# TARIMDA YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR: DİJİTALLEŞME, SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK, BİYOLOJİK SÜREÇLER VE ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ

**Editörler**
**Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN**
**Doç. Dr. Cihan DEMİR**



İKSAD
Publishing House

# TARIMDA YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR: DİJİTALLEŞME, SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK, BİYOLOJİK SÜREÇLER VE ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ

**Editörler**

Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN

Doç. Dr. Cihan DEMİR

**Yazarlar**

Prof. Dr. Aslı KAÇAR
Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN
Prof. Dr. Nihal ÖZDER
Prof. Dr. Zuhal KARAKAYACI
Doç. Dr. Murat DOĞRUYOL
Doç. Dr. Turcan TEKER
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Erhan KARAHAN
Dr. Öğr. Üyesi Esra TAYAT
Öğr. Gör. Dr. İsmail KILIÇ
Arş. Gör. Dr. Mehmet Zahit AYDIN
Arş. Gör. Dr. Yahya URAY
Dr. Burcu OMUZBÜKEN
Arş. Gör. Ahmet Enes URAY
Zir. Müh. Erdem Hikmet OFLAZ
İnş. Müh. İsmail KAYLI
Zir. Müh. Siyaser ALATAŞ
Hüseyin USLU

İKSAD
Publishing House

Copyright © 2026 by iksad publishing house
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or transmitted in any form or by
any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of
brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses permitted by copyright law. Institution of Economic Development and Social
Researches Publications®
(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)
TÜRKİYE TR: +90 342 606 06 75
USA: +1 631 685 0 853
E mail: iksadyayinevi@gmail.com
www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.
Iksad Publications – 2026©

**ISBN: 978-625-378-742-4**
Cover Images: Ibrahim KAYA
October / 2026
Ankara / Türkiye
Size: 16x24cm

**İÇİNDEKİLER**

**ÖNSÖZ**.....1

**BÖLÜM 1**
**AHŞAP MALZEMEDE YÜZEYSEL KARBONLAŞTIRMA: MEKANİZMA, DAYANIKLILIK VE YAPI UYGULAMALARI**
Öğr. Gör. Dr. İsmail KILIÇ.....3

**BÖLÜM 2**
**ASMADA BİYOTİK VE ABİYOTİK STRES YANITLARINDA MİKROBİYAL UYGULAMALARIN ROLÜ: GEN İFADESİ VE TRANSKRİPTOMİK BULGULAR**
Arş. Gör. Dr. Yahya URAY
Arş. Gör. Ahmet Enes URAY.....27

**BÖLÜM 3**
**TEK GÖZLÜ ASMA (Vitis Vinifera L.) ÇELİKLERİNDE SÜRGÜN VE KÖK GELİŞİMİNİN FARKLI ZAMANLARDA BELİRLENMESİ**
Zir. Müh. Erdem Hikmet OFLAZ
Doç. Dr. Turcan TEKER.....53

**BÖLÜM 4**
**ÇAY TARIMINDA YAPAY ZEKÂ VE DİJİTALLEŞME**
Arş. Gör. Dr. Mehmet Zahit AYDIN.....73

**BÖLÜM 5**
**İŞLENMEYEN TARIM ARAZİLERİNE ARAZİ SAHİPLERİNİN BAKIŞ AÇISININ İNCELENMESİ; DEREBUCAK ÖRNEĞİ**
Prof. Dr. Zuhal KARAKAYACI
Zir. Müh. Siyaser ALATAŞ.....97

**BÖLÜM 6**
**KOLZA ZARARLILARI**
Prof. Dr. Nihal ÖZDER
Dr. Öğr. Üyesi Esra TAYAT.....121

**BÖLÜM 7**
**OSMANİYE İLİ SÜT ÜRETİMİNİN BOX-JENKİNS (ARIMA) YAKLAŞIMIYLA MODELLENMESİ VE ÖNGÖRÜLMESİ**
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Erhan KARAHAN
Hüseyin USLU.....139

**BÖLÜM 8**
**TARIMSAL SU YÖNETİMİ VE KURAKLIKLA MÜCADELE STRATEJİLERİ**
Arş. Gör. Dr. Mehmet Zahit AYDIN…….…..…....189

**BÖLÜM 9**
**DENİZEL ALGLER, OMURGASIZLAR VE BUNLARLA İLİŞKİLİ MİKROORGANİZMALARIN BİYOAKTİF MOLEKÜLLERİ**
Prof. Dr. Aslı KAÇAR
Dr. Burcu OMUZBÜKEN.……...…….215

**BÖLÜM 10**
**AYÇİÇEĞİ SAPI VE MISIR KOÇANI ATIKLARINDAN ELDE EDİLEN KÜLLERİN BETONUN PERFORMANSINA ETKİSİ**
Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN
İnş. Müh. İsmail KAYLI
Doç. Dr. Murat DOĞRUYOL……..……..261

# ÖNSÖZ

Tarım, artan nüfus, iklim değişikliği, kuraklık, doğal kaynakların sınırlılığı ve değişen üretim koşulları nedeniyle sürekli gelişim ve yenilik ihtiyacı duyulan stratejik bir sektördür. Bu süreçte dijitalleşme, yapay zekâ, biyoteknoloji, sürdürülebilir kaynak yönetimi ve modern üretim teknolojileri, tarımsal üretimin geleceğinin şekillenmesinde önemli bir rol üstlenmektedir.

Bu kitap**"Tarımda Yenilikçi Yaklaşımlar: Dijitalleşme, Sürdürülebilirlik, Biyolojik Süreçler ve Üretim Teknolojileri"** farklı disiplinlerden güncel araştırma ve değerlendirmeleri bir araya getirerek tarım ve ilgili alanlarda yaşanan bilimsel ve teknolojik gelişmelere bütüncül bir bakış sunmak amacıyla hazırlanmıştır. Kitapta yer alan bölümler, birbirinden farklı konu alanlarına odaklanmakla birlikte, sürdürülebilir üretim, kaynakların etkin kullanımı, çevresel sorunların azaltılması ve tarımsal üretimin geleceğe taşınması ortak paydasında buluşmaktadır.

Kitapta; tarımsal sistemlerle ilişkili mikroorganizmaların biyoaktif molekülleri, asmada biyotik ve abiyotik stres, asma çeliklerinde sürgün ve kök gelişimi, kolza zararlıları, çay tarımında yapay zekâ ve dijitalleşme, süt üretiminin Box-Jenkins ARIMA yöntemiyle öngörülmesi, tarımsal su yönetimi ve kuraklıkla mücadele, işlenmeyen tarım arazilerine yönelik arazi sahiplerinin bakış açısı ve ahşap malzemede yüzeysel karbonlaştırma konuları ele alınmaktadır.

Bu yönüyle kitap; bitkisel üretimden hayvansal üretime, biyoteknolojiden dijital tarıma, doğal kaynak yönetiminden istatistiksel modellemeye ve malzeme teknolojisine kadar geniş bir perspektif sunmaktadır. Bölümlerin farklı bilim alanlarını kapsaması, kitabın multidisipliner niteliğini güçlendirmekte ve okuyucuya tarımsal problemlerin farklı bakış açılarıyla değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Bu eserin başta ziraat, biyosistem, çevre, biyoteknoloji, orman, gıda ve ilgili mühendislik alanlarında çalışan akademisyenler ve araştırmacılar olmak üzere lisansüstü öğrenciler, lisans öğrencileri ve uygulayıcılar için yararlı bir kaynak olması hedeflenmiştir. Kitabın, güncel bilimsel yaklaşımların paylaşılmasına, yeni araştırma konularının geliştirilmesine ve sürdürülebilir tarımsal üretim anlayışının güçlendirilmesine katkı sağlaması en önemli temennimizdir. Bu eserin hazırlanmasında emeği geçen tüm bölüm yazarlarına, bilimsel katkıları ve özverili çalışmalarından dolayı teşekkür eder; kitabın bilim

dünyasına, tarım sektörüne ve sürdürülebilir bir geleceğin inşasına katkı sunmasını dileriz.

**Editörler**
**Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN**
**Doç. Dr. Cihan DEMİR**

# BÖLÜM 1

## AHŞAP MALZEMEDE YÜZEYSEL KARBONLAŞTIRMA: MEKANİZMA, DAYANIKLILIK VE YAPI UYGULAMALARI

Öğr. Gör. Dr. İsmail KILIÇ[1]

DOI: https://www.doi.org/10.5281/zenodo.23258451

[1] Yozgat Bozok Üniversitesi, Yozgat Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, Yozgat, Türkiye. ismail.kilic@bozok.edu.tr, orcid id: 0000-0003-3609-2616

## 1. GİRİŞ

Ahşap, yenilenebilir bir kaynak olması, düşük karbon ayak izi ve yüksek özgül mekanik özellikleri sayesinde yapı ve mimarlık alanında tarihsel olarak önemli bir malzeme olmuştur. Bununla birlikte ahşabın biyolojik kökenli bir malzeme olması, özellikle dış ortam koşullarında kullanımını sınırlayan bazı dezavantajları da beraberinde getirmektedir. Nem değişimleri, ultraviyole (UV) ışınımı, mikroorganizma etkileri ve çevresel aşınma, ahşap yüzeylerde zamanla bozulmaya, renk değişimine ve servis ömrünün kısalmasına neden olmaktadır. Bu durum, ahşap elemanların uzun süreli performansını artırmaya yönelik yüzey koruma ve modifikasyon tekniklerinin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır (Forest Products Laboratory, 2010; Rowell, 2012).

Geleneksel ahşap koruma yöntemleri çoğunlukla kimyasal emprenye maddelerine dayanmaktadır. Bu yöntemler kısa vadede etkili sonuçlar sunsa da, çevresel etkiler, uçucu organik bileşik (VOC) salınımı, bakım gereksinimi ve uzun vadeli performans belirsizlikleri nedeniyle günümüzde eleştirilmekte ve alternatif çözümler aranmaktadır. Bu bağlamda, düşük kimyasal müdahale içeren, doğal ve sürdürülebilir yüzey işlemleri son yıllarda artan bir ilgi görmektedir (Hill, 2007; Esteves & Pereira, 2009; Sandberg ve diğ., 2017).

Yüzeysel karbonlaştırma, ahşap malzemenin yalnızca dış tabakasının kontrollü bir şekilde karbonlaştırılması esasına dayanan, geleneksel kökenlere sahip ancak modern uygulamalarda yeniden değerlendirilen bir yüzey modifikasyon tekniğidir. Bu yöntemde ahşabın iç yapısı ve taşıyıcı özellikleri korunurken, yüzeyde oluşan karbon tabakası sayesinde su emme, biyolojik bozulma ve UV kaynaklı degradasyon önemli ölçüde sınırlandırılmaktadır. Özellikle Japon kökenli Shou Sugi Ban (Yakisugi) tekniği, yüzeysel karbonlaştırmanın mimari uygulamalardaki en bilinen örneklerinden biri olarak öne çıkmaktadır (Sandberg ve diğ., 2017; Machová ve diğ., 2021).

Bu yönteme yönelik bilimsel ilginin artmasıyla birlikte, farklı ağaç türlerinde ve farklı uygulama koşullarında gerçekleştirilen deneysel çalışmalar yüzeysel karbonlaştırmanın malzeme davranışı üzerindeki etkilerini ortaya koymaya başlamıştır. Bu kapsamda yürütülen bazı çalışmalar, yüzeysel karbonlaştırmanın yerli ahşap türlerinin fiziksel özellikleri ve dayanıklılık davranışları üzerinde anlamlı etkiler oluşturduğunu göstermekte ve yöntemin farklı kullanım senaryoları açısından değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır (Köroğlu & Altunok, 2025).

Yüzeysel karbonlaştırma işlemi sonucunda oluşan karbon tabakası, gözenekli ve kimyasal olarak daha inert bir yapı sergilemekte; bu durum ahşap yüzeyin çevresel etkilere karşı direncini artırmaktadır. Ancak bu işlem, ahşabın mekanik özelliklerini artırmaya yönelik bir güçlendirme yöntemi olmayıp, esas olarak dayanıklılık, servis ömrü ve bakım gereksiniminin azaltılması amacıyla uygulanmaktadır. Bu yönüyle yüzeysel karbonlaştırma, karbon lifli polimer (CFRP) gibi harici yapısal takviye yaklaşımlarından kavramsal olarak ayrılmaktadır (Rowell, 2012; Hasburgh ve diğ., 2021).

Literatürde yüzeysel karbonlaştırmaya ilişkin çalışmalar çoğunlukla su alma davranışı, biyolojik dayanım, yüzey pürüzlülüğü, renk stabilitesi ve yangın davranışı gibi tekil yüzey performansı kriterleri üzerine yoğunlaşmaktadır. Bununla birlikte, karbonlaşma mekanizması, uygulama parametreleri ve karbonlaşma derinliğinin kontrolü ile uzun dönem servis davranışı arasındaki ilişkilerin sistematik biçimde ele alındığı çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Ayrıca uygulama yöntemlerinin standardizasyonu ve farklı ağaç türlerinde elde edilen performans sonuçlarının karşılaştırılabilirliği konularında literatürde hâlen belirli boşluklar bulunmaktadır. Bu durum, yüzeysel karbonlaştırmanın teknik çerçevesinin daha bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır (Kymäläinen ve diğ., 2020; Kymäläinen ve diğ., 2022a; Kymäläinen ve diğ., 2022b; Lin ve diğ., 2023).

Bu kitap bölümünün amacı, ahşap malzemede yüzeysel karbonlaştırma tekniğini mekanizması, uygulama yöntemleri, yüzey performansı, avantajları ve sınırlamaları ile birlikte bütüncül bir yaklaşımla ele almaktır. Bölüm kapsamında, yüzeysel karbonlaştırmanın ahşap teknolojisi içindeki yeri net biçimde tanımlanacak; mimari ve yapı uygulamalarındaki potansiyeli güncel literatür ışığında değerlendirilecektir. Ayrıca mevcut bilgi boşlukları ve gelecekteki araştırma alanlarına ilişkin öneriler ortaya konularak, bu yöntemin daha etkin, kontrollü ve sürdürülebilir biçimde kullanılmasına katkı sağlanması hedeflenmektedir (Hill, 2007; Kymäläinen ve diğ., 2023; Soytürk ve diğ., 2023).

## 2. YÜZEYSEL KARBONLAŞTIRMA KAVRAMI

Yüzeysel karbonlaştırma, ahşap malzemenin yalnızca dış yüzeyinin kontrollü bir ısıtma süreciyle karbonlaştırılması esasına dayanan bir yüzey modifikasyon tekniğidir. Bu işlem sırasında ahşabın iç yapısı büyük ölçüde korunurken, yüzey tabakasında oluşan karbonlaşmış katman sayesinde malzemenin çevresel etkilere karşı direnci artırılmaktadır. Yüzeysel karbonlaştırma, ahşabın taşıyıcı kapasitesini veya mekanik özelliklerini iyileştirmeyi amaçlayan bir yöntem olmayıp; esas olarak dayanıklılık, servis ömrü ve yüzey stabilitesi odaklı bir uygulamadır (Hill, 2007; Rowell, 2012; Sandberg ve diğ., 2017).

Tarihsel olarak yüzeysel karbonlaştırmanın kökeni, geleneksel yapı tekniklerine dayanmaktadır. Özellikle Japonya'da yüzyıllardır uygulanan ve *Shou Sugi Ban (Yakisugi)* olarak bilinen yöntem, ahşap cephe elemanlarının yangın, nem ve biyolojik etkilere karşı korunması amacıyla geliştirilmiştir. Bu teknikte ahşap yüzey kısa süreli ve kontrollü biçimde yakılmakta, ardından soğutma ve yüzey temizleme işlemleri uygulanmaktadır. Günümüzde bu geleneksel yaklaşım, modern ahşap teknolojisi perspektifinde yeniden ele alınarak farklı uygulama biçimleriyle kullanılmaktadır (Sandberg ve diğ., 2017; Hasburgh ve diğ., 2021).

Yüzeysel karbonlaştırma işlemi, ahşabın yüzeyinde genellikle birkaç milimetre kalınlığında karbonlaşmış bir tabakanın oluşmasıyla sonuçlanır. Bu tabaka, yüksek karbon içeriği ve gözenekli yapısı sayesinde su emilimini sınırlandıran, mikroorganizma gelişimine elverişsiz ve UV ışınımına karşı daha stabil bir karakter sergiler. Karbonlaşmış yüzey, kimyasal olarak daha inert bir yapı kazandığından ahşabın doğal yaşlanma süreci yavaşlamakta ve bakım gereksinimi azalmaktadır. (Kymäläinen ve diğ., 2020; Machová ve diğ., 2021; Soytürk ve diğ., 2023).

Bu yöntemin temel özelliklerinden biri, yüzeysel etki alanına sahip olmasıdır. Karbonlaştırma derinliği uygulama süresi, sıcaklık ve kullanılan yöntemlere bağlı olarak değişmekle birlikte genellikle 1–5 mm aralığında kalmaktadır. Bu sınırın aşılması durumunda yüzey tabakasında gevrekleşme ve pul pul dökülme riski ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle yüzeysel karbonlaştırma, hassas kontrol gerektiren bir işlem olarak değerlendirilmektedir (Kymäläinen ve diğ., 2022a; Kymäläinen ve diğ., 2022b).

Yüzeysel karbonlaştırma kavramı, literatürde zaman zaman termal modifikasyon veya yapısal karbon bazlı takviye yöntemleri ile karıştırılabilmektedir. Ancak bu teknikler amaç, etki mekanizması ve sonuçlar açısından birbirinden açık biçimde ayrılmaktadır. Yüzeysel karbonlaştırma, ahşabın kimyasal yapısını tamamen dönüştüren bir karbonizasyon süreci olmadığı gibi, karbon lifli polimerler (CFRP) ile yapılan yapısal güçlendirme uygulamalarıyla da doğrudan ilişkili değildir. Bu yönüyle yöntem, yüzey teknolojileri kapsamında değerlendirilmesi gereken özgün bir ahşap modifikasyon yöntemi olarak ele alınmalıdır (Hill, 2007; Rowell, 2012; Esteves ve Pereira, 2009). Ahşap malzemede kullanılan başlıca modifikasyon ve güçlendirme yaklaşımlarının temel özellikleri karşılaştırmalı olarak Tablo 1'de sunulmaktadır.

**Tablo 1:** Ahşap malzemede kullanılan başlıca modifikasyon ve güçlendirme yaklaşımlarının karşılaştırılması

| Yöntem | Temel amaç | Etki mekanizması | Etki derinliği | Mekanik özelliklere etkisi | Tipik kullanım alanı |
|---|---|---|---|---|---|
| Yüzeysel karbonlaştırma | Dayanıklılık ve yüzey stabilitesi | Ahşap yüzeyinin kontrollü yanması ile karbon tabakası oluşumu | 1–5 mm | Genellikle önemli bir artış sağlamaz | Cephe kaplamaları, dış mekân elemanları |
| Termal modifikasyon | Boyutsal stabilite ve biyolojik dayanım | Ahşabın yüksek sıcaklıkta (160–220°C) oksijensiz ortamda modifikasyonu | Tüm kesit | Bazı durumlarda dayanım azalabilir | Dış mekân kaplama, decking |
| Tam karbonizasyon (pyrolysis) | Karbon üretimi | Ahşabın yüksek sıcaklıkta tamamen karbonlaştırılması | Tüm kesit | Yapısal özellikler kaybolur | Biochar ve karbon üretimi |
| CFRP takviye | Mekanik güçlendirme | Karbon lifli polimerlerin yapısal takviye olarak uygulanması | Yüzey veya yapısal bölgeler | Eğilme ve çekme dayanımı artabilir | Yapısal güçlendirme |

**Kaynak:** Hill (2007); Rowell (2012); Esteves & Pereira (2009); Sandberg ve diğ. (2017); Hasburgh ve diğ. (2021).

Tablo 1 incelendiğinde, yüzeysel karbonlaştırma yönteminin diğer modifikasyon ve güçlendirme yaklaşımlarından temel olarak etki derinliği, uygulama amacı ve mekanik davranış üzerindeki etkileri açısından ayrıldığı görülmektedir. Bu yöntem, yapısal güçlendirme sağlamaktan ziyade ahşap yüzeyinin dayanıklılığını artırmayı ve çevresel etkilere karşı koruma sağlamayı amaçlayan bir yüzey teknolojisi olarak değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak yüzeysel karbonlaştırma, geleneksel bilgi birikimi ile modern malzeme yaklaşımını birleştiren, düşük kimyasal müdahaleye dayalı ve sürdürülebilir bir yüzey işlem yöntemi olarak öne çıkmaktadır. Ancak yöntemin uygulama sınırları, performans potansiyeli ve uzun dönem davranışı, sistematik bir teknik çerçeve içerisinde değerlendirilmelidir. Bu gereklilik, yüzeysel karbonlaştırmanın mekanizmasının ve uygulama yöntemlerinin ayrıntılı olarak incelenmesini zorunlu kılmaktadır (Kymäläinen ve diğ., 2023; Humar ve diğ., 2025).

## 3. KARBONLAŞTIRMA MEKANİZMASI

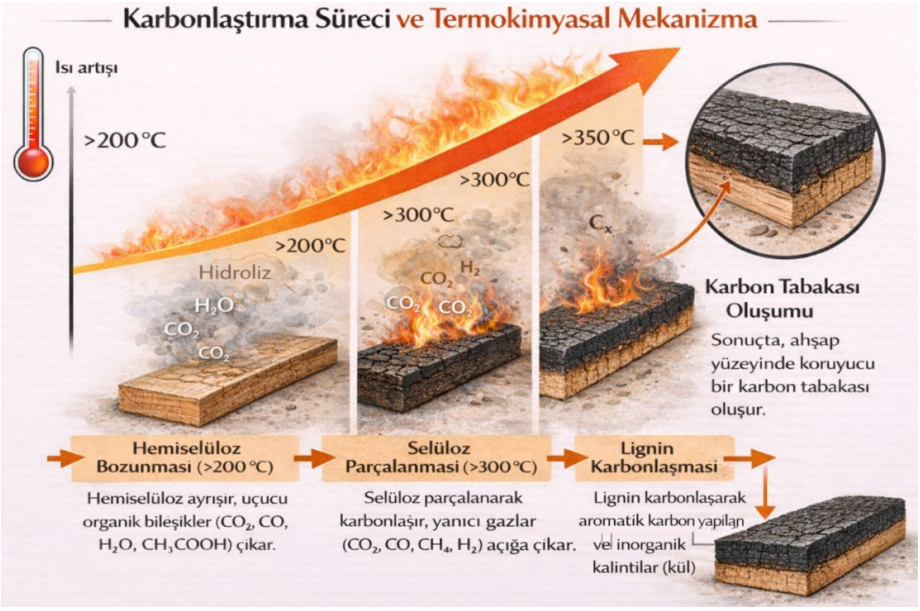
Yüzeysel karbonlaştırma işlemi, ahşap malzemenin yüzeyinde gerçekleşen kontrollü bir termokimyasal dönüşüm sürecine dayanmaktadır. Bu süreç, ahşabın ana bileşenleri olan selüloz, hemiselüloz ve ligninin sıcaklık etkisi altında farklı oranlarda ayrışmasıyla karakterize edilir. Karbonlaştırma sırasında uygulanan ısıl etki, ahşabın yalnızca dış tabakasında sınırlı tutulduğundan, iç kesitteki yapısal bütünlük büyük ölçüde korunmaktadır (Hill, 2007; Rowell, 2012; Esteves & Pereira, 2009).

Ahşap malzemede karbonlaşma sürecinin temel termokimyasal bileşenlerinden biri pirolizdir. Piroliz, oksijenin bulunmadığı veya çok sınırlı olduğu ortamlarda organik bileşenlerin ısı etkisiyle bozunması anlamına gelmektedir. Yüzeysel karbonlaştırmada bu süreç, kısa süreli ve kontrollü bir ısıl etkiyle yüzey tabakasında karbon esaslı bir yapı oluşacak şekilde gerçekleşmektedir. Özellikle alevle gerçekleştirilen uygulamalarda pirolizin yanı sıra oksidasyon ve yanma reaksiyonları da sürece eşlik edebilmektedir (Hill, 2007; Forest Products Laboratory, 2010).

### 3.1. Termal Ayrışma Süreci

Yüzeysel karbonlaştırma sırasında sıcaklığın artmasına bağlı olarak ahşap bileşenlerinde bir dizi termokimyasal dönüşüm meydana gelmektedir. Bu süreçte ahşabı oluşturan temel polimerler olan hemiselüloz, selüloz ve lignin

farklı sıcaklık aralıklarında ayrışmaktadır. Ahşap bileşenlerinin sıcaklık artışı ile gerçekleşen termokimyasal ayrışma aşamaları ve karbon tabakası oluşum süreci Şekil 1'de şematik olarak gösterilmektedir.




**Şekil 1:** Ahşap malzemede yüzeysel karbonlaştırma sırasında gerçekleşen termokimyasal ayrışma aşamaları ve karbon tabakasının oluşum süreci.

- Yaklaşık 200–300 °C aralığında hemiselülozun termal bozunması belirginleşmekte ve çeşitli uçucu bileşenler açığa çıkmaktadır.
- Yaklaşık 300–350 °C aralığında selülozun termal bozunması hızlanmakta ve gaz fazı piroliz ürünleri oluşmaktadır.
- 350 °C ve üzerindeki sıcaklıklarda ligninin bozunması daha belirgin hâle gelmekte; karbon oranı yüksek ve aromatik karakterli bir artık faz oluşabilmektedir (Hill, 2007; Rowell, 2012; Esteves & Pereira, 2009).

Yüzeysel karbonlaştırma uygulamalarında bu sıcaklık aralıkları genellikle kısa süreli olarak elde edilmekte; böylece tam karbonizasyon yerine yalnızca yüzeyde ince bir karbonlaşmış tabaka oluşmaktadır (Kymäläinen ve diğ., 2020; Machová ve diğ., 2021). Bu süreçte gerçekleşen temel termokimyasal dönüşümler ve karbon tabakasının oluşumuna giden aşamalar Şekil 2'de şematik olarak gösterilmektedir.




**Şekil 2:** Yüzeysel karbonlaştırma sırasında gerçekleşen termokimyasal süreçlerin şematik gösterimi.

Oluşan karbonlaşmış yüzey tabakası, karbon oranının artması ve uçucu bileşenlerin uzaklaşması sonucunda daha hidrofobik ve kimyasal olarak daha stabil bir karakter kazanmaktadır. Bu durum ahşap yüzeyinde su emiliminin azalmasına ve biyolojik bozunmaya karşı direncin artmasına katkı sağlamaktadır (Hill, 2007; Rowell, 2012).

### 3.2. Karbonlaşmış Yüzey Tabakasının Oluşumu

Karbonlaştırma sonucunda ahşap yüzeyinde oluşan karbon tabakası, yüksek oranda karbon içeren, gözenekli ve düzensiz bir mikroyapıya sahiptir. Bu tabaka, uçucu bileşenlerin uzaklaşmasıyla oluşan boşluklar sayesinde düşük yoğunluklu ancak kimyasal olarak daha stabil bir yapı sergiler. Karbonlaşmış yüzeyin bu özellikleri, suyun kapiler hareketini sınırlandırmakta ve mikroorganizma gelişimi için elverişsiz bir ortam oluşturmaktadır (Kymäläinen ve diğ., 2020; Machová ve diğ., 2021; Soytürk ve diğ., 2023).

Mikroyapısal açıdan bakıldığında, karbonlaşmış yüzey tabakası ile altındaki ahşap doku arasında belirgin bir geçiş bölgesi bulunmaktadır. Bu geçiş bölgesi, yüzeysel karbonlaştırmanın derinliğini tanımlayan kritik bir alan olup, uygulama süresi ve sıcaklığın kontrolü açısından büyük önem taşımaktadır. Karbonlaşma derinliğinin aşırı artması durumunda, yüzey

tabakasında gevrekleşme ve mekanik bütünlüğün zayıflaması söz konusu olabilmektedir (Kymäläinen ve diğ., 2022a; Kymäläinen ve diğ., 2022b).

### 3.3. Kimyasal ve Fiziksel Özelliklerdeki Değişimler

Yüzeysel karbonlaştırma sonrasında ahşap yüzeyinde meydana gelen temel kimyasal ve fiziksel değişimler aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Karbon oranı artar, buna karşılık oksijen ve hidrojen içeriği azalır.
- Yüzey daha hidrofobik bir karakter kazanır ve su emme eğilimi azalır.
- pH değeri genellikle artış gösterir; bu durum mikroorganizma gelişimi açısından daha elverişsiz bir ortam oluşturur.
- Isıl iletkenlik düşer ve karbonlaşmış tabaka daha yalıtkan bir davranış sergiler (Rowell, 2012; Kymäläinen ve diğ., 2022c; Soytürk ve diğ., 2023).

Bu kimyasal ve fiziksel dönüşümler, yüzeysel karbonlaştırma sonrasında oluşan karbon esaslı tabakanın çevresel etkilere karşı daha stabil bir yapı kazanmasına neden olmaktadır. Özellikle su emme davranışının azalması, biyolojik aktivitenin sınırlanması ve yüzey stabilitesinin artması, karbonlaşmış tabakanın mikroyapısal ve kimyasal özellikleri ile doğrudan ilişkilidir (Kymäläinen ve diğ., 2023; Humar ve diğ., 2025).

### 3.4. Mekanizmanın Sınırları

Yüzeysel karbonlaştırma mekanizmasının temel sınırlaması, işlemin yalnızca yüzey tabakasıyla sınırlı olmasıdır. Bu nedenle karbonlaşmış tabaka, mekanik yük taşıma açısından aktif bir rol üstlenmemekte, esas olarak yüzeysel bir koruyucu bariyer görevi görmektedir. Ayrıca karbonlaşmış yüzeyin gevrek yapısı, uygulama sonrası fırçalama, yağlama veya yüzey sabitleme gibi işlemleri zorunlu kılmaktadır (Hill, 2007; Kymäläinen ve diğ., 2022b; Cirule ve diğ., 2024).

Bu bağlamda yüzeysel karbonlaştırma, ahşap malzemede mekanik performansı artırmaya yönelik bir yöntemden ziyade çevresel dayanıklılığı iyileştirmeye odaklanan bir yüzey modifikasyon yaklaşımı olarak değerlendirilmelidir (Rowell, 2012; Hasburgh ve diğ., 2021).

Bu bölümde açıklanan termal ve mikroyapısal mekanizmalar, yüzeysel karbonlaştırmanın performans özelliklerini doğrudan belirlemektedir. Bu

nedenle bir sonraki bölümde söz konusu mekanizmaların uygulama yöntemleri ve kontrol parametreleri bağlamında nasıl yönetildiği ayrıntılı olarak ele alınacaktır (Kymäläinen ve diğ., 2023).

## 4. UYGULAMA YÖNTEMLERİ VE KARBONLAŞTIRMA DERİNLİĞİNİN KONTROLÜ

Yüzeysel karbonlaştırmanın performansı, kullanılan uygulama yöntemi, ısıl etki süresi ve karbonlaşma derinliğinin kontrolü ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle yöntem seçimi, yüzeyde elde edilmek istenen koruyucu tabakanın sürekliliği ve servis davranışı açısından kritik öneme sahiptir. Uygulama sürecinin temel amacı, ahşap yüzeyde homojen ve kontrollü bir karbon tabakası oluştururken iç kesitte meydana gelebilecek termal hasarı minimum düzeyde tutmaktır (Hill, 2007; Kymäläinen ve diğ., 2023; Humar ve diğ., 2025).

Yüzeysel karbonlaştırma uygulamaları, kullanılan enerji kaynağı, proses kontrol düzeyi ve uygulama ölçeğine bağlı olarak farklı yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir. Literatürde bu uygulamalar genel olarak dört ana grupta sınıflandırılmaktadır: (i) açık alev veya şaloma ile gerçekleştirilen karbonlaştırma uygulamaları, (ii) kontrollü fırın veya kapalı sistemlerde yapılan karbonlaştırma işlemleri, (iii) endüstriyel üretim hatlarında uygulanan sürekli karbonlaştırma sistemleri ve (iv) karbonlaştırma sonrasında gerçekleştirilen yüzey stabilizasyon işlemleri. Bu yöntemler, proses kontrol düzeyi, elde edilen karbon tabakasının homojenliği ve uygulama ölçeği bakımından önemli farklılıklar göstermektedir (Sandberg ve diğ., 2017; Kymäläinen ve diğ., 2023; Humar ve diğ., 2025).

Yüzeysel karbonlaştırma uygulamalarında kullanılan başlıca yöntemler ve uygulama aşamaları Şekil 3'te şematik olarak gösterilmektedir.




**Şekil 3:** Yüzeysel karbonlaştırma uygulama yöntemlerinin şematik gösterimi: alevle karbonlaştırma, kontrollü fırın karbonlaştırması, endüstriyel karbonlaştırma hatları ve karbonlaştırma sonrası yüzey stabilizasyon işlemleri.

Söz konusu yöntemlerin temel özellikleri, uygulama avantajları ve sınırlamaları Tablo 2'de karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır.

**Tablo 2:** Yüzeysel karbonlaştırma uygulama yöntemlerinin karşılaştırılması

| Yöntem | Proses kontrolü | Homojenlik | Uygulama ölçeği | Avantaj | Dezavantaj |
|---|---|---|---|---|---|
| Açık alev | Düşük | Operatöre bağlı | Saha | Hızlı ve düşük maliyetli | Kontrol zor |
| Fırın sistemi | Yüksek | Yüksek | Endüstriyel | Homojen sonuç | Maliyet yüksek |
| Endüstriyel hat | Çok yüksek | Çok yüksek | Seri üretim | Yüksek tekrarlanabilirlik | Yüksek yatırım maliyeti |
| Son işlem | Stabilizasyon | Yüzey dayanımı | Tüm ölçek | Yüzey performansı artar | Ek işlem gerektirir |

## 4.1. Alevle Yüzeysel Karbonlaştırma

Alevle karbonlaştırma, yüzeysel karbonlaştırma uygulamaları arasında en yaygın ve en pratik yöntem olarak öne çıkmaktadır. Bu yöntemde genellikle LPG veya propan bazlı bir şaloma kullanılarak ahşap yüzey kısa süreli ve kontrollü biçimde ısıtılmaktadır. Alev, yüzey boyunca sürekli hareket ettirilerek lokal aşırı ısınmaların önüne geçilmeye çalışılmaktadır (Sandberg ve diğ., 2017; Kymäläinen ve diğ., 2023).

Alevle karbonlaştırma yönteminin başlıca avantajları, uygulama süresinin kısa olması, saha koşullarında rahatlıkla uygulanabilmesi ve ekipman gereksiniminin sınırlı olmasıdır. Bununla birlikte bu yöntemde karbonlaşma derinliği büyük ölçüde operatör deneyimine bağlıdır. Alevin yüzeyde uzun süre tutulması, karbonlaşma derinliğinin artmasına ve yüzey tabakasında gevrekleşmeye neden olabilmektedir (Kymäläinen ve diğ., 2022a; Machová ve diğ., 2021).

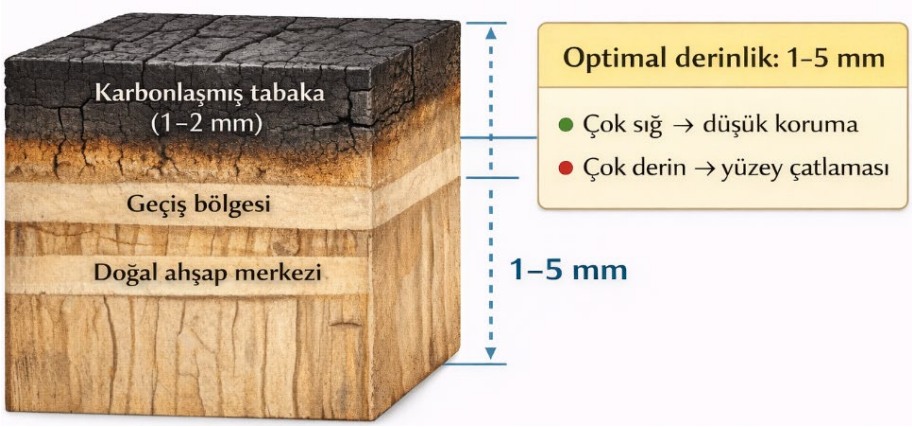
### 4.2. Fırın ve Kontrollü Isıtma Yöntemleri

Endüstriyel uygulamalarda yüzeysel karbonlaştırma, kontrollü fırın sistemleri veya özel ısıtma odaları kullanılarak da gerçekleştirilebilmektedir. Bu yöntemlerde sıcaklık, süre ve atmosfer koşulları daha hassas biçimde ayarlanabilmekte; böylece karbonlaşma derinliği daha homojen bir şekilde kontrol edilebilmektedir (Hill, 2007; Kymäläinen ve diğ., 2022b).

Fırınla karbonlaştırma yönteminin en önemli avantajı, tekrarlanabilirlik ve homojenlik sağlamasıdır. Ancak yüksek enerji tüketimi, ekipman maliyeti ve uygulama süresinin görece uzun olması, bu yöntemin saha uygulamalarında sınırlı kalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle kontrollü fırın yöntemleri çoğunlukla yüksek katma değerli mimari elemanlar veya deneysel çalışmalar kapsamında tercih edilmektedir (Sandberg ve diğ., 2017; Humar ve diğ., 2025).

### 4.3. Karbonlaşma Derinliğinin Kontrolü

Yüzeysel karbonlaştırma uygulamalarında karbonlaşma derinliği genellikle 1–5 mm aralığında tutulmaktadır. Bu derinlik aralığı, yüzeyde yeterli karbon tabakası oluşarak su emme davranışının azaltılması ve biyolojik dayanımın artırılması için gerekli minimum koruma seviyesini sağlarken, aynı zamanda yüzey tabakasının aşırı gevrekleşmesini ve pul pul dökülme riskini sınırlayan optimum bir aralık olarak kabul edilmektedir (Kymäläinen ve diğ., 2020; Kymäläinen ve diğ., 2022a). Yüzeysel karbonlaştırma sonucunda oluşan karbonlaşmış yüzey tabakası, termal etkilenmiş geçiş bölgesi ve termal olarak etkilenmemiş doğal ahşap dokusunun şematik gösterimi Şekil 4'te sunulmaktadır.




**Şekil 4:** Yüzeysel karbonlaştırma sonucunda oluşan karbonlaşmış tabaka, termal etkilenmiş geçiş bölgesi ve doğal ahşap dokusu ile optimal karbonlaşma derinliğinin şematik gösterimi.

Karbonlaşma derinliğini belirleyen başlıca proses parametreleri aşağıda özetlenmiştir:

- Uygulanan sıcaklık
- Isıl etki süresi
- Ahşabın yoğunluğu ve lif yapısı
- Yüzey nem içeriği (Hill, 2007; Rowell, 2012).

Karbonlaşma derinliğinin yetersiz olması durumunda yüzey koruyucu etkisi sınırlı kalmakta; aşırı derinliklerde ise karbon tabakasında pul pul dökülme ve mekanik bütünlük kaybı riski ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle uygulama sürecinde kontrollü ve tekrarlanabilir parametrelerin kullanılması büyük önem taşımaktadır (Kymäläinen ve diğ., 2022b; Machová ve diğ., 2021).

### 4.4. Karbonlaştırma Sonrası Yüzey İşlemleri

Yüzeysel karbonlaştırma işlemi tamamlandıktan sonra karbonlaşmış yüzey çoğu uygulamada doğrudan kullanıma bırakılmamaktadır. Karbonlaşma sonucunda oluşan gevrek karbon tabakası, yüzey fırçalama işlemi ile kısmen uzaklaştırılarak daha stabil ve kontrollü bir yüzey elde edilmektedir. Bu işlem, yüzeyde gevşek karbon parçacıklarının uzaklaştırılmasını sağlayarak kaplama veya yüzey sabitleme işlemleri için uygun bir alt tabaka oluşturmaktadır.

Fırçalama işlemini takiben doğal yağlar, bitkisel bazlı kaplamalar veya şeffaf yüzey sabitleyiciler uygulanarak karbonlaşmış yüzey tabakasının

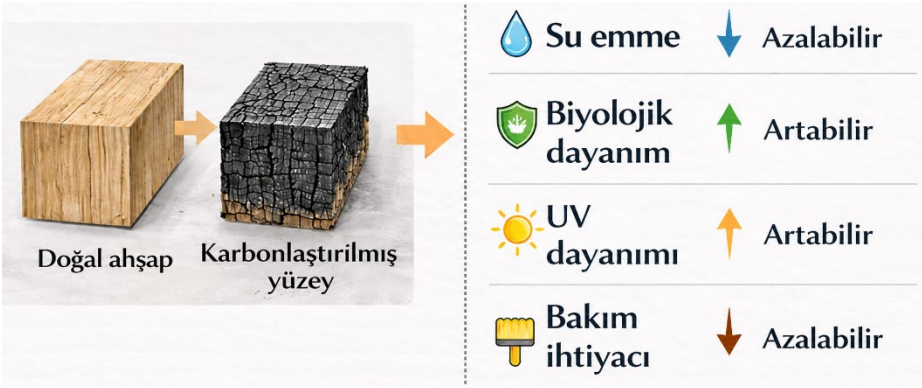
stabilitesi artırılmakta ve yüzeyde oluşabilecek tozlanma eğilimi azaltılmaktadır. Bu tür yüzey işlemleri aynı zamanda karbon tabakasının çevresel etkilere karşı dayanımını artırarak uzun dönem servis performansına katkı sağlamaktadır (Cirule ve diğ., 2024; Šeda ve diğ., 2023).

Bu son işlemler, yüzeysel karbonlaştırma uygulamalarının uzun dönem performansı açısından önemli bir aşama olarak değerlendirilmektedir. Yeterli yüzey stabilizasyonunun sağlanmadığı durumlarda karbonlaşmış yüzey tabakasında çevresel etkiler nedeniyle zamanla yüzey kayıpları ve tabaka dökülmeleri meydana gelebilmektedir (Kymäläinen ve diğ., 2022c; Humar ve diğ., 2025).

Bu bölümde ele alınan uygulama yöntemleri ve karbonlaşma derinliğinin kontrolüne ilişkin parametreler, yüzeysel karbonlaştırmanın pratik uygulamalardaki başarısını doğrudan belirlemektedir. Bir sonraki bölümde ise bu yöntemlerin sonuçları yüzey performansı kriterleri çerçevesinde değerlendirilerek karbonlaştırılmış ahşap yüzeylerin teknik kazanımları ayrıntılı olarak incelenecektir (Kymäläinen ve diğ., 2023).

## 5. YÜZEY PERFORMANSI VE DAYANIKLILIK ÖZELLİKLERİ

Yüzeysel karbonlaştırma işleminin ahşap malzemeye kazandırdığı temel avantajlar, esas olarak yüzey performansı ve dayanıklılık kriterleri üzerinden değerlendirilmektedir. Önceki bölümlerde açıklanan termal ve mikroyapısal mekanizmalar ile uygulama parametreleri, karbonlaştırılmış yüzeyin servis koşulları altındaki davranışını doğrudan belirlemektedir. Bu bağlamda yüzeysel karbonlaştırmanın performansı; su emme davranışı, biyolojik dayanım, UV ve renk stabilitesi ile uzun dönem yüzey bütünlüğü açısından ele alınmalıdır (Kymäläinen ve diğ., 2020; Hasburgh ve diğ., 2021; Soytürk ve diğ., 2023). Yüzeysel karbonlaştırma sonrasında ahşap yüzey performansında meydana gelen başlıca değişimler Şekil 5'te şematik olarak gösterilmektedir.




**Şekil 5:** Yüzeysel karbonlaştırma sonrasında ahşap yüzey performansında meydana gelen başlıca değişimlerin şematik gösterimi

### 5.1. Su Emme ve Nem Davranışı

Ahşap malzemede yüzeysel karbonlaştırma sonrasında en belirgin performans değişimlerinden biri, su emme eğilimindeki azalmadır. Karbonlaşma sırasında yüzeydeki hidroksil gruplarının azalması ve uçucu bileşenlerin uzaklaşması, karbonlaşmış tabakanın daha hidrofobik bir karakter kazanmasına neden olmaktadır. Ayrıca karbon tabakasının gözenekli ancak süreksiz yapısı, suyun kapiler hareketle iç kesite ilerlemesini sınırlandırmaktadır (Rowell, 2012; Kymäläinen ve diğ., 2022c; Machová ve diğ., 2021).

Bu durum, özellikle dış ortam koşullarında kullanılan ahşap elemanlarda nem kaynaklı şişme–büzülme döngülerinin azalmasına katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte karbonlaşmış yüzeyin tamamen su geçirmez bir tabaka oluşturmadığı ve performansın büyük ölçüde karbonlaşma derinliği ile karbonlaştırma sonrası uygulanan yüzey sabitleyicilere bağlı olduğu vurgulanmalıdır. (Kymäläinen ve diğ., 2022a; Šeda ve diğ., 2023; Cirule ve diğ., 2024). Literatürde bazı çalışmalar karbonlaştırılmış yüzeylerde su emme davranışında belirgin azalmalar rapor ederken, özellikle yüzey stabilizasyon işlemlerinin uygulanmadığı durumlarda bu etkinin daha sınırlı kaldığı da bildirilmektedir.

### 5.2. Biyolojik Dayanım

Yüzeysel karbonlaştırmanın biyolojik dayanım üzerindeki etkisi, yüzeyde oluşan karbon tabakasının mikroorganizmalar için elverişsiz bir ortam

oluşturmasıyla ilişkilidir. Karbonlaşmış yüzeyde besin kaynağı niteliğindeki organik bileşenlerin büyük ölçüde parçalanması, mantar ve böceklerin yüzeyde tutunmasını zorlaştırmaktadır. Ayrıca karbonlaşma sonrası yüzey pH'ındaki artışın, biyolojik aktiviteyi sınırlandırdığı bildirilmektedir (Hasburgh ve diğ., 2021; Soytürk ve diğ., 2023; Machová ve diğ., 2021).

Bu özellikler, yüzeysel karbonlaştırmayı özellikle kimyasal emprenye maddelerinin tercih edilmediği veya sınırlandırıldığı uygulamalar için cazip bir alternatif hâline getirmektedir. Ancak biyolojik dayanımın, karbonlaşma derinliği yetersiz olduğunda veya karbon tabakası uygun şekilde sabitlenmediğinde sınırlı kalabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca farklı çalışmalar, biyolojik dayanım üzerindeki etkinin kullanılan karbonlaştırma yöntemi ve oluşan karbon tabakasının sürekliliğine bağlı olarak değişebildiğini göstermektedir (Šeda ve diğ., 2023; Humar ve diğ., 2025).

### 5.3. UV Direnci ve Renk Stabilitesi

Ahşap yüzeylerin dış ortam koşullarında karşılaştığı temel sorunlardan biri, UV ışınımına bağlı renk değişimi ve yüzey bozunmasıdır. Yüzeysel karbonlaştırma, karbon esaslı yapının UV ışınımına karşı daha stabil olması nedeniyle bu tür degradasyonları önemli ölçüde sınırlandırmaktadır. Karbonlaşmış yüzeyler, doğal ahşap yüzeylere kıyasla UV etkisi altında daha yavaş renk değişimi göstermekte ve yüzey bütünlüğünü daha uzun süre koruyabilmektedir (Kymäläinen ve diğ., 2020; Kymäläinen ve diğ., 2022a).

Bununla birlikte karbonlaştırılmış yüzeylerde renk tonu ve homojenlik, uygulama yöntemine ve operatör kontrolüne yüksek derecede bağlıdır. Bu nedenle mimari uygulamalarda estetik sürekliliğin sağlanabilmesi için karbonlaştırma parametrelerinin dikkatle seçilmesi gerekmektedir. Literatürde bazı çalışmalar karbonlaştırılmış yüzeylerin uzun süreli UV maruziyeti altında renk stabilitesini önemli ölçüde koruduğunu bildirirken, bazı uygulamalarda yüzey homojenliğinin operatör kontrolüne bağlı olarak değişebildiği de belirtilmektedir (Kymäläinen ve diğ., 2023; Sandberg ve diğ., 2017).

### 5.4. Uzun Dönem Servis Davranışı

Yüzeysel karbonlaştırmanın uzun dönem performansı, yalnızca karbonlaşma işlemiyle değil, karbonlaştırma sonrası uygulanan yüzey işlemleriyle de yakından ilişkilidir. Fırçalama ve yağlama gibi işlemlerle stabilize edilen karbon tabakaları, çevresel etkilere karşı daha dayanıklı bir

servis davranışı sergilemektedir. Buna karşılık uygun şekilde sabitlenmemiş yüzeylerde karbon tabakasının zamanla toz vermesi veya yüzey kayıplarının oluşması söz konusu olabilmektedir (Cirule ve diğ., 2024; Šeda ve diğ., 2023; Humar ve diğ., 2025).

Bu nedenle yüzeysel karbonlaştırma, tek aşamalı bir işlem olarak değil, karbonlaştırma, yüzey temizleme ve sabitleme adımlarını içeren bütüncül bir yüzey sistemi olarak değerlendirilmelidir (Kymäläinen ve diğ., 2022c; Hasburgh ve diğ., 2021).

Bu bölümde ele alınan yüzey performansı ve dayanıklılık özellikleri, yüzeysel karbonlaştırma uygulamalarının pratikte neden tercih edildiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte bu yöntem belirli avantajlar sunarken bazı teknik ve uygulama sınırlamalarını da beraberinde getirmektedir. Bu nedenle bir sonraki bölümde yüzeysel karbonlaştırmanın avantajları ve sınırlamaları karşılaştırmalı bir perspektifle ele alınacaktır (Hill, 2007; Kymäläinen ve diğ., 2023).

## 6. AVANTAJLAR VE SINIRLAMALAR

### 6.1. Avantajlar

Yüzeysel karbonlaştırmanın ahşap teknolojisi açısından öne çıkan başlıca avantajları aşağıda özetlenmektedir. Bu avantajlar, özellikle çevresel dayanıklılık, bakım gereksinimi ve mimari performans bağlamında değerlendirilmektedir.

- Düşük kimyasal müdahale; yüzeysel karbonlaştırma, kimyasal emprenye maddeleri kullanılmadan uygulanabilen bir yüzey modifikasyon yöntemidir. Bu özellik, özellikle kimyasal koruyucu kullanımının azaltılması açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır (Hill, 2007; Sandberg ve diğ., 2017).
- Artırılmış yüzey dayanıklılığı; karbonlaşmış yüzey tabakası, su emme, UV ışınımı ve biyolojik etkilere karşı doğal ahşap yüzeylere kıyasla daha dirençli bir davranış sergilemektedir. Bu durum özellikle dış ortam koşullarında kullanılan ahşap elemanların servis ömrünün uzamasına katkı sağlamaktadır (Kymäläinen ve diğ., 2020; Hasburgh ve diğ., 2021; Soytürk ve diğ., 2023).
- Bakım ihtiyacının azalması; uygun şekilde stabilize edilmiş karbonlaşmış yüzeyler, geleneksel ahşap yüzeylere kıyasla daha

düşük bakım gereksinimi göstermektedir. Bu durum özellikle dış cephe kaplamaları ve mimari yüzey elemanlarında uzun dönem bakım maliyetlerinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır (Šeda ve diğ., 2023; Cirule ve diğ., 2024).

- Yangın davranışına katkı; karbonlaşmış yüzey tabakası, düşük ısıl iletkenlik özelliği sayesinde alt tabakaya ısı geçişini yavaşlatabilmekte ve belirli koşullar altında yangın ilerlemesini sınırlayıcı bir etki gösterebilmektedir (White & Nordheim, 1992; Hasburgh ve diğ., 2021; Lin ve diğ., 2023).
- Estetik ve mimari değer; yüzeysel karbonlaştırma, ahşap yüzeylerde karakteristik koyu renk tonları ve belirgin bir doku oluşturarak mimari tasarımlarda güçlü bir görsel etki yaratmaktadır. Bu nedenle yöntem özellikle çağdaş mimari uygulamalarda estetik bir yüzey çözümü olarak tercih edilmektedir (Sandberg ve diğ., 2017; Kymäläinen ve diğ., 2023).
- Sürdürülebilirlik potansiyeli; kimyasal kullanımını sınırlaması ve uzun ömürlü bir yüzey çözümü sunması nedeniyle yüzeysel karbonlaştırma, sürdürülebilir yapı malzemeleri ve çevre dostu yüzey teknolojileri bağlamında dikkat çekici bir yöntem olarak değerlendirilmektedir (Hill, 2007; Rowell, 2012).

## 6.2. Sınırlamalar

Yüzeysel karbonlaştırma önemli avantajlar sunmakla birlikte, yöntemin bazı teknik ve uygulamaya bağlı sınırlamaları da bulunmaktadır.

- Yüzey gevrekliği; karbonlaşmış yüzey tabakası nispeten gevrek bir yapıya sahiptir ve uygun şekilde stabilize edilmediği durumlarda yüzeyde toz verme veya karbon tabakasının kısmi kaybı gözlenebilmektedir (Kymäläinen ve diğ., 2022b; Šeda ve diğ., 2023).
- Uygulama hassasiyeti; karbonlaşma derinliği ve yüzey homojenliği büyük ölçüde uygulama parametrelerine ve operatör deneyimine bağlıdır. Kontrolsüz uygulamalar, yüzey performansının düşmesine ve estetik açıdan istenmeyen sonuçların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir (Kymäläinen ve diğ., 2022a; Machová ve diğ., 2021).
- Mekanik katkı sağlamaması; yüzeysel karbonlaştırma, ahşabın mekanik özelliklerini artırmaya yönelik bir güçlendirme yöntemi

değildir. Bu nedenle yöntem, taşıyıcı performansı artırma amacıyla değerlendirilmemelidir (Rowell, 2012; Hasburgh ve diğ., 2021).

- Standart eksikliği; yüzeysel karbonlaştırma uygulamalarına ilişkin uluslararası standartların sınırlı olması, performansın karşılaştırılmasını ve yöntemin endüstriyel ölçekte yaygınlaşmasını zorlaştıran önemli bir faktör olarak değerlendirilmektedir (Sandberg ve diğ., 2017; Kymäläinen ve diğ., 2023).
- Yüzey hasarına hassasiyet; karbonlaşmış yüzey tabakası, çizilme ve darbe gibi mekanik etkilere karşı doğal ahşap yüzeylere kıyasla daha hassas olabilmektedir. Bu durum özellikle yoğun mekanik etkilere maruz kalan yüzeylerde dikkatli bir kullanım gerektirmektedir (Machová ve diğ., 2021; Humar ve diğ., 2025).

## 6.3. Uygunluk Alanlarının Değerlendirilmesi

Yukarıda belirtilen avantajlar ve sınırlamalar birlikte değerlendirildiğinde, yüzeysel karbonlaştırmanın özellikle dış cephe kaplamaları, mimari yüzey elemanları ve düşük bakım gerektiren uygulamalar için uygun bir çözüm sunduğu görülmektedir. Karbonlaşmış yüzey tabakası, çevresel etkilere karşı artan dayanıklılık sağlarken aynı zamanda ahşap malzemeye özgün bir estetik karakter kazandırmaktadır. Bu özellikler, yöntemi özellikle mimari tasarım ve dış mekân uygulamalarında cazip bir yüzey modifikasyon tekniği hâline getirmektedir (Hasburgh ve diğ., 2021; Sandberg ve diğ., 2017).

Bununla birlikte yüzeysel karbonlaştırmanın mekanik performansı artırmaya yönelik bir yöntem olmadığı ve karbonlaşmış yüzey tabakasının mekanik darbelere karşı nispeten hassas olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle yüksek mekanik dayanım veya yüzey bütünlüğünün kritik olduğu taşıyıcı elemanlarda yöntemin dikkatli bir mühendislik değerlendirmesi çerçevesinde uygulanması gerekmektedir.

Bu çerçevede yüzeysel karbonlaştırma, doğru kullanım alanlarında tercih edildiğinde yüksek dayanıklılık, düşük bakım gereksinimi ve güçlü estetik değer sunabilen bir yüzey teknolojisi olarak değerlendirilebilir. Ancak uygulama parametrelerinin doğru seçilmemesi veya yöntemin uygun olmayan kullanım alanlarında tercih edilmesi durumunda performans beklentilerinin karşılanması zorlaşabilmektedir (Hill, 2007; Kymäläinen ve diğ., 2023).

Bu bölümde ele alınan avantajlar ve sınırlamalar, yüzeysel karbonlaştırmanın teknik sınırlarını ortaya koymaktadır. Bir sonraki bölümde yöntemin mevcut durumu genel bir çerçevede değerlendirilerek gelecek araştırma alanları ve standartlaşma gereksinimleri tartışılacaktır (Rowell, 2012; Kymäläinen ve diğ., 2023).

## 7. GELECEK PERSPEKTİFİ VE SONUÇLAR

Yüzeysel karbonlaştırma, ahşap malzemenin yalnızca dış tabakasını hedef alan özgün bir yüzey modifikasyon tekniği olarak, geleneksel bilgi birikimi ile modern malzeme yaklaşımını bir araya getirmektedir. Bu kitap bölümünde ele alınan mekanizma, uygulama yöntemleri ve yüzey performansı değerlendirmeleri, yüzeysel karbonlaştırmanın ahşap teknolojisi içindeki yerinin mekanik güçlendirmeden bağımsız, ancak dayanıklılık ve servis ömrü açısından kritik bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır (Hill, 2007; Rowell, 2012; Kymäläinen ve diğ., 2023).

Karbonlaştırma sırasında yüzeyde oluşan karbon esaslı tabaka; su emme davranışının sınırlandırılması, biyolojik bozulmaya karşı direnç sağlanması ve UV kaynaklı yüzey degradasyonunun yavaşlatılması açısından önemli kazanımlar sunmaktadır. Bununla birlikte yöntemin etkisinin yüzeyle sınırlı olması, karbonlaşma derinliğinin ve uygulama parametrelerinin hassas biçimde kontrol edilmesini gerekli kılmaktadır. Bu nedenle yüzeysel karbonlaştırma tek aşamalı bir işlem olarak değil, karbonlaştırma, yüzey temizleme ve yüzey stabilizasyonu adımlarını içeren bütüncül bir yüzey sistemi olarak değerlendirilmelidir (Hasburgh ve diğ., 2021; Šeda ve diğ., 2023; Cirule ve diğ., 2024).

Mevcut literatür incelendiğinde, yüzeysel karbonlaştırmanın performansına ilişkin bulguların büyük ölçüde deneysel ve uygulama bazlı olduğu; buna karşın yöntemle ilgili standartlaşmanın sınırlı kaldığı görülmektedir. Karbonlaşma derinliğinin ölçülmesi, yüzey performansının karşılaştırılabilir kriterlerle değerlendirilmesi ve uzun dönem servis davranışının izlenmesi konularında daha sistematik çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır. Özellikle farklı ahşap türleri, yoğunluk sınıfları ve yüzey sonlandırma işlemleri arasındaki etkileşimlerin ayrıntılı biçimde araştırılması, yöntemin güvenilirliğini artıracaktır (Sandberg ve diğ., 2017; Kymäläinen ve diğ., 2022a; Kymäläinen ve diğ., 2022b).

Gelecekte yüzeysel karbonlaştırmaya yönelik araştırmaların, yalnızca yüzey dayanıklılığı ile sınırlı kalmayarak, sürdürülebilirlik, yaşam döngüsü analizi ve çevresel performans başlıklarıyla bütünleştirilmesi önem taşımaktadır. Kimyasal koruyuculara alternatif olarak değerlendirilen bu yöntemin, düşük çevresel etki ve uzun servis ömrü potansiyeli, ahşap yapı teknolojilerinde daha geniş bir uygulama alanı bulmasını mümkün kılmaktadır (Hill, 2007; Rowell, 2012; Forest Products Laboratory, 2010).

Sonuç olarak yüzeysel karbonlaştırma, ahşap malzemenin doğal karakterini koruyarak çevresel etkilere karşı dayanımını artıran, estetik ve teknik boyutları birlikte değerlendirilmesi gereken bir yüzey teknolojisi olarak değerlendirilmektedir. Doğru uygulama koşulları altında ve uygun kullanım alanlarında tercih edildiğinde, bu yöntemin ahşap yapı ve mimari uygulamalara önemli katkılar sunabileceği değerlendirilmektedir (Kymäläinen ve diğ., 2023; Hasburgh ve diğ., 2021).

Bu bağlamda yüzeysel karbonlaştırma, yapısal bir güçlendirme yöntemi olmaktan ziyade; doğru proses kontrolü ve uygun yüzey stabilizasyonu ile yüksek dayanıklılık potansiyeli sunan sürdürülebilir bir yüzey mühendisliği yaklaşımıdır.

Gelecekte gerçekleştirilecek çalışmalarda, yüzeysel karbonlaştırmanın farklı ahşap türlerinde standartlaştırılmış uygulama parametreleri ile değerlendirilmesi, karbonlaşma derinliğinin sayısal olarak modellenmesi, uzun dönem dış ortam performansının izlenmesi ve yaşam döngüsü analizleri ile sürdürülebilirlik boyutunun ortaya konulması önem taşımaktadır. Ayrıca karbonlaştırılmış yüzeylerin mekanik davranış, yangın performansı ve biyolojik dayanım açısından çok ölçekli deneysel çalışmalarla desteklenmesi yöntemin mühendislik uygulamalarındaki güvenilirliğini artıracak ve yöntemin ahşap yapı teknolojilerinde daha yaygın kullanımına önemli katkılar sağlayacaktır.

## KAYNAKÇA

Cirule, D., Andersone, I., Kuka, E., & Andersons, B. (2024). Recent Research on Linseed Oil Use in Wood Protection—A Review. *Sci*, *6*(3), 54.

Esteves, B., & Pereira, H. (2009). Wood modification by heat treatment: A review. *BioResources, 4*(1), 370–404.

Forest Products Laboratory. (2010). Fire safety of wood construction. In *Wood handbook: Wood as an engineering material* (Chapter 18). Madison, WI: USDA.

Forest Products Laboratory. (2010). *Wood handbook: Wood as an engineering material* (FPL–GTR–190). Madison, WI: USDA Forest Service.

Hasburgh, L. E., Zelinka, S. L., Bishell, A. B., & Kirker, G. T. (2021). Durability and fire performance of charred wood siding (shou sugi ban). *Forests*, *12*(9), 1262

Hill, C. A. (2007). *Wood modification: chemical, thermal and other processes*. John Wiley & Sons.

Humar, M., Lesar, B., & Kržišnik, D. (2025). Studies on the durability and moisture dynamics of contact charred softwoods. *Industrial Crops and Products*, *229*, 121033.

Köroğlu, C., & Altunok, M. (2025) Yapısal Bazı Ahşap Türü Malzemede Koruma Amaçlı Yüzeysel Yakmanın (Karbonlaştırmanın) Ahşap Özelliklerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 1-1.

Kymäläinen, M., Dömény, J., Schwarzkopf, M., Šeda, V., & Rautkari, L. (2023). Evaluating the quality of surface carbonized woods modified with a contact charring or a gas flame charring technique. *Wood Science and Technology*, *57*(6), 1299-1317.

Kymäläinen, M., Lourençon, T. V., & Lillqvist, K. (2022a). Natural weathering of soft-and hardwoods modified by contact and flame charring methods. *European Journal of Wood and Wood Products*, *80*(6), 1309-1320.

Kymäläinen, M., Rautkari, L., & Hughes, M. (2022b). Artificial weathering of contact-charred wood: The effect of modification duration, wood species and material density. *Materials, 15*(11), 3951.

Kymäläinen, M., Rautkari, L., & Hughes, M. (2022c). Moisture sorption of wood surfaces modified by one-sided charring. *Coatings, 12*(3), 354.

Kymäläinen, M., Turunen, M., Rautkari, L., & Hughes, M. (2020). Effect of weathering on surface functional groups of charred Norway spruce cladding panels. *Forests, 11*(12), 1373.

Lin, S., Qin, Y., Huang, X., & Gollner, M. (2023). Use of pre-charred surfaces to improve fire performance of wood. *Fire Safety Journal*, *136*, 103745.

Machová, D., Oberhofnerová, E., & Čermák, P. (2021). Surface characteristics of one-sided charred beech wood. *Polymers, 13*(10), 1637.

Rowell, R. M. (Ed.). (2012). *Handbook of wood chemistry and wood composites* (2nd ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.

Sandberg, D., Kutnar, A., & Mantanis, G. (2017). Wood modification technologies-a review. *Iforest-Biogeosciences and forestry*, *10*(6), 895.

Šeda, V., Baar, J., & Paschová, Z. (2023). Artificial weathering resistance and biological durability of surface-charred beech wood combined with linseed oil coating. *BioResources, 18*(2), 3587–3604.

Soytürk, E. E., Kartal, S. N., Arango, R. A., Ohno, K. M., Solhan, E., Çağlayan, İ., & Ibanez, C. M. (2023). Surface carbonization of wood: comparison of the biological performance of Pinus taeda and Eucalyptus bosistoana woods modified by contact charring method. *Wood Material Science & Engineering*, *18*(6), 1888-1899.

White, R. H., & Nordheim, E. V. (1992). Charring rate of wood for ASTM E 119 exposure. *Fire Technology*, *28*(1), 5-30.

# BÖLÜM 2

# ASMADA BİYOTİK VE ABİYOTİK STRES YANITLARINDA MİKROBİYAL UYGULAMALARIN ROLÜ: GEN İFADESİ VE TRANSKRİPTOMİK BULGULAR

Arş. Gör. Dr. Yahya URAY[1]
Arş. Gör. Ahmet Enes URAY[2]

DOI: https://www.doi.org/10.5281/zenodo.23258521

[1] Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü. Samsun, TÜRKİYE. yahya.uray@omu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-5267-6040
[2] Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü. Kayseri, TÜRKİYE. ahmetenesuray@erciyes.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-9243-820X

## GİRİŞ

Asmada stres yanıtı, dokudaki zararlanma ve bu zararlanmayı sınırlayan süreçler birlikte incelenerek anlaşılabilir. Hastalık belirtilerinin azalması, su kaybının yavaşlaması veya fotosentezin korunması farklı nedenlere dayanabilir. Mikrobiyal uygulamalarda da koruma tek bir mekanizmayla açıklanmaz. Yararlı mikroorganizmalar patojeni doğrudan baskılayabilir veya bitkinin savunmasını uyarabilir (Miotto-Vilanova ve ark., 2016; Verhagen ve ark., 2010). Asmada yapılan bakteri uygulamalarında bu etkilere savunmaya hazırlama ve karbon kaynaklarının kullanımındaki değişimler de eşlik etmiştir. Bu nedenle hastalık şiddeti ile savunma geni ifadesini birlikte değerlendirmek gerekir (Gruau ve ark., 2015; Miotto-Vilanova ve ark., 2016).

Mikrobiyal enzimler, polisakkaritlerin daha küçük bileşenlere parçalanmasında görev alır. Bakteri ve mantarlar tarafından üretilebilen β-mannanazlar, mannan zincirindeki β-1,4 bağlarını hidroliz ederek manno-oligosakkaritlerin oluşmasını sağlar (Uray ve ark., 2023).

Gen ifadesi araştırmalarında elde edilen bilgi, kullanılan ölçüm yöntemine bağlıdır. RT-qPCR ile seçilmiş savunma genlerinin yanıtları izlenirken RNA dizilemesi (RNA-seq), büyüme, taşınım, fotosentez ve metabolizma gibi süreçlerdeki değişimleri de kapsar. *Trichoderma harzianum* T39 uygulanan asmalarda, patojen inokulasyonundan önce ve sonra alınan örneklerin RNA-seq ile karşılaştırılması, doğrudan savunma uyarımı ile enfeksiyon sonrasında güçlenen yanıtların incelenmesine olanak vermiştir (Perazzolli ve ark., 2012).

Bu bölümde, mikrobiyal elisitörlerin algılanması ve savunmayla ilişkili gen ifadesinin düzenlenmesi asma araştırmaları üzerinden incelenmektedir. Saflaştırılmış bileşikler ile canlı mikroorganizmaların etkileri, deneylerde kullanılan doku ve yöntemlerle birlikte ele alınmıştır. Alg kökenli PS3 savunmaya hazırlama örneği olarak değerlendirilmiştir. Düşük sıcaklık ve kuraklık çalışmalarına da mikrobiyal uygulamaların bu streslerdeki etkilerini açıklamak için yer verilmiştir (Duan ve ark., 2021; Gauthier ve ark., 2014; Theocharis ve ark., 2012).

# 1. STRESİN ALGILANMASI VE SAVUNMA SİNYALLERİ

## 1.1. Hücre Yüzeyinde Tanıma

Bitkiler, mikroorganizmalara ait korunmuş moleküler yapıları algılayarak örüntüyle tetiklenen bağışıklık (PTI) yanıtını başlatır. Bakteriyel flagellinden türeyen flg22 peptidi ve fungal hücre duvarındaki kitin bu yapılara örnektir (Brulé ve ark., 2019; Sun ve ark., 2013). Asmada flagellin algısında görev alan VvFLS2 geninin *Arabidopsis* fls2 mutantında ifade edilmesi, mutantın algılama kusurunu gidermiştir. Asma hücreleri farklı bakterilerden elde edilen flg22 peptitlerine aynı yanıtı vermemiştir. Yararlı *Burkholderia phytofirmans* PsJN kökenli peptidin daha zayıf ve geçici yanıt oluşturması, peptidin amino asit dizisinin algılanma biçimini etkilediğini göstermiştir (Trdá ve ark., 2014).

Kitin ve kitosan oligomerlerinin algılanmasında LysM tipi reseptör kinazlar görev alır. Asmaya ait VvLYK1-1 ve VvLYK1-2 genleri, *Arabidopsis* cerk1 mutantında bu oligomerlere verilen savunma yanıtlarını yeniden sağlamıştır. VvLYK1-1'in ifade edildiği *Arabidopsis* yapraklarında, asma külleme etmeni *Erysiphe necator*'un hücreye girişi de azalmıştır. Burada ölçülen özellik, *Arabidopsis*'in bu patojene karşı göstermiş olduğu dirençtir (Brulé ve ark., 2019). Bir diğer asma reseptörü olan VvLYK5-1, *Arabidopsis* lyk4/5 mutantında kitin yanıtını yeniden sağlamış, ancak kitosana yanıtta aynı etki görülmemiştir. *Nicotiana tabacum* 'Xanthi' yapraklarında ise kitin uygulamasından sonra VvLYK5-1 ve VvLYK1-1 proteinlerinin etkileştiği belirlenmiştir. Bu etkileşim, iki reseptörün kitin algısında birlikte görev alabileceğini düşündürmektedir (Roudaire ve ark., 2023).

Hücre yüzeyindeki reseptörlerin başlattığı PTI ile hücre içindeki NLR reseptörlerinin başlattığı efektörle tetiklenen bağışıklık (ETI) birbirini destekler. *Arabidopsis*'te bazı örüntü tanıma reseptörleri ve eş reseptörleri işlevsiz olduğunda, NLR aracılı savunma ve bakteriyel enfeksiyona karşı direnç zayıflamıştır (Yuan ve ark., 2021). Aynı bitkide yürütülen diğer deneyler de PTI ve ETI yanıtlarının karşılıklı olarak güçlendiğini göstermiştir (Ngou ve ark., 2021).

## 1.2. Erken Sinyal Olayları ve Hormonal Düzenleme

Elisitör algısından sonra hücre dışı ortamın pH'sı yükselebilir. Hücre içi kalsiyum düzeyi, reaktif oksijen üretimi ve MAPK etkinliği değişebilir (Farace

ve ark., 2015; Varnier ve ark., 2009). Bu yanıtların şiddeti ve süresi mikroorganizmaya göre farklılık gösterir. Asma hücre süspansiyonlarında *Burkholderia phytofirmans* PsJN, ortam pH'sında geçici bir yükselme ve savunma genlerinin ifadesinde görece sınırlı bir artış oluşturmuştur. Belirgin hidrojen peroksit birikimi veya hücre ölümü saptanmamıştır. Karşılaştırmada kullanılan ve asmada hastalık oluşturmayan *Pseudomonas syringae* pv. pisi ise daha uzun süren pH artışına, hidrojen peroksit birikimine ve hücre ölümüne neden olmuştur. Savunma geni yanıtı da bu bakteride daha güçlüdür (Bordiec ve ark., 2011).

Salisilik asit (SA), jasmonik asit (JA) ve etilen savunmanın hormonal düzenlenmesine katılır. SA genellikle biyotrof patojenlere, JA ve etilen ise nekrotrof patojenlere karşı savunmayla ilişkilendirilse de bu ayrım bitki ile patojen arasındaki her ilişki için geçerli değildir (Glazebrook, 2005). Mildiyöye dayanıklı Regent çeşidinde, *Plasmopara viticola* inokulasyonundan sonra JA düzeyi 6. ve 12. saatlerde, JA'nın etkin biçimi JA-Ile 12. saatte, SA ise 12. ve 24. saatlerde artmıştır. Bu hormonların sinyal yollarıyla ilişkili bazı genlerde de ifade artışı görülmüştür. Biyotrof bir patojen olan *P. viticola*'ya karşı erken yanıtta SA ve JA yolları birlikte etkinleşebilmiştir (Guerreiro ve ark., 2016).

Absisik aside (ABA) verilen gen ifadesi yanıtı organlara göre değişir. Cabernet Sauvignon çeşidinin kök, yaprak, sürgün ucu ve taneleri ile hücre kültürleri, 10 µM ABA uygulamasından iki saat sonra karşılaştırılmıştır. Yaprak örnekleri, köklerine ABA uygulanan bitkilerden alınmıştır. Bazı genler ve biyolojik süreçler birden fazla örnekte ortak yanıt verse de tüm örneklerde ifadesi anlamlı biçimde değişen tek bir ortak gen bulunmamıştır. ABA yanıtının yorumlanmasında organın yanı sıra hormonun uygulanma biçimi de dikkate alınmalıdır (Rattanakon ve ark., 2016).

## 2. MİKROBİYAL ELİSİTÖRLERİN ÖZELLİKLERİ

### 2.1. Bakteriyel Lipitler ve Lipopeptitler

Ramnolipitler, bakterilerin ürettiği ve asma savunmasını uyarabilen glikolipitlerdir. Asma hücrelerinde sitozolik kalsiyum düzeyini, MAPK etkinliğini, hidrojen peroksit üretimini ve savunmayla ilişkili genlerin ifadesini artırmıştır (Varnier ve ark., 2009). Yaprak disklerinde *Plasmopara viticola* kaynaklı mildiyö şiddetini azalttığı gösterilmiştir (Aoki ve ark., 2025). Bitkiden bağımsız deneylerde *Botrytis cinerea* sporlarının çimlenmesini ve misel

gelişimini de baskılamıştır (Botcazon ve ark., 2022; Varnier ve ark., 2009). Ramnolipit uygulanan asma bitkiciklerinde hastalık belirtileri azalmıştır. Koruyucu etkide hem savunma uyarımı hem de patojenin doğrudan baskılanması söz konusudur (Varnier ve ark., 2009).

*Bacillus subtilis*'in ürettiği halkasal lipopeptitler aynı savunma yanıtını oluşturmaz. Saflaştırılmış surfaktin, mikosubtilin ve plipastatin asma hücre süspansiyonlarında ortam pH'sını yükseltmiş, belirgin reaktif oksijen üretimi ise yalnızca surfaktinle görülmüştür. Mikosubtilin incelenen savunma genlerinin tamamının ifadesini artırırken surfaktin daha sınırlı bir yanıt oluşturmuş, plipastatin anlamlı bir artış sağlamamıştır. Mikosubtilin ve plipastatin *B. cinerea* sporlarının çimlenmesini doğrudan baskılamış, surfaktinde bu etki görülmemiştir. Yapraklarda enfeksiyonun dördüncü gününde surfaktin ve mikosubtilinle sağlanan koruma sürerken plipastatinin etkisi kaybolmuştur (Farace ve ark., 2015).

*B. subtilis* GLB191 suşunun kültür üst sıvısı, *Plasmopara viticola* enfeksiyonunu sınırlandırmış ve asma yapraklarında kalloz birikimiyle savunma geni ifadesini artırmıştır. Surfaktin veya fengisin üretimi bozulmuş mutantların üst sıvılarında koruma azalmış, her iki bileşiği üretemeyen mutantta koruma saptanmamıştır. Mutant karşılaştırmaları, bu lipopeptitlerin hem doğrudan baskılamaya hem de bitki savunmasının uyarılmasına katkısını desteklemektedir. Fengisin üretmeyen mutantta surfaktin miktarı da azaldığından, iki bileşiğin ayrı katkıları bu deneyle kesin olarak belirlenemez. Üst sıvıyla elde edilen sonuçlar, saf bileşiklerin ayrı etkileri olarak değerlendirilmemelidir (Li ve ark., 2019).

## 2.2. Fungal Bileşenler ve Uçucu Metabolitler

*Trichoderma*'nın uçucu organik bileşikleri, mantar ile bitki dokusu temas etmeden savunmayı etkileyebilir. *T. asperellum* T34, *T. harzianum* T39 ve *T. atroviride* SC1 suşlarının uçucuları asma yaprak disklerinde mildiyö şiddetini azaltmıştır. Ayrı ayrı uygulanan 6-pentil-2H-piran-2-on ve 2-pentilfuran, *Plasmopara viticola* inokulasyonundan sonra enfeksiyon bölgelerinde kalloz birikimini ve bazı savunma genlerinin ifadesini artırmıştır. Patojen bulunmadığında ise yalnızca 6-pentil-2H-piran-2-on incelenen genleri uyarmış, 2-pentilfuran aynı etkiyi göstermemiştir (Lazazzara ve ark., 2021).

### 2.3. Doğrudan Uyarılma ve Savunmaya Hazırlama

Doğrudan uyarılmada savunma yanıtı uygulamanın ardından başlar. Savunmaya hazırlamada (priming) ise ön uygulama, bitkinin daha sonra karşılaştığı patojene daha hızlı veya daha güçlü yanıt vermesini sağlar. İki durumu ayırmak için uygulama yapılan ve yapılmayan bitkiler, patojenin bulunduğu ve bulunmadığı koşullarda karşılaştırılmalıdır (Gauthier ve ark., 2014; Perazzolli ve ark., 2012).

Alg kökenli laminarinin sülfatlanmış türevi PS3, asma hücre süspansiyonlarında erken kalsiyum artışı, hidrojen peroksit üretiminde artış saptanmamıştır. Yapraklarda ise stresle ilişkili genlerin ifadesini değiştirmiştir. *P. viticola* inokulasyonundan sonra salisilik asit birikimi, bu hormonla ilişkili savunma genlerinin ifadesi ve hidrojen peroksit üretimi güçlenmiştir. PS3 örneğinde, uygulamadan hemen sonra oksidatif patlama görülmeden de savunmaya hazırlama sağlanabilmiştir (Gauthier ve ark., 2014).

Canlı bakterilerin oluşturduğu hazırlama yanıtı çeşide ve patojene bağlıdır. Köklere uygulanan *Pseudomonas fluorescens* PTA-CT2, Pinot Noir ve Solaris çeşitlerinden alınan yaprak disklerinde mildiyö ve kurşuni küf şiddetini azaltmıştır. Enfeksiyondan önce incelenen savunma genlerinin çoğunda belirgin ifade artışı görülmemiştir. İnokulasyondan sonra gen ifadesi, hormon düzeyleri ve stilben birikimi hem çeşide hem de patojene göre değişmiştir. Örneğin PTA-CT2 uygulanan Pinot Noir'da *P. viticola* enfeksiyonunu takiben salisilik asit ve absisik asit birikimi artmıştır (Lakkis ve ark., 2019).

## 3. TRANSKRİPSİYONEL VE TRANSKRİPSİYON SONRASI DÜZENLEME

### 3.1. Transkripsiyon Faktörleri ve Stilben Biyosentezi

MYB14 ve MYB15 transkripsiyon faktörleri, asmanın stilben sentaz genlerinden STS29 ve STS41'in promotörlerini etkinleştirir. MYB15'in aşırı ifade edildiği asma saçak kök kültürlerinde stilben sentaz genlerinin ifadesi ve resveratrolün glikozillenmiş biçimi trans-piceid'in birikimi artmıştır (Höll ve ark., 2013).

R2R3-MYB ailesindeki birlikte ifade ve promotör analizleri, MYB13'ü de stilben senteziyle ilişkili bir aday olarak belirlemiştir (Wong ve ark., 2016). Daha sonraki DAP-seq deneylerinde MYB13, MYB14 ve MYB15'in çok

sayıda stilben sentaz geninin düzenleyici bölgesine *in vitro* koşullarda bağlandığı gösterilmiştir. Bu proteinler, stilben sentezine öncül sağlayan şikimat ve fenilpropanoid yollarındaki bazı genlerin düzenleyici bölgelerine de bağlanmıştır (Orduña ve ark., 2022).

WRKY transkripsiyon faktörleri de stilben sentaz genlerinin ifadesine katılır. Promotör aktivitesi deneylerinde VviWRKY24, VviSTS29 promotörünü etkinleştirmiştir. VviWRKY03 ise VviMYB14 ile birlikte bulunduğunda promotör aktivitesini artırmıştır (Vannozzi ve ark., 2018).

## 3.2. Kodlamayan RNA'lar ve RNA Modifikasyonları

Stilben senteziyle ilişkili genler, transkripsiyon sonrasında mikroRNA'larla da düzenlenir. *Vitis quinquangularis*'te miR827a, VqMYB14'ü hedefleyerek ifadesini baskılamıştır. Aşırı ifade ve susturma deneyleri, miR827a'nın stilben sentezini bu gen üzerinden düzenlediğini desteklemiştir (Luo ve ark., 2024).

Külleme (*Erysiphe necator*) ve mildiyö (*Plasmopara viticola*) enfeksiyonları sırasında asma yapraklarında uzun kodlamayan RNA'ların ifade düzeyi değişmiştir. Birlikte ifade analizlerinde bu RNA'lar, kalsiyum sinyali, reaktif oksijen metabolizması ve savunma proteinleriyle ilişkili genlerle bağlantılı bulunmuştur. Bu bağlantılar olası işlevlere işaret eder (Bhatia ve ark., 2021). MSTRG.12742.1 adlı uzun kodlamayan RNA için ise geçici aşırı ifade deneyi yapılmıştır. Pinot Noir yapraklarında bu RNA'nın ifadesi artırıldığında mikroskobik incelemelerde *P. viticola* gelişiminin erken dönemde yavaşladığı, ilerleyen günlerde ise farkın azaldığı görülmüştür (Li ve ark., 2022).

Flg22 uygulamasından sonra RNA üzerindeki $N^6$-metiladenozin ($m^6A$) değişiklikleri de incelenmiştir. *V. quinquangularis* 'Shanyang' yapraklarının başlangıç ve altıncı saat örnekleri karşılaştırıldığında, bazı transkriptlerin $m^6A$ düzeyleri farklılaşmış, toplam $m^6A$ düzeyinde ise anlamlı değişiklik görülmemiştir. Çalışma transkripte özgü metilasyon değişimlerini tanımlamakla birlikte bunların hastalık direncine doğrudan etkisini göstermemiştir (Duan ve ark., 2025).

# 4. MİKROBİYAL UYGULAMALARIN TRANSKRİPTOMİK KANITLARI

## 4.1. Yaprak Hastalıklarına Karşı Yanıtlar

*Trichoderma harzianum* uygulanan Cabernet Sauvignon yapraklarında mildiyö belirtileri azalmıştır. Bu değişim transkriptom ve metabolit analizleriyle birlikte incelenmiştir. Fenilpropanoid ve flavonoid biyosenteziyle ilişkili bazı genlerde ifade artışı görülmüştür. Luteolin, kafeik asit ve ferulik asit gibi bileşiklerin birikimi de artmıştır. Koruma ile bu metabolik değişimler arasında ilişki bulunmuştur (Li ve ark., 2025).

*Saccharomyces cerevisiae* LAS117 suşunun hücre duvarı türevlerinden oluşan cerevisane, Italia çeşidinde mildiyö şiddetini azaltmıştır. RNA-seq analizleri, uygulamadan sonra PR proteinlerini, fenilalanin amonyak liyazı ve stilben sentazları kodlayan genlerin ifadesinin arttığını göstermiştir. Salisilik asit, jasmonik asit ve etilen metabolizmasıyla veya bu hormonlara verilen yanıtlarla ilişkili genlerde de değişimler belirlenmiştir (De Miccolis Angelini ve ark., 2019).

*Pseudomonas fluorescens* PTA-CT2'nin köklere uygulanması, yapraklarda *Botrytis cinerea*'ya karşı sistemik koruma sağlamıştır. Bakteri köklerde kolonize olmuş, toprak üstü kısımlarda saptanmamıştır. Seçilmiş genlerin RT-qPCR ile incelendiği çalışmada, patojen inokulasyonundan sonra HSR dahil bazı savunma genlerinin ifadesi, bakteri uygulanmamış enfekteli kontrol yapraklarına göre daha düşük bulunmuştur. GST1 ifadesi ve stilben yapılı fitoaleksinlerin birikimi ise artmıştır. Bu uygulamada bütün savunma genlerinde artış görülmeden de koruma sağlanmıştır (Gruau ve ark., 2015).

## 4.2. Odunsu Dokular ve Gövde Hastalıkları

*Trichoderma atroviride* SC1 içeren ticari Vintec uygulaması, Cabernet Sauvignon'un odun dokusunda oksin sinyaliyle ilişkili genlerin ifadesini değiştirmiştir. *Phaeomoniella chlamydospora* ve *Phaeoacremonium minimum*'un birlikte inokule edildiği bitkilerde, 48. saatte alınan örnekler RNA-seq ile incelenmiştir. Vintec uygulanan bitkilerin enfeksiyona verdiği yanıtta fenilpropanoid metabolizması ve stilben biyosenteziyle ilişkili genler öne çıkmış, bazı stilben biyosentezi genlerinin ifadesi artmıştır (Romeo-Oliván ve ark., 2022).

Gövde hastalıklarına karşı mikrobiyal koruma çeşide göre değişir. *Neofusicoccum parvum* Bt67 ile enfekte edilen Chardonnay bitkilerinde *Bacillus subtilis* PTA-271 sürgün kurumasını azaltmıştır. Tempranillo'da ise *T. atroviride* SC1'in tek başına veya bakteriyle birlikte uygulanması hem sürgün kurumasını hem de gövde içi nekrozu azaltmıştır. Sistemik savunma yanıtı, inokulasyondan dört gün sonra yapraklarda RT-qPCR ile ölçülmüştür. Korunan Tempranillo bitkilerinde PAL ve STS ifadesi, yalnızca patojen uygulanan bitkilerdekinden düşüktür. Bu karşılaştırmada daha yüksek gen ifadesi daha güçlü koruma anlamına gelmemiştir (Leal ve ark., 2021).

