



ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ ALANINDA AKADEMİK ÇALIŞMALAR XI

EDİTÖR
Doç. Dr. Vedat BEYYAVAŞ



İKSAD
Publishing House

ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ ALANINDA AKADEMİK ÇALIŞMALAR XI

EDİTÖR

Doç. Dr. Vedat BEYYAVAŞ

YAZARLAR

Prof. Dr. Sezai ERCİŞLİ

Doç. Dr. Ayşen Melda ÇOLAK

Doç. Dr. Gülçe İLHAN

Doç. Dr. Neriman Tuba BARLAS

Doç. Dr. Nuray DEMİR

Doç. Dr. Vedat BEYYAVAŞ

Dr. Öğr. Üyesi Muzaffer KIRPIK

Öğr. Gör. Dr. Fatma ALAN

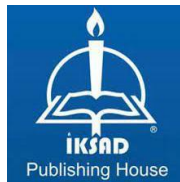
Dr. Fahriye ÜMÜT

Öğr. Gör. İsmail BAYYIĞIT

Ayşegül DİKER

Fatma ERDİL

İbrahim Kürşat BÜLBÜL



Copyright © 2025 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 – 2025©

ISBN: 978-625-378-275-7
Cover Design: İbraihm KAYA
July / 2025
Ankara / Türkiye
Size: 16x24cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....1

BÖLÜM 1

TÜRKİYE'DE PAMUKTA YABANCI OT YÖNETİMİNDE SON GELİŞMELER

Doç. Dr. Vedat BEYYAVAŞ.....3

BÖLÜM 2

KURAKLIĞIN ENDÜSTRİ BİTKİLERİNE OLASI ETKİLERİ

Doç. Dr. Vedat BEYYAVAŞ.....19

BÖLÜM 3

KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SENARYOLARININ KAVŞAĞINDA ZEYTİN

Öğr. Gör. İsmail BAYYİĞİT

Doç. Dr. Nuray DEMİR

Prof. Dr. Sezai ERCİŞLİ

Doç. Dr. Gülçe İLHAN.....37

BÖLÜM 4

KURAK ALANLARDA LAVANTA YETİŞTİRİCİLİĞİ

Dr. Öğr. Üyesi Muzaffer KIRPIK.....49

CHAPTER 5

SEEDLING PRODUCTION AND CERTIFICATION

Fatma ERDİL

Ayşegül DİKER

Assoc. Prof. Dr. Ayşen Melda ÇOLAK.....63

BÖLÜM 6

SİYAH ASKER SİNEĞİ (*Hermetia illucens*) LARVA ÜRETİM ATIĞININ GÜBRE OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Neriman Tuba BARLAS

İbrahim Kürşat BÜLBÜL.....87

BÖLÜM 7

TURUNÇGİLLERDE MAKRO BESİN ELEMENTLERİNİN (N, P, K, Ca, Mg) MEYVE KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Doç. Dr. Neriman Tuba BARLAS.....103

CHAPTER 8

USE OF TECHNOLOGY IN BERRY HARVESTING

Lecturer Dr. Fatma ALAN

Assoc. Prof. Dr. Ayşen Melda ÇOLAK.....123

BÖLÜM 9

SU ÜRÜNLERİNDE AKILLI VE AKTİF PAKETLEME YÖNTEMLERİ

Dr. Fahriye ÜMÜT.....149

ÖNSÖZ

İklim değışikliğı, tarımsal üretimi doğrudan etkileyen kuraklık olaylarının sıklığını ve şiddetini artırmaktadır. Artan sıcaklıklar ve azalan yağışlar, toprak neminde azalmaya yol açarak bitkisel üretimde verim kayıplarına neden olur. Özellikle yağışa bağımlı tarım yapılan bölgelerde kuraklık, mahsul verimini önemli ölçüde düşürmekte ve gıda güvencesini tehdit etmektedir. Bu durum, çiftçilerin ekonomik gelirini azaltmakta, tarımsal üretimde sürdürülebilirliği zorlaştırmaktadır. İklim değışikliğine uyum sağlamak için su yönetimi, kuraklığa dayanıklı tohum kullanımı ve tarımsal planlamada iklim verilerinin dikkate alınması gibi önlemler giderek daha büyük önem kazanmaktadır.

