virus-diseased tobacco plants. *Phytopathology*, 77, 1409–1413. <https://doi.org/10.1094/Phyto-77-1409>

- Martín-Cardoso, H., & San Segundo, B. (2025). Impact of nutrient stress on plant disease resistance. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(4), 1780. <https://doi.org/10.3390/ijms26041780>
- McLeish, M. J., Fraile, A., & García-Arenal, F. (2019). Evolution of plant–virus interactions: Host range and virus emergence. *Current Opinion in Virology*, 34, 50–55. <https://doi.org/10.1016/j.coviro.2018.12.003>
- Mehetre, G. T., Leo, V. V., Singh, G., Sorokan, A., Maksimov, I., Yadav, M. K., Upadhyaya, K., Hashem, A., Alsaleh, A. N., Dawoud, T. M., Almaary, K. S., & Singh, B. P. (2021). Current developments and challenges in plant viral diagnostics: A systematic review. *Viruses*, 13(3), 412. <https://doi.org/10.3390/v13030412>
- Melero, I., González, R., & Elena, S. F. (2023). Host developmental stages shape the evolution of a plant RNA virus. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 378(1873), 20220005. <https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0005>
- Mirik, M., Jones, D., Price, J., Workneh, F., Ansley, R., & Rush, C. (2011). Satellite remote sensing of wheat infected by wheat streak mosaic virus. *Plant Disease*, 95(1), 4–12. <https://doi.org/10.1094/PDIS-95-1-0004>
- Nault, L. R. (1997). Arthropod transmission of plant viruses: A new synthesis. *Annals of the Entomological Society of America*, 90(5), 521–541. <https://doi.org/10.1093/aesa/90.5.521>
- Navas-Castillo, J., Fiallo-Olivé, E., & Sánchez-Campos, S. (2011). Emerging virus diseases transmitted by whiteflies. *Annual Review of Phytopathology*, 49, 219–248. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-072910-095235>
- Naveed, H., Islam, W., Jafir, M., Andoh, V., Chen, L., & Chen, K. (2023). A review of interactions between plants and whitefly-transmitted begomoviruses. *Plants*, 12(21), 3677. <https://doi.org/10.3390/plants12213677>
- Nelson, M., Orum, T., Jaime, R., & Nadeem, A. (1999). Applications of geographic information systems and geostatistics in plant disease epidemiology and management. *Plant Disease*, 83(4), 308–319. <https://doi.org/10.1094/PDIS.1999.83.4.308>
- Ng, J. C. K., & Falk, B. W. (2006). Virus–vector interactions mediating nonpersistent and semipersistent transmission of plant viruses. *Annual Review of Phytopathology*, 44(1), 183–212. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.44.070505.143325>

- Oliveira, M. R. V., Henneberry, T. J., & Anderson, P. (2001). History, current status, and collaborative research projects for *Bemisia tabaci*. *Crop Protection*, 20(9), 709–723. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(01\)00108-9](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(01)00108-9)
- Pagán, I. (2022). Transmission through seeds: The unknown life of plant viruses. *PLoS Pathogens*, 18(8), e1010707. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1010707>
- Pagán, I., González-Jara, P., Moreno-Letelier, A., Rodelo-Urrego, M., Fraile, A., Piñero, D., & García-Arenal, F. (2012). Effect of biodiversity changes in disease risk: Exploring disease emergence in a plant-virus system. *PLoS Pathogens*, 8(7), e1002796. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1002796>
- Pineda, M., Barón, M., & Pérez-Bueno, M.-L. (2021). Thermal imaging for plant stress detection and phenotyping. *Remote Sensing*, 13(1), 68. <https://doi.org/10.3390/rs13010068>
- Polder, G., van der Heijden, G. W. A. M., van Doorn, J., & Baltissen, T. A. H. M. C. (2014). Automatic detection of tulip breaking virus (TBV) in tulip fields using machine vision. *Biosystems Engineering*, 117, 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.05.010>
- Polston, J. E., & Anderson, P. K. (1997). The emergence of whitefly-transmitted geminiviruses in tomato in the Western Hemisphere. *Plant Disease*, 81(12), 1358–1369. <https://doi.org/10.1094/PDIS.1997.81.12.1358>
- Prasch, C. M., & Sonnewald, U. (2013). Simultaneous application of heat, drought and virus to *Arabidopsis* plants reveals significant shifts in signaling networks. *Plant Physiology*, 162(4), 1849–1866. <https://doi.org/10.1104/pp.113.222449>
- Ramos, R., Kumar, L., Shabani, F., & Picanço, M. (2019). Risk of spread of tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) in tomato crops under various climate change scenarios. *Agricultural Systems*, 174, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.03.020>
- Rao, Y., Kumar, D., & Sharma, S. (2024). A comprehensive review on transmission mechanism of plant viruses by insects. *International Journal of Entomology Research*, 7(7S), 01–07. <https://doi.org/10.33545/2618060X.2024.v7.i7Se.1049>
- Reyna, P., Suarez, F., Balzarini, M., & Rodriguez Pardina, P. (2023). Influence of climatic variables on incidence of whitefly-transmitted Begomovirus in soybean and bean crops in North-Western Argentina. *Viruses*, 15(2), 462. <https://doi.org/10.3390/v15020462>

- Rodoni, B. (2009). The role of plant biosecurity in preventing and controlling emerging plant virus disease epidemics. *Virus Research*, 141(2), 150–157. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2008.11.019>
- Rodrigo, G., Zwart, M., & Elena, S. F. (2014). Onset of virus systemic infection in plants is determined by speed of cell-to-cell movement and number of primary infection foci. *Journal of the Royal Society Interface*, 11(99), 20140555. <https://doi.org/10.1098/rsif.2014.0555>
- Rothenburg, S., & Brennan, G. (2020). Species-specific host–virus interactions: Implications for viral host range and virulence. *Trends in Microbiology*, 28(1), 46–56. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2019.08.007>
- Samuel, G. H., Adelman, Z. N., & Myles, K. M. (2016). Temperature-dependent effects on the replication and transmission of arthropod-borne viruses in their insect hosts. *Current Opinion in Insect Science*, 16, 108–113. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2016.06.005>
- Savory, F. R., Varma, V., & Ramakrishnan, U. (2014). Identifying geographic hot spots of reassortment in a multipartite plant virus. *Evolutionary Applications*, 7(5), 569–579. <https://doi.org/10.1111/eva.12156>
- Shaw, M. W., & Osborne, T. M. (2011). Geographic distribution of plant pathogens in response to climate change. *Plant Pathology*, 60(1), 31–48. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02407.x>
- Singh, S., Awasthi, L. P., & Jangre, A. (2020). Transmission of plant viruses in fields through various vectors. In L. P. Awasthi (Ed.), *Applied Plant Virology* (pp. 313–334). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818654-1.00024-4>
- Skendžić, S., Alford, L., Musolin, D., & Papanikolaou, A. (2021). Impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects*, 12(5), 440. <https://doi.org/10.3390/insects12050440>
- Strauss, A., Henning, J., Porath-Krause, A., Asmus, A., Shaw, A., Borer, E., & Seabloom, E. (2020). Vector demography, dispersal and the spread of disease: Experimental epidemics under elevated resource supply. *Functional Ecology*, 34(1), 1–11. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13672>
- Sugiura, R., Tsuda, S., Tsuji, H., & Murakami, N. (2018). Virus-infected plant detection in potato seed production field by UAV imagery. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 1.
- Sujatha, S., Sindhura, K. A. V., Koti, P. S., Hiremath, S., Muttappagol, M., Vinay Kumar, H. D., Shankarappa, K. S., Venkataravanappa, V.,

- Reddy, K. M. S., & Reddy, C. N. L. (2025). Influence of weather and seasonal factors on whitefly dynamics, associated endosymbiotic microbiomes, and Begomovirus transmission causing tomato leaf curl disease: Insights from a metagenomic perspective. *Frontiers in Microbiology*, 16, 1555058. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1555058>
- Szechyińska-Hebda, M., Hołownicki, R., Doruchowski, G., Sas, K., Puławska, J., Jarecka-Bonceta, A., Ptaszek, M., & Włodarek, A. (2025). Application of hyperspectral imaging for early detection of pathogen-induced stress in cabbage as case study. *Agronomy*, 15(7), 1516. <https://doi.org/10.3390/agronomy15071516>
- Takahashi, H., Fukuhara, T., Kitazawa, H., & Kormelink, R. (2019). Virus latency and the impact on plants. *Frontiers in Microbiology*, 10, 2764. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02764>
- Thresh, J. M. (1980). The role of weed hosts and vectors in the epidemiology of plant virus diseases. *Plant Disease*, 64(4), 295–300.
- Thresh, J. M. (2006). Plant virus epidemiology: The concept of host genetic vulnerability. In *Advances in Virus Research* (Vol. 67, pp. 89–125). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0065-3527\(06\)67003-6](https://doi.org/10.1016/S0065-3527(06)67003-6)
- Tatineni, S., & Hein, G. L. (2023). Plant viruses of agricultural importance: Current and future perspectives of virus disease management strategies. *Phytopathology*, 113(5), 936–951. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-05-22-0167-RVW>
- Tratwal, A., Jakubowska, M., & Pietrusińska-Radzio, A. (2025). Decision support systems in integrated pest and disease management: Innovative elements in sustainable agriculture. *Sustainability*, 17(18), 8111. <https://doi.org/10.3390/su17188111>
- Tsai, W. A., Brosnan, C. A., Mitter, N., & Dietzgen, R. G. (2022). Perspectives on plant virus diseases in a climate change scenario of elevated temperatures. *Stress Biology*, 2(1), 37. <https://doi.org/10.1007/s44154-022-00058-x>
- Ugandhar, T. (2025). Emerging trends in plant viral diseases: Symptoms, economic impact and novel control strategies. *Journal of Virology Research*, 6, 1–6. [https://doi.org/10.47363/JVRR/2025\(6\)174](https://doi.org/10.47363/JVRR/2025(6)174)
- Wang, Z., Akber, M. A., & Aziz, A. A. (2025). Application of remote sensing and geographic information systems for monitoring and managing chili crops: A systematic review. *Remote Sensing*, 17(16), 2827. <https://doi.org/10.3390/rs17162827>

- Whitfield, A. E., Falk, B. W., & Rotenberg, D. (2015). Insect vector-mediated transmission of plant viruses. *Virology*, 479–480, 278–289. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2015.03.026>
- Yang, C., & Everitt, J. H. (2011). Remote sensing for detecting and mapping whitefly (*Bemisia tabaci*) infestations. In *The whitefly, Bemisia tabaci (Homoptera: Aleyrodidae) interaction with Geminivirus-infected host plants* (pp. 357–381). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0643-8_13
- Zaidi, S. S., Tashkandi, M., Mansoor, S., & Mahfouz, M. M. (2016). Engineering plant immunity: Using CRISPR/Cas9 to generate virus resistance. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1673. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01673>
- Zhao, Y., Yang, X., Zhou, G., & Zhang, T. (2020). Engineering plant virus resistance: From RNA silencing to genome editing strategies. *Plant Biotechnology Journal*, 18(2), 328–336. <https://doi.org/10.1111/pbi.13278>



BÖLÜM 4

Küçükbaş Hayvanlarda Ebeveyn Tayini

Özlem Durğun¹ & Selahaddin Kiraz²

GİRİŞ

Hayvancılık, insan yaşamının ekonomik, sosyal ve beslenme ihtiyaçlarına katkı sağlayan temel sektörlerden biri hâline gelmiştir (Yıldız Öz, 2018). Türkiye, sahip olduğu ekolojik ve ekonomik koşulların yanı sıra geleneksel üretim yapısıyla küçükbaş hayvancılık faaliyetlerinin yaygın olarak sürdürüldüğü ülkeler arasında yer almaktadır (Ergün ve Bayram, 2021). Ülkede 43.393.709'u koyun ve 10.571.297'si keçi olmak üzere toplam 53.965.006 küçükbaş hayvan bulunmaktadır (TÜİK, 2024). Hayvan sayısı, ülkelerin ekonomik yapısına dair genel bir fikir verse de, hayvanların taşıdığı verim özellikleri asıl belirleyici unsurdur. Bu doğrultuda, hayvan verimliliğini artırmaya yönelik çeşitli çalışmalar yürütülmekte; özellikle damızlık seçimi ve ebeveyn tayini, ıslah programlarının temel bileşenleri arasında yer almaktadır. Mevcut genetik kaynakların etkin ve bilinçli kullanımı, hayvancılığın daha ekonomik ve sürdürülebilir bir yapıya kavuşmasına katkı sağlamaktadır (Türkyılmaz ve Nazlıgöl, 2002; Lozano ve ark., 2008).

Ebeveyn tayini, özellikle yabani popülasyonlar, serbest çiftleşmenin yaygın olduğu sürüler ve pedigree kayıtlarının yetersiz veya hatalı olduğu işletmelerde yavrunun biyolojik babasının belirlenmesinde önemli bir bilimsel yöntemdir. Bu yöntem, ana ve babadan aktarılan genlerin soya aktarımını esas alarak, kimlik tespiti ile yetiştiriciler ve soy kütüğü kayıtları için güvenilir ve etkili genetik araçlar sağlamaktadır (Cerit ve Avanus, 2007).

Türkiye'de bugüne kadar gerçekleştirilen genetik ıslah çalışmalarında sıklıkla yüksek verimli kültür ırkları ile yerli ırkların melezlenmesi hedeflenmiş; böylece çevresel koşullara daha iyi uyum sağlayan, hastalıklara dirençli ve yüksek verimli bireylerin elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu süreçte moleküler genetik alanındaki ilerlemeler, özellikle genomik tanımlama ve buna dayalı seleksiyon uygulamaları ile hayvan ıslahında yeni bir dönemin önünü açmıştır (Güzey Sürme, 2018).

¹ Doktora öğrencisi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zootečni A.B.D., Şanlıurfa, Türkiye, Orcid No: 0000-0002-8707-8278

² Dr. Öğr. Üyesi, Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye, Orcid No: 0000-0003-1298-4783

Bu kapsamda, genotipleme çalışmaları ırklar arası ve ırk içi genetik varyasyonların belirlenmesi, bağlantı (linkage) analizleri, moleküler seleksiyon ve ebeveyn tayini gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür çalışmalarda en sık tercih edilen moleküler tekniklerden biri ise mikrosatellit DNA polimorfizmi analizidir. Kodominant kalıtım göstermesi, yüksek düzeyde polimorfizm içermesi ve tekrarlanabilirliği yüksek sonuçlar vermesi nedeniyle mikrosatellitler, hayvan genetik kaynaklarının korunması ve ıslah stratejilerinin planlanmasında güvenilir bir araç olarak öne çıkmaktadır (Calvo ve ark., 2006; Agha ve ark., 2008; Özşensoy ve Kurar, 2012). Bu bağlamda, ebeveyn tayini uygulamaları, hayvancılıkta genetik ilerlemenin sağlanması, soy kayıtlarının doğrulanması ve ıslah programlarının etkinliğinin artırılması açısından kritik bir araç olarak öne çıkmaktadır.

Hayvancılıkta Ebeveyn Testlerinde Kullanılan Yöntemler

Hayvancılıkta ebeveyn testlerinde kullanılan yöntemler, fenotipe dayalı yöntemler ve moleküler genetik yöntemler olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Fenotipe dayalı yöntemler arasında kan grubu sistemleri, serum proteinleri, enzim allotipleri ve lökosit antijenleri yer almaktadır. Moleküler genetik yöntemler ise DNA düzeyindeki polimorfizmi tespit etmeye yönelik tekniklerden oluşmakta olup; mikrosatellit, RFLP, AFLP ve SNP gibi yöntemleri içermektedir (Yılmaz, 2010).

1. Fenotipe Dayalı Yöntemler

Çiftlik hayvanlarında ebeveyn tayini, uzun yıllar boyunca uluslararası standartları belirlenmiş kan grupları yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Ancak, kan grupları yöntemi şüpheli ebeveynlik durumlarının kesin olarak doğrulanmasında yetersiz kalmakta; yalnızca yanlış ebeveynlik iddialarının dışlanması için kullanılabilmektedir. Yavru ve ebeveynlerin kan tiplerinin uyumlu olması durumunda ebeveynliğin büyük olasılıkla doğru olduğu varsayılabilir de, bu yöntem esas olarak uygun olmayan adayların elenmesine dayanmaktadır (Cerit, 2003; Margan, 1996).

Evcil hayvanlardaki biyokimyasal polimorfizm, kan plazması ve serumu, eritrositler, lökositler ile süt içeriğinde bulunan proteinlerdeki varyasyonlardan kaynaklanmakta olup, bu farklılıklar elektroforetik ve serolojik tekniklerle tespit edilebilmektedir (Elmacı, 2001). Kan, içeriğinde barındırdığı farklı hücre tipleri ve serumdaki enzim ve proteinler sayesinde biyokimyasal ve genetik polimorfizmlerin incelenmesinde önemli bir materyal olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, ebeveyn tayini çalışmalarında kan grupları, kan potasyum tipleri, hemoglobin, transferin, koruloplazmin, karbonanhidraz, indirgenmiş glutation, albumin,

prealbumin, diaforez, lisin, arjinin, alkalın fosfataz ve X proteini gibi çeşitli kan parametreleri değeriendirilmektedir (Koşum, 1995). Bununla birlikte, kan grupları ve protein bazlı işaretleyicilerin belli kromozomlarda yoğunlaşması, polimorfizm seviyelerinin nispeten düşük olması, analiz için özel kan örneklerine ihtiyaç duyulması, iş yükünün yüksekliği ve analiz süreçlerinin uzun sürmesi gibi dezavantajları bulunmaktadır. Kan grupları ve alt gruplarına yönelik çalışmalar, 1970’li yıllarda kandaki enzim ve protein polimorfizmlerinin incelenmesiyle gelişme göstermiştir; ancak bu yöntemlerde hata payının %15-20 civarında olduğu bildirilmektedir (Özşensoy ve ark., 2008).

2. Moleküler Genetik Yöntemler

Populasyonlardaki genetik varyasyonların tanımlanması için DNA düzeyinde analizlerin kullanılması fenotipik yöntemlere göre daha fazla aydınlatıcı bilgi içermektedir. Çünkü DNA dizimleri (sekansları) insersiyon/delesyon, gen değişimi, düzensiz parça değişimi, gen transferleri vb gibi sebeplerle polimorfizm hakkında daha detaylı bilgi verebilmektedir (Nei ve Kumar, 2000).

2.1. RFLP (*Restriction Fragment Length Polymorphism*) Yöntemi

RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism) yöntemi, 1968 yılında Meselson ve Yuan tarafından *Escherichia coli* bakterisinden izole edilen ilk restriksiyon endonükleazın keşfi ile geliştirilmiştir. Bu teknik, genetik haritalama çalışmalarında RFLP işaretleyicilerinin kullanılmasını mümkün kılarak, moleküler genetik alanında önemli bir dönüm noktası oluşturmuştur (Montaldo ve Meza-Herrera, 1998). RFLP, DNA’daki mutasyonlar veya polimorfizmleri tespit etmek amacıyla, restriksiyon enzimleri kullanılarak DNA’nın kesilmesi sonucunda oluşan farklı uzunluktaki fragmentlerin analiz edilmesine dayanan bir yöntemdir. Uzun yıllar boyunca analiz, genom haritalama ve genetik hastalıkların belirlenmesinde etkin bir moleküler araç olarak kullanılmıştır. Ancak, son dönemlerde geliştirilen daha hızlı, duyarlı ve ekonomik moleküler tekniklerin yaygınlaşmasıyla birlikte, RFLP yöntemi görece yavaşlığı ve yüksek maliyeti nedeniyle kullanımı giderek sınırlanmıştır (Chaudhary ve Kumar, 2020).

2.2. SNP (*Single Nucleotide Polymorphism*) Yöntemi

Tek nükleotid polimorfizmi (SNP), DNA’daki tek baz değişikliklerini ifade eder. Mikrosatellitlerle birlikte ebeveyn testlerinde yaygın olarak kullanılan SNP’ler, aynı örnek üzerinden ebeveynlik ve verim özelliklerinin analizine imkân sağlar (Yılmaz, 2010). Son dönemlerde, SNP’lerin genomda yaygın ve dengeli dağılım göstermesi, kesin sonuçlar

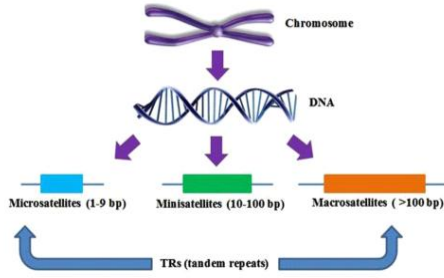
vermesi, basit ve tekrarlanabilir yapısı nedeniyle tercih edilen moleküler belirteçler haline gelmiştir. Ancak, SNP'lerin çift alelli yapısı nedeniyle polimorfizm oranlarının düşük olması, daha fazla dizi bilgisine ihtiyaç duyulması ve her lokusta görüntülenememesi gibi sınırlamalar, bu yöntemin dezavantajları olarak değerlendirilmektedir (Smigielski ve ark., 2000; Gupta ve ark., 2008).

2.3. AFLP (*Amplified Fragment Length Polymorphism*)Yöntemi

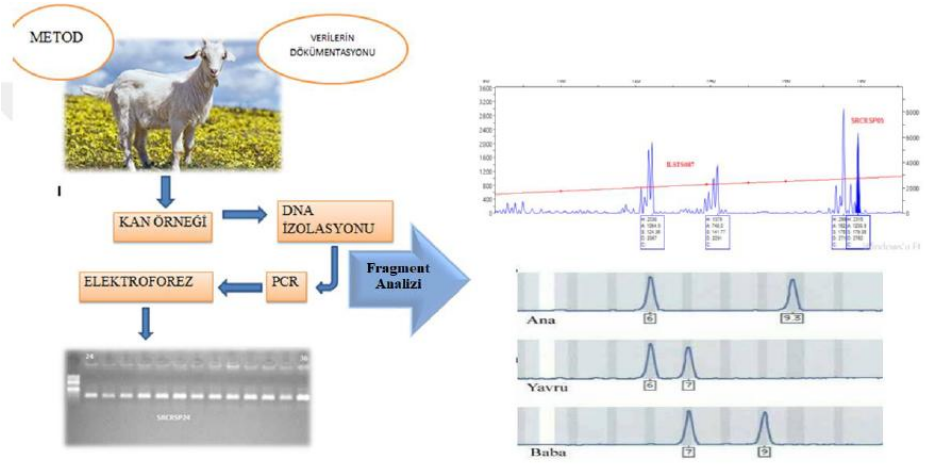
Bu yöntem, genomik DNA'nın restriksiyon enzimi ile kesimi sonucu oluşan DNA parçalarının bir grubunun selektif çoğaltılması esasına dayanan bir genotipleme metodudur.(Solak ve ark., 2000). Bu yöntemin avantajları arasında yüksek polimorfizm oranı ile masraf, iş gücü ve zamandan tasarruf sağlanması yer alırken; dominant karakter sergilemesi ve farklı genetik haritalar arasında aktarımının güç olması analizlerde zorluklar yaratmaktadır (Vos ve ark., 1995; Al-Samarai ve Al-Kazaz, 2015). Koyunlarda genetik varyasyon analizleri (Bogani ve ark., 2001), keçilerde ise genetik uzaklık çalışmaları (Ajmone-Marsan ve ark., 2002) bu yöntemin hayvancılıkta kullanımına örnek teşkil etmektedir.

2.4. Mikrosatellit Belirteçler

Mikrosatellit DNA lokusları; 2-6 nükleotid uzunlukta kısa, tekrarlanan DNA dizilerini ifade etmektedir (Freeland 2005). Mikrosatellitler genellikle; kodominant özellikte olmaları nedeniyle populasyon genetiği çalışmalarında, babalık tespitinde, rekombinasyon ve genetik haritalama çalışmalarında, delesyon, duplikasyon araştırmalarında, yerli gen kaynaklarının korunması çalışmalarında lokusa özgü olması ve genom içinde düzgün ve geniş yayılım göstermesi nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek mutasyon oranı ve genom hakkında diğer moleküler belirteçlere göre daha fazla bilgi vermelerinin yanında PZR'a dayalı bir teknik olmasından dolayı çok tercih edilen ve birçok türde kullanılan bir DNA belirtecidir (Ramamoorthi ve ark. 2009).



Şekil 1. Mikrosatellit DNA'nın yapısal gösterimi (Saeed ve ark., 2016).



Şekil 2. Mikrosatellit Tekniğinin Uygulama Aşamaları (Ün ve ark. 2000).

Küçükbaş Hayvanlarda Ebeveyn Tayini İle İlgili Yapılmış Çalışmalar

Kabasakal (2023) tarafından yapılan çalışmada, Karacabey Merinosu koyun ırkında ebeveyn tayini amacıyla kullanılan 14 mikrosatellit lokusunun, babalık testi için temel genetik parametreler ışığında değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın temel amacı, söz konusu mikrosatellit belirteçlerin Karacabey Merinosu ırkında ebeveynliğin güvenilir biçimde belirlenmesindeki etkinliğini ortaya koymaktır. Çalışmada, beş koç ile bu koçlara ait olduğu düşünülen 98 yavrudan elde edilen DNA örnekleri analiz edilmiştir. Moleküler analizler sonucunda, 14 farklı mikrosatellit lokusta toplam 290 farklı alel tespit edilmiştir. Gözlenen heterozigotluk oranları %82 ile %98 arasında, beklenen heterozigotluk oranları ise %87

ile %93 arasında değişmiştir. Ayrıca, bireysel lokusların dışlama olasılıkları 0,596 ile 0,761 arasında hesaplanırken, tüm lokusların birlikte değerlendirilmesiyle elde edilen birleşik dışlama olasılığı oldukça yüksek olup 0,99999995 olarak raporlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, incelenen mikrosatellit lokusların yüksek polimorfizm gösterdiğini ve Karacabey Merinosu ırkında babalık tayini, soy kütüğü doğrulama ve genetik ıslah uygulamaları için güvenilir bir araç olduğunu göstermektedir.

Keskin ve ark., (2019) tarafından Kilis keçilerinde gerçekleştirilen çalışmada, ebeveyn tayini amacıyla PCR tabanlı mikrosatellit belirteç panellerinin geliştirilmesi ve soy kütüğü hatalarının tespit edilmesi hedeflenmiştir. Toplam 137 baş hayvandan oluşan örnekleme, 118 oğlak ve 19 olası baba adayını incelenmiştir. Yirmi iki mikrosatellit belirteç kullanılarak yapılan analizlerde toplam 392 alel saptanmış olup, alel sayısı 12 ile 24 arasında değişmekte ve ortalama 17,82 olarak belirlenmiştir. Etkili alel sayısı ortalama 9,44, polimorfik bilgi içeriği (PIC) ise 0,88 olarak hesaplanmıştır. Gözlenen heterozigotluk ($H_o = 0,89$) ile beklenen heterozigotluk ($H_e = 0,89$) oranlarının yüksek olması, kullanılan belirteçlerin yüksek polimorfik özellikte olduğunu göstermektedir. Panel bazlı değerlendirmeler sonucunda birleşik dışlama olasılığı (CPE) 0,745 ile 0,9999, birleşik tanımlama olasılığı (CPI) ise $9,81 \times 10^{-3}$ ile $6,96 \times 10^{-21}$ arasında değişim göstermiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, CPE değeri 0,999 ve üzeri olan panellerin Kilis keçilerinde ebeveyn tayininde hem yüksek doğruluk hem de maliyet etkinliği sağlayarak kullanılabileceği ve aynı zamanda diğer keçi popülasyonları için referans teşkil edebileceği sonucuna varılmıştır.

Gümüş (2018), çalışmasında Türkiye’de yetiştirilen 4 yerli keçi ırkında (Ankara, Kilis, Honamlı ve Kıl Keçisi) 9 mikrosatellit belirteç kullanılarak genetik çeşitliliğin belirlenmesini amaçlamıştır. Yapılan istatistik analizler sonucunda; lokus başına düşen ortalama allel sayısının 13.66 allel / lokus ve heterozigotluk düzeylerinin 0.4878 ile 0.9600 arasında olduğu belirlenmiştir. Irklar kapsamında hesaplanan ortalama gözlenen ve beklenen heterozigotluk değerlerinin ise sırasıyla 0.7552 ve 0.7964 olduğu belirlenmiştir. Çalışma kapsamında incelenen ırklara ait FIS değerlerinin; -0.016 ile 0.105 arasında değiştiği saptanmıştır. Çalışma kapsamında hesaplanan FST değerleri incelendiğinde; tüm ırklarda değerlerin (0.0223 ile 0.0456) arasında değiştiği ve ırklar arasında az bir genetik farklılaşmanın olduğu belirlenmiştir. Hesaplanan FST değerlerinin ikili karşılaştırılması sonucunda tüm değerlerin ($P < 0.001$ ’e göre) istatistiki olarak önemli olduğu tespit edilmiştir.

Yıldız Öz (2018), çalışmasında Bafra, Kıvırcık, Kangal Akkaraman, İvesi ve Karacabey Merinosu koyun ırklarını kullanmıştır. Toplam 12 adet mikrosatellit (OarFCB20, INRA063, OarFCB304, INRA006, MAF65, MAF214, McM42, D5S2, OarCP49, , McM527, INRA172 ve OarAE129)

cinsiyet tayini için AMEL belirteci baz uzunluklarına göre gruplandırılmış ve Applied Biosystems'in standart boya setlerine uygun florasan işaretle boyalar ile boyatılmıştır. Populasyonlarda toplam 212 farklı allel elde edilirken, ortalama gözlenen ve beklenen heterozigotluk değerleri sırasıyla 0.706 ve 0.747 olarak hesaplanmıştır. Bireylerin benzerlik olasılığı değerleri 0.047 ve 0.000 arasında bulunmuştur. Bilinen her iki ebeveyn kullanılarak hesaplanan dışlama olasılığı değerleri çalışmada kullanılan tüm ırklarda 0.999 olarak bulunurken, bilinen ebeveynlerden yalnızca biri kullanılarak yapılan hesaplamada dışlama olasılığı 0.989'dan büyük olarak elde edilmiştir.

Sürmen (2018), bu çalışmada 9 farklı mikrosatellit bölgesinin yerli keçi ırkında (Ankara Keçisi, Honamlı Keçisi Kıl Keçisi, Kilis Keçisi) babalık testi için kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Yapılan analizler sonucu çalışılan tüm lokuslar arasında beklenen heterozigotluk değerinin 0,6240 ile 0,8966 arasında olduğu, gözlenen heterozigotluk değerinin ise 0,6432 ile 0,8553 arasında değiştiği, hiçbir lokusun heterozigotluk değerinin 0.50'den düşük olmadığı tespit edilmiştir. Çalışmada polimorfizm (PIC) bilgi içeriği değerinin 0.570 ile 0.890 arasında değiştiği, bu değerlerin 0.500'nin üzerinde olması sebebiyle çalışılan tüm mikrosatellit bölgelerinin oldukça bilgi verici olduğu belirlenmiştir.

Bulut ve ark., (2014) çalışmalarında, mikrosatellit markörlerinin Türkiye'de bulunan bazı keçi ırklarının ebeveyn tayini çalışmalarında kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Kilis, Yayladağ, Honamlı, Kıl, Ankara, Saanen, Alpin ve Malta ırkı keçileri seçilmiştir. Analizlerde allel sayıları farklı lokuslar için 3 ile 25 arasında değiştiği belirlenmiştir. Ortalama Ho değerlerinin 0.357-0.856, ortalama He değerlerinin ise 0.601-0.861 arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir. Enformatif 11 lokusun kullanılması ile toplam DG değerinin Malta ırkında 0.998, diğer ırklarda ise 0.999 olacağı ve dolayısıyla keçi kimliklendirme çalışmalarında başarıyla kullanılabileceği tahmin etmişlerdir.

Aljumaah ve ark., (2012) tarafından Suudi Arabistan'da yürütülen bir çalışmada, Ardi keçilerinde genetik çeşitliliğin belirlenmesi amacıyla 14 mikrosatellit markör kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, populasyonda gözlenen heterozigotluk (Ho) 0.6341, beklenen heterozigotluk (He) ise 0.8172 olarak tespit edilmiştir. Sekiz allel bakımından değerlendirildiğinde, ortalama etkili allel sayısı (Ne) 5.4705, polimorfizm bilgi içeriği (PIC) 0.7810 olarak belirlenmiş, populasyonun Hardy-Weinberg dengesinden (HWE) anlamlı düzeyde sapma gösterdiği ve p-değerinin 0.0001 olduğu bildirilmişlerdir.

Yılmaz (2010), çalışmasında, 10 mikrosatellit lokusu (MAF65, OarJMP58, OarFCB193, OarFCB304, OarJMP29, BM8125, OarFCB128, OarCP34, OarVH72, DYMS1) kullanılarak Adnan Menderes Üniversitesi Grup Koyun Yetiştirme Programı (ADÜ-GKYP) çekirdek sürüsünde yer

alan 16 koç ve bunların 101 yavrusunda babalık testi yapılmıştır. Hayvanlara ait kan örnekleri K3-EDTA'lı tüplere alınmış ve DNA izolasyon kiti ile DNA izolasyonu gerçekleştirilmiştir. Polimeraz Zincir Reaksiyonu (PCR) yöntemi ile ilgili DNA bölgeleri yükseltgenmiştir. Fragman analizleri Beckman Coulter CEQ 8000 cihazında yapılmıştır. Elde edilen fragman uzunlukları Beckman Coulter CEQ 8000 yazılımında değerlendirilmiştir. Çalışmada 105 allel gözlemlenmiştir. Lokuslar bazında gözlenen heterozigotluk oranı (H_o) 0,541 ile 0,841 arasında, beklenen heterozigotluk oranı (H_e) ise 0,699 ile 0,831 arasında olduğu belirlenmiştir. Çalışmada, lokusların bireysel olarak dışlama olasılıkları (PE) ve artan lokus kombinasyonları için dışlama olasılıkları (CPE) hesap edilmiştir. PE değeri 0,295 ile 0,514; CPE değeri 0,363 ile 0,994 arasında değiştiği, MP değeri 0,054 ile 0,154, PD değeri ise 0,85 ile 0,94 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, yapılan babalık testi çalışması ile Karya koyunlarda babalık testlerinde kullanılabilecek uygun genetik markerlar belirlenmiştir.

Siwek ve Knol (2010) tarafından İtalya'daki yerli keçi ırklarında yürütülen çalışmada, mikrosatellit DNA analizine dayalı olarak ebeveyn tayininde kullanılabilecek uygun lokusların belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, ISAG panelinden 3 lokus, Econogen projesinden 14 lokus ve keçilerde genetik çeşitliliğin araştırıldığı çalışmalarda yer alan 6 lokus olmak üzere toplam 23 mikrosatellit lokusu değerlendirilmiştir. Araştırmada her bir lokus için allel sayısı, gözlenen ve beklenen heterozigotluk değerleri, polimorfizm bilgi içeriği (PIC), dışlama olasılığı (probability of excluding wrong paternities - P_e), Hardy-Weinberg dengesine uyum düzeyi gibi genetik parametreler hesaplanmıştır. Elde edilen bulgular doğrultusunda, değerlendirilen 23 lokustan 20'sinin ebeveyn tayini açısından tek başına yeterli olmadığı ve daha güvenilir sonuçlar elde edilebilmesi için ilave lokuslara ihtiyaç duyulduğu sonucuna varmışlardır.

SONUÇ

Türkiye'de hayvancılığın hızla gelişmekte olduğu bu süreçte yapılan ıslah çalışmaları da hız kazanmaktadır. Islah çalışmalarının yanında moleküler genetik çalışmalar sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle mevcut yerli koyun ırklarının tanımlanmasında klasik yetiştirme tekniklerinin yanında ayrıntılı moleküler tekniklerinin de kullanılmasına gereksinim duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

- Agha Sh, Pilla F, Galal S, Shaat I, D'andrea M, Reale S (2008). Genetic Diversity İn Egyptian And Italian Goat Breeds Measured With Microsatellite Polymorphism. *J. Anim. Breed. Genet.* 125:194-200.
- Ajmone-Marsan, P., Negrini, R., Milanese, E., Bozzi, R., Nijman, I. J., Buntjer, J. B., Valentini, J., & Lenstra, J. A. (2002). Genetic distances within and across cattle breeds as indicated by biallelic AFLP markers. *Animal Genetics*, 33(4), 280–286.
- Aljumaah, R. S., Musthafa, M. M., Al-Shaikh, M. A., Badri, O. M., & Hussein, M. F. (2012). Genetic diversity of Ardi goat based on microsatellite analysis. *African Journal of Biotechnology*, 11(100), 16539–16545.
- Al-Samarai, F. R., & Al-Kazaz, A. A. (2015). Molecular markers and its applications in animal breeding: A review. *American Journal of Applied Scientific Research*, 1(1), 1–5.
- Bogani, D., Capomaccio, S., Cappelli, K., & Sarti, F. M. (2001). Use of AFLP and SAMPL markers for the analysis of the genetic variability of three sheep groups belonging to the Appenninica, Massese and Suffolk breeds. XLV Convegno Annuale della Società Italiana di Genetica Agraria, Italy, 26–29 September 2001.
- Bulut Z, Kurar E, Özşensoy Y, Altunok V, Nizamlioğlu M (2014). Türkiye’de Bulunan Bazı Keçi Irklarında Mikrosatellit Dna Markörlerinin Kimliklendirme Çalışmalarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Journal Of Cell And Molecular Biology*, 12(1&2): 3945.
- Calvo Jh, Bouzada Ja, Jurado Jj Ve Serrano M (2006). Genetic Substructure Of The Spanish Manchega Sheep Breed. *Small Ruminant Research*. 64: 116-125.
- Cerit, H. 2003. Bir Holştayn Sığır Populasyonunda Bazı Genomik Lokusların Allel Frekanslarının Belirlenmesi Ve Birey Tanımlanmasındaki Önemi. *Turk J Vet Anim Sci.*, (27):81-91.
- Cerit, H., & Avanus, K. (2007). Sex determination by CHDW and CHDZ genes of avian sex chromosomes in *Nymphicus hollandicus*. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 31(6), 1–6.
- Chaudhary, R., & Kumar, G. M. (2020). Restriction fragment length polymorphism. *Encyclopedia of Animal Cognition and Behavior*, 6(175), 1–3.
- Elmacı, C. 2001. Hayvancılıkta Kan Proteinleri Polimorfizminden Yararlanma Olanakları. *Ondokuz Mayıs Ü.* 16 (2):71-75.

- Ergün, O. F., & Bayram, B. (2021). Türkiye'de hayvancılık sektöründe yaşanan değişimler. *Bahri Dağdaş Hayvancılık Araştırma Dergisi*, 10(2), 158–175.
- Freeland Jr (2005). *Molecular Ecology*. John Wiley&Sons, Ltd., England.
- Gupta, P. K., Rustgi, S., & Mir, R. R. (2008). Array-based high-throughput DNA markers for crop improvement. *Heredity*, 101(1), 5–18.
- Gümüş, N. (2018). Türkiye yerli keçi ırklarında mikrosatellit DNA belirteçleri kullanılarak genetik çeşitliliğinin belirlenmesi (Yüksek lisans tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Güzey Sürmen, E. (2018). Türkiye yerli keçi ırklarında mikrosatellit DNA polimorfizm tekniğinin kullanılması ile ebeveyn tayini (Yüksek lisans tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Kabasakal, A. (2023). Verification of pedigree information with paternity testing in Karacabey Merino sheep. *Tropical Animal Health and Production*, 55(4), 271. <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03689-y>
- Keskin, M., Yılmaz, O., Gündüz, Z., Ata, N., Gül, S., Cemal, İ., Karaca, O., & Önél, S. E. (2019). Microsatellite panels for parentage testing of Kilis goats reared in Turkey. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 43(1), 94–101.
- Koşum, N., 1995. Koyunculukta Uygulanan Babalık Testleri Ve Önemi. *Hayvansal Üretim Dergisi*, (36):25-32.
- Lozano, J. M., Bouzada, J. A., Maya, M. R., Ossorio, B., Trigo, A., Estevez, M., Anadon, E., Mayoral, T., & Gomez-Tejedor, C. (2008). Control genealógico en la especie ovina mediante análisis de marcadores microsatélite de ADN. *Genética*, 571–576.
- Margan, U., 1996. Prospects Of The Methods Of Bovine Parentage Control. *Berl Munch Tierarztl Wochenschr*, 109(1):1-5.
- Montaldo, H.H., Meza-Herrera, C.A., 1998. Use Of Molecular Markers And Major Genes İn The Genetic İmrovement Of Livestock. *Ejb Electronic Journal Of Biotechnology*, 1(2): 83-89. Erişim [Http://Www.Ejbotechnology.Info].
- Nei, M., & Kumar, S. (2000). *Molecular evolution and phylogenetics*. Oxford University Press.
- Özşensoy Y, Kurar E (2012). Markör Sistemleri Ve Genetik Karakterizasyon Çalışmalarında Kullanımları. *Journal Of Cell And Molecular Biology* 10(2):11-19.