Chardonnay ve Tempranillo'nun *N. parvum* enfeksiyonuna ve koruyucu mikrobiyal uygulamalara verdiği farklı yanıtlar RNA-seq ile de incelenmiştir. Chardonnay'da *B. subtilis* PTA-271 ile sağlanan korumaya, fenilpropanoid biyosentezi ve diğer ikincil metabolizma süreçlerindeki gen ifadesi değişimleri eşlik etmiştir. Tempranillo'da *T. atroviride* SC1 ile korunan bitkilerde daha geniş kapsamlı metabolik gen değişimleri görülmüştür. RT-qPCR ile değerlendirilen duyarlılık ve koruma adaylarından bazılarının iki çeşitte ortak olduğu belirlenmiştir (Leal ve ark., 2025).

## 5. ABİYOTİK STRES YANITLARIYLA İLİŞKİLER

### 5.1. Mikrobiyal Uygulamaların Düşük Sıcaklık Toleransına Etkileri

İn vitro koşullarda yetiştirilen ve *Burkholderia phytofirmans* PsJN ile inokule edilen Chardonnay çeşidine ait bitkiler, 4 °C'de iki hafta tutulduğunda bakteri uygulanmayan kontrol bitkilerine göre daha yüksek kök biyokütlesi ve yapraklardan daha düşük elektrolit sızıntısı göstermiştir. Bakteri uygulanan bitkilerin yaprak ve sürgünlerinde nişasta, yapraklarında ise prolin ve toplam fenolik bileşik miktarları kontrol bitkilerine göre daha yüksek bulunmuştur. Deney, PsJN uygulaması ile donma oluşturmayan düşük sıcaklık zararının azalması arasındaki ilişkiyi ortaya koymuştur (Ait Barka ve ark., 2006).

PsJN ile hazırlanan bitkilerin soğuk yanıtı, gen ifadesi ve metabolit birikimi üzerinden izlenmiştir. Altı haftalık Chardonnay bitkiciklerinde, 26 °C'deki stres göstergeleri bakteri uygulamasından belirgin biçimde etkilenmemiştir. Bitkicikler 4 °C'ye alındığında ise gen ifadesi ve bazı metabolitlerdeki artış, bakteri uygulanmayan bitkilere göre daha erken başlamış

ve daha yüksek düzeylere ulaşmıştır. Bu zamanlama, soğuk öncesinde oluşan hazırlama etkisiyle uyumludur (Theocharis ve ark., 2012).

PsJN uygulaması fotosentez ve karbonhidrat metabolizmasını da etkilemiştir. Asma bitkiciklerinde, soğuk uygulanmadan önce soğuğa uyumla ilişkili karbonhidratların birikimi artmıştır. Beş gün süren 4 °C uygulamasında net fotosentez ve şeker düzeyleri izlendiğinde, bakterinin soğuğun fotosentez üzerindeki etkisini hafiflettiği ve karbonhidrat metabolizmasını değiştirdiği belirlenmiştir (Fernandez ve ark., 2012a).

Trehaloz metabolizmasındaki değişimler de soğuk uygulamasından önce başlamıştır. PsJN ile inokule edilerek 26 °C'de yetiştirilen asmaların gövde ve yapraklarındaki trehaloz ve trehaloz-6-fosfat düzeyleri, bakteri uygulanmadan bir gün soğuğa maruz bırakılan bitkilerdekine benzer bulunmuştur. Trehaloz metabolizmasıyla ilişkili genlerin ifadesi organa ve sıcaklık koşullarına göre değişmiştir. Trehaloz metabolizması, PsJN'nin düşük sıcaklık toleransına katkı sağladığı süreçlerden biri olabilir (Fernandez ve ark., 2012b).

## 5.2. Kuraklık Yanıtı ve Genotip Etkisi

ACC deaminaz üreten *Pseudomonas corrugata* DR3 ve *Enterobacter soli* DR6, kuraklık altındaki Cabernet Sauvignon bitkilerinde kök ve sürgün gelişimini, yaprakların nispi su içeriğini ve net fotosentez hızını artırmıştır. Topraktaki yarayışlı azot ve fosfor düzeyleri de yükselmiştir. İki suşun birlikte uygulanması, büyüme ve fotosentez özelliklerinde genel olarak daha belirgin bir iyileşme sağlamıştır (Duan ve ark., 2021).

Arbusküler mikoriza mantarları, kuraklık altında asmanın fizyolojik özellikleriyle gen ifadesini birlikte etkileyebilir. Ecolly çeşidinde mikoriza uygulanan bitkilerin yapraklarında sakkaroz ve prolin birikimi ile süperoksit dismutaz ve peroksidaz aktiviteleri daha yüksek bulunmuştur. RT-qPCR ölçümlerinde, VvNCED, VvP5CS, VvPIP1;2 ve VvTIP2;1 genlerinin ifade düzeyleri, aynı kuraklık koşullarındaki mikoriza uygulanmamış kontrol bitkilerine göre daha yüksek bulunmuştur (Ye ve ark., 2023).

Düşük fosforlu besin çözeltisiyle sulanan 41B ve SO4 anaçlarında *Rhizophagus irregularis* uygulaması, sulama kısıtı altında sürgün gelişimini ve fotosentetik performansı desteklemiştir. Bu deneyde sulama kısıtı, bitkilere verilen mineral besin miktarını da azaltmıştır. Mineral beslenme ve köklerdeki akuaporin genlerinin yanıtı anaçlara göre değişmiştir. Mikoriza uygulaması,

hem yeterli sulamada hem de su kısıtında 41B köklerinde *VvPIP2.1* ifadesini artırırken SO4 köklerinde benzer bir artış görülmemiştir (Galimand ve ark., 2026).

Çeşitlerin kendi kuraklık yanıtları da mikrobiyal uygulamaların değerlendirilmesinde önem taşır. Mikrobiyal uygulama içermeyen bir mikroarray çalışmasında, Montepulciano yapraklarında ABA ile ilişkili genler ve ısı şoku proteinlerini kodlayan genler su kısıtına daha erken yanıt vermiştir. Sangiovese'de reaktif oksijen türlerinin giderilmesiyle ilişkili genler daha erken ve güçlü biçimde etkinleşmiştir. Yeniden sulama sonrasındaki gen ifadesi de iki çeşitte farklılık göstermiştir (Dal Santo ve ark., 2016).

### 5.3. Birleşik Streslerin Değerlendirilmesi

Biyotik ve abiyotik streslere yanıtta ortak genlerin etkinleşmesi, bir strese karşı dayanıklılığın diğerine aktarılacağını göstermez. Cabernet Sauvignon'da *Neofusicoccum parvum* enfeksiyonundan sonra uygulanan kuraklık, gövdedeki lezyonların büyümesini artırmıştır. Enfeksiyon belirteci olarak incelenen bazı genlerin yapraklardaki ifadesi, patojen uygulanmayan kuraklık grubunda da yükselmiştir. Dolayısıyla bu genlerdeki artış yalnızca enfeksiyona bağlanamaz (Galarneau ve ark., 2019).

*Trichoderma harzianum* T39'un mildiyöye karşı sağladığı koruma, yüksek sıcaklık veya kuraklık tek başına uygulandığında belirgin biçimde değişmemiştir. İki stresin birlikte uygulanması ise korumayı azaltmıştır. Abiyotik stresler, savunmayla ilişkili genlerin ifadesini ve T39 uygulamasıyla oluşan ifade artışlarını da zayıflatabilmiştir. T39'un etkinliği bu nedenle tekli ve birleşik streslerde ayrı değerlendirilmelidir (Roatti ve ark., 2013).

Birleşik stres deneylerinde, elisitör uygulanan ve uygulanmayan bitkilerde kontrol, yalnız kuraklık, yalnız patojen ve kuraklık ve patojenin birlikte bulunduğu gruplar kurulabilir. Bu düzen, elisitörün her stres altındaki etkisinin karşılaştırılmasını sağlar. Gen ifadesi ölçümlerine bitkinin su durumu ve hastalık şiddeti de eklenerek moleküler yanıt ile koruma arasındaki ilişki incelenebilir.

# 6. TRANSKRİPTOMİK ANALİZİN TASARIMI VE YORUMLANMASI

## 6.1. Deney Tasarımı ve Örnekleme

Elisitörün doğrudan etkisini ve stres yanıtını nasıl değiştirdiğini ayırmak için kontrol, yalnız elisitör, yalnız stres ve elisitör ile stresin birlikte bulunduğu gruplar karşılaştırılmalıdır. Asmada *T. harzianum* T39 ile yürütülen RNA-seq çalışmasında, uygulama yapılan ve yapılmayan bitkilerden *P. viticola* inokulasyonunun hemen öncesinde ve 24 saat sonrasında yaprak örnekleri alınmıştır. Böylece T39'un enfeksiyon öncesindeki etkileri ve enfeksiyon sonrasında gelişen yanıtlar izlenmiştir (Perazzolli ve ark., 2012).

Örnekleme zamanı, incelenen yanıtın süresine göre seçilmelidir. Yalnızca geç dönemde alınan örnekler, kısa süreli erken ifade değişimlerini kaçırabilir. T39 çalışmasında patojensiz RNA-seq örnekleri başlangıçta alınmıştır. Yeni deneylerde zamanın etkisini enfeksiyon etkisinden ayırmak için her örnekleme saatinde patojensiz kontroller de bulunmalıdır. Doku ve gelişme evresi gruplar arasında benzer tutulmalıdır. T39 çalışmasında yapraklar belirli sürgün konumlarından seçilmiştir. İlk örneklemenin yaratacağı yaralanma etkisini önlemek için iki zaman noktasında farklı bitkiler kullanılmıştır (Auer ve Doerge, 2010; Perazzolli ve ark., 2012).

Biyolojik tekrar, uygulamanın bağımsız olarak yapıldığı bitkilerden veya deney birimlerinden alınır. Aynı RNA örneğini yeniden ölçmek teknik tekrardır. Birden fazla bitkinin dokuları bir örnekte birleştiriliyorsa her havuz bağımsız bir bitki grubundan hazırlanmalı, havuz sayısı ve havuz başına bitki sayısı belirtilmelidir. Örnek hazırlama ve dizileme sırasında uygulama grupları işlem partilerine dengeli dağıtılmalıdır (Auer ve Doerge, 2010).

Mayada yürütülen yüksek tekrarlı bir RNA-seq çalışmasında, az sayıda biyolojik tekrarla özellikle küçük ifade farklarının saptanması güçleşmiştir. Asmada gerekli tekrar sayısı da beklenen etki büyüklüğüne, örnekler arasındaki değişkenliğe ve deneyin amacına göre belirlenmelidir. Başka bir deney sistemi için önerilen sayı bütün asma çalışmaları için yeterli olmayabilir (Schurch ve ark., 2016).

## 6.2. Farklı İfade Analizi ve Yolaklar

RNA-seq analizinde ham okuma sayıları, örnekler arasındaki dizileme derinliği ve RNA bileşimi dikkate alınmadan karşılaştırılamaz. DESeq2, sayım

verilerini negatif binom dağılımına dayalı bir modelle değerlendirir ve biyolojik değişkenliği hesaba katar (Love ve ark., 2014). Çok faktörlü deneylerde ana etkiler ve faktörler arasındaki etkileşim aynı modelde sınanabilir. Elisitör ile stresin birlikte incelendiği deneyde etkileşim, strese bağlı ifade değişiminin elisitör uygulamasına göre farklılaşıp farklılaşmadığını gösterir. Sonuçlar, çoklu test düzeltmesi yapılmış p değerleri ve ifade değişiminin büyüklüğüyle birlikte raporlanmalıdır (McCarthy ve ark., 2012).

Gen Ontolojisi (GO) ve yolak zenginleştirme analizleri, ifade değişimi gösteren genlerin hangi işlevlerde yoğunlaştığını belirler. Gen listelerine dayalı analizlerde, belirli bir işlevle ilişkili genlerin beklenenden fazla temsil edilip edilmediği sınanır (Wu ve ark., 2021). Bir yolağın zenginleşmesi, o yolaktaki bütün genlerin etkinleştiği veya metabolik akışın arttığı anlamına gelmez. Uzun ya da yüksek düzeyde ifade edilen transkriptlerin farklı ifade analizinde daha kolay saptanması da sonucu etkileyebilir. Zenginleştirme analizinde bu seçim yanlılığı hesaba katılmalıdır (Young ve ark., 2010).

Vintec, *Phaeomoniella chlamydospora* ve *Phaeoacremonium minimum* ile yürütülen ayrı bir metabolom çalışmasında, üçüncü ve altıncı haftalarda alınan odun örnekleri incelenmiştir. Bazı stilbenoid ve flavonoidlerin göreli düzeyleri uygulamaya ve örnekleme zamanına göre farklılaşmıştır (Chervin ve ark., 2022). Gen ifadesi ve metabolit ölçümlerinin aynı doku ve zaman noktalarında birlikte yapılması, ifade değişimlerine metabolit birikiminin eşlik edip etmediğinin daha doğrudan incelenmesini sağlar.

### 6.3. Birlikte İfade Ağları ve Doğrulama

Ağırlıklı gen birlikte ifade ağı analizi (WGCNA), benzer ifade değişimleri gösteren genleri modüllerde toplar. Modüller hastalık şiddeti, fotosentez veya bitkinin su durumu gibi özelliklerle ilişkilendirilebilir. İlgili modülde yüksek bağlantı gösteren genler, işlev araştırmaları için aday seçilebilir (Langfelder ve Horvath, 2008). Ancak birlikte ifade, bir genin diğerini doğrudan düzenlediğini kanıtlamaz. Örnek sayısı ve örneklerin doku bileşimi de ilişkileri etkiler. Modüllerin bağımsız veri kümelerinde korunup korunmadığını incelemek, ağın tekrarlanabilirliğini değerlendirmeye yardımcı olur (Langfelder ve ark., 2011).

RT-qPCR ile RNA-seq'te belirlenen ifade değişimleri seçilmiş genlerde sınanır. Aynı RNA örneklerini kullanmak yöntemler arasındaki uyumu,

bağımsız bir deneyin örneklerini kullanmak ise sonucun tekrarlanabilirliğini değerlendirir. Genin savunmadaki işlevini göstermek için ifade doğrulamasından ayrı deneyler gerekir. RNA kalitesi, primer özgüllüğü, amplifikasyon verimliliği ve normalizasyon yöntemi açıkça raporlanmalıdır. MIQE ilkeleri ve güncellenmiş MIQE 2.0 önerileri, bu ölçümlerin değerlendirilmesi için gerekli bilgileri tanımlar (Bustin ve ark., 2009; Bustin ve ark., 2025). Asmada yürütülen yöntem çalışmalarında da RNA izolasyonu iyileştirilmiş, amplifikasyon özellikleri değerlendirilmiş ve tane gelişimi ile patojen enfeksiyonlarında kullanılabilecek referans genler belirlenmiştir (Reid ve ark., 2006; Gamm ve ark., 2011).

Referans genler, kullanılacak doku ve uygulama koşullarında sınanmalıdır. Asmada külleme, yaralanma ve UV-C uygulanan yapraklar ile *Phaeomoniella chlamydospora* ile enfekte odunsu dokular karşılaştırıldığında, aday referans genlerin kararlılık sıralaması değişmiştir (Borges ve ark., 2014). Bu nedenle mikrobiyal uygulama ve stresin birlikte bulunduğu bir deneyde, yaygın kullanılan bir genin kararlı olduğu varsayılamaz. Seçimin hangi ölçütlere dayandığı açıklanmalıdır (Bustin ve ark., 2025).

## 7. BAĞ KOŞULLARINA AKTARIM VE SONUÇ

Bağ koşullarında moleküler yanıt ile hastalık kontrolü birlikte izlenmelidir. Savunmayla ilişkili 85 genin RT-qPCR ile ölçüldüğü bir bağ denemesinde benzotiyadiazol (BTH), bazı savunma genlerinin ifadesini artırmış ve mildiyöye karşı kısmi koruma sağlamıştır. Fosetil-alüminyum daha güçlü koruma sağlamasına rağmen incelenen genlerde daha sınırlı değişiklikler oluşturmuştur. Mikrobiyal uygulama içermeyen bu deneme, savunma geni ifadesi ile koruyucu etkinin her zaman paralel değişmediğini gösteren bir saha örneğidir (Dufour ve ark., 2016).

*Trichoderma atroviride* SC1 ile yapılan fidanlık ve genç bağ denemelerinde, bazı gövde hastalığı etmenlerine bağlı enfeksiyonların sıklığı ve şiddeti azalmıştır. Uygulamalar fidanlıkta başlamış, genç bağlarda iki gelişme dönemi boyunca sürdürülmüştür (Berbegal ve ark., 2020). Korumanın çevre koşullarına duyarlılığı da değerlendirilmelidir. Kontrollü asma deneylerinde *T. harzianum* T39'un mildiyöye karşı etkisi, yüksek sıcaklık ve kuraklık birlikte uygulandığında azalmıştır (Roatti ve ark., 2013).

Asmada mikrobiyal uygulamaların değerlendirilmesi için gen ifadesinin hastalık şiddeti ve bitkinin fizyolojik durumu ile birlikte izlenmesi gerekir. Transkriptomdan seçilen aday belirteçlerin korumayla ilişkisi farklı çeşitlerde, bağlarda ve yıllarda sınanmalıdır. Uygulamada yararlı olacak bir belirteç için tek bir deneydeki güçlü ifade değişiminden çok, bu ilişkinin farklı koşullarda tekrarlanması önemlidir.

## KAYNAKÇA

Ait Barka, E., Nowak, J., & Clément, C. (2006). Enhancement of chilling resistance of inoculated grapevine plantlets with a plant growth-promoting rhizobacterium, *Burkholderia phytofirmans* strain PsJN. *Applied and Environmental Microbiology, 72*(11), 7246–7252. https://doi.org/10.1128/AEM.01047-06

Aoki, Y., Asada, T., Nojiri, M., & Suzuki, S. (2025). Comparative Analysis of Plant Defense Activation by Four Biosurfactants: Mode of Action and Disease Control Potential. *International Journal of Molecular Sciences*, *26*(17), 8313. https://doi.org/10.3390/ijms26178313

Auer, P. L., & Doerge, R. W. (2010). Statistical design and analysis of RNA sequencing data. *Genetics, 185*(2), 405–416. https://doi.org/10.1534/genetics.110.114983

Berbegal, M., Ramón-Albalat, A., León, M., & Armengol, J. (2020). Evaluation of long-term protection from nursery to vineyard provided by *Trichoderma atroviride* SC1 against fungal grapevine trunk pathogens. *Pest Management Science, 76*(3), 967–977. https://doi.org/10.1002/ps.5605

Bhatia, G., Upadhyay, S. K., Upadhyay, A., & Singh, K. (2021). Investigation of long non-coding RNAs as regulatory players of grapevine response to powdery and downy mildew infection. *BMC Plant Biology, 21*(1), Article 265. https://doi.org/10.1186/s12870-021-03059-6

Bordiec, S., Paquis, S., Lacroix, H., Dhondt, S., Ait Barka, E., Kauffmann, S., Jeandet, P., Mazeyrat-Gourbeyre, F., Clément, C., Baillieul, F., & Dorey, S. (2011). Comparative analysis of defence responses induced by the endophytic plant growth-promoting rhizobacterium *Burkholderia phytofirmans* strain PsJN and the non-host bacterium *Pseudomonas syringae* pv. pisi in grapevine cell suspensions. *Journal of Experimental Botany, 62*(2), 595–603. https://doi.org/10.1093/jxb/erq291

Borges, A. F., Fonseca, C., Ferreira, R. B., Lourenço, A. M., & Monteiro, S. (2014). Reference gene validation for quantitative RT-PCR during biotic and abiotic stresses in *Vitis vinifera*. *PLOS ONE, 9*(10), Article e111399. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111399

Botcazon, C., Bergia, T., Lecouturier, D., Dupuis, C., Rochex, A., Acket, S., Nicot, P., Leclère, V., Sarazin, C., & Rippa, S. (2022). Rhamnolipids and fengycins, very promising amphiphilic antifungal compounds from bacteria secretomes, act on Sclerotiniaceae fungi through different mechanisms. *Frontiers in Microbiology, 13*, 977633. https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.977633

Brulé, D., Villano, C., Davies, L. J., Trdá, L., Claverie, J., Héloir, M.-C., Chiltz, A., Adrian, M., Darblade, B., Tornero, P., Stransfeld, L., Boutrot, F., Zipfel, C., Dry, I. B., & Poinssot, B. (2019). The grapevine (*Vitis vinifera*) LysM receptor kinases VvLYK1-1 and VvLYK1-2 mediate chitooligosaccharide-triggered immunity. *Plant Biotechnology Journal, 17*(4), 812–825. https://doi.org/10.1111/pbi.13017

Bustin, S. A., Benes, V., Garson, J. A., Hellemans, J., Huggett, J., Kubista, M., Mueller, R., Nolan, T., Pfaffl, M. W., Shipley, G. L., Vandesompele, J., & Wittwer, C. T. (2009). The MIQE guidelines: Minimum information for publication of quantitative real-time PCR experiments. *Clinical Chemistry, 55*(4), 611–622. https://doi.org/10.1373/clinchem.2008.112797

Bustin, S. A., Ruijter, J. M., van den Hoff, M. J. B., Kubista, M., Pfaffl, M. W., Shipley, G. L., Tran, N., Rödiger, S., Untergasser, A., Mueller, R., Nolan, T., Milavec, M., Burns, M. J., Huggett, J. F., Vandesompele, J., & Wittwer, C. T. (2025). MIQE 2.0: Revision of the Minimum Information for Publication of Quantitative Real-Time PCR Experiments Guidelines. *Clinical Chemistry, 71*(6), 634–651. https://doi.org/10.1093/clinchem/hvaf043

Chervin, J., Romeo-Oliván, A., Fournier, S., Puech-Pages, V., Dumas, B., Jacques, A., & Marti, G. (2022). Modification of early response of *Vitis vinifera* to pathogens relating to esca disease and biocontrol agent Vintec® revealed by untargeted metabolomics on woody tissues. *Frontiers in Microbiology, 13*, Article 835463. https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.835463

Dal Santo, S., Palliotti, A., Zenoni, S., Tornielli, G. B., Fasoli, M., Paci, P., Tombesi, S., Frioni, T., Silvestroni, O., Bellincontro, A., d'Onofrio, C., Matarese, F., Gatti, M., Poni, S., & Pezzotti, M. (2016). Distinct transcriptome responses to water limitation in isohydric and anisohydric grapevine cultivars. *BMC Genomics, 17*(1), Article 815. https://doi.org/10.1186/s12864-016-3136-x

De Miccolis Angelini, R. M., Rotolo, C., Gerin, D., Abate, D., Pollastro, S., & Faretra, F. (2019). Global transcriptome analysis and differentially expressed genes in grapevine after application of the yeast-derived defense inducer cerevisane. *Pest Management Science, 75*(7), 2020–2033. https://doi.org/10.1002/ps.5317

Duan, B., Li, L., Chen, G., Su-Zhou, C., Li, Y., Merkeryan, H., Liu, W., & Liu, X. (2021). 1-Aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase-producing plant growth-promoting rhizobacteria improve drought stress tolerance in grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Frontiers in Plant Science, 12*, Article 706990. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.706990

Duan, R., Feng, Y., Zhang, R., Lu, W., Xie, Q., & Duan, D. (2025). Analysis of non-coding RNAs and N6-methyladenosine-modified genes in response to flg22 in grape immunity. *Plant Biotechnology Journal, 23*(12), 5435–5455. https://doi.org/10.1111/pbi.70303

Dufour, M.-C., Magnin, N., Dumas, B., Vergnes, S., & Corio-Costet, M.-F. (2016). High-throughput gene-expression quantification of grapevine defense responses in the field using microfluidic dynamic arrays. *BMC Genomics, 17*(1), Article 957. https://doi.org/10.1186/s12864-016-3304-z

Farace, G., Fernandez, O., Jacquens, L., Coutte, F., Krier, F., Jacques, P., Clément, C., Barka, E. A., Jacquard, C., & Dorey, S. (2015). Cyclic lipopeptides from *Bacillus subtilis* activate distinct patterns of defence responses in grapevine. *Molecular Plant Pathology, 16*(2), 177–187. https://doi.org/10.1111/mpp.12170

Fernandez, O., Theocharis, A., Bordiec, S., Feil, R., Jacquens, L., Clément, C., Fontaine, F., & Barka, E. A. (2012a). *Burkholderia phytofirmans* PsJN acclimates grapevine to cold by modulating carbohydrate metabolism. *Molecular Plant-Microbe Interactions, 25*(4), 496–504. https://doi.org/10.1094/mpmi-09-11-0245

Fernandez, O., Vandesteene, L., Feil, R., Baillieul, F., Lunn, J. E., & Clément, C. (2012b). Trehalose metabolism is activated upon chilling in grapevine and might participate in *Burkholderia phytofirmans* induced chilling tolerance. *Planta, 236*(2), 355–369. https://doi.org/10.1007/s00425-012-1611-4

Galarneau, E. R. A., Lawrence, D. P., Travadon, R., & Baumgartner, K. (2019). Drought exacerbates Botryosphaeria dieback symptoms in grapevines and confounds host-based molecular markers of infection by *Neofusicoccum parvum*. *Plant Disease, 103*(7), 1738–1745. https://doi.org/10.1094/PDIS-09-18-1549-RE

Galimand, L., Lamy, M., Valat, L., Laloue, H., Leva, Y., Deglène-Benbrahim, L., Yung, L., & Chong, J. (2026). Symbiosis with *Rhizophagus irregularis* improves grapevine rootstock performances under water deficit conditions. *Physiologia Plantarum, 178*(2), Article e70864. https://doi.org/10.1111/ppl.70864

Gamm, M., Héloir, M.-C., Kelloniemi, J., Poinssot, B., Wendehenne, D., & Adrian, M. (2011). Identification of reference genes suitable for qRT-PCR in grapevine and application for the study of the expression of genes involved in pterostilbene synthesis. *Molecular Genetics and Genomics, 285*(4), 273–285. https://doi.org/10.1007/s00438-011-0607-2

Gauthier, A., Trouvelot, S., Kelloniemi, J., Frettinger, P., Wendehenne, D., Daire, X., Joubert, J.-M., Ferrarini, A., Delledonne, M., Flors, V., & Poinssot, B. (2014). The sulfated laminarin triggers a stress transcriptome before priming the SA-and ROS-dependent defenses during grapevine's induced resistance against Plasmopara viticola. *PLoS One*, *9*(2), e88145. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088145

Glazebrook, J. (2005). Contrasting mechanisms of defense against biotrophic and necrotrophic pathogens. *Annu. Rev. Phytopathol.*, *43*(1), 205-227. https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.43.040204.135923

Gruau, C., Trotel-Aziz, P., Villaume, S., Rabenoelina, F., Clément, C., Baillieul, F., & Aziz, A. (2015). *Pseudomonas fluorescens* PTA-CT2 triggers local and systemic immune response against *Botrytis cinerea* in grapevine. *Molecular Plant-Microbe Interactions, 28*(10), 1117–1129. https://doi.org/10.1094/MPMI-04-15-0092-R

Guerreiro, A., Figueiredo, J., Sousa Silva, M., & Figueiredo, A. (2016). Linking jasmonic acid to grapevine resistance against the biotrophic oomycete *Plasmopara viticola*. *Frontiers in Plant Science, 7*, Article 565. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00565

Höll, J., Vannozzi, A., Czemmel, S., D'Onofrio, C., Walker, A. R., Rausch, T., Lucchin, M., Boss, P. K., Dry, I. B., & Bogs, J. (2013). The R2R3-MYB transcription factors MYB14 and MYB15 regulate stilbene biosynthesis in *Vitis vinifera*. *The Plant Cell, 25*(10), 4135–4149. https://doi.org/10.1105/tpc.113.117127

Lakkis, S., Trotel-Aziz, P., Rabenoelina, F., Schwarzenberg, A., Nguema-Ona, E., Clément, C., & Aziz, A. (2019). Strengthening grapevine resistance by *Pseudomonas fluorescens* PTA-CT2 relies on distinct defense pathways in susceptible and partially resistant genotypes to downy mildew and gray mold diseases. *Frontiers in Plant Science, 10*, Article 1112. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01112

Langfelder, P., & Horvath, S. (2008). WGCNA: An R package for weighted correlation network analysis. *BMC Bioinformatics, 9*(1), Article 559. https://doi.org/10.1186/1471-2105-9-559

Langfelder, P., Luo, R., Oldham, M. C., & Horvath, S. (2011). Is my network module preserved and reproducible? *PLOS Computational Biology, 7*(1), Article e1001057. https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1001057

Lazazzara, V., Vicelli, B., Bueschl, C., Parich, A., Pertot, I., Schuhmacher, R., & Perazzolli, M. (2021). *Trichoderma* spp. volatile organic compounds protect grapevine plants by activating defense-related processes against downy mildew. *Physiologia Plantarum, 172*(4), 1950–1965. https://doi.org/10.1111/ppl.13406

Leal, C., Heck, L., Saber, I., Aggad, D., Richet, N., Gramaje, D., Armengol, J., Fontaine, F., & Trotel-Aziz, P. (2025). RNA-seq reveals differential responses in *Vitis vinifera* cultivars protected by distinct biocontrol agents against *Neofusicoccum parvum* Bt67. *Phytopathology, 115*(11), 1447–1464. https://doi.org/10.1094/phyto-12-24-0399-r

Leal, C., Richet, N., Guise, J.-F., Gramaje, D., Armengol, J., Fontaine, F., & Trotel-Aziz, P. (2021). Cultivar contributes to the beneficial effects of *Bacillus subtilis* PTA-271 and *Trichoderma atroviride* SC1 to protect grapevine against *Neofusicoccum parvum*. *Frontiers in Microbiology, 12*, Article 726132. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.726132

Li, C., Cao, S., Zhao, Y., Wang, R., & Yin, X. (2025). Integrated transcriptomics and metabolomics analyses revealed mechanisms of *Trichoderma harzianum*-induced resistance to downy mildew in grapevine. *Physiological and Molecular Plant Pathology, 137*, Article 102619. https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2025.102619

Li, M., Dou, M., Liu, R., Jiao, Y., Hao, Z., & Xu, Y. (2022). Identification of long non-coding RNAs in response to downy mildew stress in grape. *Fruit Research, 2*, Article 19. https://doi.org/10.48130/FruRes-2022-0019

Li, Y., Héloir, M.-C., Zhang, X., Geissler, M., Trouvelot, S., Jacquens, L., Henkel, M., Su, X., Fang, X., Wang, Q., & Adrian, M. (2019). Surfactin and fengycin contribute to the protection of a *Bacillus subtilis* strain against grape downy mildew by both direct effect and defence stimulation. *Molecular Plant Pathology, 20*(8), 1037–1050. https://doi.org/10.1111/mpp.12809

Love, M. I., Huber, W., & Anders, S. (2014). Moderated estimation of fold change and dispersion for RNA-seq data with DESeq2. *Genome Biology, 15*(12), Article 550. https://doi.org/10.1186/s13059-014-0550-8

Luo, Y., Wang, L., Zhu, J., Tian, J., You, L., Luo, Q., Li, J., Yao, Q., & Duan, D. (2024). The grapevine miR827a regulates the synthesis of stilbenes by targeting VqMYB14 and gives rise to susceptibility in plant immunity. *Theoretical and Applied Genetics, 137*(4), Article 95. https://doi.org/10.1007/s00122-024-04599-9

McCarthy, D. J., Chen, Y., & Smyth, G. K. (2012). Differential expression analysis of multifactor RNA-Seq experiments with respect to biological variation. *Nucleic Acids Research, 40*(10), 4288–4297. https://doi.org/10.1093/nar/gks042

Miotto-Vilanova, L., Jacquard, C., Courteaux, B., Wortham, L., Michel, J., Clément, C., Barka, E. A., & Sanchez, L. (2016). *Burkholderia phytofirmans* PsJN confers grapevine resistance against *Botrytis cinerea* via a direct antimicrobial effect combined with a better resource mobilization. *Frontiers in Plant Science, 7*, Article 1236. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01236

Ngou, B. P. M., Ahn, H.-K., Ding, P., & Jones, J. D. G. (2021). Mutual potentiation of plant immunity by cell-surface and intracellular receptors. *Nature, 592*(7852), 110–115. https://doi.org/10.1038/s41586-021-03315-7

Orduña, L., Li, M., Navarro-Payá, D., Zhang, C., Santiago, A., Romero, P., Ramšak, Ž., Magon, G., Höll, J., Merz, P., Gruden, K., Vannozzi, A., Cantu, D., Bogs, J., Wong, D. C. J., Huang, S.-S. C., & Matus, J. T. (2022). Direct regulation of shikimate, early phenylpropanoid, and stilbenoid pathways by Subgroup 2 R2R3-MYBs in grapevine. *The Plant Journal, 110*(2), 529–547. https://doi.org/10.1111/tpj.15686

Perazzolli, M., Moretto, M., Fontana, P., Ferrarini, A., Velasco, R., Moser, C., Delledonne, M., & Pertot, I. (2012). Downy mildew resistance induced by *Trichoderma harzianum* T39 in susceptible grapevines partially mimics transcriptional changes of resistant genotypes. *BMC Genomics, 13*(1), Article 660. https://doi.org/10.1186/1471-2164-13-660

Rattanakon, S., Ghan, R., Gambetta, G. A., Deluc, L. G., Schlauch, K. A., & Cramer, G. R. (2016). Abscisic acid transcriptomic signaling varies with grapevine organ. *BMC Plant Biology, 16*(1), Article 72. https://doi.org/10.1186/s12870-016-0763-y

Reid, K. E., Olsson, N., Schlosser, J., Peng, F., & Lund, S. T. (2006). An optimized grapevine RNA isolation procedure and statistical determination of reference genes for real-time RT-PCR during berry development. *BMC Plant Biology, 6*, Article 27. https://doi.org/10.1186/1471-2229-6-27

Roatti, B., Perazzolli, M., Gessler, C., & Pertot, I. (2013). Abiotic stresses affect *Trichoderma harzianum* T39-induced resistance to downy mildew in grapevine. *Phytopathology, 103*(12), 1227–1234. https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-13-0040-R

Romeo-Oliván, A., Chervin, J., Breton, C., Lagravère, T., Daydé, J., Dumas, B., & Jacques, A. (2022). Comparative transcriptomics suggests early modifications by Vintec® in grapevine trunk of hormonal signaling and secondary metabolism biosynthesis in response to *Phaeomoniella chlamydospora* and *Phaeoacremonium minimum*. *Frontiers in Microbiology, 13*, Article 898356. https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.898356

Roudaire, T., Marzari, T., Landry, D., Löffelhardt, B., Gust, A. A., Jermakow, A., Dry, I., Winckler, P., Héloir, M.-C., & Poinssot, B. (2023). The grapevine LysM receptor-like kinase VvLYK5-1 recognizes chitin oligomers through its association with VvLYK1-1. *Frontiers in Plant Science, 14*, Article 1130782. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1130782

Schurch, N. J., Schofield, P., Gierliński, M., Cole, C., Sherstnev, A., Singh, V., Wrobel, N., Gharbi, K., Simpson, G. G., Owen-Hughes, T., Blaxter, M., & Barton, G. J. (2016). How many biological replicates are needed in an RNA-seq experiment and which differential expression tool should you use? *RNA, 22*(6), 839–851. https://doi.org/10.1261/rna.053959.115

Sun, Y., Li, L., Macho, A. P., Han, Z., Hu, Z., Zipfel, C., Zhou, J.-M., & Chai, J. (2013). Structural basis for flg22-induced activation of the *Arabidopsis* FLS2-BAK1 immune complex. *Science, 342*(6158), 624–628. https://doi.org/10.1126/science.1243825

Theocharis, A., Bordiec, S., Fernandez, O., Paquis, S., Dhondt-Cordelier, S., Baillieul, F., Clément, C., & Barka, E. A. (2012). *Burkholderia phytofirmans* PsJN primes *Vitis vinifera* L. and confers a better tolerance to low nonfreezing temperatures. *Molecular Plant-Microbe Interactions, 25*(2), 241–249. https://doi.org/10.1094/mpmi-05-11-0124

Trdá, L., Fernandez, O., Boutrot, F., Héloir, M.-C., Kelloniemi, J., Daire, X., Adrian, M., Clément, C., Zipfel, C., Dorey, S., & Poinssot, B. (2014). The grapevine flagellin receptor VvFLS2 differentially recognizes flagellin-derived epitopes from the endophytic growth-promoting bacterium *Burkholderia phytofirmans* and plant pathogenic bacteria. *New Phytologist, 201*(4), 1371–1384. https://doi.org/10.1111/nph.12592

Uray, A. E., Yilmaz, S., & Uray, Y. (2023). Industrial and biotechological uses of β mannanase enzyme. In Y. Kaya & N. Beşer (Eds.), AGRIBALKAN 2023: V. Balkan Agricultural Congress proceedings book (pp. 394–416).

Vannozzi, A., Wong, D. C. J., Höll, J., Hmmam, I., Matus, J. T., Bogs, J., Ziegler, T., Dry, I., Barcaccia, G., & Lucchin, M. (2018). Combinatorial regulation of stilbene synthase genes by WRKY and MYB transcription factors in grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Plant and Cell Physiology, 59*(5), 1043–1059. https://doi.org/10.1093/pcp/pcy045

Varnier, A.-L., Sanchez, L., Vatsa, P., Boudesocque, L., Garcia-Brugger, A., Rabenoelina, F., Sorokin, A., Renault, J.-H., Kauffmann, S., Pugin, A., Clément, C., Baillieul, F., & Dorey, S. (2009). Bacterial rhamnolipids are novel MAMPs conferring resistance to *Botrytis cinerea* in grapevine. *Plant, Cell & Environment, 32*(2), 178–193. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2008.01911.x

Verhagen, B. W. M., Trotel-Aziz, P., Couderchet, M., Höfte, M., & Aziz, A. (2010). *Pseudomonas* spp.-induced systemic resistance to *Botrytis cinerea* is associated with induction and priming of defence responses in grapevine. *Journal of Experimental Botany, 61*(1), 249–260. https://doi.org/10.1093/jxb/erp295

Wong, D. C. J., Schlechter, R., Vannozzi, A., Höll, J., Hmmam, I., Bogs, J., Tornielli, G. B., Castellarin, S. D., & Matus, J. T. (2016). A systems-oriented analysis of the grapevine R2R3-MYB transcription factor family uncovers new insights into the regulation of stilbene accumulation. *DNA Research, 23*(5), 451–466. https://doi.org/10.1093/dnares/dsw028

Wu, T., Hu, E., Xu, S., Chen, M., Guo, P., Dai, Z., Feng, T., Zhou, L., Tang, W., Zhan, L., Fu, X., Liu, S., Bo, X., & Yu, G. (2021). clusterProfiler 4.0: A universal enrichment tool for interpreting omics data. *The Innovation, 2*(3), Article 100141. https://doi.org/10.1016/j.xinn.2021.100141

Ye, Q., Wang, H., & Li, H. (2023). Arbuscular mycorrhizal fungi enhance drought stress tolerance by regulating osmotic balance, the antioxidant system, and the expression of drought-responsive genes in *Vitis vinifera* L. *Australian Journal of Grape and Wine Research, 2023*, Article 7208341. https://doi.org/10.1155/2023/7208341

Young, M. D., Wakefield, M. J., Smyth, G. K., & Oshlack, A. (2010). Gene ontology analysis for RNA-seq: Accounting for selection bias. *Genome Biology, 11*(2), Article R14. https://doi.org/10.1186/gb-2010-11-2-r14

Yuan, M., Jiang, Z., Bi, G., Nomura, K., Liu, M., Wang, Y., Cai, B., Zhou, J.-M., He, S. Y., & Xin, X.-F. (2021). Pattern-recognition receptors are required for NLR-mediated plant immunity. *Nature, 592*(7852), 105–109. https://doi.org/10.1038/s41586-021-03316-6

# BÖLÜM 3

## TEK GÖZLÜ ASMA (*Vitis Vinifera* L.) ÇELİKLERİNDE SÜRGÜN VE KÖK GELİŞİMİNİN FARKLI ZAMANLARDA BELİRLENMESİ

Zir. Müh. Erdem Hikmet OFLAZ[1]
Doç. Dr. Turcan TEKER[2]

DOI: https://www.doi.org/10.5281/zenodo.23259716

[1] Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Eskişehir, Türkiye. erdemoflaz@outlook.com Orcid ID: 0009-0001-8964-822X
[2] Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Eskişehir, Türkiye. turcan.teker@ogu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-5488-4604

## GİRİŞ

Üzüm çeşitlerinin genetik ve fenotipik özelliklerinin korunması amacıyla asmalar (*Vitis vinifera* L.) yaygın olarak vejetatif yollarla çoğaltılmaktadır (This ve ark., 2006). Asma çeliklerinden elde edilen tek gözlü kalemler ile asma anaçlarının aşılanması sonucunda meydana gelen aşılı asma fidanlarında kalitenin elde edilmesi, yalnızca anaç köklerinin oluşumuna değil, aynı zamanda gözlerin sürmesine ve bunu takiben sürgün sisteminin iyi gelişmesine de bağlıdır. Bu sistemin gelişiminde bir dizi fizyolojik ve morfolojik süreç rol oynamaktadır. Nitekim, gelişimlerinin erken evrelerinde henüz etkin bir fotosentez kabiliyeti söz konusu değilken, yeni organların oluşumu ve gelişimi büyük ölçüde ana bitkiden elde edilen vejetatif organlarda depolanan rezervlere bağlıdır. Bu depo karbonhidratların da önemli derecede karbon kaynağı oluşturarak adventif kök oluşumunu desteklediği ve köklenme başarısını etkilediği bildirilmektedir (Smart ve ark., 2003).

Çeliklerin köklenme ve sürgün oluşumlarının yanında, çeşitler arasındaki farklılıklar, meydana gelen köklerin sayısı, biyokütlesi, sürgün ve yaprak gelişimine de bağlıdır. Önceki çalışmalar incelendiğinde, çeliklerin sürgün oluşturma süresi, kök sayısı ve kök yaş ağırlığı gibi unsurların çeşitler arasındaki farklılıklar tarafından etkilenebileceğini göstermektedir. Farooq ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada, cv. Red Globe ve cv. Crimson Seedless (*Vitis vinifera* L.) çeşitlerinin benzer köklenme oranları göstermesine karşın, aralarında kök sayısı ve kök yaş ağırlığı bakımından farklılıklar olduğunu belirtmişlerdir. Diğer taraftan, Köse ve ark. (2023) çalışmalarında yüksek köklenme yüzdesine sahip bir çeşidin (*Vitis labrusca*) diğer çeşitlere göre her zaman daha fazla kök sayısına sahip olacağı anlamına gelmediğini ifade ederken, Atak ve Çorak (2025), üzerinde tek göz bulunan asma çeliklerinde köklenme performansı ve sürgün gelişimi bakımından genotipe bağlı olarak önemli farklılıkların söz konusu olabileceğini bildirmektedir.

Aşılı asma fidanı üretiminde kullanılacak çoğaltma materyallerinin seçiminde bir dizi faktörün önemli olduğu, bu materyallerin sağlık ve fizyolojik kalitelerinin sonraki aşamada bağ tesisi kurulum aşaması ve asmaların sonraki gelişim performansını güçlü bir şekilde etkileyebileceği ifade edilmektedir (Waite ve ark., 2015). Çalışmalar aynı çeşidin çelikleri arasında dahi kök ve sürgün gelişimleri bakımından farklılıkların oluşabileceğini, bu farklılıkların çeliklerin alındığı zamana bağlı olabildiği gibi, çeliklerin alındığı bir yaşlı dallar

üzerindeki gözlerin boğum pozisyonlarına göre değişim gösterebileceğini belirtmektedir (Kraiem ve ark., 2010; Köse ve ark., 2023). Aynı zamanda çoğaltma materyali olarak alınan çeliklerin fizyolojik durumu, kök ve sürgün gelişim süreçlerinin koordinasyonunu da etkileyebilir. Zhou ve ark. (2020), aşılı asma çoğaltımının ilk 30 günü boyunca tek gözlü çeliklerin uyanması, aşı noktasında kallus oluşumu ve anaçta köklenme süreçlerinin farklı zamanlarda gerçekleştiğini; bu duruma karbonhidrat metabolizması ve hormon düzeylerindeki değişimlerin eşlik ettiğini ortaya koymuştur. Bulgular, söz konusu gelişimsel süreçlerin her zaman eşzamanlı ilerlemediğini göstermektedir.

Bu çalışma ile, (1) dikim sonrası farklı değerlendirme zamanlarında (30., 45. ve 60. günde), sökümü gerçekleştirilen cv. Alphonse Lavelleé, cv. Red Globe ve cv. Crimson Seedless (*Vitis vinifera* L.) üzüm çeşitlerinin tek gözlü çeliklerinin sürme ve köklenme performansının belirlenmesi; (2) çeşitler bazında kök ve sürgün gelişiminin değerlendirilmesi; (3) kök ve sürgün büyümesi arasındaki ilişkilerin incelenmesi amaçlanmıştır.

## 1. MATERYAL VE METOT

Bu çalışma, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü iklim odası ve laboratuvarında yürütülmüştür. Araştırmada kullanılan bitkisel materyaller Eskişehir ili Sarıcakaya ilçesinde bulunan üretici bağlarından 2025 yılı budama döneminde (Mart 2025) elde edilmiştir.

### 1.1. Materyal

Araştırmada bitkisel materyal olarak, cv. Crimson Seedless (CS), cv. Alphonse Lavallée (AL) ve cv. Red Globe (RG) (*Vitis vinifera* L.) üzüm çeşitlerinin bir yaşlı çelikleri kullanılmıştır. Çelikler, araştırma öncesinde +4 °C sıcaklık ve %85 bağıl nem koşullarında soğuk hava deposunda 15 gün boyunca muhafaza edilmiştir.

### 1.2. Metot

Çalışmada soğuk hava deposundan çıkarılan çelikler, oda koşullarında hazırlanan ilaçlı su tankında 1 gün süreyle bekletilerek ortam koşullarına uyum sağlamıştır. Ardından her çeşide ait çelikler üzerinde 1 göz bırakılacak şekilde (kalem); çeliklerin üst bölümü gözün ters yönünde 45° açıyla; alt kısmı ise düz kesilerek dikime hazır hale getirilmiştir. İncelenen gün ve çeşitler için tüm

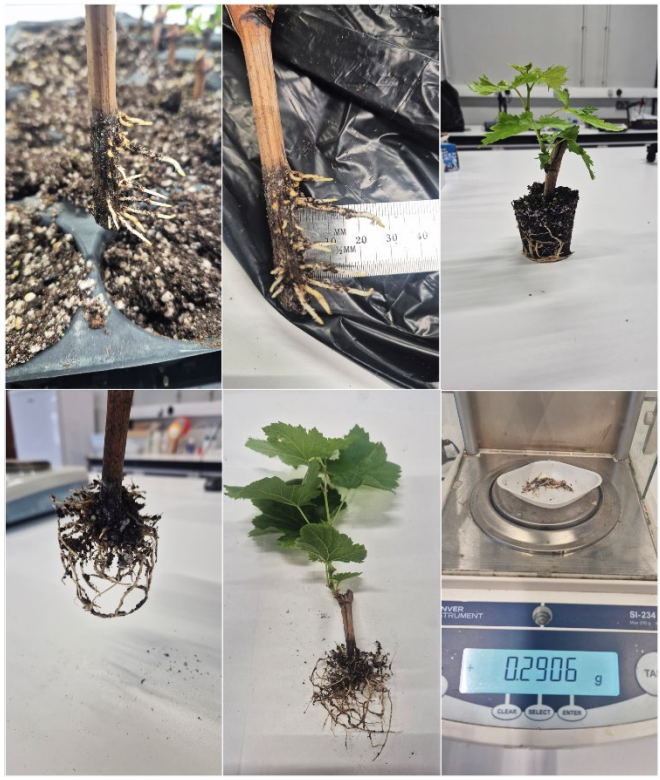
çeliklerin boğum çapları dijital kumpas yardımıyla ölçülmüştür. Yetiştirme ortamı olarak torf ve perlit karışımı (1:1) kullanılmıştır. Hazırlanan ortamlar çeliklerin dikiminden önce 50 mm çap, 65 mm derinlik ve 80 cc hacme sahip viyollere doldurulmuştur. Dikimden sonra her viyolde sulama işlemleri gerçekleştirilmiş, viyollerden çeliklerin sökümüne kadar haftada iki kez 10 cc su verilmiştir.

### 1.2.1. Araştırma konuları ve deneme deseni

Araştırmada her bir çeşide ait çeliklerin 30., 45. ve 60. günde meydana getirdikleri köklenme ve sürgün gelişim performansları incelenmiştir. İncelenen günlerde sürgün ölçümlerinden sonra çelikler sökülerek köklenme performansının belirlenmesine yönelik ölçümler yapılmıştır. Çalışma, tesadüf parselleri deneme desenine göre 30., 45. ve 60 gün olmak üzere üç farklı değerlendirme zamanı, dört tekerrürlü ve her tekerrürde altı adet çelik olacak şekilde yürütülmüş ve toplam 216 adet çelikte inceleme yapılarak yürütülmüştür. Deneme, 23±2 °C sıcaklık ve %65-85 nem koşullarının sağlandığı bir iklim odasında gerçekleştirilmiştir.

### 1.2.2. Kök gelişim parametreleri

Araştırmada kullanılan çeliklerde kök gelişim parametreleri her çeşitte 30. gün, 45. gün ve 60. gün gerçekleştirilen söküm işlemleri sonrasında kayıt altına alınmıştır (Şekil 1). Buna göre çeliklerde köklenme oranı (%), kök sayısı (adet), kök uzunluğu (cm), kök çapı (cm) ve yaş kök ağırlığı (g) değerleri belirlenmiştir. Köklenme oranı, köklenen çeliklerin toplam çelik sayısına oranı olarak hesaplanmış ve yüzde olarak ifade edilmiştir (Daler ve Cangi, 2021). Kök sayısı, köklenen her çelikte bulunan köklerin sayılmasıyla belirlenmiştir (Teker ve ark., 2014). Çeliklerin dip kısımlarında yer alan uzun, orta ve kısa kökleri temsil eden 5'ten fazla kökün uzunluk değerleri cetvel yardımıyla ölçülmüştür. Kök kalınlığı değerleri için kalın, orta ve ince kökleri temsil eden 5'ten fazla kökün kalınlıkları dijital kumpasla ölçülmüştür. Çeliklerin dip kısmında oluşan tüm kökler sökülerek 0,0001 g hassasiyetindeki hassas terazi yardımıyla tartılmış ve çeliklerin oluşturduğu köklerin yaş ağırlıkları belirlenmiştir (Daler ve Cangi, 2021).




**Şekil 1.** Çeliklerde kök gelişim ve ölçümleri

### 1.2.3. Sürgün gelişim parametreleri

Araştırmada kullanılan çeliklerde sürgün gelişim parametreleri, her çeşit için 30. gün, 45. gün ve 60. gün yapılan söküm işlemlerinden hemen önce kayda alınmıştır (Şekil 2). Buna göre, çeliklerde sürme oranı (%), sürgün uzunluğu (cm), sürgün çapı (cm), sürgün ağırlığı (g), yaprak sayısı (adet) ve yaprak ağırlığı (g) değerleri belirlenmiştir. Çalışmada sürme oranı, sürgün oluşturan çelik sayısının değerlendirilen toplam çelik sayısına oranlanmasıyla yüzde (%) olarak hesaplanmıştır (Teker ve ark., 2014). Sürgünün uzunluğu, sürgünün çıkış noktasından sürgün ucuna kadar bir cetvel kullanılarak ölçülmüştür (Daler ve Cangi, 2021). Sürgün çapı, sürgünün çıkış yaptığı yerden itibaren 3. ve 4. boğumlar arasındaki mesafe dijital kumpas kullanılarak ölçülmüştür. Sürgün ağırlığı, sürgün bitkiden ayrıldıktan sonra hassas terazi kullanılarak tartılmıştır. Elde edilen yaş yaprakların ağırlığı hassas bir terazi kullanılarak tartılmış ve kaydedilmiştir.




**Şekil 2.** Çeliklerde sürgün gelişim ve ölçümleri

### 1.3. İstatiksel Analiz

Elde edilen veriler, her bir tekerrürdeki örneklerin ortalaması alınarak veri setine dönüştürülmüştür. İstatistiksel değerlendirmelerde R Studio (4.5.2) yazılımı kullanılmıştır. Çeşitler arası farklılıkların saptanmasında Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA) uygulanmış; anlamlı bulunan parametrelerde ($p< 0,05$) ortalamaların gruplandırılması için Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi (HSD) kullanılmıştır. Çeşit ve ölçüm günlerinde ölçüm yapılan parametrelerin dağılımı Temel Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis PCA) biplot grafikleri ile yorumlanmıştır. Grafiklerin oluşturulmasında ggplot2, factoextra ve corrplot kütüphanelerinden yararlanılmıştır.

## 2. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 2.1. İncelenen Çeliklerin Boğum Çapları

Dikim işlemlerinden önce çeşitlere ilişkin tek gözlü çeliklerin boğum çapları ölçülmüş, kalınlık açısından istatistiki önemde bir fark gözlenmemiştir. 30. gün için dikilen çeliklerin gövde çap değerlerinin sırasıyla CS, AL ve RG için 12,55 mm, 11,98 mm ve 12,93 mm olarak sıralandığı; 45. gün için 12,77 mm, 11,52 mm ve 13,39 mm olarak gerçekleştiği belirlenmiştir. 60. gün için

dikimi yapılan çeliklerin boğum çaplarının da benzer olduğu, değerlerin 11,83 mm ile 12,44 mm arasında değiştiği tespit edilmiştir (Çizelge 1). Genel olarak, dikimi gerçekleştirilen tüm çeliklerin boğum çaplarının birbirinden farklı olmadığı tespit edilmiştir.

**Çizelge 1.** Farklı üzüm çeşitlerinde boğum çapı (mm) değerleri.

| Çeşitler | 30. Gün | 45. Gün | 60. Gün |
|---|---|---|---|
| Crimson Seedless | 12,55±0,63 | 12,77±1,61 | 11,83±1,07 |
| Alphonse Lavallée | 11,98±0,55 | 11,52±0,63 | 12,16±0,81 |
| Red Globe | 12,93±0,61 | 13,39±0,56 | 12,44±1,24 |
| *p değeri** | *ns* | *ns* | *ns* |

**: p < 0,05 seviyesinde önemli; ns: önemli değil.*

## 2.2. Sürme ve Köklenme Oranı

CR, AL ve RG üzüm çeşitlerinin çeliklerinde sürme oranları 30., 45. ve 60. günlerde değerlendirilmiş, incelenen gün bazında çeşitler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olmadığı ortaya konulmuştur (p>0,05). (p>0,05). Çeşitlerin sürme oranları 30. günde %87,5 ile %100 arasında, 45. günde %93,8 ile %100 arasında ve 60. günde %58,3 ile %91,7 arasında değişmiştir (Çizelge 2).

**Çizelge 2.** Farklı üzüm çeşitlerinin çeliklerinde sürme oranı (%) değerleri.

| Çeşitler | 30. Gün | 45. Gün | 60. Gün |
|---|---|---|---|
| Crimson Seedless | 87,50±16,00 | 95,80±8,33 | 91,70±16,70 |
| Alphonse Lavallée | 95,80±8,33 | 100,00±0,00 | 91,70±16,70 |
| Red Globe | 100,00±0,00 | 95,80±8,33 | 58,30±31,90 |
| *p değeri** | *ns* | *ns* | *ns* |

**: p < 0,05 seviyesinde önemli; ns: önemli değil.*

Çeşitler arasında rakamsal farklılıklar gözlemlenmiş olsa da, bu farklılıkların köklenme oranı açısından istatistiksel olarak anlamlı olmadığı saptanmıştır (p>0,05). Köklenme oranlarının 30., 45. ve 60. gün sıralaması dikkate alındığında, oranların %79,2–%91,7, %70,8–%100,0 ve %45,8–%100 arasında değiştiği belirlenmiştir (Çizelge 3). Her iki parametre değeri değerlendirildiğinde, RG üzüm çeşidine ait çeliklerde 60. günde sürme ve köklenme oranlarının diğer çeşitlere göre daha düşük gerçekleştiği anlaşılmıştır.

**Çizelge 3.** Farklı üzüm çeşitlerinin çeliklerinde köklenme oranı (%) değerleri.

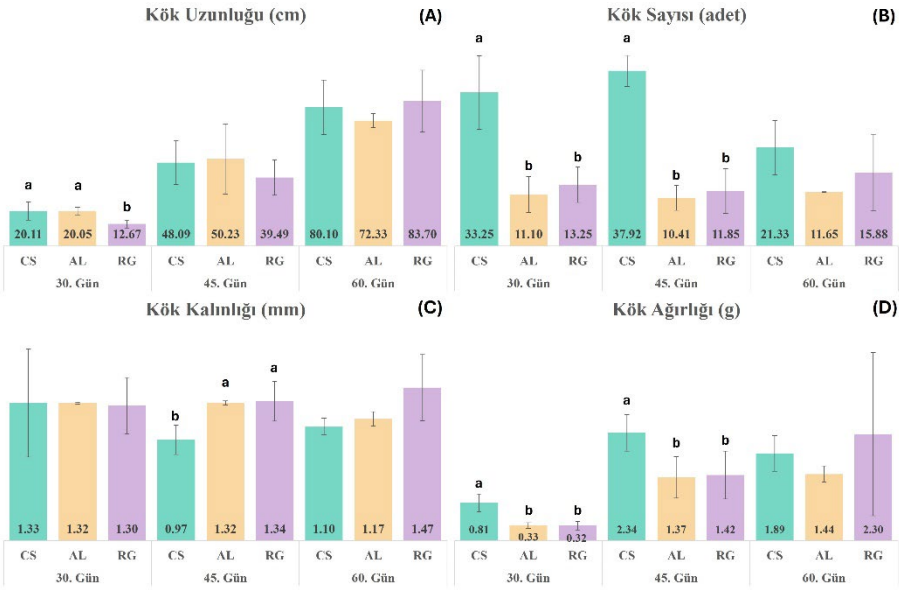
| Çeşitler | 30. Gün | 45. Gün | 60. Gün |
|---|---|---|---|
| Crimson Seedless | 83,30±19,20 | 100,00±0,00 | 100,00±0,00 |
| Alphonse Lavallée | 91,70±16,70 | 95,80±8,33 | 87,50±16,00 |
| Red Globe | 79,20±16,00 | 70,80±21,00 | 45,80±25,00 |
| *p değeri** | *ns* | *ns* | *ns* |

**: p < 0,05 seviyesinde önemli; ns: önemli değil.*

## 2.3. Kök Gelişim Parametreleri

Çeşitlerin kök gelişim parametreleri 30., 45. ve 60. günlerde değerlendirilmiştir (Şekil 3). İncelenen bazı kök parametrelerinde çeşitler arasında önemli farklılıklar olduğu, ayrıca bu farklılıkların değerlendirme zamanına bağlı olarak da değiştiği saptanmıştır.

30. günde kök uzunluğu, CR (20,11 mm) ve AL (20,05 mm) çeşitlerinde RG (12,67 mm) çeşidine kıyasla önemli ölçüde daha yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). 45. günde çeşitler arasında önemli bir farklılık saptanmamıştır. 60. günde tüm çeşitlerin kök uzunluklarında artışların meydana geldiği, uzunluk açısından RG (83,70 mm), CS (80,10 mm) ve AL (72,33 mm) olarak sıralandıkları tespit edilmiştir (Şekil 3A). Kök sayısı bakımından, 30. günde CS (33,25) çeşidi, AL (11,10) ve RG (13,25) çeşitlerine kıyasla önemli ölçüde daha yüksek bir değer sergilemiştir ($p < 0,05$). Benzer bir durum 45. günde de gözlenmiş; CS çeşidi 37,92 kök sayısına sahipken, AL ve RG çeşitleri sırasıyla 10,41 ve 11,85 kök sayısına sahip olduğu belirlenmiştir. 60. günde çeşitler arasında önemli bir farklılık gözlenmemiştir (Şekil 3B). Tüm günler değerlendirildiğinde, artan gün sayısı ile birlikte tüm çeşitlerin kök sayılarında artış gözlemlenmiştir. Kök kalınlığı açısından çeşitler arasında 30. ve 60. günlerde önemli bir farklılık bulunmamıştır (Şekil 3C). Ancak 45. günde, RG (1,34 mm) ve AL (1,32 mm) çeşitleri, CS (0,97 mm)'ye kıyasla önemli ölçüde daha kalın köklere sahip olmuştur ($p < 0,05$).




**Şekil 3.** Crimson Seedless (CS), Alphonse Lavelleé (AL) ve Red Globe (RG) üzüm çeşitlerinin çeliklerinin 30., 45., 60. günlerde ölçülen kök uzunluğu (A), kök sayısı (B), kök kalınlığı (C) ve kök ağırlığı (D) değerleri.
*Sütunlar üzerinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0,05$). Harf bulunmayan ölçüm dönemlerinde çeşitler arasındaki fark önemsiz kabul edilmiştir. Sütunlar üzerindeki dikey çizgiler standart sapma değerlerini ifade etmektedir.*

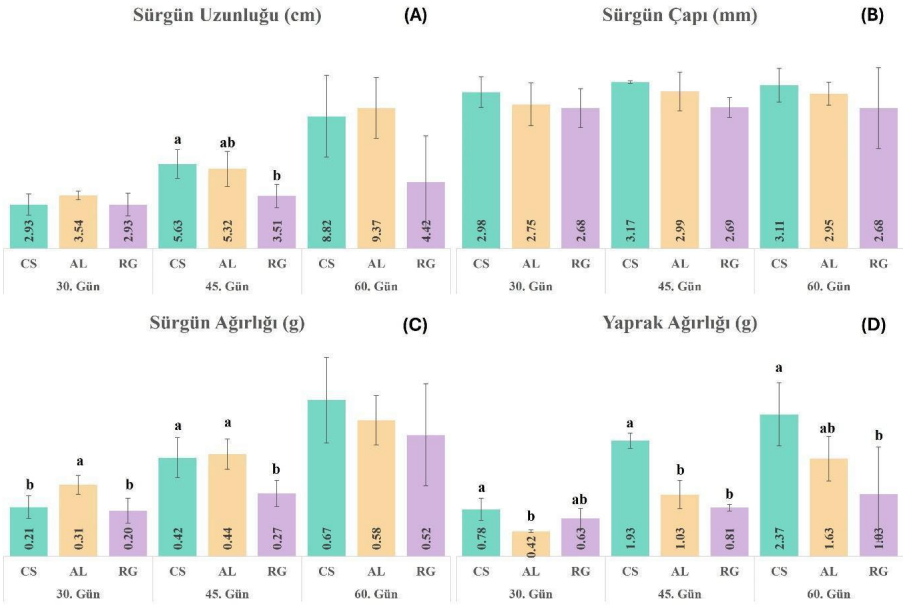
Çeliklerin kök ağırlığı değerleri erken değerlendirme dönemlerinde çeşide bağlı olarak farklılık göstermiştir. 30. günde CS (0.81 g) çeşidi, AL (0,33 g) ve RG (0,32 g) çeşitlerine kıyasla önemli ölçüde yüksek kök ağırlığına sahip olmuştur. Benzer şekilde, 45. günde CS (2,34 g) çeşidinin kök ağırlığı değeri, AL (1,37 g) ve RG (1,42 g) çeşitlerine göre ölçüde daha yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). 60. gün incelendiğinde kök ağırlıkları CS, AL ve RG çeşitleri için sırasıyla 1,89 g, 1,44 g ve 2,30 g olarak ölçülmüş ve çeşitler arasında önemli bir fark saptanmamıştır (Şekil 3D). Genel olarak tüm parametreler, çeliklerin kök gelişimi üzerinde çeşitli etkilerin daha baskın olarak erken dönemde (30. ve 45. günde) belirginleştiğini, 60. günde değerlendirilen kök parametrelerinde çeşit bazında istatistiki açıdan anlamlı bir fark ortaya koyulamadığı anlaşılmıştır.

## 2.4. Sürgün Gelişim Parametreleri

CR, AL ve RG çeşitlerinin çeliklerinde sürgün gelişim özellikleri; 30., 45. ve 60. günlerde sürgün uzunluğu, sürgün çapı, sürgün ağırlığı ve yaprak ağırlığı bakımından değerlendirilmiştir (Şekil 4). Çeşitlerin etkileri, gelişim parametresine ve değerlendirme dönemine bağlı olarak farklılık göstermiştir. Sürgün uzunluğu açısından, 30. ve 60. günlerde çeşitler arasında önemli bir fark gözlenmemiş olmasına karşın 45. günde elde edilen farklar istatistiki anlamda önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Buna göre en yüksek sürgün uzunluğu CS'de (5,63 cm), en düşük değer ise RG (3,51 cm) üzüm çeşidinde tespit edilmiştir (Şekil 4A). 45. ve 60. günlerde RG çeliklerinde sürgün uzunluğu değerleri, sayısal olarak diğerlerine oranla düşük bulunmuştur. Sürgün çapı bakımından, tüm değerlendirme zamanlarında çeşitler arasında anlamlı bir fark tespit edilmemiştir. Sürgün çapı değerleri 30. günde 2,68 mm ile 2,98 mm, 45. günde 2,69 mm ile 3,17 mm ve 60. günde 2,68 mm ile 3,11 mm arasında değişmiştir (Şekil 4B).

Sürgün ağırlığı açısından, 30. ve 45. günlerde çeşitler arasında önemli farklar gözlenmiştir. 30. günde en yüksek sürgün ağırlığı AL (0,31 g) çeliklerinde tespit edilmiş, CS (0,21 g) ile RG (0,20 g) çeliklerine göre yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). 45. günde CS (0,42 g) ve AL (0,44 g), RG (0,27 g) çeliklerine kıyasla önemli ölçüde daha yüksek sürgün ağırlıklarına sahip olmuştur. 60. güne gelindiğinde diğer incelenen günlere kıyasla artan sürgün ağırlığı değerleri, CS, AL ve RG'de sırasıyla 0,67 g, 0,58 g ve 0,52 g'a yükselmiş ve çeşitler arasında önemli bir fark gözlenmemiştir (Şekil 4C). Yaprak yaş ağırlığı bakımından çeşitler arasında daha belirgin farklılıklar gözlenmiştir. 30. günde en yüksek yaprak ağırlığı CS'de (0,78 g) görülürken, en düşük değer AL'de (0,42 g) belirlenmiştir. 45. günde CS (1,93 g) çeşidinde, AL (1,03 g) ve RG'ye (0,81 g) çeşitlerine kıyasla anlamlı derecede daha yüksek bir yaprak ağırlığı tespit edilmiştir ($p < 0,05$). 60. günde yine en yüksek yaprak ağırlığı CS'de (2,37 g) ölçülürken, en düşük değer RG (1,03 g) çeliklerinde meydana gelmiştir (Şekil 4D). Çeşitlerin sürgün parametrelerine etkisi genel olarak değerlendirildiğinde, çeşit kaynaklı farklılıkların hem büyüme parametrelerine hem de değerlendirme zamanına göre değiştiği anlaşılmıştır. Sürgün çapı, farklı değerlendirme zamanlarında çeşitten anlamlı düzeyde etkilenmezken, yaprak ağırlığı çeşide bağlı olarak en fazla değişimi gösteren parametre olarak öne

çıkmıştır. CS çeliklerinin, özellikle 60. günde, genel olarak daha yüksek yaprak biyokütlesini ortaya koyduğu belirlenmiştir.



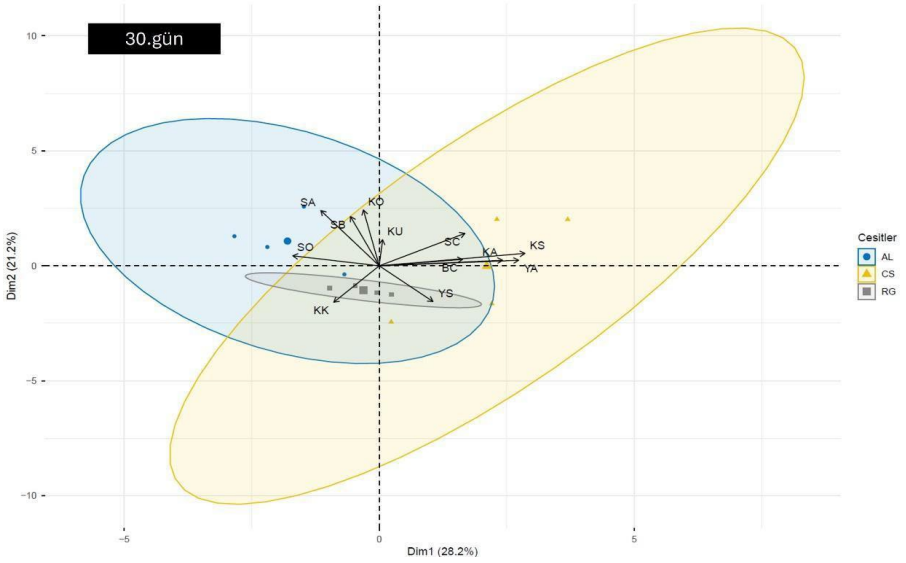

**Şekil 4.** Crimson Seedless (CS), Alphonse Lavelleé (AL) ve Red Globe (RG) üzüm çeşitlerinin çeliklerinin 30., 45., 60. günlerde ölçülen sürgün uzunluğu (A), sürgün çapı (B), sürgün ağırlığı (C) ve yaprak ağırlığı (D) değerleri. *Sütunlar üzerinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0,05$). Harf bulunmayan ölçüm dönemlerinde çeşitler arasındaki fark önemsiz kabul edilmiştir. Sütunlar üzerindeki dikey çizgiler standart sapma değerlerini ifade etmektedir.*

Çeliklerin değerlendirme zamanlarında sürme ve köklenme üzerindeki etkileri incelendiğinde, bazı bulgular önceki çalışmalarla uyumludur. Farooq ve ark. (2018), farklı köklenme ortamlarında Crimson Seedless ve Red Globe çeşitlerinin nihai sürme oranlarının birbirine oldukça yakın olmasına rağmen, Crimson Seedless çeşidinin Red Globe'a kıyasla daha erken sürmeye başladığını belirtmiştir. Aynı zamanda araştırıcılar, çeşitlerin köklenme oranlarının benzerlik göstermesine karşın Crimson Seedless çeşidinin Red Globe'a kıyasla daha fazla kök ve daha yüksek kök ağırlığına sahip olduğunu bildirmektedir. Bu bulgular, benzer sürme veya köklenme oranlarının, mutlaka benzer gelişim hızlarını ya da sonraki kök sistemi büyümesini yansıtmadığını

göstermektedir. Diğer taraftan, çeşitler arasındaki köklenme farklılıklarının yalnızca köklenme oranıyla sınırlı olmadığı, kök sisteminin gelişim özelliklerinde de belirgin şekilde ortaya çıkabildiği bildirilmiştir. Nitekim Köse ve ark. (2023), beş farklı *Vitis labrusca* türüne ait çeşitlerde köklenme oranı, kök sayısı, kök uzunluğu ve kök gelişim düzeyinin çeşitlere göre önemli ölçüde değiştiğini ifade etmektedir.

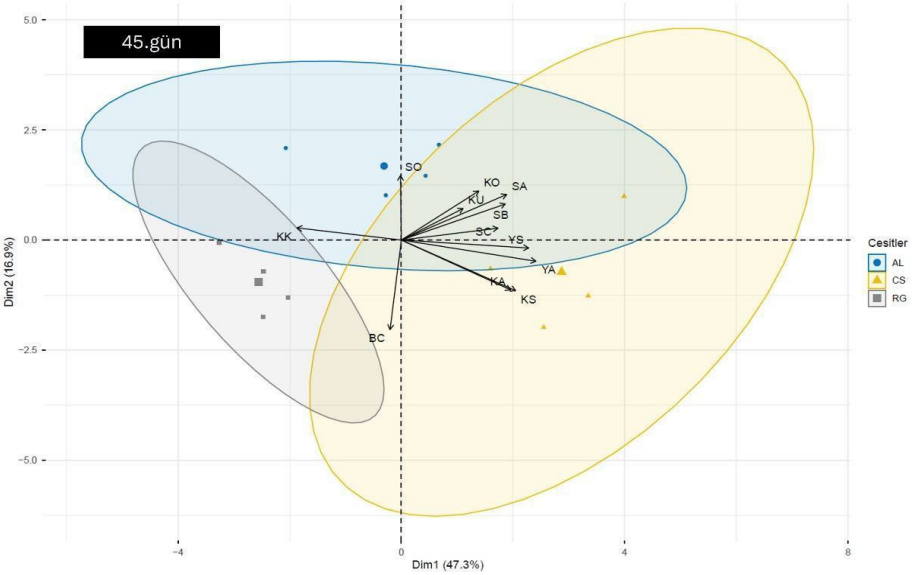
## 2.5. Sürgün Gelişim ve Köklenme Parametrelerinin Temel Bileşen Analizi

Bu araştırmada temel bileşenler analizi, değerlendirilen sürgün ve köklenme özellikleri arasındaki çok değişkenli ilişkilerin üç değerlendirme dönemi boyunca önemli ölçüde değiştiğini ortaya koymuştur. İlk iki temel bileşen, toplam varyasyonun %49,4'ünü 30. günde açıklarken (Şekil 3), bu oran 45. günde %64,2'ye (Şekil 4) ve 60. günde %69,5'e (Şekil 5) yükselmiştir. Bu kademeli artış, bitki gelişimi ilerledikçe ölçülen özellikler arasındaki ilişkilerin 45. ve 60. gün iki temel bileşen analizlerinde daha etkin biçimde temsil edildiğini ortaya koymuştur. 30. günde açıklanan varyans oranının nispeten düşük olması, özellikle sürgün ve kök gelişiminin henüz güçlü bir şekilde koordine edilmediğini göstermiştir (Şekil 3). Nookaraju ve ark. (2008)'nın çalışmasında da, Crimson Seedless üzüm çeşidinde sürgün çıkışı ile kök gelişimi arasında benzer bir uyumsuzluk bildirilmektedir. Çalışmalarında, tek boğumlu eksplantlarda sürgün oluşumunun 7 gün içinde başlayıp 25. güne kadar devam ettiğini; buna karşılık 30. gündeki köklenme tepkilerinin önemli ölçüde değişkenlik gösterdiği ve her zaman sürgün oluşumu düzeyiyle örtüşmediği ifade edilmektedir.




**Şekil 3.** Sürgün gelişimi ve köklenme parametrelerinde 30. gün temel bileşen analizi *KO: köklenme oranı; KU: kök uzunluğu; KS: kök sayısı; KA: kök ağırlığı; KK: kök kalınlığı; SO: sürme oranı; SB: sürgün boyu; SC: sürgün çapı; SA: sürgün ağırlığı; BC: boğum çapı; YS: yaprak sayısı.*

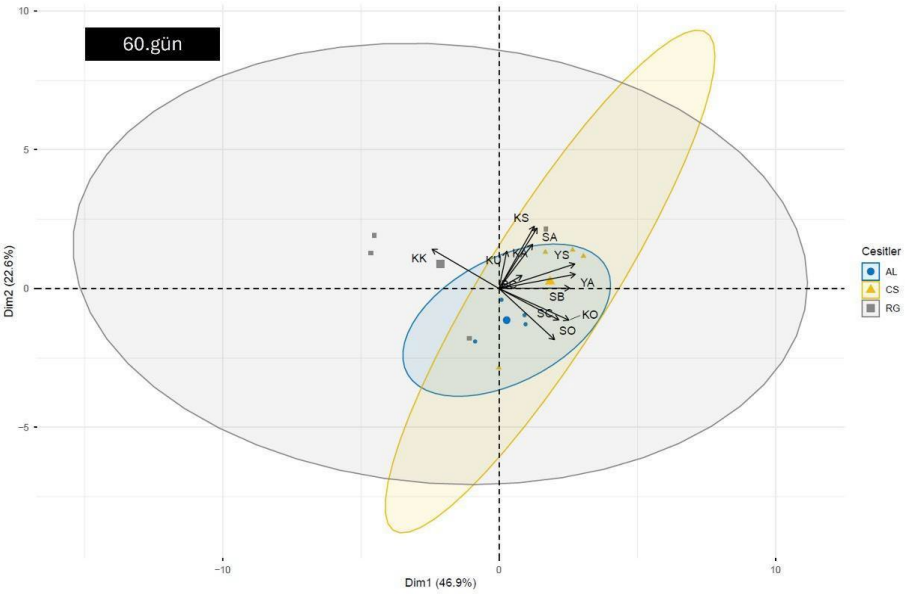
Toplam varyasyonun %64,2'sinin açıklandığı 45. günde, sürgün ve kök gelişimi arasındaki ilişkinin daha kuvvetli belirlendiği, sürgün boyu, sürgün ağırlığı, yaprak sayısı ve yaprak ağırlığı gibi sürgün ile ilişkili çeşitli özelliklerin; kök sayısı, kök uzunluğu ve kök ağırlığı gibi önemli köklenme özellikleriyle benzer bir yönde hizalandığı tespit edilmiştir. Bu durumun, çelik gelişimleri devam ettikçe sürgün büyümesi ile kök sistemi arasında artan bir korelasyonun elde edilmesine olanak sağlayacağı düşünülmektedir. 45. gün periyodunda 30. güne göre, CS çeşidi daha güçlü vejetatif aksam ve kök gelişimiyle ilişkili bölgeye doğru hizalanma eğilimi gösterirken, RG çeşidinin ise daha çok zıt yönde dağılım sergilediği belirlenmiştir. Bu bulgular, sürgün ve kök gelişiminin doğal olarak zamansal farklardan etkilendiğini; ancak bu gelişimin her çeşit için aynı yönde olmayabileceğini, çeşitler arasında farklılık gösterebileceğini ortaya koymaktadır (Şekil 4).




**Şekil 4.** Sürgün gelişimi ve köklenme parametrelerinde 45. gün temel bileşen analizi
*KO: köklenme oranı; KU: kök uzunluğu; KS: kök sayısı; KA: kök ağırlığı; KK: kök kalınlığı; SO: sürme oranı; SB: sürgün boyu; SC: sürgün çapı; SA: sürgün ağırlığı; BC: boğum çapı; YS: yaprak sayısı.*

60. gün temel bileşen analizi, iki bileşenin toplam varyasyonun %69,5'ini oluşturduğunu ve çeşitli sürgün ve kök özellikleri arasındaki ilişkilerin daha belirgin bir şekilde temsil edildiğini ortaya koymaktadır. Sürgün ve kök gelişim parametrelerinin giderek benzer yönelimler sergilemesi, ileri evrede güçlü sürgün ve kök sistemi gelişimlerinin daha yakın bir ilişki içinde olabileceğini düşündürmektedir. Smart ve ark. (2003), asma ve anaç çeliklerinde adventif kök oluşumunun depolanmış karbonhidratların ana karbon kaynağını oluşturduğunu, gelişen köklerin önemli bir alıcı görevi gördüğünü ve bu durumun sürgün gelişiminden önce gerçekleşebileceğini vurgulamıştır. Ancak sürgün geliştikçe, gözlerin önemli fizyolojik geçişler geçirdiğini ve ortaya çıkan sürgünlerin fotosentetik olarak aktif yaprakları geliştirebileceğini; bunun da kök ve sürgün arasındaki dağılımı potansiyel olarak değiştirdiğini ifade etmektedirler. Araştırıcılar ayrıca, uyku halindeki tomurcukların adventif kök oluşumu üzerindeki etkisinin genotipler arasında farklılık gösterebileceğini ileri sürmüşlerdir. Bununla birlikte, çeşit dağılımlarındaki benzerliklerin oluşması, çeliklerin birbirinden tamamen farklı olmadığını da göstermektedir. Şekil 6'da görüldüğü gibi, RG çeşidinin diğer çeşitlere kıyasla çok daha geniş bir dağılım

sergilediği tespit edilmiştir. Ayrıca bu geniş dağılım incelendiğinde, sürgün ve köklenme özellikleri için çeşit içinde dahi heterojenliğin (tekerrür bazında elde edilen sayısal veriler) yüksek olabileceği değerlendirilmektedir.




**Şekil 5.** Sürgün gelişimi ve köklenme parametrelerinde 60. gün temel bileşen analizi
*KO: köklenme oranı; KU: kök uzunluğu; KS: kök sayısı; KA: kök ağırlığı; KK: kök kalınlığı; SO: sürme oranı; SB: sürgün boyu; SC: sürgün çapı; SA: sürgün ağırlığı; BC: boğum çapı; YS: yaprak sayısı.*

Önceki çalışmalar, asma çeliklerinin köklenmesi ve ardından gelen vejetatif büyümesinin yalnızca genotipler arasında değil, aynı zamanda çoğaltma materyalinin fizyolojik ve anatomik özelliklerine göre de önemli ölçüde değişebileceğini göstermiştir. Nitekim, Atak ve Çorak (2025), Crimson Seedless tek gözlü çeliklerinde kök gelişim düzeyi ile sürgün uzunluğunun göz pozisyonuna bağlı olarak önemli ölçüde değiştiğini ve maksimum kök ile sürgün gelişiminin farklı göz pozisyonlarında gerçekleştiğini bildirmiştir. *Vitis labrusca* çeşitlerinde yapılan çalışmada, çeşitler arasında gözlerin yer aldığı boğum pozisyonlarına göre kök ve sürgün gelişimlerinde değişiklik olabileceği bildirilmektedir (Köse ve ark., 2023). Diğer taraftan yapılan çalışmalar, asma anaçlarında da benzer durumların yaşanabileceğini göstermektedir. Dardeniz ve ark. (2008), 5BB ve 140Ru anaçlarının farklı boğumlarından elde edilen çelikler

arasında köklenme yüzdesi ve kök varlığında belirgin farklılıklar olduğunu, buna karşılık sürgün oluşumunun boğum pozisyonları boyunca nispeten yüksek kaldığını bildirmiştir. Bu bulgular, tomurcuklanma, köklenme başarısı ve ardından gelen kök ve sürgün büyümesinin çeliklerin boğum pozisyonlarına bağlı olabileceğini, ancak bunların ayrı bileşenler olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu durum, çeliklerde kök ve sürgün gelişiminin her zaman eşzamanlı veya paralel olamayabileceğini göstermektedir.

## 3. SONUÇ

Crimson Seedless, Alphonse Lavallée ve Red Globe çeşitlerinde elde edilen çeliklerin farklı günlerde sürgün gelişimi ve köklenme performanslarının belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen bu çalışma; köklenme ve bunu takip eden vejetatif gelişim süreçlerinin, büyük ölçüde değerlendirme aşamasına bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Çeşitler arasındaki farklılıklar, erken ve orta dönem değerlendirmelerde belirli kök ve sürgün özellikleri bakımından daha belirgin iken, çeşitler arasındaki farklılıkların birçoğunun 60. güne gelindiğinde azaldığını belirlemiştir. Dolayısıyla, çeşit performansı tek bir özellik veya söküm tarihi üzerinden değerlendirilmemiştir. Değerlendirilen dönemlerde çeşitler arasında sürme ve köklenme oranlarında anlamlı bir fark tespit edilmemiş olsa da, kök ve sürgün gelişimlerindeki çeşide bağlı farklılıkların belirgin olduğu görülmüştür. Meydana gelen farklılıkların gelişim evresine de büyük ölçüde bağlı olduğu ortaya konmuştur. Erken dönemde gerçekleştirilen (30. ve 45. gün) söküm işlemlerinden sonra incelenen parametrelerde, çeşit bazında birçok kök ve sürgün özelliğinde elde edilen farklılıkların çoğunun 60. günde sökümü yapılan çeliklerde azaldığı belirlenmiştir.

Temel bileşen analizi, köklenme performansı, sürgün ve yaprak gelişimi arasındaki ilişkilerin bitki büyüme süresi arttıkça değiştiğini göstererek bu zamansal tepkiyi desteklemiştir. Erken aşamada gözlemlenen parametrelerin köklenme ve sürgün gelişimi arasında artan bir korelasyon olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda incelenen çeşitlerin farklı olması nedeniyle çeşit tepkilerinin de eşit derecede homojen olmadığı; özellikle son değerlendirmede, Red Globe çeşidi için gözlemlenen çok değişkenli dağılımın, dikimi yapılan bireysel çelikler arasında da büyük değişkenliklere yol açtığı görülmüştür.

Bu çalışma ile erken dönemde gözlemlenen çeşitlere özgü farklılıkların, 60 günlük sürenin ötesinde devam edip etmediği ve nihai fidan kalitesinde

farklılıklara yol açıp açmadığı henüz belirlenmemiştir. Bu nedenle gelecekteki çalışmaların, erken dönemde kök ve sürgün özelliklerinin; ileri aşamadaki bitki kalitesi, büyüme homojenliği ve köklenme başarısı açısından güvenilir birer gösterge olup olmadığını tespit etmek amacıyla değerlendirme süresinin uzatılması ve köklenmiş çeliklerin fidanlıktaki gelişim süreçlerinin takip edilmesi önerilmektedir.

## KAYNAKÇA

Atak, A., & Çorak, K. (2025). Comparison of the winter bud productivity, rooting and shoot development parameters of some *Vitis* spp. with single bud. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, *9*(2), 393-408.

Daler, S., & Cangi, R. (2021). Sulama suyu pH'sının asma anaçlarının biyokütle, köklenme, kök ve sürgün gelişimi üzerine etkisi. *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research*, *2*(2), 276-288.

Dardenİz, A., Gökbayrak, Z., Müftüoğlu, N. M., Türkmen, C., & Beşer, K. (2008). Cane quality determination of 5 BB and 140 Ru grape rootstocks. *European Journal of Horticultural Science*, *73*(6), 254-258.

Farooq, M., Kakar, K., Golly, M. K., Ilyas, N., Zib, B., Khan, S., ... & Bakhtiar, M. (2018). Comparative effect of potting media on sprouting and seedling growth of grape cuttings. *International Journal of Environmental and Agriculture Research*, *4*(3).

Köse, B., Uray, Y., Karabulut, B., Türk, F., Bayram, K., & Çelik, H. (2023). Determination of Rooting and Vine Sapling Rates of Single-Bud Cuttings Prepared from Vitis labrusca L. Grape Cultivars. *Erwerbs-Obstbau*, *65*(6), 2005-2016.

Kraiem, Z., Wannes, W. A., Zairi, A., & Ezzili, B. (2010). Effect of cutting date and position on rooting ability and fatty acid composition of Carignan (Vitis vinifera L.) shoot. *Scientia Horticulturae*, *125*(2), 146-150.

Nookaraju, A., Barreto, S. M., & Agrawal, D. C. (2008). Rapid in vitro propagation of grapevine cv. Crimson Seedless-Influence of basal media and plant growth regulators. *Journal of Applied Horticulture*, *10*(1), 44-49.