Doç. Dr. Vedat BEYYA VAŞ

BÖLÜM 1

TÜRKİYE'DE PAMUKTA YABANCI OT YÖNETİMİNDE SON GELİŞMELER

Doç. Dr. Vedat BEYYAVAŞ¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16360873>

¹ Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Şanlıurfa, Türkiye.
vbeyyavas@harran.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-6516-9403

GİRİŞ

Türkiye'de pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) yetiştiriciliği, yabancı ot rekabeti nedeniyle önemli zorluklarla karşılaşmaktadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi, ülkenin pamuk üretiminin yaklaşık %60'ını karşılamaktadır (Basal ve ark., 2019; Tokel ve ark., 2022). Yabancı otlar, Türkiye'deki pamuk üretiminde önemli bir sınırlayıcı faktör oluşturmakta ve yabancı ot türlerinin bileşimi, yoğunluğu ve yönetim yaklaşımlarına bağlı olarak %30 ile %85 arasında verim kayıplarına yol açmaktadır (Arslan & Kitiş, 2021; Bükün, 2005; Özaslan ve ark., 2015; Süer & Tursun, 2024). Herbisitlere dirençli yabancı ot popülasyonlarının ortaya çıkması (Mennan ve ark., 2021), değişen iklim koşulları ve Palmer amaranthı (*Amaranthus palmeri*) gibi istilacı türlerin yayılımı (Mennan ve ark., 2021; Sırrı, 2022), Türkiye'nin pamuk üretim sistemlerinde yeni yabancı ot kontrol stratejilerine olan ihtiyacı artırmıştır. Ayrıca bitki besleme ile ilgili sorunlar da kontrol ve mücadele de diğer bileşenleri arasında yer alır (Beyyavaş ve ark., 2022).

Bu bölüm, 2020 yılından bu yana Türkiye'de pamukta yabancı ot yönetimi araştırmalarındaki son gelişmeleri analiz etmektedir. Güncel yabancı ot yönetimi sorunlarını çözmek için geliştirilen yenilikçi teknolojiler, sürdürülebilir uygulamalar ve entegre yönetim yöntemleri üzerinde durulmaktadır.

GÜNCEL YABANCI OT FLORASI VE TÜR DİNAMİKLERİ

2020-2021 yıllarında Türkiye'nin önemli pamuk üretim bölgelerinde yürütülen kapsamlı araştırmalar (Arslan & Kitiş, 2021; Özaslan vd., 2015; Serim vd., 2023; Süer & Tursun, 2024), Türk pamuk tarlalarındaki mevcut yabancı ot florasının bileşimi hakkında önemli bulgular ortaya koymuştur (Süer & Tursun, 2024). Çalışmalar, 16 familyaya ait 43 yabancı ot türü tespit etmiş ve bu da geleneksel kontrol stratejilerini zorlaştıran zengin ve karmaşık bir bitki ekolojisini ortaya koymaktadır.

En yaygın olarak tanımlanan yabancı ot grupları Poaceae (7 tür) - baskın çayır otu popülasyonları, Asteraceae (6 tür) - zorlu geniş yapraklı türler içeren, Euphorbiaceae ve Amaranthaceae, her biri beş tür içeren ve yüksek derecede rekabetçi taksonlara sahip familyalardır (Alptekin vd., 2022; Arslan & Kitiş, 2021; Süer & Tursun, 2024; Yeşilayer vd., 2024).