- Özşensoy, Y., Kurar, E., Bulut, Z., Nizamlioğlu, M. 2008. Mikrosatellit Dna Markörleri Kullanılarak Atlarda Ebeveyn Tayini: Bir Vaka Takdimi. *Veteriner Bilimleri Dergisi*, (24)1: 87-9.
- Ramamoorthi J, Thilagam, K, Sivaselvam Sn, Karthickeyan Smk (2009). Genetic Characterization Of Barbari Goats Using Microsatellite Markers. *J. Vet. Sci.*,10(1):73-76.
- Saeed, A. F., Wang, R., & Wang, S. (2016). Microsatellites in pursuit of microbial genome evolution. *Frontiers in Microbiology*, 6, Article 1462. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01462>
- Siwek, M., & Knol, E. F. (2010). Parental reconstruction in rural goat population with microsatellite markers. *Italian Journal of Animal Science*, 9(3), 260–264.
- Smigielski, E. M., Sirotkin, K., Ward, M., & Sherry, S. T. (2000). dbSNP: A database of single nucleotide polymorphisms. *Nucleic Acids Research*, 28(1), 352–355. <https://doi.org/10.1093/nar/28.1.352>
- Solak, M., Bağcı, H., Şengil, A.Z., Öztaş, S. 2000. Moleküler Genetik Ve Rekombinant Dna Teknolojisi (Çolak, M. Ed). Afyon Kocatepe Üniversitesi Eğitim, Sağlık Ve Bilimsel Araştırmalar Vakfı, 153 P., Ankara.
- Sürmen, E. G. (2018). Türkiye yerli keçi ırklarında mikrosatellit DNA polimorfizm tekniğinin kullanılması ile ebeveyn tayini (Yüksek lisans tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2024). Hayvancılık istatistikleri, Haziran 2024. Erişim Tarihi: 16 Ekim 2024.
- Türkyılmaz, M. K., & Nazlıgül, A. (2002). Türkiye ekonomisinde hayvancılığın rolü ve sorunları. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 8(2), 177–181.
- Ün, C., Wimmers, K., Ponsuksili, S., Schmoll, F., & Schellander, K. (2000). Mikrosatellitler ve kullanım alanları. *Hayvansal Üretim*, 41, 9–14.
- Vos, P., Hogers, R., Bleeker, M., Reijans, M., van de Lee, T., Hornes, M., Friters, A., Pot, J., Paleman, J., Kuiper, M., & Zabeau, M. (1995). AFLP: A new technique for DNA fingerprinting. *Nucleic Acids Research*, 23(21), 4407–4414.
- Yıldız Öz, G. (2018). Türkiye’de yetiştirilen bazı koyun ırklarında ebeveyn tayini (Doktora tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Yılmaz, O. (2010). Karya tipi koyunlarda mikrosatellit DNA polimorfizmine dayalı ebeveyn tayini (Yüksek lisans tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).



BÖLÜM 5

Yabancı Ot Mücadelesinde Yeni Bir Yaklaşım: Püskürtülebilir Sıvı Malç

Ahmet Tansel Serim¹

1. GİRİŞ

Bitkisel üretimde kültür bitkilerinin büyüme ve veriminde hem çevresel koşullar hem de biyotik etmenler önemli rol oynamaktadır. Bu biyotik etmenler arasında yer alan yabancı otlar, parazit türler dışında, hastalık ve zararlılardan farklı olarak doğrudan bitki dokularında tahribat yapmazlar. Ancak kültür bitkileriyle aynı ekolojik ortamı paylaştıkları ve su, ışık, besin maddeleri ile alan gibi kaynakları ortak kullandıkları için önemli verim ve kalite kayıplarına neden olabilmektedirler (Tepe, 2014). Bu kayıplar, yabancı ot türüne, yoğunluğuna ve çevresel şartlara bağlı olarak bazı durumlarda %100'e kadar ulaşabilmektedir.

Yabancı otları diğer zararlı organizmalardan ayıran en önemli özelliklerden biri toprakta uzun süre varlığını sürdürebilen bir tohum bankası oluşturmalarıdır. Dormansi özellikleri sayesinde yabancı ot tohumları yıllar boyunca çimlenme yeteneğini koruyarak uygun sıcaklık ve nem koşulları oluştuğunda çimlenerek hızlı şekilde gelişmeye başlarlar. Erken gelişme döneminde gerek kültür bitkilerinin gerekse yabancı otların ihtiyaç duyduğu kaynak düşük miktarda olduğu için rekabet de sınırlıdır. Ancak bitkiler ve yabancı otlar büyüdükçe kaynak kullanımı artar ve rekabet şiddetlenir (Zimdhal, 2018). Yabancı otlar hızlı büyüme ve yoğun çıkış özellikleri sayesinde kültür bitkilerine karşı kısa sürede daha baskın hale gelirler.

Yabancı otlarla mücadelede kültürel, biyolojik, mekanik, fiziksel ve kimyasal yöntemler entegre biçimde önerilse de, üreticiler genellikle kolay uygulanabilen, hızlı sonuç veren ve maliyetleri düşüren kimyasal mücadeleye yönelmektedirler (Tepe, 2014). Mekanik yöntemler, özellikle tek yıllık yabancı otlarda etkili olsa da çok yıllık türlerin yayılmasına sebep olabilmekte, ayrıca yakıt tüketimi, toprak sıkışması ve makine ömrünün kısılması gibi olumsuzluklara yol açmaktadır (Rueda-Ayala vd., 2010).

Kimyasal mücadele modern tarımın en yaygın uygulamalarından biri olup, birçok ürün grubunda ekim/çıkış öncesi ve çıkış sonrası herbisit uygulamaları yaygın şekilde kullanılmaktadır. Ancak herbisit kullanımının artışı, ithalata bağımlılığı yükseltmekte, maliyetleri artırmakta ve

¹ Doç. Dr., Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, 0000-0002-0274-1895

herbisitlere dayanıklı yabancı ot biyotiplerinin yayılmasına yol açmaktadır. Türkiye’de 2006 yılında 6.956 ton olan herbisit kullanımı, 2023’te 15.509 tona ulaşmıştır. Aynı dönemde insektisit kullanımı da artarken fungusitlerde ise azalma gözlenmiştir (GKGM, 2024). Herbisit tüketiminin artmasına rağmen son 30 yılda yeni etki mekanizmasına sahip bir herbisit geliştirilememiştir.

Yoğun herbisit kullanımı; direnç gelişimi, drift nedeniyle duyarlı bitkilerde fitotoksisite, yüzey ve yer altı su kaynaklarının kirlenmesi ve toprakta kalıntı sorunlarını da beraberinde getirmektedir (Van Bruggen vd., 2021; Başaran ve Serim, 2010; Serim ve Maden, 2014; Serim vd., 2022). Dolayısıyla alternatif yöntemlere duyulan ihtiyaç giderek artmaktadır.

Bu alternatiflerden biri malç uygulamalarıdır. Malç, toprağın sentetik veya organik materyallerle kaplanarak yabancı otların çimlenmesini ve gelişimini baskılayan bir yöntemdir (Günçan ve Karaca, 2018). Bitkisel üretimde yaygın kullanılan malçlar yabancı otları önemli ölçüde baskılayabilmenin yanında toprağı erozyona karşı koruyabilmekte ve topraktan nem kaybını azaltabilmektedir (Gan vd., 2013). Bu pozitif etkiler de genellikle kültür bitkilerinde verim artışı olarak ürüne yansımaktadır (Gürbüz ve Gül, 2023; Okeyo vd., 2014). Kullanılan düşük yoğunluklu polietilen malçlar güçlü bir yabancı ot kontrolü sağlasa da petrol bazlı olmaları ve mikro plastik oluşturmaları bakımından çevresel sorunlara neden olabilmektedir (Li vd., 2022). Petrol kökenli bu malçların toplanması gerekmekte; bu da zaman alıcı ve yüksek maliyetli bir işlem olmasının yanında, bu malçlar yoğun kirliliğe maruz kaldıkları için geri dönüşüme tabi tutulmaları da mümkün olamamaktadır (Kirchinger vd., 2024). Organik materyallerle hazırlanan malçların ise her sene yeniden serilmesi ve taşınması sentetik materyallerden yapılanlara göre daha yüksek maliyetli olmakta ve uygulaması uzun zaman almaktadır (Hammermeister, 2016). Organik malçlarda etkinin artması için kalın bir materyal tabakası gerekir; bu da saman, talaş veya kuru ot gibi kaynakların maliyetini oldukça yükseltmektedir (Serim, 2023; Gürbüz vd., 2024). Bu noktada bitkilerin kendi ürettikleri çeşitli polimerler, doğal kauçuk, nişasta ve depo proteini gibi maddeler biyobozunur olmaları ve polietilen malçlar kadar esnek olmaları bakımından püskürtülebilir sıvı malç olarak kullanılabilir.

2. SIVI MALÇLAR

Püskürtülebilir sıvı malçlar, geleneksel malçların sağladığı avantajlarını sağlayarak kısa sürede geniş alanlarda uygulanabilmeleriyle

öne çıkmaktadır. Püskürtülebilir malçların bileşimleri değişik materyallerden oluşabilmektedir.

2.1. Sıvı Malç Hazırlanması

Bağlayıcı maddeler:

A. Hayvansal bağlayıcılar: Bu maddeler genellikle keratin, jelatin veya kitosan bazlı olup çeşitli hayvansal materyallerden elde edilirler (Gloeb vd., 2023; Chen vd. 2021; Caputo vd., 2024). Bu hayvansal bazlı polimerler çeşitli işlemlerden geçirildikten sonra sıvı malçların üretiminde kullanılabilir.

B. Bitkisel bağlayıcılar: Değişik polisakkarit yapısında maddeler doğrudan veya işlem gördükten sonra sıvı malçların içine eklenebilir. Bu amaçla mısır nişastası, mısır zeini, mısır glüten unu, izole soya proteini gibi nişasta, protein ve selüloz bazlı polimerler kullanılır (Gloeb vd., 2023).

Organik maddenin parçalanmasını geciktirici maddeler:

Farklı yağ bazlı maddeler toprak üzerine uygulanan malçın parçalanmasını geciktirmek için sıvı malça eklenerek kullanılır. (Kasirajan ve Ngouajio, 2012). Bu maddeler aynı zamanda keratin polimerinin esnekliğinin artmasını da sağlarlar (Tanabe vd., 2002). Bitkisel ham yağlar, yağ esterleri, gliserol ve mikroalgler bu amaçla kullanılabilir.

Dayanıklılık sağlayıcı maddeler:

Oluşturulan sıvı malçın mekanik dayanıklılığını artırmak için kalsiyum karbonat gibi maddeler de formülasyona eklenebilir (Stojanović vd., 2023).

Bariyer oluşturuçu polisakkaritler:

Sıvı malç karışımına polisakkarit kaynağı olarak eklenen ot samanı, dane kabukları, kağıt hamuru, kullanılmış mantar ortamı veya kitosan gibi maddeler sıvı malç karışımının dayanıklılığını artırdığı gibi fiziksel bariyer olarak yabancı ot çıkışını engeller (Claramunt vd., 2020; Giaccone vd., 2018). Bu tip maddeler toprağın ihtiyaç duyduğu organik karbonun toprağa kazandırılması bakımından da önemlidir (Wehrbein vd., 2024).

Yardımcı maddeler:

Oluşturulan formülasyonu kolay uygulanabilir yapmak veya depolama süresince fungal etmenlerden korumak amacıyla sodyum benzoat gibi maddeler formülasyona eklenebilen yardımcı maddelerdir (Kirchinger vd., 2024).

3. SIVI MALÇLARIN YABANCI OTLARA ETKİSİ

Püskürtülebilir sıvı malçların biyolojik etkinliklerini belirleyen ana unsurlar çevresel koşullara ve yabancı otların fiziksel etkilerine karşı dayanıklılıklarıdır. Sıvı malçlar, uygulamadan sonra kuruyarak çevresel koşullardan hemen etkilenmeye başlarlar. Bu doğal parçalanma, sıvı malçlardan beklenen bir durum olsa da kültür bitkileri içindeki yabancı otları yeterli düzeyde ve sürede baskılamadan önce meydana gelmeye başlarsa yabancı ot mücadelesi için kullanılır olmaktan çıkar. Yabancı otların kuruyan sıvı malç üzerinde oluşturdukları iki ana etki vardır; bunlar delme ve kaldırma etkileridir. Örneğin *Cyperus rotundus* L.'un sivri sürgün ucu büyümeye devam ederken kuru malç tabakası üzerinde bir delik açabilir veya *Chenopodium album* L. fidesi kuru malç altında büyümeye devam ederken malç tabakasını toprak yüzeyinden kaldırarak malçın esneklik sınırını aşır kırılmasına neden olabilir (Weiss, 2025).

Sıvı malçın formülasyon yapısına bağlı olarak yabancı otlara karşı biyolojik etkinliği değişse de geniş yapraklı yabancı otlara karşı biyolojik etkinin dar yapraklı türlere kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür (Weiss vd., 2025). Malç altında kalan yabancı otlardan *C. rotundus* ve *Cynodon dactylon* (L.) Pers. gibi çok yıllık yabancı otlar yatay şekilde hareket ettikleri için malçın kenarlarından toprak yüzeyine çıkma potansiyeline sahiptirler (Mas vd., 2024). Bu bakımdan yabancı ot florasına bağlı olarak sıvı malç formülasyonu seçimi yapılmalıdır.

3.1. Çıkış sonrası uygulama

Sıvı malçların çıkış sonrası uygulanan herbisitlere benzer şekilde uygulanması mümkündür. Bu uygulama şeklinde sıvı malç doğrudan yabancı otların yapraklar başta olmak üzere bütün toprak üstü aksamlarına uygulanır. Farklı içeriklerde hazırlanan sıvı malçlar *Amaranthus retroflexus* L., *Setaria viridis* (L.) P.Beauv., *Sorghum bicolor* (L.) Moench, *Abutilon theophrasti* Medik., *Lamium amplexicaule* L. ve *Guillenia flavescens* (Hook.) Greene gibi tek yıllık geniş ve dar yapraklı otları etkili bir şekilde kontrol edebilir (Kirchinger vd., 2024; Gloeb vd. 2023; Cirujeda vd., 2024). Çıkış sonrası uygulanan sıvı malç kuruduktan sonra üzerine *Conyza* spp. gibi rüzgarla taşınan tohumlar ulaştığında bu tohumlar çimlenerek malçın etkinliğini düşürebilirler (Cirujeda vd., 2024).

Sıvı malcın tek yıllık yabancı otlar üzerinde sağladığı yüksek biyolojik etkinliğin aksine *Elymus repens* (L.) Gould, *Convolvulus arvensis* L., *Cirsium arvense* (L.) Scop. ve *C. rotundus* gibi çok yıllık yabancı otlarda beklenen biyolojik etkinlik elde edilememiştir (Kirchinger vd., 2024; Follak vd., 2024; Mas vd., 2023). Bu durum çok yıllık yabancı otların

yeniden vejetatif yapı oluşturma kabiliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Ancak *Lolium perenne* L. ve *Taraxacum* sect. *Ruderalia* gibi rejenerasyon kabiliyeti düşük olan çok yıllık yabancı otlar da tek yıllık yabancı otlarda olduğu gibi etkili şekilde kontrol edilebilmiştir (Follak vd., 2024).

3.2. Çıkış öncesi uygulama

Sıvı malçlar toprak üzerine uygulandıklarında, konvansiyonel bitki malçlarının sağladığı etkiye benzer şekilde yabancı otların fidelerinin güneşten yararlanmasını engelleyerek ve mekanik bir bariyer oluşturarak fide büyümesini baskılar. Bu tip malçların önemli özelliklerinden biri de konvansiyonel malçlardan farklı olarak toprak sıcaklığının artmasına neden olmamalarıdır (Anifantis vd., 2012; Shogren ve David, 2006). Toprak sıcaklığının yüksek olmaması, yeni yabancı ot tohumlarının düşük oranda çimlenmesine ve çimlenenlerin de yavaş çıkış yapmasına neden olur.

Panicum capillare L., *Amaranthus powellii* S.Watson, *Setaria viridis* (L.) Beauv., *Senecio vulgaris* L., *A. theophrasti*, *Sonchus asper* (L.) Hill subsp. *asper* and *Epilobium montanum* L. gibi tek yıllık yabancı otlar çıkış öncesi uygulanan sıvı malçlarla etkili bir şekilde kontrol edilebilir (Shen ve Zheng, 2017; Gloeb vd., 2023; Giaccone vd., 2018). Ekim/çıkış öncesi yabancı ot kontrolü için uygulanan sıvı malçların kalınlığı arttıkça biyolojik etkinliği de artmaktadır (Shen ve Zheng, 2017). Sıvı malçların ekim/çıkış öncesi yabancı otlara karşı biyolojik etkinliğini etkileyen ana faktörler arasında yabancı otun kuruyan malç tabakasına güçlü şekilde penetre olma kabiliyeti gelmektedir (Giaccone vd., 2018). Kurumuş malç tabakasına penetre olan yabancı otların oluşturduğu çatlaklardan diğer yabancı otlar da çıkış yaparak biyolojik etkinliği hızla düşürürler.

Yabancı otların morfolojik ve biyomekanik özellikleri sıvı malçın biyolojik etkinliği üzerinde doğrudan etkilidir. Sıvı malçın kuruyarak oluşturduğu sert ve rijit yapı *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Sorghum halepense* (L.) Pers. ve *Paspalum dilatatum* Poir. gibi türlerin az sayıdaki kalın sürgünlerini baskılar ve bu sürgünler çıkış yapmayı başarsa bile kuru malç katmanının altına sıkışabilir veya ölebilir. Öte yandan *C. rotundus* sahip olduğu çok sayıda keskin, sert yaprak uçları sayesinde malçı delerek varlığını devam ettirebilir (Mas vd., 2024).

4. SONUÇ

Yabancı ot mücadelesinde herbisitlere olan bağımlılığın artışı, herbisitlere dayanlı biyotiplerin artması, çevresel riskler ve üretim maliyetlerindeki yükseliş, sürdürülebilir alternatif yöntemlerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda püskürtülebilir sıvı malç

teknolojileri, hem çevre dostu özellikleri hem de uygulanabilirlikleri bakımından modern tarımsal üretimde gelecek vadeden bir çözüm olarak öne çıkmaktadır.

Son yıllarda yapılan araştırmalar, selüloz, lignoselülozik atıklar, nişasta, proteinler, kitin ve kitosan gibi biyopolimerlerin, ayrıca pirinç kavuzu, mantar kompostu ve bambu artıkları gibi tarımsal yan ürünlerin, püskürtülebilir sıvı malç formülasyonlarında da başarıyla kullanılabileceğini göstermektedir. Bu materyallerden elde edilen sıvı malçlar veya bunlar kullanılarak üretilen biyofilmler, tek yıllık yabancı otlarda başarı ile uygulanabilmekte, bazı çalışmalar ise çok yıllık türlerde de kısmi başarı sağlanabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, toprak neminin korunması, sıcaklık dalgalanmalarının azaltılması ve toprak biyolojik aktivitesi üzerinde olumsuz bir etki yaratmaması bu yaklaşımın ekolojik faydalarını ortaya koymaktadır.

Alınan başarılı sonuçlara rağmen, çok yıllık rizomlu türler üzerinde düşük biyolojik etkinlik, yüksek uygulama maliyeti ve büyük ölçekli tarımsal üretimde mekanizasyon gibi konularda halen çalışmalar yapılması gerekmektedir. Yakın gelecekte; farklı bağlayıcı ve katkı maddeleriyle malç dayanımının artırılması, formülasyonların farklı iklim koşulları ve toprak tiplerinde denenmesi, ayrıca sıvı malçların çok işlevli (örneğin besin veya biyopestisit taşıyıcı) hale getirilmesi üzerine yoğunlaşılması gerekmektedir.

Sonuç olarak, püskürtülebilir sıvı malç teknolojileri, yabancı ot mücadelesinde plastik film ve kimyasal herbisitlere çevreci bir alternatif olarak kullanılabilir. Bu teknolojilerin yaygın kullanıma girebilmesi için saha denemelerinin artırılması, maliyet etkinliğinin geliştirilmesi ve çiftçilerin uygulama kolaylığı açısından uygun ekipmanların geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Anifantis, A., Canzio, G., Cristiano, G., De Lucia, B., Russo, G., Vecchietti, L., Immirzi, B., Malinconico, M., Santagata, G. (2012). Influence of the use of drip irrigation systems and different mulching materials on ornamental sunflowers in greenhouse cultivation. *Acta Horticulturae*, 952, 385–392.
- Başaran, M.S., Serim, A.T. (2010). Herbisitlerin toprakta parçalanması. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 24(2), 54–61.
- Caputo, M., Di Cesare, C., Iovieno, P., Immirzi, B., Baldantoni, D., Stipic, M., Zaccardelli, M., Venezia, A. (2024). Biodegradable spray mulch applications in greenhouse agroecosystems. *Sustainability*, 16(14), 5973. <https://doi.org/10.3390/su16145973>
- Chen, L., Qiang, T., Chen, X., Ren, W., Zhang, H.J. (2021). Fabrication and evaluation of biodegradable multi-cross-linked mulch film based on waste gelatin. *Chemical Engineering Journal*, 419, 129639. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.129639>
- Cirujeda, A., Pueyo, J., Moreno, M.M., et al. (2024). Weed control in perennial crops using hydromulch compositions based on the circular economy: Field trial results. *Journal of Crop Health*, 76(5), 1101–1116. <https://doi.org/10.1007/s10343-024-01012-9>
- Claramunt, J., Mas, M.T., Purdo, G., Cirujeda, A., Verdú, A. (2020). Mechanical characterization of blends containing recycled paper pulp and other lignocellulosic materials to develop hydromulches for weed control. *Biosystems Engineering*, 191, 35–47. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.12.012>
- Follak, S., Kirchinger, M., Menger, A., et al. (2024). Evaluation of a biodegradable and sprayable mulch material for weed control in vineyards and orchards. *Applied Fruit Science*, 66(5), 1727–1736. <https://doi.org/10.1007/s10341-024-01163-z>
- Gan, Y., Siddique, K.H.M., Turner, N.C., Li, X.-G., Niu, J.-Y., Yang, C., Liu, L., Chai, Q. (2013). Ridge-furrow mulching systems—an innovative technique for boosting crop productivity in semiarid rain-fed environments. In *Advances in Agronomy* (pp. 429–476). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-405942-9.00007-4>
- Giaccone, M., Cirillo, C., Scognamiglio, P., et al. (2018). Biodegradable mulching spray for weed control in the cultivation of containerized ornamental shrubs. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 5, 21. <https://doi.org/10.1186/s40538-018-0134-z>

- GKGM. (2024). Yıllar itibarıyla bitki koruma ürünlerinin (gruplara ayrılmış olarak) kullanım miktarları, 2006–2023. https://www.tarimorman.gov.tr/GKGM/Belgeler/DB_Bitki_Koruma_Urunleri/Istatistik/Yillari_Itibariyla_BKU_Kullanim_Miktar_2006-2023.pdf
- Gloeb, E., Irmak, S., Isom, L., Lindquist, J.L., Wortman, S.E. (2023). Biobased sprayable mulch films suppressed annual weeds in vegetable crops. *HortTechnology*, 33(1), 27–35. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH05112-22>
- Güncan, A., Karaca, M. (2018). *Yabancı ot mücadelesi*. Selçuk Üniversitesi Basım Evi.
- Gürbüz, R., Gül, P. (2023). The effects of different biodegradable mulches on weed population and fruit yield in watermelon production field. *Pakistan Journal of Botany*, 55(2). [https://doi.org/10.30848/PJB2023-2\(39\)](https://doi.org/10.30848/PJB2023-2(39))
- Gürbüz, R., Alma, M.H., Alptekin, H., Tülek, C. (2024). Assessing the organic mulch thickness for effective weed suppression, improved soil conditions, and enhanced crop yield in *Capsicum annuum* L. cultivation. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 14(1), 18–38.
- Hammermeister, A.M. (2016). Organic weed management in perennial fruits. *Scientia Horticulturae*, 208, 28–42. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.02.004>
- Kasirajan, S., Ngouajio, M. (2012). Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32, 501–529. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0068-3>
- Kirchinger, M., Holzknicht, E., Redl, M., et al. (2024). A spray-on environmentally friendly degradable mulch material and its high efficiency in controlling above-ground biomass of weeds in greenhouse experiments. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 131, 1009–1020. <https://doi.org/10.1007/s41348-024-00900-6>
- Li, S., Ding, F., Flury, M., Wang, Z., Xu, L., Li, S., Jones, D., Wang, J. (2022). Macro- and microplastic accumulation in soil after 32 years of plastic film mulching. *Environmental Pollution*, 300, 118945. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.118945>
- Mas, M.T., Verdú, A.M.C., Pardo, G., et al. (2024). Shoot and biomass reduction of perennial weeds using hydromulches and physical

- changes in the mulches. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 131, 433–443. <https://doi.org/10.1007/s41348-023-00833-6>
- Okeyo, A.I., Mucheru-Muna, M., Mugwe, J., Ngetich, K.F., Mugendi, D.N., Diels, J., Shisanya, C.A. (2014). Effects of selected soil and water conservation technologies on nutrient losses and maize yields in the central highlands of Kenya. *Agricultural Water Management*, 137, 52–58. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.01.014>
- Rueda-Ayala, V., Rasmussen, J., Gerhards, R. (2010). Mechanical weed control. In E.C. Oerke, R. Gerhards, G. Menz & R. Sikora (Eds.), *Precision Crop Protection – The Challenge and Use of Heterogeneity*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9277-9_17
- Serim, A., Maden, S. (2014). Effects of soil residues of sulfosulfuron and mesosulfuron methyl + iodosulfuron methyl sodium on sunflower varieties. *Journal of Agricultural Sciences*, 20(1), 1–9. <https://doi.org/10.15832/tbd.26020>
- Serim, A.T. (2023). Impact of the Tree of Heaven compost on weed germination and emergence. In *V. International Agricultural, Biological & Life Science Conference*, 18–20 Eylül 2023, Edirne, Türkiye, 123.
- Serim, A.T., Budak, İ., Asav, Ü. (2022). Isparta ili elma bahçelerinde glyphosate’a dayanıklı pire ot (*Conyza canadensis* (L.) Cronquist)’larının belirlenmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(1), 564–573.
- Shen, K., Zheng, Y. (2017). Efficacy of bio-based liquid mulch on weed suppression and water conservation in container nursery production. *Journal of Environmental Horticulture*, 35, 103–110. <https://doi.org/10.24266/JEH-D-17-00002.1>
- Shogren, R.L., David, M. (2006). Biodegradable paper/polymerized vegetable oil mulches for tomato and pepper production. *Journal of Applied Horticulture*, 8, 12–14.
- Stojanović, D., Ivanovska, A., Barać, N., Dimić-Misić, K., Kostić, M., Radojević, V., Janačković, D., Uskoković, P., Barceló, E., Gane, P. (2023). Biodegradable cellulose/polycaprolactone/keratin/calcium carbonate mulch films prepared in imidazolium-based ionic liquid. *Polymers*, 15(12), 2729. <https://doi.org/10.3390/polym15122729>
- Tanabe, T., Okitsu, N., Tachibana, A., Yamauchi, K. (2002). Preparation and characterization of keratin–chitosan composite film. *Biomaterials*, 23(3), 817–825. [https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(01\)00187-9](https://doi.org/10.1016/S0142-9612(01)00187-9)

- Tepe, I. (2014). *Yabancı otlarla mücadele*. Sidas Yayınevi.
- Van Bruggen, A.H.C., Finckh, M.R., He, M., Ritsema, C.J., Harkes, P., Knuth, D., Geissen, V. (2021). Indirect effects of the herbicide glyphosate on plant, animal and human health through its effects on microbial communities. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 763917. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.763917>
- Wehrbein, C.D., Kadoma, I., Wortman, S.E. (2024). First field evaluation of a polylactic acid-based weed barrier with compost for carrot production. *HortTechnology*, 34(2), 204–210. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH05370-23>
- Weiss, B. (2025). *MULCH2O: A sprayable, biobased, biodegradable mulch technology for certified organic small fruit production* (Yayınlanmamış doktora tezi). Washington State University.
- Weiss, B., Maupin, B., Bajwa, D.S., Durado, A., Weyers, S., Ahmad, W., Gramig, G., Wasko DeVetter, L. (2025). Hydromulch suppresses dicot but not monocot weeds and maintains yield and fruit quality in established blueberry. *HortScience*, 60(10), 1674–1683. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI18739-25>
- Zimdhal, R.L. (2018). *Fundamentals of weed science* (5th ed.). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-02530-8>



BÖLÜM 6

CPUE Standardizasyonu: Kuramsal Temeller, Uygulama Yöntemleri ve Balıkçılıkta Kullanım Pratikleri

Tevfik Ceyhan¹

CPUE Kavramı ve Tarihsel Gelişimi

Birim çaba başına av miktarı (Catch Per Unit Effort, CPUE), belirli bir avcılık faaliyeti başına yakalanan ortalama balık miktarını ifade eden ve balık stoklarının bağıl bolluğunu yansıtan temel bir göstergedir (Erisman ve diğerleri, 2011; Harley, Myers ve Dunn, 2001; Hilborn ve Walters, 1992). Örneğin yıl içinde %30 düşüş gösteren CPUE, stokta benzer bir düşüş olduğunu ima edebilir. Genellikle av miktarı, harcanan çaba (örneğin günlük av operasyon sayısı, oltada geçirilen saat vb) cinsinden normleştirilerek hesaplanır. Tarihsel olarak CPUE kavramı 20. yüzyılın başlarında ortaya atılmış; örneğin, İskoçya’da 1900 yılında yapılan bir deneyde farklı bölgelerdeki “çekim başına av” değerleri karşılaştırılmıştır (FAO, 1984). Başlangıçta bazı bilim insanları CPUE’nin stok bolluğunu yansıtmadaki güvenilirliğini sorgulamış olsa da 1930’lu yıllardan itibaren yöntem yaygın kabul görmeye başlamıştır. Ricker (1940) bu alandaki erken dönem çalışmalarını derleyerek CPUE’nin stok yoğunluğu ile ilişkisini matematiksel olarak modelleyen kapsamlı bir makale yayımlamış ve CPUE kullanımının modern balıkçılık bilimi literatüründe yerleşmesine öncülük etmiştir (FAO, 1984).

CPUE, balık stok değerlendirmelerinde uzun yıllardır bağıl bir bolluk indeksi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Stok büyüklüğünün mutlak tahminlerinin maliyetli ve zor olduğu durumlarda, özellikle ticari ve küçük ölçekli balıkçılıklarda, CPUE verileri doğrudan stok bolluğunun bir göstergesi olarak kabul edilegelmiştir (Mateo ve Hanselman, 2014). Bu yaklaşım, Hilborn & Walters (1992) gibi araştırmacıların çalışmalarında vurgulanmış ve sayısız stok değerlendirme modeline CPUE indeksleri girdi olarak kullanılmıştır. CPUE’nin stok büyüklüğü ile doğrusal orantılı olduğu varsayımı geleneksel balıkçılık yönetiminde temel alınmış olsa da, bu varsayımın her zaman geçerli olmadığı literatürde çokça tartışılmıştır (Cao, Thorson, Richards ve Chen, 2017; FAO, 1984; Harley ve diğerleri, 2001). Nitekim CPUE kavramı gelişirken birim çabanın tanımı, standardizasyonu ve bu değerin stok dinamiklerini gerçekten temsil

¹ Prof. Dr., Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, 35100 Bornova/İzmir
Orcid: 0000-0002-4799-5709

etme kapasitesi üzerine kapsamlı araştırmalar yürütülmüş ve yöntemler geliştirilmiştir.

CPUE Verilerinin Kaynakları

Balıkık kayıtları, gözlemci verileri ve elektronik izleme en yaygın CPUE veri kaynaklarını oluştırmaktadır. Birçok dünya balıkçılığında stok değerlendirmeleri, yüksek maliyetli araştırma avları yerine büyük ölçüde balıkçılardan toplanan veriye dayanır (Shi, Han, ve diğerleri, 2023). Özellikle ticari filo tarafından tutulan günlükler, yakalanan tür ve miktarları ile harcanan çaba bilgilerini içerdiğinden CPUE hesaplamak için pratik ve ulaşılabilir bir veri sağlar (Mateo ve Hanselman, 2014; Maunder ve Punt, 2004). Balıkçı av kayıtlarının avantajı, geniş zaman ve alan ölçeğinde veri sağlaması iken; veri kalitesi balıkçıların kayıt tutma disiplinine bağlıdır. Bu nedenle birçok bölgede kayıtlar, bağımsız gözlemciler ile doğrulanır. Gözlemci programları, teknelerde bulunan eğitimli personelin av kompozisyonunu, miktarını ve çabayı doğrudan kaydetmesi esasına dayanır. Bu yöntem, özellikle yunus veya kuş gibi istenmeyen av (bycatch) verilerinin güvenilirliği için altın standart kabul edilse de yüksek maliyetli ve her teknede uygulanması pratik olmayan bir yöntemdir. Son yıllarda, gözlemci bulundurulamayan filolarda verilerin doğruluğunu artırmak amacıyla elektronik gözlem (Electronic Monitoring, EM) sistemleri devreye alınmaktadır. Tekneler zerine yerleştirilen kameralar ve sensörler, av miktarı ve türlerini, balıkçılığın yapıldığı yer ve zamanı otomatik olarak kaydederek balıkçıların tuttuğu kayıtları doğrulayabilmektedir. Örneğin, ABD’deki bazı filo ve türlerde, teknelere yerleştirilen video kameralar sayesinde mavi yüzgeçli orkinos gibi türlerin yakalanma durumları anlık izlenebilmekte ve bu teknoloji insan gözlemcilerin yerini kısmen alabilmektedir. Elektronik raporlama ve izleme sistemlerinin yaygınlaşması, veri toplamada hız, doğruluk ve maliyet etkinliği sağlamasıyla CPUE verilerinin kalite ve güvenilirliğini arttırmayı hedeflemektedir.

Balıkçılık bağımlı veriler (fisheries-dependent data) olarak adlandırılan bu tür kayıtlar, stok izleme çalışmalarının belkemiğini oluştırur. İdeal olan, balıkçılık bağımsız (yani araştırma amaçlı) veri kaynaklarına sahip olmaktır; örneğin bilimsel araştırma trol veya akustik tarama verilerinden türetilen yakalama oranları, standartize edilmiş metodolojiyle toplandıkları için stok bolluğu değişimlerini daha doğrudan yansıtabilir (Maunder ve Punt, 2004; Thorson, Shelton, Ward ve Skaug, 2015). Ancak birçok gelişmekte olan ülkede düzenli bilimsel araştırma seferleri yüksek maliyet gerektirdiğinden, nominal (ham) CPUE endeksleri daha kolay erişilebilir durumdadır. Örneğin, in’de sarı deniz hamsisi (*Engraulis japonicus*)

balıkçılığında, toplam avın filo toplam makine gücüne bölünmesiyle elde edilen basit CPUE serileri, uzun yıllar boyunca stok göstergesi olarak kullanılmıştır(Han, Shan, Jin ve Gorfine, 2023). Bu tür nominal CPUE serileri, verinin kolay elde edilmesi açısından cazip olmakla birlikte, balıkçılık teknolojisindeki değişimler ve balıkçı davranışları gibi faktörlerden arındırılmadığı için ham haliyle yanıltıcı eğilimler gösterebilir. Bu noktada CPUE standardizasyonunun gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Standartlaştırmanın Gerekliliği ve Amacı

Ham CPUE değerleri, bir stokun bolluğu dışındaki pek çok faktörün etkisini içinde barındırır. Balıkçıların av stratejileri, tekne ve ağ donanımlarındaki gelişmeler, hedef tür dışındaki türlerin varlığı, mevsimsel ve bölgesel farklılıklar gibi etmenler, aynı stok seviyesinde bile CPUE’de dalgalanmalara yol açabilir (Harley ve diğerleri, 2001; Hilborn ve Walters, 1992). Dolayısıyla CPUE’nin stok bolluğunu doğru yansıtılması için, bu değişkenlerin etkilerinden arındırılması, bir başka deyişle standardize edilmesi gerekmektedir. Standartlaştırmanın temel amacı, yakalanabilirlik (catchability) olarak adlandırılan ve bir birim çabayla popülasyondan yakalanan birey oranını ifade eden katsayının zaman ve koşullar arasında sabit kalacak şekilde veriyi düzeltmektir (Maunder ve Punt, 2004). Bu sayede, CPUE’de zaman içinde gözlemlenen eğilimlerin gerçek stok değişimlerini yansıtması, yönetim ve koruma önlemlerinin doğru planlanması mümkün olur. Nitekim Maunder & Punt (2004) gibi araştırmacılar, CPUE verilerinde stok dışı faktörlerin etkisini gidermenin, stok değerlendirme modellerine güvenilir girdi sağlamak açısından kritik olduğunu belirtmiştir.

CPUE standardizasyonunun gerekliliğini ortaya koyan en çarpıcı durumlardan biri, literatürde hiper-stabilite (hyperstability) ve hiper-azalma (hyperdepletion) olarak tanımlanan olgulardır. Hilborn & Walters (1992) klasik eserlerinde, av gücü sabit varsayımının iki uç durumda yanıltıcı olabileceğini vurgulamışlardır: Bazı balıkçılıklarda stok miktarı hızla düşerken CPUE değerleri düşmeyebilir (hiper-stabilite); bunun tersi olarak stok azalmadığı halde CPUE hızla düşebilir (hiper-azalma). Hiper-stabilite genellikle balıkların kümeleşme/eşlenme davranışı veya filonun verimli alanlara yoğunlaşmasıyla ortaya çıkar. Örneğin, yoğun sürüler oluşturan bir tür, toplam popülasyon yarıya inse bile balıkçılar kalanları avlamaya devam ettiği için birim çaba başına yakalama oranı uzun süre yüksek kalabilir (van der Lee, 2012). Bu durum, aşırı avlanmayı maskeler ve stok ciddi oranda azalınca dek yöneticilerin tehlikeyi fark etmemesine yol açabilir. Nitekim Kanada’nın doğu kıyısındaki ünlü Atlantik morinası

stokunun çöküşünde, endüstri verilerine dayalı CPUE göstergelerinin yıllarca yüksek seyredip gerçek düşüşü gizlemesi, hiper-stabilitenin trajik bir örneği olarak kaydedilmiştir (Walters ve Maguire, 1996). Diğer yandan hiper-azalma durumunda, balıkçılık başlangıçta en kolay yakalanabilir bireyleri hedefleyip tükettikten sonra geriye kalan stok aynı seviyede olsa bile CPUE orantısız şekilde düşebilir; bu da gereğinden sıkı kotalar konulmasına ve ekonomik kayıplara yol açabilir (Erisman ve diğerleri, 2011; van der Lee, 2012). Her iki uç durumda da sorun, ham CPUE'nin doğrudan stok indeksine eşit varsayılmasının yanlışlığıdır. Bu nedenle, av gücü değişimleri, balık davranışı, alan ve zaman gibi faktörlerin etkisini modele dahil etmek, CPUE verilerini stok dinamikleriyle tutarlı hale getirmek için zorunlu hale gelir.

Özetle, CPUE standardizasyonu doğru sinyali gürültüden ayırmayı amaçlar. Standartize edilmiş CPUE serileri, yönetim modellerine bağlı bolluk indeksi olarak girdiğinde, alınan yönetim kararlarının (örn. kota belirleme) daha isabetli olması sağlanır (Hinton ve Maunder, 2004; Shi, Han, ve diğerleri, 2023). Aksi takdirde, ham veriye dayalı çıkarımlar yöneticileri ya aşırı iyimser (aşırı avlanmayı fark etmeme) ya da aşırı kötümser (stok iyi durumdayken gereksiz kısıtlamalar) hatalara sürükleyebilir. Standardizasyonun önemi, uluslararası balıkçılık organizasyonlarının da yayınlarında vurgulanmış; “CPUE verilerinden stok eğilimleri çıkarılırken, diğer tüm etkilerin giderilmesi hayati önem taşır” şeklinde ilke kararlarına yansımıştır (Mateo ve Hanselman, 2014) .

CPUE Standardizasyonunda Temel İstatistiksel Yöntemler

Balıkçılık bilimde CPUE serilerini standardize etmek için çeşitli istatistiksel modeller geliştirilmiştir. Geleneksel olarak en yaygın kullanılan yöntemler Genelleştirilmiş Doğrusal Modeller (GLM) ve Genelleştirilmiş Eklemeli Modeller (GAM) olmuştur (Maunder ve Punt, 2004). Son yıllarda ise Delta modelleri ve uzay-zamansal modeller (ör. VAST) gibi yaklaşımlar öne çıkmıştır (Li, Lu, Cao, Zou ve Chen, 2022; Thorson ve diğerleri, 2015). Aşağıda, CPUE standardizasyonunda yaygın olarak kullanılan başlıca yöntemler özetlenmiştir

GLM ile Standartlaştırma

Genelleştirilmiş Doğrusal Modeller (GLM), CPUE standardizasyonunda en klasik ve yaygın kullanılan yöntemdir (H. G. Hinton ve Maunder, 2004). GLM'ler; yıl, bölge, mevsim gibi açıklayıcı değişkenlerin CPUE üzerindeki etkilerini lineer biçimde modelleyerek ortalama bir ilişki kurar. Bu modeller, normal dağılım varsayımı altında lineer regresyonların bir genelleştirmesi olup, Bağımlı değişkenin

dağılımına uygun bağlantı fonksiyonları (link function) kullanarak daha esnek bir yapı sunar. Örneğin, CPUE genellikle sıfırdan büyük sürekli bir değişken olduğundan, çoğunlukla log-normal GLM (logaritmik dönüşüm sonrası normal) veya Poisson/Negatif Binom GLM (tamsayı yakalama verileri için) tercih edilir (SEDAR, 2013). GLM yaklaşımı balıkçılık literatüründe uzun bir geçmişe sahiptir ve yöntemsel olarak iyi anlaşılmıştır; model değişken seçimi, etkileşim terimlerinin eklenmesi gibi konularda oturmuş uygulama pratikleri vardır (Hinton ve Maunder, 2004). Öyle ki, “CPUE standardizasyonunda en yaygın metod GLM uygulamaktır” ifadesi birçok incelemede yer alır (Venables ve Dichmont, 2004). Bunun bir nedeni, GLM’lerin eldeki verinin yapısına (örneğin çarpık dağılım, aşırı yayılım) uygun link ve dağılım ailesi seçimine izin vererek esneklik sunmasıdır.

GLM’lerin önemli bir avantajı, sonuçların yorumlanabilirliği ve uygulama kolaylığıdır. Örneğin bir yıl etkisi katsayısı, ilgili yıldaki CPUE’nin referans yıla göre oransal değişimini doğrudan verir; bu da yöneticilere stok trendi hakkında doğrudan fikir sunar. Ancak klasik GLM’lerin bir sınırlılığı, ilişkileri doğrusal bir formda yaklaştırmasıdır (Hinton ve Maunder, 2004). Gerçek dünyada CPUE’yi etkileyen birçok ilişki (ör. sıcaklık-artış ile av miktarı ilişkisi) doğrusal olmayabilir. Bu durumda GLM, ya yüksek dereceden polinom terimler ekleyerek esnetilir, ya da aşağıda değinilen GAM gibi yöntemlere başvurulur. GLM yaklaşımının bir diğer eksisi, veriler arasındaki korelasyon yapısını doğrudan modellememesi ve rastgele etkileri içermemesidir. Bu noktada GLM’nin bir uzantısı olan Genelleştirilmiş Lineer Karma Modeller (GLMM) devreye girer. GLMM’ler, balıkçı gemisi etkisi, yıl-içi varyasyon, bölgesel random effect gibi hiyerarşik yapıları modele dahil ederek rastgele etkiler ekler. Örneğin Hazin et al. (2014) Brezilya kılıçbalığı balıkçılığı verilerini standardize etmek için delta-lognormal GLMM kullanarak, tekne bazlı rastgele etkiyi modele katmış ve böylece filo içi farklılıkları dengelemişlerdir. Sonuç olarak GLM/GLMM yaklaşımı, basitlik ve yorumlanabilirlik aranan pek çok CPUE standardizasyon çalışmasında ilk başvuru yöntem olmayı sürdürmektedir.