Smart, D. R., Kocsis, L., Andrew Walker, M., & Stockert, C. (2002). Dormant buds and adventitious root formation by Vitis and other woody plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, *21*(4), 296-314.

Teker, T., Ulaş, S., & Dolgun, O. (2014). Effects of scion-rootstock combinations on ratio and quality of the potted vine grafts. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences* (Özel Sayı-2), 1898-1904.

This, P., Lacombe, T., & Thomas, M. R. (2006). Historical origins and genetic diversity of wine grapes. *TRENDS in Genetics*, *22*(9), 511-519.

Waite, H., Whitelaw-Weckert, M., & Torley, P. (2015). Grapevine propagation: principles and methods for the production of high-quality grapevine planting material. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, *43*(2), 144-161.

Zhou, Q., Gao, B., Li, W. F., Mao, J., Yang, S. J., Li, W., ... & Chen, B. H. (2020). Effects of exogenous growth regulators and bud picking on grafting of grapevine hard branches. *Scientia Horticulturae*, *264*, 109186.

# BÖLÜM 25

## ÇAY TARIMINDA YAPAY ZEKÂ VE DİJİTALLEŞME

Araş. Gör.Dr. Mehmet Zahit AYDIN[1]

DOI: https://www.doi.org/10.5281/zenodo.23259764

[1] Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Rize, Türkiye. Mehmetzahit.aydin@erdogan.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-7833-521X

## 1. GİRİŞ

Çay (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze), dünya genelinde yaygın olarak tüketilen ve birçok üretici ülke için ekonomik ve stratejik öneme sahip bir tarımsal üründür (Chen ve diğerleri, 2026). Türkiye, dünyanın önde gelen çay üreticileri arasında yer almakta ve kişi başına tüketimde uzun yıllardır ilk sıralarda bulunmaktadır (TEPGE, 2024). Bununla birlikte ülkenin çay üretimi, çayın olağan ekolojisi olan tropik ve subtropik kuşağın dışında, yaklaşık 42° kuzey enleminde, Doğu Karadeniz'in kendine özgü mikroklimasına sahip dar bir coğrafyada gerçekleşmektedir (RTB, 2009). Aynı dönemde küresel ölçekte tarım, artan nüfus, iklim değişikliği ve kaynak kısıtları karşısında hızlı bir dijital dönüşüm yaşamaktadır. Yapay zekâ, makine öğrenmesi, derin öğrenme, nesnelerin interneti (IoT), uzaktan algılama ve robotik; tarımsal kararları sezgi yerine yüksek çözünürlüklü verilere dayandıran akıllı tarım (Tarım 4.0) paradigmasını doğurmuştur (Benos ve diğerleri, 2021; Kamilaris ve Prenafeta-Boldú, 2018). Çay özelinde bu dönüşüm, tarladan bardağa uzanan üretim zincirinin her aşamasına nüfuz etmeye başlamıştır (Zhang ve diğerleri, 2025; Wang ve diğerleri, 2023). Bu birikimin Türkiye çay tarımına yansıması halen sınırlıdır. Ülke, söz konusu teknolojilerin çözmeyi hedeflediği sorunların işgücü kıtlığı, kalite tutarsızlığı, verim farklılıkları ve iklim baskısı önemli bir bölümünü yaşamasına karşın; saha koşullarında sınanmış yerli uygulamalar, çay bölgesine ve yerel klonlara özgü veri setleri ve entegre karar-destek sistemleri bakımından belirgin bir araştırma boşluğu bulunmaktadır (USPUM, 2026). Uluslararası literatür ile ulusal pratik arasındaki bu açıklık, bu çalışmanın çıkış noktasını oluşturmaktadır.

Bu bölüm üç amacı gütmektedir:

(i) Tarımda yapay zekâ ve dijitalleşmenin gelişimini ve güncel durumunu özetlemek,

(ii) Çayda yapay zekâ uygulamalarına ilişkin uluslararası birikimi seçici hasat, uzaktan algılama ve bitki durumunun izlenmesi, IoT tabanlı dijital çay bahçesi, hastalık-zararlı erken teşhisi ile işleme ve kalite değerlendirmesi olmak üzere beş uygulama alanında derleyerek bunu Türkiye'nin yapısal koşullarına eşlemek,

(iii) Tespit edilen boşluğu bir araştırma ve politika gündemine dönüştürmek. Çalışmanın temel savı, bu teknolojilerin Türkiye'de uygulanamaz olmadığı; aksine uygulanabilirliğin arazi yapısı, üretici

ölçeği, veri altyapısı ve kurumsal örgütlenmeye bağlı olduğu ve bunun sistematik bir yaklaşım gerektirdiğidir.

## 1. TARIMDA YAPAY ZEKÂNIN VE DİJİTALLEŞMENİN GELİŞİMİ

Yapay zekânın kökleri 1950'lere, Alan Turing'in makinelerin düşünüp düşünemeyeceği sorusuna ve Turing testine kadar uzanır; alanın adı ise 1956 Dartmouth Konferansı'nda konmuştur (TechTarget, 2024). Alanın tarihi, coşku ve durgunluk dönemlerinin birbirini izlediği döngüsel bir seyir göstermiş; uzman sistemler, robotik ve doğal dil işleme gibi dalları geride bırakarak son on yılda makine öğrenmesi ve derin öğrenme atılımlarıyla yeni bir evreye girmiştir.

Tarım tarafında bilgisayarlı yöntemlerin kullanımı onlarca yıl öncesine dayansada, asıl dönüşüm yüksek başarımlı hesaplama ve büyük veri teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla son on yılda gerçekleşmiştir; yapay zekâ, makine öğrenmesi ve derin öğrenme, veri-yoğun tarımsal ortamların analizini kökten değiştirmiştir (Benos ve diğerleri, 2021; Kamilaris ve Prenafeta-Boldú, 2018). Bu evrim, geleneksel el/hayvan gücünden (Tarım 1.0) mekanizasyona (Tarım 2.0), oradan dijitalleşme ve otomasyona (Tarım 3.0) ve nihayet yapay zekâ temelli akıllı tarıma (Tarım 4.0) uzanan bir çizgide özetlenebilir (Şekil 1).




**Şekil 1.** Tarımda Dijitalleşmenin ve Yapay Zekânın Evrimi. Kaynak: yazar tarafından derlenmiştir; TechTarget (2024), Benos ve diğerleri (2021) Ve KÜRE Ansiklopedi (2025) temel alınmıştır.

Bugün tarımda yapay zekânın başlıca uygulama alanları; hastalık ve zararlı tespiti, verim tahmini, hassas sulama ve gübreleme, toprak sağlığı değerlendirmesi ve karar-destektir (Benos ve diğerleri, 2021; Ghazal ve diğerleri, 2024). Evrişimli sinir ağları (CNN) görüntü temelli erken hastalık

tespitini mümkün kılarken, makine öğrenmesi yöntemleri verim öngörüsünde yaygın biçimde kullanılmaktadır (van Klompenburg ve diğerleri, 2020). PRISMA temelli sistematik derlemeler, makine öğrenmesinin ürün, su, toprak ve hayvancılık yönetimini kapsayan çok disiplinli bir alana dönüştüğünü ortaya koymaktadır (Benos ve diğerleri, 2021). Küresel ölçekte tarımsal dijitalleşmenin bibliyometrik incelemeleri de bu ivmeyi teyit etmektedir (Latino ve diğerleri, 2022).

Dijital tarımın gelişimi yalnızca yeni algoritmaların ortaya çıkmasıyla değil; sensörler, büyük veri altyapıları ve karar-destek sistemlerinin bütünleşmesiyle şekillenmektedir. Liakos ve diğerleri (2018), makine öğrenmesinin tarımsal uygulamalarını ürün, su, toprak ve hayvancılık yönetimi gibi temel alanlarda sınıflandırırken; Wolfert ve diğerleri (2017) akıllı tarımı bilgi ve iletişim teknolojilerinin çiftlik yönetim döngüsüne yerleştiği siber-fiziksel bir üretim yaklaşımı olarak değerlendirmiştir. Dijitalleşmenin başarısı yalnızca teknik performansa bağlı değildir; veri sahipliği, mahremiyet, yeni iş modelleri, üreticinin teknolojiye erişimi ve benimseme süreçleri de belirleyici olmaktadır (Klerkx ve diğerleri, 2019). Bu nedenle tarımsal yapay zekâ sistemlerinin değeri, yüksek model doğruluğunun ötesinde, üretilen bilginin sahadaki karar süreçlerine güvenilir ve ekonomik biçimde aktarılabilmesiyle ilişkilidir.

Geleceğe dönük olarak literatür birkaç eğilimi öne çıkarmaktadır. Birincisi, ağır bulut bağımlılığından uzaklaşarak tarlada yerel çıkarım yapan hafifletilmiş ve düşük güçlü modellere yöneliş; bu, kırsal bağlantı açıklarının olduğu bölgeler için kritik önemdedir (İslam ve diğerleri, 2025). İkincisi, çoklu sensör ve model türlerini birleştiren çok kaynaklı veri füzyonunun yükselişi. Üçüncüsü, teknolojiyi insan merkezli ve sürdürülebilir bir çerçeveye oturtan Tarım 5.0 yaklaşımı (TÜİOSB, 2025). Bu eğilimler, veri sahipliği, mahremiyet ve sorumluluk gibi etik-yönetişim sorularını da beraberinde getirmekte olup, sorumlu yapay zekâ kullanımına ilişkin çerçeveler giderek önem kazanmaktadır (Dara ve diğerleri, 2022).

## 2. TÜRKİYE ÇAY TARIMININ YAPISAL SORUNLARI

Dijitalleşmenin Türkiye çayı için neden gereklilik olduğunu anlamak, üretimin mevcut darboğazlarını görmekten geçer.

**Coğrafi yoğunlaşma ve arazi yapısı:** Üretim büyük ölçüde Rize başta olmak üzere Doğu Karadeniz'in beş iline sıkışmıştır (TEPGE, 2024). Dik ve engebeli topoğrafya, işletmelerin küçük, çok parçalı ve teraslı kalmasına yol açar; bu da ölçek ekonomisini ve makineleşmeyi sınırlar. Nitekim Türkiye'de ortalama tarımsal işletme büyüklüğü yaklaşık 6,1 hektar olup Avrupa Birliği ortalamasının (yaklaşık 12,6 hektar) belirgin biçimde altındadır; bu parçalı yapı, çayda olduğu gibi ölçek ekonomisini ve makineleşmeyi güçleştirmektedir (Bağcı, 2025). Uluslararası literatürde de çay bölgelerinin karmaşık arazisi ve farklı yönetim pratiklerinin son derece parçalı parseller doğurduğu, bunun hassas yetiştiriciliği ve verim tahminini zorlaştırdığı belirtilir (Liu ve diğerleri, 2026).

**İşgücü ve demografik baskı:** Yüksek kaliteli çay hasadı hâlâ büyük ölçüde el emeğine dayanır. Kırsal nüfusun yaşlanması ve gençlerin tarımdan uzaklaşması, hasat döneminde işgücü kıtlığı ve maliyet artışı yaratır; bu durum çay üreticisi bölgelerin ortak sorunudur (Chen, Z. ve diğerleri, 2026).

**Kalite tutarsızlığı:** En yüksek kalite, sürgünün iki buçuk yaprak olarak bilinen taze uç kısmından elde edilir. Yaygın olan kaba mekanik hasat seçici olmadığından olgun yaprak ve odunsu kısımları da karıştırarak kalite ortalamasını düşürür (USPUM, 2026); bu, uluslararası pazarda rekabet gücünü doğrudan etkiler.

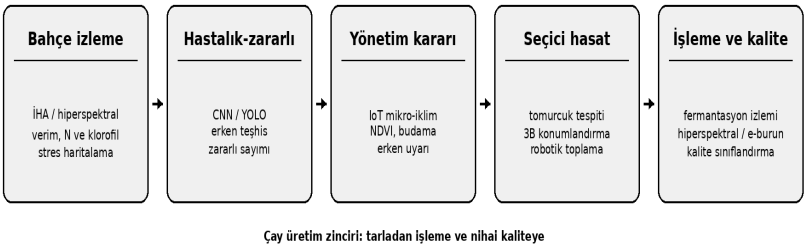
**Verim farklılıkları:** İller arası verim farkları belirgindir ve mekânsal değişkenlik, tam da hassas tarımın (site-specific management) hedef aldığı sorun türüdür (TEPGE, 2024).

**İklim baskısı:** İklim değişikliği fenolojik dönemleri kaydırmakta, don ve aşırı sıcak stresi risklerini artırmaktadır (USPUM, 2026). İklim krizinin çay rekoltesi ile kalite ve fiyatlar üzerinde etkili olmaya başladığı ulusal çalışmalarda da vurgulanmaktadır (Yıldız ve Özcan, 2024; Ekoloji Enstitüsü, 2024).

Bu beş sorun bir arada değerlendirildiğinde, dijital tarım teknolojileri Türkiye çayı için bir lüks değil, verimlilik ve sürdürülebilirliği korumak için giderek zorunlu bir seçenek olarak belirir.

## 3. ÇAYDA YAPAY ZEKÂ VE DİJİTAL TARIM TEKNOLOJİLERİ: ULUSLARARASI MEVCUT DURUM

Bu bölümde uluslararası birikim, çay üretim zincirini tarladan işleme ve nihai kaliteye kadar izleyen beş uygulama alanında ele alınmaktadır (Şekil 2).




**Şekil 2.** Yapay Zekânın Çay Üretim Zincirindeki Uygulama Alanları (Wang ve diğerleri (2023), Zhang ve diğerleri (2025), Hu ve diğerleri (2019a, b) ve Wu ve diğerleri (2025) temel alınarak yazar tarafından genişletilmiştir)

### 3.1. Görüntü İşleme ve Derin Öğrenme ile Seçici Hasat

Çayda robotik ve seçici hasadın önündeki temel görev, tarla koşullarında taze sürgünlerin doğru tespitidir. Renk ve şekle dayalı geleneksel görüntü işleme, aydınlatma değişimleri ve örtüşen nesneler nedeniyle sıklıkla başarısız olduğundan, derin öğrenme temelli yaklaşımlar bu alanda standart hâline gelmiştir (Kamilaris ve Prenafeta-Boldú, 2018; Li ve diğerleri, 2023). Kontrollü koşullardaki sonuçlar dikkat çekicidir. Kapsamlı bir derleme, iyileştirilmiş YOLO-V3 modelinin yüksek kaliteli tomurcuk veri setinde %90'ın üzerinde tespit doğruluğuna; Mask R-CNN tabanlı bir yaklaşımın ise saha görüntülerinde yaklaşık %94 doğruluk ve %92 duyarlılığa ulaştığını bildirmektedir (Chen, Z. ve diğerleri, 2026). Sürgün tanıma ve toplama noktası çıkarımı için YOLOv3 tabanlı sistemler geliştirilmiş (Chen, C. ve diğerleri, 2022); RGB-D kameralarla birleştirilen YOLO yaklaşımları ise %93 doğruluk ve hedef başına yaklaşık 24 milisaniyelik konumlandırma süresi bildirmiştir (Li ve diğerleri, 2021).

Bununla birlikte laboratuvar başarısı ile saha performansı arasında belirgin bir açık vardır ve bu, alanın en kritik tartışma noktalarından biridir. Delta paralel manipülatörlü bir seçici hasat robotu üzerine yapılan çalışmada, saha denemelerinde tespit, konumlandırma ve hareketle toplama başarı oranları sırasıyla yaklaşık %85, %79 ve %80 olmuş; ancak sürecin bütününde toplama

başarısı yaklaşık %54'e gerilemiş ve tek sürgünün toplanması ortalama 2,2 saniye sürmüştür (Yang ve diğerleri, 2021). Derin öğrenme temelli robotik hasat sistemlerinin saha değerlendirmeleri de benzer biçimde umut verici ancak henüz ticari olgunluğun altında sonuçlar ortaya koymaktadır (Li ve diğerleri, 2023). Derleme çalışması, kontrollü ortamdan tarlaya geçişte doğruluğun tipik olarak 15–20 puan düşebildiğini vurgulamaktadır (Chen, Z. ve diğerleri, 2026).

### 3.2. İnsansız Hava Araçları ve Uzaktan Algılama ile Verim-Kalite İzleme

İkinci eksen, hasattan çok bahçenin izlenmesine ve yönetim kararlarına odaklanır. İHA'ya monteli çok-bantlı görüntüleme ve derin öğrenme ile çay verimi tahmin edilebilmekte; bir çalışmada geniş bir etiketli tomurcuk veri seti üzerinde YOLO tabanlı modellerle ilkbahar hasadı öncesi taze çay verimi kestirilmiştir (Wang ve diğerleri, 2024). İHA çok-bantlı görüntüleme ayrıca çay sürgünlerinin havadan haritalanması ve değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (Chen, H. ve diğerleri, 2026). Çok-sensörlü İHA verileriyle soğuk/don stresi altındaki çay bitkilerinin hızlı izlenebildiği (Mao ve diğerleri, 2023); İHA çok-sensör görüntüsü ve makine öğrenmesinin birleştirilmesiyle çayda azot beslenme indeksinin tahribatsız tahmin edilebildiği gösterilmiştir (Li, Z. ve diğerleri, 2026).

Uzaktan algılama ve yapay zekânın çay tarımındaki kullanım alanı yalnızca verim tahminiyle sınırlı değildir. Hiperspektral yansıma verileri ve makine öğrenmesi, bitkinin fizyolojik ve beslenme durumunun tahribatsız biçimde belirlenmesine de olanak sağlamaktadır. Sonobe ve diğerleri (2020), farklı gölgeleme koşullarındaki çay yapraklarında klorofil içeriğinin hiperspektral yansıma verileri ve makine öğrenmesi algoritmalarıyla tahmin edilebildiğini göstermiştir. Bu yaklaşım, yaprak renginin ve klorofil düzeyinin yeşil çay kalitesiyle ilişkili olduğu üretim sistemlerinde hızlı izleme bakımından önem taşımaktadır. Yamashita ve diğerleri (2020) ise hiperspektral yansıma verilerini farklı makine öğrenmesi algoritmalarıyla değerlendirerek çay yapraklarındaki azot ve klorofil içeriklerinin tahribatsız tahminine odaklanmış; özellikle azot yönetimi açısından spektral verinin güçlü bir karar desteği sağlayabileceğini ortaya koymuştur. Bu tür yaprak ölçekli ölçümlerin İHA tabanlı çok-sensörlü sistemlerle birleştirilmesi, beslenme durumunun bahçe ölçeğinde haritalanmasını mümkün kılmaktadır. Nitekim çayda azot

beslenme indeksinin İHA çok-sensör görüntüleri ve makine öğrenmesiyle tahmin edilebilmesi (Li, Z. ve diğerleri, 2026), gelecekte gübrelemenin parsel içi değişkenliğe göre yönetilebileceğini göstermektedir.

Uzaktan algılamanın bir diğer uygulaması, çay parsellerinin ince ölçekli (fine-grained) haritalanmasıdır. Çoğu çalışmanın yalnızca genel çay alanlarını belirlemekle kaldığı, parsel düzeyinde ayrıştırmanın sınırlı kaldığı belirtilmekte; bu boşluğu kapatmak için ultra-yüksek çözünürlüklü İHA görüntüleri üzerinde Vision Transformer temelli segmentasyon modelleri geliştirilmiştir (Liu ve diğerleri, 2026). Bu bulgu, Türkiye'nin parçalı arazi yapısıyla doğrudan örtüşmesi bakımından önemlidir.

### 3.3. Dinamik Budama, Iot Mikro-İklim İzleme ve Dijital Çay Bahçesi

Üçüncü eksen, önceki ikisini bütünleştiren bir izleme ve karar-destek katmanını temsil eder. Geleneksel olarak uzun periyotlarla yapılan budama yerine, uydu ve İHA görüntülerinden elde edilen NDVI gibi bitki sağlığı verilerine dayalı dinamik budama zamanlaması önerilmektedir (USPUM, 2026). Bölgesel mikroiklim istasyonları ve IoT sensör ağlarıyla don ve aşırı sıcak stresi öncesinde koruyucu önlemlerin otomatik devreye alınabileceği bir dijital çay bahçesi vizyonu geliştirilmektedir (USPUM, 2026). Dijital tarım sistemlerinin havadan ve topraktan aldığı verileri analiz ederek zirai don, kuraklık ve aşırı yağış gibi afetlerde erken uyarı sağladığı Türkiye kaynaklı çalışmalarda da vurgulanmaktadır (TÜİOSB, 2025).

Bu üç yetiştiricilik odaklı uygulama alanı, çay bahçesindeki gözlem, karar ve hasat süreçlerinin dijital bir bütünlük içinde ele alınabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte yapay zekânın çaydaki kullanım alanı bahçe yönetimiyle sınırlı değildir; hastalık-zararlı erken teşhisi ile hasat sonrası işleme ve kalite değerlendirmesi de son yıllarda hızla gelişen iki tamamlayıcı araştırma alanıdır (Wang ve diğerleri, 2023; Wu ve diğerleri, 2025).

### 3.4. Yapay Zekâ ile Hastalık ve Zararlıların Erken Tespiti

Çay tarımında yapay zekânın önemli uygulama alanlarından biri hastalık ve zararlıların erken teşhisidir. Geleneksel teşhis büyük ölçüde üretici veya uzmanın görsel değerlendirmesine dayanırken; görüntü işleme ve derin öğrenme, yapraklardaki renk, doku, leke biçimi ve nekrotik alanlar gibi özellikleri otomatik olarak değerlendirerek daha hızlı ve standardize bir

tanılama olanağı sunmaktadır. Özellikle saha görüntülerinde değişken aydınlatma, karmaşık arka plan ve sınırlı sayıda etiketli örnek bulunması, model geliştirmede temel güçlüklerdir.

Hu ve diğerleri (2019a), az sayıda eğitim örneği sorununu çay yaprak hastalıklarında doğrudan ele almış; hastalık lekelerinin SVM ile ayrılması, koşullu üretici çekişmeli ağlarla veri artırımı ve VGG16 ile sınıflandırmayı birleştiren yöntemde ortalama %90 tanımlama doğruluğu bildirmiştir. Aynı araştırma grubunun geliştirdiği başka bir yaklaşımda çok ölçekli özellik çıkarımı ve derinlik-ayrılabilir evrişimler kullanılarak daha düşük hesaplama maliyetli bir CNN mimarisi önerilmiştir (Hu ve diğerleri, 2019b). Bu çalışmalar, küçük ve heterojen veri setlerinin çay hastalıklarının otomatik tanısındaki temel sınırlamalardan biri olduğunu göstermektedir.

Zararlı izleme tarafında da küçük hedeflerin gerçek zamanlı algılanmasına yönelik önemli ilerlemeler bulunmaktadır. Wang, Z. ve diğerleri (2024), çay bahçelerindeki mikroskobik boyutlu zararlıları belirlemek için geliştirilmiş YOLOv8 tabanlı bir model kullanmış ve %98.16 tespit doğruluğu bildirmiştir. Böyle sistemler sabit kameralar, yapışkan tuzak görüntüleri, mobil cihazlar veya İHA platformlarıyla bütünleştirildiğinde, zararlı popülasyonunun zamansal değişiminin izlenmesi ve mücadele zamanının daha nesnel biçimde belirlenmesi mümkün olabilir. Türkiye açısından ise uluslararası modellerin doğrudan aktarılması yerine, Doğu Karadeniz koşullarında görülen hastalık ve zararlıları, yerel klonları, ışık ve yağış koşullarını temsil eden etiketli veri setlerinin oluşturulması ve modellerin bağımsız saha verileriyle doğrulanması gerekmektedir.

### 3.5. Yapay Zekâ ile İşleme Süreçlerinin İzlenmesi ve Kalite Değerlendirmesi

Yapay zekâ uygulamaları yetiştirme ve hasat aşamalarının ötesinde, işleme ve nihai ürün kalite kontrolünde de önemli bir kullanım alanına sahiptir. Geleneksel çay kalite değerlendirmesi görünüş, renk, aroma ve tat gibi özelliklerin uzmanlar tarafından duyusal olarak değerlendirilmesine dayanmakta; bu yaklaşım değerli olmakla birlikte zaman, uzmanlık ve değerlendiriciler arası standardizasyon bakımından sınırlılıklar taşımaktadır. Bilgisayarlı görü, hiperspektral görüntüleme, elektronik burun ve makine

öğrenmesi bu değerlendirmeyi destekleyen hızlı ve tahribatsız yöntemler sunmaktadır.

Zhao ve diğerleri (2009), hiperspektral görüntüleme ile destek vektör makinelerini birleştirerek beş farklı yeşil çay kalite sınıfını ayırt etmiş ve eğitim ile tahmin setlerinde sırasıyla %98 ve %95 sınıflandırma başarısı bildirmiştir. Siyah çayda ise literatürde fermantasyon olarak adlandırılan enzimatik oksidasyon derecesinin doğru belirlenmesi son ürün kalitesi açısından kritik bir aşamadır. Yang ve diğerleri (2023), yaprakların renk ve doku özelliklerini kullanan makine görüsü sistemiyle fermantasyon derecesini gerçek zamanlı ayırt etmeyi ve bazı temel kalite bileşenlerini tahmin etmeyi amaçlamış; fermantasyon derecesinin sınıflandırılmasında %100 doğruluk bildirmiştir. Daha gelişmiş sensör ve model birleşimleri de bu alandaki potansiyeli artırmaktadır. Huang ve diğerleri (2024), hiperspektral görüntüleri CNN, LSTM ve hibrit modellerle değerlendirerek PSO-CNN-LSTM modelinde test setinde %96.78 doğruluk elde etmiştir. Aroma değerlendirmesinde ise elektronik burun sistemleri, uçucu bileşiklere duyarlı sensörlerden gelen sinyalleri PCA, LDA, SVM, ANN ve CNN gibi örüntü tanıma yöntemleriyle birleştirmektedir; bu sistemlerin çay kalite izleme açısından tahribatsız bir araç olduğu vurgulanmaktadır (Kaushal ve diğerleri, 2022). Güncel derlemeler, derin öğrenmenin çay kalitesinde yetiştiricilik, işleme ve nihai ürün değerlendirmesi boyunca; çeşit ve kalite sınıfı, fermantasyon aşaması, kimyasal bileşim ve özgünlük gibi çok sayıda özellik için kullanılabildiğini göstermektedir (Wu ve diğerleri, 2025).

Türkiye açısından bu alan özellikle siyah çay üretiminde önemli bir araştırma potansiyeli taşımaktadır. Soldurma, kıvırma, oksidasyon ve kurutma basamaklarında ortaya çıkan parti içi ve partiler arası değişkenliğin görüntü, spektral veya aroma sensörleriyle izlenmesi; yapay zekâ modelleriyle birleştirildiğinde daha nesnel proses kontrolü ve kalite standardizasyonu sağlayabilir. Bununla birlikte güvenilir modeller geliştirebilmek için Türkiye'de kullanılan çay materyali, hasat standardı ve işleme koşullarını temsil eden geniş ve iyi tanımlanmış veri setlerine ihtiyaç vardır.

## 4. TÜRKİYE'DE AKILLI TARIMIN GENEL DURUMU

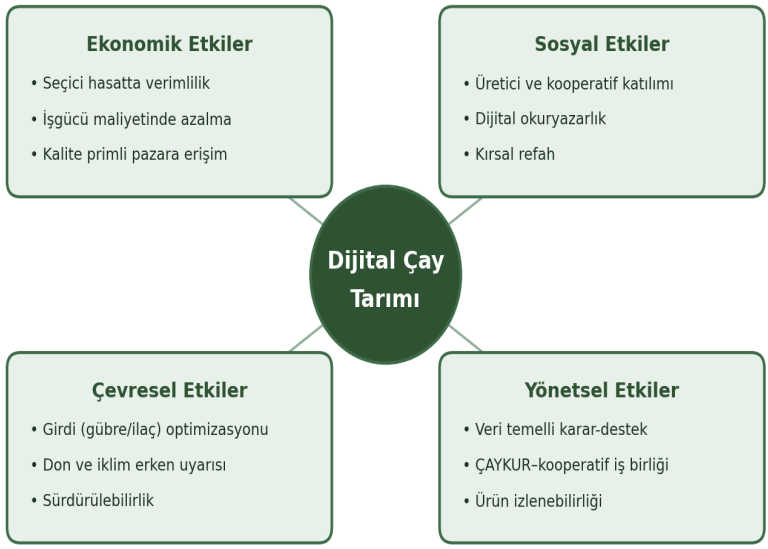
Türkiye, akıllı tarıma geçişte fırsat ve engelleri bir arada barındırır. Ulusal çalışmalar, sensörler, drone'lar, uydu görüntüleme ve otomatik sulama

gibi teknolojilerin ülkede giderek yaygınlaştığını; bunların hastalık ve zararlıların erken tespiti, düşük girdi kullanımı ve yüksek verimlilik gibi avantajlar sunduğunu belirtmektedir (MTÜ, 2025). Aynı çalışmalar, genç nüfusun teknolojiye yatkınlığını önemli bir fırsat olarak görürken; düşük farkındalık düzeyi ve yüksek yatırım maliyetlerini temel engeller olarak tespit etmektedir. Kamu ve sektör düzeyinde de Tarım 4.0 odaklı proje ve girişimler, Türkiye'nin bu sürece entegrasyonuna yönelik politika geliştirmeyi amaçlamaktadır (İTTM, t.y.).

Kamu eliyle yürütülen dijitalleşme son yıllarda kurgu aşamasından uygulama aşamasına geçmeye başlamıştır. Çiftçi Kayıt Sistemi (ÇKS) kapsamında yaklaşık 2,3 milyon çiftçi ve 16,5 milyon hektarlık tarım alanı kayıt altına alınmış; 'Tarım Cebimde' mobil uygulaması ve e-Çiftçi Portalı ile destek başvuruları, analiz sonuçları, üretim planlaması ve hastalık bildirimi gibi hizmetler dijital ortama taşınmıştır (Bağcı, 2025). Araştırma-geliştirme tarafında TÜBİTAK ve TAGEM destekli projeler öne çıkmakta; örneğin TÜBİTAK UZAY tarafından uydu ve uzaktan algılama teknikleriyle pamukta verim tahmini ve hastalık takibi yürütülmüş, TAGEM bünyesinde akıllı sulama, sera otomasyonu ve yapay zekâ destekli bitki sağlığı izleme sistemleri geliştirilmiştir (Bağcı, 2025). Özel sektörde ise tarım teknolojilerine odaklanan 250'den fazla girişimin (örneğin Doktar, Tarla.io ve Agrovisio) sensör verisi, uydu görüntüsü ve yapay zekâ tabanlı erken uyarı çözümleri sunduğu bildirilmekte; ancak bu çözümlerin küçük üreticilere yaygınlaştırılmasında maliyet ve teknik bilgi eşiği sürmektedir (Bağcı, 2025).

Bununla birlikte ulusal literatür, tarımsal dijitalleşmenin önünde bir dizi yapısal engel bulunduğunu ortaya koymaktadır. Kırsal alanlarda altyapı eksikliği, dijital okuryazarlık düzeyinin düşüklüğü, yüksek teknoloji edinim maliyetleri, veri güvenliği ile birlikte çalışabilirlik ve standardizasyon sorunları başlıca güçlükler olarak sıralanmaktadır (Göl ve Tarhan, 2024). Karar verici konumdaki üreticilerin yaş ortalamasının 50-55 dolaylarında olması ve teknolojik dönüşüme temkinli yaklaşması, benimsemeyi yavaşlatan bir etken olarak değerlendirilmektedir (Göl ve Tarhan, 2024). Kırsaldaki dijital uçurum da belirgindir: hanelerin yaklaşık %95,5'inde internet erişimi bulunmasına karşın bu oran kırsal bölgelerde düşmekte, bazı yerleşimlerde sabit internet altyapısı hâlâ eksik kalmaktadır (Bağcı, 2025).

Genel tarım uygulamalarına ilişkin nicel bulgular, dijital ve yapay zekâ temelli çözümlerin potansiyel kazanımlarını somutlaştırmaktadır. İnsansız hava aracı ve yapay zekâ ile bitki stresinin erken tespiti pestisit ve gübre kullanımını %15-30 oranında azaltabilmekte, evrişimli sinir ağı (CNN) tabanlı modeller bazı hastalıkları yaklaşık %97 doğrulukla tanıyabilmekte, pekiştirmeli öğrenme tabanlı sulama ise su tüketimini yaklaşık %17 düşürebilmektedir (Yaşar ve Yurtaslan, 2025). İşgücü kıtlığı, girdi maliyeti ve iklim baskısı gibi sorunları paylaşan çay üretimi açısından bu kazanımlar önemli bir referans oluşturmakla birlikte, söz konusu değerlerin çay bölgesine özgü koşullarda bağımsız olarak doğrulanması gerekmektedir.

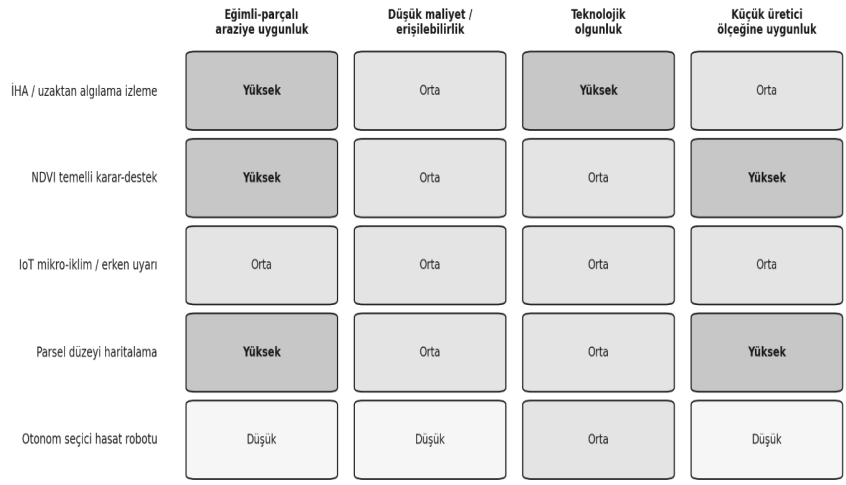



**Şekil 3.** Çay Tarımında Dijitalleşmenin Çok Boyutlu Etki Alanları (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

Ancak bu genel canlanmanın çay gibi bölgeye özgü ürünlere sistematik biçimde yansıması halen sınırlıdır; çay özelinde dijitalleşmeye yönelik çalışmaların önemli bir bölümü stratejik öneri ve kavramsal tartışma düzeyindedir (USPUM, 2026).

## 5. TÜRKİYE'YE UYARLANABİLİRLİK ANALİZİ

Uluslararası birikimin Türkiye'ye aktarımı, teknolojilerin doğrudan kopyalanmasıyla değil, yerel koşullara göre süzülmesiyle mümkündür. Burada belirleyici iki değişken arazi yapısı ve üretici ölçeğidir (Şekil 4).




**Şekil 4.** Çayda Dijital Teknolojilerin Türkiye Koşullarına Uyarlanabilirlik Matrisi (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

Büyük, otonom hasat robotları görece geniş ve düzenli bahçeler için tasarlanmıştır; Rize'nin dik ve teraslı bahçelerinde bu tür ağır platformların kullanımı hem teknik hem ekonomik olarak güçtür (Yang ve diğerleri, 2021; Li ve diğerleri, 2023). Buna karşılık İHA tabanlı izleme, NDVI temelli karar-destek ve mikro-iklim erken uyarı sistemleri, sabit ve büyük donanım gerektirmediğinden Türkiye koşullarına daha kolay uyarlanabilir görünmektedir (Wang ve diğerleri, 2024; Mao ve diğerleri, 2023). Parsel düzeyinde ince haritalama teknikleri (Liu ve diğerleri, 2026), Türkiye'nin parçalı bahçe yapısı için doğrudan bir çözüm potansiyeli taşır.

Uyarlamanın kurumsal boyutu da kritiktir. Üretim, kamu (ÇAYKUR), özel sektör ve çok sayıda küçük üretici arasında paylaşılmaktadır (RTB, 2009). Küçük ve dağınık üreticilerin bireysel olarak yüksek maliyetli teknolojilere erişmesi güç olduğundan, kooperatif temelli ortak kullanım modelleri ve kamu destekli hizmet altyapıları daha gerçekçi bir yaygınlaşma yolu sunabilir. Düşük maliyetli, hafifletilmiş modeller ve uç yapay zekâ (Islam ve diğerleri, 2025) ise

kaynak-kısıtlı üretici yapısı için özellikle uygun bir teknolojik zemin oluşturmaktadır.

Bu kurumsal çerçeve, ulusal ölçekteki dijitalleşme deneyimleriyle de tutarlıdır. Türkiye genelinde tarımsal dijital çözümlerin küçük üreticilere yaygınlaştırılmasında maliyet ve teknik bilgi eşiğinin öne çıktığı; bu eşiğin aşılmasında kooperatif destekli ortak kullanım modelleri, abonelik tabanlı hizmetler ve kamu-özel sektör iş birliklerinin başlıca çözüm yolları olarak önerildiği belirtilmektedir (Yaşar ve Yurtaslan, 2025). Teknolojik yatırımların ortaklaşa yapıldığı ve kullanım maliyetinin paylaşıldığı bu yapıların, küçük işletmeler için birim maliyeti belirgin ölçüde düşürebildiği vurgulanmaktadır (Yaşar ve Yurtaslan, 2025). Aynı teknolojinin hem küçük çiftçiler hem de büyük işletmeler tarafından farklı ölçeklerde kullanılabildiği ölçeklenebilir çözümler ise yaygınlaşmayı kolaylaştıran bir etken olarak değerlendirilmektedir (Göl ve Tarhan, 2024). Çay özelinde bu yaklaşım, ÇAYKUR ve üretici kooperatifleri öncülüğünde kurulacak ortak teknoloji havuzlarıyla Doğu Karadeniz'in dağınık ve küçük ölçekli üretici yapısına uygun bir yaygınlaşma zemini sunabilir.

Yeni eklenen uygulama alanlarının uyarlanabilirliği de farklı ölçeklerde değerlendirilebilir. Hastalık ve zararlıların görüntü temelli tanısı, büyük otonom platformlara kıyasla mobil telefon, sabit kamera veya düşük maliyetli görüntüleme sistemleriyle uygulanabildiğinden küçük ve parçalı bahçelere daha kolay ölçeklenebilir bir seçenek sunmaktadır (Hu ve diğerleri, 2019a; Wang, Z. ve diğerleri, 2024). İşleme ve kalite değerlendirmesinde ise elektronik burun, hiperspektral görüntüleme ve makine görüsü gibi sistemlerin fabrika ölçeğinde merkezi olarak kurulabilmesi, ÇAYKUR ve özel sektör işleme tesislerinde üretici bazlı yatırımdan bağımsız bir uygulama yolu oluşturabilir (Kaushal ve diğerleri, 2022; Wu ve diğerleri, 2025).

## 6. ENGELLER VE KISITLAR

Başlıca engeller şu başlıklarda toplanabilir:

(i) Arazi parçalılığı ve ölçek ekonomisinin yokluğu;
(ii) Teknoloji edinim ve bakım maliyetleri;
(iii) Üreticilerde dijital okuryazarlık ve benimseme düzeyinin düşüklüğü (MTÜ, 2025; Göl ve Tarhan, 2024);

(iv) Kırsal bağlantı ve veri altyapısı eksiklikleri (Islam ve diğerleri, 2025);

(v) Türkiye koşullarında ve yerel klonlarda eğitilmiş, açık erişimli veri setlerinin bulunmaması

(vi) Modellerin farklı yıllar, bahçeler, klonlar ve görüntüleme koşulları arasında genellenebilirliğinin sınırlı olması.

Bu son nokta, uluslararası literatürde de vurgulanan açık veri seti ve genelleme eksikliği sorununun (Wang ve diğerleri, 2023; Chen, Z. ve diğerleri, 2026) Türkiye özelinde derinleştiği bir alandır. Ayrıca yapay zekânın yaygınlaşması, veri sahipliği, mahremiyet ve sorumluluk gibi etik-yönetişim sorularını beraberinde getirmekte olup, bu boyutun ulusal düzeyde ele alınması gerekmektedir (Dara ve diğerleri, 2022).

Genellenebilirlik sorunu özellikle derin öğrenme tabanlı sistemlerde kritik önemdedir. Belirli bir bahçe, çeşit, hastalık, kamera veya ışık koşulunda yüksek doğruluğa ulaşan bir model farklı saha koşullarında aynı performansı göstermeyebilir. Çay kalite izleme literatürü de sınırlı örnek sayısı, çoklu veri kaynaklarının bütünleştirilmesi ve model yorumlanabilirliğini başlıca araştırma güçlükleri arasında göstermektedir (Wu ve diğerleri, 2025). Bu nedenle Türkiye'de geliştirilecek sistemlerde yerel verilerle eğitim veya transfer öğrenmesi, farklı sezon ve lokasyonlarda dış doğrulama ve mümkün olduğunca açıklanabilir model çıktıları öncelikli olmalıdır.

## 7. ARAŞTIRMA VE POLİTİKA GÜNDEMİ

Yerli veri seti oluşturma: Türkiye çay bahçelerinden ve yerel klonlardan toplanmış, etiketlenmiş görüntü ve çok-bantlı veri setlerinin geliştirilmesi; uluslararası modellerin doğrudan aktarılamamasının temel nedeni budur.

Saha denemeleri: İHA izleme ve NDVI temelli karar-destek sistemlerinin Türkiye'nin eğimli, parçalı bahçelerinde pilot ölçekte sınanması.

Ölçeğe uygun teknoloji seçimi: Ağır otonom platformlar yerine düşük maliyetli sensör ve uç yapay zekâ çözümlerine öncelik verilmesi.

Kurumsal modeller: ÇAYKUR ve kooperatifler öncülüğünde ortak kullanım ve hizmet temelli teknoloji erişim modellerinin geliştirilmesi.

İnsan boyutu: Üreticiye yönelik dijital okuryazarlık ve benimseme programları ile etik/veri yönetişimi çerçevesinin geliştirilmesi.

Hastalık ve zararlı erken uyarı: Doğu Karadeniz'de yaygın hastalık ve zararlara ait açık, etiketli görüntü veri setlerinin oluşturulması; mobil kamera, sabit istasyon ve yapışkan tuzak sistemlerinin yapay zekâ ile pilot ölçekte denenmesi.

İşleme ve kalite standardizasyonu: Siyah çayda soldurma, oksidasyon ve kurutma aşamalarının görüntü, hiperspektral veya aroma sensörleriyle izlenmesi; elde edilen verilerin kimyasal analiz ve duyusal kalite sonuçlarıyla birlikte modellenmesi.

Uluslararası model uyarlaması: Hollanda'da üniversite, özel sektör ve kamu arasındaki veri entegrasyonuna dayalı kümelenme (Agro Innovation Clusters) modeli, Japonya'da kırsal yaşlanmaya karşı otonom makine ve yapay zekâ destekli izleme yaklaşımı ve Avrupa Birliği'nin Ortak Tarım Politikası (2023-2027) çerçevesinde akıllı çiftlik teknolojilerini çevresel performansla ilişkilendiren yeşil dijital teşvikleri, Türkiye çayına uyarlanabilecek kurumsal örnekler sunmaktadır (Bağcı, 2025).

Kapsayıcılık ve insan sermayesi: Kadın ve genç çiftçilerin dijital tarıma katılımını artıracak eğitim ve teşvik programları önceliklendirilmeli; ulusal deneyimde mobil uygulamalara dayalı sistemlerin ve hedefli desteklerin kadın çiftçi katılımını belirgin biçimde artırdığı gözlenmiştir (Bağcı, 2025). Üreticilerin dijital okuryazarlık düzeyinin yükseltilmesi, benimsemenin önündeki temel engellerden birinin aşılması bakımından kritik görülmektedir (Göl ve Tarhan, 2024).

Strateji belgesi ve izleme: Dijital dönüşümün sürekliliği için bir dijital tarım strateji belgesinin yasal bir zemine kavuşturulması; mobil uygulama kullanım oranı, geniş bant erişimi ve sensör yaygınlığı gibi performans göstergelerinin düzenli olarak izlenmesi önerilmektedir (Bağcı, 2025).

## 8. SONUÇ

Türkiye, dünyanın önde gelen çay üreticilerinden ve tüketicilerinden biri olmasına karşın, çay tarımının dijitalleşmesinde uluslararası birikimin gerisindedir. Oysa görüntü işleme temelli seçici hasat, İHA ve uzaktan algılama ile verim-beslenme ve stres izleme, IoT tabanlı dijital çay bahçeleri, yapay zekâ destekli hastalık-zararlı erken teşhisi ile işleme ve kalite değerlendirme yaklaşımları, Türkiye çayının kronik sorunlarının önemli bir bölümüne doğrudan temas etmektedir. Bu bölümün ortaya koyduğu gibi, temel sorun

teknolojilerin uygulanamazlığı değil; bunların Türkiye'nin arazi yapısı, üretici ölçeği, yerel biyolojik materyali ve kurumsal örgütlenmesine göre uyarlanmasının henüz sistematik biçimde ele alınmamış olmasıdır. Atılması gereken ilk adım, uluslararası çözümleri doğrudan ithal etmek değil; yerli veri, çok yıllı saha doğrulaması, ölçeğe uygun teknoloji ve işleme-kalite zincirini kapsayan bütüncül bir dijital çay tarımı araştırma gündemi kurmaktır.

## KAYNAKÇA

Bağcı, A. (2025). Tarımda dijital dönüşüm ve sürdürülebilirlik: Türkiye örneği üzerinden çok boyutlu bir değerlendirme. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi, 14*(5), 2313–2333. doi:10.15869/itobiad.1744124

Benos, L., Tagarakis, A. C., Dolias, G., Berruto, R., Kateris, D. ve Bochtis, D. (2021). Machine learning in agriculture: A comprehensive updated review. *Sensors, 21*(11), 3758. doi:10.3390/s21113758

Chen, C., Lu, J., Zhou, M., Yi, J., Liao, M. ve Gao, Z. (2022). A YOLOv3-based computer vision system for identification of tea buds and the picking point. *Computers and Electronics in Agriculture, 198*, 107116. doi:10.1016/j.compag.2022.107116

Chen, H., Lin, S., Chen, P. ve Lin, T. (2026). A UAV-based multispectral imaging approach for tea shoots aerial mapping and assessment. *Precision Agriculture, 27*, 14. doi:10.1007/s11119-026-10314-z

Chen, Z., Wang, J., Sun, Y., Pang, J., Xin, W., Zhang, Q. ve Zhou, J. (2026). Computer vision from tea cultivation to quality evaluation. *Foods, 15*(16), 2864. doi:10.3390/foods15162864

Dara, R., Hazrati Fard, S. M. ve Kaur, J. (2022). Recommendations for ethical and responsible use of artificial intelligence in digital agriculture. *Frontiers in Artificial Intelligence, 5*, 884192. doi:10.3389/frai.2022.884192

Ekoloji Enstitüsü. (2024). *İklim krizi ve çayın geleceği*. Polen Ekoloji Enstitüsü. https://ekolojienstitu.org/iklim-krizi-ve-cayin-gelecegi/

Ghazal, S., Munir, A. ve Qureshi, W. S. (2024). Computer vision in smart agriculture and precision farming: Techniques and applications. *Artificial Intelligence in Agriculture, 13*, 64–83. doi:10.1016/j.aiia.2024.06.004

Göl, B. ve Tarhan, Ç. (2024). Tarımda dijitalleşmenin zorlukları ve AB iklim politikasında dijital tarım. *Journal of Information Systems and Management Research, 6*(2), 12–23. doi:10.59940/jismar.1504821.

Hu, G., Wu, H., Zhang, Y. ve Wan, M. (2019a). A low shot learning method for tea leaf's disease identification. *Computers and Electronics in Agriculture, 163*, 104852. doi:10.1016/j.compag.2019.104852.

Hu, G., Yang, X., Zhang, Y. ve Wan, M. (2019b). Identification of tea leaf diseases by using an improved deep convolutional neural network. *Sustainable Computing: Informatics and Systems, 24*, 100353. doi:10.1016/j.suscom.2019.100353.

Huang, M., Tang, Y., Tan, Z., Ren, J., He, Y. ve Huang, H. (2024). Detection of black tea fermentation quality based on optimized deep neural network and hyperspectral imaging. *Infrared Physics & Technology, 143*, 105625. doi:10.1016/j.infrared.2024.105625.

Islam, M. D., Liu, W., Izere, P., Singh, P., Yu, C., Riggan, B., Zhang, K., Jhala, A. J., Knezevic, S. ve Ge, Y. (2025). Towards real-time weed detection and segmentation with lightweight CNN models on edge devices. *Computers and Electronics in Agriculture, 237*, 110600. doi:10.1016/j.compag.2025.110600.

İzmir Tarım Teknoloji Merkezi [İTTM]. (t.y.). *Akıllı tarım teknolojileri*. https://www.ittm.com.tr/akilli-tarim-teknolojileri.

Kamilaris, A. ve Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture, 147*, 70–90. doi:10.1016/j.compag.2018.02.016.

Kaushal, S., Nayi, P., Rahadian, D. ve Chen, H.-H. (2022). Applications of electronic nose coupled with statistical and intelligent pattern recognition techniques for monitoring tea quality: A review. *Agriculture, 12*(9), 1359. doi:10.3390/agriculture12091359.

Klerkx, L., Jakku, E. ve Labarthe, P. (2019). A review of social science on digital agriculture, smart farming and Agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences, 90–91*, 100315. doi:10.1016/j.njas.2019.100315.

KÜRE Ansiklopedisi. (2025). *Tarım 4.0*. Erişim adresi: https://kureansiklopedi.com/tr/detay/tarim-40-a5e4e. Erişim tarihi: 02.07.2026.

Latino, M. E., Menegoli, M. ve Corallo, A. (2022). Agriculture digitalization: A global examination based on bibliometric analysis. *IEEE Transactions on Engineering Management, 71*, 1330–1345. doi:10.1109/TEM.2022.3154841.

Li, Y., He, L., Jia, J., Lv, J., Chen, J., Qiao, X. ve Wu, C. (2021). In-field tea shoot detection and 3D localization using an RGB-D camera. *Computers*

*and Electronics in Agriculture, 185*, 106149. doi:10.1016/j.compag.2021.106149.

Li, Y., Wu, S., He, L., Tong, J., Zhao, R., Jia, J., Chen, J. ve Wu, C. (2023). Development and field evaluation of a robotic harvesting system for plucking high-quality tea. *Computers and Electronics in Agriculture, 206*, 107659. doi:10.1016/j.compag.2023.107659.

Li, Z., Gong, S., Jiang, X., Yang, W., Wang, W., Qian, W., Wang, Y., Ding, Z. ve Fan, K. (2026). Integrating UAV multi-sensor imagery and machine learning for non-destructive estimation of nitrogen nutrition index in tea plants. *Scientia Horticulturae, 357*, 114614. doi:10.1016/j.scienta.2026.114614.

Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S. ve Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. *Sensors, 18*(8), 2674. doi:10.3390/s18082674.

Liu, Y., Xiao, P., Zhou, Y., Li, D. ve Gao, B. (2026). Fine-grained identification of tea plantation parcels in UAV remote sensing images based on DVIT-UNet. *PLoS ONE, 21*(3), e0345760. doi:10.1371/journal.pone.0345760.

Mao, Y., Li, H., Wang, Y., Wang, H., Shen, J., Xu, Y., Ding, S., Wang, H., Ding, Z. ve Fan, K. (2023). Rapid monitoring of tea plants under cold stress based on UAV multi-sensor data. *Computers and Electronics in Agriculture, 213*, 108176. doi:10.1016/j.compag.2023.108176.

MTÜ Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi. (2025). *Geleneksel tarımdan akıllı tarım uygulamalarına dönüşüm süreci: Türkiye örneği*. https://dergipark.org.tr/tr/pub/mtusbbder/article/1644825.

Rize Ticaret Borsası [RTB]. (2009). *Türkiye'de siyah çay sektör raporu*. Rize Ticaret Borsası–AB Avrupa İşletmeler Ağı. Erişim adresi: https://www.rtb.org.tr/. Erişim tarihi: 11.07.2026.

Sonobe, R., Hirono, Y. ve Oi, A. (2020). Non-destructive detection of tea leaf chlorophyll content using hyperspectral reflectance and machine learning algorithms. *Plants, 9*(3), 368. doi:10.3390/plants9030368.

Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü [TEPGE]. (2024). *Çay ürün raporu 2024* (Yayın No. 397). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge.

TechTarget. (2024). *History and evolution of machine learning: A timeline*. https://www.techtarget.com/whatis/feature/History-and-evolution-of-machine-learning-A-timeline.

TÜİOSB. (2025). *Tarım 4.0 ile sürdürülebilir üretim*. https://tuiosb.org.tr/dijital-tarim/.

USPUM. (2026). *Türkiye'de çay tarımında verimlilik ve sürdürülebilirlik: Yeni nesil teknolojiler ve stratejik yaklaşımlar*. https://www.uspum.org.tr/

Van Klompenburg, T., Kassahun, A. ve Catal, C. (2020). Crop yield prediction using machine learning: A systematic literature review. *Computers and Electronics in Agriculture, 177*, 105709. doi:10.1016/j.compag.2020.105709.

Wang, H., Gu, J. ve Wang, M. (2023). A review on the application of computer vision and machine learning in the tea industry. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 7*, 1172543. doi:10.3389/fsufs.2023.1172543.

Wang, S., Yu, C., Ma, J., Ouyang, J., Zhao, Z., Xuan, Y., Fan, D., Yu, J., Wang, X. ve Zheng, X. (2024). Tea yield estimation using UAV images and deep learning. *Industrial Crops and Products, 212*, 118358. doi:10.1016/j.indcrop.2024.118358.

Wang, Z., Zhang, S., Chen, L., Wu, W., Wang, H., Liu, X., Fan, Z. ve Wang, B. (2024). Microscopic insect pest detection in tea plantations: Improved YOLOv8 model based on deep learning. *Agriculture, 14*(10), 1739. doi:10.3390/agriculture14101739.

Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C. ve Bogaardt, M. J. (2017). Big Data in Smart Farming – A review. *Agricultural Systems, 153*, 69–80. doi:10.1016/j.agsy.2017.01.023.

Wu, T., Zhou, L., Zhao, Y., Qi, H., Pu, Y., Zhang, C. ve Liu, Y. (2025). Applications of deep learning in tea quality monitoring: A review. *Artificial Intelligence Review, 58*, 342. doi:10.1007/s10462-025-11335-2.

Yamashita, H., Sonobe, R., Hirono, Y., Morita, A. ve Ikka, T. (2020). Dissection of hyperspectral reflectance to estimate nitrogen and chlorophyll contents in tea leaves based on machine learning algorithms. *Scientific Reports, 10*, 17360. doi:10.1038/s41598-020-73745-2.

Yang, C., An, T., Qi, D., Yuan, C. ve Dong, C. (2023). Real-time discrimination and quality evaluation of black tea fermentation quality using a

homemade simple machine vision system. *Fermentation, 9*(9), 814. doi:10.3390/fermentation9090814.

Yang, H., Chen, L., Ma, Z., Chen, M., Zhong, Y., Deng, F. ve Li, M. (2021). Computer vision-based high-quality tea automatic plucking robot using Delta parallel manipulator. *Computers and Electronics in Agriculture, 181*, 105946. doi:10.1016/j.compag.2020.105946.

Yaşar, M. ve Yurtaslan, N. (2025). Tarımda yapay zekâ çağı: Çok katmanlı dijital dönüşümün ekosistemsel ve operasyonel boyutları. *AgriTR Science, 7*(2), 91–100.

Yıldız, S. ve Özcan, M. (2024). Küresel ısınmanın çay tarımına etkileri. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*. https://dergipark.org.tr/tr/pub/ijaws/article/1394524.

Zhang, X., Ye, S., Wang, Y., Gouda, M., Hu, Y., Islam, M. A., He, Y. ve Li, X. (2025). Intelligent transformation of the tea industry: Artificial intelligence applications in management, harvesting, and processing. *Trends in Food Science & Technology, 168*, 105510. doi:10.1016/j.tifs.2025.105510.

Zhao, J., Chen, Q., Cai, J. ve Ouyang, Q. (2009). Automated tea quality classification by hyperspectral imaging. *Applied Optics, 48*(19), 3557–3564. doi:10.1364/AO.48.003557.

# BÖLÜM 5

## İŞLENMEYEN TARIM ARAZİLERİNE ARAZİ SAHİPLERİNİN BAKIŞ AÇISININ İNCELENMESİ; DEREBUCAK ÖRNEĞİ

Prof. Dr. Zuhal KARAKAYACI[1]

Ziraat Mühendisi Siyaser ALATAŞ[2]

DOI: https://www.doi.org/10.5281/zenodo.23259835

[1] Selçuk Universitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Konya, Türkiye. zuhalunal@selcuk.edu.tr , orcid id: 0000-0003-2933-5608

[2] Selçuk Universitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Konya, Türkiye. siyaser@gmail.com , orcid id: 0009-0007-0726-5182

## GİRİŞ

Tarım, ülkelerin gıda güvenliği, ekonomik kalkınması ve kırsal refahı için hayati öneme sahip bir sektördür. Son yıllarda iklim değişikliği, pandemi, savaş gibi faktörler nedeniyle bu önemi daha fazla hissedilmiştir. Beslenme ihtiyacının karşılanması, istihdamın sağlanması, dış ticaretin geliştirilmesi, milli gelire katkı sunulması ve diğer sektörlerin ihtiyaç duyduğu hammaddelerin temin edilmesi gibi ekonomik ve toplumsal işlevleri bulunan tarım sektörünün temel üretim kaynağını tarım arazileri oluşturmaktadır. Ancak, tarım arazilerinin etkin kullanılmaması birçok ülkede önemli bir sorun teşkil etmektedir. Özellikle, çeşitli nedenlerle işlenmeyen/işlenemeyen veya atıl bırakılan tarım arazileri hem ulusal ekonomiler hem de bölgesel tarımsal yapılar üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Türkiye'nin toplam arazi varlığı 77,9 milyon hektar olup, bunun 23,20 milyon hektarı ekilen/dikilen tarım arazilerinden oluşmaktadır (TOB, 2024). Ancak, Türkiye'deki tarım arazileri genellikle eğimli, parçalı, dağınık, küçük parsel alanlarına sahip bir yapıdadır. Özel mülkiyete dayalı küçük aile işletmelerinin hakim olduğu tarımsal yapı da bu görünümü pekiştirmektedir. Bunun yanı sıra kırsal alanın sosyo-ekonomik yapısından kaynaklanan gelir ve refah düzeyinin düşük olması, göç, üretim maliyetinin yüksek olması gibi nedenlerden dolayı işlenmeyen tarım arazilerinin arttığı gözlenmektedir.

Arazilerin işlenmemesinin temel nedenleri arasında parsel büyüklüğünün az olması, parsellere ulaşım sorunları, parsellerin çok hissedara sahip olması, mülkiyet ihtilafları, parçalılık, topoğrafik yapının bozuk olması, tarımsal faaliyetin sona ermesi, aileler arasındaki husumet, alışılagelmiş yağış rejiminin değişmesi, köyden kente göç ve işgücü yetersizliği, parselden yeterli gelir sağlamaması gibi çeşitli faktörler bulunmaktadır. Stratejik öneme sahip tarım ürünlerinde arz güvenliğinin sağlanması ve sürdürülebilmesinin önündeki önemli engellerden biri olan tarım arazilerinin etkin kullanılamaması sorununun, mülkiyet yapısından kaynaklanan sorunların azaltılmasıyla önemli ölçüde giderilebilecektir (İnan, 2025).

Bu çalışmanın amacı, işlenmeyen tarım arazilerinin nedenlerini ve sonuçlarını ele alarak, bu arazilerin tarımsal üretime kazandırılmasına yönelik politika önerileri sunmaktır. Çalışma, Konya iline bağlı Derebucak ilçesindeki

işlenmeyen tarım arazileri üzerinde yapılan bir anket çalışmasına dayanmaktadır.

## 1.1. Tarım Arazisi Tanımları

Mülkiyetten bağımsız olarak arz üzerinde bitkisel ya da hayvansal üretim yapılan arazi tarım arazisi olup, üreticinin arz üzerinde sadece bir bitki çeşidi ile ekim ya da dikim yaparak arz üzerinde sınırlarını belirlediği ölçülebilir alan tarım parseli olarak tanımlanabilir.

5403 sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu kapsamında tarım arazileri; toprak özellikleri, topoğrafik koşullar, yetiştirilebilecek ürünlerin niteliği ve tarımsal kullanım potansiyelleri dikkate alınarak farklı sınıflarda değerlendirilmektedir. Bu sınıflandırmada araziler **mutlak tarım arazisi, özel ürün arazisi, dikili tarım arazisi ve marjinal tarım arazisi** olmak üzere dört temel grupta ele alınmaktadır (Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu, 2005);

**Mutlak tarım arazileri**, bitkisel üretim açısından yüksek üretim kapasitesine sahip olan ve toprakların kimyasal, fiziksel ve biyolojik özellikleri ile topoğrafik koşullarının üretimi önemli ölçüde sınırlandırmadığı alanlardır. Hâlihazırda tarımsal amaçlarla kullanılan veya tarımsal üretime uygun olan bu araziler, sahip oldukları üretim potansiyeli ve taşıdıkları ekonomik önem nedeniyle ülke, bölge ya da yerel ölçekte değer taşıyabilmektedir.

**Özel ürün arazileri**, mutlak tarım arazilerinin özelliklerini taşımamakla birlikte, belirli toprak ve topoğrafya koşulları nedeniyle yetiştirilebilecek ürün çeşitliliğinin sınırlı olduğu alanlardır. Bu arazilerde özellikle yöre koşullarına uyum sağlayan özel bitkisel ürünlerin yetiştirilmesi mümkün olmakta; ayrıca uygun koşulların bulunması durumunda su ürünleri yetiştiriciliği ve avcılığı gibi faaliyetler de gerçekleştirilebilmektedir. Bu nedenle söz konusu araziler de tarımsal üretim bakımından ülkesel, bölgesel veya yerel düzeyde önem taşıyabilmektedir.

**Dikili tarım arazileri**, mutlak ve özel ürün arazileri kapsamında değerlendirilmeyen ve yöre ekolojik koşullarına uyum göstermiş çok yıllık bitkilerin yetiştirildiği alanları ifade etmektedir. Bu kapsamda özellikle ağaç, ağaççık ve çalı formundaki bitkilerin tarımsal üretimde kullanıldığı ve çok yıllık üretim faaliyetlerinin gerçekleştirildiği araziler söz konusudur. Bu araziler de sahip oldukları üretim özellikleri bakımından farklı ölçeklerde tarımsal değer taşımaktadır.

**Marjinal tarım arazileri** ise diğer üç arazi sınıfının dışında kalan ve toprak özellikleri ile topoğrafik koşulların tarımsal üretim üzerinde daha belirgin sınırlamalar oluşturduğu alanlardır. Bu arazilerde üretim faaliyetleri genel olarak geleneksel toprak işlemeli tarım yöntemleriyle ve sınırlı bir üretim potansiyeli içerisinde gerçekleştirilebilmektedir.

Bu sınıflandırma, tarım arazilerinin yalnızca mevcut kullanım durumuna göre değil, aynı zamanda sahip oldukları **toprak ve topoğrafya özellikleri ile tarımsal üretim potansiyelleri** dikkate alınarak değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Bu farklı kategorideki tarım arazilerinin kullanılmayarak boş bırakılmasıyla atıl kaldığı görülmektedir. Türk Dil Kurumu'na göre "Atıl" kelimesi, "hareket etmeyen, yerinden kalkmayan, tembellik eden" veya "işlemeyen, işlevini yerine getirmeyen" olarak tanımlanmaktadır. Tarım bağlamında, bu terim "üretimin yapılmadığı arazileri" ifade etmektedir. Atıl tarım arazileri, çiftçi kayıt sisteminde üst üste iki yıl kayıtlı olmadığı tespit edildiğinde "işlenmeyen arazi" olarak değerlendirilmektedir (İşlenmeyen Tarım Arazilerinin Tarımsal Amaçlı Kiraya Verilmesine İlişkin Yönetmelik, 2024).

5403 sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu, tarım arazilerini mutlak tarım arazileri, özel ürün arazileri, dikili tarım arazileri, marjinal tarım arazileri ve örtü altı tarım arazileri olmak üzere çeşitli sınıflara ayırarak her bir arazi grubunun korunması ve kullanım esaslarını belirlemiştir. Bu sınıflandırmanın temel amacı, tarımsal üretim potansiyeline sahip alanların korunması ve sürdürülebilir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktır. Bunun yanında Kanunun "Tanımlar" başlıklı 3 üncü maddesinin (i) bendinde ise tarım dışı alanlar ayrıca tanımlanmıştır. Buna göre tarım dışı alanlar; üzerinde toprak bulunmayan çıplak kayalar, daimi karla kaplı alanlar, ırmak yatakları, sahil kumulları, sazlık ve bataklıklar ile askeri alanlar, endüstri, turizm, rekreasyon, iskân, altyapı ve benzeri amaçlarla planlanmış arazileri kapsamaktadır. Kanun koyucu bu alanları, mevcut özellikleri itibarıyla tarımsal üretime konu olamayacak veya tarım dışı kullanım kararı verilmiş alanlar olarak değerlendirmektedir. Dolayısıyla, 5403 sayılı Kanun kapsamında tarım dışı alan olarak tanımlanmayan ve mutlak tarım arazisi, özel ürün arazisi, dikili tarım arazisi, marjinal tarım arazisi veya örtü altı tarım arazisi niteliğinde bulunan tüm alanlar, esas itibarıyla tarımsal üretime elverişli tarım arazileri

olarak kabul edilmelidir. Bu nedenle, söz konusu araziler üzerinde belirli bir dönemde üretim yapılmaması, bu alanların tarım dışı arazi niteliği kazandığı anlamına gelmemektedir.

Bu çalışmada kullanılan işlenmeyen tarım arazisi kavramı da bu hukuki çerçeve içerisinde değerlendirilmiştir. Buna göre işlenmeyen tarım arazileri; 5403 sayılı Kanun uyarınca tarım arazisi sınıfında yer alan ve fiziksel, ekonomik, sosyal, hukuki veya çevresel nedenlerle belirli bir süre tarımsal üretimde kullanılmayan, ancak üretim potansiyelini büyük ölçüde koruyan arazilerdir. Başka bir ifadeyle bu araziler, kanunen tarım dışı alan statüsünde olmayıp uygun planlama, mülkiyet düzenlemeleri, ekonomik teşvikler ve üretim politikalarıyla yeniden tarımsal üretime kazandırılabilecek nitelikteki tarım arazileridir. Nitekim çalışma alanında bildirilen arazilerin tamamına yakınının kanunda bahsi geçen mutlak tarım arazisi ifadesine uygunluğu arazi kullanım planlaması haritasından anlaşılmıştır.

Bu ayrım, 5403 sayılı Kanun kapsamında tarım dışı alanların işlenmeyen tarım arazileri ile karıştırılmaması bakımından önem taşımaktadır. Zira tarım dışı alanlar, doğal özellikleri veya yasal plan kararları nedeniyle tarımsal üretimin konusu olmayan alanları ifade ederken; işlenmeyen tarım arazileri, hukuken tarım arazisi vasfını koruyan ancak çeşitli nedenlerle geçici veya uzun süreli olarak üretim dışında kalmış arazilerdir. Dolayısıyla işlenmeyen tarım arazilerine yönelik geliştirilecek politika ve uygulamalar, yeni tarım alanı oluşturmayı değil, mevcut tarım arazilerinin yeniden üretime kazandırılmasını hedeflemektedir.

## 1.2. Arazilerin Atıl Kalma Nedenleri

Arazilerin atıl kalmasına yol açan nedenler çok boyutlu olup; ekonomik, sosyal, hukuki ve doğal çevre faktörlerinin bir araya gelmesiyle şekillenmektedir. Bu farklı faktörlerin birbirlerini etkilemesi sonucu arazilerin atıl kalmasının tetiklendiği görülmektedir. Arazi parsellerinin küçük ve parçalı yapıda olması, üreticilerin ekonomik ölçeklerde tarım yapmalarını zorlaştırmakta, modern tarım uygulamalarının hayata geçirilmesini engellemektedir. Parsel bazında yaşanan bu verimsizlik, özellikle kırsal alanlarda genç nüfusun tarımdan uzaklaşmasına ve tarımın sürdürülebilirliğinin zayıflamasına yol açmaktadır. Parsellere ulaşımda yaşanan zorluklar, yol ve

altyapı eksikliği gibi fiziki koşullar da arazinin terk edilmesine neden olan önemli unsurlar arasındadır.

Bir diğer önemli etken ise hisselilik ve mülkiyet ihtilaflarıdır. Miras yoluyla bölünen arazilerde hissedar sayısının artması, ortak karar alma süreçlerini zorlaştırmakta ve arazinin etkin kullanımını engellemektedir. Tarımsal faaliyetlere son verilmesi, aile içi husumetler, belirsiz mülkiyet yapısı gibi nedenlerle de birçok parsel uzun yıllar kullanılmamaktadır.

İklimsel değişiklikler, özellikle alışılmış yağış rejiminin bozulması da üretici kararlarını etkilemekte, kuraklık riski altında olan bölgelerde çiftçiler üretimden çekilmekte ya da alternatif geçim kaynaklarına yönelmektedir. Buna bağlı olarak köyden kente göç, iş gücü kaybına neden olmakta ve arazilerin işlenmesini daha da güçleştirmektedir. Arazinin yeterli gelir getirmemesi, yani ekonomik anlamda cazip olmaması, üreticiyi tarımdan uzaklaştıran temel nedenlerden biridir.

Tarım arazilerinin atıl kalması, Türkiye tarım sektörünün uzun süredir devam eden yapısal sorunlarıyla yakından ilişkilidir. Bu sorunların başında tarım arazilerinin parçalı ve dağınık mülkiyet yapısı gelmektedir. Özellikle miras ve intikal yoluyla arazilerin nesiller boyunca bölünmesi, tarım dışı kullanımlara yönelik artan talep ve nüfus baskısı ile çeşitli amaçlarla gerçekleştirilen kamulaştırmalar, arazilerin parçalanmasına ve işletmelerin ekonomik büyüklüğünün azalmasına neden olmaktadır. Bunun yanı sıra, miras ve intikal işlemlerinin zamanında gerçekleştirilmemesi, tapu kayıtlarının nesiller boyunca güncellenmemesi ve hissedarlar arasında yaşanan anlaşmazlıklar da arazilerin etkin biçimde kullanılmasını güçleştirmekte ve bazı parsellerin üretim dışında kalmasına yol açmaktadır.

Tarım arazilerinin atıl kalmasında kırsal alanlardan kentlere yönelik uzun yıllardır devam eden göç de önemli bir etken olarak öne çıkmaktadır. Kırsal nüfusun azalması, tarımsal faaliyetlerin sürdürülebilmesi için gerekli işgücünün yetersiz kalmasına neden olurken, kırsal nüfusun yaşlanması da bu sorunu daha belirgin hale getirmektedir. Özellikle miras yoluyla tarım arazilerinde pay sahibi olan ancak kentlerde ikamet eden hissedarların arazilerini bizzat işletmemeleri, tarımsal üretimin sürekliliğini olumsuz etkilemektedir. Bu durum, arazi sahipliği ile arazinin fiilen kullanılması arasındaki ilişkinin zayıflamasına ve tarım arazilerinin zaman içerisinde üretim dışı kalmasına neden olabilmektedir.

Dolayısıyla tarım arazilerinin atıl kalması yalnızca arazi mülkiyetinin parçalanmasıyla açıklanabilecek bir sorun olmayıp; miras ve intikal süreçleri, mülkiyet yapısı, kırsal-kentsel göç, kırsal nüfusun yaşlanması, işgücü yetersizliği ve arazi sahiplerinin kentlerde ikamet etmesi gibi birbirini etkileyen ekonomik, sosyal ve hukuki faktörlerin birlikte değerlendirilmesini gerektiren çok boyutlu bir yapısal sorundur.

Konya ilinde gerçekleştirilen bir araştırmada, tarım arazilerinin atıl kalmasında farklı yapısal ve sosyoekonomik faktörlerin etkili olduğu belirlenmiştir. Araştırma kapsamındaki işletmelerin %36'sında arazilerin küçük parsellerden oluşmasının, %28'inde miras kaynaklı sorunların, %26'sında düşük verimliliğin ve %10'unda ise araziyi işleyecek işgücünün bulunmamasının arazilerin üretim dışında kalmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Çeşitli nedenlerle işlenmeyen tarım arazilerinin elden çıkarılmak istenmediği görülmekte olup, bunun nedeni ise beklenti ilkesine dayanmaktadır. Gelecekte arazilerin arsaya dönüşerek daha fazla rant elde etme beklentisi içerisinde olmaları, arazilerin işlenmeden bekletilmesine neden olmaktadır (Karakayacı, Kılınç, Baran ve Oğuz, 2021).

### 1.3. Arazilerin Atıl Kalmasının Sonuçları

İşlenmeyen tarım arazilerinin artması, tarımsal, ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan çeşitli olumsuz sonuçlar doğurmaktadır.

- Öncelikle, üretim dışı kalan araziler nedeniyle ülkenin toplam tarımsal üretim kapasitesi azalmakta, bu durum uzun vadede gıda arzının sürdürülebilirliğini olumsuz etkilemektedir (FAO, 2023).

- Özellikle stratejik ürünlerde ithalat bağımlılığının artmasına neden olabilmektedir (OECD, 2023).

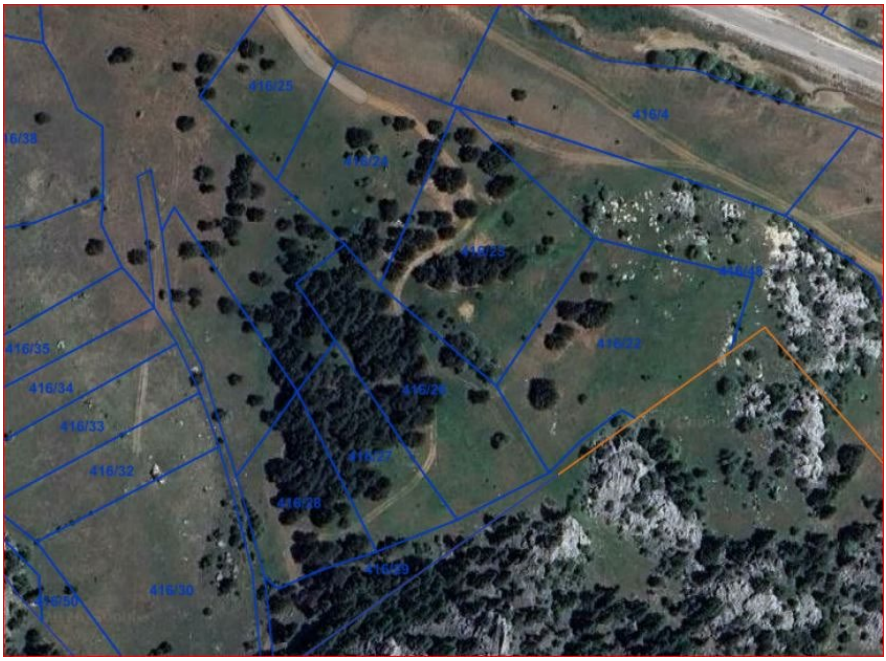
- Tarımsal üretimin azalması, çiftçilerin gelir düzeylerinin düşmesine ve tarımsal faaliyetlerden uzaklaşmalarına yol açmaktadır (United Nations, 2019). Bu süreç, sanayi sektörünün artan iş gücü talebiyle birleştiğinde kırsal alandan kentsel alanlara göçü hızlandırmaktadır.

- Kırsal nüfusun azalması tarımsal iş gücünün yaşlanmasına neden olmakta ve kırsal alanlarda yaşlı nüfus oranını artırarak tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini daha da zorlaştırmaktadır.

- Bunun yanı sıra, işlenmeyen tarım arazilerinde zamanla doğal vejetasyonun geliştiği, özellikle yağışın yeterli olduğu ve orman

ekosistemlerine komşu bölgelerde orman alanlarının tarım arazileri yönünde genişleme eğilimi gösterdiği gözlenmektedir (Şekil 1). B**iyolojik Çeşitlilik ve Ekosistem Hizmetleri Hükümetlerarası Bilim-Politika Platformu (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, IPBES)** (2019) hazırlanan raporda, arazi kullanımındaki değişimlerin biyolojik çeşitlilik ve ekosistem hizmetleri üzerinde önemli etkiler oluşturduğu belirtilmektedir. Arazi kullanımındaki bu değişimler, tarım arazilerinin yeniden üretime kazandırılmasını güçleştirebilmekte ve arazi kullanım deseninde kalıcı dönüşümlere neden olabilmektedir.

-




**Şekil 1:** Araştırma Alanında Arazilerde Doğal Bitki Örtüsü Değişimi (Google Earth)

## 1.4. İşlenmeyen Arazilerle İlgili Mevcut Politikalar

"İşlenmeyen Tarım Arazilerinin Tarımsal Amaçlı Kiraya Verilmesine İlişkin Yönetmelik", 22 Ağustos 2024 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik kapsamında, mülkiyeti gerçek veya tüzel kişilere ait olup üst üste iki yıl Çiftçi Kayıt Sistemi (ÇKS) kaydı olmayan tarım arazileri kiralanabilmektedir. Kiralanacak araziler, ilçe tarım ve orman müdürlükleri bünyesinde oluşturulan Arazi Tespit Komisyonu tarafından teknik veriler ve arazi kontrolleri ile tespit edilmektedir. Kiralanmak istenen araziler, mahalle

muhtarlıklarının ilan tahtalarında, elektronik ortamda ve il müdürlüğü internet sitesinde ilan edilmektedir. Dikili tarım arazileri (meyvelik) ve seralar bu kapsamın dışında tutulmuştur.

Kira bedeli, ilçe müdürlüklerinde kurulacak komisyon marifetiyle, kiralanacak tarım arazisi ile benzer özellikte ve aynı yerleşim yerinde bulunan en az üç kiralanmış tarım arazisi tespit edilerek belirlenmektedir. Arazi kiralamak isteyenler, tarım arazisi kiralama talep formunu eksiksiz doldurarak ilan süresi içerisinde il müdürlüğüne başvuru yapmaktadır. Kiralama işleminde öncelik, kiraya verilecek tarım arazisinin bulunduğu yerleşim yerinde ikamet edenlere, sivil toplum kuruluşlarına ve meslek odalarına verilmektedir. Kira bedeli doğrudan arazi sahibine ödenmektedir. Tarım arazileri kiralama iş akışı, tespit süreci, ilan süreci, kiralama-ilan süreci ve sözleşme süreci olmak üzere çeşitli aşamalardan oluşmaktadır.

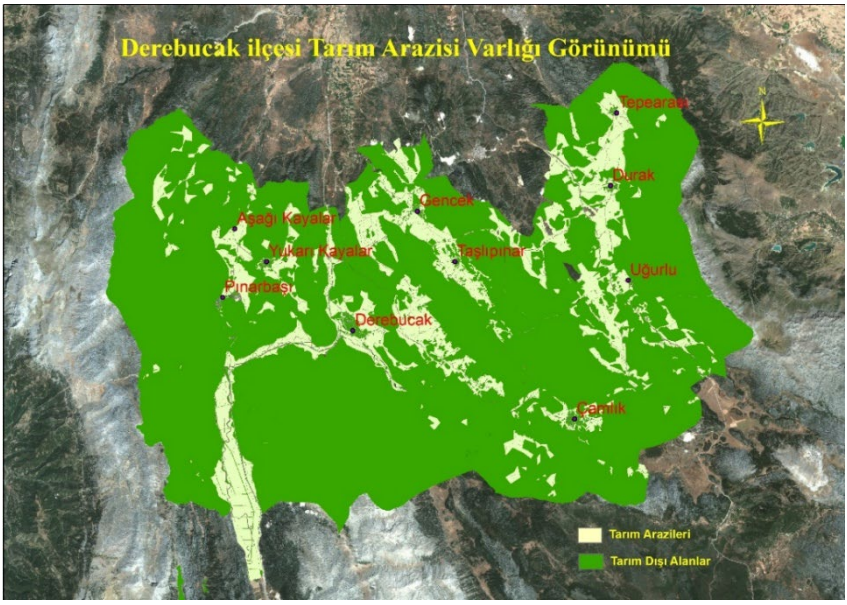
Tarım ve Orman Bakanlığı'na tarım arazilerinin malikinin iradesi aranmaksızın rayiç bedelle kiraya verme yetkisi tanıyan İşlenmeyen Tarım Arazilerinin Tarımsal Amaçlı Kiraya Verilmesine İlişkin Yönetmeliğin iptaline ve yürütmenin durdurulmasına yönelik açılan davaya bağlı olarak Danıştay tarafından, uygulamanın mülkiyet hakkının özüne dokunduğunu, hukuki belirlilik ve ölçülülük ilkelerini de karşılamadığı, aynı zamanda yasama yetkisinin devredilmezliği ilkesini ihlal ettiği sonucuna varılmıştır. Bu durum, işlenmeyen tarım arazilerinin değerlendirilmesine yönelik politikaların gözden geçirilmesi gereğini ortaya koymaktadır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma, Konya iline bağlı Derebucak ilçesindeki işlenmeyen tarım arazileri üzerinde odaklanmıştır. Araştırma alanının bulunduğu Derebucak ilçesi Konya'nın güneyinde Toros sıradağlarıyla çevrili olup, denizden yüksekliği 1240 metredir (Derebucak Belediyesi, 2025). Yıllık ortalama sıcaklığı 12 °C, yıllık ortalama toprak sıcaklığı 13,2 °C, yıllık ortalama yağışı 679,7 mm dir.

Konya ilinde tarım alanlarının yaklaşık %68'inde kuru tarım, %32'sinde sulu tarım uygulanmaktadır. Bölge, yarı kurak iklim yapısına sahiptir ve uzun yıllar ortalama yağış 331 mm civarında olup, kırsal dağlık alanlarda 400-450 mm'ye ulaşmaktadır. Yıllık yağış ortalaması 250-750 mm arasında

değişmektedir. Derebucak ilçesi, İlçenin genel coğrafi tanımı yüksek dağlık, plato ve karstik yapılar içermektedir.




**Şekil 2:** Araştırma Alanı Kadastral Verilerinin Tematik Görünümü

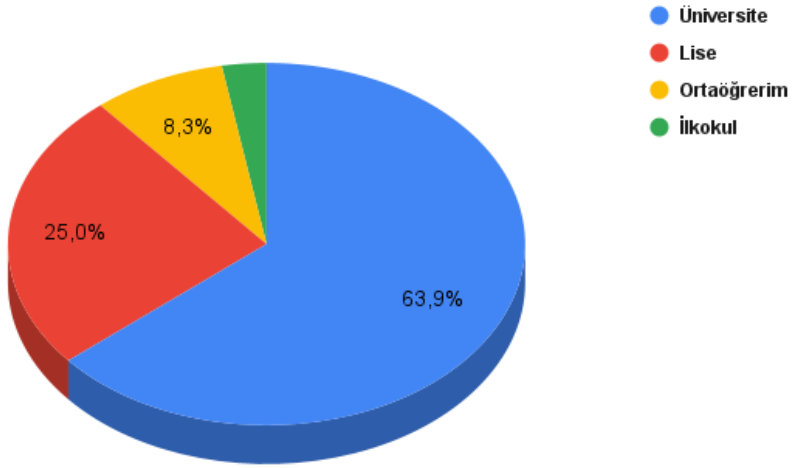
Veri toplama sürecinde, Sentinel uydu fotoğrafı kullanılarak tespit edilen ve Derebucak ilçesi ile Çamlık mahallesi ulaşım yolunun 3. km'sinde bulunan (Şekil 2), tapuda Derebucak ilçesi Musalla mahallesinde kayıtlı işlenmeyen parsellerin malikleri ile görüşmeler yapılmıştır. Ayrıca, ilçe dışında ikamet eden parsel sahipleri de tespit edilerek görüşmeler yapılmıştır.

Çalışmada, araştırmanın amacı doğrultusunda işlenmeyen tarım arazisine sahip bireylerden veri toplamak amacıyla gayeli örnekleme yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemle, araştırma sorularına doğrudan katkı sağlayabilecek 49 parsel sahibi ile anket çalışması yapılmıştır. Toplanan veriler, tanımlayıcı istatistiksel yöntemlerden aritmetik ortalama kullanılarak analiz edilmiş ve grafiklerle sunulmuştur.

## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

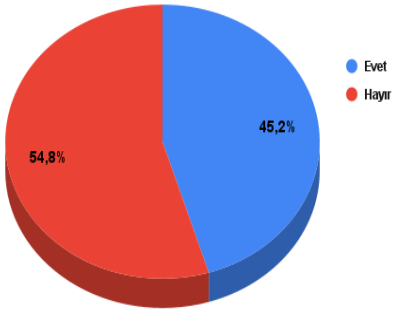
Anketlerden elde edilen sonuçlar işlenmeyen tarım arazisi sahiplerinin öğrenim durumu, arazi kullanım tercihleri ve işlenmeme nedenlerine ilişkin önemli bilgiler sunmaktadır. Öğrenim durumuna bakıldığında ise parsel

sahiplerinin %63,9'unun üniversite mezunu olduğu, %25,0'inin lise, %8,3'ünün ortaöğretim ve %2,8'inin ilkokul mezunu olduğu görülmektedir (Şekil 3). Bu bulgu, işlenmeyen arazi sahiplerinin önemli bir kısmının tarımsal faaliyetlerden uzaklaşmış, eğitimli bir kesim olduğunu göstermektedir.




**Şekil 3:** Parsel Sahiplerinin Öğrenim Durumu

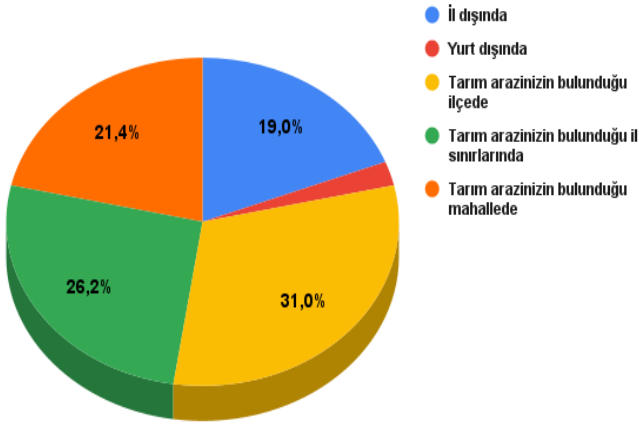
Parsel sahiplerinin %45,2'sinin mesleğinin tarımla ilgili olduğu, %54,8'inin ise tarımla ilgisinin olmadığı belirlenmiştir (Şekil 4).