Türk pamuk tarlalarında kaydedilen en yaygın ve zararlı yabancı ot türleri şunlardır: *Amaranthus retroflexus* L. (kırmızı köklü horozibiği), *Convolvulus arvensis* L. (tarla sarmaşığı), *Cyperus rotundus* L. (topalak), *Echinochloa colonum* (L.) Link (sıklıkla cangıl pirinci olarak bilinir), *Physalis* türleri (yer kirazı), *Portulaca oleracea* L. (semizotu), *Solanum nigrum* L. (köpek üzümü), *Sorghum halepense* (L.) Pers. (kanyaş) ve *Xanthium strumarium* L. (adi pıtrak) (Alptekin vd., 2022; Arslan & Kitiş, 2021; Süer & Tursun, 2024; Yeşilayer vd., 2024).

Türk pamuk üretiminde yabancı ot kontrolü açısından oldukça endişe verici bir gelişme, ilk kez Güneydoğu Anadolu bölgesinde tespit edilen Palmer amaranthı (*Amaranthus palmeri*) varlığının doğrulanmasıdır (Matzrafi vd., 2025; Mennan vd., 2021; SIRRI, 2022). Hızlı büyümesi ve herbisit direnci geliştirme yeteneğiyle bilinen bu istilacı tür, Türk pamuk üreticileri için önemli zorluklar oluşturmaktadır. 2024 yılı araştırmaları, pamuk sırasında metrede yalnızca bir Palmer amaranth bitkisinin bile pamuk üretimini belirgin şekilde azalttığını, sıra başına iki ve dört bitki yoğunluğunda ise sırasıyla %51-63 ve %75-79 verim kayıplarına yol açtığını göstermektedir (Matzrafi vd., 2025).

HERBİSİT DİRENCİ EVRİMİ VE YÖNETİMİ

2020 yılından bu yana Türkiye'de herbisit direnci vakalarında endişe verici bir artış gözlemlenmiştir. 2023 yılında Palmer amaranthı (*Amaranthus palmeri*) popülasyonlarında en az iki farklı herbisit etki mekanizmasına karşı çoklu herbisit direnci doğrulanmıştır (Matzrafi vd., 2025; Mennan vd., 2021). Bu durum, Türkiye'deki yabancı ot mücadelesinde önemli bir dönüm noktası teşkil etmektedir, zira direnç gelişiminin ardından Palmer amaranthı popülasyonları yönetimi en zorlu türler arasında yer almaktadır.

Bunun yanı sıra, Türkiye'nin buğday üretim sistemlerinde *Avena sterilis* subsp. *ludoviciana* (yabani yulaf) popülasyonlarında görülen direnç, pamuğu da içeren ürün rotasyon şemalarını etkilemektedir (TÜRKSEVEN vd., 2022). Rotasyon ürünlerindeki herbisit dirençli yabani yulaf popülasyonları, pamuk bazı üretim sistemlerinde yabancı ot kontrol stratejileri üzerinde daha fazla seçim baskısı oluşturmaktadır.

Türkiye'deki *Amaranthus palmeri* biyotiplerinde glifosat direnci üzerine yapılan son çalışmalar, farklı derecelerde direnç gelişimi olduğunu ortaya koymuştur (Mennan vd., 2021). Mevcut direnç seviyeleri şu an için önemli bir

yabancı ot kontrol sorunu oluşturmuyor olsa da, araştırmacılar ilave direnç gelişimini önlemek için herbisit rotasyon taktiklerinin kullanılmasının esaslı bir gereklilik olduğunu vurgulamaktadır.

Uluslararası Herbisit Dirençli Yabancı Ot Veritabanı, Türkiye'de artık birçok dirençli yabancı ot türünün bulunduğunu doğrulamakta ve direnç yönetimi önlemlerinin kritik önem taşıdığını ortaya koymaktadır. Bu durum, tek bir etki mekanizması üzerindeki seçim baskısını hafifleten entegre yabancı ot kontrol stratejilerine yönelik yeni bir ilgiyi tetiklemiştir (Gülbüz vd., 2025).