GAM ile Standartlaştırma

Genelleştirilmiş Eklemeli Modeller (GAM), GLM’lerin lineer form kısıtını esneterek kırılğan olmayan (non-parametrik) ilişkileri modellemeye imkan tanıyan bir yaklaşımdır. GAM’ler, her bir bağımsız değişkenin etkisini düzgünleştirilmiş fonksiyonlar (spline gibi) ile temsil ederek, CPUE ile değişkenler arasındaki potansiyel olarak karmaşık ve

doğrusal olmayan ilişkileri yakalayabilir (Wood, 2003, 2004, 2017). Özellikle çevresel değişkenlerin veya mevsimsel paternlerin CPUE üzerindeki etkilerinin modellenmesinde GAM yaklaşımı çok faydalı olmuştur. Örneğin su sıcaklığı, tuzluluk, ay döngüsü gibi faktörler balıkların yakalanabilirliğini doğrusal olmayan biçimde etkileyebilir; GAM, bu etkiyi verinin içinden öğrenilen esnek bir eğri ile temsil edebilir. Balıkçılık literatüründe GAM'ler, CPUE standardizasyonunda en az GLM'ler kadar yaygın bir kullanıma ulaşmıştır (Maunder ve Punt, 2004; Venables ve Ripley, 2003). Maunder ve Punt (2004) ile Hinton ve Maunder (2004) gibi derlemeler, 2000'li yılların başına kadar GAM'lerin ton balığı ve kılıçbalığı gibi pek çok uluslararası balıkçılık organizasyonunda CPUE analizi için benimsendiğini not etmektedir. Nitekim Venables & Ripley (2003) ile Wood (2017)'un GAM üzerine temel kitapları, balıkçılık istatistikçilerinin sık başvurduğu referanslar haline gelmiştir.

GAM uygulamalarına bazı örnekler vermek gerekirse: Hashimoto et al. (2019), Japonya'daki kolyoz stokuna ait pelajik trol survey verilerini delta-GAM modeli ile analiz etmiş ve genç balıklar için iki ayrı bağıl bolluk indeksi türetmiştir. Bu çalışmada GAM yaklaşımı, sürü yoğunluğu ve çevresel değişkenler ile av oranı arasındaki non-lineer ilişkileri yakalayıp, geleneksel GLM'e göre daha iyi bir uyum sağlamıştır. Yine Bishop (2006) ve Froeschke et al. (2010) gibi çalışmalar, GAM ve ağaç temelli modellerin etkileşimini kıyaslayarak GAM'in av verilerindeki karmaşık dağılım yapısını yakalamadaki başarısını ortaya koymuştur. Campbell (2004)'ün mekansal olarak değişken balıkçılıklar için GLM-GAM karşılaştırması da, mekansal gradyanları yakalamada GAM'lerin üstünlüğüne işaret etmektedir. Sonuç olarak GAM, CPUE standardizasyonunda esnek modelleme gücü sayesinde GLM'lere kıyasla daha yüksek açıklayıcılık sağlama potansiyeline sahiptir. Ancak dikkat edilmelidir ki GAM'ler aşırı uyum (overfitting) riskini beraberinde getirir; bu nedenle genel geçerlik (genelleme) için çapraz doğrulama ve uygun pürüzlülük parametresi seçimi kritik hale gelir (Hinton ve Maunder, 2004; Mateo ve Hanselman, 2014).

Delta Modelleri (İki Aşamalı Modeller)

Birçok balıkçılık veri seti, çok sayıda sıfır yakalama kaydı ve sıfırdan büyük geniş dağılımlı yakalama miktarları içerir. Bu tür sıfır yüklü veri yapılarında, tek aşamalı geleneksel modeller yetersiz kalabilir. Delta modelleri veya diğer adıyla iki aşamalı modeller, bu sorunu çözmek için geliştirilmiştir. Delta model, CPUE dağılımını iki bileşene ayırır: (1) Avın gerçekleşip gerçekleşmediği (olay olasılığı) ve (2) eğer av varsa miktarının ne olduğu. İlk bileşen genellikle Bernoulli (lojistik) regresyon ile

modellenecek sıfır/pozitif olma durumu için kullanılır; ikinci bileşen ise sıfır olmayan değerlerin büyüklüğünü modellemek için çoğunlukla lognormal veya gamma GLM olarak kurulur(Thorson ve diğerleri, 2021). Bu iki aşamalı yaklaşımın önemli bir katkısı, sıfırların fazla olması durumunda veri dağılımının çift modelli yapısını doğru temsil etmesidir. Lo et al. (1992), delta-lognormal modelin temelini atmış ve özellikle Kaliforniya hamsisi gibi stokların uçak/gemi gözlem verilerinden bolluk indeksi türetilmesinde bu yöntemi başarıyla uygulamıştır. Delta model, her iki alt modelin sonuçlarını birleşik bir bolluk indeksi elde etmek üzere birleştirir. Örneğin, yıl etkisi tahmin edilirken önce o yıl avlanma olasılığındaki değişim (logit modeli katsayısı), sonra pozitif av miktarındaki değişim (lognormal modeli katsayısı) hesaplanır ve bu ikisi birleşik olarak yılın toplam CPUE endeksine yansır.

Delta model yaklaşımı, özellikle av gözlem verilerinde sıfırların yoğun olduğu kılıçbalığı, köpekbalığı gibi okyanus balıkçılık verilerinin analizinde yaygınlaşmıştır. ICCAT ve IOTC gibi uluslararası örgütlerin pek çok orkinos ve kılıçbalığı CPUE standardizasyonu çalışmasında delta yönteminin kullanıldığı görülmektedir. Örneğin Hazin et al. (2014), Brezilya filosunun kılıçbalığı yakalama oranlarını standart hale getirmek için delta-GLMM kullanarak sıfır yakalanamayan seferleri ve pozitif yakalamaları ayrı ayrı modellemiştir. Benzer şekilde Maunder & Punt (2004) Pennington (1983, 1996) derlemesinde, Pennington (1983, 1996) çalışmalarına atfen delta modelinin sıfır yakalamaların etkisini gidermede etkin bir araç olduğu vurgulanmıştır. Delta modellerinin başarısı, avlanmama durumunu ayrı ele alarak “başarısız av” bilgisini israf etmemesinden kaynaklanır. Ancak bu yaklaşımda iki ayrı model kurulup birleştirildiğinden, belirsizlik hesapları ve sonuçların yorumu biraz daha karmaşık olabilir. Yine de, balıkçılık verilerinin tipik karakteristiği olan sıfır şişmesini doğru yöneten delta modellemeler, CPUE serilerinin standardizasyonunda vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir (Maunder ve Punt, 2004).

Uzay-Zamansal Modeller ve VAST

Balık stoklarının dağılımı hem coğrafi uzayda hem de zaman içinde değişim gösterir. Klasik GLM/GAM yaklaşımları genellikle alanı ya sabit etki (bölge faktörü) ile ya da bağımsız değişken olarak ele alır. Ancak balıkçılık verilerinde komşu bölgeler arasındaki mekânsal otokorelasyon ve yıllar arasındaki zamansal süreklilik, bu verilerin bağımsız gözlemler olmadığını gösterir. İşte uzay-zamansal modeller, bu bağımlılık yapısını açıkça modelleyerek CPUE standardizasyonuna yeni bir boyut kazandırmıştır. Özellikle son yıllarda Thorson (2015)’un

geliştirdiği VAST (Vector Autoregressive Spatio-Temporal) modeli, geniş çapta ilgi görmüştür. VAST, uzamsal dağılımdaki değişimleri ve yıllık bolluk dalgalanmalarını birlikte tahmin eden, istatistiksel bir yeni nesil uzay-zaman modelidir. Bu model, coğrafi alanın hücrelere ayrılarak her hücredeki bolluk yoğunluğunu bir rastgele efekt olarak ele alır ve bu rastgele efekti yıllar boyunca bir otoregresif yapı ile birbirine bağlar (Shi, Han, ve diğerleri, 2023). Böylece, bir yıldaki dağılım ve bolluk tahmini, komşu alanlar ve önceki yılların verileri ışığında en uygun şekilde gerçekleştirilir.

Thorson (2015), ABD Batı Kıyısı dip balıkları verisi üzerinde yaptıkları çalışmada, VAST tabanlı jeo-istatistiksel delta-GLMM modelinin, geleneksel yöntemlere kıyasla bolluk indekslerinin doğruluğunu belirgin biçimde artırdığını göstermiştir. VAST, CPUE standardizasyonunda yalnızca bir indeks üretmekle kalmaz, aynı zamanda balıkların yıllar içindeki dağılım değişimlerini (menzil genişlemesi/daralması, yoğunluk merkezinin kayması gibi) haritalandırma olanağı sunar (Thorson, Pinsky ve Ward, 2016). Bu yönüyle, habitat değişimleri ve iklim etkileri gibi hususları da değerlendirmeye katarak geleneksel yöntemlerden daha zengin bir çıktı sağlar. Uzay-zamansal modellemelerin pratik bir sonucu olarak, CPUE verilerinin mekansal örnekleme örüntülerindeki taraflılıklar da giderilebilir. Örneğin filo yıllar içinde balıkların çekildiği kuzey bölgelere daha fazla yöneldiyse, VAST bu tercihli örnekleme (preferential sampling) etkisini düzelterek gerçek bolluk trendini ortaya çıkarabilir (Maunder ve diğerleri, 2020; Shi, Kang, ve diğerleri, 2023). Yine Cao et al. (2017), Maine Körfezi kuzey karidesi stokunda spatio-temporal model kullanımının stok değerlendirme sonuçlarını iyileştirdiğini raporlamışlardır.

Son dönem literatür, uzay-zamansal modellerin CPUE standardizasyonunda sağladığı faydayı somut örneklerle ortaya koymaktadır. Li et al. (2022), Büyük Okyanus'ta avlanan mürekkep balığı jig avcılığında VMS (Vessel Monitoring System) verilerini kullanarak CPUE'yi uzamsal olarak standardize etmiş ve balıkçılık alanlarının değişiminin av oranı üzerindeki etkilerini yakalamıştır. Pasifik sardalyası için gerçekleştirilen yakın tarihli bir çalışmada ise (Çin açık deniz filosu verileri), GLM, GLMM ve VAST modelleri karşılaştırılmış; VAST modelinin şartlı R^2 değerinin daha yüksek, AIC değerinin ise daha düşük çıkmasıyla diğer yöntemlere üstünlük sağladığı gösterilmiştir (Shi, Kang, ve diğerleri, 2023). Bu sonuç, VAST'ın sardalya gibi küçük pelajik stoklarda dahi daha kararlı ve güvenilir bir bolluk indeksi üretebildiğine işaret etmektedir. Özellikle çevresel değişkenliğin yüksek olduğu

durumlarda (ör. sardalya dağılımının okyanus sıcaklıklarına göre değişmesi), uzay-zamansal modellerin bu faktörleri modelde hesaba katması CPUE standartlaştırmasını güçlendirmektedir (Shi, Kang, ve diğerleri, 2023; Takasuka, Oozeki ve Aoki, 2007).

Farklı Av Araçlarına Göre Karşılaşılan Zorluklar

CPUE değerlerini standardize ederken, kullanılan av aracı türüne özgü özellikler ve yanlılıklar dikkate alınmalıdır. Farklı av araçları, balıkları yakalama mekanizması ve verimliliği bakımından farklı dinamikler sergiler; bu da CPUE'nin yorumu ve standardizasyonunda her bir av türü için ayrı zorluklar ortaya çıkarır. Aşağıda, özellikle trol, uzatma ağı ve paragat gibi yaygın araçlar özelinde bazı zorluklar ve çözüm yaklaşımları ele alınmıştır.

Trol balıkçılığında CPUE, büyük ölçüde teknenin fiziksel kapasiteleri ve teknoloji seviyesi ile ilişkilidir. Trol teknelerinin tonajı, motor gücü (beygir gücü), Trol ağı ağız açıklığı, elektronik balık bulucu cihazların varlığı gibi faktörler, aynı stok yoğunluğu altında bir teknenin diğerine göre daha fazla balık yakalamasına neden olabilir (Gulland, 1969; Salthaug ve Godø, 1999). Dolayısıyla bir trol filosunda zamanla tekne kompozisyonu değiştiğinde (örneğin filoya daha güçlü tekneler katıldığında), ham CPUE değerlerinde artış görülebilir; ancak bu artış stok artışından değil, avcılık gücündeki artıştan kaynaklanır. Bu durumu düzeltmek için CPUE verileri standardize edilirken tekne gücü etkisinin modelde yer alması sağlanır. Örneğin, Gulland, (1983), bir filodaki tekneler arasındaki göreceli av gücü farklarının CPUE indeksine önemli bir hata payı katacağını belirtmiştir. Bu farklar, filodaki teknelerin geçmiş verilerine bakılarak bir “standart tekne” ye göre katsayılar hesaplanarak giderilebilir (Salthaug ve Godø, 1999). Modern çalışmalarda bu amaçla tekne kimliği bir rastgele etki olarak modele konulmakta veya makine gücü gibi metrikler doğrusal bir düzeltçi olarak eklenmektedir. Ayrıca, balıkçılık literatüründe teknolojik gelişmenin yıllık av verimliliğine etkisi için yaklaşık %2'lik bir artış değeri sıklıkla kullanılmaktadır (Han ve diğerleri, 2023). Palomares & Pauly (2019), farklı balıkçılıklardaki tarihsel gelişmeleri inceleyerek filo genelinde her yıl %1–5 arası (ortalama ~%2) verimlilik artışı olabileceğini ve CPUE serilerinin bu “teknolojik tırmanma” karşısında düzeltilmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Trol balıkçılığında standardizasyon yapılırken, her bir kaydın etkili av zamanı da göz önüne alınmalıdır; fırtına, arıza gibi nedenlerle harcanan fakat av yapmaya ayrılmayan süreler düşülerek gerçek çaba birimleri hesaplanmalıdır (Gulland, 1969). Özetle, trol CPUE verilerinin

düzeltilmesinde tekne gücü, ağ etkinliği ve operasyon süresi gibi unsurlar kritik öneme sahiptir.

Paragat ve uzatma ağı gibi pasif av araçlarında, CPUE standardizasyonunun odaklandığı noktalar biraz farklıdır. Bu tür avlarda, av verimliliği büyük ölçüde av aracının denize kurulması ve bulunduğu su kolonu ile etkileşimi ile şekillenir. Örneğin paragat avcılığında iğne sayısı, iğneler arası mesafe, yem türü, su içinde kalma süresi gibi faktörler, yakalama oranını belirleyen kritik değişkenlerdir. Tarihi çalışmalar, paragat için iğne sayısının artırılmasıyla av miktarının orantılı arttığını, ancak bir noktadan sonra doygunluk (saturation) etkisi görüldüğünü ortaya koymuştur (FAO, 1984). Beverton Holt (1957), paragat avcılığında teorik modellerinde, yakalanan balıkların iğneyi meşgul etmesi nedeniyle aynı anda suda olan boş iğne sayısının av verimliliğini belirlediğini matematiksel olarak ifade etmişlerdir. Yani, iğne sayısı çok arttığında av artmaya devam etmez, çünkü balıkların bir kısmı zaten dolu iğneler yüzünden yakalanamamaktadır. Bu duruma bağlı olarak Ricker (1958), paragat verimliliğinin sadece yakalanan balıklarla değil, aynı zamanda yemin bozulması veya balığın iğneden kaçması gibi etkenlerle de düşebileceğini belirtmiş ve daha uzun süre suda kalan takımın birim zamanda veriminin azaldığını göstermiştir. Bu bulgular, paragat CPUE'sini standardize ederken etkin iğne sayısı ve suda kalma süresi için düzeltmeler yapmayı gerektirir. Nitekim modelleme çalışmalarında, her sefer için etkin çaba metriği olarak iğne-saat kullanılmakta; farklı seferlerin değişen iğne sayısı ve sürelerini dengelemek için bu metrik offset (sabit terim) olarak modele eklenmektedir (Forselledo, Mas ve Domingo, 2017; Matsubara, Ochi ve Kiyofuji, 2019).

Uzatma ağlarında ise benzer şekilde ağın su içinde kalma süresi (soak time) ve ağ uzunluğu/göz açıklığı gibi özellikler CPUE'yi güçlü biçimde etkiler. Hile & Duden (1933) ile Van Oosten (1935)'in öncü çalışmalarında, ağların suda kalma süresi uzadıkça birim zamanda yakalanan balık miktarının azaldığı gösterilmiştir. Bunun temel sebebi, ilk saatlerde ağa çok sayıda balık takıldıktan sonra, ağ gözlerinin dolması veya balıkların ağı fark edip kaçınması nedeniyle av hızının düşmesidir. Ricker (1958) de bu bulguları derleyerek, bir uzatma ağının verimliliğinin avcılığın başlamasından bitimine kadar geçen sürede sürekli azalma eğiliminde olduğunu raporlamıştır. Bu nedenle, uzatma ağı ile avlanan türler için CPUE hesaplanırken, farklı operasyonların karşılaştırılabilir olması adına standart bir ağ kalma süresi üzerinden düzeltme yapılması önemlidir. Örneğin, 6 saat suda kalan bir ağın yakaladığı balık sayısı 12 saat kalanın yarısı olmayabilir; bu non-lineer ilişkiyi modele katmak

için soak time bir değişken olarak dahil edilip gerekirse GAM ile doğrusal olmayan etkisi modellenir. Ayrıca ağ uzunluğu, donam faktörü ve ağın tam göz boyu balık boyu ve tür seçiciliğini etkilediğinden, farklı ağ donanımları kullanan filolarda CPUE karşılaştırması yaparken ağ özelliklerini sabitlemek veya modele faktör olarak koymak gerekir.

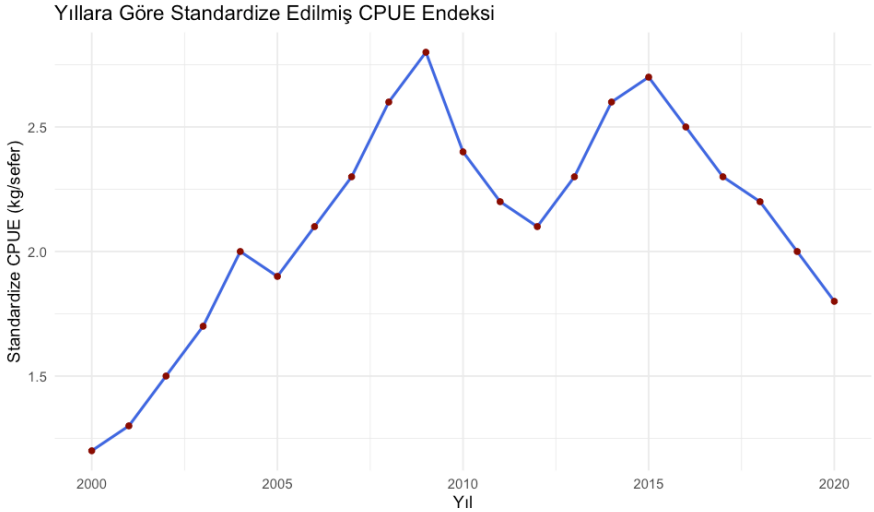
Kısacası, her av aracı için CPUE standardizasyonu farklı gereksinimler ortaya koyar. Aktif av araçlarında, teknolojik kapasite ve aktif av zamanı ön plandayken; pasif av araçlarında, Av aracının teknik özellikleri ve avcılık süresi gibi faktörler ön plana çıkar. Çok türlü ve birden çok av aracı ile avcılığı yapılan türlere özel balıkçılıklarda ise iş daha da karmaşıklaşır: Örneğin aynı tür hem trolle hem paragatla avlanıyorsa, iki farklı CPUE serisini birleştirmek veya av yöntemini modelde bir etken olarak kullanmak gerekebilir (Shibano, Kanaiwa ve Kai, 2021). Bu durumda yönlendirilmiş av (targeting) etkisini kontrol eden gelişmiş hiyerarşik modeller veya çok değişkenli yaklaşımlar devreye girer. Örneğin Hoyle et al. (2024) birden çok av yönteminin söz konusu olduğu durumlarda hiyerarşik Bayes modelleriyle güvenilir yakalama oranı karşılaştırmaları yapılabileceğini göstermiştir. Sonuç olarak, CPUE standardizasyonunda “bir kalıp herkese uymaz”; her balıkçılığın kendine özgü dinamikleri dikkatlice analiz edilerek modele dahil edilmelidir. Bu sayede, farklı av araçlarının neden olduğu yanlılıklar giderilerek daha güvenilir ve karşılaştırılabilir CPUE endeksleri elde edilebilir.

Alan, Zaman, Çevresel ve Teknolojik Etkilerin Modellenmesi

CPUE’yi etkileyen faktörler arasında coğrafi alan (mekân), zaman (yıl, mevsim), çevresel koşullar ve balıkçılık teknolojisi/av gücü gibi unsurlar öne çıkar. Standartizasyon modelleri, bu etkenlerin her birini uygun şekilde temsil ederek CPUE’deki değişkenliğin nedenlerini ayırtırmayı hedefler. Modern CPUE analizlerinde tipik olarak şu bileşenler modele dahil edilir:

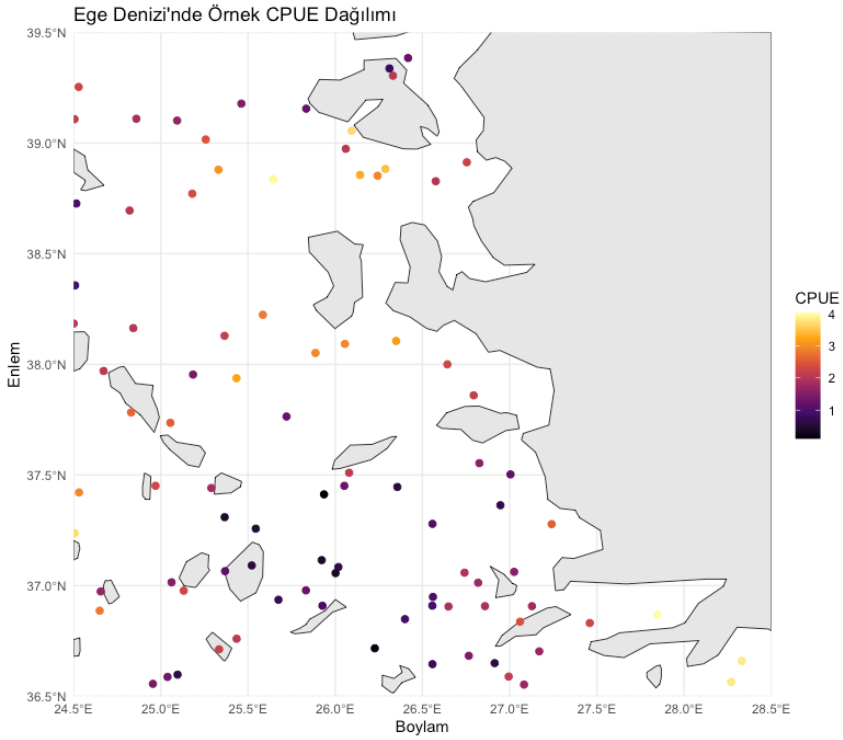
- Yıl (zaman) etkisi: Stok bolluğundaki yıllık değişimleri yakalamak için modelde genellikle yıl faktörü veya yıl rastgele etkisi bulundurulur. CPUE verilerinden asıl elde edilmek istenen, yıllara göre stok eğilimi olduğundan, modelin yıl etkilerini doğru tahmin edebilmesi kritik önemdedir (Şekil 1). Bu nedenle, diğer tüm değişkenler standart hale getirildiğinde yıl katsayıları stok indeksini verir. Örneğin Mavi yüzgeçli orkinos için bir standardizasyon çalışmasında, yıl, mevsim ve bölge faktörleri modele dahil edilerek yıl bazında düzeltilmiş CPUE indeksleri elde edilmiştir (Rodríguez-Marín ve diğerleri, 2003) Benzer biçimde pek çok çalışmada mevsimsellik de yıl içi bir faktör olarak eklenir; zira balıkların yakalanabilirliği

(catchability) mevsimlere göre değişebilir (örn. göçler, üreme dönemi dağılımı).



Şekil 1. Yıllara göre modelle standardize edilmiş CPUE endeksinin (örnek veriyle) değişimi

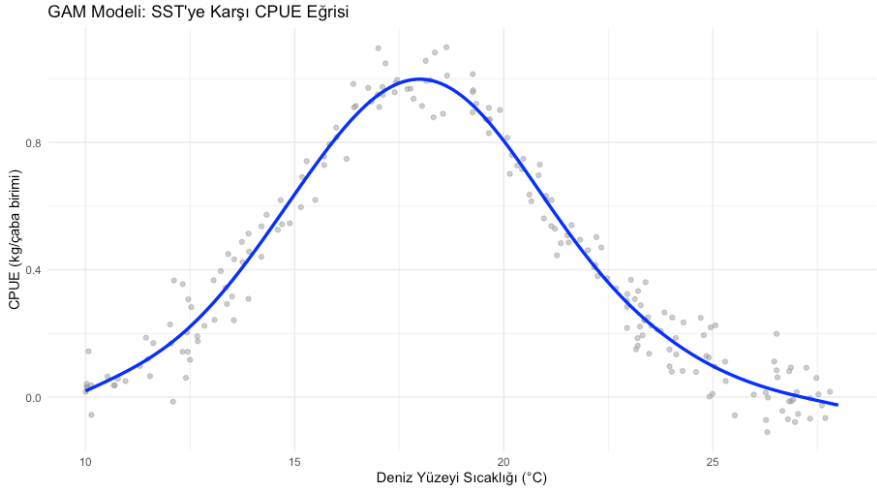
- Alan (mekânsal) etkisi: Balık stokları, coğrafi dağılımları içinde heterojen yoğunluklara sahiptir. Bu nedenle, farklı bölgelerdeki avcılık etkinliğinin CPUE'ye katkısını dengelemek için modellerde alan faktörleri kullanılır. Örneğin ton balığı avcılığında okyanusun farklı enlem-boylam şeritleri ayrı kategoriler olarak modele alınır; böylece filo zamanla dağılım değiştirirse bu etki CPUE trendine yanlış yansımaz. Campbell (2004), mekansal değişkenliğin yüksek olduğu bir balıkçılıkta her bir mekan dilimi için ayrı etki koyarak stok bolluğu indeksinin daha doğru hesaplandığını göstermiştir. Uzay-zamansal modeller (VAST gibi) ise alan etkisini sürekli bir yüzey olarak ele alıp hücreler bazında rastgele etkilerle temsil eder. Bu yaklaşım sayesinde, stok yoğunluğunun coğrafi dağılımı mekansal haritalar üzerinde görselleştirilebilmektedir (Şekil 2). Bu, klasik faktör modellerine göre daha esnek bir yaklaşımdır ve verideki coğrafi otokorelasyonu değerlendirir. Sonuçta alan ve yıl etkileşimleri doğru modellendiğinde, CPUE indeksleri filonun zaman içindeki yer değiştirme yanlışlığından arınmış olur (Gulland, 1969; Han ve diğerleri, 2023).



Şekil 2. Ege Denizi'nde VAST uzay-zamansal modeliyle tahmin edilen CPUE (kg/sefer) yoğunluğunun coğrafi dağılımı

- Çevresel faktörler: Balıkların yakalanabilirliği, deniz suyu sıcaklığı (SST), tuzluluk, akıntılar, oksijen seviyesi, ışık geçirgenliği, klorofil-a, ay ışığı gibi çevresel parametrelerden etkilenir. Bu nedenle gelişmiş CPUE standardizasyon çalışmalarında, stok ve filoya dair verilerle birlikte ilgili çevresel değişkenler de toplanır ve modele açıklayıcı değişken olarak sokulur. Örneğin Pasifik sardalyası üzerine yapılan bir araştırmada, deniz yüzeyi sıcaklığı (SST) ve deniz yüzeyi yüksekliği (SSH) değişkenleri modele dahil edilmiş; sardalya bolluğunun bu çevresel parametrelerle yakından ilişkili olduğu ortaya konmuştur (Shi, Kang, ve diğerleri, 2023). Hashimoto et al. (2019)'da kolyoz için benzer şekilde çevresel kovaryatları (örn. sıcaklık gradyanı) modele ekleyerek daha duyarlı bir recruitment indeksi elde etmişlerdir. Çevresel değişkenlerin modele katılması, balıkların bulunabilirliğini etkileyen habitat dinamiklerini hesaba kattığı için CPUE verisinin yorumunu güçlendirir. Özellikle iklim değişikliğinin denizel sistemlerde hissedildiği günümüzde, ortam sıcaklığındaki uzun vadeli

trendler, El Niño gibi olaylar veya eutrofikasyon gibi etkenler balık stoklarının dağılımını ve yakalanabilirliğini değiştirebilir. Winker (2020), bu gibi faktörlerin CPUE serilerinde yarattığı değişkenliği modellenmeden yapılan stok eğilim analizlerinin hatalı sonuçlara varabileceğini vurgulamıştır. Güncel standartizasyonlarda GAM kullanarak çevresel etkinin non-lineer formda yakalanması yaygın bir pratiktir; böylece örneğin sıcaklığın optimum bir aralığı olduğu ve bu aralığın dışında yakalama oranının düştüğü gibi ekolojik gerçekler modele yansıtılabilir (Forrestal ve diğerleri, 2019). GAM modeliyle yapılan Şekil 3’deki örnek analizde, SST ile CPUE arasındaki ilişkide doğrusal olmayan, optimum bir aralık olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 3. CPUE~SST GAM model örnek grafiği

Av gücü ve filo davranışı: Teknolojik ilerlemeler ve filo davranışlarındaki değişimler, CPUE üzerinde zamanla trend oluşturan etkilerdir. Yukarıda trol örneğinde bahsedildiği gibi, bir filonun ortalama av verimliliği yıllar içinde daha iyi sonar, daha hızlı ağ toplama, deneyim kazanımı vb. sayesinde yükselme eğiliminde olabilir. Bu, stokta artış olmasa dahi CPUE’nin artmasına yol açar. CPUE’nin artışındaki teknolojik etkileri ayırtırmak için yıllık bir teknoloji artış faktörü dahil edilebilir veya düzeltmeler uygulanabilir (Şekil 4). Örneğin bazı modellerde yıl değişkeni ikiye ayrılarak “gerçek stok yılı” ve “teknoloji trendi” bileşenleri ayrıştırılır; fakat genelde veri kısıtı nedeniyle bu ayırım yapılamayabilir fakat en azından teknoloji trendi yıl etkisine yedirilmiş olur. Palomares ve Pauly (2019)’nin önerdiği üzere, eğer somut bir veri yoksa yılda %2’lik bir verimlilik artışı varsayımı ile CPUE indeksleri bir

miktar aşağı yönlü revize edilebilir. Filo davranışı açısından ise, hedef tür değişimi (target shift) önemli bir etkidir. Örneğin çok türlü bir balıkçılıkta, ekonomik veya yönetsel nedenlerle balıkçılar yıl içinde farklı türlere yönelebilir; bu da bir türün CPUE'sindeki değişimin stokdan değil, ilgideki değişimden kaynaklanmasına yol açar. Bunu düzeltmek için veri alt örnekleme (sadece o türü hedefleyen seferler seçilerek) ya da çoklu yanıt değişkenli modeller (tüm türleri birlikte modelleyip korelasyon yapısını yakalayan) kullanılabilir (Okamura, Morita, Funamoto, Ichinokawa ve Eguchi, 2018). Modern çalışmalar, yapay zekâ ve makine öğrenmesi tekniklerini kullanarak balıkçı davranışlarını (örn. GPS verileriyle av arama süresi) analiz etmekte ve CPUE üzerindeki etkilerini modellemeye çalışmaktadır. Tüm bu çabaların ortak noktası, CPUE verisindeki sinyalin mümkün mertebe stok bolluğu sinyali olmasını sağlamak, sinyali bozan diğer etkileri ise modelle açıklamaktır. (Eigaard, Marchal, Gislason ve Rijnsdorp, 2014; Marchal ve diğerleri, 2007; Russo ve diğerleri, 2019; Russo, Parisi ve Cataudella, 2011).



Şekil 4. Ham ve yıllık %2 teknoloji etkisi standartize edilmiş CPUE trendleri
Sonuç ve Değerlendirme

CPUE standardizasyonu, balıkçılık yönetiminde stok bolluğunun doğru bir şekilde izlenmesi ve değerlendirilmesi için kritik bir araçtır. CPUE'nin etkin bir yönetim aracı olarak kullanılabilmesi için, balıkçıların davranışları, çevresel faktörler, teknolojik gelişmeler ve av araçlarının özelliklerinden kaynaklanan etkilerin veri setlerinden ayrıştırılması şarttır (Marsaglia ve diğerleri, 2025; Thorson ve diğerleri, 2021). Özellikle son dönem çalışmalar, CPUE standardizasyon yöntemlerinin doğru stok değerlendirmeleri için vazgeçilmez olduğunu ve bu yöntemlerin balıkçılık yönetimi kararlarını doğrudan etkilediğini ortaya koymaktadır. (Hoyle ve diğerleri, 2024; Wang, Li, Zhang, Xu ve Ren, 2025).

GLM ve GAM modellerinin yanı sıra, sıfır değerlerinin yoğunlukta olduğu veri yapıları için delta modelleri ile uzay-zamansal değişkenlikleri yakalamak üzere geliştirilen VAST gibi modern yöntemlerin kullanımı son yıllarda giderek yaygınlaşmaktadır (Li ve diğerleri, 2022; Shi, Han, ve diğerleri, 2023) . Ayrıca log-normal, negatif binom ve Poisson GLM modelleri gibi yöntemler de CPUE'nin yapısal özelliklerine göre yaygın biçimde kullanılmaktadır (SEDAR, 2013). Özellikle VAST modelinin kullanıldığı çalışmalar, mekansal-zamansal verileri daha iyi temsil ederek stok bolluk indekslerinin doğruluğunu artırmakta ve stokların coğrafi dağılımlarını daha ayrıntılı ortaya koymaktadır (Cao ve diğerleri, 2017; Thorson ve diğerleri, 2015). Her bir yöntemin güçlü ve zayıf yönleri bulunmaktadır ve yöntem seçimi çoğunlukla verinin yapısı ve analiz edilen stokun karakteristiğine göre yapılmalıdır.

Farklı av araçlarının CPUE üzerine etkilerini dikkate almak, stok değerlendirme modellerinin hassasiyetini önemli ölçüde artırmaktadır. Son çalışmalarda, aktif ve pasif av araçlarının farklı etkileri ve balıkçılık filolarındaki teknolojik yeniliklerin neden olduğu "teknolojik sürüklenme" etkileri vurgulanmaktadır (Eigaard ve diğerleri, 2014; Palomares ve Pauly, 2019). Bunun yanında, teknolojik yenilikler ve elektronik izleme sistemleri gibi gelişmeler, veri kalitesini artırarak CPUE hesaplamalarında doğruluk ve güvenilirliği yükseltmektedir (Shibano ve diğerleri, 2021)

Ayrıca, yapay zekâ ve makine öğrenimi yöntemlerinin entegrasyonu, CPUE analizlerinin doğruluğunu ve yönetim kararlarına olan katkısını artırmaktadır (Marsaglia ve diğerleri, 2025) . Özellikle AIS ve VMS gibi sistemlerden sağlanan yüksek çözünürlüklü veriler ile filo davranışlarının ayrıntılı olarak incelenebilmesi, CPUE hesaplamalarının daha hassas hale gelmesini mümkün kılmaktadır (Russo ve diğerleri, 2019). Buna verilecek en güncel örnek Brouwer ve diğerleri (2024) 'un yaptığı çalışmadır ve burada özetle Pasifik'teki köpekbalığı balıkçılığında CPUE verileri gözlemci verileriyle mekânsal olarak analiz edilmiş ve politika yapıcılara öneriler sunulmuştur.

Bununla birlikte, verinin kısıtlı balıkçılıklarda bile CPUE'nin yönetim modellerine entegrasyonu mümkündür. Wang ve diğerleri (2025) , proxy-CPUE yaklaşımlarının, özellikle Sarı Deniz'deki kolyoz gibi türlerde, stok durumunun güvenilir biçimde değerlendirilmesine olanak sağladığını göstermiştir. Bu çalışma, geleneksel veri eksikliği problemlerinin aşılması için CPUE'nin yönetsel karar süreçlerinde daha yaygın ve esnek bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, CPUE standardizasyonu alanında bilimsel ve teknolojik ilerlemeler, balıkçılık yönetiminde daha isabetli kararlar alınmasını

sağlayarak stokların sürdürülebilirliğine doğrudan katkı sunmaktadır. Gelecekte bu alandaki gelişmeler, özellikle yapay zekâ ve makine öğrenmesi gibi yenilikçi yöntemlerin yaygınlaşması ile daha da zenginleşecek ve balıkçılık biliminde önemli bir rol oynamaya devam edecektir.

Kaynaklar

- Beverton, R. J. H. . ve Holt, S. J. (1957). *On the dynamics of exploited fish populations, fishery investigations series II. Fisheries and Food.* Fishery investigations, Great Britain Ministry of Agriculture, Fisheries and Food.
- Bishop, J. (2006). Standardizing fishery-dependent catch and effort data in complex fisheries with technology change. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 16(1). doi:10.1007/s11160-006-0004-9
- Brouwer, S., Hill-Moana, Tyla; Large, K. ve Neubauer, P. (2024). *Characterisation of the fisheries catching oceanic whitetip sharks (Carcharhinus longimanus) in the Western and Central Pacific Ocean.*
- Campbell, R. A. (2004). CPUE standardisation and the construction of indices of stock abundance in a spatially varying fishery using general linear models. *Fisheries Research*, 70(2-3), 209-227. doi:10.1016/j.fishres.2004.08.026
- Cao, J., Thorson, J. T., Richards, R. A. ve Chen, Y. (2017). Spatiotemporal index standardization improves the stock assessment of northern shrimp in the Gulf of Maine. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 74(11), 1781-1793. doi:10.1139/cjfas-2016-0137
- Eigaard, O. R., Marchal, P., Gislason, H. ve Rijnsdorp, A. D. (2014). Technological Development and Fisheries Management. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 22(2), 156-174. doi:10.1080/23308249.2014.899557
- Erisman, B. E., Allen, L. G., Claisse, J. T., Pondella, D. J., Miller, E. F. ve Murray, J. H. (2011). The illusion of plenty: hyperstability masks collapses in two recreational fisheries that target fish spawning aggregations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 68(10), 1705-1716. doi:10.1139/f2011-090
- FAO. (1984). Papers presented at the Expert Consultation on the Regulation of Fishing Effort (Fishing Mortality), Rome, 17-26 January 1983. *A Preparatory Meeting for the FAO World Conference on Fisheries Management and Development*, 289(2).