**Şekil 4:** Parsel Sahiplerinin Tarımsal Faaliyet Durumu

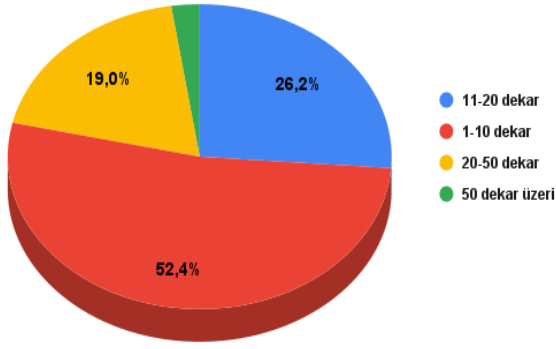
Parsel sahiplerinin ikamet yerleri incelendiğinde, %21,4'ünün tarım arazisinin bulunduğu mahallede, %31,0'ının tarım arazisinin bulunduğu ilçede, %26,2'sinin aynı il sınırları içerisinde, %19,0'ının il dışında ve %2,4'ünün ise

yurt dışında ikamet ettiği belirlenmiştir (Şekil 5). Elde edilen bulgular, tarım arazilerinin bulunduğu yerleşim birimlerinden uzaklaşmanın yaygın olduğunu göstermekte olup, kırsal alanlardan kent merkezlerine ve yurt dışına gerçekleşen göçün tarım arazilerinin işlenmeden kalmasında etkili faktörlerden biri olduğunu ortaya koymaktadır.



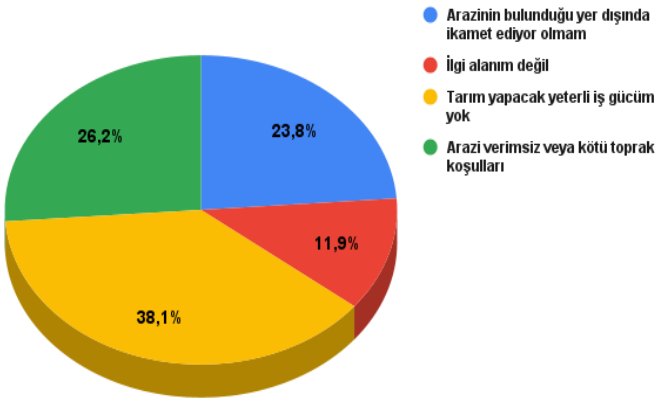

**Şekil 5:** Parsel Sahiplerinin İkamet Yeri

Parsel sahiplerinin toplam işlenmeyen arazi büyüklükleri incelendiğinde, katılımcıların %52,4'ünün 1–10 dekar, %26,2'sinin 11–20 dekar, %19,0'ının 20–50 dekar ve %2,4'ünün ise 50 dekarın üzerinde işlenmeyen araziye sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 6). Bulgular, işlenmeyen tarım arazilerinin büyük ölçüde küçük ölçekli parsellerden oluştuğunu göstermektedir.



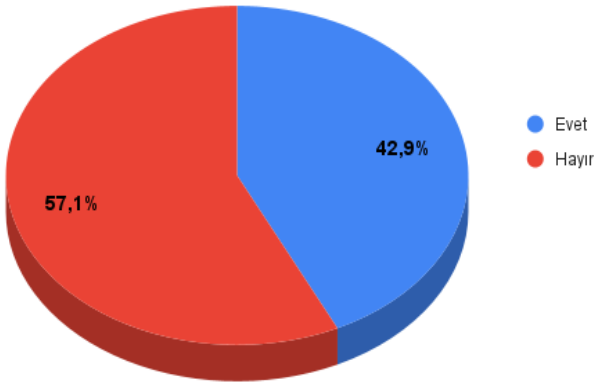

**Şekil 6:** Parsel Sahiplerinin Toplam İşlenmeyen Arazi Büyüklüğü

Parsel sahiplerinin %71,4'ü işlenmeyen tarım arazilerinin temel nedeninin, arazilerin geçimlerini sağlayacak düzeyde gelir sağlamaması olduğunu ifade etmiştir. Tarımsal üretim yapılmamasına neden olan diğer önemli faktörler ise sırasıyla %38,1 ile tarımsal faaliyetleri yürütecek yeterli iş gücünün bulunmaması, %26,2 ile arazinin verimsiz veya toprak koşullarının yetersiz olması, %23,8 ile arazi dışında farklı bir yerleşim yerinde ikamet edilmesi ve %11,9 ile tarımsal faaliyetlere ilgi duyulmaması olarak belirlenmiştir (Şekil 7).



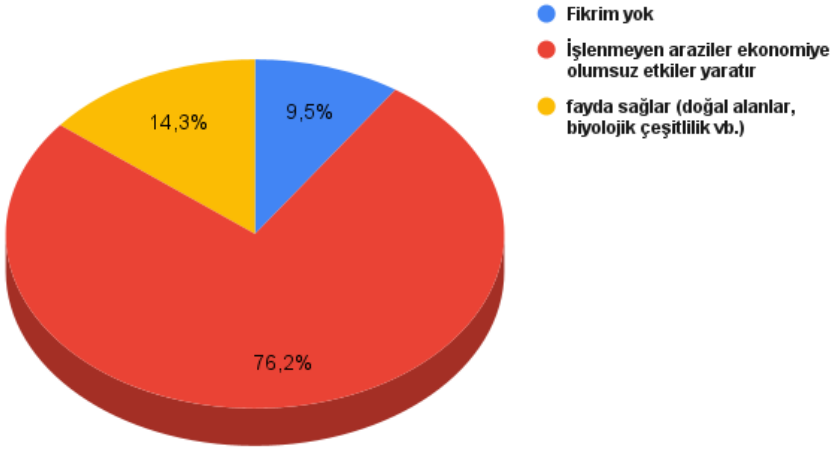

**Şekil 7:** Tarımsal Üretim Yapılmamasının Başlıca Nedenleri

Ayrıca, araştırma kapsamında değerlendirilen işlenmeyen tarım arazilerinin %42,9'unun hisseli mülkiyet yapısına sahip olduğu tespit edilmiştir (Şekil 8). **Bu sonuç, işlenmeyen tarım arazilerinin yalnızca ekonomik nedenlerle değil, aynı zamanda mülkiyet yapısından kaynaklanan hukuki ve yönetsel sorunlardan da etkilendiğini ortaya koymaktadır.** Bu durum, hisseli mülkiyetin azaltılmasına ve ortak mülkiyetin etkin yönetimine yönelik politikaların geliştirilmesinin önemini göstermektedir.




**Şekil 8:** İşlenmeyen Tarım Arazileri Hisselilik Durumu

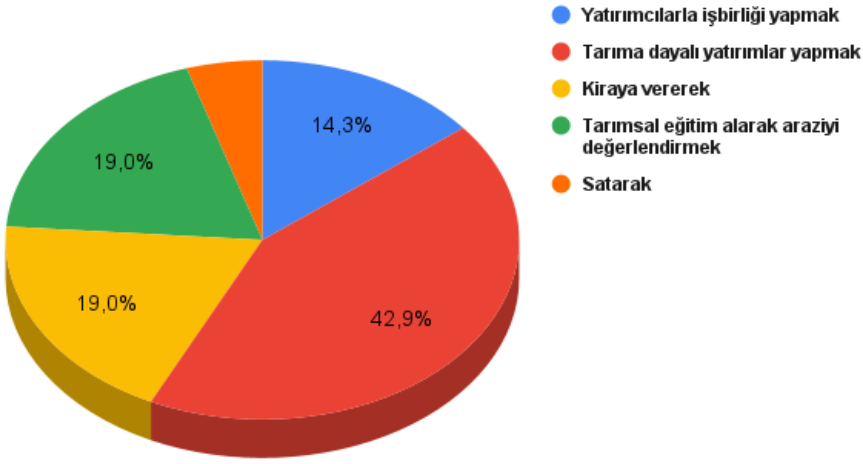
Parsel sahiplerinin %76,2'si işlenmeyen arazilerin ekonomiye olumsuz etkilerinin olduğunu düşünmekte iken, %14,3'ü arazilerin işlenmese bile doğal yaşama bir katkısının olduğunu düşünmektedir (Şekil 9).




**Şekil 9:** İşlenmeyen Arazilerin Ekonomiye Olumsuz Etkileri

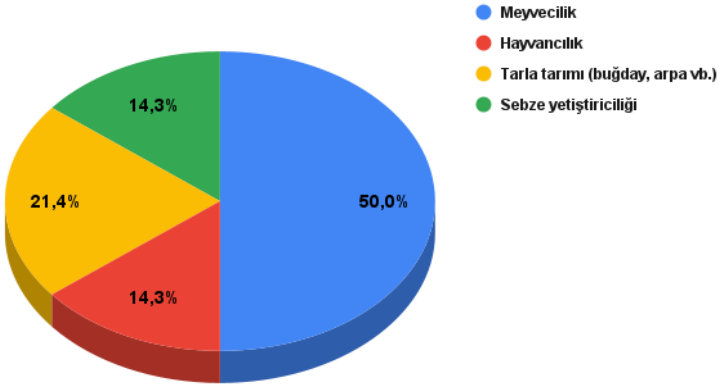
İşlenmeyen tarım arazilerinin yeniden üretime kazandırılmasına yönelik olarak arazi sahiplerinin bireysel düzeyde atmayı planladıkları adımlar incelendiğinde, katılımcıların %42,9'unun tarıma dayalı yatırımlar yapmayı düşündüğü belirlenmiştir. Bunu %19,0 ile tarımsal eğitim alarak araziyi değerlendirme ve %19,0 ile araziyi satma seçenekleri izlemektedir. Ayrıca katılımcıların %14,3'ü yatırımcılarla iş birliği yapmayı, %4,8'i ise arazisini kiraya vererek değerlendirmeyi planladığını ifade etmiştir (Şekil 10). Bulgular, arazi

sahiplerinin önemli bir bölümünün işlenmeyen arazilerini yeniden tarımsal üretime kazandırmaya yönelik çözüm arayışında olduğunu göstermektedir.



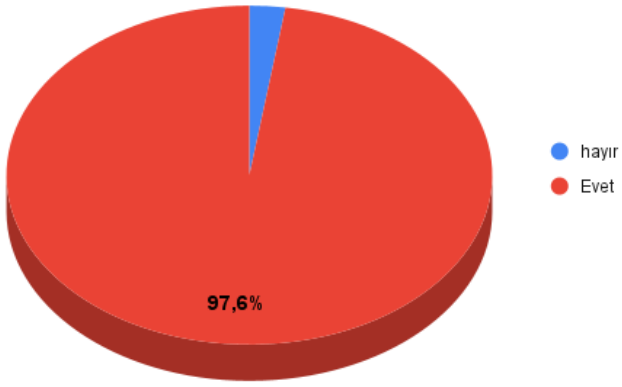

**Şekil 10:** İşlenmeyen Tarım Arazilerinin Yeniden İşlenmesi

Arazilerin yeniden üretime kazandırılması durumunda tercih edilmesi planlanan tarımsal faaliyetler incelendiğinde, katılımcıların %50,0'sinin meyveciliği tercih ettiği belirlenmiştir. Bunu %21,4 ile tarla tarımı (buğday, arpa vb.), %14,3 ile sebze yetiştiriciliği ve %14,3 ile hayvancılık faaliyetleri izlemektedir (Şekil 11). Meyveciliğin en fazla tercih edilen faaliyet olması, uzun yıllar ekonomik ürün sağlayan çok yıllık bitkisel üretim sistemlerine olan eğilimi göstermektedir. Bu durum, arazilerin sürdürülebilir şekilde değerlendirilmesi ve uzun vadede işlenmeden kalma riskinin azaltılması açısından olumlu bir gösterge olarak değerlendirilebilir.



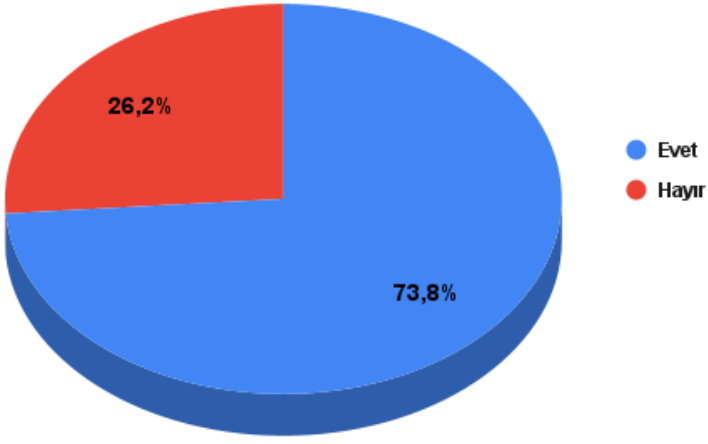

**Şekil 11:** Tekrar İşlenmesi Halinde Tercih Edilen Tarım Faaliyetleri

Parsel sahiplerinin tamamına yakınının devletin işlenmeyen tarım arazileri konusunda daha aktif bir politika izlemesini desteklemesi önemli bir bulgu olarak görülmektedir.




**Şekil 12:** İşlenmeyen Arazilerde Devletin Rolü

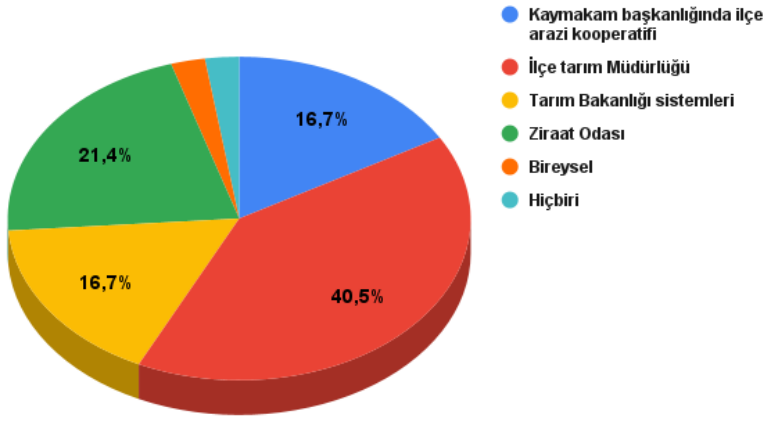
Parsel sahiplerinin işlenmeyen tarım arazilerini kiralama ve satma konusundaki tutumları değerlendirildiğinde, %73,8'inin arazilerinin başka kişiler tarafından kiralanarak tarımsal üretimde kullanılmasına olumlu yaklaştığı belirlenmiştir (Şekil 13).




**Şekil 13:** Kiralama veya Satma Eğilimi

Parsel sahiplerinin işlenmeyen tarım arazilerinin kiralanmasına aracılık edecek kurumsal yapılara yönelik tercihleri incelendiğinde, en yüksek oranın %40,5 ile İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğüne ait olduğu görülmektedir. Bunu sırasıyla %21,4 ile Ziraat Odası, %16,7 ile Kaymakamlık başkanlığında

oluşturulacak İlçe Arazi Kooperatifi ve %16,7 ile Tarım ve Orman Bakanlığı bünyesinde geliştirilecek sistemler takip etmektedir (Şekil 14).




**Şekil 14.** Aracı Kurum Tercihi

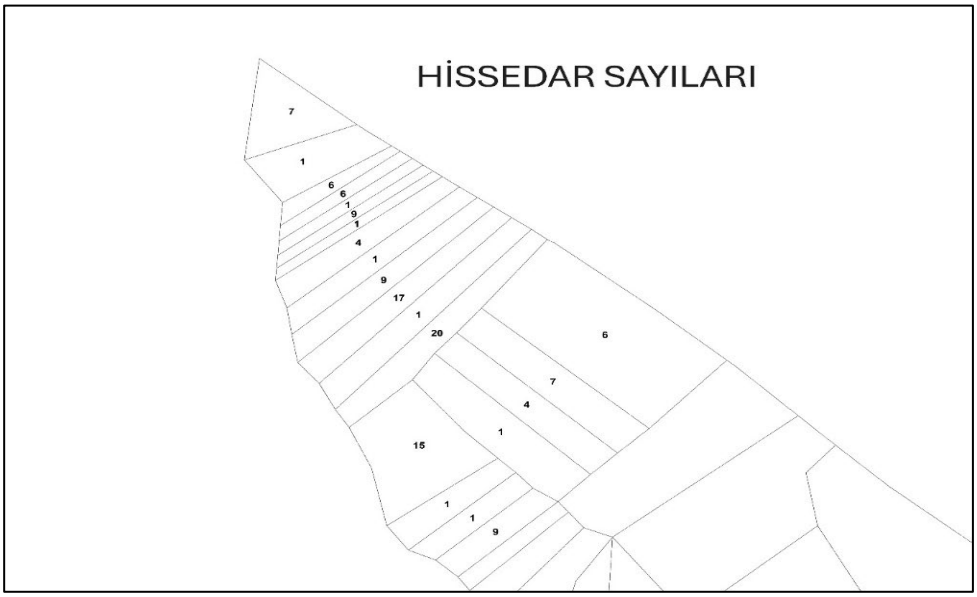
### 3.1. Araştırma alanında parsellerin mülkiyet durumu ve parsel büyüklükleri

5403 Sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu'nda yeter gelirli tarımsal işletme, bir tarım işletmesinde üretim faktörlerinin rasyonel kullanımına olanak vererek işletmenin gelişmesini temin eden, ailenin ekonomik ve sosyal gelişimini temin edecek gelir ile tarımsal yapının muhafazası ve tarımın sürekliliğini sağlayan en küçük işletme büyüklüğü olarak tanımlanmıştır (5403 sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu, 2005). 5403 Sayılı Kanun ekinde Türkiye'de her ilçe için yeter gelir tarımsal işletme büyüklüğü yayınlanmıştır. Araştırma alanı olan Derebucak ilçesi için yeter gelir büyüklüğü; sulu araziler için 55 da, kuru araziler için 170 da, dikili araziler için 10 da, örtü altı araziler için 3 da ve ortalama parsel büyüklüğü 2,5 da olarak belirlenmiştir.

Çalışma alanında bulunan parsellerin tamamı yeter gelir arazi büyüklüğü miktarı altında alana sahiptir. Kuru arazide yeter gelirli arazi büyüklüğü olan 170 dekara, çalışma alanındaki 74 parselin toplam arazi büyüklüğü ile ancak ulaşabilmektedir.

Parsel büyüklüğünün yeter miktarda olmaması;

- Verimliliği Azaltır: Küçük parsellerde modern tarım makineleri kullanılamaz ya da verimli çalışmaz. Bu da üretim maliyetlerini artırmaktadır.
- Yatırımı Engeller: Küçük arazilerde tarımsal sulama, gübreleme, drenaj gibi altyapı yatırımları ekonomik olmaz.
- Toprak İşleme Zorluğu: Küçük parsellerin farklı yerlerde olması, çiftçinin zaman ve enerji kaybına neden olur.
- Üretimden Vazgeçme: Çiftçiler, masraf ve çabayı karşılamadığı için bu küçük parselleri işlememeyi tercih edebilir.
- Ortak Karar Alma Güçlüğü: Arazide hisse sayısı arttıkça, arazinin nasıl kullanılacağı konusunda anlaşmazlık çıkma olasılığı da artmaktadır.
- İzin ve Onay Süreçleri Uzar: Satış, kiralama ya da birleştirme gibi işlemler için tüm hissedarların onayı gerekebilir. Bu da zaman kaybına ve kullanımın gecikmesine yol açar.
- Tarımın Terk Edilmesi: Hissedarlar arasında başka şehirde yaşayanlar veya tarımla ilgisi olmayanların varlığı ile araziye ilgi azalmakta ve alan atıl kalmaktadır.
- Yasal Uyuşmazlıklar: Parsellerin miras yoluyla paylaşılmasıyla hissedar sayısının arttığı görülmektedir (Şekil 15). Araştırma alanında incelenen arazilerde hissedar sayısının 20'ye kadar çıktığı belirlenmiştir. Hissedarlar arasında miras, tapu ya da sınır anlaşmazlıkları gibi hukuki sorunlar çıkabilir. Bu süreçler boyunca arazi işlenemez hale gelmektedir.




**Şekil 15:** Araştırma Alanındaki Parsellerdeki Hissedar Sayıları

## 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Türkiye'de ve özellikle Derebucak örneğinde tarım arazilerinin işlenmemesi sonucu atıl kalmasının nedenlerini ve bu duruma arazi sahiplerinin bakış açılarını ortaya koymaktadır.

Anket bulguları, arazilerin işlenmemesinde işgücü yetersizliği, düşük gelir beklentisi, arazi parçalılığı ve hisselilik gibi faktörlerin etkili olduğunu göstermektedir. Bu sorunların çözümü için çok yönlü bir yaklaşıma ve ayrıca devlet müdahalesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu bağlamda aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir:

**1- Parsel Bazlı Çalışmalar ve Yerel Nedenlerin Tespiti:** İşlenmeyen tarım arazilerinin ortaya çıkış nedenleri bölgelere göre farklılık göstermektedir. Bazı bölgelerde kırsal göç nedeniyle tarımsal iş gücünün azalması temel etken olurken, bazı bölgelerde ise parsel büyüklüklerinin ekonomik getiri anlamında yeterli olmaması ve işletmelerin sahip olduğu arazi varlığının yetersizliği arazilerin üretim dışında kalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, işlenmeyen tarım arazilerine yönelik politika ve uygulamaların etkinliğinin artırılabilmesi için her ilçede parsel bazında ayrıntılı analizler gerçekleştirilerek arazilerin işlenmeme nedenleri ortaya konulmalıdır. Elde edilecek bulgular doğrultusunda, bölgesel farklılıkları ve yerel sosyoekonomik

koşulları dikkate alan, sorunun temel nedenlerine yönelik çözüm stratejileri geliştirilmesi, tarım arazilerinin yeniden üretime kazandırılmasına önemli katkı sağlayacaktır.

**2- Arazi Değerleme Veritabanı Oluşturulması:** Türkiye genelinde toprağın üretim kabiliyetini esas alan bir arazi değerleme veritabanı oluşturulması gerekmektedir. Bu sayede toprak özelliklerinden dolayı işlenemeyen araziler tespit edilebilir ve her türlü arazi değerleme işlemleri için esas teşkil edecek bir veritabanı kurulabilir.

**3- Yasal Mevzuatın Güçlendirilmesi ve İşbirliği Modelleri:**

**3.1- Hukuki Durum Düzenlemesi:** Türk Medeni Kanunu'nun 683. maddesi, malikin mülkiyet üzerindeki haklarını düzenlemektedir (Anonim, 2001).

Madde 683 - Bir şeye malik olan kimse, hukuk düzeninin sınırları içinde, o şey üzerinde dilediği gibi kullanma, yararlanma ve tasarrufta bulunma yetkisine sahiptir. Malik, malını haksız olarak elinde bulunduran kimseye karşı istihkak davası açabileceği gibi, her türlü haksız el atmanın önlenmesini de dava edebilir.

Bu kanun maddesi kapsamında, mevcut politikaların uygulanmasında hukuki sorun oluşabileceği göz önünde bulundurularak;

İşlenmeyen tarım arazilerinin tarımsal üretime kazandırılması için, ilçe bazında parsel sahiplerinin üye olduğu mevcut örgütler parselleri işletmeli (ziraat odası vb.) veya İlçe Kaymakamı'nın, İlçe Tarım ve Orman Müdürü'nün, hazine arazilerinin temsilcisinin, kadastro temsilcisinin, ziraat odası gibi çiftçi örgütleri ve STK'ların doğal üyesi olduğu **Arazi Yönetim Birlikleri** kurulması için hukuki düzenlemeler yapılmalıdır.

Bu kurum aracılığıyla, parsel malikinin rızasıyla veya kamulaştırılarak kooperatif kapsamına alınan parsellerin, o ilçede en az 5 yıl tarımsal üretim yaptığı belgelenmiş çiftçilere kiralanması, satılabilmesi veya arazinin bulunduğu ilde tarımsal üretim yapma potansiyeline sahip işletmelere, kadastro parsellerinden oluşturulacak tarım adaları parseller topluluğunun uzun yıllar kiralanabilmesi için yasal mevzuat oluşturulmalıdır. Bu şekilde kiralanan yerlerde tarımsal üretim saptanmaması halinde tazminat ödemesi devreye alınmalıdır.

**3.2- Vergi ve Teşvik Mekanizmaları:** Arazi birliklerinin kurulmasının ardından, üretime kazandırılmasına yönelik sunulan imkânlara rağmen işlenmeye devam edilmeyen tarım arazilerine uygulanacak emlak vergisi, caydırıcılığı artıracak şekilde kademeli olarak yükseltilmelidir. Artırılan vergi yükümlülüğünün maliye kayıt sisteminde borç olarak izlenmesi, arazi maliklerinin mülkiyetlerine ilişkin sorumluluklarını yerine getirmeleri konusunda teşvik edici bir mekanizma oluşturacaktır. Bu uygulamanın, özellikle resmi işlemler sırasında karşılaşılacak mali yükümlülükler aracılığıyla arazi sahiplerinde farkındalık oluşturması beklenmektedir. Bununla birlikte, arazi malikinin parselini kurulacak arazi birliğine kiralaması veya kullanım hakkını devretmesi durumunda, emlak vergisinin yeniden normal rayiç değer üzerinden uygulanması sağlanmalıdır. Bu yaklaşım, atıl durumdaki tarım arazilerinin üretime kazandırılmasını özendirirken, gönüllü katılımı destekleyen ekonomik bir teşvik mekanizması da oluşturacaktır.

**3.3- İdari Süreçlerin Kolaylaştırılması:** Tarım parselleri için açılan ortaklığın giderilmesi davalarında avukatlık ücretinin destek kapsamına alınması veya avukata gerek kalmaksızın başvuru şeklinin düzenlenmesi (kamu davası haline getirilmesi), vergi, harç vb. masraflardan muaf tutulması gibi adımlar atılmalıdır. Bu tür özendirmeler, hisselilik sorununu ortadan kaldırmaya yönelik önemli bir adım olacaktır.

**3.4- Tapu Devir İşlemlerinde Muafiyetler:** Bakanlıkça tespit edilmiş işlenmeyen arazi sahiplerinin parsellerini, parselin bulunduğu mahallede ikamet eden ve en az 5 yıldır ÇKS kaydı olan şahsa satmaları halinde tapu devir işlemlerinde vergi, harç vb. masraflardan muaf tutulması sağlanmalıdır. Ayrıca, bu şekilde devredilmiş parsellere 5 yıl süre ile tarım dışı kullanılmaması şerhi eklenmelidir.

Bu önerilerin hayata geçirilmesi, Türkiye'deki işlenmeyen tarım arazilerinin etkin bir şekilde değerlendirilmesine, tarımsal üretimin artırılmasına ve kırsal kalkınmaya önemli katkılar sağlayacaktır.

## KAYNAKÇA

Derebucak Belediyesi. (2025) http//:www.derebucak.bel.tr

FAO. (2023). *The state of food and agriculture 2023*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Google Earth. (2025). *Derebucak ilçesi uydu görünümü*. https://earth.google.com/

İnan, O. (2025). Mülkiyet kaynaklı sebeplerle etkili kullanılamayan arazilerin tarım ürünleri arz güvenliği açısından değerlendirilmesi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 12*(1), 110–118.

IPBES. (2019). *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services: Summary for policymakers*. IPBES Secretariat.

Karakayacı, Z., Kılınç, H., Baran, H., & Oruç, M. (2021). İşletmecilerin atıl tarım arazilerinin yönetimine yönelik yaklaşımları. *VII. Tarım Ekonomisi Öğrenci Bilim Kongresi Bildirileri*, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Konya.

OECD. (2023). *Agricultural policy monitoring and evaluation 2023*. OECD Publishing.

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2024). *Konya İl Tarım ve Orman Müdürlüğü brifingi*. Konya İl Tarım ve Orman Müdürlüğü.

T.C. Cumhurbaşkanlığı. (2001, 8 Aralık). *4721 sayılı Türk Medeni Kanunu* (Resmî Gazete Sayısı: 24607). https://www.mevzuat.gov.tr/

T.C. Cumhurbaşkanlığı. (2005, 19 Temmuz). *5403 sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu* (Resmî Gazete Sayısı: 25880). https://www.mevzuat.gov.tr/

T.C. Cumhurbaşkanlığı. (2024, 22 Ağustos). *İşlenmeyen tarım arazilerinin tarımsal amaçlı kiraya verilmesine ilişkin yönetmelik* (Resmî Gazete Sayısı: 32552). https://www.resmigazete.gov.tr/

Türk Dil Kurumu. (2024). *Güncel Türkçe Sözlük*. https://sozluk.gov.tr/

Uydu Görüntüsü. (2025). *Derebucak ilçesi işlenmeyen tarım arazileri tematik harita ve kadastral görünüm* [Copernicus uydu görüntüleri]. https://copernicus.eu/

# BÖLÜM 6

## KOLZA ZARARLILARI

Prof. Dr. Nihal ÖZDER[1]

Dr. Öğr. Üyesi Esra TAYAT[2]

DOI: https://www.doi.org/10.5281/zenodo.23259909

[1] Bitki Bölümü, Ziraat Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye. nozder@nku.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4637-5364

[2] Bitki Bölümü, Ziraat Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye. etayat@nku.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4023-7753

## 1. GİRİŞ

Dünya tarımında öne çıkan yağlı tohum bitkilerinden biri olan kolza (Brassica napus), tarımsal üretim bakımından önemli bir yere sahiptir. FAO'nun 2025 verileri, yıllık küresel kolza üretiminin 85 milyon tona ulaştığını göstermektedir. Bu üretimin 19 milyon tonunu sağlayarak dünya toplamının %22'sinden fazlasını karşılayan Çin, ilk sırada yer almaktadır (Aquilia ve ark., 2025; Quan ve ark., 2025; Witaszek ve ark., 2025; Zhou ve ark., 2025). Türkiye'deki kolza üretimi de 2025 yılında %5,1 artarak 136.700 tona yükselmiştir (TÜİK, 2025).

Yüksek ekonomik değeri ve farklı alanlarda değerlendirilebilmesi, kolzanın pek çok ülkede temel tarımsal ürünler arasında yer almasını sağlamaktadır. Bitki, dünya yemeklik yağ arzının %15'ten fazlasını karşılarken biyoyakıt üretimine de önemli katkı sunmaktadır. Avrupa Birliği'nde biyodizel üretiminde kullanılan ham maddelerin yaklaşık %30'u kolzadan sağlanmakta; ürün ayrıca hayvan yemi ve endüstriyel ham madde olarak kullanılmaktadır (Aquilia ve ark., 2025; Quan ve ark., 2025; Witaszek ve ark., 2025; Zhou ve ark., 2025).

Artan dünya nüfusu ve giderek belirginleşen gıda güvenliği sorunları, kolzanın sürdürülebilir yöntemlerle ve yüksek verim alınarak yetiştirilmesini daha da önemli kılmaktadır (Zhou ve ark., 2025).

Bitkisel üretimi tehdit eden başlıca etmenlerden biri iklim değişikliğidir. Yükselen sıcaklıklar, böcekler ile diğer zararlıların yaşamını sürdürme oranlarını ve yoğunluklarını artırırken yayılış alanlarıyla kışlama sürelerinde de değişikliğe neden olmaktadır (Shahzad ve ark., 2021). Bunun sonucunda böcek zararlılarının yararlanabileceği besin kaynakları neredeyse sınırsız hâle gelmiştir. Yağlık kolza da verimini ciddi biçimde azaltabilen çeşitli zararlıların saldırısına maruz kalmaktadır (Williams, 2010a; Zheng ve ark., 2020). Bu nedenle böcek zararlıları, kolza üretiminde verim ve kalite kaybına yol açan etmenler arasında önemli bir konumdadır. Bitkinin farklı gelişme evrelerinde ortaya çıkan bu zararlıların üretim üzerindeki etkisi, popülasyon yoğunluklarına ve zararın oluştuğu döneme göre değişebilmektedir. Kolzada görülen zararlı türler aşağıda ele alınmıştır.

### *Brevicoryne brassicae* (Linnaeus, 1758) (Hemiptera: Aphididae)

Avrupa kökenli bu yaprakbiti, günümüzde dünyanın pek çok bölgesine yayılmıştır. Türün coğrafi dağılımı, konukçu bitkileri, *Brassica* ürünlerinde oluşturduğu ekonomik kayıplar, biyonomisi ve kimyasal mücadelesi literatürde çok sayıda araştırmaya konu olmuştur (Pal ve Singh, 2013). Kozmopolit bir tür olan *B. brassicae*, dünyanın ılıman ve sıcak-ılıman kuşaklarında geniş bir dağılım göstermektedir (Blackman ve Eastop, 2023).

Bu zararlı kültür bitkileri arasında başta lahana, hardal, turp, kolza ve şalgamı; yabancı otlar arasında ise yabani turp ile çoban çantasını tercih eder. Tohumluk bitkilerde hem yapraklardan hem de çiçeklerden beslenir. Bulaşık bitkilerin gelişmesi yavaşlayabilir ve çiçekleri meyve bağlamadan dökülebilir. Sofralık lahanada yapraklar üzerinde sarı lekeler oluşur; ardından yapraklarda kıvrılma ve kuruma görülür. Başlar küçük kalır ve baş oluşumu gecikir. Yaprakbitlerinin salgıladığı yapışkan ballı madde de yaprak yüzeyini kirleterek fumajine neden olur. Popülasyonun yoğun olduğu koşullarda verim kaybı %34-62 düzeyine çıkabilir. *Brassica* bitkilerinin başlıca emici zararlılarından biri olan tür, özellikle lahananın yetiştirildiği farklı agroekolojik bölgelerde yaygın ve kozmopolittir. Meyve, çiçek durumu, yaprak ve sürgünler dâhil bitkinin bütün kısımlarında zarar oluşturabilse de çoğunlukla yaprakların alt yüzünde, lahananın baş içindeki yapraklarında ve karnabaharın çiçekçikleri arasındaki boşluklarda bulunur (Pal ve Singh, 2013). *B. brassicae* önemli viral hastalıkların taşınmasında da rol oynamaktadır. Brassicaceae familyası içinde en az 23 viral hastalığı taşıdığı bildirilmiştir (Hill, 1975).

Kanatsız bireyler grimsi yeşil ya da donuk orta yeşil renktedir; başları koyu, göğüs ve karın bölgelerinin sırt kısmı ise koyu lekeli görünür. Vücutları yoğun, grimsi beyaz ve unumsu bir mum tabakasıyla örtülüdür; uzunlukları 1,6-2,6 mm arasında değişir. Kanatlı bireylerde baş ve göğüs koyu renkli, karnın sırt bölümü de koyu enine bantlıdır. Tür, birçok Brassicaceae (turpgiller) cinsi ve türünde yaşar ve ılıman ile sıcak-ılıman bölgelerdeki tarla bitkilerinde dünya çapında önemli bir zararlı olarak görülür. Hardal yağı glikozitleri beslenmeyi uyardığından, bu maddeleri taşıyan *Reseda* gibi başka bitkiler üzerinde de koloni kurabilir. Soğuk bölgelerde kanatlı erkeklerin de yer aldığı, tek konukçulu ve tam döngülü (holosiklik) bir yaşam sürerken kışları ılıman geçen yerlerde döngüsüz (anholosiklik) biçimde çoğalır (Blackman ve Eastop, 2026).

Konukçu değiştirmeyen unlu lahana yaprakbiti, yaşam döngüsünün tamamını lahana (*Brassica oleracea*) ya da diğer Brassicaceae bitkileri üzerinde geçirir. Soğuk iklimlerde sonbaharda yumurta bırakan dişilerle küçük, ince yapılı kanatlı erkekler meydana gelir ve popülasyon kışı yumurta evresinde geçirir. Kışların ılıman seyrettiği bölgelerde *B. brassicae*, kış boyunca partenogenetik biçimde çoğalmayı sürdürür. Konukçu bitkinin ilk kolonileştirilmesini izleyen dönemde yaprakbiti sayısı hızla yükselir. Sonrasında bitkide ve yaprakbitinde ortaya çıkan fizyolojik değişimler, yavruların büyük bir kısmının göç etmesine yol açar. Böylece bireyler aşırı yoğunluğun doğrudan etkilerinden uzaklaşırken yeni bir konukçu bulma fırsatı kazanır. Konukçu bitki türünün devamlılığı; bir yandan yaprakbiti zararının ardından yenilenebilme yeteneğine, diğer yandan göç, üreme hızındaki düşüş ve dışsal ölüm etmenleri arasındaki ilişkilere bağlıdır. Bu etmenlerin ortak etkisiyle yaprakbiti sayısı en yüksek seviyeye ulaştıktan sonra hızla geriler (Anonim, 2026a).

### *Psylliodes chrysocephala* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera: Chrysomelidae)

*P. chrysocephala*, kolzada ciddi ekonomik kayıplar oluşturabilen başlıca zararlılardan biridir (Coston ve ark., 2024; Williams, 2010; Nilsson, 1990; Ortega-Ramos ve ark., 2021; Magnin ve ark., 2026). Ergin *P. chrysocephala* bireyleri, fidelerin erken gelişme evresinde tarlaya gelir; sonbaharda kotiledonlar ve ilk yapraklar üzerinde beslenip çiftleştikten sonra yumurtalarını ürün bitkilerine yakın toprağa bırakır. Bitkiye giren larvalar, kış boyunca yaprak sapları ile gövdelerin içinde gelişimini sürdürür (Ortega-Ramos ve ark., 2021; Wilkinson ve ark., 2024; Magnin ve ark., 2026).

Oval vücutlu bu böceklerin uzunluğu 3,2-4,6 mm'dir. On anten segmenti taşırlar ve kalınlaşmış arka femurları, avcılardan uzaklaşmak için sıçramalarına olanak verir (Ruan ve ark., 2020). Erginler sonbaharda yeni ekilen kolza tarlalarına yönelir ve 3-4 km'ye kadar uçabilir. Genellikle ekim ayında tamamlanan göç uçuşlarının ardından, böcekler ürüne ulaştığında uçuş kasları körelir (Ortega-Ramos ve ark., 2022). Kotiledonlar ve genç yapraklarla beslenen bireyler, yaklaşık iki hafta sonra çiftleşmeye ve yumurta bırakmaya başlar (Alford ve ark., 2003; Ortega-Ramos ve ark., 2022).

Yumurta bırakma etkinliği, sıcaklığın 2-16 °C arasında seyrettiği sonbaharda genellikle en yüksek düzeydedir; ılıman koşullarda ise ilkbahar başına kadar sürebilir (Mathiasen, Sørensen ve ark., 2015). Oval ve turuncu renkteki yumurtalar 0,6 mm uzunluğa, 0,4 mm genişliğe sahiptir. Yumurtalar konukçu bitkinin çevresindeki toprağa kümeler hâlinde bırakılır (Vig, 2003) ve eylül ayından başlayarak açılır (Johnen ve ark., 2010). Yumurtadan yeni çıkan larvalar bitkiye girip galeriler oluşturur; kış mevsimi boyunca ve ilkbahar sonuna dek yaprak sapı ile gövde içinde toplu olarak beslenerek gelişir (Alford ve ark., 2003). Larva gelişimi üç dönemden oluşur (Ortega-Ramos ve ark., 2022).

Üçüncü dönem larvalar şubat sonu ile haziran arasında bitkiden ayrılarak toprağa düşer ve pupalaşmak üzere toprak yüzeyinin birkaç santimetre altında küçük bir boşluk hazırlar (Williams ve Carden, 1961; Şekil 1f). Sıcaklığa göre pupa evresi 8-12 hafta devam eder. Yeni dölün erginleri mayıs ayında kolza tarlasında görülmeye başlar ve gövdeler ile kapsüllerin dış yüzeylerinde beslenmek için tarlada kalır (Sáringer, 1984; Williams ve Carden, 1961).

Yaz sonuna gelindiğinde erginler beslenmeyi keserek estivasyon, başka bir deyişle yazlama dönemine girer. Bu süreci kolza tarlasında geçirebilir (Sivcev ve ark., 2016; Vig, 2003) ya da çit bitkileri ve ormanlık alanlar gibi korunaklı yerlere göç edebilirler (Bonnemaison ve Jourdheuil, 1954; Ortega-Ramos ve ark., 2022). Ağustosun sonlarına doğru sıcaklıkların azalmasıyla yeniden etkinleşen böcekler, yeni ekilmiş tarlalara yönelir. Popülasyon çoğunlukla eylül başında en yüksek düzeye çıkar; bununla birlikte zamanlama hava koşullarına göre farklılaşabilir (Sáringer, 1984; Vig, 2003).

Zarar hem erginler hem de larvalar tarafından meydana getirilir. Erginlerin kolza kotiledonları ve genç yapraklarıyla beslenmesi, 'saçma deliği' olarak adlandırılan belirtileri oluşturur. Kontrollü koşullarda erken gelişme evresindeki bitkiler yaprak alanında %90'a ulaşan kaybı bütünüyle telafi edebilse de (Coston, 2021; Ellis, 2015), kotiledon döneminde hipokotilin zarar görmesi veya ilk yapraklarda şiddetli ve devamlı beslenme zararının oluşması, ürünün başarılı biçimde tesis edilmesini tehlikeye sokabilir. Dört yapraklı evreyi geçen bitkilerin yaprak alanı kaybını karşılama gücü artar; buna bağlı olarak ergin beslenmesinin önemi azalır (Ruck ve ark., 2018).

Yaprak sapı ve gövde içinde beslenerek galeriler oluşturan larvalar bitkiye zarar verir (Williams ve Carden, 1961; Şekil 1c-e). Ortaya çıkan zarar

bitkinin gelişme gücünü zayıflatır, don ve hastalık riskini yükseltir ve böylece kışlama başarısını azaltır. İlkbaharda larva zararı; gövdenin yarılmasına, büyüme noktasının ölmesine, çiçeklenmenin gecikmesine, hatta bitkinin tümüyle ölümüne yol açabilir (Bonnemaison ve Jourdheuil, 1954; Evans, 2007; Williams ve Carden, 1961).

### *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Plutellidae)

Turpgil ürünlerinde küresel ölçekte öne çıkan başlıca zararlılardan biri *P. xylostella* (L.) olarak kabul edilmektedir (Talekar ve Shelton, 1993). Yayılış alanı son derece geniş olan tür, soğuk Himalaya Dağları'ndan (Mohan ve ark., 2009) Afrika'nın kurak ve sıcak kesimlerine kadar (Ayalew ve Ogol, 2006) büyük ölçüde farklılaşan iklim koşullarında yaşayabilmektedir. *P. xylostella*'nın kozmopolit dağılımı ve dünyanın değişik bölgelerinde sık görülmesi; popülasyonu baskılayacak etkili doğal düşmanların bulunmaması, insektisitlere karşı güçlü direnç geliştirebilmesi (Talekar ve Shelton, 1993; Mohan ve Gujar, 2003) ve geniş bir sıcaklık aralığına dayanmasıyla ilişkilendirilmektedir.

Yaklaşık 3.000 otsu bitki türünü ve 350 cinsi barındıran Brassicaceae familyasının kökeni Avrupa ile Doğu Asya'ya uzanmaktadır. Serin mevsim bitkilerinden oluşan bu familya, çok sayıda kültür bitkisini de kapsamaktadır. Familyada yaygın olarak bulunan bitki kimyasallarından glukozinolatlar, *P. xylostella* için yumurta bırakmayı uyaran maddeler işlevi görmektedir (Nayar ve Thorsteinson 1963; Hillyer ve Thorsteinson 1971; Philips ve ark., 2014).

Larvaların beslenmesi ya da ürüne bulaşması, üründe zarara neden olur. İlk zarar, birinci dönem larvaların yaprak dokusu içerisinde galeri açmasıyla ortaya çıkar. İleri dönemlerde larvalar yaprağın alt yüzünden beslenir, dokuyu düzensiz parçalar hâlinde tüketir ve çoğu kez üst epidermis ile damarları geride bırakarak pencere görünümünde belirtiler oluşturur. *P. xylostella* 8-32 °C arasındaki sıcaklıklarda gelişebilir; en yüksek hayatta kalma oranı 14 °C'de kaydedilmiştir. Bu sıcaklık koşulunda bir dölün tamamlanması 41 gün almaktadır (Liu ve ark. 2002).

Erginler belirgin antenli, ince yapılı ve grimsi kahverengi güveler olup yaklaşık 6 mm uzunluğundadır. Vücut uzunluğu yaklaşık 8-12 mm olarak belirtilmektedir. Dinlenirken kanatlar vücudun üzerinde çatı biçiminde kapanır.

Bu konumda erkeklerin ön kanatlarının sırt bölümünde açık beyazımsı renkte üç elmas biçimli desen belirir. *P. xylostella*'nın yaşam döngüsü yumurta, dört larva dönemi, pupa ve ergin güve evrelerini kapsar (Dewanda, 2021). Güveler sekiz haftaya kadar yaşayabilse de ortalama yaşam süresi yaklaşık iki haftadır (Philips ve ark., 2014).

Gün boyunca yaprakların üzerinde dinlenen erginler, çiftleşme ve yumurta bırakma faaliyetlerinin çoğunun gerçekleştiği gün batımından hemen önce daha hareketli olur. Bir dişi yaklaşık 10 gün süreyle yumurta bırakabilir; ortalama yumurta sayısı 150 olmakla birlikte bu sayı 350'ye ulaşabilir (Harcourt 1957; Philips ve ark., 2014).

Oval ve basık yapıdaki *P. xylostella* yumurtaları sarı ya da soluk yeşil renkte, yaklaşık 0,44 mm uzunluğunda ve 0,26 mm genişliğindedir. Yaprak yüzeyindeki çöküntülere çoğunlukla tek tek veya 2-8 yumurtalık kümeler biçiminde bırakılır. Yumurtaların yaklaşık %60'ı yaprağın üst yüzünde yer alır (Lasota ve Kok 1989). Tarla koşullarında sıcaklığa büyük ölçüde bağlı olan inkübasyon süresi 2-20 gün arasında değişir ve ortalama yaklaşık 6 gündür (Harcourt 1957, Liu ve ark. 2002; Philips ve ark., 2014).

*P. xylostella*'nın larva gelişimi dört dönemden oluşur. Her dönem çoğunlukla 5-7 gün sürerken toplam larva gelişimi 20-28 günde tamamlanır (Harcourt 1957, Liu ve ark. 2002; Philips ve ark., 2014). Yaklaşık 1,7 mm uzunluğundaki birinci dönem larvaların rengi renksiz ile soluk beyaz arasında değişir ve baş kapsülleri koyu renklidir (Philips ve ark., 2014).

Larvalar yumurtadan çıktıktan sonra yaprağın alt yüzüne geçer ve epidermisi delerek süngerimsi mezofil dokusunda açtıkları galerilerde beslenir. İlerleyen larva dönemlerinde yeşil renk kazanır ve yaklaşık 11,2 mm'ye kadar uzarlar. Her iki uca doğru daralan vücut üzerinde, küçük beyaz lekelerle bağlantılı birkaç kısa kıl yer alır. Arka uçtan dışarı uzanan bir çift yalancı bacak, 'V' biçiminde görünür. Rahatsız edilen larvalar çoğunlukla şiddetle geriye doğru kıvrılıp hareket eder ve sonunda ipek bir iplik yardımıyla aşağı sarkar (Capinera 2001).

### *Brassicogethes aeneus* (Fabricius, 1775) (Coleoptera: Nitidulidae)

Erginlerde vücut uzunluğu 1,5-2,9 mm arasında değişmektedir. Genel vücut görünümü dışbükey ve uzamış oval yapıdadır. Sırt yüzeyi parlak olan

bireyler metalik yeşilimsi mavi ya da bronz tonlar taşır; iri gözler belirgin biçimde dışa doğru çıkıntı yapar (Yılmaz, 2011).

Yılda bir döl veren *B. aeneus*, ergin evrede uygun yaprak döküntüleri veya ürün artıkları arasında kışlar. Kolza tarlalarından orman kenarlarında ya da çit bitkileri boyunca bulunan kışlama yerlerine ulaşmak için birkaç kilometre hareket edebilir (Hervé ve Cortesero, 2016; Hokkanen ve Menzler-Hokkanen, 2018). Kışlama sonrasında otsu bitkilerin bulunabilirliği de polifag polen böceklerinin besin gereksinimini karşılama düzeyini büyük ölçüde belirler. Dişiler eşeysel olgunluğa erişinceye kadar çeşitli çiçekli bitkilerin ve kolzanın polenleriyle beslenmeyi sürdürür (Hokkanen ve Menzler-Hokkanen, 2018; Veromann ve ark., 2012). İlkbaharda erginler beslenme, çiftleşme ve yumurta bırakmaya elverişli konukçulara doğru uçar. Yumurta bırakmak için özellikle kolza olmak üzere *Brassica* türlerini seçen polen böcekleri, diğer turpgillerin tomurcuklarını da ziyaret ederek yumurtalarını bunların içine bırakır (Hervé ve Cortesero, 2016; Veromann ve ark., 2012; Vinatier ve ark., 2012). Erginler kapalı tomurcuğu bütünüyle tahrip edebilir veya açılmış çiçeklerin polenleriyle beslenebilir. Kapalı tomurcuklarda beslenmeleri, açık çiçeklerdeki beslenmeye göre daha ağır zarara yol açar (Hervé ve Cortesero, 2016).

Çiçeklenme süresi, yan gövde oluşumu, yan dal sayısı ve bitkinin gelişme evresi, böcek popülasyon yoğunluğunu etkileyen etmenler arasındadır. Kolzanın gelişme dönemindeki farklılıkların yanı sıra tarladaki böceklerin eşey oranı da popülasyon yoğunluğuna katkıda bulunmaktadır (Petraitienė ve ark., 2008). Yumurtalar yalnızca tomurcukları en az 3 mm uzunluğa erişmiş Brassicaceae familyası bitkilerinin tomurcuklarına bırakılır. Yumurtadan çıkan larvalar iki gelişme dönemi geçirir. Birinci dönemdekiler çoğunlukla kapalı tomurcukların içinde, ikinci dönemdekiler ise hem tomurcuklarda hem de açık çiçeklerde beslenir. Ardından bitkiden ayrılıp toprakta pupa olurlar (Edde, 2022).

Sıcaklığın etkisine bağlı olarak yumurtadan yeni ergine kadar geçen gelişme süresi yaklaşık bir aydır; yeni erginler yaz ortasından başlayarak tarlada görülür. Erginler, ortaya çıkışları ile kışlamaya geçişleri arasındaki dönemde hem ilkbaharlık kolza hem de farklı bitki türlerinin çiçekleri üzerinde beslenir (Alford, 2003; Shahzad ve ark., 2026).

### *Ceutorhynchus picitarsis* (Gyllenhal, 1837) (Coleoptera: Curculionidae)

Yağlık kolza ekilişlerinde kışlık kolza sap hortumlu böceği *C. picitarsis*'e (Gyllenhal) daha seyrek rastlanır. Sonbaharda sağlıklı görünen ekilişlerde, ilkbahar vejetasyonu başlarken gelişmesi zayıf ve şekli bozulmuş kolza bitkilerinin ortaya çıkması, zararlının tarladaki varlığına ve zararına işaret eder (Keszthelyi ve ark., 2025). Larvalar kolza gövdesi ya da kök boğazı içinde galeriler meydana getirir. Galerilerin içinde beslenen larvalar bu süreçte konukçunun zayıflamasına veya ölmesine neden olur (Dieckmann, 1972). Erginler yapraklarla beslense de bitkide oluşturdukları zarar önemsiz düzeyde kalır (Dosse, 1953).

*C. picitarsis*, 'soğuk mevsim türü' ya da 'soğukta üreyen tür' şeklinde tanımlanır; başka bir deyişle üremesini soğuk dönemde gerçekleştirir, sıcak dönemi ise yazlamada geçirir. Dişiler kar ve don dönemleri dışında, eylül sonundan mart sonuna dek sonbahar ve kış boyunca yumurta bırakır. Bir ila on iki yumurtalık kümeler, konukçu bitkilerin yaprak sapı tabanına (Dosse, 1953; Scherf, 1964) veya yaprak damarlarına (Büchi, 1986) yerleştirilir. Kış ve ilkbahar boyunca gelişen larvalar, yumurtaların iki ila üç haftada açılmasının ardından üç gelişme dönemi geçirir (Scherf, 1964). Gelişme sırasında konukçunun yaprak sapı ve/veya damarı içerisinde galeriler açarak beslenir, sonrasında toprakta pupa olurlar. Sekiz ila on sekiz gün süren pupa evresini takiben (Scherf, 1964) ilk erginler mayıs sonundan başlayarak görülür. Çevreye dağılan erginler önce orman kenarlarındaki ölü örtüde yazlama dönemine girer. Eylülden itibaren ikinci göç başlar ve böcekler yazlama alanlarını terk ederek daha açık yerlerdeki konukçu bitkilere yönelir (Büchi, 1986; Colijn ve Heijerman, 2015). Böylece yaşam döngüsü yeniden başlatılır.

*C. picitarsis* dona yüksek dayanıklılık göstermez. Yumurtalar dona bir ölçüde dayanabilirken larvalar daha duyarlıdır. -10 °C'de yumurtaların %90'ı sağlığını korur, buna karşılık larvaların %50'si yedi gün içinde ölür. Sıcaklık -18 °C'nin altına indiğinde hem yumurtaların hem de larvaların %100'ü yedi gün içerisinde yaşamını yitirir (Büchi, 1986). Erginlerin de dona duyarlı olduğu düşünülmektedir ve kar ya da don görülen zamanlarda yumurta bırakılmaz. Soğuk mevsimde üreyen türlerde belirli bir don toleransı beklenmekle birlikte, aynı gruptaki çeşitli kısa kanatlı böceklerin dona tolerans göstermediği ve aşırı soğumaya ancak sınırlı ölçüde dayanabildiği belirlenmiştir (Topp, 1978). Tür

sonbaharda çiftleşir ve koşullar elverişli olduğunda yumurtalarının bir kısmını bu dönemde bırakabilir (Dieckmann, 1972); ancak yumurtaların çoğu ilkbahar başında bırakılır (Colijn ve Heijerman, 2015).

## KAYNAKÇA

Alford, D.V., 2003. Biocontrol of oilseed rape pests. Oxf. Blackwell Sci. www.blackw ellpubl.

Anonim, 2026a. *Brevicoryne brassicae* (Mealy cabbage aphid): Identification, images, ecology, control. InfluentialPoints. (Erişim linki: https://influentialpoints.com/Gallery/Brevicoryne_brassicae_Mealy_cabbage_aphid.htm) (Erişim tarihi: 08.08.2026).

Aquilia, S.; Bello, C.; Pinna, M.; Bianchi, S.; Giurlani, W.; Ciardelli, F.; Rosi, L.; Papini, A.M. Incorporation of Protein Hydrolysate into Rapeseed Meal-Based Materials to Improve Flexibility. Polymers 2025, 17, 1740.

Audisio P, Jelínek J, Mariotti A, De Biase A. The Coleoptera Nitidulidae and Kateretidae from Anatolian, Caucasian and Middle East regions. Biogeographia. 2000;21:241-354.

Ayalew G, Ogol CKPO (2006) Occurrence of the diamondback moth (*Plutella xylostella* L.) and its parasitoids in Ethiopia: influence of geographical region and agronomic traits. J Appl Entomol 130:343–348.

Blackman, R. L. ve V. F. Eastop, 2026. Aphids on the world's plants an online ıdentification and ınformation guide. (Web page: http://www.aphidsonworldsplants.info/) (Date accessed: 08.08.2026).

Büchi R 1986. Biologie und Bekämpfung des Schwarzen Triebrüßlers, Ceutorhynchus picitarsis Gyll. (Col., Curculionidae). Anzeiger für Schädlingskunde 59: 51-56.

Capinera, J. L. 2001. Handbook of Vegetable Pests. Academic, New York, NY, p. 729.

Colijn, E. O., and Heijerman, T. (2015). Recente waarnemingen van *Ceutorhynchus picitarsis* in Nederland (Coleoptera: Curculionidae). *Entomologische Berichten, 75*(4), 142–146.

Coston DJ, Clark SJ, Breeze TD, Field LM, Potts SG and Cook SM, (2024). Quan-tifying the impact of Psylliodes chrysocephala injury on the produc-tivity of oilseed rape. Pest Manag Sci 80:2383–2392

Dewanda, P. (2021). An overview on the life cycle of Plutella xylostella (Lepidoptera: Plutellidae) with special reference Brassica oleraceae var. botrytis. International Journal of Multidisciplinary Research in Science, Engineering, Technology & Management, 8(8), 252–256.

Dieckmann L 1972. Beiträge zur Insektenfauna der DDR: Coleoptera - Curculionidae: Ceutorhynchinae. Beiträge zur Entomologie 22: 3-128.

Dosse G 1953. Zur Biologie und Morphologie des Schwarzen Triebrüßlers Ceuthorrhynchus picitarsis Gyll., mit differentialdiagnostischen Angaben zur Unterscheidung der Larven von Ceuthorrhynchus napi Gyll., C. quadridens Panz. und C. picitarsis Gyll. Journal of Applied Entomology 34: 303-312Edde, P.A., 2022. Arthropod pests of rapeseed (canola) (*Brassica napus* L.). Field crop Arthropod pests of economic importance. Acad. Press 140–207. https://doi.org/ 10.1016/B978-0-12-818621-3.0000.

Foreign Agricultural Service. Oilseeds: World Markets and Trade, December 2025. Washington, DC: United States Department of Agriculture; 2025 [erişim tarihi: 3 Ağustos 2026]. Erişim adresi: https://www.fas.usda.gov/data/oilseeds-world-markets-and-trade-12092025.

Harcourt, D. G. 1957. Biology of the diamondback moth, *Plutella maculipennis* (Curt.) (Lepidoptera: Plutellidae), in eastern Ontario. II. Life-history, behavior, and host relationships. Can. Entomol. 89: 554 –564

Herv´e, M.R., Cortesero, A.M., 2016. Potential for oilseed rape resistance in pollen beetle control. Arthropod. Plant Interact. 10 (6), 463–475. https://doi.org/10.1007/ s11829-016-9438-8.

Hill, D. S. (1975). Insect Pests of the Tropics and their Control. Cambridge University press. Cambridge.

Hillyer, R. J., and A. J. Thorsteinson. 1971. Influence of the host plant or males on programming of oviposition in the diamondback moth (*Plutella maculipennis* (Curt.) (Lepidoptera: Plutellidae). Can. J. Zool. 49: 983–990.

Hokkanen, H.M.T., Menzler-Hokkanen, I., 2018. Developing ecostacking techniques for pollen beetle management in oilseed rape. Arthropod. Plant Interact. 12 (6), 767–777. https://doi.org/10.1007/s11829-018-9650-9.

Keszthelyi, S., Gerbovits, B., Donkó, T., Csóka, Á., Balog, A., and Somfalvi-Tóth, K. (2025). Comparative analysis of hidden damage caused by the stem borer *Ceutorhynchus* species in oilseed rape using computer

tomography. *Agricultural and Forest Entomology, 27*(3), 369–376. https://doi.org/10.1111/afe.12669

Lasota, J. A., and L. T. Kok. 1989. Seasonal abundance of imported cabbageworm (Lepidoptera: Pieridae), cabbage looper (Lepidoptera: Noctuidae), and the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) on cabbage in Southwestern Virginia. J. Econ. Entomol. 82: 811– 818.

Liu, S. S., F. Z. Chen, and M. P. Zalucki. 2002. Development and survival of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae), at constant and alternating temperatures. Environ. Entomol. 31: 1–12.

Magnin, L., Jullien, A., Baux, A., Barbu, C. and Hiltpold, I. (2026). Field investigation of glucosinolates and morphological traits in mitigating Psylliodes chrysocephala larval infestation through crop varieties and companion planting. Pest Management Science. Advance online publication. https://doi.org/10.1002/ps.70509

Mohan M and Gujar GT (2003) Local variation in susceptibility of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Linnaeus) to insecticides and detoxification enzymes. Crop Prot 22:495–504

Mohan M, Sushil SN, Selvakumar G, Bhatt JC, Gujarb GT, Gupta HS (2009) Differential toxicity of *Bacillus thuringiensis* strains and their crystal toxins against high-altitude Himalayan populations of diamondback moth, *Plutella xylostella* L. Pest Manag Sci 65:27–33.

Nayar, J. K., and A. J. Thorsteinson. 1963. Further investigation into the chemical basis of insect host plant relationship in an oligophagous insect (*Plutella maculipennis* (Curt.) Lepidoptera: Plutellidae). Can. J. Zool. 41: 923–929.

Nilsson C, (1990).Yield losses in winter rape caused by cabbage stem flea beetle larvae (Psylliodes chrysocephala (L.)). IOBCwprs Bull 13:53–56

Ortega-Ramos P.A., Coston D.J., Seimandi-Corda G., Mauchline A.L. and Cook S.M., (2021). Integrated pest management strategies for cabbage stem flea beetle (*Psylliodes chrysocephala*) in oilseed rape. GCB Bioenergy14:267–286

Ortega-Ramos, P. A., Coston, D. J., Seimandi-Corda, G., Mauchline, A. L. and Cook, S. M. (2022). Integrated pest management strategies for cabbage stem flea beetle (Psylliodes chrysocephala) in oilseed rape. GCB Bioenergy, 14, 267–286. https://doi.org/10.1111/gcbb.12918

Pal, M. and Singh, R. (2013). Biology and ecology of the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (Linn.) (Homoptera: Aphididae): A review. Journal of Aphidology, 27, 59–78.

Petraitiene, E., Brazauskiene, I., Smatas, R. and Makunas, V., 2008. The spread of pollen beetles (Meligethes aeneus) is spring oilseed rape (Brassica napus) and the efficacy of pyrethroids. Zemdirb-Agric. 95 (3), 344–352.

Philips, C. R., Fu, Z., Kuhar, T. P., Shelton, A. M. and Cordero, R. J. (2014). Natural history, ecology, and management of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae), with emphasis on the United States. *Journal of Integrated Pest Management, 5*(3). https://doi.org/10.1603/IPM14012.

Quan, X.; Wang, X.; Chen, C.; Ma, T.; Wang, D.; Zhang, Y. and Liu, J. A comparative evaluation of using bio- and petroleum-based rejuvenators in aged asphalt rejuvenation: Rheological performance, microscopic properties, and life cycle assessments. Constr. Build. Mater. 2025, 492, 142866.

Scherf H 1964. Die Entwicklungsstadien der mitteleuropäischen Curculioniden (Morphologie, Bionomie, Ökologie). Abhandlungen der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft 506: 1-335.

Shahzad, A., Diederichsen, E., Austel, N., Meiners, T., and Mason, A. S. (2026). Managing pollen beetle (*Brassicogethes aeneus*) in rapeseed (*Brassica napus* L.): From biological interactions to integrated control and resistance breeding. *Plant Stress, 22*, 101481. https://doi.org/10.1016/j.stress.2026.101481

Shahzad, A., Ullah, S., Afzal, Dar, A., Fahad Sardar, M., Mehmood, T., Tufail, M.A., Shakoor, A. and Haris, M., 2021. Nexus on climate change: agriculture and possible solution to cope future climate change stresses. Environ. Sci. Pollut. Res. 28, 14211–14232. https://doi.org/10.1007/s11356-021-12649-8.

Talekar N.S. and Shelton A.M., (1993) Biology, ecology, and management of the diamondback moth. Annu Rev Entomol 38:275–301.

Türkiye İstatistik Kurumu. Bitkisel Üretim İstatistikleri, 2025. Ankara: T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı; 2025 [erişim tarihi: 3 Ağustos 2026]. Erişim adresi: https://istatistik.tarimorman.gov.tr/Sayfa/Detay/2197

Veromann, E., Metspalu, L., Williams, I.H., Hiiesaar, K., Mand, M., Kaasik, R., Kov´ acs, G., Jogar, K., Svilponis, E., Kivimagi, I., Ploomi, A. and Luik, A., 2012. Relative attractiveness of *Brassica napus, Brassica nigra, Eruca sativa* and *Raphanus sativus* for pollen beetle (*Meligethes aeneus*) and their potential for use in trap cropping. Arthropod. Plant Interact. 6 (3), 385–394. https://doi.org/10.1007/s11829-012- 9191-6.

Vinatier, F., Gosme, M. and Valantin-Morison, M., 2012. A tool for testing integrated pest management strategies on a tritrophic system involving pollen beetle, its parasitoid and oilseed rape at the landscape scale. Landsc. Ecol. 27 (10), 1421–1433. https:// doi.org/10.1007/s10980-012-9795-3.

Wilkinson T.D., Coston D.J., Berry P.M., Pickering F., White S. and Kendall S.L., (2024).Modelling the impact of cabbage stem flea beetle larval feeding onoilseed rape lodging risk. Pest Manag Sci 80:3763–3775

Williams IH, (2010).The major insect pests of oilseed rape in Europe and theirmanagement: an overview, in Biocontrol-Based Integrated Management of Oilseed Rape Pests, ed. by Williams IH. SpringerNetherlands, Dordrecht, pp. 1–43

Williams, I. H. (2010a). Biocontrol-based integrated management of oilseed rape pests. Biocontrol-Based Integrated Management of Oilseed Rape Pests. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3983-5

Witaszek, K.; Kupryaniuk, K.; Kupryaniuk, J.; Panasiewicz, J. and Czekala, W. Optimization of Straw Particle Size for Enhanced Biogas Production: A Comparative Study of Wheat and Rapeseed Straw. Energies 2025, 18, 1794.

Yılmaz, G. (2011). Erzurum ili Nıtıdulıdae (Coleoptera) Türleri Üzerinde Faunistik Çalışmalar. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 53 s.

Zheng, X., Koopmann, B., Ulber, B. and Tiedemann, A. V. (2020). A global survey on diseases and pests in oilseed rape—Current challenges and innovative strategies of control. Frontiers in Agronomy, 2(October), 1–15. https://doi.org/10.3389/ fagro.2020.590908.

Zhou, M.; Deng, W.; Dai, B.; Yu, Q.; Zhou, W.; Zan, X. and Song, X. Mechanisms of Silique Dehiscence in Rapeseed: A Review of Research

Progress. Curr. Issues Mol. Biol. 2025, 47, 755. https://doi.org/10.3390/cimb47090755.

# BÖLÜM 7

## OSMANİYE İLİ SÜT ÜRETİMİNİN BOX-JENKİNS (ARIMA) YAKLAŞIMIYLA MODELLENMESİ VE ÖNGÖRÜLMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Erhan KARAHAN[1]
Hüseyin USLU[2]

DOI: https://www.doi.org/10.5281/zenodo.23259955

[1] Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, Iğdır/Türkiye. erhan.karahan@gmail.com, orcid id: 0000-0001-6252-0640.
[2] Iğdır Üniversitesi, LEE, Zootekni ABD., Iğdır,/Türkiye. h.uslu80@hotmail.com, orcid id: 0000-0002-2642-1175.

## 1. GİRİŞ

Süt üretimi, hayvancılık sektörünün temel faaliyet alanlarından biri olmasının yanı sıra, toplumların yeterli ve dengeli beslenmesi, gıda arz güvenliğinin sağlanması ve kırsal ekonomik faaliyetlerin sürdürülebilirliği açısından stratejik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda süt ve süt ürünleri, sahip oldukları besin öğeleri bakımından dengeli beslenmenin önemli bileşenlerinden biri olarak öne çıkmakta ve toplumların gıda arzı içerisinde önemli bir yer tutmaktadır (MacDonald vd., 2011; Kayışoğlu ve İçöz, 2012; Örmeci Kart ve Demircan, 2014). Bu durum, vücudun günlük gereksinimi olan besin öğelerinin yeterli ve dengeli miktarlarda alınmasıyla mümkün olabilmektedir. Günlük beslenmede önemli bir yere sahip olan süt ve süt ürünleri; protein, kalsiyum, fosfor, $B_2$ vitamini ve $B_{12}$ vitamini başta olmak üzere çeşitli besin öğelerini içermeleri bakımından önemli bir besin kaynağı niteliğindedir (Ünal ve Besler, 2008). İnek sütü, dünya genelinde insan beslenmesinde önemli bir yere sahip, yüksek besin değerine sahip bir ürün olarak kabul edilmektedir (Gu, Liang, Zhu, Liu & Sun, 2021). Murphy vd. (2017)'e göre süt, çoğu zaman mükemmel gıda olarak nitelendirilmektedir. Sütün beslenme açısından taşıdığı önem, başta protein olmak üzere insan sağlığı açısından gerekli olan çeşitli besin ögelerini içermesinden kaynaklanmaktadır. İnsanların günlük protein gereksiniminin, vücut ağırlığının her bir kilogramı başına yaklaşık 1 gram olduğu ve söz konusu gereksinimin yaklaşık %42'sinin hayvansal kaynaklı proteinlerden karşılanması gerektiği ifade edilmektedir (Saçlı, 2007: 2). Hayvansal kaynaklı besinler arasında önemli bir yere sahip olan süt ise içerdiği yüksek biyolojik değerli protein nedeniyle beslenme açısından önemli bir gıda maddesi niteliğindedir. Sütün bileşiminde protein oranı yaklaşık %3-4 düzeyinde bulunmaktadır (Kutlu, Gül & Görgülü, 2003: 7). Sütün doğrudan tüketiminin yanı sıra peynir, yoğurt, tereyağı ve diğer süt ürünlerinin üretiminde temel bir hammadde olarak kullanılması, süt üretimini tarımsal üretim sistemi içerisinde önemli bir konuma taşımaktadır. Bu yönüyle süt üretimi, yalnızca hayvansal bir ürünün elde edilmesini değil, aynı zamanda tarımsal üretim, gıda sanayisi, istihdam ve kırsal gelir kaynakları arasında birbirini tamamlayan ekonomik ilişkilerin sürdürülmesini sağlamaktadır. Özellikle küçük ve orta ölçekli hayvancılık işletmeleri açısından süt üretimi, düzenli gelir sağlayan önemli bir üretim faaliyeti niteliği taşımakta ve kırsal nüfusun ekonomik faaliyetlerinin devamlılığına katkıda bulunmaktadır. Bununla birlikte süt üretiminin düzeyi;

hayvan varlığı ve bileşimi, hayvan başına süt verimi, yem ve diğer girdi maliyetleri, üretici fiyatları, işletmelerin üretim ölçeği, hayvan sağlığı, iklim ve çevre koşulları, teknolojik gelişmeler ve tarımsal destekleme politikaları gibi çok sayıda ekonomik, teknik ve çevresel faktörün etkisi altında şekillenmektedir. Söz konusu faktörlerde meydana gelen değişimler, süt üretiminin miktarı ve üretim maliyetleri üzerinde doğrudan veya dolaylı etkiler oluşturabilmektedir. Bu nedenle süt üretiminin yalnızca mevcut düzeyi itibarıyla değil, zaman içerisindeki gelişimi ve gelecekte gösterebileceği değişimler açısından da değerlendirilmesi gerekmektedir. Geçmiş dönemlerdeki üretim eğilimlerinin ortaya konulması, üretim yapısındaki değişimlerin anlaşılmasına ve sektördeki gelişmelerin daha sağlıklı biçimde değerlendirilmesine katkı sağlarken, gelecekteki üretim düzeylerinin öngörülmesi ise üretim kaynaklarının etkin kullanımının sağlanması, sektörel planlamanın geliştirilmesi ve politika oluşturma süreçlerinin desteklenmesi bakımından önem taşımaktadır.

Artan nüfus, kentleşme, gelir düzeyindeki değişimler ve tüketicilerin beslenme tercihlerinde meydana gelen dönüşümler, hayvansal kaynaklı gıdalara ve dolayısıyla süt ve süt ürünlerine yönelik talebin zaman içerisinde değişmesine neden olmaktadır (Gerosa & Skoet, 2012; Küçükoflaz, Ayyıldız Akın, Zaman, Aydın & Sarıözkan, 2024). Süt ve süt ürünlerine yönelik talepte meydana gelen değişimlerin karşılanabilmesi ise üretim kapasitesinin sürdürülebilir biçimde geliştirilmesini ve arzın sürekliliğinin sağlanmasını gerekli kılmaktadır. Bu noktada süt üretiminde meydana gelebilecek artış ve azalışların önceden öngörülebilmesi, üreticilerin üretim kararlarının desteklenmesi ve sektörde ortaya çıkabilecek arz açıklarının veya arz fazlalarının daha etkin biçimde yönetilmesi açısından önem taşımaktadır. Özellikle tarımsal üretimin iklim koşulları, yem fiyatları, enerji ve girdi maliyetleri, üretici fiyatları, piyasa koşulları ve kamu politikaları gibi çok sayıda değişkenden etkilenmesi, üretim miktarlarının yıllar itibarıyla farklılaşmasına ve belirli dönemlerde dalgalanmasına neden olabilmektedir (Gerosa ve Skoet, 2012). Bu durum, süt üretiminin gelecekteki seyrinin yalnızca mevcut üretim düzeyine bakılarak değerlendirilmesini yetersiz hale getirmekte ve geçmiş dönem üretim hareketlerinin incelenmesini gerekli kılmaktadır. Geçmiş dönem verilerinden yararlanılarak üretim eğilimlerinin ortaya konulması ve gelecekteki olası değişimlerin tahmin edilmesi, üretim

planlamasının daha gerçekçi temellere dayandırılmasına olanak sağlayabilecektir. Bu kapsamda gerçekleştirilecek üretim tahminleri; üreticilerin üretim kapasitelerini değerlendirmelerine, kaynak kullanımını planlamalarına ve yatırım kararlarını şekillendirmelerine katkı sağlayabileceği gibi, kamu kurumlarının tarımsal destekleme, hayvancılık politikaları ve gıda arz güvenliğine yönelik karar alma süreçlerine de bilgi sağlayabilecektir. Ayrıca üretim miktarındaki geleceğe yönelik değişimlerin belirlenmesi, süt işleme sanayisinin hammadde ihtiyacının planlanması ve süt arzının sürekliliğinin değerlendirilmesi açısından da önem taşımaktadır. Dolayısıyla süt üretiminin geçmiş dönem gelişiminin incelenmesi ve gelecekteki üretim eğilimlerinin ortaya konulması, hem üretici hem de sektörün diğer paydaşları açısından önemli bir planlama ve karar destek unsuru olarak değerlendirilmektedir.

Süt üretiminin gelecekteki eğilimlerinin belirlenmesine yönelik uluslararası literatür incelendiğinde, özellikle Box-Jenkins yaklaşımına dayalı ARIMA modellerinin yaygın biçimde kullanıldığı görülmektedir. Örneğin Ahmed vd. (2011), Sánchez vd. (2014), Deshmukh ve Paramasivam (2016), Uddin vd. (2020), Mishra vd. (2020a, b), Taye vd. (2021), Subbanna vd. (2021), Mishra vd. (2022), Yonar vd. (2022), Badr vd. (2022), Waiswa (2023), Vishnu Shankar vd. (2023), Priya ve Naranammal (2024), Mezouaghi ve Lakehal (2024) ve Omar vd. (2024) tarafından gerçekleştirilen çalışmalar, farklı ülkelerde süt üretim miktarlarının tahmin edilmesinde ARIMA ve benzeri zaman serisi modellerinden yararlanıldığını göstermektedir. Söz konusu çalışmaların ortak yönü, süt üretim serilerinin geçmiş dönem davranışlarını dikkate alarak serinin durağanlık ve otokorelasyon özelliklerini belirlemek ve uygun model spesifikasyonu aracılığıyla gelecekteki üretim düzeylerine ilişkin öngörüler elde etmektir. Elde edilen bulgular, ARIMA modellerinin süt üretim serilerinin dinamik yapısının modellenmesinde ve kısa dönemli üretim tahminlerinin oluşturulmasında kullanılabilecek uygun yöntemler arasında yer aldığını ortaya koymaktadır.

Türkiye açısından değerlendirildiğinde ise süt üretiminin tahminine yönelik çalışmaların uluslararası literatüre kıyasla daha sınırlı olduğu görülmektedir. Türkiye'de gerçekleştirilen çalışmaların bir bölümünde süt fiyatlarının tahmini, belirli bölgelerdeki süt üretim eğilimlerinin incelenmesi veya farklı zaman serisi yöntemlerinin tahmin performanslarının

karşılaştırılması üzerinde durulmuştur. Örneğin Yıldırım ve Altunç (2020), Eştürk (2021), Yonar vd. (2022) ve Doğar vd. (2024) tarafından gerçekleştirilen çalışmalar, Türkiye'de süt üretimi ve süt sektörüne ilişkin tahmin çalışmalarına önemli katkılar sunmaktadır. Bununla birlikte, özellikle il düzeyinde uzun dönemli yıllık süt üretim serilerinin Box-Jenkins yaklaşımı çerçevesinde ele alınarak gelecekteki üretim miktarlarının tahmin edilmesine yönelik çalışmaların sınırlı olması dikkat çekmektedir. Bu durum, Türkiye'nin farklı illerindeki süt üretim dinamiklerinin ayrı ayrı incelenmesini ve bölgesel üretim eğilimlerinin nicel yöntemlerle ortaya konulmasını gerekli kılmaktadır.

İl düzeyinde üretim tahminlerinin gerçekleştirilmesi, ulusal düzeydeki genel eğilimlerin ötesinde bölgesel üretim kapasitesinin ve üretim dinamiklerinin değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Nitekim Türkiye'de tarımsal üretimin bölgesel olarak farklılaşması; hayvan varlığı, doğal koşullar, işletme yapısı, yem kaynaklarına erişim ve üretim maliyetleri bakımından iller ve bölgeler arasında önemli farklılıkların ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Akbay vd., 2023; Semerci vd., 2014). Bu nedenle ulusal düzeyde elde edilen üretim eğilimlerinin doğrudan il düzeyine aktarılması yerine, her ilin kendi üretim geçmişinin dikkate alınması daha sağlıklı tahmin sonuçlarının elde edilmesine katkı sağlayabilir. Özellikle üretim miktarında yıllar itibarıyla dalgalanmaların görüldüğü illerde, geçmiş dönem gözlemlerinin içerdiği dinamik bilgiden yararlanılması gelecekteki üretim düzeylerinin öngörülmesi açısından önem taşımaktadır. Bu kapsamda Osmaniye ili, süt üretiminin geçmiş dönem gelişiminin ve gelecekteki olası seyrinin incelenmesi bakımından araştırmaya değer bir örnek oluşturmaktadır. Osmaniye'ye ilişkin inek sütü üretim miktarlarının yıllar itibarıyla değişim göstermesi, üretim serisinin sahip olduğu zaman bağımlılığının ve dinamik yapının ekonometrik yöntemlerle incelenmesini gerekli kılmaktadır. Özellikle il düzeyinde üretim planlamasının yapılabilmesi, mevcut üretim kapasitesinin değerlendirilmesi ve gelecekte oluşabilecek üretim değişimlerine yönelik öngörülerin geliştirilmesi açısından güvenilir tahminlere ihtiyaç bulunmaktadır. Bu noktada geçmiş dönem üretim verilerinden yararlanan Box–Jenkins yaklaşımı, serinin kendi geçmiş değerleri ve geçmiş dönem hata bileşenlerinden hareketle gelecekteki üretim değerlerinin tahmin edilmesine imkân sağlamaktadır. Dolayısıyla, ARIMA modellerinin, zaman içerisinde süreklilik ve geçmiş dönem gözlemleriyle bağımlılık gösteren süt üretimi gibi tarımsal üretim serilerinin modellenmesi ve geleceğe yönelik

tahmin edilmesinde işlevsel bir yöntem olduğu söylenebilir. Bu bağlamda, Osmaniye ili özelinde inek sütü üretiminin uzun dönemli yıllık serisini Box–Jenkins ARIMA yaklaşımı çerçevesinde ele alan ve gelecekteki üretim miktarlarını tahmin eden bir çalışmanın bulunmaması, araştırmanın temel hareket noktasını oluşturmaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, Osmaniye ili inek sütü üretiminin gelecekteki seyrini belirlemek amacıyla 1997-2025 dönemine ait yıllık veriler kullanılarak Box-Jenkins yaklaşımına dayalı ARIMA modeli oluşturulması ve elde edilen model doğrultusunda 2026-2030 dönemine ilişkin üretim öngörülerinin gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Çalışma temel olarak 6 bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünü takip eden ikinci bölümde; Osmaniye ili inek sütü üretiminin Türkiye içindeki yeri ve yıllara göre değişimi ele alınacak, üçüncü bölümde; süt üretiminin tahminine yönelik ulusal ve uluslararası ampirik literatür incelenecek, dördüncü bölümde; araştırmada kullanılacak veri seti ve yöntem açıklanacak; bu kapsamda Box-Jenkins yöntemi ve ARIMA modellerinin teorik çerçevesine yer verilecek, beşinci bölümde; Osmaniye ili inek sütü üretim serisine ilişkin gerçekleştirilecek ampirik analizlerden elde edilen bulgular sunulacak ve altıncı bölüm olan sonuç ve değerlendirme bölümünde ise çalışmanın temel bulguları genel olarak değerlendirilecek ve araştırmadan elde edilen bulgular literatürdeki çalışmalar çerçevesinde değerlendirilerek çalışma tamamlanacaktır.

Bu yönüyle çalışma, Türkiye'de süt üretiminin tahminine yönelik mevcut literatüre il düzeyinde bir uygulama kazandırmakta ve Osmaniye ili inek sütü üretiminin 1997-2025 dönemindeki gelişimini Box-Jenkins ARIMA yaklaşımı çerçevesinde ele alarak 2026-2030 dönemine ilişkin üretim öngörüleri sunmaktadır. Çalışma, il düzeyinde süt üretiminin gelecekteki seyrine ilişkin ampirik kanıt ortaya koyarak bölgesel üretim tahminlerine yönelik literatüre katkı sağlamakta; elde edilen öngörülerin ise üretim planlaması, kaynakların etkin kullanımı ve sektörel karar alma süreçlerinde yararlanılabilecek nitelikte bir referans oluşturduğu değerlendirilmektedir.

## 2. OSMANİYE İLİ İNEK SÜTÜ ÜRETİMİNİN TÜRKİYE İÇİNDEKİ YERİ VE YILLARA GÖRE DEĞİŞİMİ

Tablo 1'de 1997-2025 yılları arasında Türkiye ve Osmaniye'de gerçekleştirilen inek sütü üretim miktarları ile Osmaniye'nin Türkiye toplam

inek sütü üretimi içerisindeki payı gösterilmiştir. Tabloda yer alan verilere bakıldığında, Türkiye ve Osmaniye düzeyindeki üretim dinamiklerinin yıllar itibarıyla farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu kapsamda, Osmaniye'nin Türkiye toplam inek sütü üretimi içerisindeki konumunun yıllar itibarıyla nasıl değiştiği ve il üretiminin ulusal üretim içerisindeki payının zaman içerisindeki seyri değerlendirilebilmektedir. Türkiye genelinde inek sütü üretimi uzun dönemli perspektifte belirgin bir artış eğilimi sergilerken, Osmaniye'de üretim daha dalgalı bir yapı göstermektedir. Buna bağlı olarak Osmaniye'nin Türkiye toplam üretimindeki göreli ağırlığında da dönemsel değişimler meydana gelmiştir. 1997 yılında Türkiye'de inek sütü üretimi 8.914.177 ton olarak gerçekleşirken Osmaniye'nin üretimi 74.117 ton düzeyinde kalmıştır. Bu üretim miktarı, Osmaniye'nin Türkiye toplamındaki payının %0,83 olmasına karşılık gelmektedir. 1998 yılında Türkiye üretimi 8.832.059 tona gerilemesine rağmen Osmaniye'de üretim 83.896 tona yükselmiş ve ilin Türkiye toplamındaki payı %0,94'e ulaşmıştır. Bu gelişme, Osmaniye'deki üretim artışının ilgili yılda Türkiye genelindeki üretim değişimine kıyasla daha yüksek gerçekleştiğini göstermektedir. 1999 yılında Türkiye üretimi 8.965.489 tona yükselirken Osmaniye üretiminin 82.489 tona gerilemesi sonucunda ilin toplam içindeki payı %0,92 seviyesine düşmüştür. 2000 yılında Türkiye inek sütü üretimi 8.732.041 tona gerilerken Osmaniye üretimi 101.081 tona yükselmiştir. Bu iki değişken arasındaki farklı yönlü hareket sonucunda Osmaniye'nin Türkiye toplamındaki payı %1,15'ye ulaşmıştır. Söz konusu değer, incelenen dönem içerisinde Osmaniye'nin Türkiye üretimindeki en yüksek payını ifade etmektedir. 2001 yılında Türkiye üretimi 8.489.082 tona, Osmaniye üretimi ise 93.116 tona gerilemiş; buna karşın Osmaniye'nin Türkiye toplamındaki payı %1,09 düzeyinde gerçekleşmiştir. 2002 yılında Türkiye üretimi 7.490.634 tona kadar gerilerken Osmaniye üretimi 84.799 ton olmuştur. Türkiye üretimindeki gerilemenin Osmaniye'deki gerilemeden daha yüksek olması sonucunda Osmaniye'nin toplam içindeki payı %1,13'ye yükselmiştir. Bu durum, bir ilin üretim miktarındaki azalışın, ulusal üretimdeki azalıştan daha sınırlı olması hâlinde söz konusu ilin toplam içerisindeki payının artabileceğini göstermektedir. 2003 yılında Türkiye inek sütü üretimi 9.514.138 tona yükselirken Osmaniye üretimi 84.554 ton olarak gerçekleşmiştir. Türkiye üretimindeki belirgin artışa karşılık Osmaniye üretiminin yatay seyretmesi sonucunda ilin toplam üretimdeki payı

%0,88'e gerilemiştir. 2004 yılında Türkiye üretimi 9.609.326 tona, Osmaniye üretimi ise 87.333 tona yükselmiş ve Osmaniye'nin payı %0,90 olarak hesaplanmıştır. 2005 yılında Türkiye üretimi 10.026.202 tona yükselirken Osmaniye üretimi 85.882 tona gerilemiş, bunun sonucunda Osmaniye'nin Türkiye toplamındaki payı %0,85 seviyesine düşmüştür. 2006 yılında Türkiye'de inek sütü üretimi 10.867.302 tona ulaşırken Osmaniye üretimi 79.951 ton olarak gerçekleşmiştir. Osmaniye'nin Türkiye üretimindeki payı bu yılda %0,73'ye gerilemiştir. Böylece 2000 yılında %1,157587 düzeyinde bulunan payın altı yıllık süreç içerisinde yaklaşık 0,42 puan azaldığı görülmektedir. 2007 yılında Türkiye üretimi 11.279.339 tona yükselmiş, Osmaniye üretimi ise 94.556 tona ulaşmıştır. Osmaniye'nin Türkiye toplamındaki payı %0,83 olarak gerçekleşmiştir. 2008 yılında Türkiye üretimi 11.255.176 ton, Osmaniye üretimi 91.119 ton olmuş ve pay %0,80 seviyesine gerilemiştir. 2009 yılında Türkiye üretiminin 11.583.313 tona yükselmesine karşın Osmaniye üretiminin 88.839 tona düşmesi, ilin toplam içindeki payının %0,76 seviyesine gerilemesine neden olmuştur. 2010 yılında Türkiye üretimi 12.418.544 tona yükselirken Osmaniye üretimi 94.423 ton olarak gerçekleşmiş ve Osmaniye'nin payı %0,76 olmuştur.