KİMYASAL KONTROLDEKİ GELİŞMELER

Türkiye'de pamuk üretiminde yapılan son çalışmalar, geleneksel (transgenik olmayan) pamuk çeşitlerinde geniş yapraklı yabancı ot kontrolü için tercih edilen yöntem olan çıkış öncesi herbisit uygulamalarının iyileştirilmesine odaklanmıştır. 2021-2023 yılları arasında Diyarbakır'da yürütülen araştırmalar, yabancı ot kontrol etkinliğini artırırken ürün güvenliğini sağlayan yenilikçi herbisit kombinasyonlarını değerlendirmiştir (Pala & Mennan, 2019).

Klomazon bazlı formülasyonlar son çalışmalarda dikkat çekici etkinlik göstermiştir. Araştırmalar farklı kombinasyonların kapsamlı yabancı ot kontrolü sağladığını ortaya koymaktadır. Bu kombinasyonlar şunları içermektedir:

0.2 L ha⁻¹ klomazon + 1.5 L ha⁻¹ flumeturon

0.2 L ha⁻¹ klomazon + 2 L ha⁻¹ flumeturon

0.4 L ha⁻¹ klomazon + 1.5 L ha⁻¹ pendimetalin

0.3 L ha⁻¹ klomazon + 2 L ha⁻¹ pendimetalin (Pala & Mennan, 2019)

Bu çalışmalar, klomazon içeren formülasyonların ekim öncesi herbisit uygulamalarının etkinliğini belirgin şekilde artırdığını göstermekte olup, optimal klomazon-flumeturon kombinasyonlarının en yüksek pamuk verimini (>5 t ha⁻¹) sağladığı tespit edilmiştir.

Herbisit direncinin gelişmesiyle birlikte çıkış sonrası yabancı ot yönetim stratejileri daha da önem kazanmıştır. Pamukta çıkış sonrası herbisitlerin karşılaştırmalı değerlendirmeleri, glifosat, parakuat, dikamba ve S-metolaklor uygulamalarının etkinliğini analiz etmiştir. Bulgular, dikamba'nın çeşitli yabancı ot türlerinde daha tutarlı çıkış sonrası kontrol sağladığını, S-metolaklor'un ise en düşük etkinliği gösterdiğini ortaya koymuştur.

Çıkış öncesi ve çıkış sonrası herbisitlerin entegrasyonu, Türkiye'de pamukta sürdürülebilir yabancı ot kontrolünün temelini oluşturmaktadır. Çalışmalar, kombine çıkış öncesi ve sonrası stratejilerin pamuk lif verimini ve su kullanım etkinliğini artırırken direnç gelişim olasılığını azalttığını göstermektedir (Sajjad vd., 2023).

HASSAS TARIM VE TEKNOLOJİ ENTEGRASYONU

Türk pamuk üretimi, yapay zeka teknolojileri kullanarak yabancı ot tanımlama ve kontrolünde teknolojik bir dönüşüm yaşamaktadır. YOLOv8 tabanlı çoklu yabancı ot tespit sistemlerindeki son gelişmeler, pamuk tarlalarında 12 yabancı ot türünü tanımlamada %96,1 doğruluk oranına ulaşmıştır (Khan vd., 2025). Bu yapay zeka destekli yöntemler, tür ve konuma özel yabancı ot yönetimine olanak sağlayarak geleneksel geniş spektrumlu herbisit uygulamalarına kıyasla önemli bir iyileşme sağlamaktadır.

YOLO11n mimarilerini kullanan derin öğrenme modelleri, pamukta yabancı ot tanımlamada dikkat çekici etkinlik göstermiş olup, nesne tespiti için 0,98 ortalama hassasiyet (mAP@50) ve 0,99 doğruluk oranları elde etmiştir. Bu sistemler, gerçek zamanlı yabancı ot tanımlamayı bitki örtüsüne duyarlı püskürtme teknolojisiyle entegre ederek, herbisit uygulama oranlarının yabancı ot yoğunluğu ve bitki örtüsü özelliklerine göre dinamik olarak ayarlanmasına imkan tanımaktadır (Upadhyay vd., 2025).