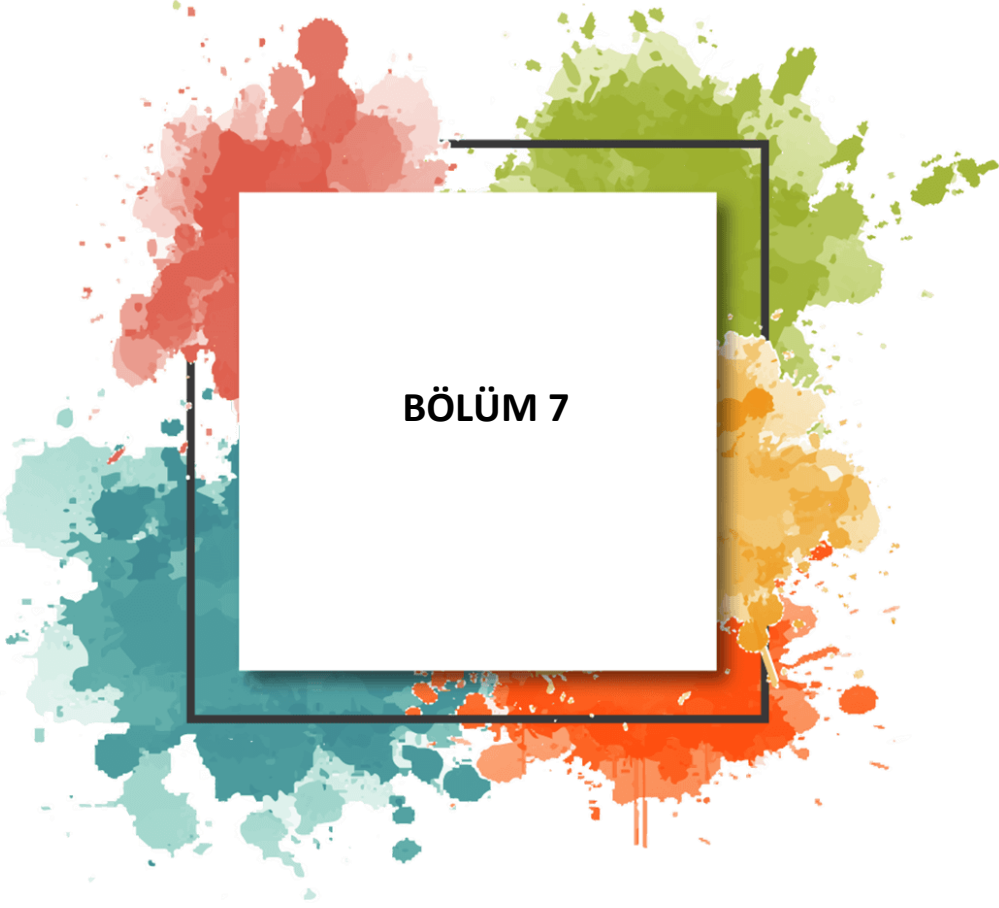
- Forrestal, F. C., Schirripa, M., Goodyear, C. P., Arrizabalaga, H., Babcock, E. A., Coelho, R., ... Walter, J. (2019). Testing robustness of CPUE standardization and inclusion of environmental variables with simulated longline catch datasets. *Fisheries Research*, 210, 1-13. doi:10.1016/j.fishres.2018.09.025
- Forselledo, R., Mas, F. ve Domingo, A. (2017). Update of Standardized CPUE of Yellowfin Tuna, *Thunnus albacares*, Caught By Uruguayan Longliners In The Southwestern Atlantic Ocean (1982-2010). *ICCAT Collective Volume of Scientific Papers*, 73(1), 382-403.
- Froeschke, J., Stunz, G. W. ve Wildhaber, M. L. (2010). Environmental influences on the occurrence of coastal sharks in estuarine waters. *Marine Ecology Progress Series*, 407. doi:10.3354/meps08546
- Gulland, J. A. (1969). *Manual of Methods for Fish Stock Assessment - Part 1. Fish Population Analysis*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gulland, J. A. (1983). *Fish stock assessment: A Manual of Basic Methods*. New York: John Wiley and Sons.
- Han, Q., Shan, X., Jin, X. ve Gorfine, H. (2023). Exploring reconfiguration of trends in CPUE to model sustainable TAC options for the pivotal YSLME anchovy fishery. *Frontiers in Marine Science*, 10. doi:10.3389/fmars.2023.1102292
- Harley, S. J., Myers, R. A. ve Dunn, A. (2001). Is catch-per-unit-effort proportional to abundance? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58(9), 1760-1772. doi:10.1139/f01-112
- Hashimoto, M., Nishijima, S., Yukami, R., Watanabe, C., Kamimura, Y., Furuichi, S., ... Okamura, H. (2019). Spatiotemporal dynamics of the Pacific chub mackerel revealed by standardized abundance indices. *Fisheries Research*, 219. doi:10.1016/j.fishres.2019.105315
- Hazin, H. G., Hazin, F., Mourato, B., Carvalho, F. ve Frédou, T. (2014). Catch rates of swordfish (*Xiphias gladius*) caught by the Brazilian fleet (1978–2012) using generalized linear mixed models (GLMM) using delta log approach. *ICCAT Collective Volume of Scientific Papers*, 70, 1785-1884.
- Hilborn, R. ve Walters, C. J. (1992). *Quantitative Fisheries Stock Assessment* (1. bs.). Boston, MA: Springer US. doi:10.1007/978-1-4615-3598-0
- Hile, R. ve Duden, W. R. (1933). Methods for the Investigation of the Statistics of the Commercial Fisheries of the Great Lakes. *Transactions of the*

- American Fisheries Society*, 63(1). doi:10.1577/1548-8659(1933)63[292:mftiot]2.0.co;2
- Hinton, H. G. ve Maunder, M. N. (2004). Methods for standardizing CPUE and how to select among them. *ICCAT Collective Volume of Scientific Papers*, 56(1), 169-177.
- Hinton, M. G. ve Maunder, M. N. (2004). Methods for standardizing CPUE and how to select among them. *ICCAT Collective Volume of Scientific Papers*, 56(1), 169-177.
- Hoyle, S. D., Campbell, R. A., Ducharme-Barth, N. D., Grüss, A., Moore, B. R., Thorson, J. T., ... Maunder, M. N. (2024). Catch per unit effort modelling for stock assessment: A summary of good practices. *Fisheries Research*, 269, 106860. doi:10.1016/j.fishres.2023.106860
- Li, G., Lu, Z., Cao, Y., Zou, L. ve Chen, X. (2022). CPUE Estimation and Standardization Based on VMS: A Case Study for Squid-Jigging Fishery in the Equatorial of Eastern Pacific Ocean. *Fishes*, 8(1), 2. doi:10.3390/fishes8010002
- Lo, N. C., Jacobson, L. D. ve Squire, J. L. (1992). Indices of Relative Abundance from Fish Spotter Data based on Delta-Lognormal Models. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 49(12), 2515-2526. doi:10.1139/f92-278
- Marchal, P., Andersen, B., Caillart, B., Eigaard, O., Guyader, O., Hovgaard, H., ... Santurtún, M. (2007). Impact of technological creep on fishing effort and fishing mortality, for a selection of European fleets. *ICES Journal of Marine Science*, 64(1), 192-209. doi:10.1093/icesjms/fsl014
- Marsaglia, L., Parisi, A., Libralato, S., Miller, N. A., Davis, P., Paolo, F. S., ... Russo, T. (2025). Shedding light on trawl fishing activity in the Mediterranean Sea with remote sensing data. *ICES Journal of Marine Science*, 82(2). doi:10.1093/icesjms/fsae153
- Mateo, I. ve Hanselman, D. H. (2014). *A comparison of statistical methods to standardize catch-per-unit-effort of the Alaska longline sablefish*. <http://www.afsc.noaa.gov/Publications/AFSC-TM/NOAA-TM-AFSC-269.pdf> adresinden erişildi.
- Matsubara, N., Ochi, D. ve Kiyofuji, H. (2019). Update standardized CPUE for North Pacific albacore caught by the Japanese pole and line data from 1972 to 2015. *ISC/16/ALBWG-02/03* içinde (ss. 1-21).

- Maunder, M. N. ve Punt, A. E. (2004). Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches. *Fisheries Research*, 70(2-3), 141-159. doi:10.1016/j.fishres.2004.08.002
- Maunder, M. N., Thorson, J. T., Xu, H., Oliveros-Ramos, R., Hoyle, S. D., Tremblay-Boyer, L., ... Piner, K. R. (2020). The need for spatio-temporal modeling to determine catch-per-unit effort based indices of abundance and associated composition data for inclusion in stock assessment models. *Fisheries Research*, 229, 105594. doi:10.1016/j.fishres.2020.105594
- Okamura, H., Morita, S. H., Funamoto, T., Ichinokawa, M. ve Eguchi, S. (2018). Target-based catch-per-unit-effort standardization in multispecies fisheries. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 75(3), 452-463. doi:10.1139/cjfas-2016-0460
- Palomares, M. L. D. ve Pauly, D. (2019). On the creeping increase of vessels’ fishing power. *Ecology and Society*, 24(3), art31. doi:10.5751/ES-11136-240331
- Pennington, M. (1983). Efficient Estimators of Abundance, for Fish and Plankton Surveys. *Biometrics*, 39(1). doi:10.2307/2530830
- Pennington, M. (1996). Estimating the mean and variance from highly skewed marine data. *Fishery Bulletin*, 94(3).
- Ricker, W. E. (1940). Relation of "Catch per Unit Effort" to Abundance and Rate of Exploitation. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 5a(1), 43-70. doi:10.1139/f40-008
- Ricker, W. E. (1958). *Handbook of computations for biological statistics of fish populations*. (W. E. Ricker ve N. M. Carter, Ed.) (C. 119). Ottawa: Bulletins of the Fisheries Research Board of Canada. <https://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/10161.pdf> adresinden erişildi.
- Rodríguez-Marín, E., Arrizabalaga, H., Ortiz, M., Rodríguez-Cabello, C., Moreno, G. ve Kell, L. T. (2003). Standardization of bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, catch per unit effort in the baitboat fishery of the Bay of Biscay (Eastern Atlantic). *ICES Journal of Marine Science*, 60(6), 1216-1231. doi:10.1016/S1054-3139(03)00139-5
- Russo, T., Carpentieri, P., D'Andrea, L., De Angelis, P., Fiorentino, F., Franceschini, S., ... Cataudella, S. (2019). Trends in Effort and Yield of Trawl Fisheries: A Case Study From the Mediterranean Sea. *Frontiers in Marine Science*, 6(APR). doi:10.3389/fmars.2019.00153

- Russo, T., Parisi, A. ve Cataudella, S. (2011). New insights in interpolating fishing tracks from VMS data for different métiers. *Fisheries Research*, 108(1), 184-194. doi:10.1016/j.fishres.2010.12.020
- Salthaug, A. ve Godø, O. R. (1999). *Standardization of Fishing Power in the Norwegian Shrimp Trawler Fleet* (C. NAFO SCR Doc. 99/104). Northwest Atlantic Fisheries Organization.
- SEDAR. (2013). *SEDAR 32 – South Atlantic blueline tilefish Stock Assessment Report*. North Charleston SC.
- Shi, Y., Han, H., Tang, F., Zhang, S., Fan, W., Zhang, H. ve Wu, Z. (2023). Evaluation Performance of Three Standardization Models to Estimate Catch-per-Unit-Effort: A Case Study on Pacific Sardine (*Sardinops sagax*) in the Northwest Pacific Ocean. *Fishes*, 8(12), 606. doi:10.3390/fishes8120606
- Shi, Y., Kang, B., Fan, W., Xu, L., Zhang, S., Cui, X. ve Dai, Y. (2023). Spatio-Temporal Variations in the Potential Habitat Distribution of Pacific Sardine (*Sardinops sagax*) in the Northwest Pacific Ocean. *Fishes*, 8(2), 86. doi:10.3390/fishes8020086
- Shibano, A., Kanaiwa, M. ve Kai, M. (2021). Performance of a finite mixture model in CPUE standardization for a longline fishery with target change. *Fisheries Science*, 87(4), 465-477. doi:10.1007/s12562-021-01515-8
- Takasuka, A., Oozeki, Y. ve Aoki, I. (2007). Optimal growth temperature hypothesis: Why do anchovy flourish and sardine collapse or vice versa under the same ocean regime? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 64(5). doi:10.1139/F07-052
- Thorson, J. T., Cunningham, C. J., Jorgensen, E., Havron, A., Hulson, P.-J. F., Monnahan, C. C. ve von Szalay, P. (2021). The surprising sensitivity of index scale to delta-model assumptions: Recommendations for model-based index standardization. *Fisheries Research*, 233, 105745. doi:10.1016/j.fishres.2020.105745
- Thorson, J. T., Pinsky, M. L. ve Ward, E. J. (2016). Model-based inference for estimating shifts in species distribution, area occupied and centre of gravity. *Methods in Ecology and Evolution*, 7(8), 990-1002. doi:10.1111/2041-210X.12567
- Thorson, J. T., Shelton, A. O., Ward, E. J. ve Skaug, H. J. (2015). Geostatistical delta-generalized linear mixed models improve precision for estimated abundance indices for West Coast groundfishes. *ICES Journal of Marine Science*, 72(5), 1297-1310. doi:10.1093/icesjms/fsu243

- van der Lee, A. (2012). *Fleet dynamics around a seasonal regulatory closure on the Scotian shelf*. (Yayımlanmamış m.s. thesis). University of Manitoba, Manitoba.
- Van Oosten, J. (1935). Logically Justified Deductions concerning the Great Lakes Fisheries Exploded by Scientific Research. *Transactions of the American Fisheries Society*, 65(1). doi:10.1577/1548-8659(1935)65[71:ljdctg]2.0.co;2
- Venables, W. N. ve Dichmont, C. M. (2004). GLMs, GAMs and GLMMs: An overview of theory for applications in fisheries research. *Fisheries Research*, 70(2-3 SPEC. ISS.). doi:10.1016/j.fishres.2004.08.011
- Venables, W. N. ve Ripley, B. D. (2003). *Modern Applied Statistics with S* (4th edition.). Springer Science & Business Media.
- Walters, C. ve Maguire, J.-J. (1996). Lessons for stock assessment from the northern cod collapse. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 6(2). doi:10.1007/BF00182340
- Wang, K., Li, Q., Zhang, C., Xu, B. ve Ren, Y. (2025). Enhancing catch-based stock assessment in data-limited fisheries with proxy CPUE indicators in the Yellow Sea. *Scientific Reports*, 15(1), 11043. doi:10.1038/s41598-025-95092-w
- Winker, H., Carvalho, F., Thorson, J. T., Kell, L. T., Parker, D., Kapur, M., ... Kerwath, S. E. (2020). JABBA-Select: Incorporating life history and fisheries' selectivity into surplus production models. *Fisheries Research*, 222, 105355. doi:10.1016/j.fishres.2019.105355
- Wood, S. N. (2003). Thin plate regression splines. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*, 65(1), 95-114. doi:10.1111/1467-9868.00374
- Wood, S. N. (2004). Stable and Efficient Multiple Smoothing Parameter Estimation for Generalized Additive Models. *Journal of the American Statistical Association*, 99(467), 673-686. doi:10.1198/016214504000000980
- Wood, S. N. (2017). *Generalized Additive Models. Generalized Additive Models: An Introduction with R, Second Edition*. Chapman and Hall/CRC. doi:10.1201/9781315370279



BÖLÜM 7

Sıcaklık Stresinin ve İklim Değişikliğinin Bitkisel Sistemler Üzerindeki Etkileri

Ecem Kara¹ & Gökhan Baktemur²

1. GİRİŞ

Dünya nüfusundaki hızlı artış, tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini ve gıda güvenliğini küresel ölçekte temel bir endişe haline getirmiştir. Artan nüfusun gıda talebini karşılamak için tarımsal verimliliğin istikrarlı biçimde yükseltilmesi gerekirken, küresel iklim değişikliği ve buna bağlı çevresel dalgalanmalar bu hedefin önündeki en önemli engellerden biri olarak öne çıkmaktadır. Sürekli değişen iklim koşulları, bitki büyüme ve gelişimini baskılayarak tarımsal üretkenliği doğrudan tehdit etmekte, aynı zamanda bitki türlerinin ekolojik dağılımını da önemli ölçüde şekillendirmektedir (Gong ve ark., 2020; Praveen ve ark., 2023).

Bitkiler, yer değiştirme yeteneklerinin olmaması nedeniyle kuraklık, tuzluluk, aşırı sıcaklık ve düşük sıcaklık gibi abiyotik stres faktörlerine maruz kalmak zorundadır. Bu stres koşulları, bitkilerin doğal yayılış alanlarını sınırlamakta; büyüme, gelişme ve fizyolojik süreçlerini olumsuz etkileyerek ürün verimini ciddi şekilde azaltmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, bitkilerin abiyotik streslere karşı geliştirdiği savunma mekanizmalarının oldukça karmaşık ve çok katmanlı olduğunu ortaya koymuştur. Bu süreçler; stresin algılanması, sinyal iletimi, transkripsiyonel düzenleme, transkript işleme, translasyon ve translasyon sonrası protein modifikasyonları gibi birbirini izleyen moleküler olayların bütüncül bir etkileşimi sonucunda gerçekleşmektedir (Zhang ve ark., 2022).

Artan nüfusun gıda gereksinimlerini karşılamak, çevresel stres koşullarına rağmen yüksek verimlilik potansiyeline sahip bitki türlerinin geliştirilmesini, korunmasını ve yaygınlaştırılmasını zorunlu kılmaktadır. İklim değişikliğine ek olarak, doğal çevredeki dalgalanmalar ve antropojenik faaliyetlerin yol açtığı çevresel bozulmalar, küresel gıda üretimini tehdit eden fiziksel streslerin şiddetini daha da artırmaktadır. Tarımsal verimi sınırlayan başlıca abiyotik stres faktörleri arasında

¹ Arş. Gör. Dr., Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi, ORCID: 0000-0002-0118-2673

² Doç. Dr., Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi, ORCID: 0000-0002-0362-5108

tuzluluk, su yetersizliği, besin dengesizlikleri (toksikite veya eksiklik), aşırı sıcaklıklar ve düşük sıcaklık stresi yer almaktadır. Tarımsal uygulamalar, iklimsel değişkenlik ve toprak besin içeriği gibi faktörler de ürün verimini doğrudan etkileyerek abiyotik stresin etkilerini daha karmaşık hale getirmektedir (Praveen ve ark., 2023; Wu ve ark., 2024).

Bitkiler bu stres koşullarında hayatta kalabilmek için moleküler, hücresel ve fizyolojik düzeylerde çok yönlü savunma mekanizmaları geliştirir. Ancak abiyotik stres faktörleri, tek başına ya da bir arada ortaya çıktığında ürün büyümesi ve verimliliği üzerinde yüksek düzeyde baskı yaratır. Örneğin, kuraklık stresi yaprak alanını, bitki boyunu ve genel büyüme hızını azaltırken; soğuk stresi bitki gelişimini ve ürün verimini düşürerek ciddi üretim kayıplarına yol açar. Tuzluluk stresi ise yalnızca su stresine katkıda bulunmakla kalmaz, aynı zamanda hücresel metabolizmayı ve zar bütünlüğünü bozarak reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikimini artırır (Wu ve ark., 2024). Bu nedenle, abiyotik stres faktörlerinin bitkisel sistemler üzerindeki etkilerinin anlaşılması, gelecekte tarımsal sürdürülebilirlik ve gıda güvenliğini sağlamak için geliştirilecek stratejilerin temelini oluşturacaktır.

İklim değişikliğinin en belirgin sonuçlarından biri olan sıcaklık rejimlerindeki düzensizlik ve aşırı sıcaklık dalgalarının artışı, bitkisel sistemler üzerinde doğrudan ve dolaylı etkiler oluşturmaktadır. Küresel ortalama sıcaklığın sanayi öncesi döneme kıyasla artmaya devam etmesi, yalnızca büyüme mevsimlerinin süresini ve bitkisel fenolojiyi değiştirmekle kalmamakta, aynı zamanda ısı stresi adı verilen fizyolojik baskının daha sık ve şiddetli şekilde ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Lesk ve ark., 2016). Sıcaklık stresinin şiddeti ve süresi, fotosentetik aktiviteyi, enzim kinetiğini, hücresel membran stabilitesini ve karbon metabolizmasını derinlemesine etkileyerek bitkisel üretkenliği sınırlamaktadır (Bita ve Gerats, 2013). Bununla birlikte, artan sıcaklıklar su kaybını hızlandırarak kuraklık stresinin etkilerini sinerjik biçimde artırmakta ve tuzluluk gibi diğer abiyotik streslerle etkileşime girerek çoklu stres ortamlarının oluşmasına yol açmaktadır (Suzuki ve ark., 2014). Bu durum, geleneksel ıslah yaklaşımlarının ötesinde, stres toleransını artırmaya yönelik yenilikçi stratejilerin —örneğin moleküler düzeyde düzenleyici genlerin belirlenmesi, ısıya dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi ve iklim akıllı tarım uygulamalarının yaygınlaştırılması— önemini her zamankinden daha fazla artırmaktadır (Raza ve ark., 2019).

Bu bölümün amacı, küresel iklim değişikliğinin etkisiyle giderek daha sık ve şiddetli şekilde ortaya çıkan sıcaklık stresinin bitkisel sistemler üzerindeki etkilerini ele almak; bu stresin fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler düzeydeki sonuçlarını analiz ederek bitki büyümesi, gelişimi ve verimliliği üzerindeki etkilerini ortaya koymaktır. Ayrıca, sıcaklık stresinin diğer abiyotik stres faktörleriyle etkileşimini irdeleyerek, bitkisel tolerans mekanizmalarının anlaşılmasına ve gelecekte iklim değişikliğine karşı dirençli bitki çeşitlerinin geliştirilmesine yönelik stratejilerin oluşturulmasına bilimsel bir temel sunmak hedeflenmektedir.

2. SICAKLIK STRESİNİN SINIFLANDIRILMASI

İklim değişikliğinin tetiklediği dramatik sıcaklık dalgalanmaları, bitki büyümesini engellemekte ve ürün verimliliğini tehdit etmektedir. Küresel ısınma ve buna eşlik eden aşırı hava olayları nedeniyle, bitkiler giderek artan şekilde soğuk ve sıcak stresine (bundan sonra “sıcaklık stresi” olarak anılacaktır) maruz kalmaktadır. Sıcaklık stresi, bitkilerin coğrafi dağılımını etkiler ve bitki verimliliğini azaltarak gıda güvenliğini tehdit eder (Ding ve Yang, 2022).

Son yıllarda gözlemlenen küresel iklim değişiklikleri, olağanüstü yüksek sıcaklıkların daha sık görülmesine neden olarak dünya genelinde tarımsal üretkenlik için önemli zorluklar yaratmıştır. Uzun süreli yüksek sıcaklık maruziyeti veya ısı stresi, bitki sağlığında geri dönüşü olmayan zararlara yol açabilir. Bitki büyümesi ve gelişimi, sıcaklığa duyarlı çok sayıda biyokimyasal reaksiyona bağlı karmaşık süreçlerdir ve bu süreçler, ısı olaylarının şiddeti, süresi ve bitki türü gibi faktörlerden derin biçimde etkilenir. Kritik büyüme evrelerinde meydana gelen ısı stresi, temel gıda ürünlerinin verimliliğini ciddi biçimde azaltarak küresel gıda güvenliğini tehdit edebilir. Isı stresi, fotosentez, üreme ve tohum çimlenmesi gibi temel fizyolojik süreçleri bozarak tarımsal üretimi %12’ye, tohum çimlenmesini ise %25’e kadar azaltabilmektedir (Mahajan ve ark., 2025).

Yüksek sıcaklık (HT) stresi, bitki büyümesini, metabolizmasını ve verimliliğini dünya genelinde sınırlayan başlıca çevresel stres faktörlerinden biridir. Bitki büyümesi ve gelişimi, sıcaklığa duyarlı çok sayıda biyokimyasal reaksiyonu içerir. Bitkilerin HT’ye verdiği tepkiler, sıcaklığın şiddetine, maruz kalma süresine ve bitki türüne bağlı olarak değişiklik gösterir. Günümüzde HT, tarımsal üretim açısından önemli bir sorun haline gelmiştir ve bitkilerin yüksek sıcaklık koşullarında yüksek verimlerini sürdürebilmeleri, öncelikli tarımsal hedeflerden biridir.

Bitkiler, HT koşullarıyla başa çıkmak için adaptasyon, kaçınma veya alıştırma (aklimasyon) mekanizmalarına sahiptir. Bunun yanında, iyon taşıyıcıları, proteinler, osmotik koruyucular (osmoprotectants), antioksidanlar ve sinyal iletim zincirleri ile transkripsiyonel kontrol süreçlerinde görev alan diğer faktörleri içeren önemli tolerans mekanizmaları da aktive edilir. Bu mekanizmalar, sıcaklık stresinin yol açtığı biyokimyasal ve fizyolojik bozulmaları dengelemeye yardımcı olur. Bitkilerin HT stresi altında hayatta kalabilmesi, yüksek sıcaklık uyarısını algılama, sinyali üretme ve iletilme, ardından uygun fizyolojik ve biyokimyasal değişimleri başlatma yeteneğine bağlıdır. Ayrıca, HT ile uyarılan gen ekspresyonu ve metabolit sentezi, bitkilerin ısı toleransını önemli ölçüde artırır. Isı stresine verilen fizyolojik ve biyokimyasal tepkiler, günümüzde aktif araştırma alanları arasında yer almaktadır. Moleküler biyoloji temelli yaklaşımlar, bitkilerde yüksek sıcaklık toleransının geliştirilmesi amacıyla yaygın biçimde kullanılmaktadır (Hasanuzzaman ve ark., 2013).

Bitkilerin yüksek sıcaklık (HT) stresine tepkileri, sıcaklığın şiddetine, maruz kalma süresine ve bitki türüne bağlı olarak değişir. Aşırı yüksek sıcaklık koşullarında ise, hücresel hasar veya hücre ölümü birkaç dakika içinde meydana gelebilir; bu durum, hücresel organizasyonun felaket düzeyinde çökmesine yol açabilir (Ahuja ve ark., 2010; Hasanuzzaman ve ark., 2013).

Düşük sıcaklık stresi, bitkilerin büyümesini, gelişmesini, verimini ve coğrafi dağılımını önemli ölçüde etkileyen bir çevresel faktördür (Adhikari ve ark., 2022; Guan ve ark., 2023; Qian ve ak., 2024). Yapılan çalışmalar, düşük sıcaklığın hücre zarının geçirgenliğini artırabileceğini, fotosentez etkinliğini bozabileceğini, oksidatif hasara yol açabileceğini ve hatta yaygın hücre ölümüne neden olabileceğini göstermektedir (Örvar ve ark., 2000; Lukatkin, 2003; Theocharis ve ark., 2012; Uritani ve ark., 2014; Liu ve ark., 2018; Qian ve ak., 2024). Ayrıca, uzun süreli düşük sıcaklık stresine maruz kalmak, bitkilerde ciddi hasarlara ve hatta ölüme yol açabilmektedir. Tarımsal üretim sürecinde düşük sıcaklık stresi, tohum canlılığını ve çimlenme oranını azaltmakta, bitki büyümesini yavaşlatmakta ve ürün verimi ile kalitesini düşürmektedir (Rutayisire ve ark., 2020; Xu ve ark., 2022; Qian ve ak., 2024). Bununla birlikte, uzun evrimsel süreç boyunca bitkiler, düşük sıcaklık stresine dayanıklılık sağlamak üzere karmaşık fizyolojik ve moleküler mekanizmalar geliştirmiştir (Qian ve ak., 2024).

Düşük sıcaklık stresi, bitki büyümesi, gelişimi, verimi ve coğrafi dağılımı üzerinde önemli ölçüde etkili olmaktadır. Ancak uzun evrimsel süreç boyunca bitkiler, düşük sıcaklık stresine karşı direnç gösterebilecek karmaşık mekanizmalar geliştirmiştir. Soğuğa tolerans özelliği; Ca^{2+} sinyal iletim kaskadı, mitojenle aktive olan protein kinaz (MAPK) kaskadı, ICE1–CBF–COR transkripsiyonel düzenleme yolu, reaktif oksijen türleri (ROS) homeostazının düzenlenmesi ve bitki hormon sinyal iletimi gibi birden fazla özellik tarafından kontrol edilir (Qian ve ark., 2024).

3. SICAKLIK STRESİNİN BİTKİ FİZYOLOJİSİ VE METABOLİZMASI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Yüksek sıcaklıklar, hücre zarının geçirgenliğini artırabilir, ozmotik dengeleme maddelerinin düzeylerini yükseltebilir, fotosentetik kapasiteyi azaltabilir, bitki büyüme ve gelişimini olumsuz etkileyebilir ve hatta bitki ölümüne neden olabilir. Yüksek sıcaklık stresine maruz kalan bitkiler, fizyolojik ve biyokimyasal düzenlemeler, ısı sinyal iletimi, transkripsiyon faktörlerinin düzenlenmesi ve ısı şok proteinlerinin sentezi yoluyla meydana gelen zararları hafifletir. Ancak, farklı bitkiler farklı düzeylerde düzenleyici kapasiteye ve sıcaklık toleransına sahiptir (Wang ve ark., 2025).

Yükselen sıcaklıklar, bitki hücresinin farklı bileşenleri tarafından algılanmaktadır. Sıcaklık artışları, bitkilerde farklı sinyal iletim yolları aracılığıyla algılanan iki ana kategoriye ayrılır: ılımlı sıcaklık artışları (ılıman sıcaklıklar) ve aşırı yüksek sıcaklıklar. Ilıman sıcaklıklar, bitkilerde termomorfogenez olarak adlandırılan morfolojik ve gelişimsel değişimleri indüklerken; aşırı yüksek sıcaklık stresi, ısıya alışma (ısı aklimasyonu) süreçlerini tetikler ve bitki büyümesi ile gelişimi üzerinde yıkıcı etkilere yol açar (Kan ve ark., 2023).

Yer üstü dokularında olduğu gibi, bitki kökleri de tüm bitki işlevlerini sınırlayabilecek ve ürün verimliliğini azaltabilecek derecede yüksek sıcaklık stresine maruz kalabilir. Üstelik yaklaşan iklim değişikliğiyle birlikte, köklerin ısı stresine maruz kalma sıklığı, süresi ve şiddeti artacaktır. Sürgün işlevi (özellikle fotosentez) ile karşılaştırıldığında, köklerin ısı stresine tepkileri hakkında çok daha az bilgi bulunmaktadır. Kökler ve ısı stresi üzerine yapılan önceki çalışmaların çoğu, koparılmış köklerde ya da yalnızca köklerin veya kök sisteminin bir kısmının ısıtıldığı otsu bitkilerde yürütülmüştür; ayrıca bu çalışmaların çoğu kronik (uzun süreli) ısı stresi koşullarını ele almış, ani (örneğin sıcak hava dalgaları

şeklinde) ısı stresinin etkilerini inceleyen araştırmalar az sayıda kalmıştır. Önemli olarak, köklerin ısı stresine tepkileri, köklerin koparılmış olduğu ya da yalnızca köklerin ısıtıldığı durumlarda, hem köklerin hem sürgünlerin (ya da yalnızca sürgünlerin) ısıtıldığı bitkilere göre farklılık gösterebilir; aynı şekilde, kronik ve ani ısı stresi durumlarında da tepkiler değişebilir. Bu nedenle, geçmişteki birçok sonuç, doğal koşullarda ısı stresinin kökleri nasıl etkilediğini veya sıcak hava dalgalarının kökler üzerindeki etkilerini yeterince açıklamamaktadır. Hem kronik hem de ani ısı stresi, kök büyümesini ve işlevini besin ve su alımı dahil olmak üzere azaltabilir ve hem köklerin hem sürgünlerin ısı stresine maruz kaldığı çalışmalarda, köklerin genellikle sürgünlere kıyasla ısı stresine daha duyarlı olduğu görülmüştür. Isı stresi kökleri hem doğrudan hem de dolaylı yollarla etkileyebilir; dolaylı etkiler muhtemelen sürgünlerden köklere sağlanan karbonun azalmasını ya da artan sürgün su talebine bağlı olarak kök su ilişkilerinin değişmesini içerir; bu da kök büyümesini ve besin alımını etkileyebilir. Ayrıca, ısı stresi ile diğer küresel çevresel değişim etmenleri (örneğin yükselmiş karbondioksit düzeyi, kuraklık) arasındaki etkileşimlerin de kökler üzerinde önemli etkileri olması muhtemeldir (Heckathorn ve ark., 2013).

4. TARIM VE EKOSİSTEMLER ÜZERİNDEKİ SONUÇLAR

Küresel ısınma, insanlığın sosyal gelişimi için en büyük tehditlerden biridir. Küresel iklim değişikliğinin tipik bir örneği olan bu olgu, insan faaliyetlerini ve yaşam biçimlerini birçok yönden derinden etkilemiştir. İnsan varlığının temelini oluşturan tarımsal üretim, iklim değişikliğine karşı özellikle hassastır. İklim değişikliği, sıcaklık, yağış ve rüzgâr hızı gibi çevresel faktörleri değiştirmiş; bu da bitki büyüme döngülerini, aşırı hava olaylarının sıklığını ve zararlı ile hastalıkların ortaya çıkış biçimlerini doğrudan ya da dolaylı olarak etkilemiştir. Sonuç olarak, bu değişiklikler ürün verimi ve kalitesi üzerinde önemli etkiler yaratmaktadır (Yuan ve ark., 2024).

Küresel iklim değişikliği, günümüzde dünyanın karşı karşıya olduğu en önemli sorunlardan biridir. 1850 yılından bu yana, kara ve okyanus yüzey sıcaklıklarının birleşik ortalaması on yılda ortalama 0.06 °C artmıştır; ancak 1982'den itibaren bu ısınma oranı üç katına çıkarak yaklaşık on yılda 0.20 °C'ye ulaşmıştır (Noaa, 2024; Yuan ve ark., 2024).

Son yüzyılda, yoğun sera gazı salınımları, hızlı nüfus artışı ve fosil yakıtların yakılması, küresel ısınmanın başlıca itici güçleri olarak

tanımlanmıştır. Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından yayımlanan Altıncı Değerlendirme Raporu'nda, uzmanlar yeryüzü ortalama yüzey sıcaklığındaki artışın temel nedeninin insan faaliyetleri olduğunu vurgulamışlardır. İnsan etkinlikleri, sera gazı emisyonlarını artırarak, 1850–2019 yılları arasında küresel yüzey sıcaklığının 0.8 °C ile 1.3 °C arasında yükselmesine yol açmıştır (IPCC, 2023; Yuan ve ark., 2024). Ayrıca, modern toplumun fosil yakıtlara uzun süreli bağımlılığı, küresel iklim değişikliğini hızla tetiklemektedir. Bu eğilim, rekor düzeyde kuraklıkların, orman yangınlarının ve sellerin yaşanmasına neden olmuş ve etkilerini dünya genelindeki topluluklarda giderek daha belirgin biçimde göstermeye başlamıştır. Sera gazı salınımlarının sürmesi, bu durumu daha da ağırlaştıracaktır. Dünyanın geleceği, büyük ölçüde bugünün insanların alacağı kararlara ve atacağı adımlara bağlıdır (Tollefson, 2021; Yuan ve ark., 2024).

4.1. İklim Değişikliğinin Ürün Döngüleri Üzerindeki Etkisi

İklim değişikliği, hem doğal etkenlerden hem de insan faaliyetlerinden kaynaklanmakta olup, biyoçeşitliliği, tarımsal üretimi ve gıda güvenliğini önemli ölçüde değiştirmektedir. Özellikle dar ekolojik aralığa sahip ve endemik türler, yok olma tehlikesiyle karşı karşıyadır. Türlerin yok oluşuna dair endişeler haklıdır; çünkü biyoçeşitlilik, tüm canlı formları için besin kaynağı sağlamasının yanı sıra, dünya nüfusunun %60–80'ine birincil sağlık hizmeti sunmaktadır. İklim değişikliğine bağlı olarak, türlerin dağılım alanlarının her on yılda ortalama 11.0 metre daha yüksek rakımlara ve 16.9 kilometre daha yüksek enlemlere kaydığı saptanmıştır. Göç senaryolarına göre, 1103 türün yok olma riski, sınırsız göç koşullarında %21–23, göçün mümkün olmadığı durumlarda ise %38–52 olarak hesaplanmıştır. Bitkiler açısından, çevresel değişimlerin bitkinin yaşam süresinden daha kısa bir zaman diliminde gerçekleşmesi durumunda, verilen tepki fenotipik plastisite şeklinde olabilir. Bu plastisite, türlerin iklim değişikliğinin uzun vadeli etkilerine karşı tampon oluşturmasını sağlayabilir. Ayrıca, iklim değişikliği özellikle yağmurla beslenen tarıma bağımlı topluluklarda ve bölgelerde gıda güvenliğini ciddi biçimde tehdit etmektedir. Bitkiler ve ürünler, büyüme ve verimlerinin bozulduğu belirli eşğin ötesinde dayanıklılık gösteremezler. Bu bağlamda, 2050 yılına kadar yalnızca Afrika'da tarımsal verimin %30'dan fazla azalabileceği öngörülmektedir (Muluneh, 2021).

4.2. İklim Değişikliğinin Ürün Verimi Üzerindeki Etkisi

İklim değişikliğinin küresel ölçekli ürün verimi üzerindeki olası etkileri, farklı mekanizmalar aracılığıyla ortaya çıkmaktadır. Bu mekanizmalar arasında; atmosferik faktörler (artmış CO₂ konsantrasyonu, değişen yağış rejimleri ve aşırı hava olayları), çevresel unsurlar (yabancı otlar ve zararlılar), fizyolojik temelli faktörler (bitki hastalıkları ve beslenme durumu) ile toprak ve arazi kullanımıyla ilişkili etmenler (deniz seviyesinin yükselmesi, biyoçeşitlilik kaybı ve toprak karbon havuzlarının azalması) yer almaktadır (Tubiello ve ark., 2007; Raza ve ark., 2019; Xu ve ark., 2024). İklim değişkenliği, özellikle yağış miktarı ve sıcaklığın şiddeti ve dağılımındaki değişimler ile artan atmosferik CO₂ düzeyleri (Jägermeyr ve ark., 2021), yıllık ürün verimindeki dalgalanmaların başlıca belirleyicilerindendir. Bu etki, gelişmiş tarım uygulamalarına ve yüksek verimlilik seviyelerine sahip bölgelerde dahi gözlenmektedir (Kang ve ark., 2009; Xu ve ark., 2024). Bununla birlikte, CO₂ konsantrasyonu ve yağış desenlerindeki değişimlerin, ürün verimi tahminlerindeki belirsizliğin ana kaynakları olduğu da vurgulanmıştır (Ahmed ve ark., 2019; Toreti ve ark., 2020; Müller ve ark., 2021; Xu ve ark., 2024). İklim değişikliğinin ürün üretimi üzerindeki etkileri, bölgelere ve ürün türlerine göre değişiklik göstermektedir (Lobell ve ark., 2008; Asseng ve ark., 2019; Xu ve ark., 2024). Bu bağlamda, tarımsal uyum (adaptasyon) stratejilerinin uygulanması, ürün verimi tahminlerinin ve tarımsal uygunluk modellerinin geliştirilmesi açısından umut verici bir yol olarak kabul edilmektedir (Lobell ve ark., 2008; Challinor ve ark., 2014; Asseng ve ark., 2019; Rising ve Devineni, 2020; Xu ve ark., 2024).

4.3. İklim Değişikliğinin Ürün Kalitesi Üzerindeki Etkisi

Küresel iklim değişikliğinin, yalnızca ürün verimi üzerinde değil, aynı zamanda ürün kalitesi üzerinde de göz ardı edilemeyecek düzeyde etkileri bulunmaktadır. Bu etkiler, hem besin içeriği hem de ürünlerin tat ve duyu özellikleri açısından kendini göstermektedir. Atmosferik CO₂ konsantrasyonundaki artış ve sıcaklık yükselmesi, özellikle temel gıda ürünlerinde (örneğin buğday, pirinç, mısır) protein içeriğinde azalmaya ve dolayısıyla ürün kalitesinde düşüşe yol açabilmektedir (Asseng ve ark., 2019; Janmohammadi ve Sabaghnia, 2023; Yuan ve ark., 2024). Bu durum, tüketicilerin belirli tarım ürünlerine olan talebini azaltarak, tarımsal üretim yapısını ve çiftçilerin gelir düzeyini belirli ölçüde olumsuz yönde etkileyebilir (Yuan ve ark., 2024).

5. SONUÇ

İklim değışikliğinin etkileri, yalnızca sıcaklık dalgalanmaları veya kuraklık gibi çevresel streslerle sınırlı kalmayıp, bitkilerin fizyolojisinden ekosistem dengesine, ürün veriminden gıda güvenliğine kadar uzanan çok boyutlu bir etki ağı oluşturmaktadır. Artan sera gazı salınımları, küresel sıcaklık artışı ve aşırı hava olaylarının sıklığı, bitkilerin büyüme, gelişme ve metabolik süreçlerini doğrudan etkilemekte; dolayısıyla tarımsal üretkenlik ve ürün kalitesi üzerinde belirgin kayıplara yol açmaktadır.

Yüksek ve düşük sıcaklık stresleri, bitki hücrelerinin yapısal bütünlüğünü bozmakta, fotosentetik etkinliği düşürmekte ve reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikimini artırarak hücresel düzeyde hasara neden olmaktadır. Bu süreçte, bitkiler ısı şok proteinleri, antioksidan savunma sistemleri, osmotik koruyucular ve sinyal iletim yolları gibi çeşitli adaptasyon mekanizmalarını devreye sokmaktadır. Ancak bu savunma yanıtları, çoğu zaman stresin şiddeti ve süresi karşısında yetersiz kalmakta; özellikle uzun süreli stres koşullarında geri dönüşü olmayan fizyolojik bozulmalar gözlenmektedir.

Tarım ekosistemleri açısından değerlendirildiğinde, iklim değışikliği ürün döngülerini, verimini ve kalitesini doğrudan tehdit etmektedir. Artan CO₂ konsantrasyonu ve sıcaklık, temel gıda ürünlerinde protein içeriğinin azalmasına, besin değerinin düşmesine ve tat–aroma bileşenlerinde değışimlere neden olmaktadır. Bu durum, yalnızca gıda kalitesini değil, aynı zamanda tüketici taleplerini, pazar dengelerini ve çiftçilerin gelir düzeylerini de olumsuz etkilemektedir.

Dolayısıyla, gelecekteki tarımsal üretim stratejilerinde iklim değışikliğine uyum ve etki boyutunu azaltma yaklaşımlarının bütüncül biçimde ele alınması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Adhikari, L., Baral, R., Paudel, D., Min, D., Makaju, S. O., Poudel, H. P., ... & Missaoui, A. M. (2022). Cold stress in plants: Strategies to improve cold tolerance in forage species. *Plant Stress*, 4, 100081.
- Ahmed, M., Stöckle, C. O., Nelson, R., Higgins, S., Ahmad, S., & Raza, M. A. (2019). Novel multimodel ensemble approach to evaluate the sole effect of elevated CO₂ on winter wheat productivity. *Scientific Reports*, 9(1), 7813.
- Ahuja, I., de Vos, R. C., Bones, A. M., & Hall, R. D. (2010). Plant molecular stress responses face climate change. *Trends in plant science*, 15(12), 664-674.
- Asseng, S., Martre, P., Maiorano, A., Rötter, R. P., O'Leary, G. J., Fitzgerald, G. J., ... & Ewert, F. (2019). Climate change impact and adaptation for wheat protein. *Global change biology*, 25(1), 155-173.
- Bitá, C. E., & Gerats, T. (2013). Plant tolerance to high temperature in a changing environment: scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops. *Frontiers in Plant Science*, 4, 273.
- Challinor, A. J., Watson, J., Lobell, D. B., Howden, S. M., Smith, D. R., & Chhetri, N. (2014). A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nature climate change*, 4(4), 287-291.
- Ding, Y., & Yang, S. (2022). Surviving and thriving: How plants perceive and respond to temperature stress. *Developmental Cell*, 57(8), 947-958.
- Gong, Z., Xiong, L., Shi, H., Yang, S., Herrera-Estrella, L. R., Xu, G., ... & Zhu, J. K. (2020). Plant abiotic stress response and nutrient use efficiency. *Science China Life Sciences*, 63(5), 635-674.
- Guan, Y., Hwarari, D., Korboe, H. M., Ahmad, B., Cao, Y., Movahedi, A., & Yang, L. (2023). Low temperature stress-induced perception and molecular signaling pathways in plants. *Environmental and Experimental Botany*, 207, 105190.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M. M., Roychowdhury, R., & Fujita, M. (2013). Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. *International journal of molecular sciences*, 14(5), 9643-9684.
- Heckathorn, S. A., Giri, A., Mishra, S., & Bista, D. (2013). Heat stress and roots. *Climate change and plant abiotic stress tolerance*, 109-136.
- IPCC. (2023). Climate Change 2023 Synthesis Report; IPCC: Geneva, Switzerland, 2023.