**Tablo 1:** Osmaniye İli İnek Sütü Üretiminin Türkiye İçindeki Yıllara Göre Değişimi

| Yıllar | Türkiye İnek Sütü Üretimi (Ton) | Osmaniye İli İnek Sütü Üretimi (Ton) | Osmaniye'nin Türkiye İnek Sütü Üretimindeki Payı (%) |
|---|---|---|---|
| 1997 | 8.914.177 | 74.117 | 0,831 |
| 1998 | 8.832.059 | 83.896 | 0,949 |
| 1999 | 8.965.489 | 82.489 | 0,920 |
| 2000 | 8.732.041 | 101.081 | 1,157 |
| 2001 | 8.489.082 | 93.116 | 1,096 |
| 2002 | 7.490.634 | 84.799 | 1,132 |
| 2003 | 9.514.138 | 84.554 | 0,888 |
| 2004 | 9.609.326 | 87.333 | 0,908 |
| 2005 | 10.026.202 | 85.882 | 0,856 |
| 2006 | 10.867.302 | 79.951 | 0,735 |
| 2007 | 11.279.339 | 94.556 | 0,838 |
| 2008 | 11.255.176 | 91.119 | 0,809 |
| 2009 | 11.583.313 | 88.839 | 0,766 |
| 2010 | 12.418.544 | 94.423 | 0,760 |
| 2011 | 13.802.428 | 92.204 | 0,668 |
| 2012 | 15.977.837 | 112.799 | 0,705 |
| 2013 | 16.655.009 | 114.908 | 0,689 |
| 2014 | 16.998.850 | 90.975 | 0,535 |
| 2015 | 16.933.520 | 92.545 | 0,546 |
| 2016 | 16.786.263 | 87.248 | 0,519 |
| 2017 | 18.762.318 | 98.199 | 0,523 |
| 2018 | 20.036.877 | 101.088 | 0,504 |
| 2019 | 20.782.374 | 97.886 | 0,471 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 2020 | 21.749.342 | 104.743 | 0,481 |
| 2021 | 21.370.116 | 102.516 | 0,479 |
| 2022 | 19.912.135 | 95.234 | 0,478 |
| 2023 | 19.961.908 | 95.421 | 0,478 |
| 2024 | 21.040.442 | 100.825 | 0,479 |
| 2025 | 20.202.934 | 96.812 | 0,479 |

**Kaynak:** TUIK, Bölgesel İstatistikler, 2026. **Not:** TÜİK metodoloji revizyon başlangıcı 2020 yılıdır. Ayrıca 2020 yılından itibaren TÜİK süt üretimi hesaplama metodolojisini revize etmiş, İl Tarım Müdürlüklerinin *"Hayvan Karnesi"* verileri ve işletme kayıtlarına dayalı daha hassas bir ölçüm sistemine geçmiştir.

2011 yılında Türkiye inek sütü üretimi 13.802.428 tona yükselmiş, Osmaniye üretimi ise 92.204 ton düzeyinde gerçekleşmiştir. Bu gelişme sonucunda Osmaniye'nin Türkiye toplamındaki payı %0,66 olmuştur. 2012 yılında Türkiye üretimi 15.977.837 tona yükselirken Osmaniye üretimi 112.799 tona ulaşmıştır. Osmaniye üretimindeki önemli artışa rağmen Türkiye toplam üretimindeki artışın daha yüksek olması nedeniyle ilin toplam içerisindeki payı %0,70 olarak gerçekleşmiştir. 2013 yılında Türkiye üretimi 16.655.009 tona, Osmaniye üretimi ise 114.908 tona yükselmiştir. Böylece Osmaniye'nin mutlak üretim miktarı incelenen dönem içerisinde en yüksek değerlerinden birine ulaşırken Türkiye toplamındaki payı %0,68 düzeyinde kalmıştır. Bu durum, Osmaniye'deki üretim artışının tek başına ilin ulusal üretim içerisindeki göreli konumunu güçlendirmeye yeterli olmadığını göstermektedir. 2014 yılında Türkiye inek sütü üretimi 16.998.850 tona yükselirken Osmaniye üretimi 90.975 tona gerilemiştir. Buna bağlı olarak Osmaniye'nin Türkiye toplamındaki payı %0,53'e düşmüştür. 2015 yılında Türkiye üretimi 16.933.520 ton, Osmaniye üretimi 92.545 ton olarak gerçekleşmiş ve pay %0,54 seviyesine yükselmiştir. 2016 yılında Türkiye üretiminin 16.786.263 tona, Osmaniye üretiminin ise 87.248 tona gerilemesi sonucunda Osmaniye'nin payı %0,51 olmuştur. Bu değer, 2014-2016 yıllarında Osmaniye'nin ulusal üretim içerisindeki göreli ağırlığının %0,52-%0,55 aralığında seyrettiğini göstermektedir. 2017 yılında Türkiye'de inek sütü üretimi 18.762.318 tona, Osmaniye'de ise 98.199 tona yükselmiştir. Osmaniye'nin Türkiye toplamındaki payı %0,52 olarak hesaplanmıştır. 2018 yılında Türkiye üretimi 20.036.877 tona, Osmaniye üretimi 101.088 tona yükselmesine rağmen Osmaniye'nin toplam üretimdeki payı %0,50'a gerilemiştir. 2019 yılında Türkiye üretimi 20.782.374 tona ulaşırken Osmaniye üretimi 97.886 ton olarak gerçekleşmiştir. Bunun sonucunda Osmaniye'nin Türkiye toplamındaki payı %0,47 seviyesine düşmüştür. Bu değer, incelenen dönem içerisindeki en düşük pay değeridir. Dolayısıyla 2017-2019 yıllarında Osmaniye üretimi yaklaşık 98-

101 bin ton seviyesinde gerçekleşmesine rağmen Türkiye genelindeki üretim artış hızının daha yüksek olması ilin göreli payının azalmasına yol açmıştır. 2020 yılında Türkiye inek sütü üretimi 21.749.342 ton, Osmaniye üretimi ise 104.743 ton olarak gerçekleşmiştir. Bu değerler sonucunda Osmaniye'nin Türkiye toplamındaki payı %0,48 olmuştur. 2021 yılında Türkiye üretimi 21.370.116 tona gerilerken Osmaniye üretimi 102.516 ton olarak gerçekleşmiş ve üretim içindeki payı %0,47 seviyesinde kalmıştır. 2022 yılında Türkiye üretimi 19.912.135 tona, Osmaniye üretimi ise 95.234 tona gerilemiş; buna rağmen Osmaniye'nin Türkiye toplamındaki payı %0,47 olarak gerçekleşmiştir. 2023 yılında Türkiye üretimi 19.961.908 ton, Osmaniye üretimi 95.421 ton olurken pay %0,47 seviyesine inmiştir. 2024 yılında Türkiye inek sütü üretimi 21.040.442 tona yükselirken Osmaniye üretimi 100.825 tona ulaşmıştır. Osmaniye'nin Türkiye toplamındaki payı %0,47 olarak hesaplanmıştır. 2025 yılında Türkiye üretimi 20.202.934 ton, Osmaniye üretimi ise 96.812 ton olarak gerçekleşmiş ve ilin Türkiye toplamındaki payı %0,47 olmuştur. Böylece 2020-2025 yılları arasında Osmaniye'nin Türkiye toplam inek sütü üretimindeki payının yaklaşık %0,48 seviyesinde istikrarlı bir görünüm sergilediği anlaşılmaktadır.

Genel eğilim değerlendirildiğinde, Türkiye inek sütü üretiminin 1997 yılında 8.914.177 ton olan seviyesinden 2025 yılında 20.202.934 tona yükseldiği görülmektedir. Buna karşılık Osmaniye'de üretim 1997 yılında 74.117 ton iken 2025 yılında 96.812 tona ulaşmıştır. Buna göre Türkiye'nin inek sütü üretimi söz konusu dönemde yaklaşık %126,64 oranında artarken, Osmaniye'deki artış yaklaşık %30,63 düzeyinde gerçekleşmiştir. Dolayısıyla iki üretim düzeyi arasındaki artış hızının önemli ölçüde farklılaştığı ve Türkiye genelindeki üretim artışının Osmaniye'deki artışın oldukça üzerinde olduğu söylenebilir.

## 3. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Literatürde, zaman serisi analizine dayalı tahmin yöntemlerinin tarımsal üretimin gelecekteki seyrinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Bu kapsamda, Box-Jenkins yaklaşımı çerçevesinde geliştirilen ARIMA modelleri; üretim serilerinin geçmiş dönem davranışlarının analiz edilmesi, zaman içerisindeki değişim ve dalgalanmaların belirlenmesi ve geleceğe yönelik üretim öngörülerinin oluşturulması amacıyla sıklıkla tercih

edilmektedir. Süt üretimine yönelik çalışmalar incelendiğinde ise geçmiş dönem üretim verilerinden yararlanılarak gelecekteki üretim düzeylerinin tahmin edilmesi ve üretim eğilimlerinin belirlenmesinin temel araştırma konuları arasında yer aldığı görülmektedir. Bu çalışmalar, süt üretim serilerinin zaman içerisindeki dinamiklerinin incelenmesi ve gelecekteki üretim düzeylerine ilişkin öngörülerin oluşturulmasında Box-Jenkins yaklaşımı kapsamında ARIMA modellerinden yararlanılabileceğini ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda, süt üretiminin tahmin edilmesine yönelik ulusal ve uluslararası literatürde gerçekleştirilen çalışmalar aşağıda ele alınmaktadır.

Ahmed vd. (2011), Pakistan süt üretiminin gelecekteki seyrini belirlemek amacıyla 1990-2011 dönemine ait verilerden yararlanmış ve ARIMA(1,1,1) modelini uygulamıştır. Elde edilen sonuçlara göre Pakistan süt üretiminin gelecek beş yıllık dönemde artış eğilimi göstereceği ve 2014-2015 döneminde yaklaşık 47.494,2 bin ton seviyesine ulaşacağı tahmin edilmiştir. Çalışma, ARIMA modellerinin gelişmekte olan ülkelerde süt üretim projeksiyonlarının oluşturulmasında kullanılabileceğini ortaya koymuştur

Sánchez vd. (2014), Küba'nın Las Tunas bölgesindeki Maniabo Temel Kooperatif Üretim Birimi'nin 2000-2010 dönemine ait aylık süt üretim verilerini kullanarak kısa dönemli üretim tahmini gerçekleştirmiştir. Analizler sonucunda serinin mevsimsel özellik taşıdığı belirlenmiş ve uygun model ARIMA$(1,0,3)\times(0,1,0)_{12}$ olarak tespit edilmiştir. Model kullanılarak 2011 yılı süt üretimi tahmin edilmiş ve ARIMA modellerinin kısa dönemli süt üretimi öngörüsünde kullanılabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Deshmukh ve Paramasivam (2016), Hindistan'ın gelecekteki süt üretimini tahmin etmek amacıyla FAOSTAT (1961–2012) ve NDDB (1991–2012) verilerini kullanarak ARIMA ve VAR modellerini uygulamıştır. Modeller AIC, SBC, MAPE, $R^2$ ve RMSE kriterleriyle karşılaştırılmış ve ARIMA(1,1,1) modelinin daha başarılı olduğu belirlenmiştir. Model sonuçlarına göre Hindistan süt üretiminin 2017 yılında yaklaşık 160 milyon tona ulaşacağı öngörülmüş ve ARIMA modellerinin üretim planlamasında kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Hassan vd. (2018), Sudan'ın Hartum eyaletinde süt üretiminin gelecekteki eğilimini belirlemek amacıyla 1989-2017 dönemine ait verilerden yararlanmıştır. Çalışmada 2018-2030 dönemine yönelik süt üretim tahminleri gerçekleştirilmiş ve ARIMA(1,0,0) modeli kullanılmıştır. Araştırma sonuçları,

süt üretim miktarlarının geçmiş dönem eğilimleri doğrultusunda tahmin edilmesinde ARIMA modellerinin uygulanabilir olduğunu ortaya koymuştur.

Uddin vd. (2020), Bangladeş'in süt üretiminde kendine yeterlilik düzeyine ulaşacağı dönemi belirlemek amacıyla 2006-2019 dönemi verilerini kullanarak ARIMA modeli uygulamıştır. ARIMA sonuçları Trend Analizi Modeli ile karşılaştırılmış ve ARIMA modelinin daha başarılı olduğu belirlenmiştir. Tahminlere göre IDRN verileri temelinde süt üretiminin 2025 ve 2030 yıllarında sırasıyla 10,24 ve 13,65 milyon ton, DLS verilerine göre ise 16,32 ve 17,13 milyon ton olacağı öngörülmüştür. Ayrıca, normal üretim koşullarında Bangladeş'in 2029 yılında süt üretiminde kendine yeterlilik düzeyine ulaşabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Mishra vd. (2020a), Hindistan ve Chhattisgarh eyaletinde süt üretimi ve süt hayvanı varlığının gelecekteki durumunu belirlemek amacıyla 2001-2002 ile 2015-2016 dönemine ait verileri kullanarak farklı ARIMA modellerini karşılaştırmıştır. Sonuçlara göre süt üretimi için her iki bölgede de ARIMA(0,2,0) modeli uygun bulunurken, süt bulunabilirliği Hindistan'da ARIMA(0,2,1), Chhattisgarh'da ise ARIMA(0,1,1) modeliyle daha başarılı tahmin edilmiştir. Tahminlere göre 2022-2023 döneminde Hindistan süt üretiminin 219,73 milyon tona, Chhattisgarh süt üretiminin ise 1,599 milyon tona ulaşacağı öngörülmüştür.

Mishra vd. (2020b), Hindistan'ın önde gelen süt üreticisi beş eyaletinin gelecekteki süt üretimini tahmin etmek amacıyla ARIMA modelini kullanmıştır. 2017-2018 dönemine ait veriler üzerinden yapılan tahminlerde, Uttar Pradesh'in 2024-2025 döneminde 37,68 milyon ton üretimle en yüksek üretime sahip eyalet olacağı ve Hindistan toplam süt üretiminin 252,948 milyon tona ulaşacağı öngörülmüştür. Bulguların süt üretiminin planlanması ve politika geliştirme süreçlerinde kullanılabileceği belirtilmiştir.

Yıldırım ve Altunç (2020), Muş ili süt üretiminin gelecekteki eğilimini belirlemek amacıyla TÜİK'in 1995-2019 dönemi verilerini kullanarak Box-Jenkins yaklaşımına dayalı ARIMA(6,1,1) modeli uygulamıştır. 2020-2023 dönemi için yapılan tahminlerde süt üretiminin 2020 yılında yaklaşık 336 bin ton, 2023 yılında ise 368 bin ton düzeyine ulaşacağı öngörülmüştür. Çalışma, zaman serisi modellerinin bölgesel süt üretiminin tahmininde kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Taye vd. (2021), Etiyopya Andassa Süt Çiftliği'nin gelecekteki süt üretimini tahmin etmek amacıyla 179 günlük üretim verisi üzerinden farklı zaman serisi modellerini karşılaştırmıştır. Analiz sonucunda süt üretiminde zamansal değişkenlik ve belirgin bir eğilim olduğu belirlenmiş, en uygun model ARIMA(1,2,1) olarak tespit edilmiştir. Seçilen modelin gelecekteki süt üretiminin tahmin edilmesi ve üretim yönetiminin desteklenmesinde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır

Eştürk (2021), Ardahan ili süt üretiminin gelecekteki eğilimini belirlemek amacıyla TÜİK'in 1995-2019 dönemi verilerini kullanarak Box-Jenkins metodolojisi kapsamında farklı ARIMA modellerini değerlendirmiştir. Analiz sonucunda en uygun model ARIMA(0,0,1) olarak belirlenmiş; süt üretiminin 2020, 2021 ve 2025 yıllarında sırasıyla 414, 439 ve 557 bin ton düzeyine ulaşacağı öngörülmüştür. Çalışmada, zaman serisi modellerinin süt arzının sürdürülebilirliği ve üretim politikalarının geliştirilmesinde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Subbanna vd. (2021), Hindistan'da manda sütü üretiminin gelecekteki miktarını tahmin etmek amacıyla 58 yıllık veriyi kullanarak ARIMA, Yapay Sinir Ağı (ANN) ve ARIMA-ANN hibrit modellerini karşılaştırmıştır. Hata ölçütlerine göre ARIMA-ANN hibrit modeli en başarılı model olarak belirlenirken, ARIMA modelinin de üretim eğilimlerinin belirlenmesinde etkili olduğu görülmüştür. Hibrit model tahminlerine göre Hindistan'ın yıllık manda sütü üretiminin gelecekte 1.000 milyon tonu aşacağı öngörülmüştür.

Mishra vd. (2022), Güney Asya ülkeleri ve Çin'in süt üretim eğilimlerini belirlemek amacıyla 1961-2018 dönemine ait yıllık verileri kullanarak ARIMA, ARCH-GARCH ve Holt doğrusal trend modellerini uygulamıştır. ARIMA tahminlerine göre 2024-2025 döneminde süt üretiminin Hindistan'da yaklaşık 91 milyon ton, Pakistan'da 26 milyon ton ve Çin'de 3 milyon ton seviyesine ulaşacağı öngörülmüştür. Bulgular, ARIMA modellerinin ülkeler arası süt üretim projeksiyonlarında kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Yonar vd. (2022), Türkiye'nin süt üretimini tahmin etmek amacıyla 1991-2019 dönemine ait yıllık veriler üzerinden BATS, TBATS, Holt Doğrusal Trend, ARIMA ve NNAR modellerini karşılaştırmıştır. MAPE kriterine göre kültür ırkı süt üretiminde ARIMA(1,2,1), yerli ırk süt üretiminde ise ARIMA(0,2,0) modeli en başarılı modeller olarak belirlenmiştir. Tahminlere göre 2020-2025 döneminde kültür, melez ve yerli ırk süt üretiminin sırasıyla

%40, %20,9 ve %10,9 oranında artacağı, toplam sağılan inek sütü üretiminin ise 2025 yılına kadar yaklaşık %25 artacağı öngörülmüştür.

Perez Guerra vd. (2022), Peru And Dağları'nda Brown Swiss sığırlarının süt üretimini tahmin etmek amacıyla 2008-2016 dönemine ait aylık veriler üzerinden ARIMA modelini uygulamıştır. Analiz sonucunda serinin mevsimsel özellik taşıdığı belirlenmiş ve ARIMA(1,0,0)×(2,0,0) modeli kullanılmıştır. Bulgular, iklim koşullarına bağlı mevsimsel dalgalanmalar gösteren süt üretiminin kısa dönemli tahmininde ARIMA modelinin kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Badr vd. (2022), Mısır'ın Dakahlia bölgesindeki farklı süt işletmelerinin üretimini tahmin etmek amacıyla 2013–2021 dönemi verilerini kullanarak ARIMA modellerini uygulamıştır. Model performansları AIC, SBIC, MAPE ve RMSE kriterleriyle değerlendirilmiş; Holstein Friesian işletmesi için ARIMA(2,1,2), Holstein German işletmesi için ise ARIMA(0,1,2) en uygun modeller olarak belirlenmiştir. 2022-2033 dönemi tahminleri, her iki işletmede de süt üretiminin artış eğilimi göstereceğini ortaya koymuştur.

Waiswa (2023), Uganda'nın süt üretimindeki gelecekteki eğilimi belirlemek amacıyla FAOSTAT'ın 1961-2020 dönemi verilerini kullanarak farklı ARIMA modellerini karşılaştırmıştır. MAPE ve Normalize BIC kriterlerine göre ARIMA(0,1,0) en uygun model olarak belirlenmiş ve 2021-2025 döneminde süt üretiminin yıllık ortalama %1,63 oranında artacağı öngörülmüştür. Bulgular, ARIMA modellerinin ulusal düzeyde süt üretiminin tahmininde ve üretim politikalarının oluşturulmasında kullanılabileceğini göstermiştir.

Vishnu Shankar vd. (2023), Hindistan'ın Tamil Nadu bölgesinde süt üretimini tahmin etmek amacıyla 1976-2020 dönemine ait yıllık veriler üzerinden ARIMA ve ANN modellerini karşılaştırmıştır. RMSE, MAPE ve MAE kriterlerine göre ARIMA(1,1,2) modelinin ANN modeline kıyasla daha başarılı olduğu belirlenmiştir. Tahminlere göre 2020-2025 döneminde süt üretiminin artış eğilimi göstereceği ve yıllık büyüme oranının yaklaşık %0,02 olacağı öngörülmüştür.

Priya ve Naranammal (2024), Hindistan'da süt ve yumurta üretimini tahmin etmek amacıyla 1950-1951 ile 2019-2020 dönemine ait uzun dönemli veriler üzerinden ARIMA modelleri uygulamıştır. Analiz sonucunda süt üretimi için ARIMA(2,2,0), yumurta üretimi için ise ARIMA(1,2,2) modeli en

uygun modeller olarak belirlenmiştir. Artık analizlerinde otokorelasyon bulunmadığı ve MAPE değerlerinin kabul edilebilir düzeyde olduğu belirlenmiş; süt üretiminin gelecekte artış eğilimini sürdüreceği öngörülmüştür.

Mezouaghi ve Lakehal (2024), Cezayir'de pastörize süt üretiminin gelecekteki düzeyini belirlemek amacıyla 1980–2022 dönemi yıllık verileri üzerinden Box-Jenkins yaklaşımını uygulamıştır. Analiz sonucunda en uygun model ARIMA(13,1,9) olarak belirlenmiş ve modelin MAPE değeri %21 olarak hesaplanmıştır. Tahminlere göre Cezayir'in pastörize süt üretiminin 2028 yılında yaklaşık 11.955.000 hektolitre düzeyine ulaşacağı öngörülmüştür.

Doğar vd. (2024), Türkiye'nin süt üretimini kısa dönemde tahmin etmek amacıyla 2010-2023 dönemine ait 156 aylık veri üzerinden mevsimsel ARIMA modellerini uygulamıştır. Modeller MAPE, MAE, RMSE ve Normalize BIC kriterleriyle değerlendirilmiş; 2024 yılı için süt üretiminde mevsimsel dalgalanmalara rağmen artış eğiliminin süreceği öngörülmüştür. Uzun dönem aylık ortalamalarla karşılaştırıldığında, toplanan inek sütü üretiminin %18-24 oranında artacağı tahmin edilmiştir.

Omar vd. (2024), Mısır'ın süt üretimini tahmin etmek amacıyla 1970–2021 dönemine ait veriler üzerinden ARIMA modeli geliştirmiştir. ADF testi, ACF ve PACF analizleri sonucunda en uygun model ARIMA(1,1,3) olarak belirlenmiştir. Model tahminlerine göre süt üretiminin 2022 yılında 6.152,606 bin ton düzeyinden 2025 yılında 6.360,829 bin tona yükselmesi öngörülmüştür. Bulgular, ARIMA modellerinin süt üretimindeki uzun dönemli eğilimlerin tahmininde kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Literatür genel olarak değerlendirildiğinde, ARIMA ve Box–Jenkins yaklaşımına dayalı zaman serisi modellerinin süt üretiminin modellenmesi ve gelecekteki üretim düzeylerinin tahmin edilmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemler arasında yer aldığı tespit edilmiştir. Uluslararası literatürde gerçekleştirilen çalışmaların önemli bir bölümünde, süt üretim serilerinin geçmiş dönem dinamikleri ve zaman içerisindeki eğilimleri analiz edilmiş, serilerin istatistiksel özelliklerine uygun modeller belirlenmiş ve söz konusu modeller aracılığıyla geleceğe yönelik üretim öngörüleri elde edilmiştir. Bu çalışmalar, ARIMA ve benzeri zaman serisi modellerinin süt üretim miktarlarının tahmin edilmesinde uygulanabilir ve etkin yöntemler olduğunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte, Türkiye'de süt üretiminin tahminine yönelik çalışmaların uluslararası literatüre kıyasla daha sınırlı sayıda olduğu ve

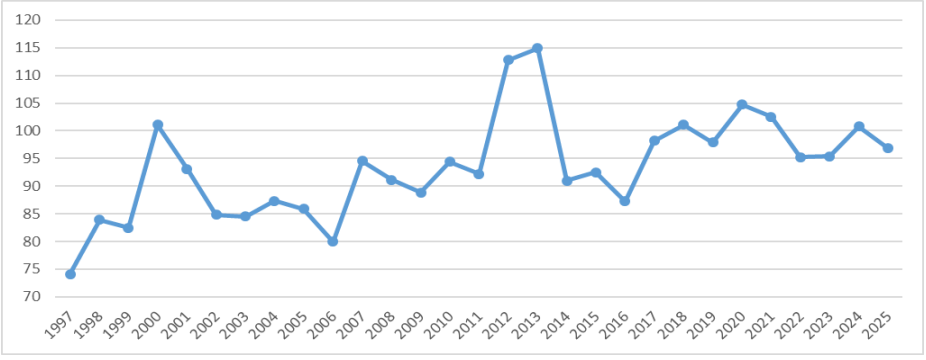
özellikle il düzeyinde gerçekleştirilen üretim tahminlerinin görece yetersiz kaldığı belirlenmiştir. Türkiye'deki çalışmalar incelendiğinde, araştırmaların ağırlıklı olarak ülke geneli, belirli bölgeler veya farklı üretim grupları kapsamında gerçekleştirildiği ve çeşitli zaman serisi yöntemleri aracılığıyla üretim eğilimlerinin ortaya konulduğu görülmüştür. Bununla birlikte, il düzeyinde uzun dönemli yıllık süt üretim serilerinin Box–Jenkins yaklaşımı çerçevesinde analiz edildiği çalışmaların sınırlı kaldığı tespit edilmiştir. Türkiye'de gerçekleştirilen araştırmaların önemli bir bölümünün genel süt üretimi, belirli hayvan tür veya ırklarına ait üretim değerleri ya da farklı illerin üretim eğilimleri üzerine yoğunlaştığı belirlenmiştir. Buna karşılık, Osmaniye ili özelinde inek sütü üretiminin uzun dönemli seyrini Box–Jenkins ARIMA yaklaşımıyla inceleyen ve gelecekteki üretim düzeylerine yönelik tahminler gerçekleştiren bir çalışmaya yapılan literatür taraması kapsamında rastlanmamıştır. Bu yönüyle mevcut çalışma, Osmaniye ili inek sütü üretiminin 1997-2025 dönemine ait yıllık verilerini Box-Jenkins ARIMA yaklaşımı çerçevesinde analiz ederek geleceğe yönelik üretim öngörüleri sunması bakımından, literatürde belirlenen bölgesel boşluğun giderilmesine yönelik özgün bir uygulama niteliği taşımaktadır. Ayrıca çalışma, bölgesel ölçekte süt üretim potansiyelinin değerlendirilmesine, gelecekte oluşabilecek üretim değişimlerinin öngörülmesine ve yerel düzeyde üretim planlaması ile tarım politikalarının geliştirilmesine katkı sağlaması açısından mevcut çalışmalardan ayrılmaktadır.

## 4. MATERYAL ve METOT

### 4.1. Materyal

Araştırmanın materyalini, Osmaniye iline ait 1997-2025 yılları arasındaki yıllık inek sütü üretim verileri oluşturmaktadır. Veri seti, TÜİK Bölgesel İstatistikler Veri Tabanı'ndan temin edilmiştir. Toplam 29 yıllık gözlemden oluşan veri setinde inek sütü üretim miktarları ton cinsinden ifade edilmiştir. Çalışmada kullanılan zaman serisinin başlangıç yılı olarak 1997 yılı esas alınmıştır. Bunun temel nedeni, Osmaniye'nin bu dönemde Adana iline bağlı bir ilçe konumunda olmasıdır. Osmaniye'nin 24 Ekim 1996 tarihinde yeniden il statüsü kazanmasının ardından, il düzeyindeki üretim verileri 1997 yılı itibarıyla ayrı bir idari birim olarak izlenebilir hâle gelmiştir. Bu nedenle araştırmada, Osmaniye'ye ilişkin yıllık inek sütü üretim serisinin başlangıç yılı

1997 olarak kabul edilmiştir. Veri setinin oluşturulmasında 2020 yılından itibaren TÜİK süt üretimi hesaplama metodolojisini revize etmiş, İl Tarım Müdürlüklerinin *"Hayvan Karnesi"* verileri ve işletme kayıtlarına dayalı daha hassas bir ölçüm sistemine geçmiştir. Dolayısıyla 2020 yılı itibarıyla süt üretim istatistiklerinin oluşturulmasında kullanılan veri kaynağı ve hesaplama yapısında değişiklik meydana gelmiştir. TÜİK'in süt üretim istatistiklerine ilişkin metodolojik açıklamalarına göre, 2020 yılına kadar süt üretimi hesaplamalarında hayvan sayıları, sağılma oranları ve süt verim katsayılarından yararlanılırken, 2020 yılından itibaren Tarımsal İşletmelerde Hayvansal Üretim Araştırması sonuçlarından yararlanılmaya başlanmıştır. Bu kapsamda araştırmada kullanılan veri seti, Osmaniye ilinin uzun dönemli inek sütü üretim eğilimini ortaya koyacak şekilde 1997-2025 dönemini kapsamaktadır. Söz konusu döneme ait yıllık üretim değerlerinin seyri Şekil 1'de gösterilmiştir.




**Şekil 1:** Osmaniye İli İnek Sütü Üretimi (Ton)
**Kaynak:** TUİK, Bölgesel İstatistikler, 2026.

## 4.2. Metot

Zaman serilerinin modellenmesi ve geleceğe yönelik tahminlerin gerçekleştirilmesi amacıyla geliştirilen yöntemler içerisinde Box-Jenkins yaklaşımı, özellikle tek değişkenli zaman serilerinin analizinde yaygın olarak kullanılan istatistiksel yöntemlerden biridir. Bu yöntem, zaman serisinin geçmiş dönem gözlemleri ile hata terimleri arasındaki ilişkileri dikkate alarak uygun bir matematiksel model oluşturmayı amaçlamaktadır. Box ve Jenkins (1976) tarafından geliştirilen bu yaklaşım, zaman serilerinin durağanlık özelliklerinin belirlenmesi, uygun model yapısının seçilmesi, model parametrelerinin tahmin edilmesi ve oluşturulan modelin doğrulanması aşamalarından oluşmaktadır. Box-Jenkins yönteminin temel varsayımı, zaman

serilerinin belirli bir fark alma işlemi sonucunda durağan hale getirilebilmesi ve durağan hale gelen serilerin otoregresif ve hareketli ortalama süreçleri yardımıyla açıklanabilmesidir. Bu nedenle yöntem, literatürde ARIMA modeli olarak da ifade edilmektedir. ARIMA modeli; zaman serisinin geçmiş dönem gözlem değerlerini ifade eden otoregresif (AR) bileşenini, geçmiş dönem hata terimlerini temsil eden hareketli ortalama (MA) bileşenini ve serinin durağanlığının sağlanmasına yönelik fark alma (I) bileşenini birlikte içeren bir zaman serisi modelidir (Coşkun, 2026: 61). Otoregresif modellerde temel yaklaşım, mevcut dönem değerinin geçmiş dönem değerleri tarafından açıklanmasıdır. Buna karşılık hareketli ortalama modellerinde mevcut dönem değeri, geçmiş dönemlerde meydana gelen hata terimlerinin etkisiyle açıklanmaktadır. Ancak birçok ekonomik ve finansal zaman serisi durağan olmayan bir yapıya sahip olduğundan, yalnızca AR veya MA modellerinin kullanılması yeterli olmamaktadır. Bu nedenle durağan olmayan serilerin durağan hale getirilmesi amacıyla fark alma işlemi modele dahil edilmiştir. Bu üç temel bileşenin birleşimi sonucunda ARIMA modeli ortaya çıkmaktadır.

ARIMA modeli genel olarak ARIMA(p,d,q) şeklinde gösterilmektedir. Bu gösterimde yer alan p parametresi otoregresif sürecin derecesini, d parametresi serinin durağan hale getirilmesi için uygulanan fark alma derecesini ve q parametresi hareketli ortalama sürecinin derecesini ifade etmektedir (Duru, 2007: 21; Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2007: 178). Başka bir ifadeyle p değeri geçmiş gözlem değerlerinin modele dahil edilme sayısını, d değeri seriye uygulanan fark alma işleminin kaç kez gerçekleştirildiğini ve q değeri geçmiş hata terimlerinden kaç tanesinin model içerisinde kullanıldığını göstermektedir. Bir zaman serisinin ARIMA modeli ile analiz edilebilmesi için öncelikle durağanlık koşulunun sağlanması gerekmektedir. Durağan olmayan zaman serileri, zaman içerisinde değişen ortalama ve varyans değerlerine sahip olduklarından, tahmin modellerinde güvenilir olmayan sonuçlara neden olabilmektedir (Brockwell ve Davis, 2002). Bu nedenle serinin durağan hale getirilmesi amacıyla fark alma işlemi uygulanmaktadır. Bir $Y_t$ zaman serisinin birinci dereceden farkı, Eşitlik (1)'de gösterildiği gibi ifade edilmektedir.

$$\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1} \quad (1)$$

Eşitlik (1)'de yer alan denklemde $\Delta Y_t$, zaman serisinin birinci farkını göstermektedir. Bu işlem ile serinin ardışık dönemleri arasındaki değişim

hesaplanmakta ve seride bulunan trend etkisinin azaltılması amaçlanmaktadır. Birinci fark alma işleminden sonra serinin durağan hale gelmemesi durumunda ikinci veya daha yüksek dereceli fark alma işlemleri uygulanabilmektedir. İkinci dereceden fark alma işlemi, Eşitlik (2)'de tanımlanmaktadır.

$$\Delta^2 Y_t = \Delta Y_t - \Delta Y_{t-1} \quad (2)$$

Birinci fark ifadesi yerine yazıldığında, ikinci fark alma işlemi Eşitlik (3)'teki gibi olacaktır.

$$\Delta^2 Y_t = Y_t - 2\Delta Y_t - Y_{t-1} \quad (3)$$

Eşitli (3)'ten de görüldüğü üzere ikinci fark alma işlemi, serinin iki dönem arasındaki değişiminin tekrar farkının alınması yoluyla gerçekleştirilmektedir. Bu işlem özellikle doğrusal olmayan trend etkilerinin giderilmesinde kullanılmaktadır. Genel olarak, (d). dereceden farkı alınmış bir zaman serisi Eşitlik (4)'te ifade edilmektedir.

$$(1 - B)^d Y_t \quad (4)$$

Eşitlik (4)'te B, gecikme işlemi operatörünü, d ise fark alma derecesini göstermektedir. Gecikme işlemi operatörü, zaman serilerinde geçmiş dönem değerlerinin daha kolay ifade edilmesini sağlayan matematiksel bir gösterimdir. Bir dönemlik gecikme işlemi, Eşitlik (5)'te tanımlanmaktadır.

$$BY_t = Y_{t-1} \quad (5)$$

Benzer şekilde, iki dönemlik gecikme işlemi Eşitlik (6)'da ifade edilmektedir.

$$B^2 Y_t = Y_{t-2} \quad (6)$$

Gecikme işlemi operatörü kullanılarak fark alma işlemi, Eşitlik (7)'de gösterilmektedir

$$(1 - B)Y_t \quad (7)$$

Eşitlik (7)'de yer alan ifade açıldığında, Eşitlik (8) elde edilmektedir.

$$Y_t - BY_t = Y_t - Y_{t-1} \quad (8)$$

Böylece fark alma işleminin, mevcut gözlem değeri ile bir önceki dönem gözlem değeri arasındaki farkı ifade ettiği görülmektedir. ARIMA modelinin ilk bileşeni olan otoregresif süreç, zaman serisinin kendi geçmiş değerlerinden etkilenme düzeyini açıklamaktadır. Otoregresif modellerde mevcut dönem

gözlem değeri, geçmiş dönem gözlem değerlerinin doğrusal birleşimi ve rassal hata terimi yardımıyla modellenmektedir. AR modelleri, içerdikleri geçmiş dönem gözlem değerlerinin sayısına göre derecelendirilmektedir. Modelde bir geçmiş dönem gözlem değeri bulunması durumunda birinci dereceden AR(1), iki geçmiş dönem gözlem değeri bulunması durumunda ikinci dereceden AR(2) modeli söz konusu olmaktadır (Naylor, Seaks ve Wichern, 1972: 125; Çevik, 1999: 48; Duru,2007: 17; Gözcü,2009: 42). Naylor, Seaks ve Wichern'e (1972: 125) göre, genel olarak (p) adet geçmiş dönem gözlem değeri içeren model, (p)'inci dereceden otoregresif AR(p) modeli olarak adlandırılmaktadır. Birinci dereceden otoregresif model AR(1), Eşitlik (9)'da ifade edilmektedir (Polat,2009: 48-49).

$$Y_t = c + \phi_1 Y_{t-1} + \varepsilon_t \tag{9}$$

Eşitlik (9)'da yer alan denklemde $c$; sabit terimi, $\phi_1$; otoregresif parametreyi, $Y_{t-1}$; bir önceki dönem gözlem değerini, $\varepsilon_t$ ise rassal hata terimini ifade etmektedir. Hata teriminin ortalamasının sıfır, varyansının sabit ve dönemler arasında korelasyonsuz olduğu varsayılmaktadır. Bu varsayım, hata terimlerinin beyaz gürültü süreci olarak kabul edilmesini sağlamaktadır. Genel olarak, (p) dereceli otoregresif model AR(p), Eşitlik (10)'da gösterildiği şeklinde ifade edilmektedir (Griffiths, Hill ve Judge, 1993: 642; Hanke ve Wichern, 2014: 404).

$$Y_t = c + \phi_1 Y_{t-1} + \emptyset_2 Y_{t-2} + \cdots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \tag{10}$$

Eşitlik (10)'da verilen AR(p) modeli, daha genel bir gösterimle Eşitlik (11)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$Y_t = c + \sum_{i=1}^{p} \phi_i Y_{t-i} + \varepsilon_t \tag{11}$$

Eşitlik (10)'da yer alan denklemde $p$ değeri, modele dahil edilen gecikme sayısını göstermektedir. AR(p) modelinde mevcut dönem değeri, geçmiş $p$ dönem gözlem değerlerinin ağırlıklı birleşimi ile hata teriminin toplamından oluşmaktadır. ARIMA modelinin ikinci temel bileşeni hareketli ortalama sürecidir. Hareketli ortalama modellerinde zaman serisinin mevcut değeri, geçmiş dönemlerde meydana gelen hata terimlerinin etkisi dikkate alınarak açıklanmaktadır. MA(1) modeli, şeklinde ifade edilmektedir. Birinci dereceden

hareketli ortalama modeli MA(1), Eşitlik (12)'de tanımlanmaktadır (Wei, 2006; Kaya, 2019).

$$Y_t = \mu + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} \tag{12}$$

Eşitlik (12)'de yer alan denklemde $\mu$; serinin ortalama değerini, $\theta_1$; hareketli ortalama parametresini, $\varepsilon_t$ ve $\varepsilon_{t-1}$ ise mevcut ve geçmiş dönem hata terimlerini göstermektedir. Hareketli ortalama modelinde temel amaç, geçmiş dönemlerde meydana gelen rassal etkilerin mevcut dönem üzerindeki etkisini belirlemektir. Genel hareketli ortalama modeli MA(q), Eşitlik (13)'te tanımlanmaktadır (Wei, 2006; Hanke ve Wichern, 2014: 405; Kaya, 2019).

$$Y_t = \mu + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \cdots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \tag{13}$$

Eşitlik (13)'te verilen MA(q) modeli, daha genel bir gösterimle Eşitlik (14)'teki gibi ifade edilmektedir.

$$Y_t = \mu + \sum_{j=0}^{q} \theta_j \varepsilon_{t-j} \tag{14}$$

Eşitlik (14)'te yer alan denklemde $q$ değeri, modele dahil edilen geçmiş hata terimi sayısını göstermektedir. Böylece model, geçmiş dönemlerde ortaya çıkan rassal şokların zaman içerisindeki etkisini dikkate almaktadır. AR ve MA modellerinin birlikte kullanılmasıyla ARMA modeli elde edilmektedir. Ancak ARMA modelleri yalnızca durağan seriler için kullanılabildiğinden, durağan olmayan serilerde fark alma işlemi modele dahil edilerek ARIMA modeli oluşturulmaktadır. Genel ARIMA(p,d,q) modeli, Eşitlik (15)'te gösterildiği gibi ifade edilmektedir (Brockwell ve Davis 2006).

$$\phi(B)(1-B)^d Y_t = \theta(B)\varepsilon_t \tag{15}$$

Eşitlik (15)'te yer alan denklemde $\phi(B)$; otoregresif polinomu, $(1-B)^d$; fark alma işlemini, $\theta(B)$ ise hareketli ortalama polinomunu ifade etmektedir. Otoregresif polinom Eşitlik (16)'da, hareketli ortalama polinomu ise Eşitlik (17)'de gösterildiği gibi tanımlanmaktadır (Cooray, 2008).

$$\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \cdots - \phi_p B^p \tag{16}$$

$$\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \cdots - \theta_q B^q \tag{17}$$

ARIMA modellerinde uygun model yapısının belirlenmesi, zaman serisi analizinin temel aşamalarından birini oluşturmaktadır. Bir zaman serisinin

durağanlığının sağlanması tek başına yeterli olmayıp, serinin dinamik yapısını en uygun biçimde temsil eden AR ve MA bileşenlerinin de doğru şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda Box-Jenkins yaklaşımında modelleme süreci; modelin tanımlanması, parametrelerin tahmin edilmesi, modelin uygunluğunun sınanması ve geleceğe yönelik tahminlerin gerçekleştirilmesi olmak üzere dört temel aşamadan oluşmaktadır. Model belirleme aşamasında temel amaç, serinin özelliklerini yeterli düzeyde açıklayan ve gereksiz parametre kullanımından kaçınan uygun ARIMA((p,d,q)) modelinin belirlenmesidir. Bu kapsamda, ARIMA modelinin yapısının belirlenmesinde başvurulan temel araçlar otokorelasyon fonksiyonu *(Autocorrelation Function–ACF)* ve kısmi otokorelasyon *(Partial Autocorrelation Function–PACF)* Fonksiyonudur. ACF ve PACF fonksiyonları, zaman serisinin farklı gecikme düzeylerindeki bağımlılık yapısının ortaya konulmasını sağlayarak modelin AR ve MA derecelerinin belirlenmesine yönelik önemli bilgiler sunmaktadır (Waiswa, 2023). Bu fonksiyonların gecikme düzeyleri boyunca sergilediği örüntüler, serinin AR(p), MA(q), ARMA(p,q) veya ARIMA(p,d,q) modellerinden hangisiyle daha uygun biçimde temsil edilebileceğinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Biçen, 2006: 14).

Bir zaman serisinin otokorelasyon fonksiyonu, serinin farklı gecikme değerleri arasındaki doğrusal ilişkiyi ölçmektedir. Başka bir ifadeyle ACF, serinin cari değeri ile geçmiş dönem değerleri arasındaki bağımlılık yapısını ortaya koymaktadır. (k) gecikmeli otokorelasyon katsayısı genel olarak Eşitlik (18)'de gösterilmektedir (Adhikari ve Agrawal, 2013: 21).

$$\rho_k = \frac{\gamma_k}{\gamma_0} \tag{18}$$

Eşitlik (18)'de yer alan formülasyonda $\rho_k$; k gecikmeli otokorelasyon katsayısını, $\gamma_k$; k gecikmedeki kovaryansı, $\gamma_0$ ise serinin varyansını göstermektedir. Otokorelasyon katsayısı, zaman serisindeki gözlemler arasındaki ilişkinin derecesini belirlemektedir. Katsayının yüksek olması, ilgili gecikmede serinin geçmiş değerlerinden güçlü biçimde etkilendiğini göstermektedir. Bu kapsamda, ACF grafiğinde gecikmelere ait korelasyon katsayıları incelenerek serinin yapısı hakkında bilgi elde edilmektedir. Eğer otokorelasyon katsayıları belirli bir gecikmeden sonra ani olarak sıfıra

yaklaşıyorsa bu durum MA göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Buna karşılık otokorelasyon katsayılarının yavaş bir şekilde azalarak sıfıra yaklaşması ise AR varlığına işaret etmektedir.

Model belirleme sürecinde kullanılan bir diğer önemli araç kısmi otokorelasyon fonksiyonudur. PACF, bir zaman serisinin belirli bir gecikmedeki değeri ile mevcut değeri arasındaki doğrudan ilişkiyi göstermektedir. Diğer bir ifadeyle PACF, ara gecikmelerin etkisini ortadan kaldırarak iki gözlem arasındaki gerçek ilişkiyi ölçmektedir. Kısmi otokorelasyon katsayısı, genel olarak Eşitlik (19)'da gösterildiği gibi tanımlanmaktadır (Sevüktekin ve Çınar, 2017).

$$\phi_{kk} = Corr(Y_t, Y_{t-k} | Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-k+1}) \quad (19)$$

Eşitlik (19)'da yer alan denklemde $\phi_{kk}$; k gecikmeli kısmi otokorelasyon katsayısını göstermektedir. PACF grafiği, özellikle otoregresif modelin uygun gecikme derecesinin belirlenmesinde önemli bir gösterge niteliğindedir. Eğer PACF belirli bir gecikmeden sonra keskin biçimde sıfıra yaklaşıyorsa, bu durum AR modelinin derecesinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. ACF ve PACF grafiklerinin birlikte değerlendirilmesi, ARIMA modelinin p ve q parametrelerinin belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Genel olarak AR(p) modellerinde PACF belirli bir gecikmeden sonra kesilirken, ACF yavaş bir azalma göstermektedir. MA(q) modellerinde ise ACF belirli bir gecikmeden sonra kesilirken, PACF geometrik bir azalma eğilimi göstermektedir. ARMA veya ARIMA modellerinde ise her iki fonksiyonun da kademeli olarak azalması beklenmektedir. Bu nedenle uygun model yapısının belirlenmesinde ACF ve PACF sonuçları birlikte değerlendirilerek teorik ve istatistiksel uygunluğu sağlayan model tercih edilmektedir. ARIMA modelinin parametreleri belirlendikten sonra farklı alternatif modeller arasından en uygun modelin seçilmesi gerekmektedir. Birden fazla modelin veri setine uygun olması durumunda, modellerin karşılaştırılması amacıyla bilgi kriterlerinden yararlanılmaktadır. Bu kapsamda en yaygın kullanılan kriterler AIC ve BIC olarak ifade edilmektedir. Akaike Bilgi Kriteri, Akaike (1974) tarafından geliştirilmiş olup modelin uyum başarısı ile kullanılan parametre sayısı arasında denge kurmayı amaçlamaktadır. AIC, Eşitlik (20)'de gösterildiği gibi ifade edilmektedir (Wei, 2006).

$$AIC = -2\ln(\mathrm{L}) + 2k \quad (20)$$

Eşitlik (20)'de yer alan denklemde L; modelin maksimum olabilirlik değerini, $k$; model içerisinde tahmin edilen parametre sayısını göstermektedir. İlk terim olan $2\ln(\mathrm{L})$ modelin veri setine uyum düzeyini ölçerken, $2k$ terimi modele dahil edilen parametre sayısına uygulanan ceza katsayısını ifade etmektedir. Bu nedenle AIC değeri, model uyumu ile sadelik arasında optimal bir denge sağlamayı amaçlamaktadır. Alternatif modeller arasında en düşük AIC değerine sahip model, diğer koşulların benzer olması durumunda tercih edilmektedir. Model seçiminde kullanılan bir diğer önemli kriter BIC'dir. Schwarz (1978) tarafından geliştirilen BIC kriteri, AIC kriterine benzer biçimde model uygunluğunu değerlendirmekte ancak parametre sayısına daha yüksek bir ceza uygulamaktadır. BIC, Eşitlik (21)'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır (Cooray, 2008).

$$BIC = -2ln(L) + k\ln(n) \tag{21}$$

Eşitlik (21)'de yer alan formülasyonda $n$; gözlem sayısını ifade etmektedir. BIC kriterinin temel amacı, özellikle büyük örneklem büyüklüklerinde gereğinden fazla karmaşık modellerin tercih edilmesini engellemektir. Bu nedenle BIC, daha sade ve daha az parametre içeren modellerin seçilmesine yönelik daha güçlü bir cezalandırma mekanizmasına sahiptir. AIC ve BIC kriterleri birlikte değerlendirildiğinde, her iki kriterde de daha düşük değerler daha uygun model yapısına işaret etmektedir. Bununla birlikte uygulamalarda yalnızca bilgi kriterlerine bağlı kalınmamakta, seçilen modelin istatistiksel geçerliliği artık analizleri aracılığıyla ayrıca incelenmektedir.

ARIMA modelinin tahmin edilmesinden sonra gerçekleştirilen model doğrulama aşamasında temel amaç, model artıklarının rassal bir yapıya sahip olup olmadığının belirlenmesidir. İyi tanımlanmış bir ARIMA modelinde hata terimlerinin ortalamasının sıfır olması, sabit varyansa sahip bulunması ve dönemler arasında herhangi bir otokorelasyon içermemesi beklenmektedir. Eğer hata terimleri arasında sistematik bir ilişki bulunuyorsa, bu durum model tarafından açıklanamayan bir yapının varlığına işaret etmekte ve modelin yeniden değerlendirilmesini gerektirmektedir. Model artıklarının bağımsızlığının sınanmasında yaygın olarak kullanılan testlerden biri Ljung ve Box testidir. Ljung ve Box (1978) testi, hata terimlerinin belirli gecikmelerde otokorelasyon içerip içermediğini test etmek amacıyla geliştirilmiştir. Ljung ve

Box test istatistiği, Eşitlik (22)'de gösterildiği gibi ifade edilmektedir (Brockwell and Davis 2006).

$$Q = n(n+2)\sum_{k=1}^{m}\frac{r_k^2}{n-k} \tag{22}$$

Eşitlik (22)'de yer alan denklemde $n$; gözlem sayısını, $m$; test kapsamında incelenen gecikme sayısını, $r_k$ ise k gecikmeli örnek otokorelasyon katsayısını göstermektedir (Bowerman ve O'Connell 1993). Ljung ve Box testinde sıfır hipotezi aşağıda gösterildiği şekilde kurulmaktadır.

$$H_0: \rho_1 = \rho_2 = \cdots = \rho_m = 0$$

Bu hipotez, model artıklarının belirlenen gecikme uzunluklarında otokorelasyon içermediğini ifade etmektedir. Alternatif hipotez ise en az bir gecikme düzeyinde otokorelasyon bulunduğunu belirtmektedir. Test sonucunda sıfır hipotezinin reddedilememesi, artıkların beyaz gürültü sürecine uygun olduğunu ve modelin zaman serisindeki temel yapıyı yeterli düzeyde açıkladığını göstermektedir.

ARIMA modelleme sürecinin son aşamasını, belirlenen modelin tahmin performansının değerlendirilmesi oluşturmaktadır. İstatistiksel açıdan anlamlı bir modelin her durumda yüksek tahmin doğruluğu sergilemesi beklenmemektedir. Bu nedenle, alternatif modeller arasından uygun modelin belirlenmesinde yalnızca parametrelerin istatistiksel anlamlılığı yeterli olmayıp, modelin tahmin performansının da çeşitli hata ölçütleri ve bilgi kriterleri aracılığıyla değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda model seçiminde, parametrelerin anlamlılık düzeylerinin yanı sıra sabit *($R^2$),* RMSE, MAE ve MAPE gibi ölçütler birlikte dikkate alınmaktadır (Oni ve Akanle, 2018; Çelik, 2019). Söz konusu ölçütlerin birlikte değerlendirilmesi, hem modelin istatistiksel yeterliliğinin hem de tahmin performansının bütüncül bir biçimde ortaya konulmasına olanak sağlamaktadır. Dolayısıyla bir modelin tahmin performansının yeterli düzeyde olduğunu değerlendirmek amacıyla MAPE değerinin %10'un altında olması ve Ljung ve Box Q istatistiğine ilişkin olasılık değerlerinin %5 anlamlılık düzeyinden büyük olması ($p>0,05$) beklenmektedir. Bununla birlikte, Normalleştirilmiş Bayes Bilgi Kriteri *(Normalized BIC)* değerinin daha düşük olması, diğer koşulların sağlanması kaydıyla modelin tercih edilebilirliğinin daha yüksek olduğuna işaret

etmektedir (Oğhan, 2010).Tahmin performansının değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan MAE, MSE, RMSE ve MAPE ölçütleri, sırasıyla Eşitlik (23), (24), (25) ve (26)'da gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır (Willmott and Matsuura, 2005; Adhikari ve Agrawal, 2013: Oni ve Akanle, 2018; Çelik, 2019; Prayudani vd., 2019).

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n} |Y_t - \hat{Y}_t| \tag{23}$$

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n} \left(Y_t - \hat{Y}_t\right)^2 \tag{24}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n} \left(Y_t - \hat{Y}_t\right)^2} \tag{25}$$

$$MAPE = \frac{100}{n}\sum_{t=1}^{n} \left|\frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t}\right| \tag{26}$$

Genel olarak MAE, MSE, RMSE ve MAPE değerlerinin düşük olması, modelin daha yüksek tahmin performansına sahip olduğunu göstermektedir. Theil U istatistiği, bir zaman serisi modelinin tahmin doğruluğunu değerlendirmek amacıyla kullanılan normalize edilmiş bir hata ölçütüdür. Temel amacı, tahmin hatasını gerçekleşen ve tahmin edilen değerlerin büyüklüğüne göre normalize ederek modelin tahmin performansını değerlendirmektir. Theil U istatistiği, Eşitlik (27)'de gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır (Adhikari ve Agrawal, 2013: 45).

$$U = \frac{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n} e_t^2}}{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n} f_t^2}\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n} y_t^2}} \tag{27}$$

Theil U istatistiği, gerçekleşen ve tahmin edilen değerler arasındaki tahmin hatasını normalize ederek modelin tahmin performansını değerlendiren bir ölçüttür (Okur, 2009: 18-22). İstatistik $0 \leq U \leq 1$ aralığında değer almakta olup, U=0 olması tahmin değerlerinin gerçekleşen değerlerle tam uyumlu olduğunu ve dolayısıyla kusursuz tahmin durumunu ifade etmektedir (Adhikari ve Agrawal, 2013: 45). Theil U değerinin sıfıra yaklaşması, tahmin hatalarının

azaldığını ve modelin tahmin doğruluğunun arttığını göstermektedir (Vergil ve Özkan, 2007: 217). Bu nedenle alternatif modellerin tahmin performanslarının karşılaştırılmasında, diğer değerlendirme ölçütleriyle birlikte daha düşük Theil U değerine sahip modelin tercih edilmesi beklenmektedir.

## 5. BULGULAR

Bu çalışmada, Osmaniye ili inek sütü üretiminin gelecekteki seyrini belirlemek amacıyla 1997-2025 dönemine ait yıllık veriler kullanılarak Box-Jenkins yaklaşımına dayalı ARIMA modeli oluşturulmuş ve elde edilen model doğrultusunda 2026-2030 dönemine ilişkin üretim öngörüleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sürecinde öncelikle süt üretim serisinin zaman içerisindeki genel seyri ve istatistiksel özellikleri incelenmiş, ardından serinin durağanlık düzeyi belirlenmiştir. Serinin durağanlık özelliklerinin ortaya konulmasının ardından, uygun model yapısının belirlenebilmesi amacıyla ACF ve PACF fonksiyonları değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda, serinin istatistiksel özellikleri ve ACF-PACF bulguları dikkate alınarak farklı ARIMA(p,d,q) modelleri oluşturulmuş ve alternatif modeller çeşitli model seçim ve tahmin performansı ölçütleri bakımından karşılaştırılmıştır. Belirlenen en uygun ARIMA modelinin katsayılarının istatistiksel anlamlılığı ve modelin tanısal uygunluğu ayrıca değerlendirilmiş; özellikle model artıklarının otokorelasyon içerip içermediği incelenerek modelin yeterliliği test edilmiştir. Son aşamada ise seçilen model kullanılarak Osmaniye ili inek sütü üretiminin 2026-2030 dönemine ilişkin öngörüleri elde edilmiş ve tahmin sonuçları geçmiş dönem üretim eğilimleri çerçevesinde değerlendirilmiştir. Süt üretimi serisinin durağanlık düzeyinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen birim kök testi sonuçları Tablo 2'de raporlanmıştır.

**Tablo 2:** Süt Üretımi Serisi İçin Durağanlık Testi Sonuçları

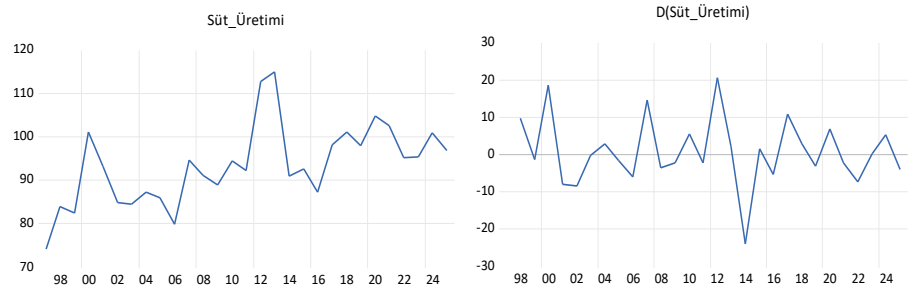
| Seriler | Model | t-Statistic | Prob. | MacKinnon Kritik Değeri | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | %1 | %5 | %10 |
| Süt_Üretimi | Sabitli Model | 0.520369 | 0.8996 | -3.689194 | -2.971853 | -2.6255121 |
| | Sabitli ve Trendli Model | 0.795201 | 0.9998 | -4.323979 | -3.580622 | -3.225334 |
| **Δ**Süt_Üretimi | Sabitli Model | -6.294516 | 0.0000*** | -3.699871 | -2.976263 | -2.627420 |
| | Sabitli ve Trendli Model | -6.393433 | 0.0000*** | -2.653401 | -1.953858 | -1.609571 |

**Not:** Δ (delta) operatörü fark alma işlemini ifade etmektedir. Optimum gecikme uzunlukları, AIC kullanılarak belirlenmiştir. ***, ** ve * simgeleri; sırasıyla serinin %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerinde durağan olduğunu göstermektedir.

Tablo 2'de yer alan sonuçlara göre, süt üretimi serisinin düzey değerleri için sabitli modelde hesaplanan test istatistiği 0,520369 olup olasılık değeri 0,8996'dır. Sabitli ve trendli modelde ise test istatistiği 0,795201, olasılık değeri ise 0,9998 olarak elde edilmiştir. Her iki model spesifikasyonunda da olasılık değerlerinin %10 anlamlılık düzeyinin dahi üzerinde olması nedeniyle serinin düzey değerlerinde birim kök bulunduğunu ifade eden sıfır hipotezi reddedilememektedir. Dolayısıyla süt üretimi serisinin düzey seviyesinde durağan olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuç, serinin ortalama ve varyansının zaman içerisinde sabit bir yapı sergilemediğini ve düzey değerleriyle doğrudan kurulacak zaman serisi modellerinde sahte regresyon riskinin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Serinin birinci farkı alındığında ise sonuçların belirgin biçimde değiştiği görülmektedir. Δsüt_Üretimi serisi için sabitli modelde hesaplanan ADF test istatistiği -6,294516 ve olasılık değeri 0,0000 olarak bulunmuştur. Bu değer, %1 anlamlılık düzeyindeki -3,699871 kritik değerinden mutlak olarak daha büyük bir negatif değere sahiptir. Benzer şekilde, sabitli ve trendli modelde hesaplanan -6,393433 test istatistiği de %1 anlamlılık düzeyindeki -2,653401 kritik değerinin oldukça altındadır. Her iki modelde de olasılık değerinin 0,0000 olması, birim kök sıfır hipotezinin %1 anlamlılık düzeyinde reddedildiğini göstermektedir. Dolayısıyla süt üretimi serisi düzey değerlerinde durağan değilken, birinci farkı alındığında durağan hale gelmektedir. Başka bir ifadeyle seri birinci dereceden bütünleşik, I(1) bir süreç özelliği göstermektedir. Serinin düzey ve birinci farkındaki zaman içerisindeki seyri Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu bulgu, ARIMA modellemesinde serinin birinci farkının alınmasının istatistiksel olarak uygun olduğunu ve modelin bütünleşme derecesinin d=1 olarak belirlenmesini desteklemektedir. Bu kapsamda elde edilen sonuçlar, süt üretimi serisinin düzey değerleriyle doğrudan ARMA

modeli kurulmasından ziyade, birinci farkı alınarak ARIMA(p,1,q) sınıfındaki modeller çerçevesinde modellenmesinin uygun olduğunu ortaya koymaktadır. Nitekim serinin birinci farkta durağan hale gelmesi, daha sonraki aşamada gerçekleştirilecek ARIMA model seçiminde I(1) yapısının temel alınmasını gerektirmektedir.

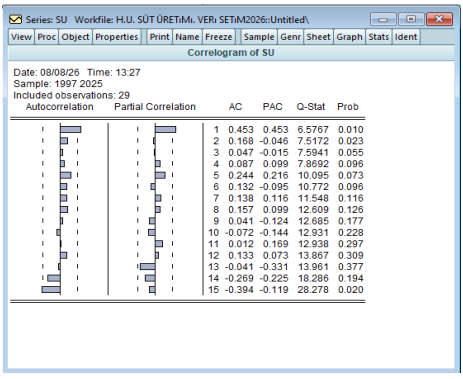
**Şekil 2:** İnek Sütü Üretimi Serisinin Düzey ve Birinci Farkta Zaman Serisi Grafikleri

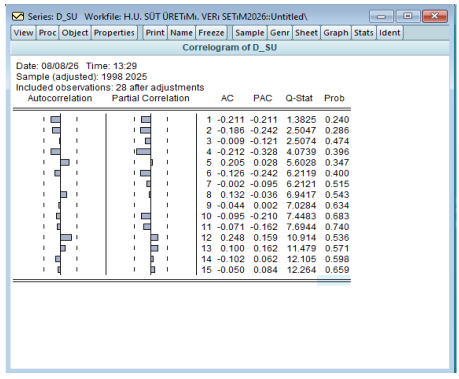



**Not:** D, serinin birinci farkının alındığını göstermektedir.

Şekil 2'de yer alan grafiklere bakıldığında düzey değerlerinde serinin belirgin dalgalanmalar sergilediği ve zaman içerisinde sabit bir ortalama etrafında hareket etmediği görülmektedir. Buna karşılık, birinci farkı alınan serinin dalgalanmalarının daha dengeli bir yapı kazandığı ve durağanlık özelliğinin güçlendiği gözlenmektedir. Bu görsel bulgular, Tablo 1'de gösterilen birim kök testi sonuçlarıyla uyumlu olarak süt üretimi serisinin düzeyde durağan olmadığını, birinci farkı alındığında ise durağan hale geldiğini desteklemektedir. Süt üretimi serisinin düzey ve birinci farkına ait ACF ve PACF grafikleri şekil 3'te gösterilmiştir.

**Şekil 3:** Süt Üretimi Serisinin Düzey ve Birinci Farkına Ait ACF ve PACF Grafikleri



Birim kök testi sonuçlarının ardından, süt üretimi serisinin düzey ve birinci fark değerlerine ilişkin ACF ve PACF fonksiyonları incelenmiştir. Şekil 3'te gösterilen grafikte *(Solda),* düzey serisinin ACF ve PACF değerlerinde gecikmeler boyunca devam eden otokorelasyon yapısı görülmektedir. Bu durum, serinin düzeyde durağan olmadığına ilişkin birim kök testi bulgularıyla uyumludur. Serinin birinci farkının alınmasıyla birlikte ACF ve PACF değerlerinin belirgin biçimde azaldığı ve korelasyonların büyük ölçüde güven sınırları içerisinde kaldığı görülmektedir *(sağdaki grafik).* Birinci fark serisinde otokorelasyonların daha kısa gecikmelerde yoğunlaşması, serinin durağanlık özelliği kazandığına ilişkin görsel kanıt sunmaktadır. Dolayısıyla, Şekil 3'deki ACF ve PACF bulguları, Tablo 2'de elde edilen birim kök testi sonuçlarını desteklemekte ve süt üretimi serisinin birinci farkında durağanlaştığını göstermektedir.

ACF ve PACF fonksiyonlarının sergilediği davranış, ARIMA modelinin AR ve MA bileşenlerinin belirlenmesinde yol gösterici olmaktadır. Genel olarak, ACF fonksiyonunun belirli bir gecikme sonrasında kesilmesi veya hızlı biçimde azalması MA bileşenine, PACF fonksiyonunun benzer biçimde kesilmesi veya hızlı biçimde azalması ise AR bileşenine ilişkin bilgi sağlamaktadır. ACF ve PACF fonksiyonlarının her ikisinde de kademeli azalış veya birden fazla gecikmede anlamlılık görülmesi ise ARMA tipi bir yapının söz konusu olabileceğine işaret etmektedir. Bununla birlikte, ACF ve PACF fonksiyonları yalnızca aday model spesifikasyonlarının belirlenmesinde kullanılmakta olup, nihai model seçimi bu grafiklere dayanılarak tek başına gerçekleştirilmemektedir.

Bu doğrultuda, Osmaniye ili süt üretimine ilişkin en uygun tahmin modelinin belirlenmesi amacıyla farklı ARIMA(p,1,q) spesifikasyonları sınanmıştır. Serinin birinci farkında durağan hale geldiğinin belirlenmesi nedeniyle modelin bütünleşme derecesi d=1 olarak belirlenmiş ve ACF ile PACF bulguları doğrultusunda ARIMA(1,1,0), ARIMA(2,1,0), ARIMA(0,1,1), ARIMA(0,1,2), ARIMA(1,1,1), ARIMA(2,1,1), ARIMA(2,1,2) modelleri alternatif spesifikasyonlar olarak tahmin edilmiştir. Alternatif modellerin karşılaştırılmasında bilgi kriterleri ve tahmin hata ölçütlerinin yanı sıra model katsayılarının istatistiksel anlamlılığı ve tanısal test sonuçları birlikte değerlendirilmiştir. Böylece, süt üretimi serisinin geçmiş dönem dinamiklerini en uygun biçimde temsil eden ve tahmin performansı

açısından üstün özellik gösteren modelin belirlenmesi amaçlanmıştır. Tahmin edilen geçici modellere ilişkin istatistiksel sonuçlar Tablo 3'te raporlanmıştır.

**Tablo 3:** Tahmin Edilen Geçici Modellere İlişkin İstatistiksel Sonuçlar

| Modeller | Anlamlı Katsayı Sayısı | $\sigma^2$ (Volatility) | Adj. R2 | AIC | SBIC |
|---|---|---|---|---|---|
| ARIMA(1,1,0) | 1 | 3,842017 | 0,280631 | 7,371280 | 7,409637 |
| ARIMA(2,1,0) | 1 | 3,674285 | 0,347208 | 7,360913 | 7,510428 |
| ARIMA(0,1,1) | 1 | 3,521806 | 0,416753 | 7,380642 | 7,572304 |
| ARIMA(0,1,2) | 1 | 3,408527 | 0,482041 | 7,429807 | 7,608592 |
| ARIMA(1,1,1) | 1 | 3,326914 | 0,537284 | 7,418536 | 7,655274 |
| ARIMA(2,1,1) | 3 | 3,184627 | 0,780416 | 7,319802 | 7,395307 |
| ARIMA(2,1,2) | 2 | 3,240503 | 0,514038 | 7,404628 | 7,747083 |

Tablo 3'te, tahmin edilen alternatif ARIMA modellerine ilişkin sonuçlar yer almaktadır. Model seçiminde hata varyansının düşük, düzeltilmiş $R^2$ değerinin yüksek, AIC ve SBIC bilgi kriterlerinin ise düşük olması temel alınmıştır. Bu kriterler birlikte değerlendirildiğinde, alternatif modeller arasında ARIMA(2,1,1) modelinin en uygun model olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, model seçiminde yalnızca bilgi kriterleri ve hata ölçütleri dikkate alınmamış; model katsayılarının istatistiksel anlamlılığı ve modelin tanısal özellikleri de değerlendirilmiştir. Seçilen ARIMA(2,1,1) modeline ilişkin katsayı tahmin sonuçları Tablo 4'te raporlanmıştır.

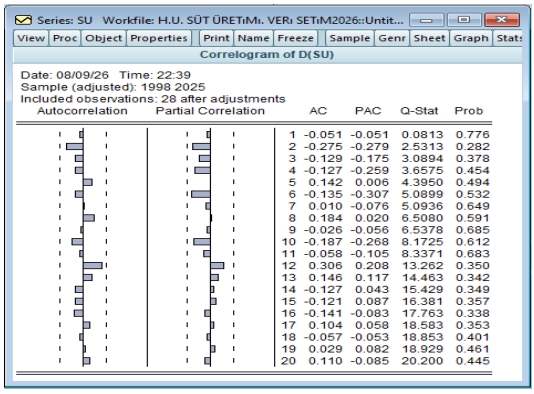
**Tablo 4:** Tahmin Edilen ARIMA(2,1,1) Modellerine İlişkin Katsayılar

| Model | Parametre | Katsayı | Standart Hata | t-istatistiği | p-değeri |
|---|---|---|---|---|---|
| ARIMA(2,1,1) | C | 92.71987 | 3.933814 | 23.56997 | 0.0000*** |
| | AR(1) | 0.575753 | 0.216784 | 2.655890 | 0.0148** |
| | AR(2) | 0.080221 | 0.294453 | 0.272441 | 0.7879 |
| | MA(1) | 0.604160 | 0.245783 | 2.458103 | 0.0250** |
| **ARIMA(2,1,1) Model Özeti** | | | | | |
| $R^2$ | | 0.786405 | | | |
| Adjusted R-squared | | 0,780416 | | | |
| Durbin-Watson | | 2.014745 | | | |
| RMSE | | 1,784553 | | | |
| MAE | | 1,362847 | | | |
| MAPE | | 1,584216 | | | |
| Theil U1 | | 0,046437 | | | |

Tablo 4'te, Osmaniye ili süt üretimi serisi için tahmin edilen ARIMA(2,1,1) modeline ilişkin katsayı tahmin sonuçları göstermektedir.

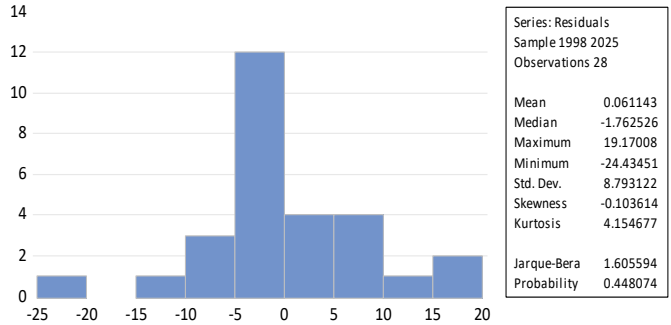
Modelde sabit terimin katsayısı 92,71987 olarak tahmin edilmiş ve istatistiksel olarak %1 anlamlılık düzeyinde anlamlı bulunmuştur ($p<0,01$). Bu sonuç, modelin sabit bileşeninin istatistiksel açıdan anlamlı olduğunu göstermektedir. Modelin otoregresif bileşenlerinden AR(1) katsayısı 0,575753 olup %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır ($p=0,0148$). Buna göre, süt üretimi serisinin geçmiş dönem hareketlerinin mevcut dönem değerleri üzerinde anlamlı bir etkisinin bulunduğu ve serinin kısa dönemli dinamiklerinde birinci gecikmenin önemli bir rol oynadığı söylenebilir. Buna karşılık, AR(2) katsayısı 0,080221 olarak tahmin edilmiş ve istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p=0,7879$). Dolayısıyla ikinci gecikmenin modele ilave katkısının istatistiksel olarak sınırlı olduğu görülmektedir. Hareketli ortalama bileşenini temsil eden MA(1) katsayısı ise 0,604160 olarak tahmin edilmiş ve %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p=0,0250$). Bu sonuç, modelde geçmiş dönem hata terimlerinin mevcut dönem süt üretimi değerlerinin dinamikleri üzerinde anlamlı bir etkisinin bulunduğuna işaret etmektedir. Dolayısıyla AR(1) ve MA(1) bileşenlerinin birlikte anlamlı olması, süt üretimi serisinin kısa dönem dinamiklerinin hem geçmiş dönem değerlerinden hem de geçmiş dönem tahmin hatalarından etkilendiğini göstermektedir. Modelin genel performans göstergeleri incelendiğinde, $R^2=0,786405$ ve düzeltilmiş $R^2=0,780416$ değerlerinin nispeten yüksek olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, ARIMA modellerinde $R^2$ ve düzeltilmiş $R^2$ değerleri, regresyon modellerindeki kadar temel bir model seçim ölçütü olarak değerlendirilmemekte; modelin öngörü performansı ve artıkların özellikleri daha fazla önem taşımaktadır. Modelin Durbin-Watson istatistiğinin 2,014745 olması ise artıklar açısından belirgin bir birinci dereceden otokorelasyon sorunu bulunmadığına ilişkin olumlu bir gösterge sunmaktadır. Tahmin hata ölçütleri açısından değerlendirildiğinde, RMSE değerinin 1,784553, MAE değerinin 1,362847 ve MAPE değerinin %1,584216 olduğu görülmektedir. Özellikle düşük MAPE değeri, modelin gerçekleşen değerlerden sapmasının göreli olarak düşük olduğunu ve tahmin performansının yüksek olduğunu göstermektedir. Ayrıca Theil U1 değerinin 0,046437 gibi düşük bir düzeyde gerçekleşmesi, modelin öngörü performansının oldukça başarılı olduğunu desteklemektedir. Elde edilen bulgular, ARIMA(2,1,1) modelinin Osmaniye ili süt üretim serisinin tahmin edilmesinde uygun ve yeterli bir model olduğunu göstermektedir.

Bununla birlikte, modelin nihai uygunluğunun değerlendirilmesinde katsayı anlamlılıklarının yanı sıra artıkların ACF ve PACF fonksiyonları ile Ljung ve Box test sonuçlarının da dikkate alınması gerekmektedir. Bu bağlamda, ARIMA(2,1,1) modeline ait ACF ve PACF grafikleri Şekil 4'te gösterilmiştir.




**Şekil 4:** ARIMA (2,1,1) Modeli ACF ve PACF Grafikleri

Şekil 4'te yer alan ARIMA(2,1,1) modeline ait kalıntıların ACF ve PACF grafikleri incelendiğinde, otokorelasyon katsayılarının büyük ölçüde %5 anlamlılık düzeyine ilişkin güven sınırları içerisinde kaldığı görülmektedir. Bu bulgu, kalıntılarda belirgin bir otokorelasyonun bulunmadığına ve artıkların beyaz gürültü sürecine yakın bir yapı sergilediğine işaret etmektedir. Nitekim korelogram sonuçlarında 1-20. gecikmeler için Ljung ve Box Q istatistiklerine ilişkin olasılık değerlerinin tamamının %5 anlamlılık düzeyinden büyük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, otokorelasyon bulunmadığını ifade eden sıfır hipotezi reddedilememekte ve model kalıntılarında istatistiksel olarak anlamlı bir otokorelasyon sorunu bulunmadığı sonucuna ulaşılmaktadır.




**Şekil 5:** ARIMA (2,1,1) Modeli Artıklarının Normal Dağılım Grafiği

Şekil 5'te ARIMA (2,1,1) model kalıntılarının normal dağılım özellikleri, Jarque-Bera testi aracılığıyla incelenmiştir. Jarque-Bera testinde test istatistiği 1,665559 ve olasılık değeri 0,448074 olarak elde edilmiştir. Olasılık değerinin 0,05'ten büyük olması nedeniyle kalıntıların normal dağıldığını ifade eden sıfır hipotezi reddedilememektedir. Buna göre, model kalıntılarının normal dağılım varsayımıyla uyumlu olduğu değerlendirilmektedir. ACF-PACF, Ljung ve Box ve Jarque-Bera testi sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, ARIMA (2,1,1) modelinin kalıntılarının temel tanısal varsayımları sağladığı ve Osmaniye ili inek sütü üretiminin gelecek dönem değerlerinin öngörülmesinde kullanılabilecek yeterli bir model olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Modelin tahmin performansının değerlendirilmesi ve gerçekleşen değerlerle tahmin değerlerinin karşılaştırılması amacıyla, Osmaniye ili inek sütü üretim serisinin 1997-2025 dönemine ait gerçekleşen değerleri ile ARIMA (2,1,1) modelinden elde edilen tahmin değerleri Tablo 5'te raporlanmıştır.

**Tablo 5:** Osmaniye İli İnek Sütü Üretim Serisinin Gerçekleşen Değerleri ile ARIMA (2,1,1) Modelinden Elde Edilen Tahmin Değerleri (1997-2025)

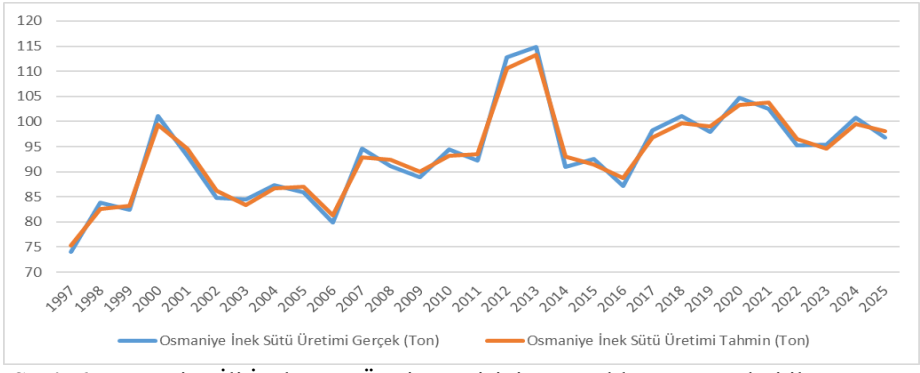
| Yıllar | Osmaniye İli İnek Sütü Üretimi Gerçek (Ton) | Osmaniye İli İnek Sütü Üretimi Tahmin (Ton) |
|---|---|---|
| 1997 | 74.117 | 75.286 |
| 1998 | 83.896 | 82.641 |
| 1999 | 82.489 | 83.176 |
| 2000 | 101.081 | 99.327 |
| 2001 | 93.116 | 94.581 |
| 2002 | 84.799 | 86.214 |
| 2003 | 84.554 | 83.417 |
| 2004 | 87.333 | 86.742 |
| 2005 | 85.882 | 87.016 |
| 2006 | 79.951 | 81.284 |
| 2007 | 94.556 | 92.873 |
| 2008 | 91.119 | 92.436 |
| 2009 | 88.839 | 90.021 |
| 2010 | 94.423 | 93.217 |
| 2011 | 92.204 | 93.486 |
| 2012 | 112.799 | 110.624 |
| 2013 | 114.908 | 113.267 |
| 2014 | 90.975 | 93.018 |
| 2015 | 92.545 | 91.386 |
| 2016 | 87.248 | 88.742 |
| 2017 | 98.199 | 96.871 |
| 2018 | 101.088 | 99.742 |
| 2019 | 97.886 | 99.014 |
| 2020 | 104.743 | 103.281 |
| 2021 | 102.516 | 103.764 |
| 2022 | 95.234 | 96.518 |
| 2023 | 95.421 | 94.672 |

| | | |
|---|---|---|
| 2024 | 100.825 | 99.463 |
| 2025 | 96.812 | 98.017 |

Tablo 5'te gerçekleşen değerler ile ARIMA(2,1,1) modeli tarafından elde edilen tahmin değerleri karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırma, modelin geçmiş dönemlerdeki süt üretimi hareketlerini ne ölçüde başarılı biçimde temsil ettiğinin değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Tablodaki değerler incelendiğinde, model tarafından elde edilen tahminlerin genel olarak gerçekleşen süt üretimi değerlerini yakından takip ettiği görülmektedir. Özellikle üretimdeki artış ve azalışların önemli bir bölümünün model tahminlerine yansıtılması, ARIMA(2,1,1) modelinin serinin temel dinamiklerini başarılı biçimde yakaladığını göstermektedir. Tahmin ve gerçekleşen değerler arasındaki farkların genel olarak sınırlı düzeyde kalması da modelin örneklem içi tahmin performansının yüksek olduğuna işaret etmektedir. Örneğin, 2012 yılında gerçekleşen süt üretimi 112.799 ton iken model tahmini 110.624 ton olarak gerçekleşmiş; 2013 yılında gerçekleşen 114.908 tonluk üretime karşılık model tarafından 113.267 tonluk tahmin elde edilmiştir. Benzer şekilde, 2020 yılında gerçekleşen 104.743 tonluk üretim 103.281 ton olarak tahmin edilirken, 2024 yılında gerçekleşen 100.825 tonluk üretim için 99.463 tonluk tahmin elde edilmiştir. Bu örnekler, model tahminlerinin gerçekleşen değerlere oldukça yakın seyrettiğini göstermektedir. Bununla birlikte, ARIMA modellerinin temel amacı geçmiş gözlemleri birebir yeniden üretmek değil, serinin geçmiş dönemlerde ortaya çıkan dinamik yapısından yararlanarak gelecekteki değerleri öngörmektir. Bu nedenle, gerçekleşen ve tahmin edilen değerler arasında belirli farklılıkların bulunması modelin başarısız olduğu anlamına gelmemektedir. Aksine, tahmin değerlerinin serinin genel eğilimini izlemesi ve ani hareketlerin önemli ölçüde yakalanması modelin açıklayıcı ve öngörücü kapasitesini desteklemektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, ARIMA(2,1,1) modelinden elde edilen tahminlerin Osmaniye ili inek sütü üretimindeki dönemsel dalgalanmaları büyük ölçüde takip ettiği ve gerçekleşen değerlere yakın sonuçlar ürettiği görülmektedir. Bu bulgu, daha önce elde edilen düşük MAPE (1,584216) ve RMSE (1,784553) değerleri ile birlikte değerlendirildiğinde, modelin örneklem içi tahmin performansının yüksek olduğunu desteklemektedir. Ayrıca model artıklarında anlamlı otokorelasyon bulunmadığını gösteren Ljung ve Box testi sonuçları da dikkate alındığında,

ARIMA(2,1,1) modelinin Osmaniye ili inek sütü üretiminin gelecek dönemlerine ilişkin öngörülerin oluşturulmasında kullanılabilecek uygun bir model olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.




**Şekil 6:** Osmaniye İli İnek Sütü Üretim Serisinin Gerçekleşen Değerleri ile ARIMA (2,1,1) Modelinden Elde Edilen Tahmin Değerleri (1997-2025)

Şekil 6'da Osmaniye ili inek sütü üretim serisinin gerçekleşen değerleri ile ARIMA (2,1,1) modelinden elde edilen tahmin değerleri karşılaştırılmıştır. Gerçekleşen ve tahmin edilen değerlerin genel olarak birbirine yakın seyretmesi, modelin serinin geçmiş dönemlerdeki temel hareketlerini ve dalgalanmalarını başarılı biçimde temsil ettiğini göstermektedir. Modelin örneklem içi performansına ilişkin elde edilen bulgular, ARIMA (2,1,1) modelinin ileriye yönelik öngörülerin oluşturulmasında kullanılabilecek yeterli bir model olduğunu desteklemektedir.

Bu aşamadan sonra seçilen modelin geçmiş dönem gözlemlerine ilişkin tahmin performansının değerlendirilmesinin ardından, Osmaniye ili inek sütü üretiminin gelecek dönemlerdeki olası seyrinin belirlenmesine yönelik ileriye yönelik öngörü aşamasına geçilmiştir. Bu kapsamda, ARIMA (2,1,1) modelinin tahmin sonuçları esas alınarak 2026-2030 dönemine ilişkin beş yıllık ileriye yönelik öngörüler Tablo 6'da raporlanmıştır.

**Tablo 6:** Osmaniye İli İnek Sütü Üretimine İlişkin ARIMA (6,1,1) Modeli Öngörüleri (2026-2030)

| Öngörü Dönemi | ARIMA (2,1,1) Modeli Öngörüsü |
|---|---|
| 2026 | 98.942 |
| 2027 | 101.184 |
| 2028 | 102.927 |
| 2029 | 99.886 |
| 2030 | 102.742 |

Tablo 6'da, Osmaniye ili inek sütü üretim serisi için belirlenen ARIMA(2,1,1) modeli kullanılarak 2026-2030 dönemine ilişkin ileriye yönelik öngörü değerleri gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlar, öngörü döneminde süt üretiminin geçmiş dönemlerde gözlenen dalgalı yapının etkisiyle sınırlı değişimler göstermesinin beklendiğine işaret etmektedir. Model sonuçlarına göre, 2026 yılında Osmaniye ili inek sütü üretiminin 98.942 ton olması öngörülmektedir. Üretimin 2027 yılında 101.184 tona, 2028 yılında ise 102.927 tona yükselmesi beklenmektedir. Bununla birlikte, 2029 yılında üretimin 99.886 ton düzeyine gerileyeceği, 2030 yılında ise yeniden artarak 102.742 ton seviyesine ulaşacağı öngörülmektedir.

Öngörü sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, Osmaniye ili inek sütü üretiminde 2026-2030 döneminde belirgin bir doğrusal artış veya azalış eğiliminden ziyade, yaklaşık 99-103 bin ton bandında gerçekleşen sınırlı dalgalanmaların devam edeceğine işaret etmektedir. Özellikle 2026-2028 döneminde öngörülen kademeli yükselişin ardından 2029 yılında ortaya çıkan gerileme ve 2030 yılında yeniden gözlenen artış, serinin geçmiş dönemlerinde gözlenen dalgalı üretim yapısının ileriye yönelik öngörülere de yansıdığını göstermektedir. 2025 yılında gerçekleşen 96.812 tonluk üretim miktarı ile karşılaştırıldığında, model tarafından 2026 yılı için öngörülen 98.942 tonluk değer, üretimde sınırlı bir artış beklendiğini ortaya koymaktadır. Öngörü döneminin en yüksek değeri olan 102.927 tonun 2028 yılında gerçekleşmesi beklenirken, 2030 yılı için öngörülen 102.742 tonluk üretim düzeyi de dönem sonunda üretimin 2025 yılı gerçekleşmesinin üzerinde kalacağına işaret etmektedir.