Multispektral ve termal görüntüleme donanımlı İnsansız Hava Sistemleri (İHA), Türk pamuk tarımında yabancı ot haritalamada devrim yaratmıştır. Son araştırmalar, drone ile elde edilen RGB fotoğrafların istilacı yabancı ot türlerini tanımlamak için derin öğrenme modellerini eğitmede etkili olduğunu göstermekte olup, optimum görüntüleme koşullarında 0,95'e ulaşabilen 0,85'in üzerinde F1-skorları elde edilmiştir (Fan vd., 2023; Memon vd., 2025). Termal görüntüleme ve görünür spektrum verilerinin kombinasyonu, yabancı otlar ile ürünler arasında ayırım yapmada önemli potansiyel göstermiştir. Termal ölçümler, diğer uzaktan algılama verileriyle entegre edildiğinde yabancı ot haritalama hassasiyetini artırarak çiftçilere hedefli herbisit uygulamaları için doğru mekansal bilgi sağlamaktadır.

Optik kamera ve sensörler kullanarak bireysel yabancı otları veya yabancı ot kümelerini tespit eden hassas püskürtme sistemleri, Türk pamuk yetiştiriciliğinde öne çıkmaktadır. Bu sistemler, yalnızca gerekli alanlarda

yüksek herbisit uygulama oranları kullanarak yaygın uygulama yöntemlerine kıyasla toplam herbisit tüketimini %70-90 oranında azaltmaktadır. Robotik püskürtme sistemlerinin son saha testleri, yapay zeka destekli hassas püskürtücülerin pamuk bitkilerinin %78,7'sini korurken yabancı otların %88,8'ini tespit edip müdahale edebildiğini göstermektedir. Bu seçicilik düzeyi, etkili yabancı ot yönetimi sağlarken herbisit seçim baskısını azaltmada önemli bir ilerlemeyi temsil etmektedir (Darbyshire vd., 2023; Hu vd., 2024; Memon vd., 2025).

ÖRTÜ BİTKİLERİ VE KÜLTÜREL YÖNETİM STRATEJİLERİ

2021-2024 yılları arasında yürütülen araştırmalar, örtü bitkilerinin Türkiye pamuk sistemlerinde yabancı ot azaltma konusunda önemli potansiyele sahip olduğunu göstermiştir. Tahıl çavdarı örtü bitkileri, belirli herbisit uygulamalarıyla birlikte kullanıldığında %96'ya varan yabancı ot kontrolü sağlayarak önemli etkinlik göstermiştir. Çeşitli örtü bitkisi türleri (kırmızı yonca, tahıl çavdarı, yulaf, turp ve bunların kombinasyonları) üzerine yapılan çalışmalar, yüksek kalıntı bırakan örtü bitkilerinin (özellikle tahıl çavdarı) herbisit stratejileriyle birlikte kullanıldığında kış nadas sistemlerini aşan sinerjik faydalar sağladığını ortaya koymuştur. Bu yöntem, Türk pamuk yetiştiriciliğinde en zorlu bitki olan Palmer amaranthına karşı özellikle etkilidir (Kumari vd., 2024; Price vd., 2021).

Son çalışmalar, herbisit direncinin ortaya çıkmasını hafifletmede ürün rotasyonunun faydalarını değerlendirmiştir. Ürün rotasyonu, direnç gelişme olasılığını yaklaşık %50 oranında azaltabilir ve direnç evrimini 2-3 yıl geciktirebilir. Bu bulgu, yoğun üretim teknikleriyle uğraşan Türk pamuk üreticileri için büyük önem taşımaktadır.