- Jägermeyr, J., Müller, C., Ruane, A. C., Elliott, J., Balkovic, J., Castillo, O., ... & Rosenzweig, C. (2021). Climate impacts on global agriculture emerge earlier in new generation of climate and crop models. *Nature Food*, 2(11), 873-885.
- Janmohammadi, M., & Sabaghnia, N. (2023). Strategies to alleviate the unusual effects of climate change on crop production: a thirsty and warm future, low crop quality. A review. *Biologija*, 69(2).
- Kan, Y., Mu, X. R., Gao, J., Lin, H. X., & Lin, Y. (2023). The molecular basis of heat stress responses in plants. *Molecular Plant*, 16(10), 1612-1634.
- Kang, Y., Khan, S., & Ma, X. (2009). Climate change impacts on crop yield, crop water productivity and food security—A review. *Progress in natural Science*, 19(12), 1665-1674.
- Lesk, C., Rowhani, P. & Ramankutty, N. (2016). Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature* 529, 84–87 <https://doi.org/10.1038/nature16467>
- Liu, X., Zhou, Y., Xiao, J., & Bao, F. (2018). Effects of chilling on the structure, function and development of chloroplasts. *Frontiers in plant science*, 9, 1715.
- Lobell, D. B., Burke, M. B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M. D., Falcon, W. P., & Naylor, R. L. (2008). Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science*, 319(5863), 607-610.
- Lukatkin, A. S. (2003). Contribution of oxidative stress to the development of cold-induced damage to leaves of chilling-sensitive plants: 3. Injury of cell membranes by chilling temperatures. *Russian Journal of Plant Physiology*, 50(2), 243-246.
- Mahajan, S., Thakur, P., Das, S., Sharma, R. P., Manuja, S., Jha, P. K., ... & Fayeizadeh, M. R. (2025). Impression of contemporary heat stress complexities in agricultural crops: a review. *Plant Growth Regulation*, 1-19.
- Muluneh, M. G. (2021). Impact of climate change on biodiversity and food security: a global perspective—a review article. *Agriculture & Food Security*, 10(1), 1-25.
- Müller, C., Franke, J., Jägermeyr, J., Ruane, A. C., Elliott, J., Moyer, E., ... & Zabel, F. (2021). Exploring uncertainties in global crop yield projections in a large ensemble of crop models and CMIP5 and CMIP6 climate scenarios. *Environmental Research Letters*, 16(3), 034040.

- NOAA, N. (2024). Monthly global climate report for annual 2023. URL: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202313>.
- Örvar, B. L., Sangwan, V., Omann, F., & Dhindsa, R. S. (2000). Early steps in cold sensing by plant cells: the role of actin cytoskeleton and membrane fluidity. *The Plant Journal*, 23(6), 785-794.
- Praveen, A., Dubey, S., Singh, S., & Sharma, V. K. (2023). Abiotic stress tolerance in plants: a fascinating action of defense mechanisms. 3 *Biotech*, 13(3), 102.
- Qian, Z., He, L., & Li, F. (2024). Understanding cold stress response mechanisms in plants: An overview. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1443317.
- Raza, A., Razzaq, A., Mehmood, S. S., Zou, X., Zhang, X., Lv, Y., & Xu, J. (2019). Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: A review. *Plants*, 8(2), 34.
- Raza, A., Razzaq, A., Mehmood, S. S., Zou, X., Zhang, X., Lv, Y., & Xu, J. (2019). Impact of Climate Change on Crops Adaptation and Strategies to Tackle Its Outcome: A Review. *Plants*, 8(2), 34. <https://doi.org/10.3390/plants8020034>
- Rising, J., & Devineni, N. (2020). Crop switching reduces agricultural losses from climate change in the United States by half under RCP 8.5. *Nature communications*, 11(1), 4991.
- Rutayisire, A., Mukayiranga, A., Habineza, J. C., Avosa, M., Edema, R., & Lubadde, G. (2020). Effect of low temperature stress on field performance of highland sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) at flowering stages. *Journal of plant breeding and crop science*, 12(1), 25-33.
- Suzuki, N., Rivero, R. M., Shulaev, V., Blumwald, E., & Mittler, R. (2014). Abiotic and biotic stress combinations. *New Phytologist*, 203(1), 32–43.
- Theocharis, A., Clément, C., & Barka, E. A. (2012). Physiological and molecular changes in plants grown at low temperatures. *Planta*, 235(6), 1091-1105.
- Tollefson, J. (2021). Earth is warmer than it's been in 125,000 years, says landmark climate report. *Nature: International Weekly Journal of Science*, (7871).

- Toreti, A., Deryng, D., Tubiello, F. N., Müller, C., Kimball, B. A., Moser, G., ... & Rosenzweig, C. (2020). Narrowing uncertainties in the effects of elevated CO₂ on crops. *Nature Food*, 1(12), 775-782.
- Tubiello, F. N., Soussana, J. F., & Howden, S. M. (2007). Crop and pasture response to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(50), 19686-19690.
- Uritani, I., Hyodo, H., & Kuwano, M. (2014). Mechanism of Cold Injury in Sweet Potatoes: Part IV. Biochemical Mechanism of Cold Injury with Special Reference to Mitochondrial Activities. *Agricultural and Biological Chemistry*, 35(8), 1248-1253.
- Wang, J., Wang, Y., Jin, H., Yu, Y., Mu, K., & Kang, Y. (2025). Research Progress on Responses and Regulatory Mechanisms of Plants Under High Temperature. *Current Issues in Molecular Biology*, 47(8), 601.
- Wu, Y., Liu, J., Zhao, L., Wu, H., Zhu, Y., Ahmad, I., & Zhou, G. (2024). Abiotic stress responses in crop plants: A multi-scale approach. *Journal of Integrative Agriculture*.
- Xu, H., Hassan, M. A., Sun, D., Wu, Z., Jiang, G., Liu, B., ... & Chen, X. (2022). Effects of low temperature stress on source–sink organs in wheat and phosphorus mitigation strategies. *Frontiers in plant science*, 13, 807844.
- Xu, Q., Liang, H., Wei, Z., Zhang, Y., Lu, X., Li, F., ... & Dai, Y. (2024). Assessing climate change impacts on crop yields and exploring adaptation strategies in Northeast China. *Earth's Future*, 12(4), e2023EF004063.
- Yuan, X., Li, S., Chen, J., Yu, H., Yang, T., Wang, C., ... & Ao, X. (2024). Impacts of global climate change on agricultural production: a comprehensive review. *Agronomy*, 14(7), 1360.
- Zhang, H., Zhu, J., Gong, Z., & Zhu, J. K. (2022). Abiotic stress responses in plants. *Nature Reviews Genetics*, 23(2), 104-119.



BÖLÜM 8

Orman Deposundaki Stok Envanterinde İHA Fotogrametrisi Kullanımı

Hakan Durgun¹ & Hande Helvaci² & Mehmet Eker³

1. Giriş

Ormanlar, insanların temel gereksinimlerini karşılayan ve ekosistem hizmetleri bakımından kritik rol üstlenen doğal kaynaklardır. Ormancılık sektörü, bu kaynaklardan elde edilen asli ve tali ürünlerin üretimini içermekte olup, odun hammaddesi bu ürünlerin başında gelmektedir (Karaman, 2001; Erdaş vd., 2014). Orman ürünlerinin depolanması, üretimden satış veya sevkiyata kadar geçen süreçte hammaddenin uygun koşullarda korunmasını ifade eder (Keskinöğlü, 1962). Bu bağlamda depolama, yalnızca geçici bir bekletme faaliyeti değil, aynı zamanda fiziksel dağıtımın stratejik bir bileşenidir (Eker ve Acar, 2006a; Eker ve Acar, 2006b). Odun hammaddesinin hacimli ve ağır yapısı, depo yönetiminde dikkatli bir planlama ve denetimi zorunlu kılmaktadır (Karaman, 1991).

Orman depoları, koruma ve lojistik olmak üzere iki temel işlevi yerine getirir. Koruma işlevi; yangın, hırsızlık, biyotik zararlılar, güneş, rüzgâr, heyelan ve sel gibi tehditlere karşı hammaddenin güvenliğini sağlamayı amaçlar (Fidan, 2017). Lojistik işlev ise ürünlerin teslim alınmasından kayda geçirilmesine, sınıflandırılmasından istiflenmesine ve son olarak araçlara yüklenmesine kadar tüm operasyonel süreçleri kapsar (Eker, 2004). Bu işlemler, sevk pusulalarının kontrolü ve istif kurallarına uygun yerleştirme süreçleriyle depo memuru gözetiminde yürütülmektedir (Karaman, 1991).

Uzaktan algılama, nesnelerden yansıyan elektromanyetik enerjinin sensörler aracılığıyla ölçülmesi ve sayısal verilere dönüştürülmesi prensibine dayanır (Yomralıoğlu, 2000; Çoban, 2006; Çoban vd., 2021). Son yıllarda düşük maliyetleri ve kullanım kolaylıkları nedeniyle insansız hava araçları (İHA), ormancılık uygulamalarında etkin bir uzaktan algılama aracı olarak öne çıkmıştır (Buğday, 2019; Durgun vd., 2022; Durgun vd., 2023). İHA'lerden elde edilen veriler, geleneksel yersel

¹ Arş. Gör., Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, ORCID: 0000-0002-2220-4472

² Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, ORCID: 0009-0004-0134-7150

³ Prof. Dr., Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, ORCID: 0000-0002-1817-3706

ölçümler, hava fotoğrafları veya uydu görüntüleriyle kıyaslandığında daha erişilebilir, ekonomik ve zaman açısından verimli bir çözüm sunar (Anderson ve Gaston 2013; Colomina ve Molina 2014; Nex ve Remondino 2014). Yüksek doğrulukta ve üç boyutlu modellerin hızlı biçimde üretilebilmesi, bu yöntemin avantajını artırmaktadır (Harwin ve Lucieer 2012). Fotogrametrik yöntemlerle işlenen İHA verileri, klasik arazi ölçümlerine bağımlılığı azaltarak hassas sonuçların kısa sürede elde edilmesini sağlamaktadır (Menteşoğlu, 2016).

Bu çalışma, Isparta Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Sav Orman Deposu'nda istiflenmiş orman emvalinin İHA verileriyle üretilen üç boyutlu modeller üzerinden hacimlerinin tahmin edilmesini amaçlamaktadır. Elde edilen hacim değerleri, referans ölçümlerle karşılaştırılmış ve İHA tabanlı yöntemlerin orman deposu stok envanterlerindeki güvenilirliği analiz edilmiştir. Ayrıca, farklı uçuş yüksekliklerine bağlı yer örnekleme aralığı (YÖA) değişiminin hacim tahmin doğruluğu üzerindeki etkisi istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada sayısal yükseklik modelleri (SYM) de kullanılarak istiflerin farklı veri temsillerindeki hacimsel karşılıkları değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Isparta Orman Bölge Müdürlüğü, geniş bir coğrafi alanı kapsayan ormancılık faaliyetlerinden sorumludur. Kurumsal sınırları içinde Isparta ve Burdur illerinin tamamı ile Afyonkarahisar'a bağlı Dinar, Dazkırı, Başmakçı ve Evciler ilçeleri yer almaktadır. Teşkilat yapısı 7 orman işletme müdürlüğünden oluşmakta ve bunlara bağlı olarak toplam 51 orman işletme şefliği görev yapmaktadır (IOBM, 2021). Bölge, deniz seviyesinden 72 metre yükseklikteki alanlardan başlayıp 2784 metreye kadar ulaşan topografik farklılıklara sahip geniş ve engebeli bir yapıdadır. Yaklaşık bir milyon hektarlık ormanlık alan hem ağaçlık sahaları hem de orman vasfını taşıyan ağaçsız toprakları kapsamaktadır. Bölgenin toplam yüzölçümü ise yaklaşık 1,7 milyon hektardır (Çoban vd., 2021; Durgun ve Çoban, 2023). Bu çalışma kapsamında saha uygulaması için, Isparta Orman Bölge Müdürlüğü bünyesindeki orman işletme müdürlüklerinden biri olan Isparta Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Sav Orman Deposu seçilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. İHA ile üretilen Sav Orman Deposu ortomozaik verisi

Saha çalışmalarında DJI Mavic 2 Pro model İHA kullanılmıştır (Şekil 2). 907 gram uçuş ağırlığına ve 8 GB dahili hafızaya sahip olan bu cihaz, 1 inç CMOS sensörle donatılmıştır. 20 megapiksel çözünürlükte görüntü elde edebilmekte, $f/2.8$ diyafram açıklığı ve 77° görüş açısı sunmaktadır (DJI, 2025). Uçuşların fotogrametrik doğruluk ilkelerine uygun biçimde yürütülmesi için, mobil cihazlarda ücretsiz erişilebilen Pix4Dcapture Pro yazılımı kullanılmış; bu sayede otomatik uçuş rotaları oluşturularak homojen ve sistematik veri toplama sağlanmıştır (Pix4D, 2025).



Şekil 2. DJI Mavic 2 Pro

Veri işleme aşamasında, istatistiksel analizler ve grafiksel sunumlar için Microsoft 365 yazılımı kullanılmıştır (Microsoft, 2025). Hava fotoğraflarının fotogrametrik değerlendirilmesi ve hacim tahminleri Pix4Dmapper yazılımında gerçekleştirilmiştir (Pix4D, 2025). Harita üretimi ve SYM'ye dayalı hacim hesaplamaları ise ArcGIS yazılımı ile yürütülmüştür (ArcGIS, 2025).

2.2. Yöntem

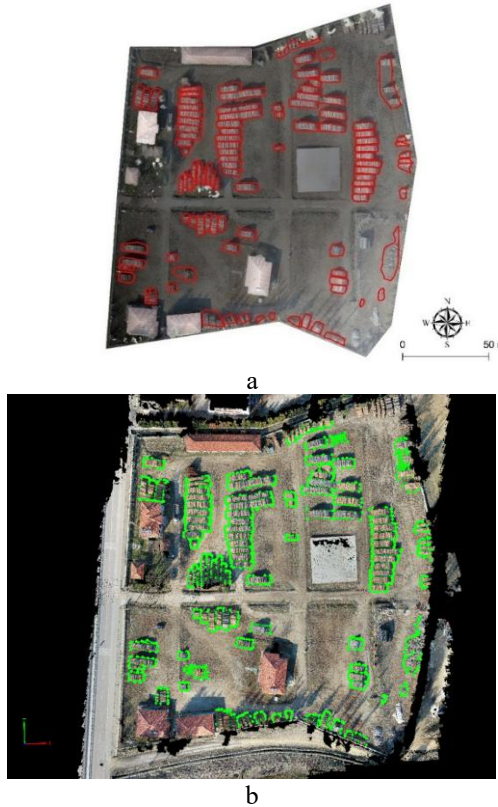
Arazi çalışmalarına başlamadan önce, sahada en az on beş farklı tomruk istifinin mevcut olduğundan emin olunmuş ve bu doğrultuda İHA uçuş planlamaları hazırlanmıştır. Uçuş planlamalarında, farklı YÖA'nın hacim tahminine etkisini karşılaştırmalı olarak incelemek amacıyla iki farklı uçuş yüksekliği belirlenmiştir (Sanz-Ablanedo vd., 2018; Ferrer-González vd., 2020). Buna göre, 35 m yükseklikten gerçekleştirilen uçuşlarla 1 cm YÖA, 55 m yükseklikten gerçekleştirilen uçuşlarla ise 2 cm YÖA elde edilmiştir. Bu yöntemle YÖA farkına bağlı olarak değişen fotogrametrik veri yoğunluğunun hacim hesaplamalarına etkisi istatistiksel olarak değerlendirilebilmiştir.

Büro çalışmaları kapsamında, farklı uçuş yüksekliklerinden elde edilen İHA fotoğrafları fotogrametrik işlemeye tabi tutulmuştur. Bu işlemler sonucunda, çalışma alanını temsil eden yoğunlaştırılmış nokta bulutları elde edilmiştir. Elde edilen nokta bulutu verileri kullanılarak tomruk istiflerinin hacimleri Pix4Dmapper yazılımı aracılığıyla hesaplanmıştır. Aynı analiz süreci, hem 1 cm hem de 2 cm YÖA'ya sahip veri setleri için

tekrarlanarak çözünürlük farklılıklarının hacim hesaplamalarına etkisi ortaya konulmuştur.

Nokta bulutlarından elde edilen hacim tahminlerinin ardından, İHA fotogrametrisiyle üretilen SYM kullanılarak CBS yazılımında hacim hesaplamaları yapılmıştır. Böylece, nokta bulutu ve SYM temelli hesaplama yöntemlerinin performansları karşılaştırılmıştır. Elde edilen tüm hacim tahminleri, işletme şefliğinden sağlanan referans hacim değerleri ile karşılaştırılmış; bu sayede hem İHA fotogrametrisinin doğruluğu hem de uçuş yüksekliğine bağlı YÖA değişiminin tahmin hassasiyetine etkisi değerlendirilmiştir.

Ayrıca, nokta bulutu ve SYM verilerinin hacim hesaplamalarındaki performansları da karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Hacim hesaplamaları sırasında, Pix4Dmapper yazılımında oluşturulan istif sınır poligonları ArcGIS ortamına aktarılmış ve her iki yazılımda da aynı sınırlar kullanılarak tutarlılık sağlanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Odun istiflerinin hacim ölçümleri; a) ArcGIS-SYM, b) Pix4Dmapper-nokta bulutu

3. Bulgular

Bu çalışmada, toplam 102 adet orman emvali istifi için hacim tahmini gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar, depo sorumlularından temin edilen referans hacim değeri (5002.507 m³) ile karşılaştırılmıştır. Analiz kapsamında kullanılan yöntemler, veri türü ve YÖA'ya göre dört grupta değerlendirilmiştir. 1 cm YÖA değerine sahip nokta bulutu yöntemi NB_1cm, 2 cm YÖA değerine sahip nokta bulutu yöntemi NB_2cm, 1 cm YÖA değerine sahip SYM yöntemi SYM_1cm ve 2 cm YÖA değerine sahip SYM yöntemi ise SYM_2cm olarak kodlanmıştır.

Elde edilen toplam hacim değerleri ve referans hacim farkları Çizelge 1'de özetlenmiştir. Bulgulara göre, NB_1cm yöntemi referans değerden %8.74 daha fazla sonuç üretmiştir. Bu farkın, yüksek çözünürlüklü nokta bulutlarının yüzey detaylarını aşırı temsil etmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. NB_2cm yöntemi ise referans değerden yalnızca %2.11 fazla tahmin yaparak daha dengeli bir performans göstermiştir.

Çizelge 1. Toplam hacimler ve referans hacim değerinden farkları

Yöntem	Toplam Hacim (m ³)	Fark (m ³)	Yüzde Fark (%)
NB_1cm	5439.87	437.36	%8.74
NB_2cm	5108.14	105.63	%2.11
SYM_1cm	5070.34	67.83	%1.36
SYM_2cm	4906.43	-96.08	%-1.92

En güvenilir sonucu SYM_1cm yöntemi sağlamış (Çizelge 1), referans değerden %1.36 oranında yüksek hacim üretmiş ve bu fark kabul edilebilir hata sınırları içinde kalmıştır. Bu durum, yüksek çözünürlükte üretilen SYM'lerin hem doğruluk hem de operasyonel pratiklik açısından avantaj sağladığını göstermektedir. Diğer yandan, SYM_2cm yöntemi referans değerden %1.92 daha düşük hacim tahmini üretmiş; bu bulgu, YÖA'nın artmasıyla birlikte yüzey detay kayıplarının hacim hesaplamalarında etkili olduğunu ortaya koymuştur. Genel olarak sonuçlar, YÖA'nın azalmasının hacim tahmin doğruluğunu artırdığını, ancak nokta bulutu temelli modellerin yüksek yoğunluk nedeniyle aşırı tahmin riski taşıdığını göstermektedir. Buna karşın SYM tabanlı modeller, özellikle 1 cm YÖA seviyesinde daha güvenilir, dengeli ve uygulanabilir çözümler sunmaktadır.

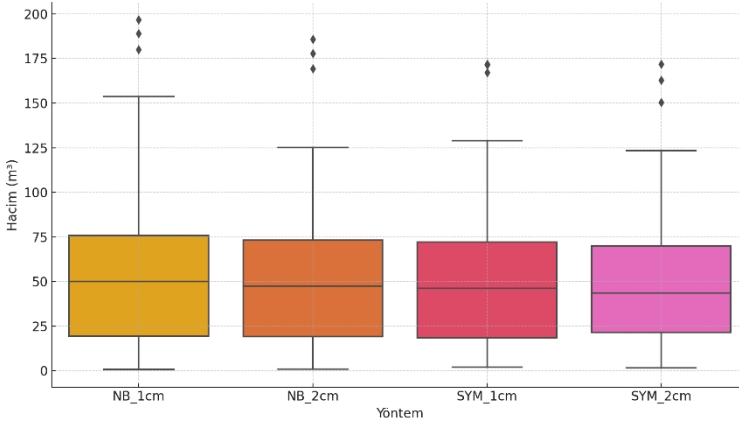
Dört farklı yöntemden elde edilen hacim tahminlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler Çizelge 2’de verilmiştir. Bulgulara göre, NB_1cm yönteminin ortalama hacim değeri (53.33 m^3) diğer tüm yöntemlerden daha yüksektir. Bu yöntemi sırasıyla NB_2cm (50.08 m^3), SYM_1cm (49.71 m^3) ve SYM_2cm (48.10 m^3) izlemiştir. Bu durum, nokta bulutuna dayalı yöntemlerin genel olarak daha yüksek hacim tahminleri yaptığını ve özellikle YÖA değerinin küçülmesiyle bu eğilimin arttığını göstermektedir. Standart sapma değerleri açısından en yüksek varyans NB_1cm (40.69 m^3) yönteminde gözlenmiş, bu da söz konusu yöntemin tahminlerinde daha fazla dalgalanma olduğunu ortaya koymuştur. En düşük standart sapma ise SYM_2cm (34.21 m^3) yönteminde elde edilmiştir.

Çizelge 2. Dört farklı yönteme ait tanımlayıcı istatistikler (n=102)

Yöntem	Ortalama	Standart Sapma	En küçük	Medyan	En büyük
NB_1cm	53.33	40.69	0.65	50.1	196.67
NB_2cm	50.08	37.16	0.86	47.48	185.78
SYM_1cm	49.71	36.26	2.09	46.21	171.93
SYM_2cm	48.1	34.21	1.64	43.55	171.85

Medyan değerler incelendiğinde (Çizelge 2), NB_1cm yöntemi 50.10 m^3 ile en yüksek değere sahipken, SYM_2cm yöntemi 43.55 m^3 ile en düşük medyan değeri üretmiştir. Bu bulgular, dağılımın merkezi eğilimi bakımından da nokta bulutu temelli yöntemlerin sistematik olarak daha yüksek hacim tahmini eğiliminde olduğunu desteklemektedir. Ayrıca maksimum değerlerin NB_1cm yöntemi için 196.67 m^3 ’e kadar ulaştığı, minimum değerlerin ise tüm yöntemlerde $1\text{-}3 \text{ m}^3$ aralığında kaldığı belirlenmiştir. Bu durum, NB_1cm yönteminin uç (ekstrem) değerler üretme potansiyeline sahip olduğunu ve bu nedenle daha dikkatli yorumlanması gerektiğini göstermektedir.

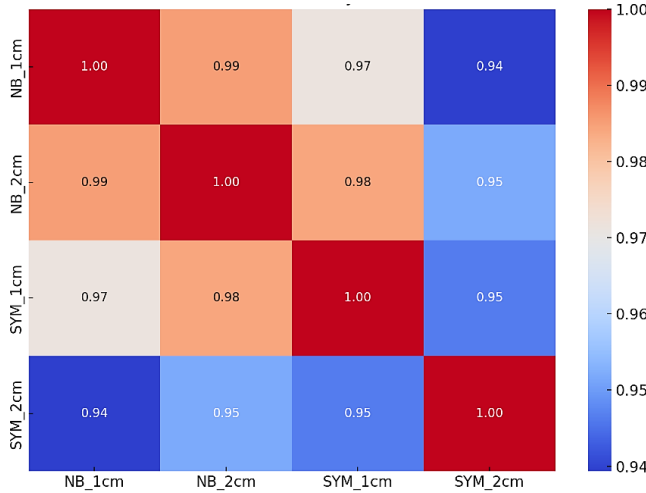
Yöntemlerin hacim tahmin performanslarını karşılaştırmak amacıyla oluşturulan kutu grafiği (Şekil 4), dört farklı yöntemin tahmin değerlerinin dağılımlarını görsel olarak ortaya koymaktadır. Grafik incelendiğinde, tüm yöntemlerin ortanca (medyan) değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu durum, yöntemlerin merkezi eğilim açısından benzer hacim tahminleri ürettiğini göstermektedir.



Şekil 4. Hacim tahmin yöntemlerine ait kutu grafiği

Bununla birlikte (Şekil 4), NB_1cm yöntemi daha geniş bir dağılıma ve üst sınırlarda birkaç aykırı değere sahiptir. Bu, yöntemin zaman zaman diğerlerine kıyasla daha yüksek hacim tahminleri yapabildiğini göstermektedir. Öte yandan, SYM tabanlı yöntemlerin daha dar dağılımlar sergilemesi, bu yöntemlerin daha istikrarlı ve tutarlı sonuçlar ürettiğini ortaya koymaktadır.

Yöntemler arasındaki doğrusal ilişkiler korelasyon matrisi (Şekil 5) yardımıyla analiz edilmiştir. Bulgulara göre, SYM_1cm ile NB_2cm arasında $r = 0.99$ gibi son derece yüksek bir korelasyon katsayısı bulunmuştur. Bu sonuç, iki yöntemin istif bazında neredeyse birebir paralel tahminler ürettiğini göstermektedir. Benzer şekilde, SYM_1cm ile SYM_2cm arasındaki korelasyon katsayısı $r = 0.98$ olup, bu iki model arasında da güçlü bir pozitif ilişki mevcuttur.



Şekil 5. Yöntemler arası korelasyon matrisi

NB_1cm yöntemi ise (Şekil 5) diğer yöntemlerle yüksek düzeyde korelasyon göstermesine karşın (örneğin SYM_2cm ile $r = 0.96$), daha bağımsız bir varyasyon ve uç değerlere açık bir dağılım sergilemiştir. Bu yüksek korelasyon katsayıları genel olarak tüm yöntemlerin aynı fiziksel veriyi değerlendirdiğini ve sonuçların yüksek düzeyde tutarlılık gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada, 102 adet odun istifi için hacim tahmini yapan dört farklı yöntemin doğruluk performansı, çeşitli hata ölçütleriyle değerlendirilmiştir (Çizelge 3). Kullanılan hata metrikleri arasında ortalama mutlak hata (MAE), kök ortalama kare hata (RMSE) ve ortalama mutlak yüzdelik hata (MAPE) yer almaktadır.

Çizelge 3. Dört farklı yöntem için hata ölçütleri

Yöntem	MAE (m ³)	RMSE (m ³)	MAPE (%)
NB_1cm	32.34	40.72	65.94%
NB_2cm	29.83	36.99	60.82%
SYM_1cm	29.04	36.09	59.20%
SYM_2cm	27.83	34.05	56.75%

MAE değerleri incelendiğinde (Çizelge 3), en düşük hata SYM_2cm (27.83 m³) yöntemiyle elde edilmiştir. Bunu sırasıyla SYM_1cm, NB_2cm ve en yüksek hataya sahip olan NB_1cm yöntemleri izlemiştir. Benzer biçimde, RMSE sonuçları da SYM_2cm (34.05 m³) yönteminin diğer yöntemlere kıyasla daha düşük hata seviyesine sahip olduğunu göstermiştir. Bu durum, söz konusu yöntemin daha kararlı ve istikrarlı tahminler ürettiğini ortaya koymaktadır. MAPE sonuçlarında da benzer bir eğilim gözlenmiş; SYM_2cm yöntemi %56.75 hata oranıyla en düşük sapmayı, NB_1cm yöntemi ise %65.94 ile en yüksek sapmayı üretmiştir. Bu bulgular, nokta bulutu temelli yöntemlerin, özellikle düşük YÖA'da çalışıldığında, yüzey detaylarını fazla temsil etmesi nedeniyle hacmi abartma eğiliminde olduğunu göstermektedir.

Genel olarak, hata metrikleri SYM tabanlı yöntemlerin daha dengeli ve tutarlı sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. En güvenilir yöntem SYM_2cm olmakla birlikte, SYM_1cm yöntemi de ona oldukça yakın ve kabul edilebilir hata sınırları içinde kalmıştır. Buna karşılık, NB_1cm yöntemi hem MAE hem de MAPE açısından en yüksek hata değerlerine

sahip olduğundan, hacim tahminlerinde aşırıya kaçma riski taşımaktadır. Sonuç olarak, SYM temelli yöntemler hacim tahmininde daha güvenilir ve tekrarlanabilir sonuçlar sağlamaktadır. Özellikle 1 cm çözünürlüklü SYM modelleri, doğruluk ile işlem pratikliği arasında optimum dengeyi sunarak, ormancılık uygulamaları için uygulanabilir ve operasyonel açıdan verimli bir çözüm olarak öne çıkmaktadır.

Yöntemler arasındaki hacim tahmin farklarının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek amacıyla tek yönlü varyans analizi (One-Way ANOVA) uygulanmıştır. Analiz sonuçlarına göre, dört yöntem (NB_1cm, NB_2cm, SYM_1cm ve SYM_2cm) arasında istif bazında ölçülen hacim değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($F = 0.355$, $p = 0.785$). Bu sonuç, yöntemlerin ortalama hacim tahminlerinin birbirine oldukça yakın olduğunu ve ölçüm değerlerinin grup içinde benzer bir dağılım sergilediğini göstermektedir. Dolayısıyla, hata metriklerinde gözlenen farklılıklar istatistiksel anlamlılık düzeyine ulaşmamış, bu da yöntemlerin genel olarak benzer doğruluk seviyelerinde hacim tahmini gerçekleştirdiğini ortaya koymuştur.

Başka bir ifadeyle, farklı YÖA değerlerine ve veri türlerine dayalı yöntemler, istatistiksel olarak karşılaştırılabilir ve tutarlı sonuçlar üretmiştir. Bu bulgu, İHA fotogrametrisi ile elde edilen nokta bulutu ve SYM tabanlı hacim hesaplama yaklaşımlarının, orman depolarındaki stok envanteri çalışmalarında karşılıklı olarak kullanılabilir ve güvenilir yöntemler olduğunu desteklemektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, orman ürünlerinin depolandığı alanlarda stok hacimlerinin belirlenmesinde İHA fotogrametrisinin uygulanabilirliği değerlendirilmiş ve farklı YÖA'ya sahip veri modelleri üzerinden yöntem karşılaştırmaları yapılmıştır. Isparta Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Sav Orman Deposu'nda yürütülen uygulama kapsamında, farklı uçuş yüksekliklerinde gerçekleştirilen çekimlerden elde edilen görüntüler fotogrametrik olarak işlenmiş ve 102 adet tomruk istifine ait üç boyutlu veri üretilmiştir. Bu veriler kullanılarak hem nokta bulutu hem de SYM tabanlı hacim tahminleri gerçekleştirilmiş; her iki yöntem için 1 cm ve 2 cm YÖA olmak üzere iki farklı YÖA seviyesi test edilmiştir.

Elde edilen tahmin sonuçları, depo kayıtlarından alınan 5002.507 m³'lük referans hacim değeriyle karşılaştırılmış ve yöntemlerin doğruluk düzeyleri istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Toplam hacim bazında yapılan karşılaştırmalarda, NB_1cm yöntemi referans hacme göre %8.74 oranında fazla tahminde bulunmuştur (Harwin ve Lucieer 2012; Ferrer-

González vd., 2020). Bu fark, yüksek çözünürlüklü nokta bulutlarının istif sınırlarını aşırı temsil etme eğiliminden kaynaklanmakta olup, bu yöntemin dikkatli yorumlanması gerektiğini göstermektedir. NB_2cm ve SYM_1cm yöntemleri, referans hacme sırasıyla %2.11 ve %1.36 pozitif farkla yaklaşmış, SYM_2cm yöntemi ise %1.92 oranında negatif fark üretmiştir. Ancak yapılan tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçlarına göre bu farkların istatistiksel olarak anlamlı olmadığı ($F = 0.355$, $p = 0.785$) belirlenmiştir.

Korelasyon analizleri tüm yöntemler arasında yüksek pozitif ilişkiler ($r > 0.95$) göstermiştir. Bu durum, yöntemlerin benzer hacim trendlerini izlediğini ve ölçüm doğruluğu açısından birbirini desteklediğini ortaya koymuştur. Ayrıca, tanımlayıcı istatistikler nokta bulutu temelli yöntemlerin daha yüksek ortalama ve maksimum değerlere, buna karşılık daha yüksek varyanslara sahip olduğunu; SYM tabanlı modellerin ise daha düşük değişkenlik ve daha dengeli dağılım sunduğunu göstermiştir (Tucci vd., 2019). Bu da SYM yöntemlerinin hem yazılım sürecinde daha istikrarlı hem de saha uygulamalarında daha güvenilir olduğunu desteklemektedir.

Uygulama açısından değerlendirildiğinde, İHA teknolojisi geniş alanlarda kısa sürede yüksek hassasiyetli veri toplama imkânı sunarak klasik hacim ölçüm yöntemlerine kıyasla zaman ve iş gücü tasarrufu sağlamaktadır. Orman depoları gibi geniş stok alanlarında üç boyutlu modellerin fotogrametrik olarak değerlendirilmesi, geleneksel çap ve boy ölçümlerine göre daha hızlı, sistematik ve insan hatasına daha az bağımlı envanter üretimini mümkün kılmaktadır (Puliti vd., 2015). Bu yaklaşım, ormancılık sektöründe dijital envanter yönetimi ve karar destek sistemlerinin geliştirilmesi için önemli bir katkı sağlamaktadır.

Sonuç olarak, çalışma İHA fotogrametrisinin orman depolarındaki stok envanteri çalışmalarında güvenilir, hızlı ve tekrarlanabilir sonuçlar üretebildiğini kanıtlamaktadır (Tucci vd., 2019; Raeva vd., 2016). Nokta bulutu ve SYM temelli yöntemler çözünürlüğe bağlı olarak farklı performanslar sergilese de özellikle SYM_1cm yöntemi hem doğruluk hem de işlem verimliliği açısından en uygun çözüm olarak öne çıkmaktadır.

5. Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir. Bu desteğinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Anderson, K., & Gaston, K. J. (2013). Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(3), 138–146. <https://doi.org/10.1890/120150>
- ArcGIS (2025). *ArcGIS product information*. Retrieved August 26, 2025, from <https://www.esri.com>
- Buğday, E. (2019, June 28–29). Orman yönetiminde insansız hava aracı uygulamaları. II. *International Eurasian Conference on Biological and Chemical Sciences*, 1617–1621. Ankara, Türkiye.
- Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79–97. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>
- Çoban, H. O. (2006). *Uydu verileri ile orman alanlarındaki zamansal değişimlerin belirlenmesi* (Yayımlanmamış doktora tezi). İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çoban, H. O., Eker, M., & Durgun, H. (2021, September 8–10). Relations between topographic variables and forest ecosystems in Isparta Regional Directorate of Forestry. In *International Conferences on Science and Technology (ICONST LST'21)*. Konya, Türkiye.
- DJI (2025). *DJI products and specifications*. Retrieved September 10, 2025, from <https://www.dji.com>
- Durgun, H., & Çoban, H. O. (2023). Isparta ve Burdur bölgesindeki orman ekosistemleri ile topoğrafik değişkenler arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi. *Tarım, Orman ve Su Bilimlerinde Öncü ve Çağdaş Çalışmalar*, 113.
- Durgun, H., Çoban, H. O., & Eker, M. (2022). İHA görüntülerinin geometrik düzeltmesinin ağaç çap ve boy ölçümlerine etkileri. In *International Conferences on Science and Technology* (pp. ...). Budva, Karadağ.
- Durgun, H., İnce, E. Y., İnce, M., Çoban, H. O., & Eker, M. (2023). Evaluation of tree diameter and height measurements in UAV data by integrating remote sensing and machine learning methods. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(4), 113–125. <https://doi.org/10.30855/gmbd.0705S12>
- Eker, M. (2004). *Ormancılıkta odun hammaddesi üretiminde yıllık operasyonel planlama modelinin geliştirilmesi* (Yayımlanmamış doktora tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Eker, M., & Acar, H. H. (2006a). Ormancılıkta odun hammaddesi üretiminde yıllık operasyonel planlama modelinin geliştirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(2), 235–248.
- Eker, M., & Acar, H. H. (2006b). Odun hammaddesi üretiminde operasyonel planlama yöntemi. *Turkish Journal of Forestry*, 7(2), 128–140.
- Erdaş, O., Acar, H. H., & Eker, M. (2014). *Orman ürünleri transport teknikleri* (Yayın No: 233/39). Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.
- Ferrer-González, E., Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., & Martínez-Carricondo, P. (2020). UAV photogrammetry accuracy assessment for corridor mapping. *Remote Sensing*, 12(15), 2447. <https://doi.org/10.3390/rs12152447>
- Fidan, H. (2017). *Odun hammaddesi depolarında risk analizi ve acil eylem planı (Giresun Sürmen Orman Deposu örneği)* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Harwin, S., & Lucieer, A. (2012). Assessing the accuracy of georeferenced point clouds produced via multi-view stereopsis from UAV imagery. *Remote Sensing*, 4(6), 1573–1599. <https://doi.org/10.3390/rs4061573>
- IOBM. (2021). *Isparta Orman Bölge Müdürlüğü Amenajman Planı Verisi*. IOBM.
- Karaman, A. (1991). *Orman depolarında Liebherr 902 ile tomruk yükleme ve istiflemenin zaman, verim ve masraf yönünden araştırılması* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karaman, A. (2001). *Odun hammaddesinin kesim ve nakliyatı* (Ders Notları Yayın No: 4). Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi, Artvin.
- Keskinoglu, S. (1962). *Genel işletme ekonomisi dersleri* (Cilt 2, Yayın No: 13). Eskişehir İktisadi ve Ticari İlimler Akademisi Yayınları, İstanbul.
- Menteşoğlu, B. E. (2016). *Düşük maliyetli insansız hava araçlarının (İHA) ormancılık uygulamalarında kullanımı* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Microsoft. (2025). *Microsoft online*. Erişim adresi: <https://www.microsoft.com/tr-tr/microsoft-365/> (Erişim tarihi: 23 Mayıs 2023).

- Nex, F., & Remondino, F. (2014). UAV for 3D mapping applications: A review. *Applied Geomatics*, 6(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x>
- Pix4d. (2025). *Pix4d products and services*. Retrieved August 26, 2025, from <https://www.pix4d.com>
- Puliti, S., Ørka, H. O., Gobakken, T., & Næsset, E. (2015). Inventory of small forest areas using an unmanned aerial system. *Remote Sensing*, 7(8), 9632–9654. <https://doi.org/10.3390/rs70809632>
- Raeva, P. L., Filipova, S. L., & Filipov, D. G. (2016). Volume computation of a stockpile – A study case comparing GPS and UAV measurements in an open pit quarry. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLI-B1*, 999–1004. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B1-999-2016>
- Sanz-Ablanedo, E., Chandler, J. H., Rodríguez-Pérez, J. R., & Ordóñez, C. (2018). Accuracy of UAV and SfM photogrammetry as a function of number and location of GCPs. *Remote Sensing*, 10(10), 1606. <https://doi.org/10.3390/rs10101606>
- Tucci, G., Visintini, D., Bonora, V., & Parisi, E. I. (2019). Monitoring and computation of the volumes of stockpiles using UAV photogrammetry. *Remote Sensing*, 11(12), 1471. <https://doi.org/10.3390/rs11121471>
- Yomralıoğlu, T. (2000). *Coğrafi bilgi sistemleri: Temel kavramlar ve uygulamalar*. Seçil Ofset Basımevi.



BÖLÜM 9

İHA Fotogrametrisiyle Eğim Sınıflarına Göre Orman Yollarının İşletmeye Açma Kapasitesinin Belirlenmesi

*Hakan Durgun¹ & İrem Feyza Sarıkaya² & Mehmet
Eker³*

1. Giriş

Türkiye ormanlarının yönetimi, Orman Genel Müdürlüğü (OGM) tarafından yürütülmektedir. 2024 yılı itibarıyla Türkiye'nin orman alanı 23.4 milyon hektardır ve ülke yüzölçümünün yaklaşık üçte birini oluşturmaktadır (OGM, 2024). Oduna dayalı orman ürünleri üretimi, artan eta miktarına paralel biçimde her yıl düzenli olarak sürdürülmektedir. Ormanlardan yıllık ortalama 25 milyon m³ civarında odun hammaddesi elde edilmekte ve taşınmaktadır. Bu üretim ve taşıma süreçlerinin en temel altyapı bileşenini orman yolları oluşturmakta olup, ülke genelindeki toplam orman yolu uzunluğu 300 bin kilometrenin üzerindedir (Eker ve Akay, 2025).

Orman yolları, ormancılık faaliyetlerinin planlanması ve yürütülmesi açısından temel bir altyapı unsurudur. Bu yollar; orman alanlarının işletmeye açılması, korunması ve orman ürünlerinin taşınması gibi çok yönlü işlevler üstlenmektedir. Karayollarına kıyasla geometrik tasarım, yapım tekniği ve maliyet bakımından farklı özellikler taşıyan orman yolları; aynı zamanda ekonomik, ekolojik, teknik ve sosyal açılardan da önemli etkilere sahiptir (Eker ve Ada, 2011). Üretim odaklı ormancılıkta yol ağı, taşıma altyapısının ana bileşenini oluşturmakta ve işletme etkinliğini doğrudan etkilemektedir. Tali orman yollarının işletmeye açma düzeyi; yol aralığı, yol yoğunluğu ve sürütme mesafesi gibi parametrelerle yakından ilişkilidir (OGM, 2008). Yol yoğunluğunun düşük ve yol aralıklarının geniş olduğu alanlarda üçüncül sınıf sürütme yollarının tercih edilmesi hem bakım maliyetlerini azaltmakta hem de orman alanı kaybını (sürütme yollarının yoğunluğunun yüksek tutulmasına koşut) sınırlamaktadır (Eker, 2020).