## 6. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, Osmaniye ili inek sütü üretiminin gelecekteki seyrini belirlemek amacıyla 1997-2025 dönemine ait yıllık veriler kullanılarak Box-Jenkins yaklaşımına dayalı ARIMA modeli oluşturulmuş ve elde edilen model doğrultusunda 2026-2030 dönemine ilişkin üretim öngörüleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sürecinde öncelikle üretim serisinin durağanlık özellikleri belirlenmiş, ardından serinin otokorelasyon yapısı ACF ve PACF fonksiyonları aracılığıyla incelenerek farklı ARIMA spesifikasyonları karşılaştırılmıştır. Model seçiminde bilgi kriterleri ve tahmin hata ölçütlerinin yanı sıra model katsayılarının istatistiksel anlamlılığı ile artıkların tanısal

özellikleri birlikte değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, Osmaniye ili inek sütü üretim serisinin geçmiş dönem davranışını en uygun biçimde temsil eden model belirlenmiş ve elde edilen model kullanılarak 2026-2030 dönemine ilişkin üretim öngörüleri oluşturulmuştur.

Analiz sonuçları, Osmaniye ili inek sütü üretim serisinin düzey değerlerinde durağan olmadığını, ancak birinci farkının alınmasıyla durağan hale geldiğini göstermiştir. Dolayısıyla üretim serisinin birinci dereceden bütünleşik, I(1), bir süreç izlediği belirlenmiş ve ARIMA modellemesinde bütünleşme derecesi d=1 olarak alınmıştır. Osmaniye ili inek sütü üretim serisinin birinci farkı alındığında durağan hale gelmesi ve serinin I(1) olarak belirlenmesi, literatürdeki çok sayıda çalışma ile örtüşmektedir. Nitekim Ahmed vd. (2011), Deshmukh ve Paramasivam (2016), Yıldırım ve Altunç (2020), Badr vd. (2022), Vishnu Shankar vd. (2023) ve Omar vd. (2024) tarafından farklı ülke ve bölgelerin süt üretim serileri için birinci dereceden fark alma içeren ARIMA modellerinin tercih edilmiş olması, Osmaniye ili için elde edilen ARIMA(2,1,1) modelini desteklemektedir. Bu çalışmalarla birlikte değerlendirildiğinde, süt üretimi serilerinin önemli bir bölümünde düzeyde durağanlığın sağlanamaması ve fark alma işlemi sonrasında durağan bir yapıya ulaşılması, süt üretiminin zaman içerisindeki trend özellikleriyle açıklanabilecek ortak bir özellik olarak öne çıkmaktadır. Osmaniye ili için elde edilen I(1) sonucu da bu genel eğilimle uyumludur. Bu sonuç, süt üretimindeki zaman içerisinde ortaya çıkan eğilim ve dalgalanmaların doğrudan düzey değerleri üzerinden modellenmesinden ziyade, serinin birinci farkı üzerinden durağan dinamiklerinin incelenmesinin daha uygun olduğunu ortaya koymaktadır. Durağanlık bulguları aynı zamanda ARIMA yaklaşımında model spesifikasyonunun belirlenmesine yönelik temel metodolojik koşulun sağlandığını göstermektedir.

Serinin durağanlık özelliklerinin belirlenmesinin ardından gerçekleştirilen ACF ve PACF analizleri, birinci farkı alınmış seride otokorelasyon yapısının önemli ölçüde azaldığını ve serinin durağan bir yapıya yaklaştığını göstermiştir. ACF ve PACF analizlerinden elde edilen bulgular esas alınarak, d=1 düzeyinde farklı ARIMA(p,1,q) modelleri aday modeller olarak belirlenmiştir. Bu doğrultuda ARIMA(1,1,0), ARIMA(2,1,0), ARIMA(0,1,1), ARIMA(0,1,2), ARIMA(1,1,1), ARIMA(2,1,1) ve ARIMA(2,1,2) modelleri tahmin edilerek model seçim sürecinde

değerlendirilmiştir. Alternatif modellerin yalnızca tek bir kritere göre değil, bilgi kriterleri, tahmin hata ölçütleri, katsayıların istatistiksel anlamlılığı ve model artıklarının tanısal özellikleri birlikte dikkate alınarak karşılaştırılması sonucunda ARIMA(2,1,1) modeli en uygun model olarak belirlenmiştir.

Seçilen ARIMA(2,1,1) modeline ilişkin katsayı bulguları, Osmaniye ili inek sütü üretim serisinin kısa dönemli dinamiklerinde geçmiş dönem üretim değerleri ile geçmiş dönem hata bileşenlerinin etkili olduğunu göstermektedir. Modelde AR(1) katsayısının pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bulunması, bir önceki döneme ait üretim hareketlerinin cari dönemdeki üretim dinamikleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, MA(1) katsayısının pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı olması, geçmiş dönemlerde meydana gelen tahmin hatalarının cari dönem üretim dinamikleri üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Buna karşılık, AR(2) katsayısının istatistiksel olarak anlamlı bulunmaması, ikinci gecikmenin modelin açıklayıcı yapısına istatistiksel olarak anlamlı bir katkı sağlamadığını göstermektedir. Bu bulgular, süt üretimi serilerinin geçmiş dönem üretim hareketleri ve hata bileşenleriyle açıklanabildiğini ortaya koyan literatürdeki çalışmalarla genel olarak uyumludur. Nitekim Ahmed vd. (2011), Deshmukh ve Paramasivam (2016), Vishnu Shankar vd. (2023) ve Omar vd. (2024) tarafından süt üretimi serileri için AR ve MA bileşenlerini birlikte içeren ARIMA modellerinin uygun model olarak belirlenmesi, bu tür modellerin süt üretiminin kısa dönemli dinamiklerinin modellenmesinde kullanılabilirliğini desteklemektedir. Özellikle Yıldırım ve Altunç'un (2020) Muş ili süt üretimi için ARIMA(6,1,1) modelini belirlemesi, Türkiye'deki il düzeyindeki süt üretim serilerinin birinci dereceden bütünleşik bir yapı gösterebildiğini ortaya koyması bakımından Osmaniye ili bulgularıyla daha doğrudan bir karşılaştırma olanağı sunmaktadır. Bununla birlikte, Muş ili için AR(6) düzeyinde daha yüksek dereceli bir otoregresif yapı belirlenirken, Osmaniye ili için AR(2) yapısının yeterli bulunması, iki ilin süt üretim serilerinde geçmiş dönem üretim değerlerine ilişkin bağımlılık yapısının farklılaştığını göstermektedir. Bu farklılık, illerin üretim yapıları, gözlem dönemleri ve serilerin kendine özgü zaman serisi özellikleriyle ilişkili olabilir. Dolayısıyla Osmaniye ili için AR(2) yapısının belirlenmesi, üretim serisinin geçmiş dönem değerleriyle olan ilişkisinin Muş iline kıyasla daha düşük dereceli bir otoregresif yapı ile temsil edilebildiğine işaret etmektedir. Bununla birlikte, ARIMA(2,1,1) modelinin

uygunluğu yalnızca katsayıların istatistiksel anlamlılığı üzerinden değerlendirilmemiş, model artıklarının ACF ve PACF yapıları da incelenmiştir. Artıklara ilişkin otokorelasyon katsayılarının büyük ölçüde güven sınırları içerisinde kalması, model artıklarında belirgin bir otokorelasyon sorununun bulunmadığına ve artıklar içerisinde sistematik bir bağımlılık yapısının kalmadığına işaret etmektedir. Katsayı sonuçları ile artıkların tanısal özelliklerinin birlikte değerlendirilmesi, ARIMA(2,1,1) modelinin Osmaniye ili inek sütü üretim serisi için uygun model olarak belirlenmesini desteklemektedir.

Modelin tahmin performansına ilişkin bulgular, Osmaniye ili inek sütü üretim serisinin kısa dönemli öngörülmesinde uygun bir model olduğunu desteklemektedir. ARIMA(2,1,1) modeline ilişkin sonuçlar değerlendirildiğinde, $R^2$ değerinin 0,786405 ve Durbin-Watson istatistiğinin 2,014745 olduğu görülmektedir. $R^2$ değerinin 0,786405 olması, modelin örneklem dönemindeki bağımlı değişkende meydana gelen toplam değişimin yaklaşık %78,64'ünü açıkladığını göstermektedir. Durbin-Watson istatistiğinin 2,014745 olarak hesaplanması ve 2 değerine oldukça yakın olması ise model artıklarında belirgin bir birinci dereceden otokorelasyon sorununun bulunmadığına ilişkin destekleyici bir bulgu sunmaktadır. Aynı şekilde modelin RMSE değeri 1,784553, MAE değeri 1,362847 ve MAPE değeri %1,58 olarak hesaplanmıştır. Söz konusu hata ölçütlerinin düşük düzeylerde gerçekleşmesi, model tahminleri ile gerçekleşen üretim değerleri arasındaki sapmaların sınırlı olduğunu göstermektedir. Özellikle %1,58 düzeyindeki MAPE değeri, modelin örneklem dönemi içerisindeki tahmin doğruluğunun yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Bunun yanı sıra, Theil U1 istatistiğinin 0,046437 gibi düşük bir değer alması da modelin öngörü performansını destekleyen bir diğer bulgu olarak değerlendirilmektedir. Bu sonuçlar birlikte ele alındığında, ARIMA(2,1,1) modelinin üretim serisindeki kısa dönemli hareketleri düşük tahmin hatasıyla temsil edebildiği görülmektedir. Modelin tahmin performansı bakımından elde edilen sonuçlar literatürdeki bulgularla büyük ölçüde örtüşmektedir. Nitekim Badr vd. (2022), Yonar vd. (2022), Vishnu Shankar vd. (2023) ve Doğar vd. (2024) gibi çalışmaların model seçiminde MAPE, MAE ve RMSE gibi hata ölçütlerini dikkate alan yaklaşımıyla uyumludur. Deshmukh ve Paramasivam (2016) de AIC, SBC, MAPE, $R^2$ ve RMSE ölçütlerini birlikte kullanarak ARIMA(1,1,1) modelini

başarılı model olarak belirlemiştir. Dolayısıyla Osmaniye çalışmasında modelin yalnızca katsayı anlamlılıklarına göre değil, bilgi kriterleri, tahmin hata ölçütleri ve artıkların tanısal özellikleri birlikte değerlendirilerek seçilmesi, literatürde benimsenen çok ölçütlü model seçim yaklaşımıyla paralellik göstermektedir.

ARIMA(2,1,1) modeli kullanılarak elde edilen 2026-2030 dönemi öngörüleri, Osmaniye ili inek sütü üretiminde kısa vadede keskin ve sürekli bir artış ya da azalış eğiliminden ziyade, belirli bir üretim düzeyi çevresinde sınırlı dalgalanmaların devam edebileceğine işaret etmektedir. Model sonuçlarına göre üretimin 2026 yılında 98.942 ton, 2027 yılında 101.184 ton ve 2028 yılında 102.927 ton düzeyine yükselmesi beklenmektedir. Bu yükselişin ardından üretimin 2029 yılında 99.886 tona gerileyeceği, 2030 yılında ise yeniden 102.742 ton düzeyine ulaşacağı öngörülmektedir. Buna göre öngörü döneminin en yüksek üretim düzeyinin 2028 yılında gerçekleşmesi beklenirken, 2029 yılında geçici bir gerileme ve 2030 yılında yeniden toparlanma eğiliminin ortaya çıkacağı tahmin edilmektedir. 2025 yılında gerçekleşen 96.812 tonluk üretim düzeyiyle karşılaştırıldığında, 2026 yılı için yaklaşık 2.130 tonluk bir artış öngörülmesi, tahmin döneminin başlangıcında üretimde ılımlı bir yükseliş beklenildiğini göstermektedir. Süt üretiminin gelecekteki öngörüleri bakımından Osmaniye ili için elde edilen bulgular, literatürdeki çalışmalarla kısmen benzerlik göstermekle birlikte, öngörülen üretim eğiliminin niteliği bakımından farklılaşmaktadır. Osmaniye ili için 2026-2030 döneminde üretimin yaklaşık 99-103 bin ton aralığında seyretmesi ve dönem içerisinde sınırlı dalgalanmalar göstermesi beklenmektedir. Buna karşılık Ahmed vd. (2011), Deshmukh ve Paramasivam (2016), Uddin vd. (2020), Yıldırım ve Altunç (2020), Mishra vd. (2020a, b), Yonar vd. (2022), Waiswa (2023), Vishnu Shankar vd. (2023), Priya ve Naranammal (2024), Doğar vd. (2024) ve Omar vd. (2024) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda süt üretiminin gelecekte genel olarak artış eğilimi göstereceği öngörülmüştür. Süt üretiminin gelecekteki öngörüleri bakımından Osmaniye ili için elde edilen bulgular, literatürdeki çalışmalarla kısmen benzerlik göstermekle birlikte, öngörülen üretim eğiliminin niteliği bakımından farklılaşmaktadır. Osmaniye ili için 2026-2030 döneminde üretimin yaklaşık 99-103 bin ton aralığında seyretmesi ve dönem içerisinde sınırlı dalgalanmalar göstermesi beklenmektedir. Buna karşılık Ahmed vd. (2011), Deshmukh ve Paramasivam

(2016), Uddin vd. (2020), Yıldırım ve Altunç (2020), Mishra vd. (2020a, b), Yonar vd. (2022), Waiswa (2023), Vishnu Shankar vd. (2023), Priya ve Naranammal (2024), Doğar vd. (2024) ve Omar vd. (2024) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda süt üretiminin gelecekte genel olarak artış eğilimi göstereceği öngörülmüştür. Bu farklılığın, incelenen üretim serilerinin coğrafi kapsamı, üretim yapısı, gözlem dönemleri ve veri özelliklerindeki farklılıklardan kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir. Özellikle Osmaniye ili düzeyindeki üretim serisinin il ölçeğinde ele alınması, ulusal veya daha geniş bölgesel kapsamlı serilerden farklı bir üretim dinamiğinin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Bu çerçevede, Osmaniye ili için elde edilen öngörüler, üretimde keskin ve sürekli bir büyüme eğiliminden ziyade, mevcut üretim düzeyi çevresinde sınırlı dalgalanmaların devam edebileceğine işaret etmektedir.

Sonuç olarak, Box-Jenkins yaklaşımı çerçevesinde gerçekleştirilen analizler sonucunda belirlenen ARIMA(2,1,1) modelinin Osmaniye ili inek sütü üretiminin kısa vadeli öngörülmesinde kullanılabilecek uygun bir model olduğu belirlenmiştir. Modelin düşük tahmin hata değerleri, anlamlı AR(1) ve MA(1) bileşenleri ve artıkların belirgin bir otokorelasyon sorunu göstermemesi bu değerlendirmeyi desteklemektedir. Elde edilen 2026-2030 dönemi tahminleri ise Osmaniye ili süt üretiminin yaklaşık 99-103 bin ton bandında dalgalanabileceğini göstermektedir. Bu sonuç, ilde süt üretiminin kısa vadede büyük ölçekli bir üretim kırılması yaşamadan mevcut üretim kapasitesi çevresinde devam edebileceğine yönelik bir öngörü sunmaktadır. Bu çerçevede çalışma, Osmaniye ili süt üretimine ilişkin geleceğe yönelik nicel bir tahmin sunmasının yanı sıra, il düzeyinde tarımsal üretim planlaması, üretici kararları ve sektörel değerlendirmeler açısından kullanılabilecek ampirik bir referans oluşturmaktadır.

## KAYNAKÇA

Adhikari, R., & Agrawal, R. K., (2013). *An introductory study on time series modeling and forecasting*. LAP Lambert Academic Publishing, Germany. https://doi.org/10.48550/arXiv.1302.6613

Ahmed, F., Shah, H., Raza, I., & Saboor, A. (2011). Forecasting milk production in Pakistan. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 24, 82-85.

Akaike, H. (1974) A New Look at the Statistical Model Identification. *IEEE Transactions on Automatic Control, 19*(6), 716-723. http://dx.doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705

Akbay, C., Çetinkaya, S., & Akbay, F. (2023). Türkiye'de coğrafi bölgelere göre süt sığırcılığı işletmelerinde yem bitkisi üretim durumu. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, *10*(4), 1156-1166. https://doi.org/10.30910/turkjans.1285087

Badr, A. A. , Elfadl, E. A. A., Fouda, M. M., & Elsayed, S. M (2022). Using of autoregressive integrated moving average (ARIMA) model for forecasting milk production of dairy cattle farms in Dakahlia Governarate of Egypt. *Adv. Anim. Vet. Sci. 10*(7), 1473-1480. https://dx.doi.org/10.17582/journal.aavs/2022/10.7.1473.1480

Biçen C. (2006). *Box-Jenkins zaman serisi analiz yöntemi ile ileri beslemeli yapay sinir ağları tahminlerinin karşılaştırılması.* (Yüksek Lisans Tezi), Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Biyoistatistik Anabilim Dalı, Ankara.

Bowerman, B. L., & O'Connell, R. T. (1993). *Tahmin ve zaman serileri: uygulamalı bir yaklaşım.* (3. Baskı), Kaliforniya: Duxbury Press.

Box, G. E. P., & Jenkins, G. M. (1976). *Time series analysis: forecasting and control.* (2nd Edition), Holden-Day, S. Francisco.

Brockwell, P. J., & Davis, R. A. (2002). *Introduction to time series and forecasting.* (2nd ed). Springer, New York. https://doi.org/10.1007/b97391

Brockwell, P. J., & Davis, R. A. (2006). *Time series: theory and methods.* Springer, New York.

Cooray, T. M. J. A. (2008). *Applied time series. analysis and forecasting.* New Delhi: Narosa Publishing House.

Coşkun, G. (2026). *Makroekonomik göstergelerin yapay zekâ tabanlı tahmini: ARIMA, ANN ve LSTM modellerinin karşılaştırmalı analizi.* (Doktora Tezi), Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Ana Bilim Dalı, İstanbul.

Çelik, Ş. (2019). Modeling and estimation of potato production in Turkey with time series analysis. *International Journal of Trend in Research Development, 6*(5), 111-116.

Çevik O. (1999). *Zaman serileri analizinde Box-Jenkins yöntemi ve turizm verileri üzerine Bir uygulama.* (Doktora Tezi), Kırıkkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Kırıkkale.

Deshmukh, S. S., & Paramasivam, R. (2016). Forecasting of milk production in India with ARIMA and VAR time series models*. Asian Journal of Dairy and Food Research, 35*(1), 17-22. https://doi.org/10.18805/ajdfr.v35i1.9246

Doğar, D., Çiçek, A., & Ayyıldız, M. (2024). Türkiye'de süt ve süt ürünleri üretiminin mevsimsel ARIMA modeli ile tahmini. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, *11*(3), 642-653. https://doi.org/10.30910/turkjans.1389143

Duru Ö. (2007). *Zaman serileri analizinde ARIMA modelleri ve bir uygulama.* (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri Anabilim Dalı, İstanbul.

Eştürk, Ö. (2021). Estimating milk production in Ardahan province with ARIMA (Box-Jenkins) model. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Dergisi*, *5*(2), 271-281. https://doi.org/10.31200/makuubd.972489

Gerosa, S., & Skoet, J. (2012). *Milk availability: Trends in production and demand and medium-term outlook*. ESA Working Paper No. 12-01. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://doi.org/10.22004/ag.econ.289000

Gözcü O. (2009). *Türkiye'de hava ulaşım talebinin ARIMA modelleri ile tahminlenmesi.* (Yüksek Lisans Tezi), Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.

Griffiths, W. E., Hill, R. C., & Judge, G. G. (1993). *Learning and practicing econometrics*. John Wiley & Sons.

Gu, F. F., Liang, S., Zhu, S., Liu, J., & Sun, H. Z., (2021). Multi-omics revealed the effects of rumen-protected methionine on the nutrient profile of milk in dairy cows. *Food Research International*, 149, 110682. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110682

Hanke, J. E., & Wichern, D. W. (2014). *Business forecasting*. (9th ed.), Pearson Prentice Hall.

Hassan, S. A., Abdelaziz, H. H., Ibrahim, A. H., & Musa, K. S. M. (2018). Milk production-forecasting in Khartoum State, Sudan. *Journal of Agriculture and Research, 4*(12), 6-13. https://doi.org/10.53555/ar.v4i12.2596

Kaya, E. (2019). *Zaman serileri analizinde Box-Jenkins yöntemi ile savunma sanayi verileri üzerine bir uygulama.* (Yüksek Lisans Tezi), Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı, Karaman.

Kayışoğlu, S., & İçöz, A. (2012). Eğitim Düzeyinin Fast-Food Tüketim Alışkanlığına Etkisi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, *9*(2), 16-19. https://izlik.org/JA32YP65LE

Kutlu, H. R., Gül, A., & Görgülü, M. (2003). *Türkiye Hayvancılığı; Hedef 2023-Sorunlar, Çözüm Yolları ve Politika Arayışları.* Erişim Adresi: http://www.zootekni.org.tr/upload/file/hayvanclk%20rapor-sonhali.pdf Erişim Tarihi: 02/06/2026.

Küçükoflaz, M., Ayyıldız Akın, M., Zaman, C. İ., Aydın, E., & Sarıözkan, S. (2024). Evaluation of the effect of exchange rate and energy prices on livestock products and feed prices in Türkiye with path analysis. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 30*(4), 533-539. https://doi.org/10.9775/kvfd.2024.31893

Ljung, G. M. and Box, G. E. P. (1978) On a Measure of a Lack of Fit in Time Series Models. *Biometrika,* 65, 297-303. https://doi.org/10.1093/biomet/65.2.297

Macdonald, L. E., Brett, J, Kelton, D, Majowicz, S. E., Snedeker, K., & Sargeant, J. M. (2011). A systematic review and meta-analysis of the effects of pasteurization on milk vitamins, and evidence for raw milk consumption and other healthrelated outcomes. *Journal of Food Protection, 74*(11), 1814-1832. https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-10-269

Mezouaghi, D., & Lakehal, M. (2024). Modeling industrial production of pasteurized milk in Algeria: Insights from the Box-Jenkins. *X, n°03 (December 2024),* 610-628.

Mishra, P., Chellai, F., Niranjan, H. K., Tiwari, S., Devi, M., & Dubey, A. (2020a). Modelling and forecasting of milk production in chhattisgarh and India. *Indian Journal of Animal Research. 54*(7), 912-917. https://doi.org/10.18805/ijar.B-3918

Mishra, P., Fatih, C., Vani, G. K., Tiwari, S., Ramesh, D., & Dubey, A. (2020b). Time series investigation of milk production in major states of India using ARIMA modeling. *Journal of Animal Research, 10*(1), 77-84. https://doi.org/10.30954/2277-940X.01.2020.10

Mishra, P., Matuka, A., Abotaleb, M. S. A., Weerasinghe, W. P. M. C. N., Karakaya, K., & Das, S. S. (2022). Modeling and forecasting of milk production in the SAARC countries and China. *Modeling Earth Systems and Environment, 8*(1), 947-959. https://doi.org/10.1007/s40808-021-01138-z

Murphy, K., Curley, D., O'Callaghan, T. F., O'Shea, C.A., Dempsey, E. M., O'Toole, P. W., Ross, R. P., Ryan, A. C., & Stanton, C., (2017). The composition of human milk and infant faecal microbiota over the first three months of life: A pilot study. *Scientific Reports*, *7*(1), 40597. https://doi.org/10.1038/srep40597

Naylor, T. H., Seaks, T. G., & Wichern, D. W. (1972). Box-Jenkins methods: an alternative to econometric models. *International Statistical Review/Revue Internationale de Statistique, 40*(2), 123–137. https://doi.org/10.2307/1402755

Oğhan, S. (2010). *Zaman serisi analiz yöntemlerinin karşılaştırılması.* (Yüksek lisans tezi). Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zootekni Anabilim Dalı, İzmir.

Okur, S. (2009). *Parametrik ve parametrik olmayan basit doğrusal regresyon analiz yöntemlerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi.* (Yüksek lisans tezi), Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zootekni Anabilim Dalı, Adana.

Omar, M. A., Hassan, F. A. M., Shahin, S. E., & El-shahat, M. (2024). *The usage of the autoregressive integrated moving average (ARIMA) model for forecasting milk production in Egypt (2022-2025). Open Veterinary Journal, 14*(1), 256-265. https://doi.org/10.5455/OVJ.2024.v14.i1.22

Oni, O., & Akanle, Y. 2018. Comparison of exponential smoothing models for forecasting cassava production. *International Journal of Scientific Research in Mathematical and Statistical Sciences,* 5(3), 65-68. https://doi.org/10.26438/ijsrmss/v5i3.6568

Örmeci Kart, M. Ç., & Demircan, V. (2014). Dünyada ve Türkiye'de Süt ve Süt Ürünleri Üretimi, Tüketimi ve Ticaretindeki Gelişmeler. *Akademik Gıda*, *12*(1), 78-96. https://izlik.org/JA87TE78SZ

Perez Guerra, U. H., Macedo Sucari, R., Manrique Quispe, Y. P., Condori Chuchi, E. A., Fernández Ruelas, E., & Pérez Durand, M. G. (2022). *Application of an "ARIMA" model to forecast milk production in Brown Swiss cows from the Peruvian highlands*. *Journal of the Selva Andina Animal Science, 9*(2), 77-83. https://doi.org/10.36610/j.jsaas.2022.090200077

Polat Ö. (2009). *Türkiye'nin dış ticaret verilerinin öngörüsünde Yapay Sinir Ağları ve Box-Jenkins modellerinin karşılaştırmalı analizi.* (Doktora Tezi), Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı, Erzurum.

Prayudani, S., Hizriadi, A., Lase, Y. Y., & Fatmi, Y. (2019). November. Analysis Accuracy of Forecasting Measurement Technique on Random K-Nearest Neighbor (RKNN) Using MAPE and MSE. In *Journal of Physics: Conference Series, 1361*(1), 1-8. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1361/1/012089

Priya, S. R. K., & Naranammal, N. (2024). Forecast of Milk and Eggs Production of India using ARIMA Model. *Journal of Agriculture, Biology and Applied Statistics,* 3(2), 47-56. https://DOI:10.47509/JABAS.2024.v03i02.01

Saçlı, Y. (2007). *AB'ye Dönüşüm Sürecinde Hayvancılık Sektörünün Dönüşüm İhtiyacı.* İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, (DPT Uzmanlık Tezi), Yayın No: 2707, Ankara.

Sánchez, L., Cabanas, G., Abad, Y., & Torres, V. (2014). Süt üretimini tahmin etmek için ARIMA modellerinin kullanımı. UBPC *"Maniabo",* Las Tunas'ta vaka çalışması. *Küba Tarım Bilimleri Dergisi, 48*(3). Erişim adresi: https://www.cjascience.com/index.php/CJAS/article/view/574

Schwarz, G. (1978). Estimating the dimension of a model. *The Annals of Statistics, 6*(2), 461-464. https://doi.org/10.1214/aos/1176344136

Semerci, A., Parlakay, O., & Çelik, A. D. (2014). Gross margin analysis in dairy cattle: A case study of Hatay Province, Turkey. *Custos e Agronegocio, 10*(4), 154-170.

Sevüktekin, M., & Nargeleçekenler, M. (2007). *Ekonometrik zaman serileri analizi eviews uygulamalı.* (Geliştirilmiş 2. Baskı), Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.

Sevüktekin, M., & Çınar, M. (2017). *Ekonometrik zaman serileri analizi eviews uygulamalı.* (5. Baskı), Dora Basım-Yayın Dağıtım.

Subbanna, Y. B., Kumar, S., & Puttaraju, S. K. M. (2021). Forecasting buffalo milk production in India: Time series approach. *Buffalo Bulletin, 40*(2), 335-343. Retrieved from https://kuojs.lib.ku.ac.th/index.php/BufBu/article/view/3993

Taye, B. A., Alene, A. A., Nega, A. K., & Yirsaw, B. G. (2021). Time series analysis of cow milk production at Andassa dairy farm, West Gojam Zone, Amhara Region, Ethiopia. *Modeling Earth Systems and Environment, 7(*1), 181-189. https://doi.org/10.1007/s40808-020-00946-z

TÜİK, (2026). *Türkiye İstatistik Kurumu, Bölgesel İstatistikler.* Erişim Adresi: https://veriportali.tuik.gov.tr/tr/search?q=s%C3%BCt%20%C3%BCretimi Erişim Tarihi: 07/06/2026.

Uddin, M. M., Akter, A., Khaleduzzaman, A. B. M., & Sultana, M. N. (2020). Forecasting milk production in Bangladesh toward achieving self-sufficiency. *Livestock Research for Rural Development, 32*(5), Article 81. Erişim Adresi: https://www.lrrd.org/lrrd32/5/moham32081.html Erişim Tarihi: 11/06/2026.

Ünal, R. N., & Besler, H. T. (2008). *Beslenmede sütün önemi.* Sağlık Bakanlığı Yayın No: 727, Ankara.

Vergil, H., & Özkan, F. (2007). Döviz kurları öngörüsünde parasal model ve arima modelleri: Türkiye Örneği. *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, *13*, 211-231. https://izlik.org/JA33GW34BU

Vishnu Shankar, S., Ajaykumar, R., Ananthakrishnan, S., Aravinthkumar, A., Harishankar, K., Sakthiselvi, T., & Navinkumar, C. (2023). *Modeling and forecasting of milk production in the Western Zone of Tamil Nadu*. Asian Journal of Dairy and Food Research, 42(3), 427-432. https://doi.org/10.18805/ajdfr.DR-2103

Waiswa, D. (2023). Modeling and forecasting Uganda's beef and cattle milk production using the Box-Jenkins methodology. *Journal of Agricultural Production, 4*(1), 16-29. https://doi.org/10.56430/japro.1197299

Wei, W. W. S. (2006). *Time series analysis: univariate and multivariate methods.* (2nd edition), New York: Addison Wesley Publishing Company.

Willmott, C. J., & Matsuura, K., (2005). Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate research*, *30*(1), 79-82. Erişim Adresi: https://www.jstor.org/stable/24869236 Erişim Tarihi: 21/06/2026.

Yıldırım, A., & Altunç, Ö. F. (2020). Muş ili süt üretiminin ARIMA modeli ile tahmini. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, *8*(UMS'20), 137-146. https://doi.org/10.18506/anemon.832180

Yonar, H., Yonar, A., Mishra, P., Abotaleb, M., Al Khatib, A. M. G., Makarovskikh, T., & Cam, M. (2022). Modeling and forecasting of milk production in different breeds in Turkey. *Indian Journal of Animal Sciences, 92*(1), 105-111. https://doi.org/10.56093/ijans.v92i1.120934

# BÖLÜM 8

## TARIMSAL SU YÖNETİMİ VE KURAKLIKLA MÜCADELE STRATEJİLERİ

Arş. Gör. Dr. Mehmet Zahit AYDIN[1]

DOI: https://www.doi.org/10.5281/zenodo.23260088

[1] Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Rize, Türkiye. Mehmetzahit.aydin@erdogan.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-7833-521X

## 1. GİRİŞ

Su, yaşamın temel kaynağı ve tarımsal üretimin vazgeçilmez girdisidir. Bitkisel üretimde su, hem fotosentez ve besin taşınımı gibi temel fizyolojik süreçlerin sürdürülmesinde hem de verim ve kalite oluşumunda belirleyici rol oynar. Ancak dünya genelinde kullanılabilir tatlı su kaynakları sınırlıdır ve bu kaynaklar üzerindeki baskı her geçen gün artmaktadır. Küresel ölçekte çekilen tatlı suyun büyük bölümü tarımsal amaçlı, özellikle sulama amaçlı kullanılmaktadır. Bu durum, tarım sektörünü su kıtlığından en fazla etkilenen ve aynı zamanda su tasarrufu potansiyeli en yüksek sektör haline getirmektedir. Sulu tarımın gelecekte giderek artan biçimde su kıtlığı koşulları altında sürdürüleceği; sulama için yetersiz su arzının istisna değil kural haline geleceği vurgulanmaktadır (Fereres ve Soriano, 2007). Bu bağlamda sulama yönetimi anlayışının, birim alandan elde edilen üretimi en yükseğe çıkarmaktan, tüketilen birim su başına elde edilen üretimi (su verimliliğini) en yükseğe çıkarmaya doğru kayması gerektiği ifade edilmektedir (Fereres ve Soriano, 2007).

İklim değişikliği, yağış rejimlerinin düzensizleşmesi, kuraklık dönemlerinin uzaması ve sıcaklıkların yükselmesi yoluyla su kaynakları üzerindeki baskıyı derinleştirmektedir. Kuraklığın neden olduğu ürün kayıplarının, diğer tüm nedenlerin toplamından daha fazla olabileceği belirtilmektedir (Farooq ve diğerleri, 2009). Artan dünya nüfusuyla birlikte gıda talebindeki yükseliş de göz önüne alındığında, mevcut su kaynaklarının daha etkin kullanılması ve kuraklığın sistematik biçimde yönetilmesi, gıda güvenliğinin sağlanmasında kritik öneme sahiptir.

Tarımsal su yönetiminde son yıllarda öne çıkan bir diğer önemli kavram da su üretkenliğidir (water productivity). Su üretkenliğinin artırılması, yalnızca sulama tekniklerinin iyileştirilmesiyle değil; ıslahtan tarla yönetimine, toprak-su muhafazasından politika düzenlemelerine kadar uzanan geniş bir müdahale yelpazesiyle mümkündür (Passioura, 2006). Suyun tarımda daha üretken kullanılması, hem su kıtlığıyla baş etmenin hem de gıda güvenliği ile kırsal geçim kaynaklarını güçlendirmenin anahtarı olarak değerlendirilmektedir. Özellikle düşük verimli tarım sistemlerinde, mevcut suyun daha etkin kullanılmasıyla önemli üretkenlik artışları sağlanabileceği ileri sürülmektedir (Molden ve diğerleri, 2010).

Bu bölümün amacı, kuraklık kavramını ve tarımsal üretim üzerindeki etkilerini açıklamak; suyun tarımda etkin kullanılmasına ve kuraklığın yönetilmesine yönelik strateji ve uygulamaları bütüncül bir çerçevede sunmaktır. Sulama tekniklerinden agronomik önlemlere, toprak ve su muhafaza uygulamalarından modern tarım teknolojilerine kadar geniş bir yelpazede ele alınan bu yaklaşımlar, hem bilimsel hem de uygulamalı açıdan değerlendirilmektedir. Vurgulanması gereken temel nokta, kuraklık yönetiminde tek bir çözümün yeterli olmadığı; farklı yaklaşımların yerel koşullara göre bütünleştirilmesinin gerekliliğidir.

## 1. KURAKLIK KAVRAMI VE TÜRLERİ

### 1.1. Kuraklığın Tanımı

Kuraklık, genel olarak belirli bir bölgede uzun süreli ortalama koşullara kıyasla su kullanılabilirliğinin önemli ölçüde azaldığı dönemleri ifade eder. Kuraklık, geçici bir su açığı durumu olması yönüyle, kalıcı bir iklim özelliği olan kurak iklim (aridity) kavramından ayrılır. Kuraklık; başlangıcı, süresi, şiddeti ve mekânsal yayılımı belirsiz olan, yavaş gelişen ve etkileri geniş bir alana yayılan karmaşık bir doğa olayıdır. Bu özellikleri nedeniyle kuraklığın izlenmesi ve yönetilmesi diğer doğal afetlere göre daha güçtür.

Kuraklığın tanımlanmasında önemli güçlüklerden biri, kavramın farklı disiplinler ve sektörler tarafından farklı biçimlerde ele alınmasıdır. Kuraklık tanımlarının çeşitliliği ve bu tanımlardaki belirsizlik, kuraklığın anlaşılmasında ve buna yönelik politikaların oluşturulmasında karışıklığa yol açabilmektedir; bu nedenle, kuraklığın hem kavramsal hem de işlevsel (ölçülebilir) tanımlarının açık biçimde ortaya konması önem taşımaktadır (Wilhite ve Glantz, 1985). Kavramsal tanımlar kuraklığı genel hatlarıyla betimlerken; işlevsel tanımlar, kuraklığın başlangıcını, şiddetini ve süresini belirli eşik değerlerle ölçülebilir kılarak izleme ve karar alma süreçlerine temel oluşturur.

### 1.2. Kuraklık Türleri

Kuraklık, ortaya çıkış biçimi ve etkilediği alana göre dört ana türde incelenmektedir.

**Meteorolojik kuraklık:** Belirli bir bölgede yağışın uzun yıllar ortalamasının belirgin biçimde altına düşmesiyle tanımlanır. Kuraklığın

başlangıç noktası olarak kabul edilir ve genellikle diğer kuraklık türlerinin de öncüsüdür.

**Tarımsal kuraklık:** Toprak neminin bitki su ihtiyacını karşılayamayacak düzeye düşmesiyle ortaya çıkar. Bitkilerin gelişme dönemi, kök derinliği ve toprağın su tutma kapasitesi gibi etmenlerle yakından ilişkilidir. Meteorolojik kuraklığın tarımsal üretime yansıması olarak değerlendirilebilir.

**Hidrolojik kuraklık:** Yüzey ve yeraltı su kaynaklarındaki (akarsular, göller, barajlar, yeraltı su tablası) azalmayla kendini gösterir. Meteorolojik kuraklığa göre daha geç ortaya çıkar ve etkileri daha uzun sürebilir.

**Sosyoekonomik kuraklık:** Su arzındaki yetersizliğin, suya bağlı mal ve hizmetlere olan talebi karşılayamaz hale gelmesiyle ilişkilidir. Kuraklığın toplumsal ve ekonomik boyutunu yansıtır.

Bu kuraklık türleri birbirini izleyen bir zincir oluşturur: meteorolojik kuraklık, zamanla tarımsal ve hidrolojik kuraklığa dönüşerek nihayetinde sosyoekonomik etkiler doğurur (Wilhite ve Glantz, 1985). Kuraklık yönetiminde bu türler arasındaki ilişkilerin göz önünde bulundurulması önem taşımaktadır.

### 1.3. Kuraklığın İzlenmesi ve Değerlendirilmesi

Kuraklığın etkin biçimde yönetilebilmesi için öncelikle güvenilir yöntemlerle izlenmesi ve şiddetinin nesnel olarak değerlendirilmesi gerekir. Bu amaçla, kuraklığın farklı boyutlarını ölçen çeşitli kuraklık indeksleri geliştirilmiştir. Bir kuraklık indeksi, kuraklığın etkisini değerlendirmede ve kuraklığın şiddet, süre, yoğunluk ve mekânsal yayılım gibi parametrelerini tanımlamada kullanılan temel bir değişken işlevi görür (Mishra ve Singh, 2010). Yağış temelli indeksler, belirli bir dönemdeki yağışın uzun yıllar ortalamasından sapmasını değerlendirerek meteorolojik kuraklığın izlenmesinde yaygın olarak kullanılır. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI), yorumlanması kolay ve farklı yerler arasında karşılaştırılabilir olması nedeniyle sıklıkla tercih edilirken; Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi (PDSI) gibi daha karmaşık yapıdaki indeksler de kullanılmaktadır (Mishra ve Singh, 2010).

Toprak nemi ve bitki su durumuna dayalı göstergeler ise tarımsal kuraklığın belirlenmesinde daha uygundur.




**Şekil 1.** Kuraklık Türlerinin Gelişim Zinciri (Wilhite ve Glantz, 1985 Esas Alınarak Hazırlanmıştır)

Kuraklık izleme sistemlerinin en önemli işlevlerinden biri, erken uyarı sağlamaktır. Kuraklığın erken aşamada tespit edilmesi, üreticilerin ve karar vericilerin zamanında önlem almasına olanak tanıyarak olası kayıpların azaltılmasına katkıda bulunur. Uzaktan algılama ile coğrafi bilgi sistemleri, geniş alanlarda bitki örtüsünün durumunu ve toprak nemini izleyerek kuraklık değerlendirmesine giderek artan bir katkı sağlamaktadır (Mishra ve Singh, 2010). Kuraklık izleme ve erken uyarı sistemlerinin, kuraklığa hazırlık ve risk yönetimi politikalarının temelini oluşturduğu vurgulanmalıdır.

**Tablo 2.** Kuraklık izlemede yaygın kullanılan başlıca indeksler (Mishra ve Singh, 2010 esas alınarak düzenlenmiştir).

| Kuraklık Indeksi | Temel Aldığı Değişken | Öne Çıkan Özelliği |
|---|---|---|
| SPI (Standartlaştırılmış Yağış İndeksi) | Yağış | Yorumu kolay; farklı yerler arasında karşılaştırılabilir |
| PDSI (Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi) | Yağış ve su dengesi | Karmaşık yapılı; uzun bellekli |
| Toprak nemi temelli göstergeler | Toprak nemi | Tarımsal kuraklığın belirlenmesinde uygun |
| Uzaktan algılama indeksleri | Bitki örtüsü/yüzey verileri | Geniş alanların izlenmesine olanak tanır |

## 2. KURAKLIĞIN TARIMSAL ÜRETİME ETKİLERİ

Kuraklık, tarımsal üretimi hem doğrudan hem de dolaylı yollarla etkiler. Bitki düzeyinde su eksikliği; hücre büyümesinin sınırlanması, yaprak alanının küçülmesi, stoma kapanması nedeniyle fotosentezin azalması ve sonuçta biyokütle ile verimin düşmesine yol açar (Farooq ve diğerleri, 2009). Kuraklık stresi yaprak boyutunu küçültür, sap uzamasını ve kök gelişimini engeller, bitki su ilişkilerini bozar ve su kullanım etkinliğini düşürür (Farooq ve diğerleri, 2009).

Kuraklığın verim üzerindeki etkisi, stresin ortaya çıktığı gelişme dönemine büyük ölçüde bağlıdır. Özellikle çiçeklenme ve tane/meyve dolum dönemleri gibi kritik dönemlerde yaşanan su eksikliği, verimde çok daha ciddi kayıplara neden olabilmektedir. Bu nedenle, sınırlı suyun bitkinin en duyarlı olduğu dönemlerde kullanılması, kuraklık yönetiminin temel ilkelerinden birini oluşturur. Ürünlerin su açığına gösterdiği tepki, FAO çerçevesinde verim tepki katsayısı (Ky) ile nicel olarak ifade edilir; bu katsayı, göreli verim azalması ile göreli evapotranspirasyon açığı arasındaki ilişkiyi tanımlar (Steduto ve diğerleri, 2012). Ky değeri 1'in üzerinde olan ürünlerde verim, su açığına orantıdan daha fazla düşerek yüksek duyarlılık gösterirken; Ky değeri 1'in altında olan ürünler su açığına görece daha toleranslıdır. Bu ayrım, sınırlı suyun hangi ürünlere ve hangi dönemlerde öncelikli olarak verileceğine ilişkin kararlarda önemli bir yol gösterici sunar.

**Tablo 3.** Bazı ürünlerin verim tepki katsayısına (Ky) göre su açığına duyarlılığı (Steduto ve diğerleri, 2012 esas alınarak düzenlenmiştir).

| Su Açığına Duyarlılık (Ky) | Genel Tepki | Örnek Ürünler |
|---|---|---|
| Yüksek (Ky > 1) | Verim, su açığından orantıdan fazla etkilenir | Mısır, muz, şeker kamışı |
| Orta (Ky ≈ 1) | Verim, su açığıyla yaklaşık orantılı azalır | Buğday, patates, domates |
| Görece düşük (Ky < 1) | Su açığına kısmen toleranslı | Pamuk, ayçiçeği, sorgum, yer fıstığı |

Fizyolojik düzeyde kuraklık, bir dizi birbirine bağlı süreci tetikler. Su eksikliğinde bitki, su kaybını sınırlamak amacıyla stomalarını kapatır; bu

durum transpirasyonu azaltırken karbondioksit alımını da kısıtlayarak fotosentezi baskılar. Fotosentezin azalması, bitkinin karbon kazanımını ve dolayısıyla biyokütle üretimini doğrudan sınırlar. Aynı zamanda, azalan fotosentez ve artan fotorespirasyon, hücrelerde reaktif oksijen türlerinin birikimine yol açarak oksidatif hasar riskini artırır. Bu süreçlerin bütünü, kuraklığın verimi hangi mekanizmalarla düşürdüğünü açıklamaktadır (Farooq ve diğerleri, 2009). Kuraklığa verilen tepkinin, moleküler ve hücresel düzeyden bütün bitki ve tarla düzeyine kadar uzanan farklı organizasyon ölçeklerinde bütünleşik biçimde ele alınması gerektiği vurgulanmaktadır (Chaves ve diğerleri, 2003).

Kuraklık yalnızca verim miktarını değil, ürün kalitesini de etkiler. Tahıllarda tane dolumunun aksaması tane iriliğini ve niteliğini düşürebilirken; meyve ve sebzelerde su eksikliği meyve boyutunu, görünümünü ve pazarlanabilirliğini olumsuz etkileyebilir. Bununla birlikte, bazı ürünlerde ve belirli koşullarda kontrollü su kısıtının kaliteyi olumlu yönde etkileyebildiği de bilinmektedir; örneğin bağcılıkta ölçülü su kısıtı, üzümde bazı kalite parametrelerini iyileştirebilmektedir. Bu durum, kuraklığın etkisinin ürüne, gelişme dönemine ve stresin şiddetine göre değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Tarla düzeyinde kuraklık; ekim ve çıkış sorunlarına, bitki sıklığının azalmasına, ürün kalitesinin bozulmasına ve toprak veriminin gerilemesine yol açar. Havza ve bölge düzeyinde ise su kaynaklarının azalması, sulanabilir alanların daralması, üretim maliyetlerinin artması ve kırsal geçim kaynaklarının zayıflaması gibi geniş kapsamlı etkiler ortaya çıkar. Bu çok katmanlı etkiler, kuraklığın yalnızca teknik değil, aynı zamanda ekonomik ve toplumsal boyutları olan bir sorun olarak ele alınmasını gerektirmektedir.

## 3. SU KULLANIM ETKİNLİĞİ KAVRAMI

Su kullanım etkinliği (Water Use Efficiency, WUE), en genel anlamıyla tüketilen birim su başına elde edilen biyokütle veya ekonomik verim olarak tanımlanır. Kavram, farklı ölçeklerde farklı biçimlerde ifade edilebilir: yaprak düzeyinde fotosentez hızının transpirasyon hızına oranı; bitki düzeyinde üretilen kuru madde miktarının kullanılan su miktarına oranı; tarla ve havza düzeyinde ise elde edilen verimin toplam su tüketimine oranı olarak hesaplanabilir. Su kıtlığının giderek yaygınlaştığı koşullarda, tarımsal üretimin başarısı büyük ölçüde su kullanım etkinliğinin artırılmasına bağlıdır. Bu

bağlamda sulama yönetiminin odağı, birim alandan alınan verimi en yükseğe çıkarmaktan, tüketilen birim su başına düşen üretimi en yükseğe çıkarmaya kaymaktadır (Fereres ve Soriano, 2007). Su kullanım etkinliğinin artırılması; sulama tekniklerinin iyileştirilmesi, su kayıplarının azaltılması, uygun çeşit ve ekim zamanının seçilmesi, toprak neminin korunması ve dengeli gübreleme gibi birbirini tamamlayan uygulamalarla mümkün olmaktadır.

Tarımda su kullanım etkinliğinin görece düşük kalmasının ardında çevresel, biyolojik, mühendislik, yönetimsel, sosyal ve ekonomik boyutları olan çok sayıda ve karmaşık neden bulunmaktadır (Hsiao ve diğerleri, 2007). Bu karmaşıklık, sorunun ele alınmasında altta yatan fiziksel ve biyolojik süreçleri bütünleştiren kapsamlı bir kavramsal çerçeveyi gerekli kılmaktadır. Böyle bir çerçevede, birbirini izleyen adımlardan oluşan bir sürecin toplam etkinliğinin, her bir bileşen adımın etkinliğinin çarpımına eşit olduğu kabul edilir (Hsiao ve diğerleri, 2007). Bu yaklaşım, su üretkenliği sisteminin hangi aşamasında (su iletimi, uygulama, tüketim, biyokütleye dönüşüm, hasat) kayıpların yoğunlaştığının belirlenmesini ve iyileştirme çabalarının en etkili noktalara yönlendirilmesini sağlar.




**Şekil 2.** Su Kısıtlı Koşullarda Verimi Belirleyen Üç Temel Bileşen: Mevcut Suyun Transpirasyona Yönlendirilmesi, Transpirasyon Etkinliği ve Hasat Indeksi (Condon ve diğerleri, 2004 esas alınarak hazırlanmıştır).

Su verimliliğinin değerlendirilmesinde yalnızca bitki tarafından üretken biçimde kullanılan (transpirasyonla) su değil, buharlaşma, derine sızma ve yüzey akışı yoluyla oluşan üretken olmayan kayıplar da dikkate alınmalıdır. Bu kayıpların en aza indirilmesi, su kullanım etkinliğini artırmanın en etkili yollarından birini oluşturur.

Kuru madde üretimi ile transpirasyon arasında yakın ve görece kararlı bir ilişki bulunduğundan, su kısıtlı koşullarda verimin artırılması büyük ölçüde suyun bitki tarafından ne kadar üretken kullanıldığına bağlıdır. Bu çerçevede,

tarla düzeyinde verimin üç temel bileşenle açıklanabileceği ileri sürülmektedir: bitkinin transpirasyonla kullanabildiği su miktarı, bu suyu biyokütleye dönüştürmedeki etkinliği (transpirasyon etkinliği) ve üretilen biyokütlenin hasat edilen ürüne dönüşme oranı (hasat indeksi) (Passioura, 2006). Su kısıtlı ortamlarda verimi artırmaya yönelik her müdahale, bu üç bileşenden en az birini iyileştirmeyi hedeflemelidir. Örneğin, toprak yüzeyinden buharlaşmanın azaltılması, aynı su kaynağının daha büyük bölümünün transpirasyona (yani üretken kullanıma) yönlendirilmesini sağlar. "Damla başına daha fazla ürün" (more crop per drop) olarak özetlenen bu yaklaşım, suyun her biriminin mümkün olan en yüksek üretkenlikle kullanılmasını amaçlar. Ancak su üretkenliğinin artırılmasının yalnızca tarla ölçeğinde değil, sulama şebekesi ve havza ölçeğinde de ele alınması gerektiği; bir noktada tasarruf edilen suyun başka bir yerde kaybedilmesini önlemek için sistem bütününün göz önünde bulundurulması gerektiği vurgulanmaktadır (Molden ve diğerleri, 2010). Bu bütüncül bakış, su verimliliği kavramının teknik boyutunun yanı sıra kurumsal ve yönetsel boyutlarını da kapsamaktadır.

Su kullanım etkinliği kavramı üzerine önemli bir tartışma da, yüksek su kullanım etkinliğinin her zaman yüksek verim anlamına gelmediği yönündedir. Bazı araştırmacılar, su kısıtlı ortamlarda asıl hedefin su kullanım etkinliğini en yükseğe çıkarmak değil, mevcut suyun etkin biçimde kullanılması (effective use of water) olması gerektiğini ileri sürmektedir; çünkü çok yüksek su kullanım etkinliği çoğu zaman bitkinin toplam su kullanımının ve dolayısıyla veriminin azalması pahasına elde edilebilmektedir (Blum, 2009). Bu görüşe göre, kurak koşullarda ıslah ve yönetim çalışmalarının odağı, bitkinin topraktaki mevcut suyu olabildiğince eksiksiz biçimde alıp transpirasyona (üretken kullanıma) yönlendirmesini sağlamak olmalıdır. Bu ayrım, su verimliliği hedeflerinin bölgenin su kısıtı düzeyine ve üretim amacına göre dikkatle belirlenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

## 4. SULAMA YÖNETİMİ STRATEJİLERİ

### 4.1. Kısıntılı Sulama

Kısıntılı sulama (deficit irrigation), bitkinin tam su ihtiyacının (evapotranspirasyon) altında, planlı biçimde daha az su uygulanması esasına dayanan bir sulama yaklaşımıdır (Fereres ve Soriano, 2007). Bu yaklaşımın temel mantığı, sınırlı suyun bitkinin su eksikliğine görece dayanıklı olduğu

dönemlerde kısıtlanması, buna karşılık su eksikliğine en duyarlı kritik dönemlerde yeterli suyun sağlanmasıdır. Böylece toplam su tüketiminde önemli bir azalma sağlanırken, verimdeki kayıp kabul edilebilir düzeyde tutulmaya çalışılır. Kısıntılı sulamanın bahçe bitkilerinde uygulanmasının fizyolojik temelleri ve su tasarrufu potansiyeli, konu üzerine yapılan kapsamlı değerlendirmelerde ayrıntılı biçimde ele alınmıştır (Costa ve diğerleri, 2007). Kısıntılı sulamanın başarısı, bitkinin su eksikliğine karşı tepkisinin gelişme dönemlerine göre iyi bilinmesini gerektirir; çünkü kuraklık toleransı tür, çeşit ve gelişme dönemine göre önemli ölçüde farklılık gösterir. Bu yöntem, birim su başına elde edilen üretimi (su verimliliğini) artırma hedefine ulaşmada önemli bir araç olarak değerlendirilmektedir (Fereres ve Soriano, 2007). Kısıntılı sulama, kurak bölgelerde su verimliliğinin en üst düzeye çıkarılmasında etkili bir çiftlik düzeyi stratejisi olarak öne çıkmaktadır (Geerts ve Raes, 2009).

Düzenlenmiş kısıntılı sulama (Regulated Deficit Irrigation, RDI) ise özellikle meyve ağaçları ve bağlarda uygulanan, su kısıtlamasının bitkinin vejetatif büyümesinin baskılanmasının verim ve kaliteyi olumsuz etkilemediği belirli dönemlere yoğunlaştırıldığı özel bir kısıntılı sulama biçimidir. Kısıntılı sulamanın, tarla bitkilerine kıyasla meyve ağaçları ve bağlarda daha başarılı sonuçlar verdiği bildirilmektedir; bunun bir nedeni, bu ürünlerde ekonomik değerin yalnızca biyokütle üretimine değil, aynı zamanda kaliteye de bağlı olmasıdır (Fereres ve Soriano, 2007).

Kısmi kök bölgesi kuruluğu (Partial Root-zone Drying, PRD), kısıntılı sulamanın gelişmiş bir uygulaması olarak öne çıkmaktadır. Bu yöntemde, kök bölgesinin bir kısmı sulanırken diğer kısmı kurumaya bırakılır ve sulanan ile kurutulan bölgeler belirli aralıklarla yer değiştirilir. Bu yaklaşımın fizyolojik temeli, kuruyan köklerin ürettiği kimyasal sinyallerin sürgüne iletilerek stoma davranışını düzenlemesine dayanır; kuruyan topraktaki köklerden gelen absisik asit sinyalinin, bitkinin su durumu henüz bozulmadan stomaların kısmen kapanmasını sağladığı bilinmektedir (Davies ve Zhang, 1991). Böylece su kaybı azaltılırken, sulanan kök bölgesi sayesinde bitkinin su durumu görece korunur ve transpirasyon etkinliği artırılarak verimde önemli bir kayıp yaşanmadan su tasarrufu sağlanabilir (Costa ve diğerleri, 2007). PRD, özellikle bağ ve meyve bahçelerinde umut verici sonuçlar vermekle birlikte, uygulama için uygun altyapı ve dikkatli yönetim gerektirmektedir.

Kısıntılı sulamanın başarıyla uygulanabilmesi, birkaç temel koşulun sağlanmasına bağlıdır. Öncelikle, uygulanacak su kısıtının düzeyi ve zamanlaması, bitkinin gelişme dönemlerine göre dikkatle belirlenmelidir; aksi takdirde, kritik dönemlerde ortaya çıkan aşırı stres, hedeflenen su tasarrufunun çok ötesinde verim kayıplarına yol açabilir. Ayrıca, kısıntılı sulamanın uzun vadede toprakta tuz birikimine neden olmaması için, özellikle tuzlu su ile sulanan alanlarda tuz dengesinin izlenmesi gerekir. Kısıntılı sulama, doğru koşullarda uygulandığında su verimliliğini artıran güçlü bir araç olmakla birlikte, her ürün ve her bölge için tek tip bir reçete sunmaz; başarısı, yerel iklim, toprak ve ürün özelliklerine göre uyarlanmasına bağlıdır.

### 4.2. Modern Sulama Sistemleri

Sulama yönteminin seçimi, su kullanım etkinliği üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Geleneksel yüzey sulama yöntemleri (salma, karık, tava sulama) genellikle düşük su uygulama etkinliğine sahiptir ve buharlaşma ile derine sızma yoluyla önemli su kayıplarına yol açabilir.

**Damla sulama:** Suyun, bitki kök bölgesine düşük debilerle ve doğrudan verilmesini sağlayan bu yöntem, buharlaşma ve derine sızma kayıplarını en aza indirerek yüksek su uygulama etkinliği sunar. Aynı zamanda gübrenin sulama suyuyla birlikte verilmesine (fertigasyon) olanak tanıyarak besin kullanım etkinliğini de artırır. Damla sulamanın bir ileri uygulaması olan yüzey altı damla sulama (subsurface drip irrigation), damlatıcıların toprak yüzeyinin altına yerleştirilmesiyle toprak yüzeyinden buharlaşma kayıplarını daha da azaltır ve suyu doğrudan kök bölgesine ulaştırır. Bu yöntem, yüksek su tasarrufu potansiyeli sunmakla birlikte, sistem tıkanıklığının önlenmesi ve uygun tasarım açısından özen gerektirmektedir.

**Yağmurlama sulama:** Suyun basınç altında yağmur benzeri biçimde uygulandığı bu yöntem, yüzey sulamaya göre daha yüksek etkinlik sağlar; ancak rüzgâr ve yüksek sıcaklık koşullarında buharlaşma kayıpları artabilir. Merkezi pivot ve lineer sistemler gibi mekanize yağmurlama uygulamaları, geniş alanlarda suyun düzgün dağıtılmasına olanak tanır.

Basınçlı sulama sistemlerine geçiş, su kayıplarının azaltılmasında ve su kullanım etkinliğinin artırılmasında önemli bir adım olarak kabul edilmektedir.

Bununla birlikte, bu sistemlerin kurulum ve işletme maliyetleri, uygun teknik tasarım ve düzenli bakım gereksinimleri göz önünde bulundurulmalıdır.

**Tablo 3.** Başlıca sulama yöntemlerinin su kullanımı açısından karşılaştırılması (Fereres ve Soriano, 2007 esas alınarak düzenlenmiştir).

| Sulama yöntemi | Su uygulama etkinliği | Avantajlar | Sınırlılıklar |
|---|---|---|---|
| Yüzey (salma/karık/tava) | Düşük–orta | Düşük ilk yatırım, basit uygulama | Yüksek buharlaşma ve derine sızma kayıpları |
| Yağmurlama | Orta–yüksek | Geniş alanda düzgün dağıtım | Rüzgâr ve sıcakta buharlaşma kaybı |
| Damla | Yüksek | Kök bölgesine doğrudan su, fertigasyon olanağı | Yatırım maliyeti, tıkanma riski |
| Yüzey altı damla | Çok yüksek | Yüzey buharlaşmasının en aza inmesi | Yüksek maliyet, bakım/izleme gereksinimi |

## 4.3. Sulama Zamanlaması ve Toprak Nemi İzleme

Suyun ne kadar uygulandığı kadar, ne zaman uygulandığı da su kullanım etkinliği açısından kritik öneme sahiptir. Etkin bir sulama programı; bitki su ihtiyacının, toprak nem durumunun ve iklim koşullarının izlenmesine dayanır. Sulama zamanlamasında başlıca üç yaklaşım kullanılmaktadır. İklim temelli yaklaşımda, referans evapotranspirasyon ve ürün katsayıları kullanılarak bitki su tüketimi tahmin edilir ve sulama buna göre planlanır. Toprak temelli yaklaşımda, toprak nemi çeşitli sensörler ve ölçüm yöntemleriyle izlenerek toprak nem düzeyi belirli eşiklerin altına düştüğünde sulama yapılır. Bitki temelli yaklaşımda ise doğrudan bitkinin su durumu izlenir; yaprak veya gövde su potansiyeli, gövde çapındaki günlük değişimler ya da kızılötesi termometreyle ölçülen kanopi sıcaklığı gibi göstergeler sulama kararlarına temel oluşturur. Bu üç yaklaşım tek başına kullanılabileceği gibi, birbirini tamamlayacak biçimde bir arada da kullanılabilir. Doğru zamanlama, hem su israfını önler hem de bitkinin kritik dönemlerde su stresine girmesini engeller.

Sulama zamanlamasının bitkinin en duyarlı gelişme dönemleri göz önünde bulundurularak yapılması, sınırlı suyun en yüksek verim getirisiyle kullanılmasını sağlar.

Bitki temelli izleme yöntemleri, sulama kararlarını doğrudan bitkinin gerçek su durumuna dayandırması bakımından giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Sulama zamanlaması yöntemleri, geleneksel su bütçesi ve toprak nemi temelli yaklaşımlar ile bitkinin su eksikliğine verdiği tepkinin algılanmasına dayalı yöntemler olarak karşılaştırıldığında, bitki temelli yöntemlerin her birinin kendine özgü güçlü ve zayıf yönleri ile farklı zaman ve mekân ölçeklerine uygunluğu bulunduğu görülmektedir (Jones, 2004). Bitki temelli yöntemler arasında gövde çapı değişimlerinin ölçülmesi (dendrometri), öz suyu akış hızının izlenmesi, stomatal iletkenlik ölçümleri ve doku su içeriği sensörleri sayılabilir (Jones, 2004). Bitki su stresi arttıkça stomaların kapanması ve terlemeyle sağlanan serinlemenin azalması sonucu yaprak/kanopi sıcaklığının yükselmesi ilkesine dayanan kızılötesi termometre ve termal görüntüleme yöntemleri, stomatal iletkenlikteki değişimlerin izlenmesinde öne çıkan pratik araçlardır (Jones, 2004). Bu yöntemlerin otomasyon ve uzaktan algılama sistemleriyle birleştirilmesi, geniş alanlarda sulamanın nesnel verilere dayalı olarak ve zamanında yönetilmesine olanak tanımaktadır. Sulama zamanlamasının iyileştirilmesi, ek bir su kaynağı gerektirmeden yalnızca mevcut suyun daha akıllıca dağıtılmasıyla önemli su tasarrufu ve verim artışı sağlayabilen, maliyet-etkin bir stratejidir.

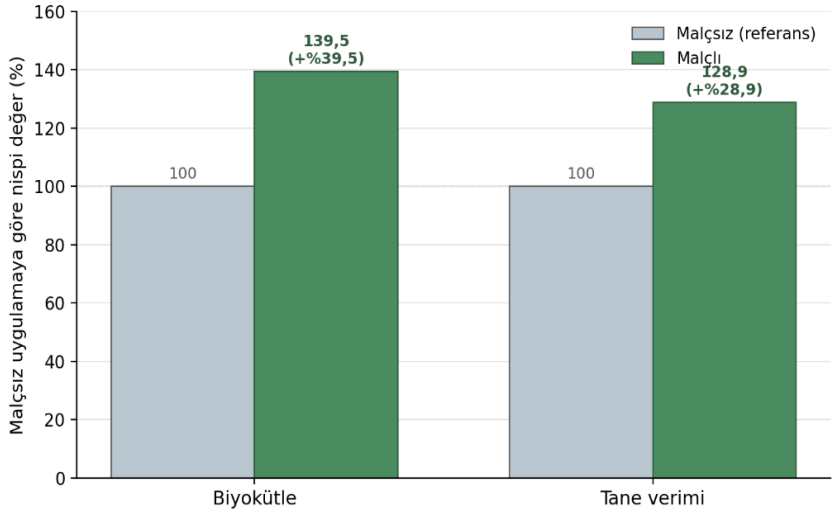
## 5. TOPRAK VE SU MUHAFAZA UYGULAMALARI

### 5.1. Malçlama

Malçlama, toprak yüzeyinin organik (saman, bitki artıkları, kompost) veya inorganik (plastik örtü) malzemelerle örtülmesi uygulamasıdır. Malç, toprak yüzeyinden gerçekleşen buharlaşmayı azaltarak toprak nemini korur, toprak sıcaklığını düzenler, yabancı ot gelişimini baskılar ve toprak yapısını iyileştirir. Bu yönleriyle malçlama, kurak koşullarda toprak nemini muhafaza etmenin ve su kullanım etkinliğini artırmanın etkili yollarından biridir.

Organik malçlar, zamanla ayrışarak toprağa organik madde kazandırır ve toprağın su tutma kapasitesini uzun vadede iyileştirir; ayrıca toprak canlılığını ve besin döngüsünü destekler. İnorganik malçlar, özellikle plastik örtüler ise buharlaşmayı çok etkili biçimde engeller ve toprak sıcaklığını yükselterek

erken üretim avantajı sağlayabilir; ancak kullanım sonrası atık yönetimi açısından çevresel sorunlar doğurabilir. Kurak ve yarı kurak koşullarda yürütülen çalışmalarda malçlamanın hem yağış suyunun toprakta tutulmasını hem de verimi belirgin biçimde artırdığı; malç uygulanan alanlarda elde edilen biyokütle ve tane veriminin, malç uygulanmayan alanlara kıyasla önemli ölçüde yüksek olduğu bildirilmiştir (Deng ve diğerleri, 2006). Malçlamanın toprak yüzeyinden gerçekleşen üretken olmayan su kaybını (buharlaşmayı) azaltması, mevcut suyun daha büyük bölümünün bitki tarafından transpirasyonla üretken biçimde kullanılmasına olanak tanıması bakımından su üretkenliği açısından özellikle değerlidir.




**Şekil 3.** Kurak/Yarı Kurak Koşullarda Malçlamanın Biyokütle ve Tane Verimi Üzerindeki Etkisi (Deng ve diğerleri, 2006 verilerinden uyarlanmıştır).

## 5.2. Koruyucu Toprak İşleme

Koruyucu toprak işleme (azaltılmış toprak işleme veya sıfır toprak işleme), toprağın işlenme yoğunluğunu azaltarak ve bitki artıklarını yüzeyde bırakarak toprak neminin korunmasını amaçlar. Bu uygulamalar; toprak yüzeyinden buharlaşmayı azaltır, yağış suyunun toprağa sızmasını (infiltrasyon) artırır, yüzey akışı ve erozyonu sınırlar, toprak organik maddesini ve su tutma kapasitesini iyileştirir. Böylece hem toprak nem rezervi korunmuş olur hem de toprak sağlığı uzun vadede desteklenmiş olur.

Yüzeyde bırakılan bitki artıkları, doğal bir örtü işlevi görerek toprak sıcaklığındaki aşırı dalgalanmaları azaltır ve mikrobiyal yaşamı destekler.

Toprağın sürekli işlenmesinin önlenmesi, toprak agregatlarının ve gözenek yapısının korunmasına katkıda bulunarak suyun toprak profilinde daha etkin biçimde tutulmasını ve köklere ulaşmasını sağlar. Uzun vadede, koruyucu toprak işleme uygulamalarının toprak organik karbonunu artırarak toprağın su tutma kapasitesini iyileştirdiği ve bu sayede kurak dönemlerde bitkiye daha fazla su sağlayabildiği bildirilmektedir. Bununla birlikte, bu uygulamaların başarısı; yabancı ot yönetimi, uygun ekim ekipmanı ve bölgeye özgü koşullara göre uyarlanmış bir yönetim planı gerektirir. Koruyucu tarım ilkelerinin (toprak işlemenin en aza indirilmesi, toprağın sürekli örtülü tutulması ve ürün çeşitlendirmesi) bir bütün olarak benimsenmesi, toprak-su ilişkilerinin ve tarımsal sistemlerin kuraklığa karşı dayanıklılığının artırılmasında sinerjik bir etki yaratır.

### 5.3. Su Hasadı ve Örtü Bitkileri

Su hasadı, yağış suyunun toplanması, depolanması ve daha sonra kullanılması esasına dayanan geleneksel ve düşük maliyetli bir uygulamadır. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde, yüzey akışıyla kaybolabilecek yağış suyunun tutulması, ek su kaynağı sağlaması açısından önemlidir. Yarı kurak ve kurak yarı nemli bölgelerde görülen verim açıklarının çoğu zaman suyun mutlak yokluğundan değil, su, toprak ve bitkinin yetersiz yönetiminden kaynaklandığı; bu nedenle asıl potansiyelin mevcut yağıştan daha iyi yararlanmakta olduğu vurgulanmaktadır (Rockström ve diğerleri, 2010). Bu çerçevede, kuru dönem içi kısa süreli su açıklarının neden olduğu ürün kayıplarını azaltmak amacıyla toplanan yağış suyunun tamamlayıcı sulamada (supplemental irrigation) kullanılması, kilit stratejilerden biri olarak öne çıkmaktadır (Rockström ve diğerleri, 2010). Su hasadı uygulamaları; küçük ölçekli tarla içi tekniklerden (sırt-karık düzenlemeleri, mikro havzalar, teras ve kontur uygulamaları) daha büyük ölçekli yüzey akışı toplama ve depolama sistemlerine kadar geniş bir yelpazeyi kapsar. Eğimli arazilerde kontur sürümü ve teraslama, yağış suyunun araziyi hızla terk etmesini önleyerek toprağa sızmasını artırır ve hem su muhafazasına hem de erozyon kontrolüne katkı sağlar.

Örtü bitkileri (cover crops) ise ana ürün dışındaki dönemlerde toprağı örterek erozyonu azaltır, toprak organik maddesini artırır, toprak yapısını ve su tutma kapasitesini iyileştirir. Örtü bitkilerinin toprak nemi üzerindeki etkisi

koşullara göre değişebildiğinden, su kısıtlı bölgelerde tür seçimi ve yönetimi dikkatle yapılmalıdır. Bu uygulamaların bütünleşik biçimde kullanılması, toprak-su ilişkilerinin iyileştirilmesine ve tarımsal sistemlerin kuraklığa karşı dayanıklılığının artırılmasına katkı sağlar. Toprak sağlığının ve organik madde içeriğinin korunması, uzun vadede toprağın su tutma ve bitkiye su sağlama kapasitesini belirleyen en temel etmenlerden biridir.

## 6. ALTERNATİF VE MARJİNAL SU KAYNAKLARININ KULLANIMI

Su kıtlığının derinleştiği bölgelerde, geleneksel tatlı su kaynaklarına ek olarak alternatif ve marjinal nitelikteki su kaynaklarının tarımda değerlendirilmesi giderek önem kazanmaktadır. Bu kaynaklar arasında arıtılmış atık sular, tuzlu ve acı sular (brackish water) ile drenaj suları yer almaktadır. Su kıtlığı yaşanan bölgelerde tarımsal su yönetiminin, arıtılmış atık suların ve tuzlu suların kullanımını da kapsayacak biçimde yeniden ele alınması gerektiği; bunun ise yenilikçi ve sürdürülebilir araştırmalar ile uygun teknolojilerin aktarımını gerektirdiği belirtilmektedir (Pereira ve diğerleri, 2002). Bu suların uygun biçimde ve gerekli önlemler alınarak kullanılması, tatlı su kaynakları üzerindeki baskıyı hafifletebilir ve toplam su arzına önemli katkı sağlayabilir. Ayrıca bu bölgelerde kuraklık, kuraklık iklimi (aridite), çölleşme ve su kıtlığı gibi kavramların birbirinden ayırt edilmesi ve her birine uygun politikaların geliştirilmesi önem taşımaktadır (Pereira ve diğerleri, 2002).

Arıtılmış atık suların tarımsal sulamada kullanımı, hem ek bir su kaynağı sağlaması hem de içerdiği besin elementleri açısından değerlidir. Ancak bu suların kullanımı; halk sağlığı, toprak ve ürün güvenliği açısından dikkatli bir yönetim, uygun arıtma düzeyi ve düzenli izleme gerektirir. Benzer şekilde, tuzlu ve acı suların sulamada kullanılması da mümkün olmakla birlikte, toprakta tuz birikimi riskini beraberinde getirir. Bu nedenle, tuzlu su ile sulamada tuza dayanıklı ürünlerin seçilmesi, uygun drenaj koşullarının sağlanması ve tuz birikimini önlemek için zaman zaman yıkama sulaması yapılması gibi önlemler önem taşır. Marjinal su kaynaklarının sürdürülebilir biçimde kullanılması, uzun vadede toprak sağlığının korunmasına bağlıdır. Aksi takdirde, tuzluluk ve sodyumluluk gibi toprak bozunması sorunları ortaya çıkabilir. Bu bağlamda, alternatif su kaynaklarının kullanımı, kuraklık

yönetiminin önemli ancak dikkatli planlama gerektiren bir bileşeni olarak değerlendirilmelidir.

## 7. AGRONOMİK VE KÜLTÜREL YÖNTEMLER

### 7.1. Uygun Çeşit ve Ekim Zamanı Seçimi

Kuraklığa karşı dayanıklı veya erkenci çeşitlerin seçilmesi, kuraklık yönetiminin en ekonomik ve uygulanabilir yaklaşımlarından biridir. Erkenci çeşitler, gelişme dönemlerini kurak dönem şiddetlenmeden tamamlayarak terminal kuraklıktan kaçabilir. Ekim zamanının, yağışın en verimli biçimde kullanılmasını sağlayacak ve kritik gelişme dönemlerinin su eksikliğiyle çakışmasını önleyecek biçimde ayarlanması da verim güvenliğine önemli katkı sağlar.

### 7.2. Bitki Sıklığı ve Ekim Deseni

Bitki sıklığının ve ekim deseninin mevcut su kaynağına göre düzenlenmesi, birim alandaki su talebinin yönetilmesinde etkili bir araçtır. Kurak koşullarda bitki sıklığının azaltılması, her bitkiye düşen su miktarını artırarak stresin şiddetini hafifletebilir. Ekim nöbeti (münavebe) uygulamaları da toprak nem rezervinin daha dengeli kullanılmasına ve toprak sağlığının korunmasına katkıda bulunur. Ürün deseninin bölgenin su bütçesine uygun biçimde belirlenmesi; yani su tüketimi yüksek ürünlerin su kısıtlı bölgelerde sınırlandırılması ve görece az su isteyen ürünlere yönelinmesi, havza ölçeğinde su dengesinin korunmasında önemli bir stratejidir. Nadas uygulaması gibi geleneksel yöntemler de kurak bölgelerde toprakta nem biriktirmek amacıyla kullanılmaktadır; ancak bu yöntemin su depolama etkinliği ve toprak koruma açısından dikkatli değerlendirilmesi gerekir.

### 7.3. Dengeli Gübreleme

Bitki besleme durumu, kuraklığa karşı dayanıklılıkla yakından ilişkilidir. Dengeli ve yeterli beslenen bitkiler, su stresine genellikle daha iyi dayanır. Potasyum, ozmotik düzenlemeye katkıda bulunarak bitkinin su dengesini korumasına yardımcı olur; silisyum ise kök endoderminde birikerek hücre su dengesini iyileştirir (Farooq ve diğerleri, 2009). Ancak aşırı azotlu gübreleme, vejetatif büyümeyi ve dolayısıyla su tüketimini artırarak kurak koşullarda olumsuz sonuçlar doğurabilir. Bu nedenle gübreleme programlarının, su kaynağı ve iklim koşulları göz önünde bulundurularak düzenlenmesi

gerekmektedir. Ayrıca, yeterli beslenme sayesinde bitkinin kök gelişiminin ve yaprak alanının iyileşmesi, aynı miktar suyla daha yüksek biyokütle üretilmesine, dolayısıyla su kullanım etkinliğinin artmasına katkı sağlayabilir. Toprak organik maddesinin korunmasına yönelik uygulamalar da hem besin döngüsünü hem de toprağın su tutma kapasitesini destekleyerek dolaylı biçimde kuraklığa dayanıklılığı güçlendirir.

## 8. DAYANIKLI ÇEŞİT GELİŞTİRME VE BİYOTEKNOLOJİ

Kuraklığa dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi, kuraklık yönetiminin sürdürülebilir ve uzun vadeli çözümlerinden birini oluşturur. Geleneksel ıslah yöntemleri, doğal genetik çeşitlilikten yararlanarak kuraklığa toleranslı genotiplerin seçilmesine dayanır. Kök derinliği, su kullanım etkinliği, ozmotik düzenleme kapasitesi ve erkencilik gibi özellikler, ıslah programlarında önemli seçim kriterleri arasında yer alır.

Moleküler işaretleyici destekli seçim, kuraklık toleransıyla ilişkili genom bölgelerinin belirlenmesini ve seçim sürecinin hızlandırılmasını sağlar. Biyoteknolojik yaklaşımlar ise ozmoprotektan biyosentezi, stres sinyal iletimi veya su kullanımıyla ilişkili genlerin aktarılmasına olanak tanır. Genetik iyileştirmelerin, uygun kültürel uygulamalarla bir arada yürütülmesinin abiyotik streslerin yönetiminde önemli olduğu vurgulanmaktadır (Fahad ve diğerleri, 2017). Bu bütünleşik yaklaşım, tek başına uygulanan yöntemlere kıyasla daha kalıcı ve etkili sonuçlar sunmaktadır.

Kuraklığa dayanıklılık ıslahında hedeflenen özellikler, bitkinin su kısıtıyla baş etme stratejisine göre farklılık gösterir. Su alımını artırmaya yönelik özellikler arasında derin ve etkin kök sistemi öne çıkarken; su kaybını sınırlamaya yönelik özellikler arasında stoma davranışının düzenlenmesi, yaprak alanının ve mumsu tabakanın ayarlanması sayılabilir. Bunların yanı sıra, düşük su potansiyelinde metabolizmayı sürdürebilme (tolerans) ile ilişkili ozmotik düzenleme kapasitesi de önemli bir hedeftir. Yüksek su kullanım etkinliğine yönelik ıslahta üç temel sürecin öne çıktığı belirtilmektedir:

(i) Toprak yüzeyinden buharlaşma, kök bölgesi altına sızma veya hasatta kök bölgesinde kullanılmadan kalma yoluyla boşa giden suyun azaltılarak mevcut suyun daha büyük bölümünün bitki tarafından transpirasyona yönlendirilmesi;

(ii) Transpire edilen birim su karşılığında daha fazla karbon (biyokütle) kazanılması, yani transpirasyon etkinliğinin artırılması;

(iii) Elde edilen biyokütlenin daha büyük bölümünün hasat edilen ürüne aktarılması (Condon ve diğerleri, 2004).

Bu süreçlerden transpirasyon etkinliğinin dolaylı bir göstergesi olarak karbon izotop ayrımcılığı (Δ13C) gibi kalıtım derecesi yüksek özelliklerin ıslahta seçim ölçütü olarak kullanılabileceği bildirilmektedir (Condon ve diğerleri, 2004). Ancak ıslahta karşılaşılan temel güçlüklerden biri, kuraklık toleransının çok sayıda gen tarafından kontrol edilen karmaşık bir özellik olması ve çevreyle güçlü etkileşim göstermesidir. Ayrıca, yüksek verim potansiyeli ile güçlü stres toleransının her zaman bir arada bulunamayabilmesi, ıslahçıların bu iki hedef arasında denge kurmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, dayanıklılık ıslahının hedef bölgenin kuraklık özelliklerine göre şekillendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

## 9. TOHUM VE BİTKİ UYGULAMALARI

Kuraklığın olumsuz etkilerini hafifletmeye yönelik çeşitli tohum ve bitki uygulamaları, tamamlayıcı stratejiler olarak giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Tohuma ön uygulama (seed priming), tohumların ekim öncesinde kontrollü koşullarda kısmen su almasını sağlayarak çimlenme ve çıkış performansını iyileştiren, böylece bitkilerin erken dönem stres koşullarına daha hazırlıklı girmesini sağlayan bir yöntemdir.

Ozmoprotektanların (prolin, glisin betain gibi) ve bitki büyüme düzenleyicilerinin yapraktan uygulanması, stres altındaki bitkilerde su dengesinin korunmasına ve stres toleransının artırılmasına katkı sağlayabilir (Ashraf ve Foolad, 2007). Ayrıca, faydalı mikroorganizmaların (mikorizal funguslar) ve bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler kullanımı, kök gelişimini destekleyerek ve su ile besin alımını iyileştirerek bitkilerin kuraklığa dayanıklılığını artırabilmektedir. Bu uygulamaların etkinliği; ürün türüne, uygulama zamanına, dozuna ve çevresel koşullara bağlı olarak değişmekte olup, yerel koşullara uygun biçimde optimize edilmelerini gerektirmektedir.

Son yıllarda, bitki gelişimini ve stres toleransını destekleyen biyostimulantlara olan ilgi giderek artmaktadır. Deniz yosunu özütleri, hümik ve fülvik asitler, amino asitler ve çeşitli mikrobiyal preparatlar gibi biyostimulant ürünler, bitkilerin stres koşullarında metabolik dengelerini

korumalarına ve antioksidan savunmalarını güçlendirmelerine yardımcı olabilmektedir. Mikorizal simbiyoz, kök yüzey alanını etkin biçimde genişleterek özellikle su ve fosfor alımını artırır; bu da kurak koşullarda bitkiye önemli bir avantaj sağlayabilir. Bununla birlikte, bu uygulamaların tarla koşullarındaki etkinliği değişkenlik gösterebildiğinden, sonuçların yerel koşullarda denenerek doğrulanması önem taşımaktadır. Bu tamamlayıcı yaklaşımlar, sulama ve agronomik önlemlerin yerini almaktan çok, bütüncül bir kuraklık yönetimi stratejisinin destekleyici bileşenleri olarak değerlendirilmelidir.

## 10. MODERN TEKNOLOJİLER VE HASSAS TARIM

Bilişim ve sensör teknolojilerindeki gelişmeler, kuraklık yönetimi ve suyun etkin kullanımı için yeni olanaklar sunmaktadır. Hassas tarım (precision agriculture) yaklaşımları, tarla içindeki değişkenliği dikkate alarak su ve girdilerin gereksinim duyulan yer ve zamanda, gereken miktarda uygulanmasını amaçlar. Toprak nem sensörleri, meteoroloji istasyonları ve otomasyon sistemleri, sulamanın gerçek zamanlı verilere dayanarak yönetilmesine olanak tanır.

Uzaktan algılama teknolojileri; uydu ve insansız hava araçlarıyla elde edilen görüntüler aracılığıyla bitki su durumunun, biyokütle gelişiminin ve stres belirtilerinin geniş alanlarda izlenmesini sağlar. Vejetasyon indeksleri ve termal görüntüleme, bitki su stresinin erken tespitinde ve sulama kararlarının desteklenmesinde kullanılmaktadır.

Bitki-su modelleri ise farklı su yönetimi senaryolarının değerlendirilmesinde güçlü araçlar sunar. Bu modeller, verim ile su kullanımı arasındaki ilişkiyi simüle ederek uygun sulama stratejilerinin belirlenmesine yardımcı olur (Steduto ve diğerleri, 2012). Verim ile su arasındaki ilişkiyi ele alan kapsamlı çerçeveler, sınırlı su koşullarında karar alma süreçlerini bilimsel bir temele oturtmaktadır (Steduto ve diğerleri, 2012). Bu teknolojilerin yaygınlaştırılması, su kaynaklarının daha etkin ve sürdürülebilir biçimde yönetilmesine önemli katkılar sağlamaktadır. Bitki-su verim modelleri, farklı iklim, toprak ve yönetim koşulları altında ürün veriminin ve su tüketiminin tahmin edilmesine olanak tanıyarak, sulama planlamasının ve kısıntılı sulama stratejilerinin tasarlanmasında kullanılır. Bu modeller, özellikle su kısıtının verimi ne ölçüde etkileyeceğinin önceden değerlendirilmesinde ve sınırlı suyun

en verimli biçimde dağıtılmasında karar vericilere destek sağlar. Nesnelerin interneti (IoT) tabanlı sensör ağları ve otomasyon sistemleri ise tarla koşullarına ilişkin verilerin gerçek zamanlı toplanmasını ve sulamanın otomatik olarak yönetilmesini mümkün kılmaktadır. Toplanan büyük ölçekli verilerin analiz edilmesi, sulama kararlarının sürekli iyileştirilmesine ve kaynak kullanımının optimize edilmesine katkıda bulunur. Bu dijital araçların bütünleşik biçimde kullanılması, tarımda su yönetimini daha bilgiye dayalı ve verimli bir sürece dönüştürmektedir.

## 11. SU YÖNETİMİNDE KURUMSAL VE POLİTİKA BOYUTU

Kuraklık yönetimi ve suyun etkin kullanımı, yalnızca teknik ve tarımsal önlemlerle sınırlı olmayan; kurumsal, ekonomik ve politik boyutları da bulunan çok katmanlı bir konudur. Su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi, etkili kurumsal yapıların, uygun politika araçlarının ve paydaşların katılımının bir arada olmasını gerektirir. Tekil çiftlik düzeyinde sağlanan su tasarrufunun havza ölçeğinde anlamlı bir sonuca dönüşebilmesi için, su yönetiminin bütüncül bir çerçevede ele alınması zorunludur (Molden ve diğerleri, 2010).

Su fiyatlandırması, sulama kotaları ve suyun etkin kullanımını teşvik eden ekonomik araçlar, su talebinin yönetilmesinde önemli rol oynayabilir. Ancak bu araçların, üreticilerin geçim koşullarını ve sosyal adaleti gözetecek biçimde tasarlanması gerekir. Sulama birliklerinin ve su kullanıcı örgütlerinin güçlendirilmesi, suyun adil ve etkin dağıtımında; çiftçilerin karar süreçlerine katılımının artırılması ise uygulamaların benimsenmesinde belirleyicidir. Kuraklığa hazırlık ve risk yönetimi politikaları, kuraklığın etkilerinin azaltılmasında proaktif bir yaklaşımın benimsenmesini sağlar. Kriz anında tepkisel önlemler almak yerine, kuraklık öncesinde planlama yapılması, erken uyarı sistemlerinin kurulması ve dayanıklılığı artıran uygulamaların yaygınlaştırılması, uzun vadede daha etkili ve düşük maliyetli sonuçlar doğurur. Bu bağlamda, teknik çözümlerle politika araçlarının bütünleştirilmesi, sürdürülebilir su yönetiminin temel koşuludur.