Organik üretim sistemlerinde ürün rotasyonunun yabancı ot yoğunluğu üzerindeki etkisini inceleyen araştırmalar, rotasyon yöntemlerinin kültürel uygulamalarla kontrol edilebilen yıllık yabancı otların yönetiminde oldukça faydalı olduğunu göstermektedir. Farklı ekim programlarına, büyüme özelliklerine ve yönetim ihtiyaçlarına sahip rotasyon ürünlerinin entegrasyonu, yabancı ot yaşam döngülerini kesintiye uğratmakta ve yabancı ot tohum bankalarının birikimini azaltmaktadır (Boltayev & Boltayev, 2021).

ENTEĞRE YABANCI OT YÖNETİM SİSTEMLERİ

Son Türk araştırmaları, sürekli yabancı ot azaltma sağlarken herhangi bir tek yönetim yöntemine bağımlılığı en aza indiren Entegre Yabancı Ot Yönetimi (EYOY) sistemlerinin formülasyonunu vurgulamıştır. Bu sistemler şunları içerir: Önleyici stratejiler, yani tohum saflaştırma, ekipman dezenfeksiyonu ve tarla gözetimi, İdeal ekim programları, sıra arası mesafe ve besin yönetimini içeren kültürel uygulamalar, Hassas tarım ve otomatik yabancı ot yönetim sistemleri gibi mekanik düzenleme ve Sistematik pestisit rotasyonu ve hedefli uygulamadan oluşan kimyasal yönetim (Tokel ve ark., 2022).

Türk pamuk üretiminde değerlendirilen entegre su yönetim yöntemleri önemli ekonomik avantajlar sağlamaktadır. Araştırmalar, pendimetalin ile mekanik çapalamayı birleştiren entegre stratejilerin, yalnızca herbisit programlarına kıyasla en büyük ekonomik getiriye sağladığını ve çevresel etkiyi en aza indirdiğini göstermektedir. Entegre Su Yönetim sistemlerinde su kullanım verimliliği üzerine yapılan araştırmalar, damla sulama sistemlerinde hem çıkış öncesi hem de çıkış sonrası herbisitlerin uygulanmasının yabancı ot kontrolünü ve su üretimini önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Bu bulgu, kurak koşullardaki Türk pamuk yetiştiriciliği için özellikle geçerlidir (Tokel ve ark., 2022).

2020'den bu yana, Türk araştırma enstitüleri yabancı ot yönetimi için alelopatik teknikler üzerine araştırmalarını artırmıştır. Araştırmalar, pamuk bitkisi sağlığını tehlikeye atmadan yabancı ot çimlenmesini ve gelişimini engelleyen bitki kaynaklı maddelerin izolasyonuna odaklanmaktadır. Ürün kalıntılarından elde edilen benzoksazinoidler ve diğer biyoaktif metabolitler, Entegre Yabancı Ot Yönetim sistemlerinde kullanım potansiyeline sahiptir. Ürün-yabancı ot alelopatik etkileşimleri üzerine yapılan araştırmalar, bazı rotasyon ürünlerinin gelecekteki yabancı ot popülasyonları üzerinde kalıcı baskılayıcı etkiler sağlayabileceğini göstermiştir. Örtü bitkisi kalıntılarından elde edilen alelopatik maddeler, iyi yönetildiğinde ve diğer yönetim stratejileriyle birleştirildiğinde mevsim boyunca uzun süreli yabancı ot baskılama sağlayabilir.

Biyolojik kontrol bağımsız bir strateji olarak sınırlı ticari etkinlik göstermiş olsa da, yeni çalışmalar genel sistem performansını iyileştirmek için biyokontrol ajanlarının diğer yönetim teknikleriyle entegrasyonunu

vurgulamaktadır. Araştırmalar, belirli istilacı bitki türleri için yerli doğal yarıtcılar ve ithal biyolojik kontrol ajanlarının etkinliğini araştırmaktadır.