¹ Arş. Gör., Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, ORCID: 0000-0002-2220-4472

² Orman Müh., Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, ORCID: 0009-0000-1900-8561

³ Prof. Dr., Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, ORCID: 0000-0002-1817-3706

Türkiye'nin karmaşık topoğrafyası ve değişken iklim koşulları, farklı orman ekosistemlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu çeşitliliğin mekânsal olarak analiz edilmesi, orman planlamasında konumsal veri tabanlı yaklaşımların önemini artırmıştır. Bu amaçla Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve fotogrametrik yöntemler, orman yolları ve arazi eğim ilişkilerinin değerlendirilmesinde yaygın biçimde kullanılmaktadır. Günümüzde özellikle insansız hava aracı (İHA) tabanlı fotogrametri, kısa sürede yüksek çözünürlüklü verilerin elde edilmesine olanak tanımakta ve arazi modellemesini önemli ölçüde kolaylaştırmaktadır (Colomina ve Molina, 2014; Buğday, 2019; Durgun vd., 2022). Bu sistemler aracılığıyla üretilen ortomozaik ve sayısal yüzey modelleri, hem detaylı topoğrafik analizleri mümkün kılmakta hem de ormancılık uygulamalarında karar destek süreçlerine katkı sağlamaktadır (Durgun vd., 2023).

Orman ürünlerinin etkin biçimde üretilmesi için yol yoğunluğu belirli bir düzeyin üzerinde olmalıdır. Ancak yalnızca yol uzunluğunun fazla olması, üretim alanlarının tamamına erişimi garanti etmemektedir (Eker ve Ada, 2011). Bu nedenle, orman yollarının işletmeye açma kapasitesi, erişilebilirlik düzeyini değerlendirmede daha uygun bir göstergedir. Eğim arttıkça yol inşaat maliyetlerinin yükselmesi, yol ağının planlanmasında denge kurmayı zorlaştırmaktadır. Özellikle dağlık arazilerde yolların orman alanı boyunca homojen dağılması beklenemez. Dolayısıyla, yol aralığı ya da yoğunluğunun optimize edilmesi tek başına yeterli olmayıp, yolların gerçekte ulaşılabilir kıldığı alan oranı da analiz edilmelidir.

Orman yollarının sahaya erişim kapasitesi, büyük ölçüde arazinin topoğrafik yapısına bağlıdır (Eker ve Çoban, 2010). Eğim değerleri arttıkça yol güzergâhlarının belirlenmesi güçleşmekte, bu da ulaşılabilirlik ve üretim etkinliği üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Dolayısıyla, orman yolu projelerinde eğim değişkeninin planlama aşamasında dikkate alınması büyük önem taşır. Günümüzde CBS ve İHA tabanlı fotogrametrik veriler, bu ilişkinin ölçülebilir biçimde analiz edilmesine olanak tanımaktadır (Anderson ve Gaston, 2013). Bu çalışmada, farklı eğim sınıflarına sahip orman bölmelerinde yol ağlarının işletmeye açma oranı karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

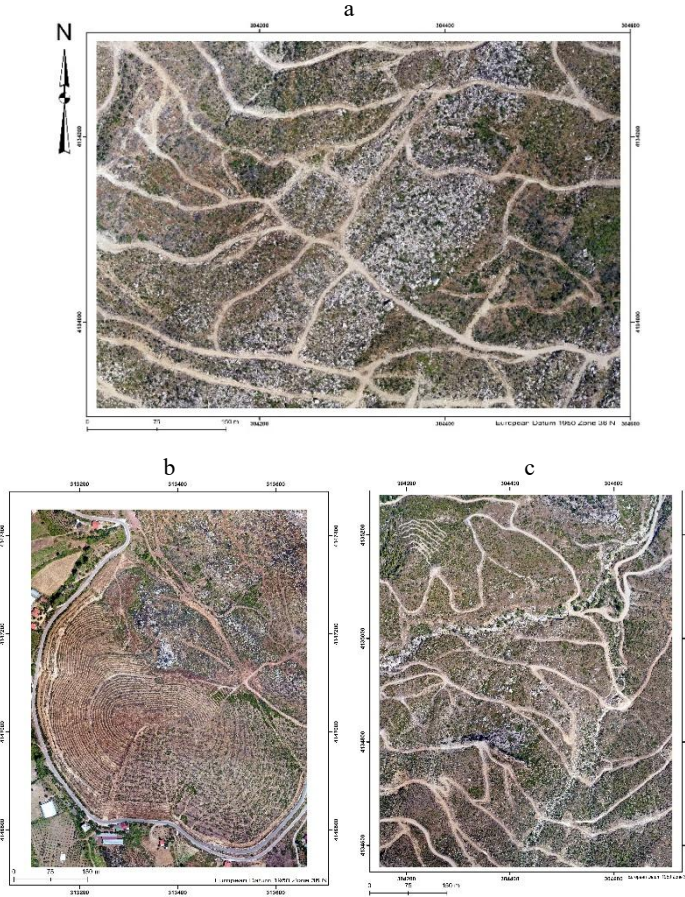
Bu araştırma, Türkiye'nin güneybatısında yer alan Isparta Orman Bölge Müdürlüğü (IOBM) sınırları içinde yürütülmüştür. Bölge; 7 orman işletme müdürlüğü ve bunlara bağlı toplam 51 orman işletme şefliğinden

oluşmaktadır. IOBM sınırları içinde orman varlığı yaklaşık 1025000 ha olup, toplam alan ise yaklaşık 1.7 milyon ha'dır (Çoban vd., 2021; IOBM, 2021; Durgun ve Çoban, 2023; Şekil 1).



Şekil 1. Isparta Orman Bölge Müdürlüğü konumu

Çalışma alanlarının sınırlarını belirlemek için İHA fotogrametrisi ile üretilen sayısal yükseklik modeli (SYM) kullanılmıştır. SYM yardımıyla eğim analizi yapılmış ve üç farklı eğim sınıfı belirlenmiştir (Şekil 2). Bu sınıflar %0–33 (Alan1, 22.3 ha), %33–50 (Alan2, 41.2 ha) ve >%50 (Alan3, 40.7 ha) aralıklarını kapsamaktadır.



Şekil 2. Çalışma alanları ortomozaik haritaları, a) Alan1; b) Alan2; c) Alan3

Arazi verileri, DJI Mavic Air İHA kullanılarak elde edilmiştir (DJI, 2025; Şekil 3). Uçuş planları, fotogrametrik veri kalitesini en üst düzeye çıkarmak amacıyla önceden belirlenen güzergâhlara göre hazırlanmış ve fotoğraf çekimleri Pix4D Capture uygulaması aracılığıyla otomatik olarak gerçekleştirilmiştir (Pix4D, 2025). Her uçuşta ortalama %80 görüntü bindirmesi, yaklaşık 5 m/s uçuş hızı ve dikey kamera konumu (90°) korunmuştur. 3 çalışma alanı için toplam 3 farklı İHA uçuşu planlanmıştır ve gerçekleştirilmiştir. Elde edilen hava fotoğrafları, Pix4D Mapper yazılımında işlenerek ortomozaik, SYM ve yoğunlaştırılmış nokta bulutu ürünlerine dönüştürülmüştür. Üretilen mekânsal veriler, ArcGIS Pro ortamında analiz edilerek orman yolları sayısallaştırılmış, yol yoğunluğu ve işletmeye açma oranı parametreleri hesaplanmıştır (ESRI, 2025).



Şekil 3. Çalışmada kullanılan DJI Mavic Air İHA

Çalışma alanları, Isparta Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde yer almakta olup, topoğrafik çeşitliliği ve farklı eğim sınıflarını temsil etmesi nedeniyle seçilmiştir. Arazi örtüsünün yer yer seyrek olması, mevcut orman yollarının tespiti ve sayısallaştırılmasını kolaylaştırmıştır. Bununla birlikte, bölgede üretim faaliyetlerinin kısa süre önce tamamlanmış olması nedeniyle, traktör ve sürütme yolları gibi geçici nitelikli yolların oluşturulduğu belirlenmiştir. Bu yolların kalıcı orman yolu standartlarını taşımaması, işletmeye açma oranı analizlerinde dikkate alınması gereken önemli bir unsurdur. Farklı eğim sınıflarına göre karşılaştırılabilir işletmeye açma oranlarının elde edilebilmesi amacıyla, çalışma alanlarının önceki arazi koşulları değerlendirilmiş; üretim öncesinde var olan orman yollarının konumları Google Earth uydu görüntüleri üzerinden tespit edilerek saha gözlemleri ile doğrulanmıştır (Potere, 2008; Google Earth, 2025).

2.2. Yöntem

Bu araştırmada, farklı eğim sınıflarına sahip orman bölmelerindeki yol ağlarının işletmeye açma oranı, İHA tabanlı fotogrametri ve CBS analizleri ile incelenmiştir. Arazi çalışmalarında elde edilen hava görüntüleri, fotogrametrik işleme adımlarından geçirilerek yoğunlaştırılmış nokta bulutu, SYM ve ortomozaik haritalar üretilmiştir (Westoby vd., 2012). Tüm veri setleri çalışma alanı sınırlarına göre kırılmış, konumsal bütünlük sağlamak amacıyla WGS84 datumlu UTM 36. zon koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Fotogrametrik ürünlerin yer örnekleme aralığı 0.1 m (10 cm) olacak biçimde ayarlanmıştır (Harwin ve Lucieer, 2012). Bu sayede, farklı eğim sınıflarının orman yolu işletmeye açma oranı üzerindeki etkilerini değerlendirmeye yönelik detaylı mekânsal analizler için yüksek doğrulukta veri elde edilmiştir (Hayati vd., 2012).

Fotogrametrik işlemler sonucunda elde edilen ortomozaik haritalar CBS yazılımına entegre edilerek analiz edilmiştir. Bu aşamada, orman yolları ortomozaik görüntüler üzerinden sayısallaştırılmış ve vektör formatına dönüştürülmüştür. Her bir yol hattı için uzunluk değerleri iki boyutlu (2B) ve üç boyutlu (3B) olmak üzere ayrı ayrı belirlenmiştir (Gao vd., 2013). İki boyutlu ölçümler ortomozaik düzlemi üzerinden, üç boyutlu ölçümler ise nokta bulutu verisinin arazinin gerçek yüzey modeline göre izdüşümü dikkate alınarak hesaplanmıştır. Böylece her bölmeye ait topoğrafik eğim etkisi düzeltilmiş yol uzunlukları elde edilmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak yol yoğunluğu, Erdaş (1997) tarafından tanımlanan yaklaşım temel alınarak hesaplanmıştır (Formül 1).

$$Yol\ Yoğunluğu\ (m/ha) = \frac{\text{Üniteyi işletmeye açan yol uzunluğu (m)}}{\text{Ünite alanı (ha)}} \quad (\text{Formül 1})$$

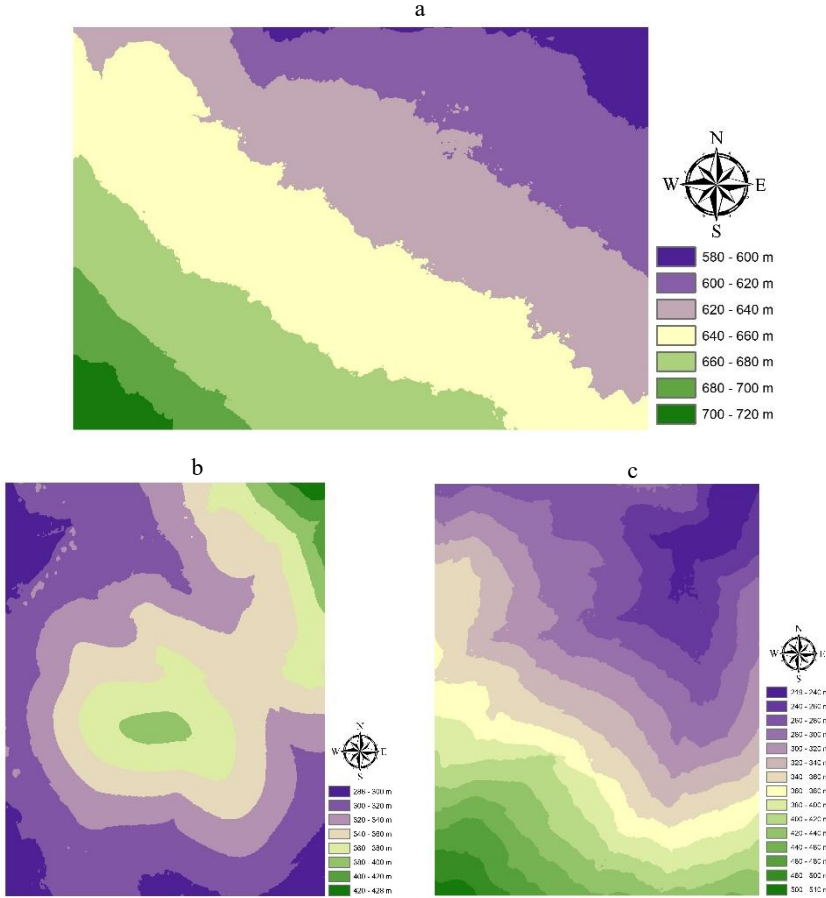
İşletmeye açma oranlarının belirlenmesinde, her bir orman yolunun etkilediği potansiyel üretim sahaları tampon (buffer) analizi yöntemiyle tanımlanmıştır. Bu amaçla, yol eksenlerinin her iki yönünde üretim faaliyetlerinin gerçekleştirilebileceği mesafeleri temsil eden tampon zonlar oluşturulmuştur. Farklı arazi eğimlerinin taşımayı zorlaştırdığı varsayımından hareketle, iki farklı senaryo dikkate alınmıştır: birinci durumda, yol hattının daha yüksek kotlara doğru 100 m, daha düşük kotlara doğru ise 50 m mesafedeki alanların işletmeye açıldığı kabul edilmiştir. İkinci durumda ise, daha yüksek kotlara doğru 200 m, daha düşük kotlara doğru ise 100 m mesafe esas alınmıştır.

Oluşturulan tampon verileri CBS ortamında birleştirilmiş ve çalışma alanı sınırlarıyla kesiştirilerek gerçek üretim alanlarını temsil eden poligonlar elde edilmiştir. Her eğim sınıfı için bu poligonların toplam yüzölçümü hesaplanmış, elde edilen değerler ilgili bölme alanına oranlanarak işletmeye açma oranı belirlenmiştir. Elde edilen oranlar, aynı zamanda yol yoğunluğu parametresi ile karşılaştırılarak eğim faktörünün ulaşılabilirlik üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Tüm analizler CBS yazılımı kullanılarak yürütülmüş, bulgular harita, tablo ve grafiklerle görselleştirilmiştir.

3. Bulgular

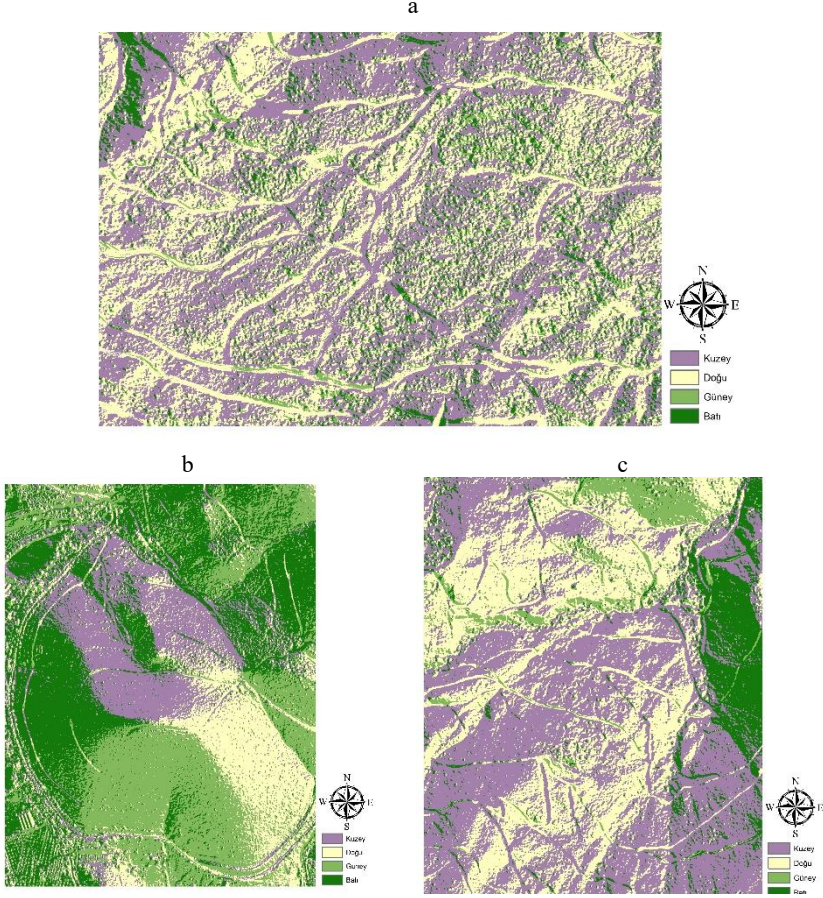
İHA görüntülerinden elde edilen veriler kullanılarak üç farklı eğim sınıfını temsil eden çalışma alanları için ortomozaik haritalar üretilmiştir (Şekil 2). Bu ortomozaikler incelendiğinde, çalışma alanlarındaki orman yollarının topoğrafik yapı içerisinde belirgin biçimde ayırt edilebildiği görülmektedir (Frey vd., 2018). Görseller, arazinin genel morfolojisini ve mevcut yol ağının dağılımını yüksek konumsal doğrulukla yansıtmaktadır. Özellikle ortomozaiklerin sağladığı detay düzeyi, orman yollarının hem

planlama hem de doğrulama aşamalarında etkin biçimde belirlenmesine imkân tanımaktadır. Ayrıca, arazi yüzeyindeki yükselti farklarının etkisini değerlendirmek amacıyla İHA fotogrametrisinden üretilen SYM kullanılarak yükselti sınıfı haritaları da oluşturulmuştur (Mikita vd., 2016; Şekil 4).



Şekil 4. Çalışma alanlarının yükselti sınıfı haritaları, a) Alan1; b) Alan2; c) Alan3

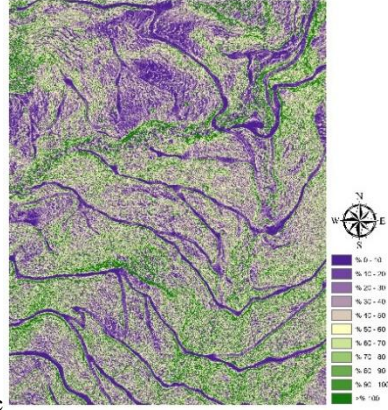
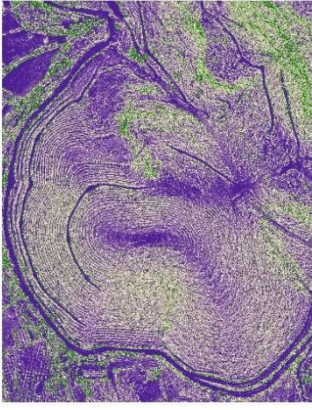
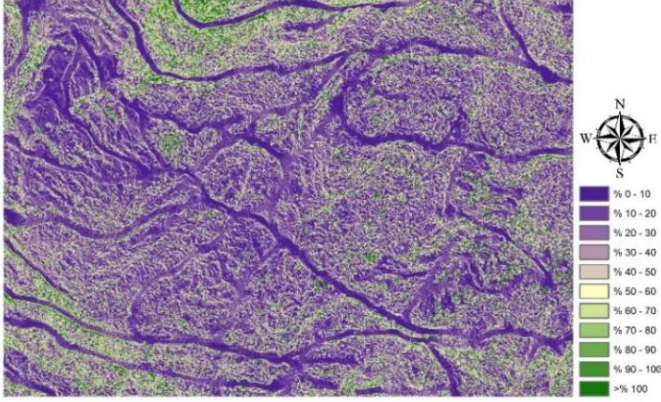
Bunun yanı sıra, çalışma alanlarında yönelim (bakı) özelliklerinin orman yolu ağının mekânsal düzeni üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla bakı sınıfı haritaları üretilmiştir. Bu haritalar, arazinin güneşlenme yönüne bağlı olarak yol ve açıklık alanlarının belirli yönlerde yoğunlaştığını ortaya koymaktadır. Sonuçlar, yol planlamasında mikroklimatik koşulların ve potansiyel erozyon risklerinin dikkate alınmasının gerekliliğini vurgulamaktadır (Şekil 5).



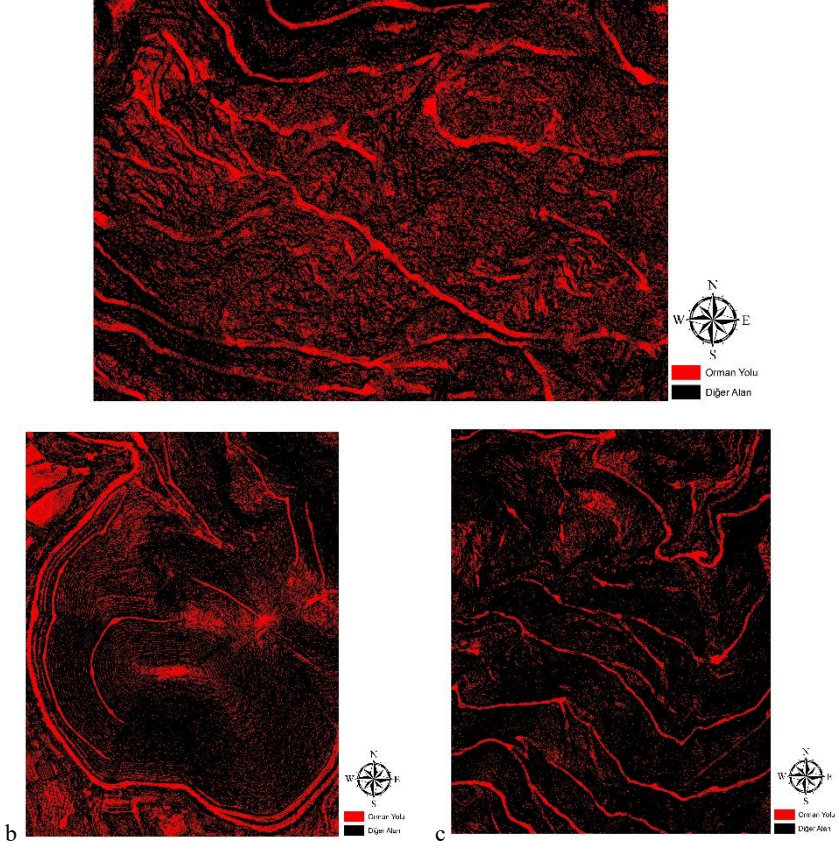
Şekil 5. Çalışma alanlarının bakı sınıfı haritaları, a) Alan1; b) Alan2; c) Alan3

Eğim sınıfı haritaları, orman yolu planlamasında değerlendirilen en kritik topografik parametrelerden birini oluşturmaktadır. Gerçekleştirilen analizler, eğim değerinin artmasıyla birlikte yol güzergâhlarının arazi yüzeyinde daha belirgin hale geldiğini göstermiştir. Ayrıca, Standartları Geliştirilmiş B Tipi Tali Orman Yolu için kabul edilen en yüksek eğim sınırı olan %12 değeri esas alınarak eğime dayalı ek bir sınıflandırma yapılmış ve mevcut yolların bu standarda uygunluk düzeyleri de incelenmiştir (Şekil 6; Şekil 7).

a



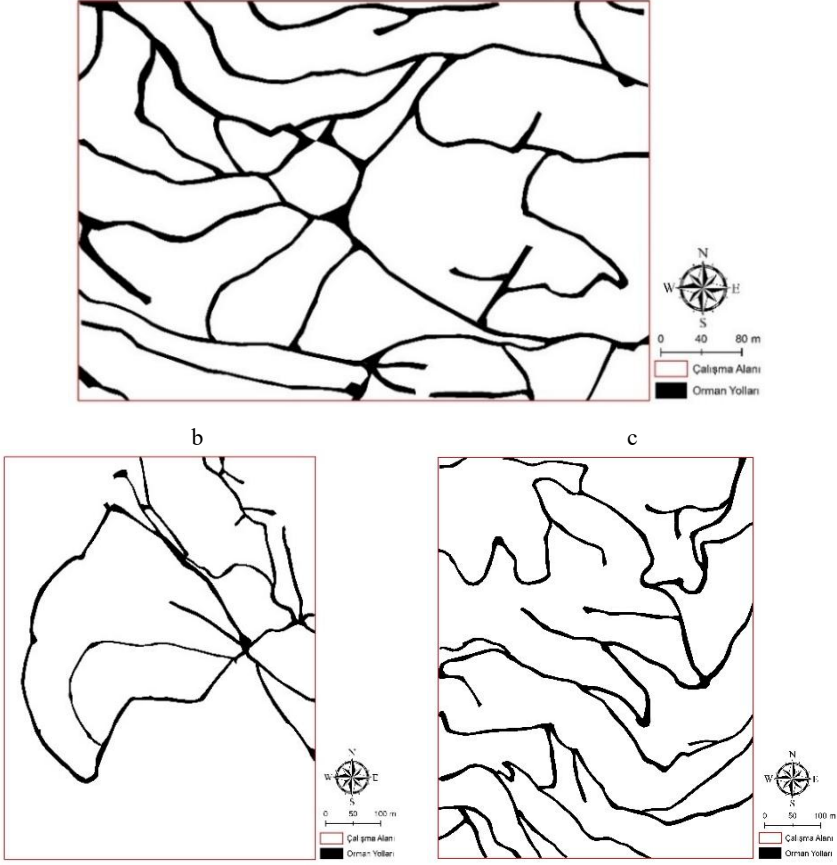
Şekil 6. Çalışma alanlarının eğim sınıfı haritaları, a) Alan1; b) Alan2; c) Alan3



Şekil 7. Çalışma alanlarındaki orman yollarının eğime dayalı tespit haritaları, a) Alan1; b) Alan2; c) Alan3

Gerçekleştirilen tüm mekânsal analizler sonucunda, farklı eğim sınıflarını temsil eden alanlara ait orman yolu ağları sayısallaştırılmıştır. Elde edilen bu ağlar, çalışma alanlarında mevcut yol yoğunluğu ve dağılımının nicel olarak karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır (Iglhaut vd., 2019). Böylece, eğim farklılıklarının orman yollarının mekânsal örüntüsü üzerindeki etkisi daha net biçimde ortaya konulmuştur (Şekil 8).

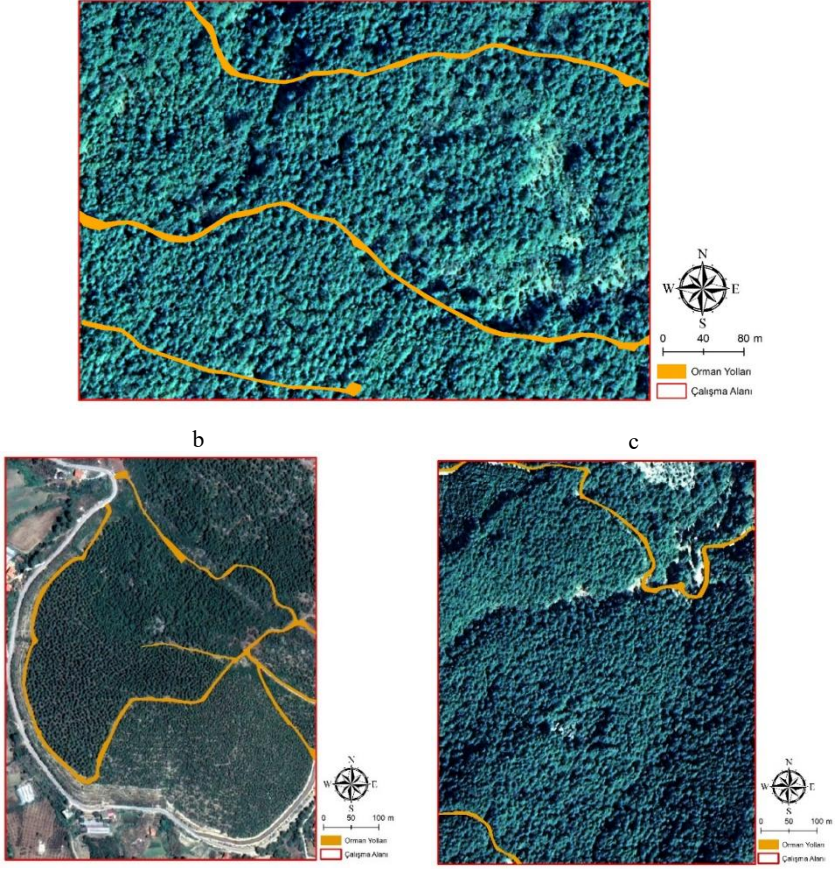
a



Şekil 8. Çalışma alanlarının orman yol ağı haritaları, a) Alan1; b) Alan2; c) Alan3

Çalışma alanlarına ait orman yolu ağının üretim öncesi durumu Şekil 9’da sunulmuştur. Şekil 8 ve Şekil 9 birlikte değerlendirildiğinde, üretim faaliyetlerinin tamamlanmasının ardından yol ağında belirli yapısal değişimlerin meydana geldiği görülmektedir. Bu değişimler, bazı bölümlerde geçici nitelikli yolların açılması veya mevcut yolların genişletilmesi şeklinde ortaya çıkmıştır.

a



Şekil 9. Çalışma alanlarının üretim öncesi yol ağı, a) Alan1; b) Alan2; c) Alan3

Üretim öncesi döneme ait yol uzunluğu, yoğunluk ve yol alanı gibi temel bulgular Çizelge 1’de özetlenmiştir. Çizelge incelendiğinde, 22.3 hektarlık Alan 1’de toplam 1450 metre uzunluğunda orman yolu belirlenmiştir. Bu alan için yol yoğunluğu 65.02 m/ha, toplam yol işgal alanı 0.69 hektar ve yol işgal oranı %3.09’dur. 41.2 hektarlık Alan 2’de 2250 metre uzunluğunda yol tespit edilmiş, yol yoğunluğu 54.61 m/ha, toplam yol işgal alanı 1.24 hektar, yol işgal oranı ise %3.01 olarak hesaplanmıştır. 40.7 hektarlık Alan 3’te 1000 metre uzunluğunda yol belirlenmiş; yol yoğunluğu 24.57 m/ha, toplam yol işgal alanı 0.58 hektar ve yol işgal oranı %1.43’tür. Bu bulgular, eğim değeri arttıkça orman yollarının uzunluğu ve yoğunluğunun azaldığını ortaya koymaktadır. Dolayısıyla topoğrafik eğimin, yol planlamasında hem mühendislik zorluklarını hem de maliyet optimizasyonunu doğrudan etkileyen bir unsur olduğu söylenebilir. Bununla birlikte, yüksek eğimli alanlarda da odun

üretimi ve taşıma faaliyetlerinin sürdürülebilmesi için belirli bir yol ağının varlığı zorunludur.

Çizelge 1. Çalışma alanlarındaki üretim öncesi orman yollarına ait bazı bilgiler

Çalışma Alanı	Alan 1	Alan 2	Alan 3
Çalışma Alanı Eğim Sınıfı	%0-33	%33-50	>%50
Çalışma Alanı (ha)	22.3	41.2	40.7
Toplam Yol Uzunluğu (m)	1450	2250	1000
Yol Yoğunluğu (m/ha)	65.02	54.61	24.57
Yolun İşgal Alanı (ha)	0.69	1.24	0.58
Yolun İşgal Oranı (%)	3.09	3.01	1.43

Çizelge 2’de, üretim faaliyetlerinin tamamlanmasının ardından çalışma alanlarında gözlemlenen yol ağına ilişkin veriler sunulmaktadır. Üretim sonrası ölçümler sonucunda, Alan 1’de toplam 5500 metre uzunluğunda orman yolu belirlenmiştir. Bu alanın yol yoğunluğu 246.64 m/ha olup, hektar başına oldukça yüksek bir değeri temsil etmektedir. Toplam yol işgal alanı 2.6 hektar, yol işgal oranı ise %11.66’dır. Bu durum, düşük eğimli arazilerde yol inşasının daha kolay gerçekleştirildiğini ve yol ağının daha yoğun biçimde geliştiğini göstermektedir. Alan 2’de 4060 metre uzunluğunda orman yolu tespit edilmiş; yol yoğunluğu 98.54 m/ha, toplam yol işgal alanı 2.13 hektar, yol işgal oranı ise %5.17 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 2. Çalışma alanlarındaki üretim sonrası orman yollarına ait bazı bilgiler

Çalışma Alanı	Alan 1	Alan 2	Alan 3
Çalışma Alanı Eğim Sınıfı	%0-33	%33-50	>%50
Çalışma Alanı (ha)	22.3	41.2	40.7
Toplam Yol Uzunluğu (m)	5500	4060	6500
Yol Yoğunluğu (m/ha)	246.64	98.54	159.71
Yolun İşgal Alanı (ha)	2.6	2.13	3.86
Yolun İşgal Oranı (%)	11.66	5.17	9.48

Elde edilen değerler (Çizelge 2), eğim arttıkça yol uzunluğu ve yol alanı oranlarının azaldığını ve arazi koşullarının yol yapımını kısıtladığını ortaya koymaktadır. Buna karşın ortalama %50’den büyük ortalama eğime sahip

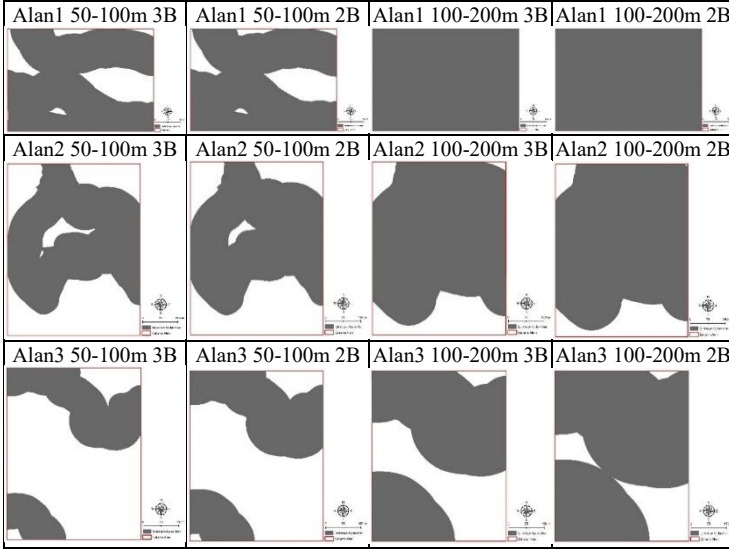
olan Alan 3'te 6500 metre uzunluğunda orman yolu ölçülmüştür. Yol yoğunluğu 159.71 m/ha, toplam yol işgal alanı 3.86 hektar, yol işgal oranı ise %9.48'tir. Bu değerler, yüksek eğimli alanlarda dahi yol ağının tamamen kaybolmadığını, özellikle geniş alanlarda ulaşım ihtiyacının yol yoğunluğunun korunmasına neden olduğunu göstermektedir. Genel olarak, eğimle yol yoğunluğu arasında doğrudan bir ters ilişki bulunmamakla birlikte, topoğrafik farklılıkların yol planlamasında belirleyici bir rol oynadığı anlaşılmaktadır.

Çalışma alanlarında yürütülen üretim faaliyetleri, geçici nitelikte çok sayıda orman yolunun açılmasına neden olmuştur. Bu yolların büyük kısmı, üretim tamamlandıktan sonra uzun vadede kullanılmayacak sürütme veya traktör yolları niteliğindedir. Ancak, İHA ile elde edilen hava fotoğrafları ve fotogrametrik veriler sayesinde bu yolların konumsal olarak yüksek doğrulukla belirlenip sayısallaştırılması mümkün olmuştur. Üretim sürecinde eklenen bu geçici yollar, işletmeye açma oranı değerlerini doğrudan etkilemiş ve bazı alanlarda gerçekçi olmayan biçimde yüksek oranların hesaplanmasına yol açmıştır. Bu nedenle, analizlerin güvenilirliğini sağlamak amacıyla işletmeye açma oranı hesaplamalarında yalnızca üretim öncesi mevcut orman yolları dikkate alınmış, değerlendirmeler İHA tabanlı mekânsal veriler üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Literatürde orman yollarının işletmeye açma mesafesine ilişkin farklı yaklaşımlar geliştirilmiş olsada bu konuda genel kabul görmüş sabit bir standart bulunmamaktadır. Çalışmalar, kot farkının işletmeye açma kapasitesi üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir. Düşük kotlarda yer alan alanlarda taşıma mesafesi genellikle daha kısa kalırken, yüksek kotlarda artış eğilimi göstermektedir. Bu durum, orman ürünlerinin yukarı yönde taşınmasının hem teknik açıdan güç hem de ekonomik açıdan daha maliyetli olmasından kaynaklanmaktadır (Eker ve Ada, 2011; Eker, 2020).

Bu çalışmada, farklı eğim koşullarına uyum sağlamak amacıyla iki ayrı işletmeye açma mesafesi senaryosu tanımlanmıştır. İlk senaryoda, yol hattından daha düşük kotlara doğru 50 m, daha yüksek kotlara doğru ise 100 m mesafedeki alanların işletmeye açıldığı varsayılmıştır. İkinci senaryoda bu değerler sırasıyla 100 m ve 200 m olarak belirlenmiş, böylece toplam etki alanı 300 m'ye ulaşmıştır. Bu iki

varsayım esas alınarak gerçekleştirilen analizlerin sonuçları Şekil 10'da verilmiştir. Bulgular, eğim değeri yükseldikçe işletmeye açılan alan miktarının azaldığını göstermektedir. Ayrıca, iki boyutlu değerlendirmelerde elde edilen alan değerlerinin, üç boyutlu analizlere göre daha geniş olduğu belirlenmiştir. Bu farkın, üç boyutlu analizlerin arazi topografyasını daha gerçekçi biçimde modellemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 10. Çalışma alanlarındaki üretim öncesi orman yollarının farklı varsayımlara göre iki ve üç boyutlu işletmeye açma alanları

Şekil 10'da sunulan orman yollarına ait işletmeye açma oranlarının sayısal karşılıkları Çizelge 3'te özetlenmiştir. Bu tablo, farklı eğim sınıflarındaki çalışma alanlarında gerçekleştirilen analizlerin, uygulanan işletmeye açma varsayımlarına ve kullanılan analiz türlerine göre nasıl farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, eğim arttıkça üç boyutlu analizlerden elde edilen işletmeye açma oranlarının, iki boyutlu analizlere kıyasla daha düşük değerlere sahip olduğunu göstermektedir. Bu farkın, üç boyutlu analizlerin arazi topografyasını daha gerçekçi biçimde temsil etmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 3. Farklı eğim sınıflarındaki çalışma alanları için çeşitli işletmeye açma varsayımlarına dayanan sonuçlar (üretim öncesi)

Çalışma Alanı ve Eğim Sınıfı	Çalışma Alanının Yüzölçümü (ha)	İşletmeye Açma Varsayımı	Analiz Türü	İşletmeye Açılan Alan (ha)	İşletmeye Açma Oranı (%)
Alan 1 %0-33	22.3	Aşağıdan yukarı 50m	3 B	18.28	82.0
		Yukarıdan aşağı 100m	2 B	18.59	83.4
		Aşağıdan yukarı 100m	3 B	22.3	100
		Yukarıdan aşağı 200m	2 B	22.3	100
Alan 2 %33-50	41.2	Aşağıdan yukarı 50m	3 B	24.47	59.39
		Yukarıdan aşağı 100m	2 B	26.07	63.28
		Aşağıdan yukarı 100m	3 B	33.58	81.50
		Yukarıdan aşağı 200m	2 B	35.13	85.27
Alan 3 >%50	40.7	Aşağıdan yukarı 50m	3 B	14.35	35.26
		Yukarıdan aşağı 100m	2 B	17.64	43.34
		Aşağıdan yukarı 100m	3 B	27.41	67.35
		Yukarıdan aşağı 200m	2 B	34.06	83.69

Üç boyutlu modeller, özellikle yüksek eğimli arazilerde yol yapım zorluklarını ve ulaşılabilirlik sınırlamalarını daha doğru yansıtarak, iki boyutlu düzleştirilmiş analizlere göre daha temkinli ve güvenilir sonuçlar üretmektedir. Düşük eğimli alanlarda ise iki analiz türü benzer sonuçlar verse de üç boyutlu analizlerin detay seviyesi ve yüzey eğriliğini hesaba katma kabiliyeti sonuçların hassasiyetini artırmıştır. Genel olarak, elde edilen bulgular üç boyutlu analizlerin özellikle yüksek eğimli bölgelerde orman yollarının planlanması ve işletmeye açılacak alanların belirlenmesinde daha sürdürülebilir, gerçekçi ve karar desteği açısından güçlü bir yöntem sunduğunu göstermektedir.