## 12. KURAK VE YARI KURAK BÖLGELER PERSPEKTİFİ

Kurak ve yarı kurak bölgeler, dünya kara yüzeyinin önemli bir bölümünü oluşturmakta ve bu bölgelerde tarımsal üretim büyük ölçüde su kaynaklarının kısıtlılığıyla belirlenmektedir. Bu bölgelerde su, çoğu zaman tarımsal üretimi

sınırlayan birincil faktördür ve mevcut su kaynaklarının sürdürülebilir biçimde yönetilmesi hayati önem taşır. Bu bölgelerde etkin kuraklık yönetimi; tek bir yönteme değil, birbirini tamamlayan uygulamaların bütünleşik biçimde kullanılmasına dayanır. Kurak ve yarı kurak koşullarda, malçlama, uygun gübreleme, su tasarrufu sağlayan sulama ve toprak-su muhafaza uygulamalarının bir arada kullanılmasıyla su kullanım etkinliğinde belirgin artışlar sağlanabildiği; dengeli gübrelemenin, özellikle su arzının görece yeterli olduğu dönemlerde büyüyen ürünlerde su kullanım etkinliğini yükseltmede önemli bir potansiyele sahip olduğu bildirilmektedir (Deng ve diğerleri, 2006). Su tasarrufu sağlayan sulama sistemlerinin yaygınlaştırılması, toprak neminin korunması, kuraklığa dayanıklı çeşitlerin kullanılması, uygun ekim zamanı ve deseninin benimsenmesi ile su hasadı gibi geleneksel uygulamaların modern tekniklerle birleştirilmesi, bu bölgelerde tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini artırabilir. Ayrıca, kuraklığa hazırlık ve erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi, kuraklığın etkilerinin önceden öngörülmesi ve zamanında önlem alınması açısından büyük önem taşımaktadır. Kuraklık yönetiminin yalnızca kriz dönemlerinde değil, sürekli ve planlı bir yaklaşım çerçevesinde ele alınması, uzun vadeli başarı için gereklidir.

Türkiye'nin de içinde yer aldığı Akdeniz havzası, iklim değişikliğinin kuraklık etkilerine karşı en duyarlı bölgelerden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu havzada yağışların büyük ölçüde kış aylarında yoğunlaşması ve yaz aylarının sıcak ve kurak geçmesi, tarımsal üretimde sulamayı çoğu ürün için zorunlu kılmaktadır. Türkiye genelinde çekilen suyun önemli bir bölümünün tarımsal sulamada kullanılması ve sulamada geleneksel yöntemlerin yaygınlığı, su kullanım etkinliğinin artırılmasına yönelik büyük bir potansiyel bulunduğuna işaret etmektedir. Basınçlı sulama sistemlerine geçiş, sulama şebekelerinin modernleştirilmesi, uygun ürün deseninin benimsenmesi ve suyun bölgesel kısıtlara göre planlanması, bu potansiyelin hayata geçirilmesinde belirleyici olacaktır. Ayrıca, kuru tarım alanlarında toprak nemini muhafaza eden uygulamaların yaygınlaştırılması, yağışa bağlı üretimin dayanıklılığını artırmak açısından önem taşımaktadır. Bu bölgelerde suyun sürdürülebilir yönetimi, yalnızca üretimin sürekliliği için değil, aynı zamanda toprak kaynaklarının korunması ve kırsal kalkınmanın desteklenmesi açısından da kritik bir gerekliliktir.

## 13. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Su kaynaklarının giderek kıtlaştığı ve iklim değişikliğinin kuraklık baskısını artırdığı günümüz koşullarında, tarımda suyun etkin kullanımı ve kuraklığın sistematik biçimde yönetilmesi, sürdürülebilir gıda üretiminin vazgeçilmez önceliklerinden biri haline gelmiştir. Sulama yönetiminin odağının, birim alandan alınan verimden birim su başına elde edilen üretime kayması, bu yeni dönemin temel paradigmasını oluşturmaktadır.

Bu bölümde ele alındığı üzere, kuraklık yönetimi ve su kullanım etkinliğinin artırılması; kısıntılı sulama ve modern sulama sistemleri, etkin sulama zamanlaması, toprak ve su muhafaza uygulamaları, uygun agronomik yöntemler, dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi ve modern tarım teknolojilerinin kullanımı gibi birbirini tamamlayan çok sayıda yaklaşımı kapsamaktadır. Bu yaklaşımların yerel koşullara uygun biçimde ve bütünleşik olarak uygulanması, tek başına uygulanan yöntemlere kıyasla çok daha etkili sonuçlar sunmaktadır. Gelecekte, hassas tarım ve uzaktan algılama teknolojilerinin yaygınlaşması, bitki-su modellerinin geliştirilmesi ve kuraklığa dayanıklı çeşitlerin ıslahı, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimine önemli katkılar sağlayacaktır. Ancak teknik çözümlerin yanı sıra, su yönetiminde kurumsal kapasitenin güçlendirilmesi, çiftçilerin bilgilendirilmesi ve kuraklığa hazırlık politikalarının geliştirilmesi de eşit derecede önem taşımaktadır. Suyun akılcı ve sürdürülebilir kullanımı, yalnızca bugünün değil, gelecek nesillerin de gıda güvenliğinin teminatıdır.

## KAYNAKÇA

Ashraf, M., ve Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany, 59(2), 206–216. doi:10.1016/j.envexpbot.2005.12.006

Blum, A. (2009). Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. Field Crops Research, 112(2–3), 119–123. doi:10.1016/j.fcr.2009.03.009

Chaves, M. M., Maroco, J. P., ve Pereira, J. S. (2003). Understanding plant responses to drought—from genes to the whole plant. Functional Plant Biology, 30(3), 239–264. doi:10.1071/FP02076

Condon, A. G., Richards, R. A., Rebetzke, G. J., ve Farquhar, G. D. (2004). Breeding for high water-use efficiency. Journal of Experimental Botany, 55(407), 2447–2460. doi:10.1093/jxb/erh277

Costa, J. M., Ortuño, M. F., ve Chaves, M. M. (2007). Deficit irrigation as a strategy to save water: Physiology and potential application to horticulture. Journal of Integrative Plant Biology, 49(10), 1421–1434. doi:10.1111/j.1672-9072.2007.00556.x

Davies, W. J., ve Zhang, J. (1991). Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 42, 55–76. doi:10.1146/annurev.pp.42.060191.000415

Deng, X. P., Shan, L., Zhang, H., ve Turner, N. C. (2006). Improving agricultural water use efficiency in arid and semiarid areas of China. Agricultural Water Management, 80(1–3), 23–40. doi:10.1016/j.agwat.2005.07.021

Fahad, S., Bajwa, A. A., Nazir, U., Anjum, S. A., Farooq, A., Zohaib, A., Sadia, S., Nasim, W., Adkins, S., Saud, S., Ihsan, M. Z., Alharby, H., Wu, C., Wang, D., ve Huang, J. (2017). Crop production under drought and heat stress: Plant responses and management options. Frontiers in Plant Science, 8, 1147. doi:10.3389/fpls.2017.01147

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., ve Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. Agronomy

for Sustainable Development, 29(1), 185–212. doi:10.1051/agro:2008021

Fereres, E., ve Soriano, M. A. (2007). Deficit irrigation for reducing agricultural water use. Journal of Experimental Botany, 58(2), 147–159. doi:10.1093/jxb/erl165

Geerts, S., ve Raes, D. (2009). Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. Agricultural Water Management, 96(9), 1275–1284. doi:10.1016/j.agwat.2009.04.009

Hsiao, T. C., Steduto, P., ve Fereres, E. (2007). A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture. Irrigation Science, 25(3), 209–231. doi:10.1007/s00271-007-0063-2

Jones, H. G. (2004). Irrigation scheduling: Advantages and pitfalls of plant-based methods. Journal of Experimental Botany, 55(407), 2427–2436. doi:10.1093/jxb/erh213

Mishra, A. K., ve Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. Journal of Hydrology, 391(1–2), 202–216. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.07.012

Molden, D., Oweis, T., Steduto, P., Bindraban, P., Hanjra, M. A., ve Kijne, J. (2010). Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. Agricultural Water Management, 97(4), 528–535. doi:10.1016/j.agwat.2009.03.023

Passioura, J. (2006). Increasing crop productivity when water is scarce—from breeding to field management. Agricultural Water Management, 80(1–3), 176–196. doi:10.1016/j.agwat.2005.07.012

Pereira, L. S., Oweis, T., ve Zairi, A. (2002). Irrigation management under water scarcity. Agricultural Water Management, 57(3), 175–206. doi:10.1016/S0378-3774(02)00075-6

Rockström, J., Karlberg, L., Wani, S. P., Barron, J., Hatibu, N., Oweis, T., Bruggeman, A., Farahani, J., ve Qiang, Z. (2010). Managing water in rainfed agriculture—The need for a paradigm shift. Agricultural Water Management, 97(4), 543–550. doi:10.1016/j.agwat.2009.09.009

Steduto, P., Hsiao, T. C., Raes, D., ve Fereres, E. (2012). Crop yield response to water (FAO Irrigation and Drainage Paper 66). Rome: FAO.

Wilhite, D. A., ve Glantz, M. H. (1985). Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. Water International, 10(3), 111–120. doi:10.1080/02508068508686328

# BÖLÜM 9

## DENİZEL ALGLER, OMURGASIZLAR VE BUNLARLA İLİŞKİLİ MİKROORGANİZMALARIN BİYOAKTİF MOLEKÜLLERİ

Prof. Dr. Aslı KAÇAR[1]
Dr. Burcu OMUZBÜKEN [2]

DOI: https://www.doi.org/10.5281/zenodo.23260144

[1] Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Canlı Deniz Kaynakları Programı, İzmir, Türkiye. asli.kacar@deu.edu.tr, orcid id: 0000-0002-8705-3695
[2] Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Canlı Deniz Kaynakları Programı, İzmir, Türkiye. burcuomuzbuken@gmail.com, orcid id: 0000-0002-6681-7174

## 1. GİRİŞ

Karasal ve denizel çevre, önemli hastalıkların tedavisinde kullanılan veya yeni ilaçların geliştirilmesine öncülük eden, yapısal açıdan çeşitlilik gösteren farmakolojik olarak aktif bileşiklerin kaynağıdır (Newman vd., 2000). Penisilin ve streptomisin gibi antibiyotiklerin keşfine kadar, doğal kaynaklardan ilaç geliştirme çalışmalarında karasal bitkiler öne çıkmıştır. Tıbbi bitkilerin dünyanın farklı bölgelerindeki geleneksel tıp uygulamalarında önemli bir yer tutması da bu durumu yansıtmaktadır (Heinrich, 2001). Hedef odaklı modern ilaç keşfi yöntemlerine rağmen karasal bitkiler, yeni ilaçların geliştirilmesi için öncü bileşikler sağlamayı sürdürmektedir. *Taxus brevifolia* kaynaklı paklitaksel, *Podophyllum peltatum* bitkisinden izole edilen podofilotoksinden yarı sentez yoluyla elde edilen etoposid ve *Camptotheca acuminata* kaynaklı kamptotesinin yapısal özelliklerinin değiştirilmesiyle geliştirilen irinotekan bunlara örnektir (Proksch vd., 2003). Okyanuslar, dünya yüzeyinin %70'inden fazlasını kaplamasına ve deniz ürünleri uzun süredir insan beslenmesinde yer almasına rağmen, denizel kaynaklar ilaç keşfi araştırmalarında görece yakın bir dönemde yoğun ilgi görmeye başlamıştır (Proksch vd., 2003). Doğal ürünler, özellikle kanser ve bulaşıcı hastalıklara yönelik ilaçların keşfinde tarihsel olarak önemli rol oynamıştır (Atanasov vd., 2015; Harvey vd., 2015; Newman ve Cragg, 2020). İlaçların büyük bölümü karasal kaynaklara dayansa da denizel ortam, karasal doğal ürünlerde rastlanmayan kimyasal özelliklere sahip biyomoleküller barındırır. Denizel omurgasızlar; enzimler, biyopolimerler ve ikincil metabolitler gibi moleküller üreterek ilaç, nutrasötik, kozmetik, antibiyotik, biyomalzeme ve biyolojik kirlenmeyi önleyici ürünlerin geliştirilmesi açısından kaynak oluşturur (Hu vd., 2015).

Denizel organizmalardan elde edilerek ilaç geliştirme çalışmalarına öncülük eden ilk doğal ürünler arasında, *Cryptotethya crypta* süngerinden izole edilen spongouridin ve spongotimidin adlı nükleozidler yer almaktadır. Bu bileşikler, Ara-A gibi antiviral ilaçların geliştirilmesine öncülük etmiştir (Bergmann ve Feeney, 1951; Proksch vd., 2003). Karayip gorgonu *Plexaura homomalla*'da prostaglandinlerin keşfi ise denizel kaynaklardan ilaç arayışının başlangıcındaki önemli gelişmelerden biri olarak kabul edilmektedir (Weinheimer ve Spraggins, 1969; Proksch vd., 2003). Teknolojik gelişmeler, daha derinlerde yaşayan organizmaların örneklenmesini mümkün kılmış;

spektroskopik yöntemlerdeki gelişmeler de denizel ikincil metabolitlerin karmaşık yapılarının aydınlatılmasını kolaylaştırmıştır (Proksch vd., 2003). Biyoaktif bileşik kaynağı olarak en çok incelenen denizel omurgasızlar arasında süngerler, knidliler, yumuşakçalar, derisidikenliler ve tunikatlar bulunmaktadır (Hu vd., 2015). Bu gruplardan elde edilen doğal ürünler, klinik kullanım için geliştirilen ilaçlara da kaynaklık etmiştir (Le vd., 2020; Pereira, 2019). Karayip süngeri *Tethya crypta*'dan izole edilen bir nükleozitten geliştirilen sitarabin (Ara-C), 1969'da onaylanmış ve akut miyeloid lösemi ile Hodgkin dışı lenfomanın tedavisinde kullanılmıştır (Sagar vd., 2010). Aynı türden elde edilen bir nükleozitin analoğu olan vidarabin (Vira-A®) ise 1976'da *Herpes simplex* enfeksiyonlarına karşı antiviral ilaç olarak onaylanmıştır (Romano vd., 2022). Tunikat *Ecteinascidia turbinata*'dan izole edilen alkaloid trabektedin (Yondelis®) de daha sonra kanser tedavisi için onaylanmıştır (Schöffski vd., 2008).

Denizel doğal ürünlerden geliştirilen diğer kanser ilaçları arasında, sünger kaynaklı halikondrin B'nin analoğu eribulin mesilat (Halaven®), *Aplidium albicans* kaynaklı siklik peptit plitidepsin (Aplidine®) ve dolastatin 10 türevlerini içeren brentuksimab vedotin (Adcetris®) ile polatuzumab vedotin (POLIVY®) yer almaktadır (Le vd., 2020). *Conus magus* tarafından üretilen zikonotid (Prialt®) ise kronik ağrı tedavisinde kullanılan güçlü bir analjeziktir (Harvey, 2008).

Denizel doğal ürün araştırmalarının başladığı 1960'ların sonlarından 2000'li yılların başına kadar, 10.000'den fazla doğal ürün izole edildiği bildirilmiştir (Faulkner, 2002). Karasal ortamda bitkiler öne çıkarken, denizel doğal ürünlerin önemli kaynakları arasında süngerler, tunikatlar, bryozoonlar ve yumuşakçalar gibi omurgasızlar (Şekil 1) yer almaktadır. Bu gruplar içinde süngerler, tanımlanan doğal ürünlerin sayısı bakımından öne çıkmaktadır (Faulkner, 2002). Denizel omurgasızlardan elde edilen bileşikler; alkaloidler, peptitler, terpenler ve poliketidler gibi farklı kimyasal grupları kapsamaktadır (Proksch vd., 2002). Klinik araştırmalarda değerlendirilen yaklaşık 13 denizel doğal ürün veya türevinin 12'si omurgasız kaynaklı olup; skualamin laktat ise köpek balığından elde edildiği bildirilmiştir (Proksch vd., 2002). Romano ve arkadaşlarının 2022'de aktardığı verilere göre, denizel kaynaklı 13 ilaç Avrupa Birliği ve/veya ABD'de onaylanmıştır (Cappello ve Nieri, 2021). Bu veriler,

denizel doğal ürünlerin kimyasal çeşitliliğini ve ilaç geliştirme araştırmalarındaki yerini göstermektedir (Romano vd., 2022).



**Şekil 1:** Denizel Omurgasızlara Örnekler (Kişisel Arşiv Aslı Kaçar. 2018)

Denizel omurgasızlar biyoaktif moleküllerin yanı sıra biyomalzemelerin de kaynağıdır. Denizel biyomineraller, kollajen, kitin ve yapıştırıcı proteinler bu alanda öne çıkan örneklerdir (Khrunyk vd., 2020). Biyouyumlulukları nedeniyle bu malzemeler; doku mühendisliği ve rejeneratif tıp (Tsurkan vd., 2020), ilaç taşıma sistemleri (Langasco vd., 2017) ve dikişsiz yara kapatma (Jeon vd., 2015) gibi uygulamalar açısından araştırılmaktadır. Omurgasızların doğal ürün üretme kapasitesinin ve bu ürünlerin sürdürülebilir biçimde elde

edilmesini sağlayabilecek yöntemlerin incelenmesi, denizel kaynakların biyoteknolojik kullanımında önemli bir araştırma alanıdır (Romano vd., 2022).

### 1.1. Denizel Omurgasızlarla İlişkili Mikroorganizmalar

Mikroorganizma–omurgasız birliktelikleri doğada yaygındır ve elverişsiz yaşam alanlarında dahi önemli rol oynar. Bu birliktelikler, ekolojik ve evrimsel süreçlerin anlaşılmasının yanı sıra biyoteknolojik araştırmalar açısından da önem taşır. Özellikle ekstrem denizel ortamlar, biyolojik etkinlik gösteren mikrobiyal kökenli yeni bileşiklerin keşfi için dikkat çekmektedir. Bununla birlikte, bu ortamlardaki doğal ürün araştırmaları çoğunlukla sediment ve deniz suyunda bulunan mikroorganizmalara odaklanmış; denizel canlılarla ilişkili mikroorganizmalar daha sınırlı ölçüde incelenmiştir (Lo Giudice ve Rizzo, 2022).

Sıcaklık, pH, oksijen düzeyi, radyasyon, basınç, tuzluluk ve besin gibi çevresel koşullar, yaşamın sürdürülebileceği sınırları belirler. Ancak ekstrem ortamlar, örneğin soğuk ortamlara uyum sağlamış organizmalar, bu koşullarda metabolik ve biyokimyasal olarak aktif kalabilir ve biyokütlenin önemli bir bölümünü oluşturabilir. Denizel ekstrem yaşam alanları hidrotermal bacalardan kutup bölgelerine ve derin denizlere kadar uzanmakta olup, bunların Dünya yüzeyinin %50'sinden fazlasını kapladığı belirtilmektedir. Bu ortamların bir bölümü görece kararlıyken, hidrotermal bacalar gibi alanlar, değişken koşullara maruz kalır. Bu değişkenlik, organizmaların geçici koşullarla başa çıkmalarını sağlayan uyum stratejilerinin gelişmesinde etkili olmaktadır (Lo Giudice ve Rizzo, 2022).

Ekstrem çevre koşullarında yaşayan mikroorganizmalar ve omurgasızlar, yaşam döngülerini sürdürebilmek için genetik, biyokimyasal ve fizyolojik uyum mekanizmaları geliştirir. Bu mekanizmalar gen düzenlenmesini ve proteinler ile hücre zarları gibi bileşenlerin yapı ve işlevlerini kapsar (Lo Giudice ve Rizzo, 2022). Bu organizmaların genetik çeşitliliği ve uyum mekanizmaları, yapısal açıdan özgün metabolitlerin üretilmesiyle ilişkili olabilmektedir. Dolayısıyla ekstrem ortamlar, biyolojik etkinliğe sahip yeni kimyasal yapıların araştırılması bakımından önemli alanlar olarak değerlendirilmektedir (Cragg ve Newman, 2002).

Denizel canlılar, mikroorganizmalarla sürekli temas hâlinde yaşar ve evrimleşir (Pita vd., 2018). Bu nedenle simbiyotik ilişkilerin incelenmesi,

konak organizmaların ekolojisini ve evrimini anlamak açısından önemlidir. Pek çok bentik omurgasız, vücut yüzeyinde yaşayan epibiyotik veya vücut içinde bulunan endobiyotik mikroorganizmalarla ilişkilidir. Bu simbiyontlar konağa besin sağlayabilir; ayrıca ürettikleri doğal ürünler aracılığıyla avcılara ve çevresel etkenlere karşı kimyasal savunmaya katkıda bulunabilir. Epibiyontlar konağın tüm yüzeyine ya da uzantılar ve solungaçlar gibi belirli bölgelerine yerleşebilir. Endobiyontlar ise hücrelerin içinde veya dışında bulunabilir (Lo Giudice ve Rizzo, 2022). Süngerlerle ilişkili mikroorganizmaların süngerin yapısal özelliklerine (Wilkinson vd., 1981), UV ışınlarına karşı korunmasına (Regoli vd., 2000; Usher, 2008) ve karbonun uzaklaştırılması yoluyla karbon döngüsüne katkıda bulunabildiği bildirilmiştir (De Goeij vd., 2013).

*Holobiyont*, konak organizma ile onunla ilişkili simbiyontların oluşturduğu birlikteliği ifade eder. Hologenom hipotezi ise, bu birlikteliğin kendine özgü bir biyolojik varlık olarak işlev görebileceğini ve evrimsel seçilimin bir düzeyi olarak değerlendirilebileceğini öne sürer (Rosenberg ve Zilber-Rosenberg., 2016). Konak genomu ile ilişkili mikrobiyomun kuşaklar arasında aktarılması, holobiyontun özelliklerinin korunmasına katkıda bulunabilir. Konak–mikroorganizma etkileşimleri; morfoloji, gelişim, davranış, fizyoloji ve hastalıklara direnç gibi özellikleri etkileyebilir. Ayrıca mikrobiyomun çevresel değişimlere konak genomundan daha hızlı yanıt verebilmesi, holobiyontun uyum kapasitesi bakımından önemlidir. Bu nedenle konak ve simbiyontlar, simbiyozun uyum mekanizmalarını anlamak amacıyla birlikte incelenmektedir (Dupperron vd., 2009; Steffen vd., 2022).

Bununla birlikte, sünger simbiyontlarının bu ilişkilerdeki işlevleri henüz bütünüyle açıklığa kavuşmamıştır (Hoer vd., 2018; Maldonado vd., 2012; McMurray vd., 2018). Mikroorganizmalar açısından simbiyoz, besin bakımından zengin ve çevresel koşulları daha kararlı bir yaşam alanına erişim sağlayabilir. Mikrobiyal topluluklar hâlinde yaşamak da organizmalara, antibiyotikler, avlanma vb. gibi dış etkenlere karşı koruma sunabilir (Lo Giudice ve Rizzo, 2022). Konak ve simbiyontlar arasındaki yapısal, metabolik ve moleküler ilişki, farklı organizmaların birlikte oluşturabileceği biyolojik çeşitliliği göstermektedir (Beinart vd., 2012).

Ekstrem denizel ortamlardaki mikroorganizma–omurgasız birliktelikleri, ekolojik ve evrimsel araştırmaların yanı sıra biyoteknoloji için de araştırma potansiyeli taşır. Bu birlikteliklerde rol alan moleküllerin henüz

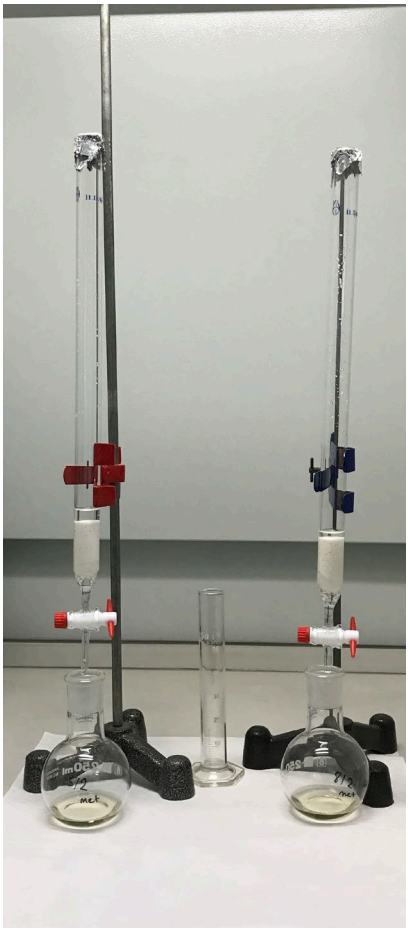
tanımlanmamış özelliklere sahip olabileceği düşünülmekte; konak–mikroorganizma etkileşimleri doğal ürün keşfi açısından değerlendirilmektedir (Lo Giudice ve Rizzo, 2022).

## 1.2. Simbiyotik İlişkilerde Biyoteknolojik Açıdan Önemli Moleküller

Konak–mikroorganizma etkileşimlerinde kimyasal bileşikler önemli rol oynar. Konak organizmalar, simbiyontlarla ilişkilerini veya bağışıklık yanıtlarını değiştirerek simbiyont topluluklarının yapısını etkileyebilir. Konak ile ilişkili bakteri toplulukları arasındaki bu karmaşık etkileşimler, birlikteliğin evrimsel süreçler boyunca sürdürülmesine katkıda bulunabilir (Kaltenpoth vd., 2014).

Bir omurgasızın kimyasal savunmasında görev alan molekül, konağın kendisi veya mikrobiyal simbiyontu tarafından üretilebileceği gibi aralarındaki etkileşim sonucunda da ortaya çıkabilir. Konakla ilişkili mikroorganizmaların sentezlediği ikincil metabolitler, konağın kimyasal savunmasına katkı sağlayabilir. Bu olasılık, yüksek basınç, tuzluluk veya sıcaklık gibi koşullara maruz kalan ekstrem habitatlardaki holobiyontlar açısından özellikle dikkat çekmektedir (Lo Giudice ve Rizzo, 2022). Başlangıçta denizel omurgasızlardan izole edilen bazı ikincil metabolitlerin ilişkili simbiyotik mikroorganizmalar tarafından üretildiği gösterilmiştir. Bununla birlikte, bazı bileşiklerin omurgasızın kendi doku hücreleri tarafından sentezlenip salgılandığını destekleyen kanıtlar da bulunmaktadır (Ballarin vd., 2018).

Süngerler; bakteriler, mantarlar ve mikroalgler dâhil çeşitli simbiyotik mikroorganizmalara ev sahipliği yapar. Bu nedenle, başlangıçta sünger ekstraktlarından izole edilen bazı biyoaktif ikincil metabolitlerin (Şekil 2) ilişkili mikroorganizmalar tarafından üretilebileceği uzun süredir araştırılmaktadır. Sünger ile ilişkili mikrobiyal topluluğun birlikte oluşturduğu sistem, gözlenen kimyasal çeşitliliğin anlaşılmasında önem taşır (Romano vd., 2022).



**Şekil 2:** Biyoaktif İkincil Metabolitlerin Ekstraksiyonu (Kişisel Arşiv Burcu Omuzbüken. 2022)

Bununla birlikte, bir bileşiğin doğal ortamdaki üreticisini belirlemek güçtür. Omurgasız bir konaktan izole edilen bakterinin söz konusu bileşiği laboratuvar kültüründe üretmesi, aynı bakterinin doğada da bileşiğin üreticisi olduğunu tek başına kanıtlamaz (Schmidt ve Schmidt, 2018). Bazı örneklerde ise bir maddenin bakteriler tarafından üretildiğine ve konak için koruyucu ya da yararlı olduğuna ilişkin kanıtlar bulunmaktadır (Lo Giudice ve Rizzo, 2022).

Ekstrem ekosistemler, barındırdıkları biyolojik çeşitlilik nedeniyle terapötik ve biyoteknolojik açıdan önemli biyoaktif moleküllerin araştırılması için potansiyel kaynaklardır (Lebar vd., 2007). Bu ortamlardaki sediment ve su gibi çevresel bileşenlerden izole edilen mikroorganizmalar üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır. Buna karşılık, bentik omurgasızlarla ilişkili

mikroorganizmaların biyomolekül üretimi daha sınırlı ölçüde incelenmiş; araştırmalar çoğunlukla bu mikroorganizmaların kemosentez gibi ekolojik işlevlerine odaklanmıştır. Yine de çeşitli biyomoleküllerin bakteri–omurgasız etkileşimlerinde rol oynayabileceği bildirilmektedir. Bu nedenle, ekstrem habitatlardaki bentik omurgasızlarla ilişkili bakterilerin biyoaktif bileşikleri ve biyolojik etkinlikleri araştırılmaya değer konulardır (Lo Giudice ve Rizzo, 2022).

### 1.3. Omurgasızlarla İlişkili Bakterilerden Elde Edilen Biyomoleküller

Biyomoleküller, ekstrem ortamlar da dâhil olmak üzere bentik omurgasızlar ile bakteriler arasındaki simbiyotik ilişkilerde rol oynar. Doğal ortamdaki işlevi henüz açıklığa kavuşmamış bazı bileşikler de enfeksiyon ve kanser araştırmaları açısından potansiyel taşımaktadır. Özellikle çoklu ilaç direncinin yaygınlaşması, dirençli mikroorganizmalara karşı etkili ve güvenli yeni bileşiklerin araştırılmasını gerekli kılmaktadır (Ventola, 2015). *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus aureus* gibi patojenlerde görülen antibiyotik direnci bu gereksinimi artırmaktadır (Xu vd., 2018). Benzer biçimde, antitümör etkinliği daha geniş ve toksisitesi daha düşük bileşiklere ihtiyaç duyulmaktadır (Rayan vd., 2017). Bentik omurgasızların çeşitli mikrobiyal toplulukları, kaynak rekabeti ve korunma ile ilişkili biyoaktif bileşikler üretebildiğinden, klinik açıdan yararlı doğal ürünlerin araştırılmasında potansiyel bir kaynak olarak değerlendirilmektedir. Moleküler, genetik ve analitik yöntemlerdeki gelişmeler, özellikle az incelenmiş ekstrem habitatlarda yaşayan mikroorganizmaların ürünlerinin tanımlanmasını kolaylaştırmıştır (Lo Giudice ve Rizzo, 2022).

Ekstrem denizel ortamlardaki sünger ve mercanlarla ilişkili bakterilerde antibakteriyel, antifungal, antiparaziter ve antiviral etkinlikler bildirilmiştir. Bununla birlikte, bazı çalışmalarda biyolojik etkinlik gösterilmiş olsa da etkinlikten sorumlu molekül henüz karakterize edilmemiştir (Lo Giudice ve Rizzo, 2022). Orta Atlantik derin denizinde, 971 m derinlikte bulunan ve türü belirlenmemiş bir süngerin mikrobiyomundan *Micromonospora* 28ISP2-46T suşu izole edilmiştir (Back vd., 2021). Tüm genom dizisi, bu suşun çeşitli doğal ürünlerin biyosentezi için genetik potansiyele sahip olduğunu göstermiştir. Suşun fermantasyon kültüründen izole edilen kosinostatin ve izokinosiklin

B'nin, çoklu ilaca dirençli klinik izolatlar da dâhil olmak üzere çeşitli patojenik bakterilere karşı etkinlik gösterdiği bildirilmiştir (Back vd., 2021). Antarktika süngeri *Isodictya setifera* ile ilişkili *Pseudomonas aeruginosa* suşunun ise Gram pozitif bakterilere karşı etkinlik gösteren fenazin alkaloidleri ürettiği belirtilmiştir (Jayatilake vd., 1996).

*Streptomyces*, *Myceligenerans* ve *Micromonospora* cinslerine ait toplam 16 aktinobakteri suşu; mercanlar ve Porifera, Annelida, Echinodermata ile Arthropoda gruplarından diğer bentik organizmalardan, 1500–4700 m derinlik aralığında izole edilmiştir (Sarmiento-Vizcaíno vd., 2017). Bu suşlar, Gram pozitif ve Gram negatif bakteriler ile *Saccharomyces cerevisiae* dahil çeşitli mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal etkinlik yönünden taranmıştır. 4700 m derinlikte *Colossendeis colossea* ile ilişkili olarak izole edilen *Streptomyces* M-231 suşunun özellikle yüksek etkinlik gösterdiği bildirilmiştir (Sarmiento-Vizcaíno vd., 2017). İncelenen özütlerin çoğunda karmaşık metabolit profilleri belirlenmiştir. Tanımlanan bileşikler arasında antibakteriyel etkinlikle ilişkilendirilen paulomisinler A ve B, kaboksamisin, aloesaponarin II ve antranilik asit; antifungal etkinlikle ilişkilendirilen bafilomisinler B1 ve C1 ile maltofilin yer almaktadır. Ayrıca kaboksamisin, daunomisin ve galtamisin antitümör; paulomisinler A ve B ile valinomisin antiparaziter; valinomisin antiviral ve loboforin B antiinflamatuar etkinlikle ilişkilendirilmiştir (Lo Giudice ve Rizzo, 2022).

### 1.3.1. Süngerlerin Biyoaktif Molekülleri

Süngerler (Porifera), filtreyle beslenen bentik omurgasızlardır. Yaklaşık 9000 sünger türünün büyük bölümü denizel ortamlarda, yaklaşık 220 türü ise tatlı sularda yaşar. Bazal metazoanlar arasında değerlendirilen süngerler; Calcarea, Hexactinellida, Demospongiae ve Homoscleromorpha gruplarını kapsar (Romano vd., 2022).

Denizel omurgasızların biyoaktif ikincil metabolitlerine yönelik ilgi, 1950'lerde Karayip süngeri *Cryptotethya crypta*özütlerinde modifiye nükleozitlerin tanımlanmasıyla başlamıştır (Bergmann ve Feeney, 1951). Bu keşif, denizel bir doğal üründen geliştirilen ilk ilaçlardan biri olan sitarabinin (Cytosar-U®) geliştirilmesine öncülük etmiştir (Walwick vd., 1959). Süngerler, izleyen yıllarda da yapısal açıdan çeşitli doğal ürünlerin önemli kaynakları arasında yer almıştır. Romano ve arkadaşlarının derlemesine göre

2010–2019 yılları arasında süngerlerden 2639 yeni bileşik bildirilmiştir (Blunt vd., 2018; Caroll vd., 2020; Caroll vd., 2019). Bunların 1700'den fazlası, yaklaşık %65'i, ilk tanımlandıkları çalışmalarda biyoaktif olarak değerlendirilmiştir. Bileşiklerin %35'ini terpenler, %29'unu alkaloidler ve %22'sini lipitler oluştururken; peptitler, poliketidler ve diğer moleküller toplamın %14'ünü oluşturmuştur (Romano vd., 2022).

### 1.3.2. Tunikatların Biyoaktif Molekülleri

Tunikatlar; sitotoksik, antimitotik, antiviral ve antimikrobiyal etkinlik gösteren çeşitli bileşiklerin kaynağıdır (Adrian vd., 2007; Cooper ve Yao, 2012; Dou ve Dong, 2019; Ramesh vd., 2021; Sivonen vd., 2010). Yapışma özellikleriyle ilişkili molekülleri de biyomedikal uygulamalar açısından ilgi görmektedir (Zeng vd., 2019). Tunikatlardan elde edilen biyoaktif molekülleri farklı kimyasal sınıflara aittir (Dou ve Dong, 2019; Casertano vd., 2020).

Tunikatların ürettiği metabolitlerin bir bölümü, yabancı organizmaların iç dokulara ulaşmasını ve tunik yüzeyine yerleşmesini sınırlayan fizikokimyasal savunmaya katkıda bulunur. Konakla ilişkili endosimbiyontlar da diğer mikroorganizmaların yerleşmesini engelleyebilecek bazı bileşiklerin üretiminde rol oynayabilir (Dou ve Dong, 2019; Ayuningrum vd., 2019; Chen vd., 2018).

Tunikatlarda yapılan çalışmalarda elde edilen biyoaktif ikincil metabolitlerin %50'si alkaloid, %37'si poliketid ve %13'ü peptit olarak sınıflandırılmıştır (Sivonen vd., 2010). Memeli hücre hatlarında sitotoksik ve antiproliferatif etkinlik, bildirilen biyolojik etkinliklerin %58'ini oluşturmuştur. Ascidiyanlardan izole edilen sitotoksik ve antineoplastik bileşikler farklı kimyasal sınıflara ait olup bunlardan üçü klinik araştırmalara alınmıştır (Romano vd., 2022).

## 2. DENİZEL ALGLERİN BİLEŞİKLERİ VE BİYOLOJİK ETKİNLİKLERİ

Algler, deniz ve tatlı su ortamlarında bulunan fotosentetik organizmalardır (Din vd., 2022). Denizel makroalgler Çin, Japonya ve Kore'de uzun süredir gıda olarak tüketilmektedir. İnsan beslenmesindeki kullanımları eskiye dayanmakla birlikte, içerdikleri biyoaktif moleküllere yönelik araştırmalar özellikle son yıllarda artmıştır (Cadar vd., 2019a). Avrupa'da da doğal deniz ürünlerine ve fonksiyonel gıdalara yönelik ilgiyle birlikte denizel

alg tüketiminin arttığı bildirilmiştir (Ferrara, 2020; Ferdouse vd., 2018). Makroalglerin gıda ve yem olarak kullanımı çeşitli çalışmalarda ele alınmıştır (Embling vd., 2022; Cherry vd., 2019). Bunun yanında, ağır metalleri biriktirme kapasiteleri (Cadar vd., 2019b) ve diğer denizel malzemelerle birlikte deri uygulamalarına yönelik preparatlarda kullanılmaları (Cherim vd., 2019; Sirbu vd., 2019) araştırılmıştır. Denizel algler taze veya işlenmiş gıdalarda kullanılmakta; alg kaynaklı bileşiklerin antioksidan, antiinflamatuar, antiproliferatif, antitrombotik, antikoagülan, antihipertansif, antidiyabetik ve kardiyoprotektif potansiyelleri araştırılmaktadır (Cheong vd., 2018; Ramos-Romero vd., 2021; Iwai vd., 2008). Yenilebilir algler salata, çorba ve farklı gıda ürünlerinde bileşen olarak yer almaktadır (Probst, 2015; Mazarrasa vd., 2014; Gupta ve Abu-ghannam, 2011).

Denizel algler, yenilenebilir biyolojik kaynaklar olarak son yıllarda yoğun biçimde araştırılmaktadır. Yaklaşık 8000 denizel alg türünün tanımlandığı bildirilmektedir (Menaa vd., 2020; Myklestad ve Granum, 2009; Probst, 2015; Mazarrasa vd., 2014). Makroalglerin başlıca kullanım alanı insan ve hayvan beslenmesidir. Araújo ve arkadaşları, inceledikleri üretimde denizden elde edilen alglerin %68, yetiştiricilik yoluyla üretilenlerin ise %32 paya sahip olduğunu bildirmiştir (Araújo vd., 2021). Cai'nin 1990–2019 dönemine ilişkin değerlendirmesinde, yetiştiricilik yoluyla elde edilen kahverengi ve kırmızı alglerin dünya üretiminin arttığı, yeşil alg üretiminin ise yaklaşık yarıya düştüğü belirtilmiştir (Cai, 2021). Kaynakta aktarılan küresel üretim verilerine göre denizel alg üretimindeki pay Asya için %97,38; Kuzey ve Güney Amerika için %1,36; Avrupa için %0,8; Afrika için %0,41 ve Okyanusya için %0,05'tir (Cai, 2021; FAO, 2021). Alg türlerine uygun kültür sistemlerinin geliştirilmesi, makroalg yetiştiriciliğindeki ilerlemelere katkı sağlamıştır (Cadar vd., 2025). Su ürünleri yetiştiriciliğindeki büyüme, alglerin gıda ve diğer ürünler için değerlendirilmesine yönelik ilgiyi artıran bağlamlardan biridir (FAO, 2022).

Denizel alglerin endüstriyel kullanımı gıda alanının ötesine geçerek kozmetik, biyomedikal ürünler ve biyoyakıt gibi alanlara uzanmıştır. Denizel yetiştiricilik ve kontrollü biyoreaktör sistemlerindeki gelişmeler üretim olanaklarını artırırken, ekstraksiyon yöntemlerindeki ilerlemeler alg kaynaklı bileşiklerin elde edilmesine katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte, çevresel etkiler ve kaynakların sürdürülebilir yönetimi araştırılmaya devam eden

konulardır. Yetiştiriciliğe, araştırmaya ve ürünlerin pazarlanmasına ilişkin politikalar ile düzenlemeler de denizel alglerin gelecekteki kullanımını etkilemektedir (Cadar vd., 2025).

## 2.1. Denizel Alglerin Aktif Metabolitleri

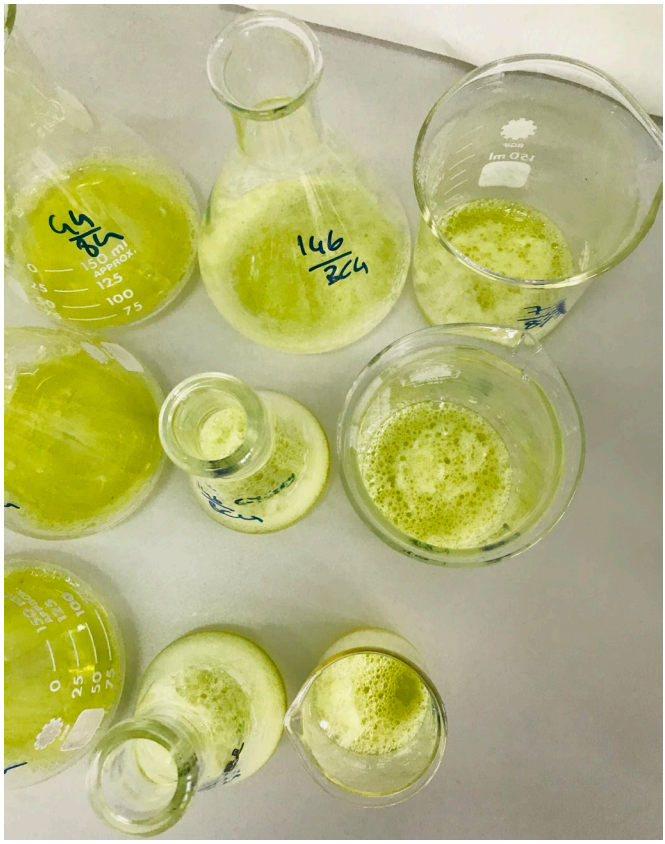
Makroalgler, biyoaktif metabolitler bakımından zengin olmalarına rağmen ağırlıklı olarak gıda amacıyla kullanılmaktadır. Son çalışmalar, alglerin ikincil metabolitlerinin farklı uygulamalar için değerlendirilebileceğini göstermektedir. Makroalglerde bulunan metabolitler ve bunların biyolojik etkinlikleri çeşitli araştırmalarda incelenmiştir (Xie vd., 2024; Choudhary vd., 2021). Algler; polisakkaritler, proteinler, amino asitler, lifler ve yağ asitleri gibi temel bileşenlerin yanı sıra pigmentler, fitosteroller, polifenoller ve terpenoidler gibi biyolojik etkinlikleri araştırılan bileşikler içerir (Uzair vd., 2020; Pérez vd., 2016; Cheong vd., 2018; Gupta ve Abu-ghannam, 2011; Jiménez-Escrig vd., 2011; Ramos-Romero vd., 2021).

Denizel algler; karbonhidratlar, proteinler, mineraller, yağ asitleri, antioksidanlar ve pigmentler gibi bileşikler bakımından zengindir. Bu bileşiklerin üretimi alg türüne ve mikroorganizmalarla etkileşim gibi biyotik etkenlere; sıcaklık, pH, tuzluluk ve ışık şiddeti gibi abiyotik koşullara bağlı olarak değişebilir (Menaa vd., 2021). Denizel makroalgler; polisakkaritler, polifenoller, mineraller, vitaminler, karotenoidler, lifler, proteinler, amino asitler ve çoklu doymamış yağ asitleri bakımından zengin kaynaklar olarak tanımlanmaktadır (Park vd., 2023; Beaumont vd., 2021; Ca vd., 2019).

Alglerin bileşimi türlere ve yetişme koşullarına göre farklılık gösterir. Yapılan çalışmalarda alglerin toplam mineral içeriği %8,4–43,6, lif %5,3–52,3, protein %4,9–37,8 ve yağ %0,92–5,2 aralıklarında olduğu bildirilmiştir Besin maddeleri, tuzluluk, sıcaklık, inorganik karbon, oksijen, ışık, karbondioksit, pH, doku yaşı ve mevsim; alg büyümesini, biyokütle verimini ve metabolit bileşimini etkileyebilir. Bu değişkenlik, polisakkarit ve mineral içeriği için bütün alg türlerine uygulanabilecek tek bir referans değer belirlemeyi güçleştirir. Abiyotik stres koşulları büyümeyi de olumsuz etkileyebilir (Menaa vd., 2021). Alg kaynaklı bileşiklerin miktarı ve bileşimi; tür, besin maddelerinin bulunabilirliği, sıcaklık, pH, tuzluluk, inorganik karbon, oksijen, ışık ve karbondioksit düzeyi ile algle ilişkili mikrobiyal topluluğa göre değişebilir (Khanna vd., 2019; Fawcett vd., 2017; Menaa vd., 2020; Miazek

vd., 2015). Bu değişkenlik, elde edilen nanopartiküllerin boyutunu, şeklini ve kararlılığını da etkileyebilir (Uzair vd., 2020; Fawcett vd., 2017; Menaa vd., 2020; Pérez vd., 2016; Darki ve Krakhmalnyi, 2019).

Analitik yöntemlerle alg ekstraktlarının incelenmesi (Şekil 3), bileşiklerin varlığının ve göreli miktarlarının belirlenmesini sağlar (Riaz vd., 2020; Menaa vd., 2020). Alkol ve su özütlerinde alkaloidler, flavonoidler, terpenoidler, steroidler, tanenler, fenolik bileşikler, kinonlar, glikozitler ve saponinler gibi bileşik grupları araştırılmıştır (Janarthanan ve Kumar, 2013; Imran vd., 2021; Dias vd., 2020). Ekstraktların antimikrobiyal ve antioksidan etkinliği; içerdiği metabolitlere, ekstraksiyon yöntemine ve çözücüye, algin gelişim evresine, toplama mevsimine ve çevresel koşullara göre değişebilir (Dias vd., 2020; Campbell vd., 2011; Harrison ve Hurd, 2001).



**Şekil 3:** Ekstraktların Analitik Yöntemlerle İncelenmesi (Kişisel Arşiv Burcu Omuzbüken. 2022).

Denizel algler, biyolojik etkinlikleri araştırılan çeşitli ikincil metabolitler üretir (André vd., 2021). Alg polisakkaritlerinin nutrasötik ve antitümör potansiyeli (Ouyang vd., 2021), alg kaynaklı bileşiklerin HPV ve rahim ağzı kanseriyle ilişkili araştırmalardaki yeri (Moga vd., 2021) ve kahverengi alglerden elde edilen fukoidanın antiinflamatuar, immünomodülatör, antitümör, antikoagülan, nöroprotektif, antioksidan ve kardiyoprotektif özellikleri incelenmiştir (Saeed vd. 2021). Makroalg polisakkaritlerinin olası tıbbi uygulamaları da derlemelere konu olmuştur (Lomartire vd., 2021). Antitümör, antiinfektif, antidiyabetik ve nöroprotektif uygulamalara yönelik formülasyonlar da araştırılmıştır (Probst, 2015; Ramos-Romero vd., 2021; Bălaşa vd., 2020; Olasehinde vd., 2019; Ernst vd., 2019). Bununla birlikte, özellikle antidiyabetik ve nöroprotektif kullanımlar için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır (Menaa vd., 2021).

### 2.1.1. Polisakkaritler

Denizel alg polisakkaritleri, alglerin yapısında bulunan önemli karbonhidrat bileşenleridir. Alglerde bulunan şekerler moleküler büyüklüklerine ve yapılarına göre monosakkarit, disakkarit, oligosakkarit ve polisakkarit olarak sınıflandırılır. Mannoza, glikoza, fruktoza, galaktoza, fükoza, ksiloza ve arabinoza yaygın monosakkaritler arasında yer verilmiştir (Xie vd., 2024). Denizel makroalg polisakkaritlerinin izolasyonu, yapısal karakterizasyonu ve ekstraksiyon yöntemleri araştırılmıştır (Dobrincic vd., 2020).

Alg kaynaklı bileşiklerin elde edilmesi için süperkritik akışkan, yüksek basınç, mikrodalga, ultrason ve enzim destekli ekstraksiyon gibi yöntemler araştırılmaktadır (Menaa vd., 2021). Ekstraksiyon yöntemi, elde edilen polisakkaritlerin özelliklerini ve biyolojik etkinliklerini etkileyebilir. Kırmızı alglerde farklı ekstraksiyon yöntemlerinin polisakkaritlerin fizikokimyasal özellikleri ile antioksidan etkinliği üzerindeki etkileri incelenmiştir (Premarathna vd., 2024). Polisakkaritlerin bileşimi ve yapısı alg türüne, hasat mevsimine, toplama bölgesine ve su kalitesine göre değişebilir. Ekstraksiyon ve saflaştırma koşulları da polisakkaritlerin ve bunlardan hazırlanan hidrojellerin özelliklerini belirler (Lin ve Jiao, 2022). Bu nedenle ekstraksiyon öncesindeki işlemler önem taşır (Ummat vd., 2021). Enzim destekli ekstraksiyon, daha düşük enerji tüketimi ve elde edilen bileşiklerin kalitesini

koruma potansiyeli nedeniyle geleneksel su veya organik çözücü temelli yöntemlere alternatif olarak değerlendirilmiştir (Oh vd., 2020). Alg polisakkaritlerinin yapısal çeşitliliği ve alg gruplarına göre değişen biyolojik etkileri (Yao vd., 2020) ile antiviral etkinlik dahil olası biyomedikal uygulamaları da araştırılmıştır (Akter vd., 2024). Alg biyomoleküllerinin gıda koruma, antibiyofilm, biyolojik kirlenmeyi önleme ve aktif ambalajlama gibi alanlarda değerlendirilebilmesi için uygun ekstraksiyon ve saflaştırma yöntemlerinin geliştirilmesi gereklidir (Uzair vd., 2020; Menaa vd., 2020; Couteau ve Coiffard, 2016; Cheong vd., 2018). Bu amaçla süperkritik akışkan, yüksek basınç, mikrodalga, ultrason, enzim, hızlandırılmış çözücü ve darbeli elektrik alan destekli ekstraksiyon yöntemleri incelenmiştir (Uzair vd., 2020; Pérez vd., 2016; Cheong vd., 2018; Alassali ve Cybulska, 2015).

### 2.1.2. Terpenoidler

Terpenoidler, denizel makroalglerde bulunan ikincil metabolit gruplarından biridir. İzopren birimlerinden türeyen bu bileşikler monoterpen, seskiterpen, diterpen ve triterpen olarak sınıflandırılır. Terpenlerin temel yapısal birimi 2-metilbuta-1,3-dien olup izopren birimlerinin genel formülü $C_5H_8$'dir. Terpenler denizel alglerin yanı sıra karasal bitkilerin uçucu yağlarında da bulunur (Cikoš vd., 2019). Kırmızı alg Ochtodes secundiramea'dan elde edilen monoterpenler incelenmiştir (Polzin vd., 2018). Diterpenler de denizel makroalglerde bulunan, yapısal açıdan çeşitli bir bileşik grubudur (Cadar vd., 2025).

### 2.1.3. Proteinler ve Amino Asitler

Denizel algler, gıda ve fonksiyonel gıda ürünleri için potansiyel protein kaynaklarıdır. Bazı türlerde protein içeriğinin kuru ağırlığın %50'sine ulaşabildiği bildirilmiştir. Alglerde protein ve amino asitlerin yanı sıra peptitler, enzimler, glikoproteinler, lektinler ve fikobiliproteinler bulunur (Pliego-Cortés vd., 2020). Denizel makroalgler ayrıca yağ asitleri, karotenoidler, vitaminler, mineraller ve polisakkaritler gibi başka bileşikler de içerir (Dhaouafi vd., 2024). Protein miktarı alg grupları arasında değişir: kaynakta kırmızı algler için %20–47, yeşil algler için %9–26 ve kahverengi algler için %3–15 aralıkları bildirilmiştir (Pliego-Cortés vd., 2020; Fleurence vd., 2018). Kırmızı alglerin yüksek protein içeriği ve esansiyel amino asitleri, beslenme açısından önem taşımaktadır (Rawiwan vd., 2022).

Peptitler, 3–40 amino asitten oluşabilen protein parçalarıdır (Cadar vd., 2025). Alglerde farklı işlevlere sahip enzimler de tanımlanmıştır. Ulva australis özütlerinde fosfat monoesterlerinin hidrolizini katalizleyen alkalin fosfataz (Pliego-Cortés vd., 2020), *Caulerpa cylindracea*'da ise türün yeni ortamlara uyumuyla ilişkilendirilen alternatif oksidaz proteinleri incelenmiştir (Ünlü vd., 2019). Glikoproteinler, oligosakkarit zincirlerinin proteinlere kovalent bağlanmasıyla oluşur; bu bağlar O-glikozil veya N-glikozil tipinde olabilir. Şekerlere özgül olarak bağlanan lektinler özellikle kırmızı alglerde bulunur. Denizel lektinlerin önemli bir bölümünün mannoza bağlanma özelliği gösterdiği bildirilmiştir (Echave vd., 2022). Lektinlerin üreme hücrelerinin birleşmesi ve patojenlere karşı savunmadaki rolleri ile antikanser potansiyelleri de incelenmiştir (Barre vd., 2019).

Alg kaynaklı protein ve peptitler besin değerlerinin yanı sıra biyolojik etkinlikleri yönünden de araştırılmaktadır. Örneğin kahverengi alg *Undaria pinnatifida*'dan elde edilen peptitlerin antihipertansif etkinliği incelenmiştir (Feng vd., 2021). Bununla birlikte, alglerde nitrit, pigmentler ve nükleik asitler gibi protein dışı azot bileşenleri de bulunduğundan, toplam azotun 6,25 dönüşüm faktörüyle proteine çevrilmesi protein miktarını olduğundan yüksek gösterebilir (Pliego-Cortés vd., 2020). Bu nedenle 103 alg türünü kapsayan 44 çalışmanın değerlendirilmesi sonucunda, azottan proteine dönüşüm için kahverengi alglerde 5,38; kırmızı alglerde 4,59 ve yeşil alglerde 5,13 faktörleri önerilmiştir (Pliego-Cortés vd., 2020).

Alg hücre duvarıyla ilişkili proteinler arasında, hidroksiprolin bakımından zengin glikoproteinler olan arabinogalaktan proteinleri (AGP'ler) bulunur. AGP'ler karasal bitkilerde ayrıntılı biçimde incelenmiş olsa da denizel alglerdeki işlevleri daha az bilinmektedir. Bu proteinlerin karbonhidrat bölümü yaklaşık %90–95 oranında olup arabinoz, ramnoz ve glukuronik asit kalıntıları içerir; protein bölümü ise hidroksiprolin/prolin, alanin ve serin/treonin bakımından zengindir (Pliego-Cortés vd., 2020).

Makroalgler vitamin ve mineral kaynağı olarak da araştırılmaktadır (Bekah vd., 2023). Bildirilen suda çözünen vitaminler arasında C, $B_1$, $B_2$, $B_3$ ve $B_{12}$; yağda çözünen vitaminler arasında ise A ve E vitaminleri yer alır (Lovander vd., 2018). Bu bileşenlerin elde edilmesi için alg grubuna göre alkol ve su ekstraksiyonu, asitle işlem ve enzimatik hidroliz gibi farklı yöntemler kullanılmıştır (Cadar vd., 2023; Ilyas vd., 2023). Vitamin miktarının

belirlenmesinde AOAC yöntemlerine başvurulduğu bildirilmiştir (AOAC, 2019).

### 2.1.4. Pigmentler

Pigmentler alglerin fotosentetik metabolizmasında görev alır. Yeşil, kahverengi ve kırmızı makroalglerin görünümündeki farklılıklar pigment bileşimleriyle ilişkilidir (Pérez vd., 2016; Probst, 2015; Gupta ve Abu-ghannam, 2011; Peng vd., 2015). Alglerde başlıca klorofiller, karotenoidler ve fikobiliproteinlerle ilişkili pigmentler bulunur (Probst, 2015; da Vaz vd., 2016). Yeşil alglerin renginde klorofiller, kahverengi alglerin renginde fukoksantin ve kırmızı alglerin renginde fikobiliproteinler önemli rol oynar (Pérez vd., 2016; Peng vd., 2015; Holdt ve Kraan, 2011; Cian vd., 2015).

Fikobiliproteinler suda çözünebilen, floresan özellik gösterebilen pigmentli proteinlerdir. Fikosiyanin (PC), fikoeritrin (PE) ve allofikosiyanin bu grupta yer alır; fikoeritrin birçok kırmızı makroalgde yaygındır (Gupta ve Abu-ghannam, 2011; da Vaz vd., 2016; Cian vd., 2015).

### 2.1.5. Polifenoller

Alglerde bulunan polifenolik bileşikler, hidroksil grupları taşıyan aromatik yapılarıyla karakterize edilir (Pérez vd., 2016; Probst, 2015; Cherry vd., 2019). Kahverengi algler açısından önemli bir polifenol grubu olan florotaninler, floroglusinol birimlerinden oluşan oligomer veya polimerlerdir (Gupta ve Abu-ghannam, 2011; Peng vd., 2015; Cherry vd., 2019). Bağlanma biçimleri ve yapısal özelliklerine göre floretol, fukol, fukofloretol, ekol, fuhalol ve karmalol gibi alt gruplar tanımlanmıştır (Pérez vd., 2016; Gupta ve Abu-ghannam, 2011).

Yeşil ve kırmızı alglerde bromofenoller, fenolik asitler ve flavonoidler; kahverengi alglerde ise florotaninler araştırılmıştır (Probst, 2015). *Ecklonia kurome* kaynaklı florotaninlerin metisiline dirençli Staphylococcus aureus (MRSA), *Campylobacter* türleri ve *Streptococcus pyogenes* gibi bakterilere karşı etkinliği çeşitli çalışmalarda değerlendirilmiştir (Pérez vd., 2016; Cherry vd., 2019; Holdt ve Kraan, 2011).

## 2.2. Denizel Alglerden Üretilen Biyoaktif Moleküllerin Kullanım Alanları

### 2.2.1. Antitümör Etkinlik

Kanser, önemli bir halk sağlığı sorunudur (Ouyang vd., 2021). Denizel alglerden elde edilen polisakkarit, terpenoid, pigment ve polifenol gibi bileşiklerin antitümör etkinlikleri çeşitli çalışmalarda araştırılmıştır (Cadar vd., 2025). Kahverengi algler *Fucus vesiculosus*, *Ecklonia radiata* ve *Sargassum elegans* kaynaklı fukoidanların antitümör etkinliği incelenmiştir (Mabate vd., 2023). *F. vesiculosus* kaynaklı fukoidanların kanser hücrelerinde koloni oluşumunu ve hücre tutunmasını azalttığı bildirilmiştir (Shiau vd., 2022).

Yeşil alg *Ulva conglobata*'dan elde edilen polisakkaritlerin HT-29 hücrelerinde apoptoz ve hücre döngüsü üzerindeki etkileri araştırılmıştır (Cao vd., 2022). Sargassum pallidum kaynaklı fukoidanların antitümör ve bağışıklık sistemiyle ilişkili etkinlikleri de bildirilmiştir (Gao vd., 2021). Bir diğer yeşil alg olan Codium isthmocladum'dan elde edilen sülfatlanmış galaktanların hücre invazyonunu, koloni oluşturma kapasitesini, tümör büyümesini ve metastazı azalttığı gösterilmiştir (Bellan vd., 2020).

### 2.2.2. Antioksidan Etkinlik

Antioksidan etkinlik, denizel alg bileşiklerinde sık araştırılan biyolojik özelliklerden biridir. Polisakkaritler, terpenoidler, pigmentler, polifenoller ve vitaminler bu etkinlikle ilişkilendirilen bileşik grupları arasındadır (Cadar vd., 2025). Kahverengi algler *Nizamuddinia zanardinii* ve *Sargassum fusiforme*'den elde edilen polisakkaritlerin antioksidan etkinliği bildirilmiştir (Alboofetileh vd., 2022; Wang vd., 2020). Benzer bulgular *Undaria pinnatifida* (Oh vd., 2020), *Ecklonia maxima* ve *Padina boryana* (Wang vd., 2020; Jayawardena vd., 2020) kaynaklı polisakkaritler için de rapor edilmiştir.

Yeşil alg *Ulva lactuca* kaynaklı ulvanın ve kahverengi algler *Sargassum fulvellum* ile *Sargassum wightii*'den elde edilen polisakkaritlerin antioksidan etkinlikleri incelenmiştir. *U. lactuca* polisakkarit özütlerinin böbrekteki oksidatif stres ve hasar üzerindeki koruyucu etkileri de araştırılmıştır. Ayrıca kırmızı alg *Laurencia tristicha*'nın terpenoidleri ile *Palmaria palmata* ve *Grateloupia turuturu* kaynaklı yağ asitleri antioksidan etkinlik yönünden değerlendirilmiştir (Wang vd., 2020).

### 2.2.3. Antimikrobiyal Etkinlik

Denizel alglerden elde edilen terpenoidler, pigmentler ve polifenoller antimikrobiyal etkinlik açısından araştırılmıştır (Cadar vd., 2025). Kahverengi alg Dictyota dichotoma kaynaklı diktioller gibi diterpenlerin biyolojik etkinlikleri incelenmiştir (Rushdi vd., 2022). Kırmızı algler *Gracilaria dura*, *Hypnea musciformis* ve *Kappaphycus alvarezii*'den elde edilen terpenoid fraksiyonlarının ise Streptococcus mutans'a karşı etkinliği değerlendirilmiştir (Sumayya vd., 2020).

Antimikrobiyal etkinliğin değerlendirilmesinde minimum inhibitör konsantrasyon (MİK) kullanılır. *G. dura*, *H. musciformis* ve *K. alvarezii* kaynaklı terpenoid fraksiyonlarının *S. mutans*'a karşı MİK değerleri sırasıyla 65, 500 ve 1500 µg/mL olarak bildirilmiştir (Sumayya vd., 2020). Bu sonuçlara göre *G. dura* fraksiyonu, *S. mutans*'a karşı incelenen üç örnek içinde en düşük MİK değerini göstermiştir. Aynı fraksiyonun *Enterococcus faecalis*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Klebsiella pneumoniae*'ye karşı etkinliğinin daha düşük olduğu; *H. musciformis* fraksiyonunun ise *S. mutans*'a karşı orta düzeyde etkinlik gösterdiği bildirilmiştir (Sumayya vd., 2020; Kuete, 2010; Tamokou vd., 2017).

### 2.2.4. Antiinflamatuar Etkinlik

Denizel alg kaynaklı polisakkaritler, yağ asitleri ve pigmentler antiinflamatuar etkinlikleri açısından araştırılmaktadır. Kahverengi algler *Sargassum autumnale*, *S. siliquastrum* ve *S. confusum* kaynaklı fukoidanlarda antiinflamatuar etkinlik bildirilmiştir (Liyanage vd., 2023; Jayasinghe vd., 2023; Jayasinghe vd., 2022). *Cystoseira crinita* ve *Sargassum swartzii* kaynaklı bileşikler için de benzer bulgular rapor edilmiştir. Bu etkinlik, inflamasyonla ilişkili aracılar ve proinflamatuar sitokinlerin baskılanmasıyla ilişkilendirilmiştir. *Codium fragile* ve *Saccharina japonica* kaynaklı sülfatlanmış polisakkaritler ile *Sargassum binderi, S. fulvellum* ve *S. japonica* kaynaklı bileşikler de incelenmiştir. Bu çalışmalarda nitrik oksit (NO) ve reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumundaki değişiklikler ile hücre canlılığı gibi göstergeler değerlendirilmiştir (Cadar vd., 2025). Alg kaynaklı fenolik bileşikler, çoklu doymamış yağ asitleri, fukoidanlar ve karragenanlar antiinflamatuar etkinlikleri açısından incelenmiştir (Natarajan vd., 2009; Pangestuti ve Kim, 2010; Fernando vd., 2016).

Alg kaynaklı yağ asitlerinin antiinflamatuar özellikleri de araştırılmıştır. *Fucus spiralis* ve *Undaria pinnatifida* kaynaklı doymuş yağ asitleri ile eikosapentaenoik asit (EPA) (Jaworowska vd., 2023); *Palmaria palmata*, *U. pinnatifida* ve *Gracilaria gracilis* kaynaklı yağ asitleri bu kapsamda incelenmiştir. Makroalglerde bulunan doymuş, tekli doymamış ve çoklu doymamış yağ asitlerinin inflamasyonun düzenlenmesindeki olası rolleri de ele alınmıştır (Pereira vd., 2021; Berneira vd., 2020). Pigmentler arasında fukoksantin, feofitin-a, klorofil-a ve β-karoten antiinflamatuar etkinlikle ilişkilendirilmiştir. Sargassum fusiforme kaynaklı pigmentler üzerinde yapılan bir çalışmada, HaCaT keratinositlerinde prostaglandin $E_2$ ($PGE_2$), siklooksijenaz-2 (COX-2), interlökin-1β (IL-1β) ve interlökin-6 (IL-6) ile ilişkili yanıtların baskılandığı bildirilmiştir (Dai vd., 2021).

### 2.2.5. Antidiyabetik Etkinlik

Denizel makroalglerin antidiyabetik potansiyeli, kandaki glikozun düşürülmesi ve diyabete bağlı komplikasyonların azaltılması olmak üzere iki olası etki çerçevesinde ele alınmıştır. Bu bağlamda fukoidan, aljinat ve laminarin gibi polisakkaritler; fukoksantin gibi karotenoidler; florotaninler ve fukosterol gibi steroller araştırılmıştır (Ahmed vd., 2024). Sargassum pallidum kaynaklı fukoidan için antidiyabetik etkinlik (Lin vd., 2023), Gracilaria edulis kaynaklı sülfatlanmış pirüvillenmiş polisakkarit için antihiperglisemik etki bildirilmiştir (Thambi vd., 2023). Sargassum wightii'den elde edilen sülfatlanmış polisakkaritlerin de tip 2 diyabetle ilişkili modellerdeki potansiyeli incelenmiştir (Maneesh vd., 2018).

### 2.2.6. Nöroprotektif Etkinlik

Denizel alg kaynaklı pigmentler, polisakkaritler ve yağ asitleri, nöroprotektif potansiyelleri açısından araştırılmaktadır. Alglerden elde edilen karotenoidlerin antioksidan ve antiinflamatuar etkinlikleri ile otofaji üzerindeki etkileri, nörodejeneratif hastalıklar bağlamında incelenmiştir (Cho vd., 2018). Bu bileşiklerin nöroinflamasyonla ilişkili hücresel süreçlerde mitojenle aktive olan protein kinaz (MAPK) ve nükleer faktör kappa-B (NF-κB) sinyal yollarını etkileyebileceği bildirilmiştir (Barbalace vd., 2019). Kahverengi alg kaynaklı aljinat oligosakkaritlerinin BV2 mikroglia hücrelerinde inflamatuar yanıtı baskılama ve amiloid-β'nın fagositozunu artırma etkileri de deneysel olarak araştırılmıştır (Zhou vd., 2015).

Alg polisakkaritleri ve oligosakkaritleri için önerilen olası etki mekanizmaları arasında oksidatif stresin ve inflamasyonun azaltılması; reaktif oksijen türleri (ROS), nitrik oksit (NO) ve prostaglandin oluşumunun düzenlenmesi; protein agregasyonunun ve amiloid-β (Aβ) birikiminin sınırlandırılması; Aβ ile ilişkili hücre ölümünün azaltılması ve bağırsak mikrobiyotasına bağlı nöroinflamatuar süreçlerin etkilenmesi yer almaktadır (Bauer vd., 2021). Bunlar Alzheimer hastalığına yönelik araştırmalarda incelenen mekanizmalardır; klinik tedavi etkinliği olarak yorumlanmamalıdır.

Kahverengi alg *Ecklonia cava* kaynaklı fukoidan bakımından zengin maddelerin farelerde bilişsel işlevler üzerindeki etkileri araştırılmıştır (Park vd., 2019). *Sargassum fusiforme*'nin de Alzheimer hastalığına ilişkin bir fare modelinde bellek ve amiloid plak yükü üzerindeki etkileri incelenmiştir (Bogie vd., 2019). Bu bulgular, alg kaynaklı bileşiklerin nöroprotektif araştırmalar açısından potansiyelini göstermektedir.

## 3. YENİ DENİZEL DOĞAL ÜRÜNLERIN KEŞFİNDE OMİK YAKLAŞIMLAR

Biyomoleküllerin araştırma ve ilaç geliştirme süreçleri için yeterli miktarda ve sürdürülebilir biçimde üretilmesi önemli bir güçlük oluşturur. Bu açıdan, denizel omurgasızlara ait uzun süreli hücre kültürlerinin geliştirilmesi üretim için bir seçenek olarak görülmektedir (Ballarin vd., 2018; Cai ve Zhang, 2014). Kök hücre farklılaşması ve biyomoleküllerin biyosenteziyle ilişkili gen ağlarının anlaşılması bu nedenle önem taşır. Genomik, transkriptomik, proteomik ve metabolomik yöntemler, söz konusu süreçlerin araştırılması için yeni olanaklar sunmaktadır (Romano vd., 2022).

Biyoaktif doğal ürünlerin keşfinde geleneksel yaklaşım, biyolojik etkinlik testleriyle yönlendirilen ekstraksiyon ve fraksiyonlamaya dayanır. Bu yöntem etkin bileşiklerin izolasyonunda yararlı olsa da daha önce tanımlanmış bileşiklerin yeniden izole edilmesi önemli bir sorundur (Bauman vd., 2021). Genomik, transkriptomik ve metabolomik yöntemler, yeni biyoaktif metabolitlerin araştırılması için alternatif ve tamamlayıcı yaklaşımlar sunar (Machado vd., 2017). Süngerlerin kimyasal incelemelerinde geleneksel olarak, ham ekstraktlardaki başlıca ikincil metabolitler biyolojik etkinlik rehberliğinde fraksiyonlama veya kimyasal analiz yoluyla tanımlanmıştır. Kütle spektrometrisi görüntüleme yöntemlerinin morfolojik incelemelerle

birleştirilmesi ise bileşiklerin doku içindeki dağılımı hakkında ek bilgi sağlayabilir (Romano vd., 2022). Cantrell ve arkadaşları; yüksek çözünürlüklü tandem kütle spektrometrisine (HR-MS/MS) dayalı moleküler ağ analizi, MALDI kütle spektrometrisi görüntüleme ve floresan mikroskopisini birlikte kullanarak smenamid A ve B'nin *S. aurea* örneğinin dış bölgesinde siyanobakteriyel hücrelerle bir arada bulunduğunu göstermiştir. Bu bulgu, smenamidlerin siyanobakteriyel kökenli olabileceği hipotezini desteklemektedir; ancak bir arada bulunmaları, üreticinin kökenini tek başına kesinleştirmez (Cantrell vd., 2019; Romano vd., 2022).

Poliketid sentaz (PKS) ve ribozomal olmayan peptit sentaz (NRPS) sistemleri, farklı özelliklere sahip ikincil metabolitlerin biyosentezinde görev alır (Helfrich vd., 2014). Bu sistemlerle ilişkili gen kümelerinin çeşitliliği, üretilebilecek ikincil metabolitlerin çeşitliliğine ilişkin bir gösterge olarak kullanılabilir. PKS ve NRPS gen kümelerine yönelik araştırmalar özellikle süngerlerle ilişkili mikrobiyal topluluklarda yürütülmüştür (Lo Giudice ve Rizzo, 2022). Dizileme teknolojilerindeki gelişmeler genomik verilere erişimi artırmış, biyoinformatik analizler ise bir organizmanın biyosentetik potansiyelinin tahmin edilmesini mümkün kılmıştır. Böylece genom madenciliği, doğal ürün keşfinde giderek daha yaygın kullanılan bir yaklaşım hâline gelmiştir (Bauman vd., 2021; Scherlach ve Hertweck, 2021; Williams vd., 2020; Leão vd., 2021; Bumpus vd., 2009). Bununla birlikte, bir biyosentetik gen kümesinin (BGC) genomda bulunması, ilgili bileşiğin üretildiği anlamına gelmez. Bazı BGC'ler laboratuvar kültürü koşullarında ifade edilmeyebilir (Bumpus vd., 2009). Transkriptomik analizler ifade edilen ve sessiz kalan gen kümelerinin ayırt edilmesine yardımcı olurken, proteomik analizler ifade edilen biyosentetik sistemler hakkında ek bilgi sağlayabilir (Machado vd., 2017).

Metabolomik, bir örnekteki kimyasal çeşitliliğin incelenmesini sağlayan yüksek verimli bir yaklaşımdır ve yeni bileşiklerin araştırılmasında geleneksel biyolojik etkinlik rehberliğindeki yöntemleri tamamlar (Reverter vd., 2020). Ancak çok sayıdaki sinyal ve metabolitlerin yapısal çeşitliliği nedeniyle nükleer manyetik rezonans (NMR) veya kütle spektrometrisi (MS) verilerinin yorumlanması güç olabilir. Bu analizler, bileşiklerin tespit edilmesine, tanımlanmasına ve miktarlarının belirlenmesine katkı sağlar. Elde edilen sonuçlar, biyolojik etkinlik testleri için uygun bileşiklerin izolasyonuna yönelik

yöntemlerin geliştirilmesinde kullanılabilir. Metabolomikte önemli aşamalardan biri ekstraksiyon çözücüsünün seçimidir. Metabolitler farklı polaritelere sahip olduğundan tek bir çözücüyle örnekteki tüm metabolitleri aynı ölçüde elde etmek güçtür. Tipik iş akışlarında metanol, etanol veya aseton gibi orta polaritedeki organik çözücüler, yaş ya da liyofilize biyolojik örneklere uygulanır. Bazı protokoller, belirli metabolit gruplarını zenginleştirmek ve tuzların analize etkisini azaltmak amacıyla katı faz ekstraksiyonu basamağı da içerir.

Denizel doğal ürünler için oluşturulan veri tabanları, ham ekstraktlardaki bileşiklerin daha önce tanımlanıp tanımlanmadığının belirlenmesinde önemli bir kaynaktır. Bu süreç, bilinen bileşiklerin yeniden izole edilmesi için harcanan çabayı azaltır (Wolfender vd., 2019). Biyolojik kaynağa göre taranabilen yedi açık erişimli veri tabanı bilinmekte olup; bunlardan yalnızca dördünde 50'den fazla denizel doğal ürün kaydı bulunduğu bildirilmiştir (Romano vd., 2022). Bir bileşiğin tanımlanabilmesi, veri tabanının kapsamına ve kullanılan arama araçlarının analiz verileriyle uyumuna bağlıdır. Bazı veri tabanları deneysel spektral verileri içerirken, diğerlerinde moleküler kütle, tandem kütle spektrometrisi (MS/MS) profili veya NMR spektrumu kimyasal yapıdan hesaplanarak tahmin edilir (Johnson ve Lange, 2015). Veri tabanları ayrıca bileşiğin biyolojik etkinliği, kaynak organizması, moleküler hedefi ve klinik geliştirme durumu gibi bilgiler de sağlayabilir (Romano vd., 2022).

### 3.1. Alg Bileşiklerinin Nanoteknolojik Uygulamaları

Nanoteknolojik tedavisel yaklaşımlar, tanı ve tedavi işlevlerini aynı sistemde birleştirmeyi amaçlar. Nanoformülasyonlar, peptit temelli ilaçların kullanımındaki bazı sınırlamaları aşmak için araştırılan platformlar arasındadır (Silva vd., 2019; Ventola vd., 2010). Nanopartiküllerin ilaç çözünürlüğünü, kararlılığını, biyoyararlanımını, dokulardaki dağılımını ve kontrollü salımını iyileştirme potansiyeli bulunmaktadır. Yüzeylerinin işlevselleştirilmesiyle hedefleme ve biyolojik engelleri aşma özellikleri de geliştirilmeye çalışılmaktadır. Ancak bu özellikler nanopartikül türüne ve formülasyonuna bağlıdır; her nanosistemde aynı düzeyde sağlanmaz (Silva vd., 2019; Ventola vd., 2010; Khanna vd., 2019; Menaa, 2013).

Bakteriler, mantarlar, virüsler, bitkiler ve algler kullanılarak nanopartikül sentezi, biyolojik üretim yöntemleri kapsamında incelenmektedir.

Bu yaklaşımların amacı, canlıların ürettiği bileşiklerden yararlanarak farklı boyut, biçim, bileşim ve kararlılığa sahip nanopartiküller elde etmektir. Algler, yetiştirilebilmeleri ve içeriklerindeki biyoaktif moleküller nedeniyle bu araştırmalarda ilgi görmektedir (Uzair vd., 2020; Fawcett vd., 2017; Sharma vd., 2016; Menaa vd., 2020). Alglerin ürettiği karbonhidratlar, proteinler, çoklu doymamış yağ asitleri, polifenoller, tokoferoller ve pigmentler nanopartikül oluşumunda indirgeyici veya stabilize edici işlev görebilir (Khanna vd., 2019; Uzair vd., 2020; Fawcett vd., 2017; Menaa vd., 2020; Myklestad ve Granum, 2009; Miazek vd., 2015).

Alg ekstraktları, nanopartikül (NP) sentezinde metal iyonlarını indirgeyen ve oluşan partikülleri stabilize eden maddeler olarak kullanılabilir. Bu özellik, alg aracılı sentezin nanoteknolojik uygulamalar açısından araştırılmasını sağlamıştır. Alglerin metal iyonlarını bağlama ve biriktirme kapasitesi, yetiştirilebilmeleri ve farklı biyoaktif moleküller içermeleri bu alandaki başlıca özellikleridir. Canlı alglerin yanı sıra ölü alg biyokütlesinin de nanopartikül sentezinde kullanılabileceği bildirilmiştir. Bununla birlikte, alg kaynaklı nanopartiküllerin etkinliği ve güvenliği, kullanım amacına uygun klinik öncesi ve klinik çalışmalarla değerlendirilmelidir. Denizel algler, nanoformülasyonlarda değerlendirilebilecek antioksidan ve antimikrobiyal bileşikler için araştırılan kaynaklar arasındadır. Bu bileşiklerin miktarı biyotik ve abiyotik koşullara göre değişebilir. Canlı veya ölü alg biyokütlesinin nanopartikül sentezinde kullanılması ile alg bileşiklerinin nanotaşıyıcılara yüklenmesi, birbirinden farklı iki uygulama yaklaşımıdır. Kahverengi alg kaynaklı florotaninler ve ekol türevleri, diyabet ve Alzheimer hastalığıyla ilişkili deneysel araştırmalarda olası yardımcı bileşikler olarak incelenmiştir. Bu bileşiklerin nanoformülasyonlardaki etkinliğinin ve güvenliğinin belirlenmesi için ileri çalışmalara ihtiyaç vardır (Menaa vd., 2021).

Denizel algler, gıda olarak kullanılmalarının yanı sıra biyoaktif molekül ve nutrasötik kaynağı olarak da ilgi görmektedir. Alg kaynaklı bileşiklerin antitümör, antioksidan, kardiyoprotektif, antimikrobiyal ve antiinflamatuar etkinlikleri; metabolik ve nörodejeneratif hastalıklarla ilişkili olası etkileri çeşitli çalışmalarda araştırılmıştır. Ancak bu bulguların önemli bir bölümü deneysel çalışmalara dayandığından, klinik yararları ayrıca değerlendirilmelidir. Makroalg türlerinin doğru tanımlanması, besinsel bileşimlerinin belirlenmesi ve uygun ekstraksiyon yöntemlerinin seçilmesi, bu

bileşiklerin değerlendirilmesinde temel basamaklardır. Bileşiklerin kimyasal yapısı, miktarı ve biyolojik etkinliği alg türüne ve uygulanan elde etme yöntemine göre değişebilir. Ayrıca ağır metaller, aşırı iyot ve diğer potansiyel kirleticiler, insan tüketimine yönelik ürünlerin güvenliği açısından dikkate alınmalıdır. Alg kaynaklı bileşiklerin işlevsel ürünlere dönüştürülmesi için etkili ve çevresel etkisi düşük ekstraksiyon, saflaştırma ve analiz yöntemlerinin geliştirilmesi önem taşımaktadır (Cadar vd., 2025).

## KAYNAKÇA

Adrian, T. E. (2007). Novel Marine-Derived Anti-Cancer Agents. Curr. Pharm. Des. 13, 3417–3426.

Ahmed, N., Sheikh, M. A., Ubaid, M., Chauhan, P., Kumar, K., & Choudhary, S. (2024). Comprehensive exploration of marine algae diversity, bioactive compounds, health benefits, regulatory issues, and food and drug applications. Meas. Food 14, 100163.

Akter, A., Khairul, M., Sobuj, A., Islam, S., Chakroborty, K., Tasnim, N., Ayon, M. H., Hossain, F., & Rafiquzzaman, S. M. (2024). Seaweed polysaccharides: Sources, structure and biomedical applications with special emphasis on antiviral potentials. Future Foods 10, 100440.

Alassali, A., & Cybulska, I. (2015). Methods for Upstream Extraction and Chemical Characterization of Secondary Metabolites from Algae Biomass. Adv. Tech. Biol. Med. 4, 163.

Alboofetileh, M., Rezaei, M., Hamzeh, A., Tabarsa, M., & Cravotto, G. (2022). Cellular antioxidant and emulsifying activities of fucoidan extracted from Nizamuddinia zanardinii using different green extraction methods. J. Food Process. Preserv. 46, e17238.

André, R., Pacheco, R., Bourbon, M., & Serralheiro, M. L. (2021). Brown, Algae Potential as a Functional Food against Hypercholesterolemia: Review. Foods 10, 234.

AOAC International. (2019). Official methods of analysis of AOAC International (19th ed.).

Araújo, R., Vázquez Calderón, F., Sánchez López, J., Azevedo, I. C., Bruhn, A., Fluch, S., Garcia Tasende, M., Ghaderiardakani, F., Ilmjärv, T., Laurans, M., & et al. (2021). An Emerging sector of the blue bioeconomy. Front. Mar. Sci. 7, 626389.

Atanasov, A. G., Waltenberger, B., Pferschy-Wenzig, E.-M., Linder, T., Wawrosch, C., Uhrin, P., Temml, V., Wang, L., Schwaiger, S., Heiss, E. H., & et al. (2015). Discovery and Resupply of Pharmacologically Active Plant-Derived Natural Products: A Review. Biotechnol. Adv. 33, 1582–1614.

Ayuningrum, D., Liu, Y., Riyanti, Sibero, M. T., Kristiana, R., Asagabaldan, M. A., Wuisan, Z. G., Trianto, A., Radjasa, O. K., Sabdono, A., & et al.

(2019). Tunicate-Associated Bacteria Show a Great Potential for the Discovery of Antimicrobial Compounds. PLoS ONE 14, e0213797.

Back, C. R., Stennett, H. L., Williams, S. E., Wang, L., Ojeda Gomez, J., Abdulle, O. M., Duffy, T., Neal, C., Mantell, J., Jepson, M. A., & et al. (2021). A new Micromonospora strain with antibiotic activity isolated from the microbiome of a Mid-Atlantic deep-sea sponge. Mar. Drugs 19, 105.

Bălaşa, A. F., Chircov, C., & Grumezescu, A. M. (2020). Marine Biocompounds for Neuroprotection-A Review. Mar. Drugs 18.

Ballarin, L., Rinkevich, B., Bartscherer, K., Burzynski, A., Cambier, S., Cammarata, M., Domart-Coulon, I., Drobne, D., Encinas, J., Frank, U., & et al. (2018). Maristem—Stem Cells of Marine/Aquatic Invertebrates: From Basic Research to Innovative Applications. Sustainability 10, 526.

Barbalace, M. C., Malaguti, M., Giusti, L., Lucacchini, A., Hrelia, S., & Angeloni, C. (2019). Anti-inflammatory activities of marine algae in neurodegenerative diseases. Int. J. Mol. Sci. 20, 3061.

Barre, A., Simplicien, M., Benoist, H., Van Damme, E. J. M., & Rougé, P. (2019). Mannose-Specific Lectins from Marine Algae: Diverse Structural Scaffolds Associated to Common Virucidal and Anti-Cancer Properties. Mar. Drugs 17, 440.

Bauer, S., Jin, W., Zhang, F., & Linhardt, R. J. (2021). The application of seaweed polysaccharides and their derived products with potential for the treatment of Alzheimer's disease. Mar. Drugs 19, 89.

Bauman, K. D., Butler, K. S., Moore, B. S., & Chekan, J. R. (2021). Genome Mining Methods to Discover Bioactive Natural Products. Nat. Prod. Rep. 38, 2100–2129.

Beaumont, M., Tran, R., Vera, G., Niedrist, D., Rousset, A., Pierre, R., Shastri, V. P., & Forget, A. (2021). Hydrogel-Forming Algae Polysaccharides: From Seaweed to Biomedical Applications. Biomacromolecules 22, 1027–1052.

Beinart, R. A., Sanders, J. G., Faure, B., Sylva, S. P., Lee, R. W., Becker, E. L., Gartman, A., Luther, G. W., Seewald, J. S., Fisher, C. R., & et al. (2012). Evidence for the role of endosymbionts in regional-scale habitat partitioning by hydrothermal vent symbioses. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 109, E3241–E3250.

Bekah, D., Thakoor, A. D., Ramanjooloo, A., Phul, I. C., Botte, S., Roy, P., Oogarah, P., Curpen, S., Goonoo, N., Bolton, J., & et al. (2023). Vitamins, minerals and heavy metals profiling of seaweeds from Mauritius and Rodrigues for food security. J. Food Comp. Anal. 115, 104909.

Bellan, D. L., Biscaia, S. M. P., Rossi, G. R., Cristal, A. M., Gonçalves, J. P., Oliveira, C. C., Simas, F. F., Sabry, D. A., Rocha, H. A. O., Franco, C. R. C., & et al. (2020). Green does not always mean go: A sulfated galactan from Codium isthmocladum green seaweed reduces melanoma metastasis through direct regulation of malignancy features. Carbohydr. Polym. 250, 116869.

Bergmann, W., & Feeney, R. (1951). Contribution to the study of marine sponges. 32. The nucleosides of sponges. J Org Chem 16:981–987.

Berneira, L., da Silva, C., & Poletti, T. (2020). Evaluation of the volatile composition and fatty acid profile of seven Antarctic macroalgae. J. Appl. Phycol. 32, 3319–3329.

Blunt, J. W., Carroll, A. R., Copp, B. R., Davis, R. A., Keyzers, R. A., & Prinsep, M. R. (2018). Marine Natural Products. Nat. Prod. Rep. 35, 8–53.

Bogie, J., Hoeks, C., Schepers, M., Tiane, A., Cuypers, A., Leijten, F., Chintapakorn, Y., Suttiyut, T., Pornpakakul, S., Struik, D., & et al. (2019). Dietary Sargassum fusiforme improves memory and reduces amyloid plaque load in an Alzheimer's disease mouse model. Sci. Rep. 9, 4908.

Bumpus, S. B., Evans, B. S., Thomas, P. M., Ntai, I., & Kelleher, N. L. (2009). A Proteomics Approach to Discovery of Natural Products and Their Biosynthetic Pathways. Nat. Biotechnol. 27, 951–956.