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE UYUM VE GELECEK ZORLUKLAR

İklim değişikliği ve Türkiye'deki sulama altyapısının genişlemesi, pamuk yabancı ot türlerinin bileşimini önemli ölçüde değiştirmektedir (Öztop, 2023). Tarımsal sulamanın artması ve toprak yönetim uygulamalarındaki değişikliklerin yabancı ot ekosistemlerini etkilemesi beklenmekte ve uyum sağlayıcı yönetim önlemlerini gerekli kılmaktadır. Araştırmalar, yabancı ot popülasyonlarında görülen artan genetik çeşitlilik ve ekolojik uyum nedeniyle, iklim değişikliğinin muhtemelen yabancı otların lehine olacağını göstermektedir (Clements & Jones, 2021). Bu eğilim, daha dayanıklı pamuk çeşitlerinin geliştirilmesini ve uyarlanabilir yönetim yaklaşımlarını gerektirmektedir.

Türkiye'nin pamuk üretiminde Palmer amaranthının (*Amaranthus palmeri*) ortaya çıkışı, gelecekteki endişeleri örnekleyen iklim kaynaklı bir istilayı temsil etmektedir. Palmer amaranthının başarısı, Akdeniz tarım alanlarında yerleşmesini ve yayılmasını destekleyen iklim faktörleriyle ilişkilidir. Araştırmalar, devam eden gözetim ve hızlı müdahale önlemlerinin, Türkiye'nin pamuk yetiştirme alanlarında Palmer amaranthının yaygın şekilde gelişmesini önlemede kritik olduğunu göstermektedir. Bu durum, hızlı tepki tekniklerinin ve yerleştirilmiş yönetim önerilerinin oluşturulmasını gerektirmektedir.

SÜRDÜRÜLEBİLİR ÜRETİM SİSTEMLERİ VE ORGANİK YAKLAŞIMLAR

Türkiye'nin doğal renkli ve organik pamuk üretiminde öncü konumu, sürdürülebilir yabancı ot kontrolü seçeneklerine yönelik araştırmaları teşvik etmiştir (Gürsoy vd., 2024). Organik pamuk sistemleri, tatmin edici yabancı ot yönetim seviyelerine ulaşmak için büyük ölçüde kültürel yöntemlere, mekanik kontrole ve ürün rotasyonuna dayanmaktadır. Organik pamuk yetiştiriciliğinde yapılan son araştırmalar, mekanik ve kültürel kontrol yöntemlerinin entegrasyonunun doğru şekilde uygulandığında, geleneksel herbisit uygulamalarına benzer yabancı ot baskılama etkinliği sağlayabileceğini

göstermektedir. Bu sistemler artan işgücü girdileri gerektirir ancak ek maliyetleri telafi eden çevresel avantajlar ve pazar teşvikleri sunar.

Sürdürülebilir pamuk üretim sistemleri üzerine yapılan araştırmalar, verimlilik ve çevresel hedeflere ulaşmak için çeşitli agronomik yaklaşımların entegrasyonunun önemini vurgulamaktadır. Sürdürülebilir yabancı ot kontrol stratejileri, hassas tarım teknolojilerini ekolojik ilkelerle birleştirerek dış girdileri azaltırken ürün verimliliğini korumaktadır. Araştırmalar, sürdürülebilir pamuk üretim sistemlerinin entegre yönetim stratejileriyle herbisit kullanımını en aza indirirken yüksek verimlere ulaşabileceğini göstermektedir. Bu sistemler, zamanlamaya, çeşitli yaklaşımların senkronizasyonuna ve gerçek zamanlı tarla koşullarından beslenen adaptif yönetime dikkatli bir şekilde dikkat etmeyi gerektirir.

GELECEK YÖNELİMLER VE YENİ TEKNOLOJİLER

Gelişmiş sensör teknolojileri ve makine öğrenimi algoritmaları hızla ilerlemektedir. Geleceğin yabancı ot tespit sistemleri, hiperspektral görüntüleme, ısı sensörleri ve yapay zeka kullanarak gerçek zamanlı, türe özgü yabancı ot tanımlama ve tedavi önerileri sunacaktır. Çalışmalar, görsel, termal ve hiperspektral verileri entegre eden çoklu sensör füzyon tekniklerinin yabancı ot tanımlama hassasiyetini belirgin şekilde artırdığını ve daha doğru tedavi seçimlerini kolaylaştırdığını göstermektedir.