Orman yolu planlaması ve ağ yapısının değerlendirilmesi konusunda yapılan önceki çalışmalar, farklı çevresel koşulların ve operasyonel süreçlerin sonuçlar üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir. Bu kapsamda, Durgun ve Eker (2025) tarafından yürütülen araştırma, orman yangını öncesi ve sonrası dönemleri karşılaştırarak yangın olaylarının orman yolu yoğunluğu ve işletmeye açma oranları üzerindeki etkilerini incelemiştir. Söz konusu çalışmada, yangın sonrası dönemde yapılan müdahaleler ve yeni yol inşaatları sonucunda yol yoğunluğunun ve işletmeye açma oranlarının olağan koşullara göre belirgin biçimde arttığı,

ancak bu yolların çoğunun geçici nitelikte olduğu ifade edilmiştir. Bu çalışmada ise analizler yalnızca topoğrafik değişkenlere dayandırılmıştır. Durgun ve Eker (2025) tarafından yangın sonrası alanlarda bildirilen yüksek işletmeye açma oranlarının aksine, bu çalışmada topoğrafik farklılıklara bağlı olarak işletmeye açma oranlarının eğimle ters orantılı biçimde azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca, önceki çalışmada iki boyutlu analiz yöntemleri kullanılmışken, bu araştırmada üç boyutlu analiz yaklaşımı benimsenmiş ve arazi yüzeyinin gerçek topoğrafik yapısı daha doğru biçimde temsil edilmiştir. Bu yönüyle mevcut çalışma, topoğrafya ve orman yolu yoğunluğu arasındaki ilişkinin nicel olarak belirlenmesine olanak tanımakta; İHA fotogrametrisi ve CBS entegrasyonunun ormancılık planlamasında karar destek süreçlerine sağladığı katkıyı vurgulamaktadır.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, İHA fotoğraflarından üretilen ortomozaik ve nokta bulutu verilerinden elde edilen mekânsal bilgiler, farklı eğim sınıflarına göre orman yollarının dağılımını ve yoğunluğunu değerlendirmek amacıyla analiz edilmiştir. Çalışma alanları, eğim sınıflarına göre %0–33 (Alan 1), %33–50 (Alan 2) ve %50’nin üzeri (Alan 3) olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflar üzerinden yapılan analizler, yüksek çözünürlüklü İHA verilerinin orman yollarını detaylı biçimde haritalamada yüksek doğruluk sağladığını göstermektedir. Ayrıca, eğim sınıfı haritalarının incelenmesi, orman yollarının eğim arttıkça topoğrafya üzerinde daha belirgin hale geldiğini ortaya koymuştur.

Analiz sonuçları, eğimli arazilerde yol yoğunluğu ve toplam yol alanının düz arazilere kıyasla azaldığını, ancak bu azalmanın eğim sınıfına bağlı olarak farklı oranlarda gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Üretim faaliyetleri sonrasında inşa edilen geçici yolların varlığı, genel yol yoğunluğunu arttırmış ve işletmeye açma oranlarını doğrudan etkilemiştir. Ayrıca, üç boyutlu analizlerin iki boyutlu analizlere kıyasla topoğrafik yapıyı daha doğru temsil ettiği ve daha hassas sonuçlar sunduğu belirlenmiştir (Wallace vd., 2016). Düşük eğimli alanlarda her iki analiz türü benzer sonuçlar üretirken, yüksek eğimli arazilerde üç boyutlu analizlerin daha güvenilir çıktılar sağladığı tespit edilmiştir.

Elde edilen bulgular, eğimin orman yolu planlamasında kritik bir değişken olduğunu ve mekânsal analizlerin karar süreçlerine önemli katkılar sağlayabileceğini ortaya koymuştur. Bu doğrultuda, özellikle topoğrafik farklılıkların belirleyici olduğu alanlarda İHA tabanlı fotogrametri ile CBS entegrasyonunun ormancılık planlamasında etkin, güvenilir ve sürdürülebilir bir karar destek aracı olarak kullanılabileceği

değerlendirilmektedir (Colomina ve Molina, 2014; Iglhaut vd., 2019). Bu kapsamda aşağıda, çalışmadan elde edilen sonuçlara dayalı bazı uygulama önerileri sunulmuştur.

a. Yüksek eğimli arazilerde planlama: Yol planlaması ve işletmeye açma alanlarının belirlenmesinde üç boyutlu analizlerin kullanılması önerilmektedir. Bu yaklaşım, topoğrafyanın gerçek yapısını daha doğru yansıtarak yol inşaatındaki zorlukların daha sağlıklı biçimde değerlendirilmesine olanak tanıyacaktır.

b. Uzun dönemli izleme: Eğim sınıflarının yol yoğunluğu üzerindeki etkilerini daha iyi anlayabilmek için farklı bölgelerde uzun dönemli saha çalışmaları yürütülmelidir. Bu tür çalışmalar, orman yolu ağlarının optimizasyonu için güvenilir veri tabanlarının oluşturulmasına katkı sağlayacaktır.

c. Standartlaşma gerekliliği: Orman yollarının işletmeye açma mesafelerine ilişkin genel geçer standartların belirlenmesi, uygulamalarda birlik sağlayarak planlama ve değerlendirme süreçlerinin tutarlılığını artıracaktır.

5. Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir. Bu desteğinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Anderson, K., & Gaston, K. J. (2013). Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(3), 138–146. <https://doi.org/10.1890/120150>
- Buğday, E. (2019, June 28–29). Orman yönetiminde insansız hava aracı uygulamaları. *II. International Eurasian Conference on Biological and Chemical Sciences*, 1617–1621. Ankara, Türkiye.
- Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79–97. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>
- Çoban, H. O., Eker, M., & Durgun, H. (2021, September 8–10). Relations between topographic variables and forest ecosystems in Isparta Regional Directorate of Forestry. In *International Conferences on Science and Technology (ICONST LST'21)*. Konya, Türkiye.
- DJI. (2025). *DJI products and specifications*. Retrieved September 10, 2025, from <https://www.dji.com>
- Durgun, H., & Çoban, H. O. (2023). Isparta ve Burdur bölgesindeki orman ekosistemleri ile topoğrafik değişkenler arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi. *Tarım, Orman ve Su Bilimlerinde Öncü ve Çağdaş Çalışmalar*, 113.
- Durgun, H., & Eker, M. (2025). Determination of changes in forest road network in fire-affected areas by UAV. *European Journal of Forest Engineering*, 11(1), 42–47. <https://doi.org/10.33904/ejfe.1540549>
- Durgun, H., Çoban, H. O., & Eker, M. (2022). İHA görüntülerinin geometrik düzeltmesinin ağaç çap ve boy ölçümlerine etkileri. In *International Conferences on Science and Technology* (pp. ...). Budva, Karadağ.
- Durgun, H., İnce, E. Y., İnce, M., Çoban, H. O., & Eker, M. (2023). Evaluation of tree diameter and height measurements in UAV data by integrating remote sensing and machine learning methods. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(4), 113–125. <https://doi.org/10.30855/gmbd.0705S12>
- Eker, M. (2020). Sürütme yolları ve yoğunlukları üzerine değerlendirmeler. *Turkish Journal of Forestry*, 21(4), 396–406. <https://doi.org/10.18182/tjf.824478>
- Eker, M., & Ada, N. (2011). Orman yolu kalite analizine yönelik ölçüt ve gösterge setinin oluşturulması. *Turkish Journal of Forestry*, 12(2), 89–97. <https://doi.org/10.18182/tjf.41529>

- Eker, M., & Akay, A. E. (2025, June 30-July 2). Forest Road Engineering in Mountainously Forests in Türkiye. *International Conference of KSFE-FETEC*. Seoul, South Korea.
- Eker, M., & Çoban, H. O. (2010). Impact of road network on the structure of a multifunctional forest landscape unit in southern Turkey. *Journal of Environmental Biology*, 31(1), 157–162.
- Erdaş, O. (1997). *Forest Roads (Vol. I)*. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayın No: 187/25.
- ESRI. (2025). *ArcGIS product information*. Retrieved August 26, 2025, from <https://www.esri.com>
- Frey, J., Kovach, K., Stemmler, S., & Koch, B. (2018). UAV photogrammetry of forests as a vulnerable process: A sensitivity analysis for a structure from motion RGB-image pipeline. *Remote Sensing*, 10(6), 912. <https://doi.org/10.3390/rs10060912>
- Gao, M., Zeilinger, G., Xu, X., Wang, Q., & Hao, M. (2013). DEM and GIS analysis of geomorphic indices for evaluating recent uplift of the northeastern margin of the Tibetan Plateau, China. *Geomorphology*, 190, 61–72. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.02.008>
- Google Earth. (2025). *Google Earth*. Retrieved September 10, 2025, from <https://earth.google.com/web>
- Harwin, S., & Lucieer, A. (2012). Assessment of asset recognition using structure-from-motion photogrammetry: Investigations in the forest environment. *Remote Sensing*, 4, 1573–1599. <https://doi.org/10.3390/rs4061573>
- Hayati, E., Majnounian, B., & Abdi, E. (2012). Qualitative evaluation and optimization of forest road network to minimize total costs and environmental impacts. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, 5(3), 121. <https://doi.org/10.3832/ifor0610-009>
- Iglhaut, J., Cabo, C., Puliti, S., Piermattei, L., O'Connor, J., & Rosette, J. (2019). Structure from motion photogrammetry in forestry: A review. *Current Forestry Reports*, 5(3), 155–168. <https://doi.org/10.1007/s40725-019-00094-3>
- IOBM. (2021). *Isparta Orman Bölge Müdürlüğü Amenajman Planı Verisi*. IOBM.
- Mikita, T., Janata, P., & Surový, P. (2016). Forest stand inventory based on combined aerial and terrestrial close-range photogrammetry. *Forests*, 7(8), 165. <https://doi.org/10.3390/f7080165>

- OGM. (2008). *Orman Yolları Planlaması, Yapımı ve Bakımı Tebliği No: 292*. OGM İnşaat ve İkmal Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- OGM. (2024). *Ormancılık istatistikleri*. Retrieved September 1, 2025, from <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/resmi-istatistikler>
- Pix4d. (2025). *Pix4d products and services*. Retrieved August 26, 2025, from <https://www.pix4d.com>
- Potere, D. (2008). Horizontal positional accuracy of Google Earth's high-resolution imagery archive. *Sensors*, 8, 7973–7981. <https://doi.org/10.3390/s8127973>
- Wallace, L., Lucieer, A., Malenovský, Z., Turner, D., & Vopěnka, P. (2016). Assessment of forest structure using two UAV techniques: A comparison of airborne laser scanning and structure from motion (SfM) point clouds. *Forests*, 7(3), 62. <https://doi.org/10.3390/f7030062>
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300–314. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>



BÖLÜM 10

Bitkilerde Kuraklık Stresine Karşı Tolerans Mekanizmaları

Gökhan Baktemur¹ & Ecem Kara²

1. GİRİŞ

Artan nüfus ve buna bağlı olarak yükselen gıda talebi, dünya genelinde tarım üzerinde büyük bir sorumluluk oluşturmaktadır. Ancak tarımsal üretim; sınırlı arazi alanları, yetersiz mekanizasyon, çeşitli abiyotik ve biyotik stres faktörlerinin etkisiyle sürekli olarak kısıtlanmaktadır (Ahluwalia ve ark., 2021). Gıda güvenliği açısından tarıma olan bağımlılık, tüm modern toplumlarda değişmeyen bir olgudur. Nüfus artışına ek olarak küresel iklim değişikliği de sürdürülebilir tarım üzerinde büyük bir baskı oluşturmakta ve çevresel streslerin etkilerini daha da artırmaktadır. Bu stres faktörleri arasında kuraklık, çiftçilerin her yıl ürün büyümesi ve verimini tehdit eden en önemli abiyotik streslerden biridir (Liu ve ark., 2023).

Kuraklık stresi, her yıl tarımsal verimlilikte ciddi boyutlarda kayıplara yol açan başlıca çevresel stres etmenlerinden biridir. Yağış miktarındaki azalma ve kurak dönemlerin sıklığındaki artış, su kıtlığına ve dolayısıyla kuraklık koşullarının oluşumuna neden olmaktadır. Çoğu zaman kuraklık, tuzluluk, yüksek sıcaklık ve patojen saldırıları gibi diğer olumsuz etkilerle birlikte görülür. Bitkiler, evrimsel süreç boyunca kuraklık stresine karşı koyma amacıyla kapsamlı morfolojik, fizyolojik ve moleküler mekanizmalar geliştirmiştir (Ahluwalia ve ark., 2021). Bu mekanizmalar, bitkilerin su kaybını azaltmalarını, metabolik faaliyetlerini düzenlemelerini ve çevresel değişkenlere karşı daha dayanıklı hale gelmelerini sağlayarak tarımsal üretimin devamlılığı için kritik bir rol oynamaktadır (Liu ve ark., 2023). Bitkiler bu stres koşullarına tepki olarak çeşitli fizyolojik ve morfolojik değişimlere uğrarlar. Bu değişimler arasında terleme ve fotosentez hızında azalma, osmotik stres, kök ve gövde büyümesinin baskılanması, reaktif oksijen türlerinin (ROS) aşırı üretimi, stres sinyal yollarının yeniden düzenlenmesi ve erken yaşlanma yer alır. Bu tür değişimler, bitkilerde kalıcı hasara yol açabileceğinden, etkili

¹ Doç. Dr., Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi, ORCID: 0000-0002-0362-5108

² Arş. Gör. Dr., Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi, ORCID: 0000-0002-0118-2673

azaltma stratejilerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır (Ahluwalia ve ark., 2021).

Kuraklık, önemli bir çevresel zorluk olarak dünya genelinde tarımı ve gıda arz güvenliğini ciddi biçimde tehdit etmektedir. Bitkiler, çevrelerinden gelen uyarıları algılayarak çeşitli düzenleyiciler aracılığıyla savunma yollarını etkinleştirir ve bu stresle başa çıkmak için adaptif tepkiler geliştirir. Çok boyutlu bir özellik olan kuraklık toleransı, farklı mekanizmalar ve bileşenler temelinde ayrıştırılabilir. Osmotik stres, dehidrasyon stresi, plazma ve endozom zarlarının işlev bozukluğu, hücre turgorunun kaybı, metabolit sentezinin baskılanması, hücresel enerji tükenmesi, kloroplast fonksiyonlarının bozulması ve oksidatif stres, kuraklığın bitki hücreleri üzerindeki en kritik sonuçları arasındadır. Bu fizyolojik ve moleküler tepkilerin karmaşık etkileşimlerinin anlaşılması, bitkilerin kuraklık stresiyle başa çıkma stratejilerine dair derinlemesine bir kavrayış sağlar. Bitki hücreleri, kuraklık stresinin hücresel etkilerine direnmek ve bunları tersine çevirmek için çeşitli mekanizmalar geliştirmiştir. Bu mekanizmalar arasında hücre turgorunu korumak amacıyla osmotik ayarlama, koruyucu proteinlerin (örneğin dehidrinlerin) sentezi ve oksidatif stresin etkilerini dengelemek için antioksidan sistemlerin etkinleştirilmesi yer alır. Kuraklık toleransının daha iyi anlaşılması, su kaynaklarının sınırlı olduğu ortamlarda tarımsal sürdürülebilirliği teşvik edecek ve ürün dayanıklılığını artıracak spesifik stratejilerin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Haghpanah ve ark., 2024).

Bu bölümde, kuraklık stresinin bitkiler üzerindeki fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler etkilerini ele alarak, bitkilerin bu olumsuz koşullara karşı geliştirdikleri tolerans mekanizmalarını ortaya koymak ve sürdürülebilir tarım açısından önem taşıyan adaptif stratejilerin anlaşılmasına bilimsel bir temel oluşturmak amaçlanmaktadır.

02. KURAKLIĞIN BİTKİLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Kuraklık stresi, sınır tanımaksızın farklı ekosistemlerde ortaya çıkan ve önceden belirgin bir uyarı vermeden bitki biyokütlesini, kalitesini ve enerjisini olumsuz etkileyen kaçınılmaz bir çevresel faktördür. Sıcaklık değişimleri, ışık şiddeti ve yetersiz yağış gibi etmenlerin bir sonucu olarak ortaya çıkan bu stres, bitkiler için en önemli çevresel baskılardan biridir. Bununla birlikte, kümülatif etkisi, belirgin olmayan doğası ve çok boyutlu yapısı nedeniyle kuraklık stresi, bitkilerin morfolojik, fizyolojik,

biyokimyasal ve moleküler özelliklerini ciddi biçimde etkileyerek fotosentetik kapasitede düşüşe neden olur. Su kıtlığıyla başa çıkmak için bitkiler, tür düzeyinde farklılık gösteren çeşitli karmaşık direnç ve adaptasyon mekanizmaları geliştirmiştir. Bu mekanizmalar, bitkilerde su stresine toleransı artıran fizyolojik, biyokimyasal ve düzenleyici ağları içerir. Büyüme paterninin ve yapısal dinamiklerin değiştirilmesi, stoma iletkenliğinin ve dağılımının düzenlenmesi yoluyla terleme kaybının azaltılması, yaprak kıvrılması, kök-gövde oranı dinamiklerinin değiştirilmesi, kök uzunluğunun artırılması, uyumlu çözücülerin birikimi, terleme verimliliğinin artırılması, osmotik ve hormonal düzenleme ile yaprak yaşlanmasının geciktirilmesi; bitkilerin su eksikliği koşullarında başvurduğu stratejiler arasında yer almaktadır. Kuraklık stresinin hafifletilmesi için başlıca yaklaşımlar arasında ıslah stratejileri, moleküler ve genomik temelli yöntemler ile omik teknolojiler (metabolomik, proteomik, genomik, transkriptomik, glikomik ve fenomik) aracılığıyla stres toleransının artırılmasına yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Ayrıca tohum ön işleme (seed priming), büyüme hormonları, osmoprotektanlar, silikon (Si), selenyum (Se) ve potasyum uygulamaları, kuraklık koşullarında bitkilerde dayanıklılığı artıran etkili yöntemler arasındadır. Bunun yanında, mikroorganizma kullanımı, hidrojel ve nanoparçacık uygulamaları ile metabolik mühendislik teknikleri, antioksidan ve enzim aktivitelerini düzenleyerek hücresel homeostazın korunmasına, su stresinin olumsuz etkilerinin azaltılmasına ve bitki toleransının artırılmasına katkı sağlamaktadır. Tüm bu yaklaşımlar, tarımsal üretimde kuraklığa karşı sürdürülebilir adaptasyonun sağlanmasında büyük potansiyele sahiptir (Seleiman ve ark., 2021).

Çevresel stresler, bitki büyümesi üzerinde çok yönlü etkilere sahiptir. Aşırı stres koşulları, bitki biyokütlesi üretimi sırasında ciddi zararlara neden olabilir. Çevresel stres koşulları hızlı veya kademeli olarak değişebilir; bu nedenle bitkiler, hayatta kalabilmek için bu değişimleri uygun zamanlarda ve hızlarda biyolojik sinyaller aracılığıyla algılamak ve bunlara yanıt vermek zorundadır (Takahashi ve Shinozaki, 2019; Takahashi ve ark., 2020). Yüksek yapılı bitkiler, kuraklık da dahil olmak üzere çeşitli abiyotik streslere karşı optimal büyümeyi sürdürebilmek amacıyla karmaşık tepkiler ve adaptasyon mekanizmaları geliştirmiştir. Bu karmaşık fizyolojik tepkiler, kısa vadede stoma hücrelerinden terleme yoluyla su kaybını önlemeyi ve uzun vadede bitkinin bütünsel düzeyde stres direncini artırmayı amaçlayan çok sayıda hücresel ve moleküler

düzenleyici mekanizma gerektirir (Nakashima ve ark., 2014; Takahashi ve ark., 2018).

Kuraklık koşullarına dayanabilmek için bitkiler, reaktif oksijen türlerinin sentezi, etilen ve absisik asit gibi stres hormonlarının üretimi ile kök ve gövde morfolojisinde meydana gelen değişiklikler gibi çeşitli stresle başa çıkma mekanizmalarını kullanırlar (Etesami ve ark., 2015; Chiappero ve ark., 2019; Bhat ve ark., 2021; Ahluwalia ve ark., 2021). Bu mekanizmalar, bitkilerde kısa vadeli ve uzun vadeli tepkilerin oluşmasına yol açar. Kısa vadeli tepkiler genellikle stres süresinin kısa olduğu durumlarda ortaya çıkar. Bu tür tepkiler arasında karbon asimilasyonunun azalması, stoma kapanması, osmotik ayarlama, büyümenin baskılanması, hidrolik değişiklikler, sinyal taşınımı ve hücre düzeyinde kuraklık sinyalleşmesi yer alır. Normal çevresel koşullar kısa sürede geri döndüğü takdirde, bu kısa vadeli tepkiler genellikle bitkilerde kalıcı bir zarara yol açmaz. Buna karşılık, stres süresinin uzun olması bitkilerde daha tehlikeli ve kalıcı hasarlara, hatta ölümle sonuçlanabilecek etkilere neden olabilir. Uzun vadeli tepkiler arasında gövde büyümesinin baskılanması, metabolik adaptasyonlar, terleme alanının sınırlandırılması, tane gelişiminin durması ve yaşlanma bulunmaktadır (Kaur ve Asthir, 2017; Ahluwalia ve ark., 2021).

Kuraklık stresinin en önemli sonuçları arasında osmotik stres, dehidrasyon stresi, plazma ve endozom zarlarının işlev bozukluğu, hücresel turgorun kaybı, metabolit sentezinin baskılanması, hücresel enerji tükenmesi, fotosentezin bozulması ve oksidatif stres yer almaktadır. Yıllar boyunca kuruma sonucu ortaya çıkan hücresel etkiler büyük ilgi görmüş olsa da, bu süreçlerin tam olarak nasıl işlediği konusunda hâlâ kesin bir görüş birliği bulunmamaktadır. Bununla birlikte, hücre zarının bütünlüğünün kaybı, şiddetli kuraklık stresine maruz kalma sonrasında meydana gelen hücre ölümünün başlıca nedenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Bitki hücreleri, kuraklık stresinin hücresel etkilerine dayanmak ve bu etkileri tersine çevirmek için çeşitli proteinler üretir. Su eksikliği, hidrofobik etkinin azalmasına yol açarak proteinlerin denatürasyonuna ve zar yapısında lameller fazdan ters hekzagonal faza geçişe neden olur (Seddon, 1990; Haghpanah ve ark., 2024). Bu yapısal değişiklikler, hücre zarının kararlılığını ve fonksiyonelliğini bozarak bitki hücrelerinin canlılığını tehdit eder (Haghpanah ve ark., 2024).

Bitkiler kuraklık stresine yanıt verdiğinde absisik asit (ABA) biyosentezi uyarılır ve artan ABA, reseptörlerine bağlanarak sinyal

iletimini başlatır. Bu süreç, stomaların kapanması ve strese karşı çeşitli hücresel tepkilerin ortaya çıkmasına yol açar (Cutler ve ark., 2010; Itam ve ark., 2020). Stomaların kapanmasıyla birlikte terleme (transpirasyon) baskılanır ve bu sayede bitkiler, su kaybını önleyerek kuraklık koşullarında yeterli su seviyesini koruyabilir (Itam ve ark., 2020).

2.1. Fizyolojik Tepkiler

Kuraklık toleransı, hızlı stoma kapanmasından ürün veriminin korunmasına kadar uzanan farklı mekânsal ve zamansal ölçeklerde işleyen mekanizmaları içerir. Bu bağlamda, kısa vadeli mekanizmaların sürgün su potansiyelini dengelemek amacıyla nasıl kontrol edildiğini ve uzun vadeli süreçlerin, belirli kuraklık senaryolarına uyum sağlamak üzere evrimsel süreçler veya ıslah çalışmaları tarafından nasıl şekillendirildiğini incelemekteyiz. Kısa ve uzun vadeli bu geri besleme süreçleri, karbon birikimi ile zararlı toprak suyu tükenmesi riski arasındaki dengeyi belirleyen karşılıklı ödünleşimlerde rol oynamaktadır (Tardieu ve ark., 2018).

Kuraklığın bitkiler üzerindeki dikkat çekici etkileri arasında hücre genişlemesi ve bölünme hızının azalması, çimlenme oranının düşmesi, yaprak alanının küçülmesi, stoma tepkilerinin bozulması ve klorofil seviyelerinin azalması yer almaktadır (Kozlowski ve ark., 2002; Bashir ve ark., 2021). Bununla birlikte bitkiler, su eksikliğini azaltmak (örneğin stoma kapanması, yaprak yüzey alanının küçülmesi gibi) veya su alımını artırmak (örneğin derin kök sistemleri geliştirmek yoluyla) gibi stratejilerle su yetersizliğini kısmen telafi edebilir. Su eksikliği koşullarına maruz kalan bitkilerde temel bir tepki büyümenin durmasıdır. Kuraklık stresi altında sürgün gelişiminin kısıtlanması, bitkinin metabolik taleplerini azaltarak enerji tasarrufu sağlar. Bu durumda, bitki osmotik dengeyi korumak için gerekli savunma bileşiklerinin sentezinde kullanılacak metabolitleri bir araya getirir (Bashir ve ark., 2021). Kök gelişiminin kısıtlanması, kök meristemin işlevini düzenler ve stres ortadan kalktığında kök büyümesinin yeniden başlamasını teşvik eder (Hsiao ve Xu, 2000; Bashir ve ark., 2021). Bitkilerin su eksikliği koşullarına verdiği yanıt son derece karmaşıktır; farklı bitki türleri, gelişim evreleri ve su yetersizliğinin derecesine bağlı olarak bu yanıt büyük ölçüde değişkenlik gösterir (Farooq ve ark., 2009; Aslam ve ark., 2014; Bashir ve ark., 2021). Su kıtlığı, kök ve sürgün gelişiminde belirgin bir yavaşlamaya, yaprak alanında azalmaya ve dolayısıyla genel büyüme ve gelişmede gerilemeye yol açar (Anjum ve ark., 2011; Bashir ve ark., 2021).

2.2. Biyokimyasal Etkiler

Bitkilerin çeşitli moleküler, biyokimyasal, fizyolojik, morfolojik ve ekolojik özellikleri ile süreçleri, kuraklık stresi koşullarında olumsuz yönde etkilenmektedir (Ortiz ve ark., 2015; Seleiman ve ark., 2021). Bitkilerin kuraklığa verdikleri tepkileri etkileyen başlıca faktörler; büyüme evresi, yaş, bitki türü, kuraklığın şiddeti ve süresidir (Gray ve Brady, 2016; Seleiman ve ark., 2021). Kuraklığa karşı direnç mekanizmaları ise bitki türleri arasında farklılık göstermektedir. Bu nedenle bitkiler, kaynak kullanımını azaltarak ve büyüme modellerini uyarlayarak kuraklık gibi olumsuz çevresel koşullara karşı dayanıklılık gösterebilme yeteneğine sahiptir (Osakabe ve ark., 2014; Bielach ve ark., 2017; Seleiman ve ark., 2021).

Kuraklık, bitki hücrelerinde reaktif oksijen türlerinin (ROS) süperoksit radikali, hidrojen peroksit, hidroksil radikali ve tekil oksijen üretimini uyararak oksidasyona neden olur. Bitkilerde ROS üretimi, fotosentez ve antioksidan savunma sistemi gibi çeşitli fizyolojik ve metabolik süreçler üzerinde olumsuz etkilere yol açar; bu durum lipid peroksidasyonu, klorofilin parçalanması, zar kararlılığının bozulması ve iyon sızıntısı gibi sonuçlar doğurur (Hossain ve ark., 2013; Zou ve ark., 2021; Bashir ve ark., 2021). Normal koşullar altında, ROS üretimi ile ROS temizlenmesi arasında bir denge bulunur ve bu denge hücrel ROS düzeyinin sabit kalmasını sağlar. Ancak, kuraklık da dahil olmak üzere çeşitli stres koşullarında bu denge bozulur; ROS üretimi temizleme kapasitesini aşar ve sonuç olarak oksidatif stres ortaya çıkar. Bununla birlikte, ROS üretimindeki erken artış, temizleme mekanizmalarının yetersiz kaldığı aşamaya ulaşmadan önce savunma tepkilerini tetikleyen bir sinyal sistemi olarak da işlev görebilir. ROS'un sinyal iletimindeki rolü, özellikle patojenlere karşı savunma tepkilerinde belirgindir; burada oksidatif stresin oluşumu, savunma mekanizmalarını harekete geçiren sinyal yollarını uyarır (Lamb ve Dixon, 1997; Bashir ve ark., 2021).

2.3. Moleküler Etkiler

Su stresinin olumsuz etkilerini hafifletmek amacıyla biyokimyasal ve moleküler faktörler arasında transkripsiyon mekanizmaları, stresle ilişkili genler ve absisik asit yer almaktadır (Osakabe ve ark., 2014; Seleiman ve ark., 2021). Kuraklığa karşı artan toleransın yanı sıra, ıslah programları da farklı stresle ilişkili genlerin transgenik ekspresyonu yoluyla diğer çevresel streslerin de kontrol altına alınmasını hedeflemektedir (Rai ve Rai, 2014;

Liu ve ark., 2020; Seleiman ve ark., 2021). Ancak bu genlerin artan ifadesi çoğu zaman bitki büyüme hızında yavaşlamaya neden olmakta ve bu durum, uygulamadaki etkinliğini sınırlayabilmektedir. Dolayısıyla, kuraklık direncinin moleküler ve genetik temellerinin daha iyi anlaşılması, bu koşullarla başarılı bir şekilde başa çıkmak için hâlâ büyük önem taşımaktadır (Hussain ve ark., 2018; Seleiman ve ark., 2021). Stres toleransı ile ilişkili genlerin moleküler düzeydeki etkileşimleri, kantitatif özellik lokusları (QTL) ile çapraz iletişim gösterir; bu da stresle ilişkili genlerin etkileşimini ve klonlanmasını mümkün kılar (Nakashima ve ark., 2014; Seleiman ve ark., 2021). Genel olarak, belirteç (marker) temelli seçim, moleküler ıslah ve geleneksel ıslah yaklaşımlarının entegre biçimde bir arada kullanılması, bitkilerde abiyotik stres toleransını artırmaya yönelik genetik mühendisliği çalışmalarında en etkili strateji olarak kabul edilmektedir (Bhatnagar-Mathur ve ark., 2018; Cho ve Hong, 2006; Seleiman ve ark., 2021).

3. BİTKİLERİN KURAKLIĞA VERDİĞİ TEPKİLER

Kuraklık stresi sırasında bitkiler, su yetersizliği nedeniyle ciddi zorluklarla karşı karşıya kalır. Yüksek ozmolalite veya kuraklık koşulları, bitki dokularında dehidrasyona yol açarak hücre turgorunun ve hücre duvarına uygulanan basıncın azalmasına neden olur; bu iki faktör, bitkinin gelişimi ve yapısal bütünlüğünün korunması için kritik öneme sahiptir (Raza ve ark., 2013; Ali ve ark., 2022; Ali ve ark., 2025). Kuraklık stresi sırasında bitkilerin karşılaştığı diğer zorluklar arasında fotosentezin engellenmesine bağlı enerji krizi ve zararlı metabolitlerin üretimi yer alır. Bununla birlikte, bitkiler kuraklık koşullarında hayatta kalmak için çeşitli adaptif stratejiler geliştirir. Bu stratejiler arasında derin ve geniş kök sistemleri sayesinde su alımını artırmak, daha küçük ve etli yapraklar üretmek, difüzyon direncini yükseltmek, yaprak solması yoluyla su kaybını azaltmak ve transpirasyonu yavaşlatmak gibi tepkiler bulunur (Farooq ve ark., 2012; Ali ve ark., 2025).

Bitkiler su yetersizliğine karşı koymak amacıyla osmotik ayarlamalarını, yaprak ve köklerinde şeker birikimini artırarak sürdürürler (Miranda ve ark., 2020; Ali ve ark., 2025). Kuraklık süresince bitkiler, morfolojik değişiklikler (Basu ve ark., 2016; Ali ve ark., 2025) ve fizyolojik değişiklikler örneğin hücre zarı stabilitesi ve osmotik düzenleme sergiler (Abid ve ark., 2018; Ali ve ark., 2025). Biyokimyasal düzeyde ise bitkiler, kalsiyum, reaktif oksijen türleri (ROS) ve absisik asit (ABA) gibi çeşitli sinyal molekülleri üretir. Bu moleküller, stomaların kapanmasını

sağlayarak su kaybını azaltır ve kuraklığa karşı savunma mekanizmalarını harekete geçirir (Kim ve ark., 2024; Ali ve ark., 2025).

Bitkiler, topraktaki su eksikliğini algılayarak kuraklık sinyallerini yeraltı organlarından (köklerden) yerüstü kısımlara (yapraklara) iletir ve bu sayede absisik asit (ABA) birikimi yoluyla kuraklığa uyum sağlar (Nong ve ark., 2023; Ali ve ark., 2025). Kalsiyum kanalları, RBOH enzimleri, pH değişimleri, hormonlar, peptitler ve diğer ikincil sinyal molekülleri gibi birçok unsur, kökten gövdeye uzun mesafeli kuraklık sinyalleşmesinde rol oynamaktadır (Ali ve ark., 2025). Bu bileşenler arasında ABA, bitkilerde sistemik kuraklık sinyalleşmesini yönlendiren en kritik fitohormonlardan biridir. ABA reseptörlerinin keşfi ve temel ABA sinyal yolunun çözülmesi, bitkilerde kuraklık sinyalleşmesi alanındaki en önemli bilimsel gelişmelerden biri olmuştur. Örneğin, PYR/PYL/RCAR olarak da bilinen PYL proteinlerinin ABA reseptörleri olarak tanımlanması, bitkilerde stres sinyalleşmesi araştırmalarında çığır açan bir buluş olup, kuraklık sinyalleşmesinin anlaşılmasında yeni ufuklar açmıştır (Kuromori ve ark., 2022; Ali ve ark., 2025).

4. MOLEKÜLER VE GENETİK YAKLAŞIMLAR

Kuraklık stresi, bitkilerin metabolik aktivitelerini ve biyolojik işlevlerini değiştirerek büyüme ve gelişmelerini sınırlar. Ancak bitkiler, bu stres koşullarının üstesinden gelebilmek için çeşitli hücrel ve moleküler mekanizmalar geliştirmiştir. Kuraklık toleransı, sinyal mekanizmalarının etkinleşmesi ve farklı biçimlerde ifade edilen moleküler tepkileri içeren çok yönlü bir özelliktir. Genel olarak, kuraklık toleransı iki temel aşamadan oluşur: (1) stresin algılanması ve sinyal iletimi, (2) fizyolojik, moleküler ve biyokimyasal süreçleri kapsayan paralel stres yanıtlarının aktive edilmesi. Hücrel düzeyde kuraklık, reaktif oksijen türlerinin (ROS) aşırı üretimiyle oksidatif strese neden olur; bu da hücre zarının parçalanmasına ve çeşitli stres sinyal yollarının ROS, mitojenle aktive olan protein kinaz (MAPK), Ca^{2+} ve hormon aracılı sinyal ağlarının uyarılmasına yol açar (Mahmood ve ark., 2019).

Bitkiler su kıtlığı nedeniyle strese girdiğinde, hücre duvarının parçalanması, stresle ilişkili sinyallerin başlatılmasını sağlayan belirli protein moleküllerinin üretimini tetikler (Levin, 2011; Khan ve ark., 2025). Kuraklık stresi, birçok protein ve metabolit, moleküler şaperon, özgül enzim ve transkripsiyon faktörü (TF) içeren karmaşık sinyal yollarını etkinleştirir (Scrimale ve ark., 2009; Khan ve ark., 2025). Önceki

araştırmalar, kuraklık koşullarında farklı genlerin ekspresyonunun değiştiğini ortaya koymuştur (Le ve ark., 2012; Khan ve ark., 2025). Bu kuraklık stresine bağlı genlerin aktivitesi, onların transkripsiyonel dzenleme de dahil olmak üzere birçok hüresel sinyal yolunda ve biyolojik tepkide görev aldığını göstermektedir (Liu ve ark., 2020; Khan ve ark., 2025). Kuraklığa yanıt veren başlıca transkripsiyon faktörleri arasında Basic Helix-Loop-Helix (bHLH), MYC Proto-Oncogene (MYC), Myeloblastosis Viral Oncogene Homolog (MYB), NAM, ATAF1 ve CUC1 (NAC), WRKY Domain (WRKY), Dehydration-Responsive Element-Binding (DREB) ve Basic Leucine Zipper (bZIP) yer alır. Ayrıca, mitojenle aktive edilen protein kinazlar (MAPK'lar), kalsiyuma bağımlı protein kinazlar (CDPK'ler) gibi protein kinazlar ve bazı reseptör proteinleri de bu süreçte rol oynar (Zhang ve ark., 2021; Khan ve ark., 2025).

5. TARIMSAL VE EKOLOJİK BOYUTLAR

Kuraklık stresi, uzun süreli ortalamanın altındaki yağış dönemleri ve buna sıklıkla eşlik eden yüksek sıcaklıklar nedeniyle, dünya genelinde tarımsal üretkenlik üzerinde önemli ölçüde olumsuz etki yaratmaktadır. Kuraklığın meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik olmak üzere üç ana kategoriye ayrılması, suya erişim açısından ortaya çıkan farklı engelleri ve bu engellerin bitki büyümesi ile verim üzerindeki doğrudan etkilerini vurgular. Kuraklık stresi, bitkilerin metabolik faaliyetlerini aksatır, fizyolojik süreçleri engeller ve büyümeyi yavaşlatır; bunun sonucunda, bitki türüne ve gelişim evresine bağlı olarak %30 ile %90 arasında değişen verim kayıpları meydana gelir. Bitkiler, kuraklık stresine yanıt olarak iki temel strateji uygular: aklimatizasyon (kısa vadeli uyum) ve adaptasyon (uzun vadeli evrimsel uyum). Bitkiler yeni çevresel koşullara uyum sağlarken fizyolojik ve biyokimyasal yapılarında hızlı değişimler meydana gelir; örneğin, osmotik basınç dzenlenir, antioksidan mekanizmalar aktive edilir ve morfolojik değişiklikler (daha uzun kökler, daha küçük yapraklar) gözlemlenir. Uzun vadede ortaya çıkan adaptasyon, bitkilerin kserofitizm (kurak ortama dayanıklılık) ve sukkulens (etli doku oluşumu) gibi özellikler geliştirmesiyle karakterizedir. Bu süreçler birlikte, bitkinin hüresel bütünlüğünü korumasını, su dengesini dzenlemesini ve su kısıtlı ortamlarda başarılı bir şekilde üreyebilmesini sağlar (Khan ve ark., 2025).

6. SONUÇ

Kuraklık stresi, küresel ölçekte tarımsal üretim ve gıda güvenliği açısından en yıkıcı abiyotik stres faktörlerinden biri olarak önemini korumaktadır. Artan sıcaklıklar, düzensiz yağış rejimleri ve iklim değişikliğinin yol açtığı çevresel dengesizlikler, bitkilerin büyüme, gelişme ve verim süreçlerini ciddi biçimde tehdit etmektedir. Bitkiler, su kıtlığına karşı hayatta kalabilmek için fizyolojik, biyokimyasal, moleküler ve morfolojik düzeylerde çok katmanlı adaptasyon stratejileri geliştirmiştir. Bu stratejiler; osmotik ayarlama, stomatal düzenleme, antioksidan savunma sistemlerinin güçlendirilmesi, stres hormonlarının (özellikle ABA) etkinleşmesi, sinyal iletim ağlarının yeniden programlanması ve gen ekspresyonunun dinamik biçimde düzenlenmesi gibi çok yönlü süreçleri içermektedir. Bununla birlikte, kuraklık toleransının doğal varyasyonları çoğu zaman tarımsal üretimde istenen düzeyde dayanıklılık sağlamamaktadır. Bu nedenle, kuraklık stresine karşı dirençli bitki türlerinin geliştirilmesi, sürdürülebilir tarım ve gıda güvenliği açısından öncelikli bir hedef olmalıdır. Günümüzde moleküler ıslah, gen düzenleme teknolojileri (örneğin CRISPR/Cas9), omik temelli analizler (transkriptomik, proteomik, metabolomik ve epigenomik) ve biyoteknolojik uygulamalar, kuraklık toleransının genetik temelini aydınlatılmasına ve yeni dayanıklı genotiplerin geliştirilmesine büyük katkı sağlamaktadır. Ayrıca, ekolojik ve tarımsal uygulamaların bütünleştirilmesi—örneğin bitki büyümesini teşvik eden bakterilerin (PGPR) kullanımı, biyokömür (biochar) uygulamaları ve nanoparçacık bazlı teknolojilerin entegrasyonu—bitkilerin su kullanım verimliliğini artırarak stres koşullarına uyumunu desteklemektedir. Bu çok yönlü yaklaşımlar, yalnızca bitki düzeyinde değil, ekosistem ölçeğinde de dirençli tarım sistemlerinin oluşturulmasını mümkün kılacaktır. Sonuç olarak, kuraklık stresıyla mücadelede başarı, yalnızca genetik ve moleküler düzeydeki ilerlemelerle değil, aynı zamanda ekolojik, agronomik ve teknolojik bilgilerin bütüncül biçimde uygulanmasıyla sağlanabilir. Bu amaçla, disiplinler arası iş birliğine dayalı araştırmaların artırılması, politika yapıcılar ve üreticiler arasında bilgi akışının güçlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Geleceğin sürdürülebilir tarımı, su kaynaklarını etkin kullanan, çevre dostu, yüksek verimli ve stres koşullarına dayanıklı bitki çeşitlerinin geliştirilmesine bağlıdır.

KAYNAKLAR

- Abid, M., Ali, S., Qi, L. K., Zahoor, R., Tian, Z., Jiang, D., &. (2018). Physiological and biochemical changes during drought and recovery periods at tillering and jointing stages in wheat. *Triticum aestivum L. Sci. Rep.* 8, 4615. doi: 10.1038/s41598-018-21441-7
- Ahluwalia, O., Singh, P. C., & Bhatia, R. (2021). A review on drought stress in plants: Implications, mitigation and the role of plant growth promoting rhizobacteria. *Resources, Environment and Sustainability*, 5, 100032.
- Ali, S., Tyagi, A., Park, S., Mir, R. A., Mushtaq, M., Bhat, B., ... & Bae, H. (2022). Deciphering the plant microbiome to improve drought tolerance: mechanisms and perspectives. *Environmental and Experimental Botany*, 201, 104933.
- Ali, S., Mir, R. A., Haque, M. A., Danishuddin, Almalki, M. A., Alfredan, M., ... & Mir, Z. A. (2025). Exploring physiological and molecular dynamics of drought stress responses in plants: challenges and future directions. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1565635.
- Anjum, S. A., Xie, X., Wang, L. C., Saleem, M. F., Man, C., & Lei, W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African journal of agricultural research*, 6(9), 2026-2032.
- Aslam, M., Zamir, M. S. I., Afzal, I., & Amin, M. (2014). Role of potassium in physiological functions of spring maize (*Zea mays L.*) grown under drought stress. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences*, 24(5).
- Bashir, S. S., Hussain, A., Hussain, S. J., Wani, O. A., Zahid Nabi, S., Dar, N. A., ... & Mansoor, S. (2021). Plant drought stress tolerance: Understanding its physiological, biochemical and molecular mechanisms. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 35(1), 1912-1925.
- Basu, S., Ramegowda, V., Kumar, A., & Pereira, A. (2016). Plant adaptation to drought stress. *F1000 Res.* 5. doi: 10.12688/f1000research
- Bhat, M. A., Mir, R. A., Kumar, V., Shah, A. A., Zargar, S. M., Rahman, S., & Jan, A. T. (2021). Mechanistic insights of CRISPR/Cas-mediated genome editing towards enhancing abiotic stress tolerance in plants. *Physiologia plantarum*, 172(2), 1255-1268.
- Bhatnagar-Mathur, P., Vadez, V., & Sharma, K. K. (2008). Transgenic approaches for abiotic stress tolerance in plants: retrospect and prospects. *Plant cell reports*, 27(3), 411-424.