Ca, F. N., Özdemir, N. S., Yılmaz, O., Durucan, F., & Ak, I. (2019). Fatty acid and lipophilic vitamin composition of seaweeds from Antalya and Çanakkale (Turkey). Grasas Aceites 70, e312.

Cadar, E., Axinte, E. R., Amzoiu, M., Jurja, S., & Cherim, M. (2019a). Preliminary study on the marine algae from the romanian Black Sea coast. J. Sci. Arts 4, 989–1000.

Cadar, E., Negreanu-Pirjol, T., Sirbu, R., Dragan, A.-M. L., Negreanu-Pirjol, B.-S., Axente, E. R., & Ionescu, A.-M. (2023). Biocompounds from

Green Algae of Romanian Black Sea Coast as Potential Nutraceuticals. Processes 11, 1750.

Cadar, E., Popescu, A., Dragan, A.-M.-L., Pesterau, A.-M., Pascale, C., Anuta, V., Prasacu, I., Velescu, B. S., Tomescu, C. L., Bogdan-Andreescu, C. F., & et al. (2025). Bioactive Compounds of Marine Algae and Their Potential Health and Nutraceutical Applications: A Review. Mar. Drugs 23, 152. https://doi.org/10.3390/md23040152

Cadar, E., Sirbu, R., Negreanu-Pirjol, B. S., Ionescu, A.-M., & Negreanu-Pirjol, T. (2019b). Heavy metals bioaccumulation capacity on marine algae biomass from romanian Black Sea coast. Rev. Chim. 70, 3065–3072.

Cai, J. (2021). Global Status of Seaweed Production, Trade and Utilization; Food and Agriculture Organisation of United Nations: Rome, Italy, pp. 1–18. Available online: https://www.competecaribbean.org/wp-content/uploads//05/Global-status-of-seaweed- production-trade-and-utilization-Junning-Cai-FAO.pdf (accessed on 24 February 2025).

Cai, X., & Zhang, Y. (2014). Marine Invertebrate Cell Culture: A Decade of Development. J Oceanogr. 70, 405–414.

Campbell, A. H., Harder, T., Nielsen, S., Kjelleberg, S., & Steinberg, P. D. (2011). Climate change and disease: Bleaching of a chemically defended seaweed. Glob. Chang. Biol. 17, 2958–2970.

Cantrell, T. P., Freeman, C. J., Paul, V. J., Agarwal, V., & Garg, N. (2019). Mass Spectrometry-Based Integration and Expansion of the Chemical Diversity Harbored Within a Marine Sponge. J. Am. Soc. Mass. Spectr. 30, 1373–1384.

Cao, S., Yang, Y., Liu, S., Shao, Z., Chu, X., & Mao, W. (2022). Immunomodulatory Activity In Vitro and In Vivo of a Sulfated Polysaccharide with Novel Structure from the Green Alga Ulva conglobata Kjellman. Mar. Drugs 20, 447.

Cappello, E., & Nieri, P. (2021). From Life in the Sea to the Clinic: The Marine Drugs Approved and under Clinical Trial. Life 11, 1390.

Casertano, M., Menna, M., & Imperatore, C. (2020). The Ascidian-Derived Metabolites with Antimicrobial Properties. Antibiotics 9, 510.

Chen, L., Hu, J.-S., Xu, J.-L., Shao, C.-L., & Wang, G.-Y. (2018). Biological and Chemical Diversity of Ascidian-Associated Microorganisms. Mar. Drugs 16, 362.

Cheong, K. L., Qiu, H. M., Du, H., Liu, Y., & Khan, B. M. (2018). Oligosaccharides derived from red seaweed: Production, properties, and potential health and cosmetic applications. Molecules 23, 2451.

Cherim, M., Sirbu, R., Tomescu, A., Popa, M. F., & Cadar, E. (2019). Comparative studies on the physico-chemical characteristics of biomaterials with collagen from calf and fish skins from Black Sea. Mater. Plast. 56, 179–185.

Cherry, P., Ohara, C., Magee, P. J., Mcsorley, E. M., & Allsopp, P. J. (2019). Risks and benefits of consuming edible seaweeds. Nutr. Rev. 77, 307–329.

Cho, K. S., Shin, M., Kim, S., & Lee, S. B. (2018). Recent advances in studies on the therapeutic potential of dietary carotenoids in neurode- generative diseases. Oxid. Med. Cell. Longev. 4120458.

Choudhary, B., Chauhan, O. P., & Mishra, A. (2021). Edible seaweeds: A potential novel source of bioactive metabolites and nutraceuticals with human health benefits. Front. Mar. Sci. 8, 740054.

Cian, R. E., Drago, S. R., De Medina, F. S., & Martínez-Augustin, O. (2015). Proteins and carbohydrates from red seaweeds: Evidence for beneficial effects on gut function and microbiota. Mar. Drugs 13, 5358–5383.

Cikoš, A. M., Jurin, M., Což-Rakovac, R., Joki´c, S., & Jerkovi´c, I. (2019). Update on Monoterpenes from Red Macroalgae: Isolation, Analysis, and Bioactivity. Mar. Drugs 17, 537.

Cooper, E. L., & Yao, D. (2012). Diving for Drugs: Tunicate Anticancer Compounds. Drug Discov. Today 17, 636–648.

Couteau, C., & Coiffard, L. (2016). Seaweed Application in Cosmetics. In Seaweed in Health and Disease Prevention; Academic Press: Cambridge, MA, USA, pp. 423–441.

Cragg, G. M., & Newman, D. J. (2002). Chemical diversity: A function of biodiversity. Trends Pharmacol. Sci. 23, 404–405.

da Vaz, B. S., Moreira, J. B., De Morais, M. G., & Costa, J. A. V. (2016). Microalgae as a new source of bioactive compounds in food supplements. Curr. Opin. Food Sci. 7, 73–77.

Dai, Y. L., Jiang, Y. F., Lu, Y. A., Yu, J. B., Kang, M. C., & Jeon, Y. J. (2021). Fucoxanthin-rich fraction from Sargassum fusiformis alleviates

particulate matter-induced inflammation in vitro and in vivo. Toxicol. Rep. 6, 349–358.

Darki, B. Z., & Krakhmalnyi, A. F. (2019). Biotic and abiotic factors affecting the population dynamics of Ceratium hirundinella, Peridinium cinctum, and Peridiniopsis elpatiewskyi. Diversity 11, 137.

De Goeij, J. M., Van Oevelen, D., Vermeij, M. J. A., Osinga, R., Middelburg, J. J., De Goeij, A. F. P. M., & Admiraal, W. (2013). Surviving in a marine desert: The sponge loop retains resources within coral reefs. Science 342, 108110.

Dhaouafi, J., Romdhania, M., Deracinoisa, B., Flahauta, C., Nedjara, N., & Baltic, R. (2024). Fractionation and identification of bioactive peptides from red macroalgae protein hydrolysates: In silico analysis and in vitro bioactivities. Biocat. Agric. Biotechnol. 58.

Dias, V., Bandeira, S., Chaúque, E., Lipassula, M., & Mussagy, A. (2020). Evaluation of Phytocompounds and Chemical Elements Present In Selected Species of Seaweeds, to Sustain Future Quantitative Analysis for Bioactive Compounds. J. Drug Deliv. Ther. 10, 232–239.

Din, N. A. S., Mohd Alayudin, A. S., Sofian-Seng, N. S., Rahman, H. A., Mohd Razali, N. S., Lim, S. J., & Wan Mustapha, W. A. (2022). Brown Algae as Functional Food Source of Fucoxanthin: A Review. Foods 11, 2235.

Dobrincic, A., Balbino, S., Zoric, Z., Pedisic, S., Bursac Kovacevic, D., Elez Garofulic, I., & Dragovic-Uzelac, V. (2020). Advanced Technologies for the Extraction of Marine Brown Algal Polysaccharides. Mar. Drugs 18, 168.

Dou, X., & Dong, B. (2019). Origins and Bioactivities of Natural Compounds Derived from Marine Ascidians and Their Symbionts. Mar. Drugs 17, 670.

Echave, J., Otero, P., Garcia-Oliveira, P., Munekata, P. E. S., Pateiro, M., Lorenzo, J. M., Simal-Gandara, J., & Prieto, M. A. (2022). Seaweed-Derived Proteins and Peptides: Promising Marine Bioactives. Antioxidant 11, 176.

Embling, R., Neilson, L., Randall, T., Mellor, C., Lee, D. M., & Wilkinson, L. L. (2022). Edible seaweeds as an alternative to animal-based proteins in the UK: Identifying product beliefs and consumer traits as drivers of

consumer acceptability for macroalgae. Food Qual. Prefer. 100, 104613–104623.

Ernst, A. U., Bowers, D. T., Wang, L. H., Shariati, K., Plesser, M. D., Brown, N. K., Mehrabyan, T., & Ma, M. (2019). Nanotechnology in cell replacement therapies for type 1 diabetes. Adv. Drug Deliv. Rev. 139, 116–138.

FAO, & WHO (2022). Report of the Expert Meeting on Food Safety for Seaweed—Current Status and Future Perspectives; Food Safety and Quality Series No. 13; FAO: Rome, Italy, Available online: https://www.fao.org/fishery/en/publication/289063 (accessed on 24 February 2025).

FAO. Fishery, & Aquaculture Statistics. Global Production Statistics (1950). – 2019. In FAO Fisheries Division. FishStaJ—Software for Fishery and Aquaculture Statistical Time Series. 2021. Available online: https://www.fao.org/fishery/en/statistics/software/ fishstatj/en (accessed on 1 September 2022).

Faulkner, D.J. (2002). Marine natural products. Nat Prod Rep 19:1–48.

Fawcett, D., Verduin, J. J., Shah, M., Sharma, S. B., & Poinern, G. E. J. (2017). A Review of Current Research into the Biogenic Synthesis of Metal and Metal Oxide Nanoparticles via Marine Algae and Seagrasses. J. Nanosci. 8013850.

Feng, X., Liao, D., Sun, L., Wu, S., Lan, P., Wang, Z., Li, C., Zhou, Q., Lu, Y., & Lan, X. (2021). Affinity Purification of Angiotensin Converting Enzyme Inhibitory Peptides from Wakame (Undaria pinnatifida) Using Immobilized ACE on Magnetic Metal Organic Frameworks. Mar. Drugs 19, 177.

Ferdouse, F., Holdt, S. L., Smith, R., Murúa, P., & Yang, Z. (2018). The Global Satus of Seaweed Production, Trade and Utilization; Pub. FAO Report Global Seaweed Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, ; Volume 124, pp. 1–77. Available online: https://orbit.dtu.dk/en/publications/the-global-status-of-seaweed-production-trade-and- utilization (accessed on 24 February 2025).

Fernando, I. P. S., Nah, J. W., & Jeon, Y. J. (2016). Potential anti-inflammatory natural products from marine algae. Environ. Toxicol. Pharmacol. 48, 22–30.

Ferrara, L. (2020). Seaweeds: A Food for Our Future. J. Food Chem. Nanotechnol. 6, 56–64.

Fleurence, J., Morançais, M., & Dumay, J. (2018). Seaweed proteins. In Proteins in Food Processing; Yada, Y.R., Ed.; Elsevier: Amsterdam The Netherlands, Volume 2, pp. 245–262.

Gao, Y., Li, Y., Niu, Y., Ju, H., Chen, R., Li, B., Song, X., & Song, L. (2021). Chemical Characterization, Antitumor, and Immune-Enhancing Activities of Polysaccharide from Sargassum pallidum. Molecules 26, 7559.

Gupta, S., & Abu-ghannam, N. (2011). Recent developments in the application of seaweeds or seaweed extracts as a means for enhancing the safety and quality attributes of foods. Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 12, 600–609.

Harrison, P. J., & Hurd, C. L. (2001). Nutrient physiology of seaweeds: Application of concepts to aquaculture. Cah. Biol. Mar. 42, 71–82.

Harvey, A. L. (2008). Natural Products in Drug Discovery. Drug Discov. Today 13, 894–901.

Harvey, A. L., Edrada-Ebel, R., & Quinn, R. J. (2015). The Re-Emergence of Natural Products for Drug Discovery in the Genomics Era. Nat. Rev. Drug Discov. 14, 111–129.

Heinrich, M. (2001). Ethnopharmazie und Ethnobotanik Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart.

Helfrich, E. J., Reiter, S., & Piel, J. (2014). Recent advances in genome-based polyketide discovery. Curr. Opin. Biotechnol. 29, 107–115.

Hoer, D. R., Gibson, P. J., Tommerdahl, J. P., Lindquist, N. L., & Martens, C. S. (2018). Consumption of dissolved organic carbon by Caribbean reef sponges. Limnonol. Oceanogr. 63, 337351.

Holdt, S. L., & Kraan, S. (2011). Bioactive compounds in seaweed: Functional food applications and legislation. J. Appl. Phycol. 23, 543–597.

Hu, Y., Chen, J., Hu, G., Yu, J., Zhu, X., Lin, Y., Chen, S., & Yuan, J. (1985). Statistical Research on the Bioactivity of New Marine Natural Products Discovered during the 28 Years from to 2012. Mar. Drugs 2015, 13, 202–221.

Ilyas, Z., Ali Redha, A., & Wu, Y. S. (2023). Nutritional and Health Benefits of the Brown Seaweed Himanthalia elongata. Plant Foods Hum. Nutr. 78, 233–242.

Imran, M. A. S., Bhuiyan, F. R., Ahmed, S. R., Shanzana, P., Moli, M. A., Foysal, S. H., Dabi, S. B., & Hasan, M. (2021). Phytochemical constituency profiling and antimicrobial activity screening of seaweeds extracts collected from the Bay of Bengal sea coasts. J. Adv. Biotechnol. Exp. Ther. 4, 25–34.

Iwai, K. (2008). Antidiabetic and antioxidant effects of polyphenols in brown alga Ecklonia stolonifera in genetically diabetic KK-Ay mice. Plant Foods Hum. Nutr. 63, 163–169.

Janarthanan, M., & Kumar, M. S. (2013). Qualitative and Quantitative Analysis of Phytochemical Studies on Selected Seaweeds Acanthopora Spicifera and Sargassum Wightii. Int. J. Eng. Res. Dev. 7, 11–15.

Jaworowska, A., & Murtaza, A. (2023). Seaweed derived Lipids sre a potential Anti-Inflammatory agent: A Review. Int. J. Environ. Res. Public Health 20, 730.

Jayasinghe, A. M. K., Kirindage, K., Fernando, I. P. S., Han, E. J., Oh, G. W., Jung, W. K., & Ahn, G. (2022). Fucoidan Isolated from Sargassum confusum Suppresses Inflammatory Responses and Oxidative Stress in TNF-alpha/IFN-gamma-Stimulated HaCaT Keratinocytes by Activating Nrf2/HO-1 Signaling Pathway. Mar. Drugs 20, 117.

Jayasinghe, A. M. K., Kirindage, K., Fernando, I. P. S., Kim, K. N., Oh, J. Y., & Ahn, G. (2023). The Anti-Inflammatory Effect of Low MolecularWeight Fucoidan from Sargassum siliquastrum in Lipopolysaccharide-Stimulated RAW 264.7 Macrophages via Inhibiting NFkappaB/MAPK Signaling Pathways. Mar. Drugs 21, 347.

Jayatilake, G. S., Thornton, M. P., Leonard, A. C., Grimwade, J. E., & Baker, B. J. (1996). Metabolites from an Antarctic sponge-associated bacterium, Pseudomonas aeruginosa. J. Nat. Prod. 59, 293–296.

Jayawardena, T. U., Sanjeewa, K. K. A., Nagahawatta, D. P., Lee, H. G., Lu, Y. A., Vaas, A., Abeytunga, D. T. U., Nanayakkara, C. M., Lee, D. S., & Jeon, Y. J. (2020). Anti-Inflammatory Effects of Sulfated Polysaccharide from Sargassum swartzii in Macrophages via BlockingTLR/NF-Kappab Signal Transduction. Mar. Drugs 18, 601.

Jayawardena, T. U., Wang, L., Sanjeewa, K. K. A., Kang, S. I., Lee, J. S., & Jeon, Y. J. (2020). Antioxidant Potential of Sulfated Polysaccharides from Padina boryana; Protective Effect against Oxidative Stress in In Vitro and In Vivo Zebrafish Model. Mar. Drugs 18, 212.

Jeon, E. Y., Hwang, B. H., Yang, Y. J., Kim, B. J., Choi, B. H., Jung, G. Y., & Cha, H. J. (2015). Rapidly Light-Activated Surgical Protein Glue Inspired by Mussel Adhesion and Insect Structural Crosslinking. Biomaterials 67, 11–19.

Jiménez-Escrig, A., Gómez-Ordóñez, E., & Rupérez, P. (2011). Seaweed as a source of novel nutraceuticals: Sulfated polysaccharides and peptides. Adv. Food Nutr. Res. 64, 325–337.

Johnson, S. R., & Lange, B. M. (2015). Open-Access Metabolomics Databases for Natural Product Research: Present Capabilities and Future Potential. Front Bioeng Biotechnol 3, 22.

Kaltenpoth, M., Roeser-Mueller, K., Koehler, S., Peterson, A., Nechitaylo, T. Y., Stubblefield, J. W., Herzner, G., Seger, J., & Strohm, E. (2014). Partner choice and fidelity stabilize coevolution in a Cretaceous-age defensive symbiosis. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 111, 6359–6364.

Khanna, P., Kaur, A., & Goyal, D. (2019). Algae-based metallic nanoparticles: Synthesis, characterization and applications. J. Microbiol. Methods 163, 105656.

Khrunyk, Y., Lach, S., Petrenko, I., & Ehrlich, H. (2020). Progress in Modern Marine Biomaterials Research. Mar. Drugs 18, 589.

Kuete, V., & Efferth, T. (2010). Cameroonian medicinal plants: Pharmacology and derived natural products. Front. Pharmacol. 1, 123.

Langasco, R., Cadeddu, B., Formato, M., Lepedda, A. J., Cossu, M., Giunchedi, P., Pronzato, R., Rassu, G., Manconi, R., & Gavini, E. (2017). Natural Collagenic Skeleton of Marine Sponges in Pharmaceutics: Innovative Biomaterial for Topical Drug Delivery. Mater. Sci. Eng. C Mater. Biol. Appl. 70, 710–720.

Le, B., Golokhvast, K. S., Yang, S. H., & Sun, S. (2019). Optimization of Microwave-Assisted Extraction of Polysaccharides from Ulva pertusa and Evaluation of Their Antioxidant Activity. Antioxidants 8, 129.

Le, H. M., Newman, D. J., Glaser, K. B., & Mayer, A. M. (2020). The Marine Pharmacology and Pharmaceuticals Pipeline in FASEB J. 2020, 34, 1.

Leão, T., Wang, M., Moss, N., da Silva, R., Sanders, J., Nurk, S., Gurevich, A., Humphrey, G., Reher, R., Zhu, Q., & et al. (2021). A Multi-Omics Characterization of the Natural Product Potential of Tropical Filamentous Marine Cyanobacteria. Mar. Drugs 19, 20.

Lebar, M. D., Heimbegner, J. L., & Baker, B. J. (2007). Cold-water marine natural products. Nat. Prod. Rep. 24, 774–797.

Lin, J., Jiao, G., & Kermanshahi-pour, A. (2022). Algal Polysaccharides-Based Hydrogels: Extraction, Synthesis, Characterization, and Applications. Mar. Drugs 20, 306.

Lin, Z., Wang, F., Yan, Y., Jin, J., Quan, Z., Tong, H., & Du, J. (2023). Fucoidan derived from Sargassum pallidum alleviates metabolism disorders associated with improvement of cardiac injury and oxidative stress in diabetic mice. Phytother. Res. 37, 4210–4223.

Liyanage, N. M., Lee, H. G., Nagahawatta, D. P., Jayawardhana, H., Song, K. M., Choi, Y. S., Jeon, Y. J., & Kang, M. C. (2023). Fucoidan from Sargassum autumnale Inhibits Potential Inflammatory Responses via NF-kappaB and MAPK Pathway Suppression in Lipopolysaccharide-Induced RAW264.7 Macrophages. Mar. Drugs 21, 374.

Lo Giudice, A., & Rizzo, C. (2022). Bacteria Associated with Benthic Invertebrates from Extreme Marine Environments: Promising but Underexplored Sources of Biotechnologically Relevant Molecules. Mar. Drugs 20, 617. https://doi.org/10.3390/md20100617

Lomartire, S., Marques, J. C., & Gonçalves, A. M. (2021). An Overview to the Health Benefits of Seaweeds Consumption. Mar. Drugs 19, 341.

Lovander, M. D., Lyon, J. D., Parr, D. L., Wang, J., Parke, B., & Leddy, J. (2018). Critical Review—Electrochemical Properties of 13 Vitamins: A, Critical Review and Assessment. J. Electrochem. Soc. 165, 18–49.

Mabate, B., Daub, C. D., Pletschke, B. I., & Edkins, A. L. (2023). Comparative Analyses of Fucoidans from South African Brown Seaweeds That Inhibit Adhesion, Migration, and Long-Term Survival of Colorectal Cancer Cells. Mar. Drugs 21, 203.

Machado, H., Tuttle, R. N., & Jensen, P. R. (2017). Omics-Based Natural Product Discovery and the Lexicon of Genome Mining. Curr. Opin. Microbiol. 39, 136–142.

Maldonado, M., Ribes, M., & Van Duyl, F. C. (2012). Nutrient fluxes through sponges: Biology, budgets, and ecological implications. Adv. Mar. Biol. 62, 113182.

Maneesh, A., & Chakraborty, K. (2018). Pharmacological potential of sulphated polygalacto-pyranosyl-fucopyranan from the brown seaweed Sargassum wightii. J. Appl. Phycol. 30, 1971–1988.

Mazarrasa, I., Olsen, Y. S., Mayol, E., Marbà, N., & Duarte, C. M. (2014). Global unbalance in seaweed production, research effort and biotechnology markets. Biotechnol. Adv. 32, 1028–1036.

McMurray, S. E., Stubler, A. D., Erwin, P. M., Finelli, C. M., & Pawlik, J. R. (2018). A test of the spongeloop hypothesis for emergent Caribbean reef sponges. Mar. Ecol. Progr. Ser. 588, 114.

Menaa, F. (2013). When Pharma Meets Nano or The Emerging Era of Nano-Pharmaceuticals. Pharm. Anal. Acta 4, 223.

Menaa, F., Wijesinghe, P. A. U. I., Thiripuranathar, G., Uzair, B., Iqbal, H., Khan, B. A., & Menaa, B. (2020). Ecological and Industrial Implications of Dynamic Seaweed-Associated Microbiota Interactions. Mar. Drugs 18, 641.

Menaa, F., Wijesinghe, U., Thiripuranathar, G., Althobaiti, N. A., Albalawi, A. E., Khan, B. A., & Menaa, B. (2021). Marine Algae-Derived Bioactive Compounds: A New Wave of Nanodrugs? Mar. Drugs 19, 484. https://doi.org/10.3390/md19090484

Miazek, K., Iwanek, W., Remacle, C., Richel, A., & Goffin, D. (2015). Effect of Metals, Metalloids and Metallic Nanoparticles on Microalgae Growth and Industrial Product Biosynthesis: A Review. Int. J. Mol. Sci. 16, 23929–23969.

Moga, M. A., Dima, L., Balan, A., Blidaru, A., Dimienescu, O. G., Podasca, C., & Toma, S. (2021). Are Bioactive Molecules from Seaweeds a Novel and Challenging Option for the Prevention of HPV Infection and Cervical Cancer Therapy?—A Review. Int. J. Mol. Sci. 22, 629.

Myklestad, S. M., & Granum, E. (2009). Biology of (1,3)-β-Glucans and Related Glucans in Protozoans and Chromistans; Elsevier Inc.: Amsterdam, The Netherlands, pp. 353–385.

Natarajan, S., Shanmugiahthevar, K. P., & Kasi, P. D. (2009). Cholinesterase inhibitors from Sargassum and Gracilaria gracilis: Seaweeds inhabiting

South Indian coastal areas (Hare Island, Gulf of Mannar). Nat. Prod. Res. 23, 355–369.

Newman DJ, Cragg GM, & Snader, K.M. (2000). The influence of natural products upon drug discovery Nat Prod Rep 17:215–234.

Newman, D. J., & Cragg, G. M. (1981). Natural Products as Sources of New Drugs over the Nearly Four Decades from 01/ to 09/2019. J. Nat. Prod. 2020, 83, 770–803.

Oh, J. Y., Kim, E. A., Kang, S. I., Yang, H. W., Ryu, B., Wang, L., Lee, J. S., & Jeon, Y. J. (2020). Protective Effects of Fucoidan Isolated from Celluclast-Assisted Extract of Undaria pinnatifida Sporophylls against AAPH-Induced Oxidative Stress In Vitro and In Vivo Zebrafish Model. Molecules 25, 2361.

Olasehinde, T. A., Olaniran, A. O., & Okoh, A. I. (2019). Macroalgae as a valuable source of naturally occurring bioactive compounds for the treatment of Alzheimer's disease. Mar. Drugs 17, 609.

Ouyang, Y., Qiu, Y., Liu, Y., Zhu, R., Chen, Y., El-Seedi, H. R., Chen, X., & Chao Zhao, C. (2021). Cancer-fighting potentials of algal polysaccharides as nutraceuticals. Food Res. Int. 147, 110522.

Pangestuti, R., & Kim, S. K. (2010). Neuroprotective properties of chitosan and its derivatives. Mar. Drugs 8, 2117–2128.

Park, E., Yu, H., Lim, J.-H., Choi, J. H., Park, K. J., & Lee, J. (2023). Seaweed metabolomics: A review on its nutrients, bioactive compounds and changes in climate change. Food Res. Int. 163, 112221.

Park, S. K., Kang, J. Y., Kim, J. M., Yoo, S. K., Han, H. J., Chung, D. H., Kim, D. O., Kim, G. H., & Heo, H. J. (2019). Fucoidan-rich substances from Ecklonia cava improve trimethyltin-induced cognitive dysfunction via down-regulation of amyloid_production/Tau Hyperphosphorylation. Mar. Drugs 17, 591.

Peng, Y., Hu, J., Yang, B., Lin, X. P., Zhou, X. F., Yang, X. W., & Liu, Y. (2015). Chemical Composition of Seaweeds; Elsevier Inc.: Amsterdam, The Netherlands, pp. 79–124.

Pereira, F. (2019). Have Marine Natural Product Drug Discovery Efforts Been Productive and How Can We Improve Their Efficiency? Expert Opin. Drug Discov. 14, 717–722.

Pereira, T., Horta, A., Barroso, S., Mendes, S., & Gil, M. M. (2021). Study of the Seasonal Variations of the Fatty Acid Profiles of Selected Macroalgae. Molecules 26, 5807.

Pérez, M. J., Falqué, E., & Domínguez, H. (2016). Antimicrobial action of compounds from marine seaweed. Mar. Drugs 14, 52.

Pita, L., Rix, L., Slaby, B. M., Franke, A., & Hentschel, U. (2018). The sponge holobiont in a changing ocean: From microbes to ecosystems. Microbiome 6, 46.

Pliego-Cortés, H., Wijesekara, I., Lang, M., Bourgougnon, N., & Bedoux, G. (2020). Current knowledge and challenges in extraction, characterization and bioactivity of seaweed protein and seaweed-derived proteins, Chapter Nine. In Advances in Botanical Research; Bourgougnon, N., Ed.; Elsevier: Amsterdam, The Netherland, Volume 95, pp. 289–326.

Polzin, J., & Rorrer, G. L. (2018). Selective production of the acyclic monoterpene β-myrcene by microplantlet suspension cultures of the macrophytic marine red alga Ochtodes secundiramea under nutrient perfusion cultivation with bromide-free medium. Algal Res. 36, 159–166.

Premarathna, A. D., Ahmed, T. A. E., Kulshreshtha, G., Humayun, S., Darko, C. N. S., Rjabovs, V., Hammami, R., Critchley, A. T., Tuvikene, R., & Hincke, H. T. (2024). Polysaccharides from red seaweeds: Effect of extraction methods on physicochemical characteristics and antioxidant activities. Food Hydrocoll. 147, 109307.

Probst, Y. (2015). A review of the nutrient composition of selected rubus berries. Nutr. Food Sci. 45, 242–254.

Proksch P, Edrada, R.A., & Ebel, R. (2002). Drugs from the seas-current status and microbiological implications. Appl Microb and Biotechnol 125–134.

Proksch, P., Ebel, R., Edrada, R. A., Wray, V., & Steube, K. (2003). Bioactive Natural Products from Marine Invertebrates and Associated Fungi. In: Müller, W.E.G. (ed.), Sponges (Porifera). Springer, Berlin Heidelberg,.

Ramesh, C., Tulasi, B. R., Raju, M., Thakur, N., & Dufossé, L. (2021). Marine Natural Products from Tunicates and Their Associated Microbes. Mar. Drugs 19, 308.

Ramos-Romero, S., Torrella, J. R., Pagès, T., Viscor, G., & Torres, J. L. (2021). Edible microalgae and their bioactive compounds in the prevention and treatment of metabolic alterations. Nutrients 13, 563.

Rawiwan, P., Peng, Y., Paramayuda, Y. G. P. B., & Quek, S. Y. (2022). Red seaweed: A promising alternative protein source for global food sustainability. Trends Food Sci. Technol. 123, 37–56.

Rayan, A., Raiyn, J., & Falah, M. (2017). Nature is the best source of anticancer drugs: Indexing natural products for their anticancer bioactivity. PLoS ONE 12, e0187925.

Regoli, F., Cerrano, C., Chierici, E., Bompadre, S., & Bavestrello, G. (2000). Susceptibility to the oxidative stress of the Mediterranean demosponge Petrosia ficiformis: Role of endosymbionts and solar irradiance. Mar. Biol. 137, 453461.

Reverter, M., Rohde, S., Parchemin, C., Tapissier-Bontemps, N., & Schupp, P. J. (2020). Metabolomics and Marine Biotechnology: Coupling Metabolite Profiling and Organism Biology for the Discovery of New Compounds. Front. Mar. Sci. 7, 613471.

Riaz, S., Rana, N. F., Hussain, I., Tanweer, T., Nawaz, A., Menaa, F., Janjua, H. A., Alam, T., Batool, A., Naeem, A., & et al. (2020). Effect of flavonoid-coated gold nanoparticles on bacterial colonization in mice organs. Nanomaterials 10, 1769.

Romano, G., Almeida, M., Varela Coelho, A., Cutignano, A., Gonçalves, L. G., Hansen, E., Khnykin, D., Mass, T., Ramšak, A., Rocha, M. S., & et al. (2022). Biomaterials and Bioactive Natural Products from Marine Invertebrates: From Basic Research to Innovative Applications. Mar. Drugs 20, 219. https://doi.org/10.3390/md20040219

Rosenberg, E., & Zilber-Rosenberg, I. (2016). Microbes drive evolution of animals and plants: The hologenome concept. mBio 7, e01395-15.

Rushdi, M. I., Abdel-Rahman, I. A. M., Attia, E. Z., Saber, H., Saber, A. A., Bringmann, G., & Abdelmohsen, U. R. (2022). The Biodiversity of the Genus Dictyota: Phytochemical and Pharmacological Natural Products Prospectives. Molecules 27, 672.

Saeed, M., Arain, M. A., Ali Fazlani, S., Marghazani, I. B., Umar, M., Soomro, J., Bhutto, Z. A., Soomro, F., Noreldin, A. E., & Alagawany, M. (2021). A comprehensive review on the health benefits and nutritional

significance of fucoidan polysaccharide derived from brown seaweeds in human, animals and aquatic organisms. Aquac. Nutr. 27, 633–654.

Sagar, S., Kaur, M., & Minneman, K. P. (2010). Antiviral Lead Compounds from Marine Sponges. Mar. Drugs 8, 2619–2638.

Sarmiento-Vizcaíno, A., Braña, A. F., Pérez-Victoria, I., Martín, J., De Pedro, N., Cruz, M. D. L., Díaz, C., Vicente, F., Acuña, J. L., Reyes, F., & et al. (2017). Paulomycin G, a new natural product with cytotoxic activity against tumor cell lines produced by deep-sea sediment derived Micromonospora matsumotoense M-412 from the Avilés Canyon in the Cantabrian Sea. Mar. Drugs 15, 271.

Scherlach, K., & Hertweck, C. (2021). Mining and Unearthing Hidden Biosynthetic Potential. Nat. Commun. 12, 3864.

Schöffski, P., Dumez, H., Wolter, P., Stefan, C., Wozniak, A., Jimeno, J., & Van Oosterom, A. T. (2008). Clinical Impact of Trabectedin (Ecteinascidin-743) in Advanced/Metastatic Soft Tissue Sarcoma. Expert Opin. Pharmacother. 9, 1609–1618.

Sharma, A., Sharma, S., Sharma, K., Chetri, S. P. K., Vashishtha, A., Singh, P., Kumar, R., Rathi, B., & Agrawal, V. (2016). Algae as crucial organisms in advancing nanotechnology: A systematic review. J. Appl. Phycol. 28, 1759–1774.

Shiau, J. P., Chuang, Y. T., Yang, K. H., Chang, F. R., Sheu, J. H., Hou, M. F., Jeng, J. H., Tang, J. Y., & Chang, H. W. (2022). Brown Algae-Derived Fucoidan Exerts Oxidative Stress-Dependent Antiproliferation on Oral Cancer Cells. Antioxidants 11, 841.

Silva, C. O., Pinho, J. O., Lopes, J. M., Almeida, A. J., Gaspar, M. M., & Reis, C. (2019). Current trends in cancer nanotheranostics: Metallic, polymeric, and lipid-based systems. Pharmaceutics 11, 22. [.

Sirbu, R., Mustafa, A., Tomescu, A., Stanciu, G., & Cadar, E. (2019). Rheological and microbiological study on biocomposites with marine chitosan polymers from Black Sea stone crabs used in medical therapy of tissue regeneration. Mater. Plast. 56, 148–155.

Sivonen, K., Leikoski, N., Fewer, D. P., & Jokela, J. (2010). Cyanobactins—Ribosomal Cyclic Peptides Produced by Cyanobacteria. Appl. Microbiol. Biotechnol. 86, 1213–1225.

Steffen, K., Indraningrat, A. A. G., Erngren, I., Haglöf, J., Becking, L. E., Smidt, H., Yashayaev, I., Kenchington, E., Pettersson, C., Cárdenas, P., & et al. (2022). Oceanographic setting influences the prokaryotic community and metabolome in deep-sea sponges. Sci. Rep. 12, 3356.

Sumayya, S. S., Lubaina, A. S., & Murugan, K. (2020). Bactericidal Potentiality of Purified Terpenoid Extracts from the Selected Sea Weeds and its Mode of Action. J. Trop. Life Sci. 10, 197–205.

Tamokou, J. D. D., Mbaveng, A. T., & Kuete, V. (2017). Chapter 8—Antimicrobial Activities of African Medicinal Spices and Vegetables. In Medicinal Spices and Vegetables from Africa; Kuete, V., Ed.; Academic Press: Cambridge, MA, USA, pp. 207–237.

Thambi, A., & Chakraborty, K. (2023). A novel anti-hyperglycemic sulfated pyruvylated polysaccharide from marine macroalga Hydropuntia edulis. Nat. Prod. Res. 37, 2987–2999.

Tsurkan, D., Wysokowski, M., Petrenko, I., Voronkina, A., Khrunyk, Y., Fursov, A., & Ehrlich, H. (2020). Modern Scaffolding Strategies Based on Naturally Pre-Fabricated 3D Biomaterials of Poriferan Origin. Appl. Phys. A Mater. Sci. Processing 126, 382.

Ummat, V., Sivagnanam, S. P., Rajauria, G., O'Donnell, C., & Tiwari, B. K. (2021). Advances in pre-treatment techniques and green extraction technologies for bioactives from seaweeds. Trends Food Sci. Technol. 110, 90–106.

Ünlü, E. S., Ünüvar, Ö.C., & Aydın, M. (2019). Identification of alternative oxidase encoding genes in Caulerpa cylindracea by de novo RNA-Seq assembly analysis. Mar. Genom. 46, 41–48.

Usher, K. M. (2008). The ecology and phylogeny of cyanobacterial symbionts in sponges. Mar. Ecol. 29, 178192.

Uzair, B., Liaqat, A., Iqbal, H., Menaa, B., Razzaq, A., Thiripuranathar, G., Rana, N. F., & Menaa, F. (2020). Green and cost-effective synthesis of metallic nanoparticles by algae: Safe methods for translational medicine. Bioengineering 7, 129.

Ventola, C. L. (2015). The antibiotic resistance crisis: Part 1: Causes and threats. Pharm. Ther. 40, 277–283.

Ventola, C. L., Bharali, D. J., & Mousa, S. A. (2010). The Nanomedicine Revolution: Part 1: Emerging Concepts. Pharmacy and Therapeutics. Pharmacol. Ther. 128, 512–525.

Walwick, E. R., Roberts, W. K., & Dekker, C. A. (1959). Cyclisation during the Phosphorylation of Uridine and Cytidine by Polyphosphoric Acid—a New Route to the O-2,2′-Cyclonucleosides. Proc. Chem. Soc. Lond. 3, 84.

Wang, L., Jayawardena, T. U., Yang, H. W., Lee, H. G., & Jeon, Y. J. (2020). The Potential of Sulfated Polysaccharides Isolated from the Brown Seaweed Ecklonia maxima in Cosmetics: Antioxidant, Anti-melanogenesis, and Photoprotective Activities. Antioxidants 9.

Wang, L., Jayawardena, T. U., Yang, H. W., Lee, H. G., Kang, M. C., & Sanjeewa, K. K. (2020). Isolation, Characterization, and Antioxidant Activity Evaluation of a Fucoidan from an Enzymatic Digest of the Edible Seaweed, Hizikia fusiforme. Antioxidants 9, 363.

Wang, S., Ni, L., Fu, X., Duan, D., Xu, J., & Gao, X. (2020). A Sulfated Polysaccharide from Saccharina japonica Suppresses LPS-Induced Inflammation Both in a Macrophage Cell Model via Blocking MAPK/NF-kappaB Signal Pathways In Vitro and a Zebrafish Model of Embryos and Larvae In Vivo. Mar. Drugs 18, 593.

Weinheimer, A.J., & Spraggins, R.L. (1969). The occerruence of two new prostaglandin derivatives (15-epi-PGA2 and its acetate, methyl ester) in the gorgonian Plexaura homomalla. Chemistry of coelenterates. XV. Tetrahedron Lett 15:5185–5188.

Wilkinson, C. R., Nowak, M., Austin, B., & Colwell, R. R. (1981). Specificity of bacterial symbionts in Mediterranean and Great Barrier Reef sponges. Microb. Ecol. 7, 1321.

Williams, A. N., Sorout, N., Cameron, A. J., & Stavrinides, J. (2020). The Integration of Genome Mining, Comparative Genomics, and Functional Genetics for Biosynthetic Gene Cluster Identification. Front. Genet. 11, 600116.

Wolfender, J.-L., Nuzillard, J.-M., van der Hooft, J. J. J., Renault, J.-H., & Bertrand, S. (2019). Accelerating Metabolite Identification in Natural Product Research: Toward an Ideal Combination of Liquid Chromatography–High-Resolution Tandem Mass Spectrometry and

NMR Profiling, in Silico Databases, and Chemometrics. Anal. Chem. 91, 704–742.

Xie, C., Lee, Z. J., Ye, S., Barrow, C. J., Dunshea, F. R., & Suleria, H. A. R. (2024). A Review on Seaweeds and Seaweed-Derived Polysaccharides: Nutrition, Chemistry, Bioactivities, and Applications. Food Rev. Int. 40, 1312–1347.

Xu, D., Han, L., Li, C., Cao, Q., Zhu, D., Barrett, N. H., Harmody, D., Chen, J., Zhu, H., McCarthy, P. J., & et al. (2018). Bioprospecting deep-sea Actinobacteria for novel anti-infective natural products. Front. Microbiol. 9, 787.

Yao, W. Z., Veeraperumal, S., Qiu, H.-M., Chen, X.-Q., & Cheong, K. L. (2020). Anti-cancer effects of Porphyra haitanensis polysaccharides on human colon cancer cells via cell cycle arrest and apoptosis without causing adverse effects in vitro. 3 Biotech 10, 386.

Zeng, F., Wunderer, J., Salvenmoser, W., Hess, M. W., Ladurner, P., & Rothbächer, U. (2019). Papillae Revisited and the Nature of the Adhesive Secreting Collocytes. Dev. Biol. 448, 183–198.

Zhou, R., Shi, X. Y., Bi, D. C., Fang, W. S., Wei, G. B., & Xu, X. (2015). Alginate-derived oligosaccharide inhibits neuroinflammation and promotes microglial phagocytosis of β-amyloid. Mar. Drugs 13, 5828–5846.

# BÖLÜM 10

# AYÇİÇEĞİ SAPI VE MISIR KOÇANI ATIKLARINDAN ELDE EDİLEN KÜLLERİN BETONUN PERFORMANSINA ETKİSİ

Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN[1*]
İnşaat Mühendisi İsmail KAYLI[2]
Doç.Dr. Murat DOĞRUYOL[3]

DOI: https://www.doi.org/10.5281/zenodo.23260231

[*1] Siirt Universitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye. firat.baran@siirt.edu.tr , orcid id: 0000-0002-7657-1227 (sorumlu yazar)
[2] Siirt Universitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Siirt, Türkiye. erkan560456@gmail.com
[3] Siirt Universitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye. mdogruyol@siirt.edu.tr , orcid id: 0000-0003-0406-7854
Not: Bu çalışma İsmail KAYLI'nın "Farklı Tarımsal Atıklardan Elde Edilen Küllerin Betonun Performansına Etkisi " isimli Yüksek Lisans Tezinden derlenmiştir.

## GİRİŞ

Sürdürülebilirlik, gelecek nesillerin gereksinim duyacağı doğal kaynakların varlığı ve niteliğini etkilemeden, hem günümüz hem de gelecek nesillerin ihtiyacı olan bütün çevresel değerlerin her alanda ıslah edilmesi, korunup gelişmesi süreci olarak tanımlanmaktadır (Anonim,2019).

Sürdürülebilirlik kavramı son zamanlarda inşaat sektöründe de sıkça dile getirilmeye başlanmıştır. Artan nüfus artışı tarım ürünlerinin artmasının yanısıra barınma ihtiaycını da ortaya çıkarmıştır.

Yapı sektöründeki genel maliyetler incelendiğinde, bunların en büyüklerinden birisinin beton olduğu görülmektedir. Beton incelendiğinde ise en büyük maliyeti çimentonun oluşturduğu bilinmektedir. Çimento üretimi çevreye salınan sera gazlarının artışını beraberinde getirmektedir. Bu yüzden betonda çimento kullanımına alternatif endüstriyel atık olan mineral katkı ve tarımsal atık kullanımı son yıllarda yapılan çalışmalarda ön plana çıkmaktadır (Karaşin ve Doğruyol 2011).

Bitkiler büyüyüp gelişirken gövdelerine kökleri aracılığıyla topraktan çok çeşitli miktarlarda besin, mineral ve silikat alırlar. Yıllık bitkiler, ağaç türlerine göre bünyelerinde daha fazla silikat bulundururlar. Mısır ve ayçiçeği gibi yıllık tarım ürünlerinin sap ve yapraklarında kütikula tabakası bulunmaktadır. Bu tabaka (kütikula) silis ve silikat yönünden oldukça zengindir (Rydholm, 1965). Bitkisel ürünlerin hasadı sonrası oluşan pirinç kabuğu yüksek oranda amorf silisyum dioksit içermektedir (% 81 ile %95 arasında) (Kaylı,2023).

Bitkinin kabuğunun ve sapının esas yapısı selüloz, lignin ve küldür. Kabuk ve sap yakılmadan önce 1-5 mm. boyutuna getirilmelidir. Daha sonra bu hammadde üzerinde yanma işlemi uygulanır. Pirinç kabuğu yaklaşık 575 + 25˚ C elektrik kül fırınlarında yakılması ile kül elde edilir. Elde edilen küller, bilyeli öğütme değirmenlerinde öğütülür ki puzolanik aktivitesi böylece artar. Kül içindeki silis oranı, yakma sıcaklığı, yakma süresi ve yakma hızına bağlı olarak değişmektedir (Şimşek, 2004).

Puzolanik malzemeler çimentoya eklendiğinde, bu malzemelerdeki silikat ($Si0_2$), çimento hidrasyonu sırasında salınan serbest kireçle reaksiyona girer ve beton formülasyonun mekanik özelliklerini iyileştiren yeni hidrasyon ürünleri olarak ilave kalsiyum silikat hidrat oluştururlar (Boating ve Skeete, 1990). Bitkisel atık maddelerin kontrollü bir şekilde 700°C yakma sıcaklığında

bir saat boyunca yakılmasıyla üretilen kül, külün silis içeriğini amorf faza (rastgele dizilim) dönüştürür (Moyad vd,. 1984; James vd., 1986). Amorf silisin reaktivitesi, külün spesifik yüzey alanı ile doğrudan orantılıdır. Bu şekilde üretilen kül, toz haline getirilir veya istenen incelikte öğütülür ve harmanlanmış çimento üretmek için çimento ile karıştırılır. Bu nedenle, tarımsal kül özellikleri yanma süresine, sıcaklığa, soğuma süresine ve öğütme koşullarına da bağlıdır (Moyad vd., 1984; Cook, 1986; Smith ve Kamwanga, 1986; Mehta, 1992).

Ülkemizde toplam tarım alanı 37.802 bin hektardır (buna çayır ve mera arazisi de dahil edilmiştir). Toplam tarım alanının %52,3'sini işlenen alanlar, %9,1'ini uzun ömürlü bitkiler altındaki alanlar (çok yıllık meyvelikler), %38,6'ını daimi çayır ve mera alanları oluşturmaktadır (TÜIK,2020).

Tarımsal üretimin temelini oluşturan ürünlerin (buğday, arpa, tütün, pamuk, pirinç, susam vb.) çok büyük miktarlarda tarımsal atığı oluşturmakta ve yıllık toplam tarımsal atık miktarı yaklaşık 50-65 milyon ton eşdeğer petrole ulaşmaktadır.

Bu çalışmada; 350 ve 700 $^{o}$C sıcaklıklarda yakma işlemi ile belirlenen tarımsal atıklardan (ayçiçeği sapı, mısır koçanı) kül elde edilmiş ve bu tarımsal atık küllerinin, harç numunelerinin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerine olan etkisi araştırılmıştır. Tarımsal atık külleri, hazırlanan harç hamurlarının içine belli oranlarda çimento ile ikame edilerek hazırlanmış. Elde edilen numunelerin 7, 28, 90 günlük basınç ve eğilme dayanımları tespit edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda tüm harç numunelerinde, referans çimentoya göre su ihtiyacının arttığı gözlemlenmiştir. Harç numunelerinde çalışma sonunda elde edilen ultrases değerleri, çimentoya ilave edilen küllerin ikamesi artıkça ultrases değerlerinde değişimler gözlemlenmiştir. Son olarak bu çalışma da, mısır koçanı agregalarından elde edilen ısı yalıtım levhası XPS değerleriyle karşılaştırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Çimento

Bu çalışmada Siirt-Kurtalan çimento fabrikasından 2018 Bina Deprem Yönetmeliğinin taşıyıcı elemanlarda kullanılmasını önerdiği TS EN 196- 6, TS EN 196- 7 standartlarında CEM I 42,5 tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan

çimentonun, fabrikadan temin edilen kimyasal ve fiziksel özellikleri aşağıda verilen Tablo 1 ve Tablo 2'de belirtilmiştir.

**Tablo 1.** Portland çimentosu kimyasal özellikleri

| Kimyasal Analiz | Çimento Ağırlıkça (%) |
|---|---|
| $SiO_2$ | 20,41 |
| $Al2O_3$ | 5,35 |
| $Fe_2O_3$ | 3,30 |
| CaO | 62,50 |
| MgO | 1,65 |
| $SO_3$ | 2,93 |
| $Na_2O$ | 0,15 |
| $K_2$ | 0,71 |
| Cl | 0,011 |
| HCl | 0,28 |

Deneyde kullanılan CEM I 42.5 R çimentosunun fiziksel ve mekanik değerleri ise Tablo 2.'de gösterilmiştir

**Tablo 2.** CEM I 42.5R fiziksel ve mekanik değerleri

| **Fiziksel Özellikler** | | **Mekanik Özellikler (Basınç Dayanımı)** | |
|---|---|---|---|
| Özgül Ağırlık (gr/cm3) | 3,1 | Gün | MPa |
| Priz başlangıcı, dk | 157 | 3. Gün Basınç Dayanımı | 28,5 |
| Priz sonu, dk | 235 | 7. Gün Basınç Dayanımı | 41,7 |
| Hacim genleşmesi, mm | 1,0 | 28. Gün Basınç Dayanımı | 52,4 |
| Blaine özgül yüzey ($cm^2$/gr) | 3350 | | |
| Su ihtiyacı, gr | 28,2 | | |

### 2.1.2. Kum

Çalışmada harç numuneleri için silis içerikli kırma dere kumu agrega kullanılmıştır. Kum dünyanın birçok yerinde çokça bulunan madenlerden bir tanesidir. Bu silis içerikli kum yüksek sertliktedir. Madenlerin karakter yapısına ve bölgelere göre bünyelerindeki silis oranları, kimyasal yapıları ve sertlik oranları değişir (Kaylı,2023).

### 2.1.3. Su

Bu çalışmada kullanılan su, Siirt şehir şebekesinden alınan içme suyudur. Karışımlarda kullanılan su asidik özellikte olmamalı (pH>7), sülfat etkisi meydana getirmemelidir. Suyun içeriğinde bulunan tuz donatı, harç ve betona zarar vermemelidir.

### 2.1.4. Kül

Çalışma için seçilen tarımsal atık (ayçiçeği sapı ve mısır koçanı) külleri kullanılmıştır.

#### 2.1.4.1. Küllerin Kimyasal Özellikleri ve Puzolanik Durumları

Puzolanlar kendi başlarına bağlayıcılık değeri olmayan veya çok az bağlayıcılık gösterebilen, sulu ortamda kalsiyum hidroksit ile birleştirildiklerinde hidrolik bağlayıcılık özelliğine sahip olan silisli veya silis ve alüminli malzemeler olarak tanımlanmaktadır (Kaylı,2023).

Sönmüş Kireç + Puzolan ⇀ Kalsiyum Silikat (Hidrate Yapı)

$$C\text{a(OH)}_2 + S\text{iO}_2 + H_2\text{O} \rightharpoonup C\text{aO}\ .S\text{O}_2.H_2\text{O} \quad \textbf{(1)}$$

$$C\text{H} + S + S\text{u} \rightharpoonup C-S-H$$

Puzolanik aktivite için ASTM C618'e göre $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ miktarı doğal puzolanlarda % 70'den fazla olmalıdır. Puzolanların kompozisyonu büyük ölçüde silis ve alüminden oluşmaktadır. İnce taneli durumdaki puzolanlar, söndürülmüş kireç ve su ile birleştirildiğinde, bu malzemeler arasında bir takım kimyasal reaksiyonlar yeralmaktadır. Kalsiyum hidroksit, silis ve su arasındaki reaksiyonlar, aynen portland çimentosunun hidratasyonunda olduğu gibi, hidrolik bağlayıcılık özelliğine sahip kalsiyum-silika-hidrat jellerinin oluşmasını sağlarlar.

Puzolanik malzemenin yeterli aktiviteyi gösterebilmesi için, yeterince ince taneli olması, amorf yapıya sahip olması ve yeterli miktarda $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ içermesi gerekmektedir (Kaylı,2023).

**Tablo 3.** Çimento ve Küllerin Kimyasal Özellikleri (Kumaş, 2019)

| Kimyasal Bileşenler | Çimento | Ayçiçeği Sapı Külü | Mısır Koçanı Külü |
|---|---|---|---|
| **$SiO_2$** | 19.61 | 24 | 65.13 |
| **$Al_2O_3$** | 4.92 | 3.02 | 8.73 |
| **$Fe_2O_3$** | 3.15 | 1.07 | 5.02 |
| **$C_aO$** | 63.66 | 18 | 12.73 |
| **MgO** | 2.19 | 5.96 | 2.07 |
| **$K_2O$** | 0.75 | 16.2 | 4.91 |
| **$Na_2O$** | 0.29 | 0.35 | 0.37 |
| **$SO_3$** | 2.54 | 5.12 | 1.06 |
| **Özgül Ağırlık** | 3.1 | 2.81 | |
| **S+A+F** | **27,68** | **28,09** | **78,88** |

*$\mathbf{S+A+F = SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 > 70\ \%}$

ASTM C618'e göre S+A+F miktarı %70'den fazla olan kendi başına bağlayıcı olan, düşük olanların ise bağlayıcı malzeme ile birlikte kullanılan puzolanlar olarak tanımlanmıştır. Tablo 3.'e göre S+A+F miktarı> %70 olan mısır koçanı külü kendi başına bağlayıcı puzolanik özellikte olduğunu göstermektedir (ASTM C618-22, 2023).

**Çimento**: $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 = 27,68 \leq 70$ değerinden küçük çıktı. Bu durumda malzeme puzolanik değil ancak; su ve puzolanik malzemelerle birleştiğinde istenen bağlayıcılığı elde eder. Aynı zamanda içerisinde belirli miktarda CaO (63,66 gr) bulunan malzemenin bağlayıcılık özelliği bulunmaktadır (Kaylı,2023).

**Ayçiçeği Sapı Külü**: $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 = 28,09 \leq 70$ olduğu için malzeme puzolanik değil ancak; çimento ve su ile birleştiğinde bağlayıcılık özelliğini veren C-S-H bağlarını oluşturur (Kaylı,2023).

**Mısır Koçanı Külü**: $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 = 78,88 \geq 70$ olduğu için malzeme puzolanik ve tek başına istenen bağlayıcılık özelliğini veren C-S-H bağlarını oluşturur (Kaylı,2023).

### 2.1.5 Ayçiçeği Sapı Külü

Bu çalışmada, Siirt merkezde yetişen ayçiçeği sapları kullanılmıştır. Ayçiçeği sapları öncelikle bir ön yakmadan geçtikten sonra (300-350°C) oluşan kül yüksek dereceli kül fırınında yeniden yakılarak deneysel çalışmalarda kullanılmıştır (700°C).

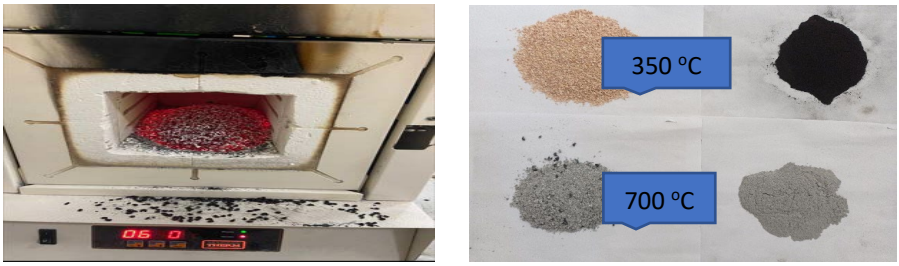


$350^0$C $700^0$C

**Şekil 1.** Ayçiçeği sapı külünün 350 ve 700°C yakılmış hali

### 2.1.6 Mısır Koçanı ve Külü

Çalışmadaki mısır koçanları Muş ilinde yetişen mısırlardan kullanılmıştır. Mısır koçanları bu çalışmada farklı aşamalarda ele alınmıştır. Mısır koçanı külünün ağırlıkça % 65'i silikat içermektedir. Bu durum mısır koçanın puzolanik özellikte olduğunu ve bu da mısır koçanı külünün betonda çimento gibi bağlayıcı olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Mısır koçanlarının ayrıca yoğunluğunun 334 kg/$m^3$ olması, betonda agrega olarak kullanımı durumunda hafif beton üretimine de katkı sağlayacaktır. Bu koçan agregalarının betondaki aderans durumu ve betona vereceği dayanım hafif beton sektörü için önem arz etmektedir. Mısır koçanları ayrıca doğal ses yalıtım malzemesi özelliğini göstermektedir. Betonda agrega gibi kullanılmasının beton ses yalıtımına etkili olabileceği yapılarda kullanımı durumunda akustik davranış sergileyen bir ürün olacağı ile ilgili çalışmalarda yer almaktadır (Pinto ve ark. 2011). Mısır koçanlarıyla ilgili yapılan ilk çalışma; öncelikle yakılarak kül elde etmekti. Koçanlar bir ön yakmadan geçtikten sonra (350°C), kül fırınında yakılarak deneysel çalışmalarda kullanılmıştır (700 °C).




**Şekil 2.** Mısır koçanı külünün 350 ve 750°C yakılmış hali

### 2.1.6.1. Mısır Koçanının Agrega Olarak Değerlendirilmesi

Mısır koçanı sert ve hafif bir yapıda olduğu için betonda agrega olarak kullanıldı. Amaç; hafif malzemeden aynı etkiye sahip hafif beton elde etmekti. Dolayısıyla koçanlar agrega halinde ince öğütülüp betona belli oranlarda dâhil edilmiştir.



**Şekil 3.** Mısır koçanının beton agregası olarak kullanımı

Hazırlanan beton karışımlarında istenilen oranlarda karışıma dahil edilen mısır koçanı agregaları (Tablo 4); uzun vaddede ulaşabileceği eğilme ve basınç dayanımları hafif beton için çok önemlidir.

**Tablo4.** Mısır koçanının beton harçta agrega olarak değerlendirilmesi

| Materyal | Çimento (gr) | Mısır Koçanı (gr) | Kum (gr) | Su (gr) |
|---|---|---|---|---|
| **R** | 450 | - | 1350 | 270 |
| **% 1** | 450 | 13,5 | 1336,5 | 270 |
| **% 2,5** | 450 | 33,75 | 1316,25 | 270 |
| **% 5** | 450 | 67,5 | 1282,5 | 270 |
| **% 7,5** | 450 | 101,25 | 1248,75 | 270 |
| **% 10** | 450 | 135 | 1215 | 270 |

Koçan agregalarla üretilen levhanın; ısı,ses,basınç ve dayanım testlerine tabi tutulduğunda, hangi şekilde üretilirse daha iyi sonuçlar elde edilir düşüncesiyle farklı boyutlarda agregalar ayrı ayrı değerlendirildi. Agregalardan üretilecek olan levhanın ne kadar hafif olursa, ekonomik açıdan levhayı da o kadar değerli kıldıracaktır. Koçan agregarıyla elde edilen farklı prizmalar Şekil 4'te gösterilmektedir. Bu prizmalar testlere tabi tutulduktan sonra ısı,ses basınç ve dayanım açısından en ideal yalıtım malzemesini elde etmemize yardımcı olacaktır.



**Şekil 4.** Farklı Boyutlu Koçan Agregalarla Üretilen Prizma Levhalar

### 2.2.1 Harç Karışımlarının Hazırlanması ve Kalıplara Yerleştirilmesi

Deneylerde, reçetede belirtilen verilere bağlı kalınarak harç numuneleri hazırlanmıştır. Tüm harç numunelerinde su/çimento oranı 0,5 olarak belirlenmiş olsada, bazı numunelerde kıvam açısından bu oran artırılmıştır. Harç karışımları TS EN 196-1 standardına uygun olarak yapılmıştır. Karıştırma kabına öncelikle kum sonra çimento konulmuştur. Bu karışım iyice harmanlandıktan sonra kül ve su kendi miktarlarınca eklenmiştir. Harç hazırlama işlemi sonlandıktan sonra numune kalıbı yağlanmasına geçilmiştir. Yağlanma aşamasından sonra harç numuneleri, numune kalıplarına (40×40×160 mm prizma) yerleştirilmiştir. Harç, her bir kalıp bölümüne azar azar eklenerek tokmakla bastırılıp doldurulmuştur. İlk seferde harç, karıştırma kabından, uygun bir kepçe kullanılarak bir veya daha fazla kademede kalıbın her bölümüne aktarılarak oluşturulmuştur. Her kademenin doldurulmasının ardından harcın kalıp içine yerleşmesi sağlanmıştır (Şekil 6). Daha sonra bu harç numune kalıpları 24 sn boyunca vibratöre (titreştirme) tabi tutulup boşluğunu alması sağlanmıştır. (Şekil 5). Harcın numune kalıplarından taşan kısımları uygun bir bez ve spatulayla temizlenmiştir. Numuneler laboratuvar

ortamında nemli havlu ile örtülüp kapalı olarak 24 saat bekletilmiştir. Numuneler bir gün kapta kaldıktan sonra kalıptan çıkartılıp su dolu sıcaklığı 20±2°C olan kür havuzuna konulmuştur. 7, 28 ve 90 günlük testlere tabi tutulmak için kür havuzuna bırakılmıştır.



**Şekil 5.** Numunelerin hazırlanıp kür havuzuna bırakılması

## 2.2. Eğilme ve Basınç Dayanımı Deneyleri

### 2.3.1.Eğilme Dayanımı

Bu deney, harç üretildikten sonra 40x40x160 mm boyutlarına sahip prizma şeklindeki numunelere 7,28 ve 90 günlük kür süresi sonunda yapılmıştır. Üretilen harç numuneleri 7, 28 ve 90. günde kür havuzundan çıkarılarak etüvde 24 saat 105 °C'de kurumaya bırakılmışlardır. Prizma şekline sahip numune, cihaza yan yüzeylerinden biri mesnet silindirleri üzerine gelecek şekilde, boyuna ekseni mesnet silindirlerine dik olarak yerleştirilmiştir. Yük, yükleme silindiri vasıtasıyla numunenin mesnetlere oturan yüzünün karşıt yüzüne düşey olarak uygulanmıştır (Şekil 6).



**Şekil 6.** Beton numunesinin cihazda eğilme testine tabi tutulması

### 2.3.2. Basınç Dayanımı

Basınç dayanımı, kür etkisindeki numunelere 7, 28 ve 90 günlük kür süresi sonunda yapılmıştır. Bu deney 300 ton kapasiteli ELE 1487-1-1001 tipindeki bir hidrolik presle gerçekleştirilmiştir. Eğilme deneyi sonrasında

oluşan her yarım prizma üzerine, kırma presi yardımıyla eksenel basınca maruz bırakılmıştır. Numune kırıldığında presin göstergesinden ilgili kırılma yükü ile basınç dayanım değerleri belirlenmiştir (Şekil 7).



**Şekil 7.** Beton numunelerinin cihazda kesilmesi ve basınç testine tabi tutulması

### 2.3.3. Mısır Koçanı Agregalarıyla Elde Edilen Beton Numuneleri ve Sonuçları

Mısır koçanı agregaları sert ve hafif bir yapıda olduklarından dolayı betonda hafif agrega malzemesi olarak değerlendirildi. Bu agregalar ince öğütülüp iri agrega yerine harç numunelerine belli oranlarda dahil edildi (Tablo 5).

**Tablo 5**. Mısır Koçanı Agregaları Deney Sonuçları (28 Günlük)

| **Mısır Koçanı Agregası** | | |
|---|---|---|
| **Agrega Oranı** | **Eğilme Dayanımı (MPa)** | **Basınç Dayanımı (MPa)** |
| **% 1** | 5,16 | 26,94 |
| **% 2,5** | 4,79 | 25,28 |
| **% 5** | 2,54 | 14,12 |
| **% 7,5** | 1,63 | 0,32 |
| **% 10** | 0,6 | 0,21 |
| **Şahit (R)** | 8,44 | 37,64 |

Mısır koçanı agregalarıyla hazırlanan harç numunelerinin uzun vadede basınç ve eğilmeye karşı etkisi incelendi. Harç numuneleri 90 günlük olduktan sonra basınç ve eğilme testlerine tabi tutulan bu numuneler %1 ve % 2.5 oranlardaki mısır koçanı agregaları kısmen de olsa eğilme ve basınca karşı belli bir dayanım kazandığı görüldü. Koçan agregaları oranı artıkça eğilme ve basınçta değer bakımından aşırı düşmeler gözlemlenmiştir. Bu düşmeler

aslında koçanların, suyu içine hapsetmesinden kaynaklandığı saptanmıştır. Koçanların nemli durması, harç numunelerinin yeterli aderansa ulaşamadığını bu nedenle yeterli dayanımı kazanamadığını ortaya çıkmıştır.

### 2.3.4. Su Emme Deneyi

Su emme deneyi, harç numunelerinin suya doygun ağırlığı (P1) ile kuru ağırlığı (P0) arasındaki farkın kuru ağırlığına oranının yüzde olarak belirlenmesidir. Su emme deneyi 28 gün suda bekleyen harç numuneleri sudan çıkartılarak önce etüvde 24 saat boyunda 105$^{o}$C'de bekletilmiştir. 24 saat sonunda numuneler çıkartılarak hassas terazide kuru ağırlıkları (P0) tartılmıştır. Tartım işlemi bittikten sonra numuneler 24 saat su dolu kür havuzunda bekletilmiştir. 24 saat sonunda numunelerin suya doygun ağırlıkları (P1) hassas terazide ölçülmüştür. Ayçiçeği sapı külü ve mısır koçanı küllerinin çimento ile ikame olarak kullanıldığı harçların dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin araştırıldığı ayrıca mısır koçanı agregalarının ısı yalıtım levhası olarak kullanıldığı bu çalışmada, yapılan deneylerden aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

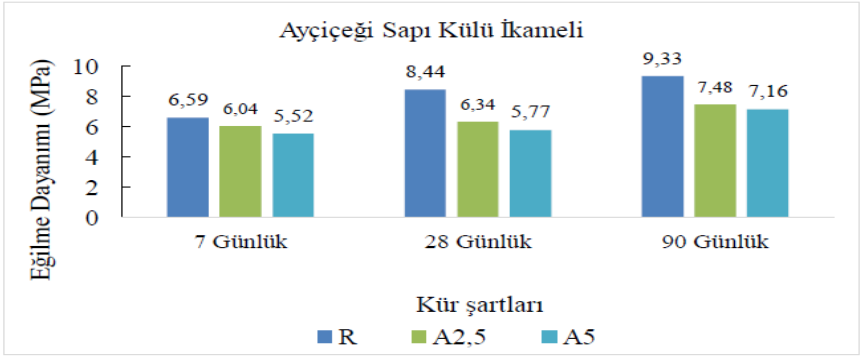
## 3.1 Eğilme Dayanım Değerleri

Kül ikamesinin eğilme dayanımına etkisi incelendiğinde erken yaş da (7gün) ve 28 günlük eğilme dayanımı sırası ile 6,59 MPa ve 8,44 MPa ile en yüksek numune referans olarak hazırlanan kül ikamesi olmayan R numunesidir. Ayçiçeği sapı külü, mısır kabuğu külü gibi diğer tarımsal atık küllerin eğilme dayanımını olumsuz etkilemiştir. Harç numunelerinin 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanım deneyi sonuçları Tablo 6'da karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

**Tablo 6.** Eğilme dayanımı değerleri

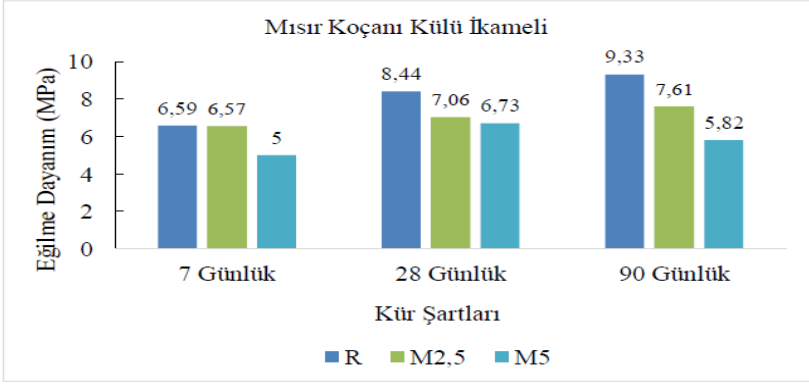
| Numune Kodu | Eğilme Dayanımı | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 7 Gün | | 28 Gün | | 90 Gün | |
| | MPa | Fark (%) | MPa | Fark (%) | MPa | Fark (%) |
| R | **6,59** | - | **8,44** | - | 9,33 | - |
| A2,5 | 6,04 | -8,35 | 6,34 | -24,88 | 7,48 | -19,83 |
| A5 | 5,52 | -16,24 | 5,77 | -31,64 | 7,16 | -23,26 |
| M2,5 | 6,57 | -0,30 | 7,06 | -16,35 | 7,61 | -18,44 |
| M5 | 5 | -24,13 | 6,73 | -20,26 | 5,82 | -37,62 |

Harç numunelerinin 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanım deneyi sonuçları aşağıda sırasıyla Şekil 8 ve 9 'da verilmiştir.




**Şekil 8.** Ayçiçeği sapı külü ikameli numunelerin eğilme dayanımları

Ayçiçeği sapı külü ikameli harç numune örneğine ait eğilme dayanımı deneyi sonuçları Şekil 9'da verilmiştir. Referans numunesine ait 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı değerleri 6,59 MPa, 8,44 MPa ve 9,33 MPa olarak bulunmuştur. İncelendiğinde referans numuneye yakın eğilme dayanım değeri en yüksek olan kül ikameli harç numunesi örneği; 7, 28 ve 90 günlük numuneler incelendiğinde %2,5 oranınd aki A2,5 olan numunedir. Bu değerler 6,04 MPa, 6,34 MPa ve 7,48 MPa olarak okunmuştur. Sonuç olarak, kül ikamesi arttıkça eğilme dayanımında azalmalar meydana gelmiştir. Eğilme dayanımı değerleri incelendiğinde, referans numuneye göre basınç dayanımı için bu kül %2,5 ve aşağı oranlarda düşük katkılı harç numunelerinde daha fazla fayda vereceği öngörülmüştür.




**Şekil 9.** Mısır koçanı külü ikameli numunelerin eğilme dayanımları

Mısır koçanı külü ikameli harç numune örneğine ait eğilme dayanımı deneyi sonuçları Şekil 10'da verilmiştir. Referans numunesine ait 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı değerleri 6,59 MPa, 8,44 MPa ve 9,33 MPa olarak bulunmuştur. İncelendiğinde referans numuneye yakın eğilme dayanım değeri en yüksek olan kül ikameli harç numunesi örneği; 7, 28 ve 90 günlük numuneler incelendiğinde %2,5 oranındaki mısır koçanı külü ikameli olan numunedir. Bu değerler 6,57 MPa, 7,06 MPa ve 7,61 MPa olarak okunmuştur. Sonuç olarak, uzun vadede aslında mısır numunelerinde beklenen değerlerin çok aşağısında sonuçlar çıktı. Kül ilavesi arttıkça eğilme dayanımında azalmalar meydana gelmiştir. Eğilme dayanımı değerleri incelendiğinde, referans numuneye göre basınç dayanımı için bu kül %2,5'dan aşağı oranlarda düşük ikameli harç numunelerinde daha fazla fayda vereceği öngörülmüştür.

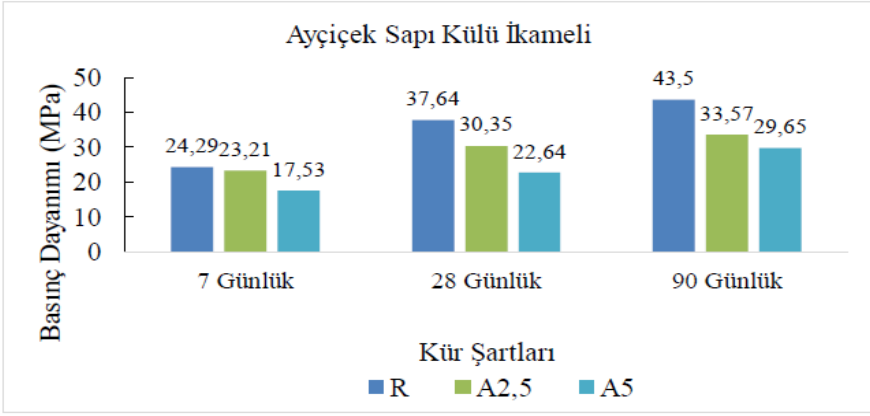
## 2.3. Basınç Dayanım Değerleri

Kül ikamesiz R numunesi; 7 günlük basınç dayanımı 24,29 MPa olarak 28 günlük basınç dayanımı ise 37,64 MPa ile en yüksek değer olarak ölçülmüştür. Küllerin 28 gün dayanım performansı en yüksek olduğu tasarımlar %2,5 ikame edildikleridir. Mısır koçanı külü ve ayçiçeği sapı külü harç numunelere %2,5 ikame edildiklerinde basınç dayanımları sırası ile 31,51MPa; 30,35 MPa'dır. Puzolanik etkiye sahip küllerin mukavemete etkisi ileriki yaşlarda olduğu bilinmektedir. Ayçiçeği sapı külü, mısır kabuğu külü diğer tarımsal atık küllerin basınç dayanımını olumsuz etkilemiştir. Harç tasarımların 7,28 ve 90 günlük basınç dayanım değerleri karşılaştırmalı olarak Tablo7'de verilmiştir.

**Tablo 7.** Basınç dayanımı değerleri

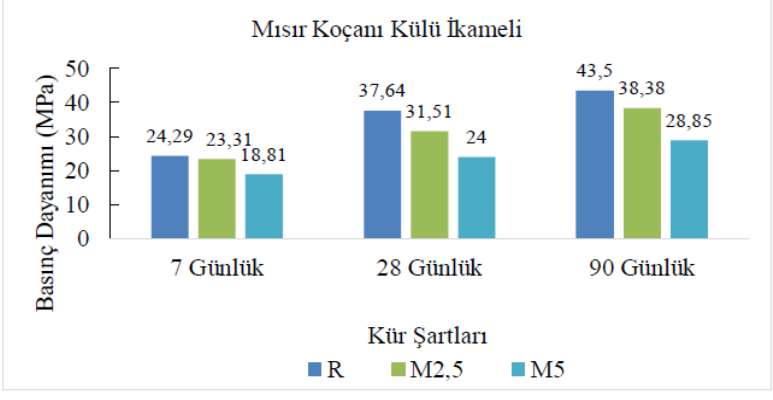
| Numune Kodu | Basınç Dayanımı | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 7 Gün | | 28 Gün | | 90 Gün | |
| | Mpa | Fark (%) | Mpa | Fark (%) | Mpa | Fark (%) |
| R | 24,29 | - | **37,64** | **-** | 43,5 | - |
| A2,5 | 23,21 | -4,45 | **30,35** | -19,37 | 33,57 | -22,83 |
| A5 | 17,53 | -27,83 | 22,64 | -49,42 | 29,65 | -31,84 |
| M2,5 | 23,31 | -4,03 | **31,51** | -20,20 | 38,38 | -11,77 |
| M5 | 18,81 | -22,56 | 24 | -44,94 | 28,85 | -33,68 |

Kül ikameli harç numune örnekleri 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanım deneyi sonuçları Şekil 10, 11'de verilmiştir.




**Şekil 10.** Ayçiçeği sapı külü ikameli numunelerin basınç dayanımları

Ayçiçeği sapı külü ikameli harç numune örneğine ait basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 11'de verilmiştir. Referans numunesine ait 7,28 ve 90 günlük basınç dayanımı değerleri 24,29 MPa, 37,64 MPa ve 43,50 MPa olarak okunmuştur. Basınç dayanım değeri en yüksek olan kül ikameli harç numunesi örneği; 7,28 ve 90 günlük numuneler incelendiğinde % 2,5 oranındaki ayçiçeği sapı külü ikameli olan numunedir. Bu değerler 23,21 MPa, 30,35 MPa ve 33,57 MPa olarak okunmuştur. %5 kül ikameli harç numunelerinde ise bu değerler azalarak; 17,53 MPa, 22,64 MPa ve 29,65 MPa olarak çıkmıştır. Sonuç olarak, kül ikamesi arttıkça basınç dayanımında azalmalar meydana gelmiştir. Basınç dayanımı değerleri incelendiğinde, referans numuneye göre bütün numune oranlarında beklenen sonuçların daha aşağısında değerler çıkmıştır.




**Şekil 11.** Mısır koçanı külü ikameli numunelerin basınç dayanımları

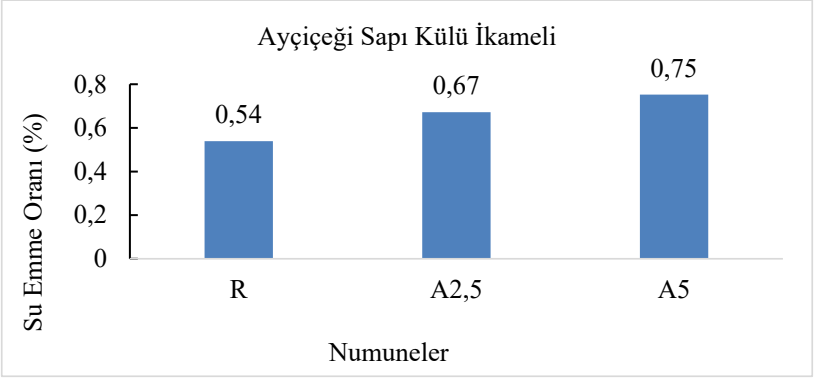
Mısır koçanı külü ikameli harç numune örneğine ait basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 12'de verilmiştir. Referans numunesine ait 7,28 ve 90 günlük basınç dayanımı değerleri 24,29 MPa, 37,64 MPa ve 43,50 MPa olarak okunmuştur. Basınç dayanım değeri en yüksek olan kül ikameli harç numunesi örneği; 7,28 ve 90 günlük numuneler incelendiğinde %2,5 oranındaki mısır koçanı külü ikameli olan numunedir. Bu değerler 23,31 MPa, 31,51 MPa ve 38,38 MPa olarak okunmuştur. %5 kül ikameli harç numunelerinde ise bu değerler azalarak; 18,81 MPa, 24,00 MPa ve 28,85 MPa olarak çıkmıştır. Sonuç olarak, % 2,5 oranındaki numune değer bakımından referans numuneye yaklaşmıştır. Kül ikamesi arttıkça basınç dayanımında azalmalar meydana gelmiştir.

## 2.4. Su Emme Deneyi

Harç numunelerinin su emme yüzdeleri, kür havuzunda bekletilen örneklerle araştırılmış olup sonuçları aşağıda verilmiştir. Su emme deneyi sonuçları Tablo 8'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

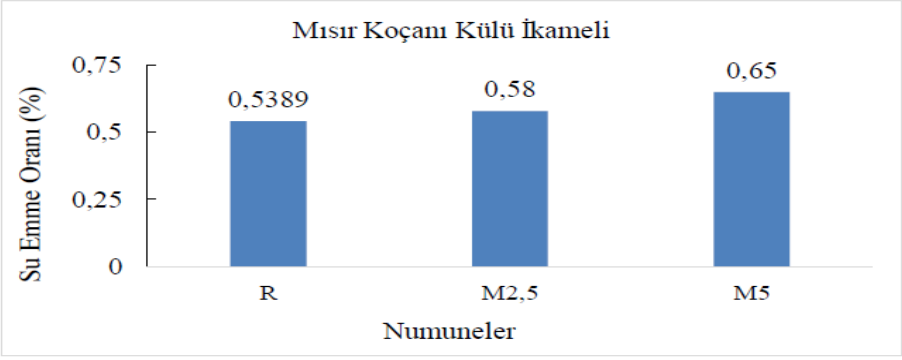
**Tablo 8.** Su Emme Deneyi Sonuçları (28 Günlük)

| Materyal | Kül ikamesi (%) | $P_1$ Ağırlık (gr) | $P_0$ Ağırlık (gr) | $W_A$ (%) |
|---|---|---|---|---|
| R | - | 634,2 | 630,8 | 0,54 |
| M2,5 | 2,5 | 628 | 624,4 | 0,58 |
| M5 | 5 | 589,8 | 586 | 0,65 |
| A2,5 | 2,5 | 629,6 | 625,4 | 0,67 |
| A5 | 5 | 615,8 | 611,2 | 0,75 |




**Şekil 12.** Ayçiçeği sapı külü ikameli numunelerin su emme yüzdeleri

Ayçiçeği saplarına ait küllerin ikameli olarak kullanıldığı harç numune örneklerinin elde edilen su emme deneyi sonuçları Şekil 12'de verilmiştir. Numunelere ait 28 günlük su emme yüzdeleri hesaplanmış olup, referans numunesinin su emme oranı % 0,54 olarak bulunmuştur. Ayçiçeği % 2,5 kül katkı oranında su emme değeri 0,67 iken %5 oranında ise bu değer; 0,75 çıkmıştır. Referans numuneye göre ayçiçeği sapı külü ikameli harç numunelerinde kül oranı artıkça su emme yüzdesi değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Kül ikame oranlarındaki artış beraberinde harç içerisinde meydana getirdikleri boşluklardan dolayı su emme değerindeki artışın sebebi olarak kabul edilmektedir.




**Şekil 13.** Mısır koçanı külü ikameli numunelerin su emme yüzdeleri

Mısır koçanlarına ait küllerin ikameli olarak kullanıldığı harç numune örneklerinin elde edilen su emme deneyi sonuçları Şekil 13'te verilmiştir. Numunelere ait 28 günlük su emme yüzdeleri hesaplanmış olup, referans numunesinin su emme oranı % 0,54 olarak bulunmuştur. Mısır koçanları % 2,5 kül katkı oranında su emme değeri 0,5806 iken %5 oranında ise bu değer; 0,65 çıkmıştır. Referans numuneye göre mısır koçanı külü ikameli harç numunelerinde kül oranı artıkça su emme yüzdesi değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Kül ikame oranlarındaki artış beraberinde harç içerisinde meydana getirdikleri boşluklardan dolayı su emme değerindeki artışın sebebi olarak kabul edilmektedir.

## 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 4.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, çimento malzemesine alternatif olarak ayçiçeği sapı ve mısır koçanı külleri ikameli olarak kullanılmıştır. Belirli oranlarda eklenen bu tarımsal atık külleri ikamesi referans numune baz alınarak değerlendirilmiştir. Yapılan bu deneysel çalışmada, çalışmanın gereği olarak harç numunelerine ait mekanik özellikler üzerinde durulmuştur. Bu özellikler eğilme dayanımı, basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı ve su emme değerleridir. Genelde bu tez aşamasında kullanılan tarımsal atık malzemelerinde ortaya çıkan sonuç; kül ikame oranlarının artmasıyla beraber referans numuneye göre hem basınç hemde eğilme değerlerin düştüğü, su emme miktarlarının artığı değerlerinin dayanımla ters şekilde arttığı sonucuna varılmıştır. Harç numunelerinden özellikle mısır koçanına ait küller basınç ve dayanımda yeterli etkiyi sağlamıştır. Küllere bağlı olarak çıkan bu farklı değerler, durum olarak; içeriğindeki kimyasal içerik farklılığı, yakma sıcaklığı, özgül ağırlığı, priz süreleri gibi farklı etmenlerin sonuca etki etmiş olmasından kaynaklanmaktadır. Çalışmada hazırlanan bütün harç numune örnekleri iyi kalite beton harç özelliği göstermektedir. Üretilen kül katkılı harç numunelerine yapılan deneylerde ultrases geçiş hızı değerleri incelendiğinde basınç ve eğilme dayanımları değerleri ile örtüşmektedir. Su emme yüzdelerinin değerlendirilmesi; Harç numunelerinin atmosferik basınç altında su emme oranları incelenmiştir. Su emme oranları açısından değerlendirme yapıldığında, referans numuneye yakın değerler genel itibariyle farklı kül katkılı numunelerin hepsinde de % 2.5 oranındaki su emme değeri referans numunesine yakın değerler vermiştir. Kül katkısının su emme oranı arttırıcı etkisi olduğunu söylemek mümkündür.

### 4.2. Öneriler

Küllerden en ideal verimi alabilmek için, o küllere ait en ideal yakma sıcaklığını ve malzemeye katılacak olan ikame oranının iyi irdelenip o şekilde kullanıldığı takdirde başarıya ulaşılacaktır. Tarımsal atıkların yapı malzemesi olarak kullanımı yaygınlaştıkça, çimento kullanımı haliyle düşecektir. Hafif yapı sektörüne öncülük edecek olan bu malzemeler araştırıldıkça daha uygun kullanım alanları da tespit edilecektir. Her puzolanik tarımsal atığın ideal yakılma sıcaklığı aynı olmayabilir. Mısır koçanları ısı yalıtım levhası olarak

geliştirildiği takdirde, ileriye dönük yapılacak yapılarda dış cephe malzemesi olarak kullanımı açısından bi sıkıntı görülmemektedir.

## 5.YARALANILAN KAYNAKLAR

Anonim, 2019. Türkiye İstatistik Kurumu, Bitkisel Üretim İstatistikleri.https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2022.

[Ziyaret Tarihi: 19 Eylül, 2023].

Boating, A. A., Skeete, D. H., 1990. Incineration of rice hull for use as a cementitious materials; The Guyana experience Cem Concre Res, 20 (1990), pp. 795-802.

Cook, J. D., 1986. Rice husk ash R.N. Swamy (Ed.), Concrete technology and design, Cement replacement material, 3, Surrey University Press, London (1986), pp. 171- 195.

Chao- Lungud, 2011. Effect of rice husk ash on the strength and durability characteristics of concrete, 3768-3772.

James, J., Subba, R., Silica, M., 1986. From rice husk through thermal decomposition, Thermochim Acta, vol. 97. Amsterdam: Elsevier Science; 1986. p. 329–36.

Karaşin, H., Doğruyol, M., 2011. Sülfatın beton ve betonarme elemanlara olumsuz etkisi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 2 (2), 79-85.

Kaylı, İ., 2023. Farklı Tarımsal Atıklardan Elde Edilen Küllerin Betonun Performansına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Siirt.

Kumaş, H., 2019. Bitkisel Atık Küllerinin Yapı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.

Moayad, N., Al-Khalaf, H., Yousiff, 1984. Use of rice husk ash in concrete The Int J Cem Compo Lightweight Concr, 6 (4), 241-248.

Pinto, J., Cruz, D., Paiva, A., Pereira, S., Tavares, P., Fernandes, L., Varum, H., 2012. Characterization of corn cob as a possible raw building material. Construction and Building Materials, 34, 28–33. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.014.

Rydholm, S. A., 1965. Pulping Processen, Intersciense Publishers, New York.

Smith, R. G., Kamwanga, G. A., 1986. The use of rice husk for making a cementitious material, Use of vegetable plants and fibres as building

materials. Joint symposium RILEM/CIB/CCL. Baghdad; 1986. p. E85–94.

Şimşek, O., 2004. Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yayıncılık, Ankara.

TÜİK, Tarım İstatistikleri, Dış Ticaret İstatistikleri ve Fiyat İstatistikleri Veritabanları, 2020.






ISBN: 978-625-378-742-4