- Bielach, A., Hrtyan, M., & Tognetti, V. B. (2017). Plants under stress: involvement of auxin and cytokinin. *International journal of molecular sciences*, 18(7), 1427.
- Chiappero, J., del Rosario Cappellari, L., Alderete, L. G. S., Palermo, T. B., & Banchio, E. (2019). Plant growth promoting rhizobacteria improve the antioxidant status in *Mentha piperita* grown under drought stress leading to an enhancement of plant growth and total phenolic content. *Industrial Crops and Products*, 139, 111553.
- Cho, E. K., & Hong, C. B. (2006). Over-expression of tobacco NtHSP70-1 contributes to drought-stress tolerance in plants. *Plant cell reports*, 25(4), 349-358.
- Cutler, S. R., Rodriguez, P. L., Finkelstein, R. R., & Abrams, S. R. (2010). Abscisic acid: emergence of a core signaling network. *Annual review of plant biology*, 61(1), 651-679.
- Etesami, H., Alikhani, H. A., & Mirseyed Hosseini, H. (2015). Indole-3-acetic acid and 1-minocyclopropane-1-carboxylate deaminase: bacterial traits required in rhizosphere, rhizoplane and/or endophytic competence by beneficial bacteria. *Bacterial metabolites in sustainable agroecosystem*, 183-258.
- Farooq, M., Basra, S., Wahid, A., Ahmad, N., & Saleem, B. A. (2009). Improving the drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) by exogenous application of salicylic acid. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195(4), 237-246.
- Farooq, M., Hussain, M., Wahid, A., & Siddique, K. H. M. (2012). Drought stress in plants: an overview. *Plant responses to drought stress: From morphological to molecular features*, 1-33.
- Gray, S. B., & Brady, S. M. (2016). Plant developmental responses to climate change. *Developmental biology*, 419(1), 64-77.
- Haghpanah, M., Hashemipetroudi, S., Arzani, A., & Araniti, F. (2024). Drought tolerance in plants: physiological and molecular responses. *Plants*, 13(21), 2962.
- Hossain, M. A., Mostofa, M. G., & Fujita, M. (2013). Cross protection by cold-shock to salinity and drought stress-induced oxidative stress in mustard (*Brassica campestris* L.) seedlings. *Molecular Plant Breeding*, 4.
- Hsiao, T. C., & Xu, L. K. (2000). Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. *Journal of experimental botany*, 51(350), 1595-1616.

- Itam, M., Mega, R., Tadano, S., Abdelrahman, M., Matsunaga, S., Yamasaki, Y., ... & Tsujimoto, H. (2020). Metabolic and physiological responses to progressive drought stress in bread wheat. *Scientific Reports*, 10(1), 17189.
- Kaur, G., & Asthir, B. (2017). Molecular responses to drought stress in plants. *Biologia plantarum*, 61(2), 201-209.
- Khan, A. A., Wang, Y. F., Akbar, R., & Alhoqail, W. A. (2025). Mechanistic insights and future perspectives of drought stress management in staple crops. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1547452.
- Kim, J. S., Kidokoro, S., Yamaguchi-Shinozaki, K., & Shinozaki, K. (2024). Regulatory networks in plant responses to drought and cold stress. *Plant physiology*, 195(1), 170-189.
- Kozlowski, T. T., & Pallardy, S. G. (2002). Acclimation and adaptive responses of woody plants to environmental stresses. *The botanical review*, 68(2), 270-334.
- Kuromori, T., Fujita, M., Takahashi, F., Yamaguchi-Shinozaki, K., & Shinozaki, K. (2022). Inter-tissue and inter-organ signaling in drought stress response and phenotyping of drought tolerance. *Plant J.* 109, 342–358. doi: 10.1111/tpj.v109.2
- Lamb, C., & Dixon, R. A. (1997). The oxidative burst in plant disease resistance. *Annual review of plant biology*, 48(1), 251-275.
- Le, D. T., Nishiyama, R., Watanabe, Y., Tanaka, M., Seki, M., Ham, L. H., ... & Tran, L. S. P. (2012). Differential gene expression in soybean leaf tissues at late developmental stages under drought stress revealed by genome-wide transcriptome analysis. *PloS one*, 7(11), e49522.
- Levin, D. E. (2011). Regulation of cell wall biogenesis in *Saccharomyces cerevisiae*: the cell wall integrity signaling pathway. *Genetics*, 189(4), 1145-1175.
- Liu, J., Deng, J. L., & Tian, Y. (2020). Transcriptome sequencing of the apricot (*Prunus armeniaca* L.) and identification of differentially expressed genes involved in drought stress. *Phytochemistry*, 171, 112226.
- Liu, S., Wang, H., & Qin, F. (2023). Genetic dissection of drought resistance for trait improvement in crops. *The Crop Journal*, 11(4), 975-985.
- Mahmood, T., Khalid, S., Abdullah, M., Ahmed, Z., Shah, M. K. N., Ghafoor, A., & Du, X. (2019). Insights into drought stress signaling in plants and the molecular genetic basis of cotton drought tolerance. *Cells*, 9(1), 105.

- Miranda, M. T., Da Silva, S. F., Silveira, N. M., Pereira, L., Machado, E. C., & Ribeiro, R. V. (2021). Root osmotic adjustment and stomatal control of leaf gas exchange are dependent on citrus rootstocks under water deficit. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40(1), 11-19.
- Nakashima, K., Yamaguchi-Shinozaki, K., & Shinozaki, K. (2014). The transcriptional regulatory network in the drought response and its crosstalk in abiotic stress responses including drought, cold, and heat. *Frontiers in plant science*, 5, 170.
- Nong, Q., Lin, L., Xie, J., Mo, Z., Malviya, M. K., Solanki, M. K., et al. (2023). Regulation of an endophytic nitrogen-fixing bacteria GXS16 promoting drought tolerance in sugarcane. *BMC Plant Biol.* 23, 573. doi: 10.1186/s12870-023-04600-5
- Ortiz, N., Armada, E., Duque, E., Roldán, A., & Azcón, R. (2015). Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi and/or bacteria to enhancing plant drought tolerance under natural soil conditions: effectiveness of autochthonous or allochthonous strains. *Journal of plant physiology*, 174, 87-96.
- Osakabe, Y., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K., & Tran, L. S. P. (2014). ABA control of plant macroelement membrane transport systems in response to water deficit and high salinity. *New Phytologist*, 202(1), 35-49.
- Rai, K. K., & Rai, A. C. (2020). Recent transgenic approaches for stress tolerance in crop plants. In *Sustainable Agriculture in the Era of Climate Change* (pp. 533-556). Cham: Springer International Publishing.
- Raza, S., Farrukh Saleem, M., Mustafa Shah, G., Jamil, M., & Haider Khan, I. (2013). Potassium applied under drought improves physiological and nutrient uptake performances of wheat (*Triticum Aestivum* L.). *Journal of soil science and plant nutrition*, 13(1), 175-185.
- Scrimale, T., Didone, L., de Mesy Bentley, K. L., & Krysan, D. J. (2009). The unfolded protein response is induced by the cell wall integrity mitogen-activated protein kinase signaling cascade and is required for cell wall integrity in *Saccharomyces cerevisiae*. *Molecular biology of the cell*, 20(1), 164-175.
- Seddon, J. M. (1990). Structure of the inverted hexagonal (HII) phase, and non-lamellar phase transitions of lipids. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Reviews on Biomembranes*, 1031(1), 1-69.
- Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., ... & Battaglia, M. L. (2021). Drought stress impacts on plants and

- different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, *10*(2), 259.
- Takahashi, F., Kuromori, T., Sato, H., & Shinozaki, K. (2018). Regulatory gene networks in drought stress responses and resistance in plants. *Survival strategies in extreme cold and desiccation: adaptation mechanisms and their applications*, 189-214.
- Takahashi, F., & Shinozaki, K. (2019). Long-distance signaling in plant stress response. *Current opinion in plant biology*, *47*, 106-111.
- Takahashi, F., Kuromori, T., Urano, K., Yamaguchi-Shinozaki, K., & Shinozaki, K. (2020). Drought stress responses and resistance in plants: from cellular responses to long-distance intercellular communication. *Frontiers in plant science*, *11*, 556972.
- Tardieu, F., Simonneau, T., & Muller, B. (2018). The physiological basis of drought tolerance in crop plants: a scenario-dependent probabilistic approach. *Annual review of plant biology*, *69*, 733-759.
- Zhang, J., Huang, D., Zhao, X., & Zhang, M. (2021). Evaluation of drought resistance and transcriptome analysis for the identification of drought-responsive genes in *Iris germanica*. *Scientific Reports*, *11*(1), 16308.
- Zou, Y. N., Wu, Q. S., & Kuča, K. (2021). Unravelling the role of arbuscular mycorrhizal fungi in mitigating the oxidative burst of plants under drought stress. *Plant Biology*, *23*, 50-57.



BÖLÜM 11

Guibourtia ehie (Gonfola) ve Pterygota macrocarpa (Koto) Odunlarında Parlaklık, Sertlik ve Renk Özellikleri Üzerine Isıl İşlemin Etkileri

Hikmet Yazıcı¹

Giriş

Ahşap rengi son tüketici için çok önemli bir özelliktir. Dekoratif işlev nedeniyle ahşabın daha koyu tonu tercih edilir. Genetik faktörler doğal ahşabın rengini büyük ölçüde etkileyebilir (Burtin ve diğ., 1998).

Ahşabın ısıtılması, çevre dostu bir odun koruma tekniğidir. Ahşap, türlerine ve gerekli özelliklerine bağlı olarak 200°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ısıtılır (Kocaefe ve diğ., 2010). Isıl işlem, bazen ahşabın kalitesini iyileştirmek için kullanılan ahşap koruma da kullanılan kimyasal yönteme alternatiftir (Awoyemi ve Jones 2011, Poncsak ve diğ., 2006).

Koto odunu yoğunluğu 640 kg/m³, eğilme direnci 65.30 N/mm², elastikiyet modülü 8201 N/mm², makaslama direnci 10.45 N/mm², liflere paralel basınç direnci 59.07 N/mm² ve dinamik eğilme direnci 1.56 N-mm dir (Ayarkwa 1998).

Bu çalışmada, 200°C'de 3 saat süre ile ısıtılma işlemi görmüş ve görmemiş gonfola (*Qualea rosea*) ve koto (*Pterygota macrocarpa* K. Schum.) ağaç türlerine ait deney örnekleri üzerinde parlaklık değerleri, shore - D sertlik değeri ve renk parametreleri ait sonuçlar belirlenmiştir. Bu çalışmanın daha önce yapılmadığı literatürde araştırmasında görülmektedir. Elde edilen bu sonuçların bu ağaç türlerine ait literatür bilgisine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Materyal ve Metot

Bu çalışmada gonfola (*Qualea rosea*) ve koto (*Pterygota macrocarpa* K. Schum.) ağaç türleri seçilmiştir. Ahşap malzemeler 100 x 6 x 0.7 cm boyutlarında olarak Bartın Kartal Orman Ürünleri Sanayi'nden temin

¹ Doç. Dr., Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Çaycuma Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, İç Mekân Tasarımı Programı, Zonguldak

edilmiştir. Isıl işlemsiz deney örneklerine ait görüntüleri Şekil 1’de verilmiştir.

Ahşap örnekler, 200 °C’de 3 saat süreyle ısıtılma tabi tutulmuştur. Isıl işlem uygulanmış örneklerle ait görseller Şekil 1’de sunulmaktadır. Isıl işlem görmüş ve görmemiş örneklerin sertlik değerleri, 5 kg yük kapasitesine sahip bir platformda ASTM D2240 (2010) standardına göre belirlenmiştir.

Renk parametreleri ASTM D2244-3 (2007) standardına göre ölçülmüş olup, Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) sistemine dayalı L*, a* ve b* değerleri kullanılmıştır. L* ışıklılığı, a* kırmızı-yeşil eksenini, b* ise sarı-mavi eksenini ifade etmektedir. Ayrıca ΔE^* , ΔL^* , Δa^* ve Δb^* değerleri hesaplanmıştır (Ayata et al., 2017).

Parlaklık değerleri (20°, 60° ve 85°), liflere paralel yönde, ısıtılmalı ve işlemsiz örneklerde gloss ölçer kullanılarak belirlenmiştir.

Renk, parlaklık ve Shore-D sertlik testlerinden elde edilen veriler SPSS 17.0 (Sun Microsystems, Inc., Santa Clara, CA, USA) yazılımı ile analiz edilmiştir. Varyans analizleri (ANOVA), ortalama, standart sapma, minimum, maksimum, varyasyon katsayıları ve homojenlik grupları hesaplanmış; sonuçlar tablolar halinde sunulmuştur.

Şekil 1 . Isıl işlemlili ve işlemsiz deney örneklerine ait görüntüleri (D)



Bulgular ve Tartışma

Renk parametreleri, parlaklık değerleri ve shore - D sertlik testi için belirlenmiş olan varyans (ANOVA)analizi sonuçları Tablo 1’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre, ışıklılık değeri (L^*), kırmızı renk tonu değeri (a^*), sarı renk tonu değeri (b^*), 20°, 60° ve 85°’de liflere paralel parlaklık değerleri için

Guibourtia ehie (Gonfolo) ve Pterygota macrocarpa (Koto) odunlarında ısıl işlemin parlaklık, sertlik ve renk parametreleri (L^* , a^* , b^*) üzerindeki etkilerini test eden iki faktörlü ANOVA sonuçlarını içermektedir. Faktörler: Ağaç Türü (A), Isıl İşlem (B), Ağaç Türü $\times$ Isıl İşlem Etkileşimi (AB)dir.

Tablo 1. Varyans Analizi Sonuçları

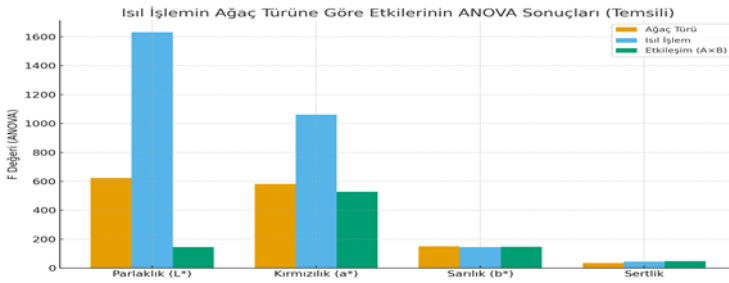
Test	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0,05$
Işıklılık (L^*)	Ağaç Türü (A)	983.568	1	983.568	622.922	0.000*
	İşlem (B)	9992.237	1	9992.237	6328.376	0.000*
	Etkileşim (AB)	143.073	1	143.073	90.612	0.000*
	Hata	56.842	36	1.579		
	Toplam	99798.175	40			
Kırmızı renk (a^*)	Ağaç Türü (A)	147.879	1	147.879	690.032	0.000*
	İşlem (B)	124.856	1	124.856	582.605	0.000*
	Etkileşim (AB)	530.785	1	530.785	2476.752	0.000*
	Hata	7.715	36	0.214		
	Toplam	3122.091	40			
Sarı renk (b^*)	Ağaç Türü (A)	13.145	1	13.145	14.749	0.000*
	İşlem (B)	2037.899	1	2037.899	2286.609	0.000*
	Etkileşim (AB)	240.051	1	240.051	269.347	0.000*
	Hata	32.084	36	0.891		
	Toplam	13097.001	40			
Parlaklık //20°	Ağaç Türü (A)	0.156	1	0.156	73.052	0.000*
	İşlem (B)	1.980	1	1.980	925.831	0.000*
	Etkileşim (AB)	0.056	1	0.056	26.299	0.000*
	Hata	0.077	36	0.002		
	Toplam	8.590	40			
Parlaklık //60°	Ağaç Türü (A)	0.756	1	0.756	28.212	0.000*
	İşlem (B)	30.450	1	30.450	1135.968	0.000*
	Etkileşim (AB)	0.132	1	0.132	4.934	0.033*
	Hata	0.965	36	0.027		
	Toplam	241.610	40			
Parlaklık //85°	Ağaç Türü (A)	693.056	1	693.056	2396.506	0.000*
	İşlem (B)	382.542	1	382.542	1322.786	0.000*
	Etkileşim (AB)	144.020	1	144.020	498.005	0.000*
	Hata	10.411	36	0.289		
	Toplam	3587.790	40			
Shore-D Sertlik	Ağaç Türü (A)	2220.100	1	2220.100	1631.094	0.000*
	İşlem (B)	160.000	1	160.000	117.551	0.000*
	Etkileşim (AB)	0.400	1	0.400	0.294	0.591**
	Hata	49.000	36	1.361		
	Toplam	135832.000	40			

*: Anlamlı, **: Anlamsız

Ağaç türü, ısıt işlem ve etkileşim faktörlerinin tamamında $p < 0,05$ (anlamlı) bulunmuştur. Bu durum, parlaklık üzerinde hem tür farklılıklarının hem de ısıt işlemin bağımsız etkilerinin yanı sıra tür-ışıl etkileşiminin de belirleyici olduğunu gösteriyor. Gonfalo ve Koto türleri ısıt işleme farklı tepkiler veriyor. Ağaç türü, ısıt işlem ve etkileşim faktörlerinin tamamı anlamlıdır ($p < 0,05$). Bu da ısıt işlemin her iki türde kırmızılık parametresini farklı şekilde değiştirdiğini, özellikle tür ve işlem arasındaki etkileşimin önemli olduğunu ortaya koyuyor.

Benzer şekilde, tüm faktörler anlamlıdır. Isıt işlem sıcaklığı arttıkça sarı tonlarda artış olduğu ve bunun türlere göre farklılaştığı söylenebilir. Ağaç türü, işlem ve etkileşim faktörlerinin hepsi anlamlı bulunmuştur. Sertlik özelliklerinde de ısıt işlem hem mutlak değerleri etkilemiş hem de Gonfalo ile Koto arasında farklı tepkilere yol açmıştır.

Şekil2. Isıt İşlemin Ağaç Türüne Göre Etkilerinin ANOVA Sonuçları



Bu grafik, ısıt işlemin türden bağımsız güçlü bir etkisi olduğunu, fakat renk bileşenlerinde tür-ışıl etkileşiminin de kritik rol oynadığını açıkça görselleştirmektedir. Mavi sütunlar (Isıt İşlem): Özellikle parlaklık (L*) ve kırmızılık (a*) üzerinde çok güçlü etkiler göstermektedir. Turuncu sütunlar (Ağaç Türü): Tür farklılıkları da önemli, ancak etkisi ısıt işlem kadar yüksek değildir. Yeşil sütunlar (Etkileşim AxB): Etkileşim özellikle kırmızılık (a*) ve sarılık (b*) parametrelerinde oldukça belirgin bulunmuştur.

200°C sıcaklıkta 3 saat süre ile ısıt işlem görmüş ve görmemiş (kontrol) ağaç türlerine ait belirlenmiş olan renk, parlaklık ve shore D sertlik sonuçları Tablo 2'de gösterilmektedir. Tablo 2'ye göre, gonfalo odunu için ısıt işleminden sonra ışıklılık değeri (L*), kırmızı renk tonu değeri (a*), sarı renk tonu değeri (b*), 20°, 60° ve 85°'de liflere paralel parlaklık ve shore-D sertlik testleri azalmıştır. Koto odununda ise ısıt işleminden sonra ışıklılık

değeri (L^*), sarı renk tonu değeri (b^*), 20°, 60° ve 85°'de liflere paralel parlaklık ve shore-D sertlik testleri azalırken, kırmızı renk tonu değeri (a^*) değerinin arttığı belirlenmiştir.

Literatürde 200°C'de yapılan ısıtıl işlemli çalışmalarda da renk ve parlaklık değerlerinin ısıtıl işlem ile değiştiği bildirilmiştir (Esteves ve diğ., 2019, Gurleyen ve diğ., 2018a,b, Ayata ve diğ., 2017, **Şahin ve Ayata 2018**, Ayata ve Çavuş 2018). Yapılan bir araştırmada ışıklılık değerindeki azalmanın sebebi olarak ısıtıl işlem esnasında hemiselülozların bozulmasından dolayı olabileceği bildirmiştir (Salca ve diğ., 2016). Gonfolo odununda ΔL^* : -27.83, Δa^* : -10.82, Δb^* : -19.18 ve ΔE^* : 35.49 bulunurken, koto odununda ise ΔL^* : -35.40, Δa^* : 3.75, Δb^* : -9.37 ve ΔE^* : 36.81 olarak belirlenmiştir.

Isıl işlem ile ahşabın renk değişimi, kinonlar gibi oksidasyon ürünlerinin oluşumunun yanı sıra bozunma reaksiyonlarından dolayı kaynaklandığı şeklinde bildirilmiştir (Esteves ve diğ., 2008, Poncsak ve diğ., 2006, Sundqvist 2002, Boonstra 2008, Sandoval-Torres ve diğ., 2010, Kamperidou ve Barmoutis 2015, Hon ve Minemura 2001).

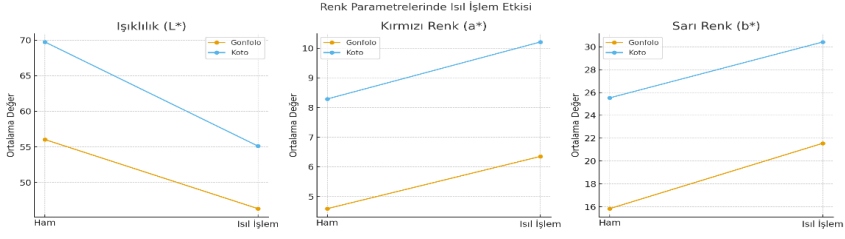
En yüksek sertlik değeri kontrol gonfolo odununda belirlenirken, en düşük 200°C'de 3 saat süre ile ısıtıl işlem görmüş koto odununda tespit edilmiştir. Shore-D sertlik testi için ısıtıl işleminden sonra koto odununda %7.28'lik bir azalma tespit edilirken, gonfolo odununda ise %6.24'lük bir azalma belirlenmiştir (Tablo 2). Yapılan bir araştırmada 200°C'de selülozun bozunmaya başladığı, amorf kısımların parçalanıp, formik ve asetik asit meydana getirdiğinden dolayı sertlik değerinde azalmalara sebep olduğu bildirilmiştir (, Şahin 2013).

Tablo 2. Renk parametreleri, parlaklık değerleri ve shore - D sertlik sonuçları

Test	Ağaç Türü	İşlem	N	X	HG	SS	Min	Mak	COV
Işıklılık Değeri (L*)	Gonfolo (<i>Qualea rosea</i>)	Isıl işlemsiz	10	56,03	B	1.45	54.08	57.31	2.59
		Isıl işlemli	10	28,20	D	0.42	27.47	28.84	1.49
	Koto (<i>Pterocarya macrocarpa</i> K. Schum.)	Isıl işlemsiz	10	69,73	A*	2.01	67.03	72.50	2.88
		Isıl işlemli	10	34,33	C	0.09	34.18	34.48	0.26
Kırmızı Renk Tonu Değeri (a*)	Gonfolo (<i>Qualea rosea</i>)	Isıl işlemsiz	10	14,93	A*	0.26	14.62	15.34	1.74
		Isıl işlemli	10	4,11	C	0.60	2.68	4.82	14.60
	Koto (<i>Pterocarya macrocarpa</i> K. Schum.)	Isıl işlemsiz	10	3,80	C	0.65	3.03	4.61	17.11
		Isıl işlemli	10	7,55	B	0.06	7.47	7.65	0.79
Sarı Renk Tonu Değeri (b*)	Gonfolo (<i>Qualea rosea</i>)	Isıl işlemsiz	10	25,43	A*	0.41	24.84	25.86	1.61
		Isıl işlemli	10	6,25	D	0.24	6.02	6.60	3.84
	Koto (<i>Pterocarya macrocarpa</i> K. Schum.)	Isıl işlemsiz	10	21,67	B	1.82	19.31	24.16	8.40
		Isıl işlemli	10	12,30	C	0.15	12.02	12.46	1.22
20°'de Liflere Paralel (//) Parlaklık	Gonfolo (<i>Qualea rosea</i>)	Isıl işlemsiz	10	0.52	B	0.04	0.50	0.60	7.69
		Isıl işlemli	10	0.15	D	0.05	0.10	0.20	33.33
	Koto (<i>Pterocarya macrocarpa</i> K. Schum.)	Isıl işlemsiz	10	0.72	A*	0.06	0.60	0.80	8.33
		Isıl işlemli	10	0.20	C	0.00	0.20	0.20	0.00
60°'de Liflere Paralel (//) Parlaklık	Gonfolo (<i>Qualea rosea</i>)	Isıl işlemsiz	10	3.24	A*	0.10	3.00	3.30	3.09
		Isıl işlemli	10	1.61	C	0.18	1.30	1.80	11.18
	Koto (<i>Pterocarya macrocarpa</i> K. Schum.)	Isıl işlemsiz	10	3.08	B	0.25	2.80	3.50	8.12
		Isıl işlemli	10	1.22	D	0.06	1.10	1.30	4.92
85°'de Liflere Paralel (//) Parlaklık	Gonfolo (<i>Qualea rosea</i>)	Isıl işlemsiz	10	16.83	A*	0.65	15.90	17.70	3.86
		Isıl işlemli	10	6.85	B	0.37	6.40	7.50	5.40
	Koto (<i>Pterocarya macrocarpa</i> K. Schum.)	Isıl işlemsiz	10	4.71	C	0.75	4.10	6.00	15.92
		Isıl işlemli	10	2.32	D	0.17	2.10	2.60	7.33
Shore-D Sertlik	Gonfolo (<i>Qualea rosea</i>)	Isıl işlemsiz	10	67.30	A*	1.83	65.00	69.00	2.72
		Isıl işlemli	10	63.10	B	0.88	62.00	64.00	1.39
	Koto (<i>Pterocarya macrocarpa</i> K. Schum.)	Isıl işlemsiz	10	52.20	C	1.03	51.00	53.00	1.97
		Isıl işlemli	10	48.40	D	0.52	48.00	49.00	1.07
N: Ölçüm Sayısı, X: Aritmetik Ortalama, HG: Homojenlik Grubu, SS: Standart Sapma, COV: Varyasyon Katsayısı, *: En Yüksek Değeri ifade etmektedir.									

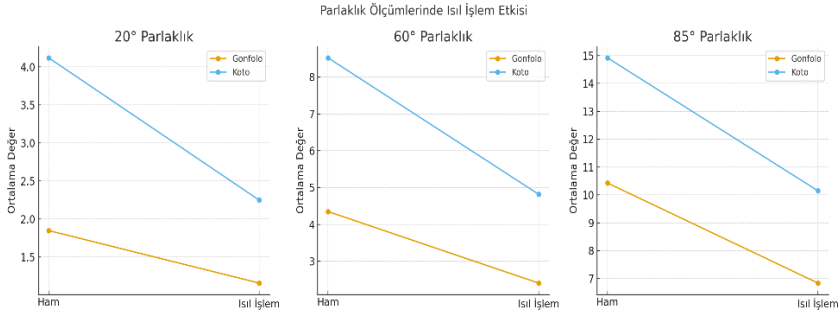
Renk parametreleri (L*, a*, b*) olup, Işıklılık (L)**: Hem Gonfolo hem Koto'da ısıtıl işlem sonrası belirgin azalma olmuş ve odun koyulaşmış. *Kırmızılık (a)**: Isıl işlem sonrası artmış olup odun kırmızı rene dönmüştür. *Sarılık (b)ta ise**, Isıl işlem sonrası artış olmuş ve odun sarı tonlarına dönmüştür. Sonuç olarak ; Isıl işlem, odunun rengini daha koyu, kırmızımsı ve sarımsı yapmaktadır. Hem Gonfolo hem Koto'da ısıtıl işlem sonrası sertlik azalmış olup, ısıtıl işlemin lignin ve selüloz yapısında değişime yol açarak mekanik dayanımı sınırlı ölçüde zayıflatmıştır. Sonuç olarak: Isıl işlem sertliği bir miktar azaltıyor, ancak tür farkı önemli görülmektedir.

Şekil 3. Renk Parametrelerinde Isıl İşlem Etkisi



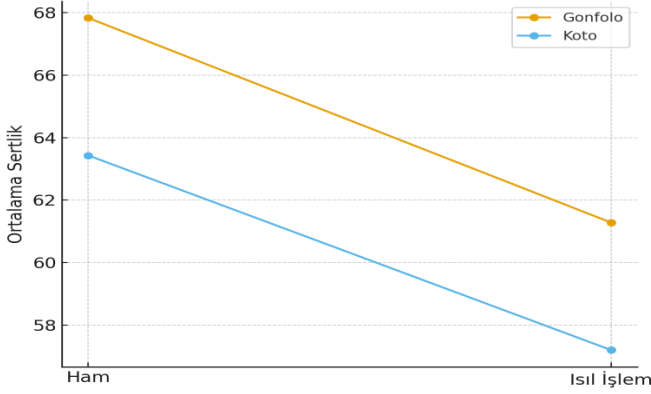
Guibourtia ehie (Gonfolo) ve Pterygota macrocarpa (Koto) odunlarında ham ve ısıtılmış örneklerin ışıklılık (L*), kırmızılık (a*) ve sarılık (b*) değerleri. Isıl işlem sonrası her iki türde L* değerlerinde düşüş, a* ve b* değerlerinde ise artış meydana gelmiştir. Bu sonuçlar, odunun renginin koyulaşarak kırmızımsı ve sarımsı tonlara kaydığını göstermektedir

Şekil4. Parlaklık Ölçümlerinde Isıl İşlem Etkisi



20°, 60° ve 85° açılarında ölçülen parlaklık değerlerinin ham ve ısıtılmış Guibourtia ehie (Gonfolo) ve Pterygota macrocarpa (Koto) odunlarında karşılaştırılması. Isıl işlem sonrası tüm açılarda parlaklık değerlerinde belirgin azalma gözlenmiş, özellikle Koto odununda düşüş daha belirgin olmuştur. Bu durum, ısıtılmanın yüzey yansıtıcılığını azaltarak odunu daha mat bir görünüme dönüştürdüğünü ortaya koymaktadır.

Şekil4. Shore D sertlik Değeri
Shore-D Sertlik Değeri



Şekil 4’de. *Guibourtia ehie* (Gonfolo) ve *Pterygota macrocarpa* (Koto) odunlarında ham ve ısıt işlem görmüş örneklerin Shore-D sertlik değerleri. Her iki türde de ısıt işlem sonrası sertlik değerlerinde azalma gözlenmiş olup, Gonfolo odunu başlangıçta ve işlem sonrasında Koto’ya kıyasla daha yüksek sertlik değerleri sergilemiştir. Bu durum, ısıt işlemin odun hücre duvarı bileşenlerinde meydana getirdiği yapısal değişimlere bağlı olarak sertlik üzerinde olumsuz etki yarattığını göstermektedir.

Guibourtia ehie (Gonfolo) ve *Pterygota macrocarpa* (Koto) odunlarının ham ve ısıt işlem görmüş örneklerinde Shore-D sertlik değerleri. Her iki türde de ısıt işlem sonrası sertlik değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Gonfolo odunu işlem öncesi ve sonrası Koto’ya kıyasla daha yüksek sertlik değerlerine sahip olup, türler arası farklılık korunmuştur.

Sonuçlar

Bu çalışmada, 200°C’de 3 saat süre ile ısıt işlem görmüş ve görmemiş gonfolo (*Qualea rosea*) ve koto (*Pterygota macrocarpa* K. Schum.) ağaç türlerine ait deney örnekleri üzerinde shore - D sertlik değeri, parlaklık değerleri ve renk parametreleri araştırılmıştır. Belirlenmiş olan bu sonuçlara göre, ısıt işleminden sonra ağaç türlerinde shore - D sertlik değeri, parlaklık değerleri ve renk özellikleri değişmiştir.

Bu sonuçlar, tropikal odun türlerinin yüzey estetiği ve mekanik özelliklerinin ısıt işlemle modifiye edilebileceğini, fakat işlem koşullarının türe özgü olarak belirlenmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Özellikle mobilya ve iç mekân tasarımı gibi renk ve parlaklık açısından estetik beklentilerin yüksek olduğu uygulamalarda, bu bulgular tür seçimi ve işlem parametrelerinin optimizasyonuna katkı sağlar.

Estetik açıdan renk değişimleri mobilya ve iç mekân tasarımı için tercih edilebilir daha sıcak tonlar bu niteliği ortaya koymaktadır. Parlaklık ve sertlikteki azalma, bazı kullanım alanlarında sınırlayıcı olabileceği sonucunu vermekte, Koto başlangıçta daha açık renkli ve parlak iken, Gonfolo ise daha koyu ve sert. Isıl işlem her iki türde de benzer yönde değişime yol açsa da şiddeti farklılık bulunmaktadır.

Bu çalışmada, *Guibourtia ehie* (Gonfolo) ve *Pterygota macrocarpa* (Koto) odunlarında ısıl işlemin renk parametreleri (L^* , a^* , b^*), parlaklık değerleri (20° , 60° , 85°) ve Shore-D sertlik özellikleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Bulgular, ısıl işlemin her iki türde de yüzey renk özellikleri ve mekanik sertlik üzerinde belirgin değişimlere yol açtığını ortaya koymuştur.

Renk parametreleri incelendiğinde, her iki türde de ışıklılık (L^*) değerlerinde düşüş, kırmızılık (a^*) ve sarılık (b^*) değerlerinde ise artış gözlenmiştir. Bu durum, ısıl işlemin odun rengini koyulaştırdığı, kırmızımsı ve sarımsı tonları artırarak daha sıcak bir görsel etki kazandırdığı şeklinde yorumlanabilir. Özellikle Koto odunu başlangıçta daha yüksek L^* değerine sahip olduğundan, işlem sonrası renk değişimleri daha belirgin şekilde ortaya çıkmıştır. Literatürde de benzer bulgular rapor edilmiş olup, yüksek sıcaklıkta uygulanan ısıl işlemin odunun renk pigmentlerinde dönüşüme yol açtığı ve odunun estetik görünümünü koyu tonlara kaydıracağı bildirilmektedir (Bekhta ve Niemz 2003; Esteves ve Pereira 2009).

Parlaklık değerleri (20° , 60° ve 85° ölçümlerinde) her iki türde de ısıl işlem sonrası anlamlı düzeyde azalmıştır. Bu bulgu, yüzey yansıtıcılığının azalmasına ve odunun mat bir görünüme kavuşmasına işaret etmektedir. Koto odunu başlangıçta daha yüksek parlaklık değerlerine sahip olduğundan, ısıl işlem sonrasında parlaklıktaki azalma daha keskin bir düşüş göstermiştir. Parlaklıktaki bu değişim, mobilya ve dekoratif uygulamalarda yüzey estetiğini doğrudan etkilemekte olup, işlem parametrelerinin kullanım amacına göre optimize edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Mekanik özellikler açısından değerlendirildiğinde, Shore-D sertlik değerleri her iki türde de ısıl işlem sonrasında azalmıştır. Bu durum, odun hücre duvarı bileşenlerindeki (selüloz, hemiselüloz ve lignin) termal bozunma ve yapısal değişikliklerle açıklanabilir. Bununla birlikte, Gonfolo odunu Koto'ya kıyasla daha yüksek başlangıç sertlik değerlerine sahiptir ve işlem sonrasında da bu üstünlüğünü korumuştur. Bu bulgu, Gonfolo'nun sertlik açısından daha avantajlı olduğunu, ancak her iki türde

de ısıt ışlemle birlikte mekanik dayanımın sınırlı ölçüde zayıfladığını göstermektedir.

Sonuç olarak, ısıt ışlem hem Gonfolo hem de Koto odunlarında estetik açıdan olumlu (renk koyulaşması, sıcak tonların artması) değişimlere yol açarken, fonksiyonel özelliklerde (sertlik ve parlaklık) azalmaya neden olmuştur. Bu nedenle, söz konusu türlerin kullanımında ısıt ışlem parametreleri belirlenirken, estetik beklentiler ile mekanik performans arasındaki denge gzetilmelidir.

Kaynakça

- Abbiw, D. K. (1990). Useful plants of Ghana: West African use of wild and cultivated plants. Intermediate Technology Publications; The Royal Botanic Gardens, Kew.
- Akgül, M., & Korkut, S. (2012). The effect of heat treatment on some physical and mechanical properties of juvenile wood and mature wood of *Eucalyptus grandis*. *Drying Technology*, 30(2), 175–182. <https://doi.org/10.1080/07373937.2011.628829>
- ASTM D2240. (2010). Standard test method for rubber property—Durometer hardness. American Society for Testing and Materials.
- ASTM D2244-3. (2007). Standard practice for calculation of color tolerances and color differences from instrumentally measured color coordinates. ASTM Standards.
- Awoyemi, L., & Jones, I. P. (2011). Anatomical explanations for the changes in properties of western red cedar (*Thuja plicata*) wood during heat treatment. *Wood Science and Technology*, 45, 261–267. <https://doi.org/10.1007/s00226-010-0325-4>
- Ayarkwa, J. (1998). The influence of site and axial position in the tree on the density and strength properties of the wood of *Pterygota macrocarpa* K. Schum. *Ghana Journal of Forestry*, 6, 3–41.
- Ayata, U., Gürleyen, L., & Esteves, B. (2017). Effect of heat treatment on the surface of selected exotic wood species. *Drewno*, 60(199), 105–116. <https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.198.08>
- Bekhta, P., & Niemz, P. (2003). Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood. *Holzforschung*, 57(5), 539–546. <https://doi.org/10.1515/HF.2003.080>
- Boonstra, M. J. (2008). A two-stage thermal modification of wood (Doctoral dissertation). Ghent University & Université Henry Poincaré, Nancy 1.
- Burtin, P., Jay-Allemand, C., Charpentier, J. P., & Janin, G. (1998). Natural wood colouring process in *Juglans* sp. (*J. nigra*, *J. regia* and hybrid *J. nigra* × *J. regia*) depends on the native phenolic compounds accumulated in the transition zone between sapwood and heartwood. *Trees*, 12, 258–264. <https://doi.org/10.1007/PL00009714>
- Esteves, B., & Pereira, H. (2009). Wood modification by heat treatment: A review. *BioResources*, 4(1), 370–404.

- Esteves, B., Ayata, U., & Gürleyen, L. (2019). Effect of heat treatment on the colour and glossiness of black locust, wild pear, linden, alder and willow wood. *Drewno*, 62(203), 39–52. <https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.267.10>
- Esteves, B., Marques, A. V., Domingos, I., & Pereira, H. (2008). Heat-induced colour changes of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood. *Wood Science and Technology*, 42(5), 369–384. <https://doi.org/10.1007/s00226-007-0157-2>
- Gürleyen, L., Esteves, B., Ayata, U., Gürleyen, T., & Çınar, H. (2018). The effects of heat treatment on colour and glossiness of some commercial woods in Turkey. *Drewno*, 61(201), 81–90. <https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.227.03>
- Hall, J. B., & Swaine, M. D. (1981). *Geobotany: Distribution and ecology of vascular plants in a tropical rainforest*. W. Junk Publishers.
- Hon, D. N. S., & Minemura, N. (2001). Color and discoloration. In *Wood and cellulosic chemistry* (2nd ed., pp. 385–442). Marcel Dekker.
- ISO 2813. (1994). *Paints and varnishes—Determination of specular gloss of non-metallic paint films at 20 degrees, 60 degrees and 85 degrees*. International Organization for Standardization.
- Kamperidou, V., & Barmpoutis, P. (2015). Correlation between the changes of colour and mechanical properties of thermally modified Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood. *Pro Ligno*, 11(4), 360–365.
- Kocaefe, D., Poncsak, S., & Tang, J. (2010). Effect of heat treatment on the mechanical properties of North American jack pine: Thermogravimetric study. *Journal of Materials Science*, 45(3), 681–687. <https://doi.org/10.1007/s10853-009-3985-7>
- Poncsak, S., Kocaefe, D., Bouazara, M., & Pichette, A. (2006). Effect of high temperature treatment on the mechanical properties of birch (*Betula papyrifera*). *Wood Science and Technology*, 40(8), 647–663. <https://doi.org/10.1007/s00226-006-0082-9>
- Salca, E. A., Kobori, H., Inagaki, T., Kojima, Y., & Suzuki, S. (2016). Effect of heat treatment on colour changes of black alder and beech veneers. *Journal of Wood Science*, 62(4), 297–304. <https://doi.org/10.1007/s10086-016-1571-6>
- Sandoval-Torres, S., Jomaa, W., Marc, F., & Puiggali, J. R. (2010). Causes of color changes in wood during drying. *Forest Studies in China*, 12(4), 167–175. <https://doi.org/10.1007/s11632-010-0404-8>

- Şahin, H. İ. (2013). Isıl işlemin doğal ve plantasyon ormanlarında yetişen dişbudak (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) odunlarının bazı teknolojik özelliklerine etkisi (Doktora tezi). Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Şahin, S., & Ayata, Ü. (2018). Teak, black ebony ve wenge ağaç türlerinde renk ve parlaklık özellikleri üzerine ısıt işlemin (ThermoWood metot) etkisi. In R. Karapınar & M. A. Kuş (Eds.), *Multidisipliner Çalışmalar-3 (Sağlık ve Fen Bilimleri)* (pp. 323–334). Gece Kitaplığı Yayınevi. ISBN: 978-605-288-223-8
- Taylor, C. J. (1960). *Synecology and silviculture in Ghana*. Nelson and Sons Ltd.
- Wangaard, F. F., Stern, W. L., & Goodrich, S. L. (1955). Properties and uses of tropical woods V. *Tropical Woods*, 103, 1–139.
- Yildiz, S., Gezer, E. D., & Yıldiz, Ü. C. (2006). Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat. *Building and Environment*, 41(12), 1762–1766. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.07.017>