Tamamen otomatik yabancı ot kontrol teknolojilerinin geliştirilmesi, pamukta yabancı ot yönetiminde yeni bir ufuk anlamına gelmektedir. Otonom tarla navigasyonu, yabancı ot tanımlama ve hedefli tedavi konusunda yetkin robotik sistemler ticari uygulanabilirliğe yaklaşmaktadır. İnsan karar alma süreçleriyle otomatik uygulamayı birleştiren ko-robotik sistemler, Türk pamuk üretiminde hassas yabancı ot kontrolünün uygulanması için anında çözümler sunmaktadır. Bu yöntemler, karmaşık yabancı ot kontrol kararları için gerekli esnekliği korurken işgücü ihtiyacını azaltabilir.

Yeni herbisit keşfi ve geliştirilmesine yönelik araştırmalar, doğal ürünlerden türetilen kimyasallara ve yenilikçi etki mekanizmalarına odaklanarak devam etmektedir. Bu gelişmeler, herbisit dirençli yabancı ot popülasyonlarının kontrolü ve çevresel zararın en aza indirilmesi için esastır. Herbisit emdirilmiş gübre çözümleri, kalıntılı yabancı ot yönetimini uzatırken uygulama süreçlerini basitleştirme potansiyeline sahiptir. Son araştırmalar, bu

teknolojilerin ürün zararı riskini artırmadan Palmer amaranthını etkili şekilde yönetebileceğini göstermektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

2020'den beri Türk pamuk yabancı ot kontrolündeki son gelişmeler, hem acil verimlilik sorunlarını hem de uzun vadeli sürdürülebilirlik zorluklarını ele alan entegre, teknoloji odaklı stratejilere doğru belirgin bir kaymayı göstermektedir. Özellikle Palmer amaranthı gibi herbisit dirençli yabancı otların yükselişi, hassas tarım teknolojilerinin ve entegre yönetim sistemlerinin benimsenmesini hızlandırmıştır.

Türk pamuk çiftçileri için temel öneriler şunları içerir:

1. Pestisit rotasyonu, kültürel uygulamalar ve alternatif kontrol tekniklerini içeren kapsamlı direnç yönetim önlemleri uygulayın
2. Yabancı ot sorunlarının erken tespiti ve hedefli yönetimi için hassas tarım teknolojilerine yatırım yapın
3. Herbisit seçim baskısını azaltmak ve toprak sağlığını iyileştirmek için örtü bitkilerini kullanın ve ürün rotasyonu uygulayın
4. Palmer amaranthı gibi istilacı türler için bölgeye özgü yönetim prosedürleri geliştirin
5. Tek bir stratejiye bel bağlamak yerine çoklu yönetim stratejilerini entegre edin

Türkiye'de pamuk yabancı ot kontrolünün geleceği, ortaya çıkan teknolojilerin sağlam ekolojik ilkelerle etkili şekilde birleştirilmesine bağlı olacaktır. Yükselen yabancı ot tehditlerine karşı verimli ve karlı pamuk üretimini sürdürmek için hassas tarım, sürdürülebilir üretim yöntemleri ve direnç yönetimine devam eden yatırım kritik öneme sahiptir.

2020'den beri yürütülen araştırmalar, mevcut zorlukları ele alabilen ve gelecekteki tehditlere karşı direnci artırabilen yeni nesil yabancı ot kontrol sistemlerinin geliştirilmesi için sağlam bir temel sağlamaktadır. Başarı, gelişmelerin pratik, ekonomik açıdan uygulanabilir ve ekolojik olarak sürdürülebilir olmasını sağlamak için akademisyenler, teknoloji geliştiriciler ve pamuk yetiştiricileri arasında sürekli işbirliği gerektirir.

KAYNAKÇA

- Alptekin, H., Gürbüz, R., Özkan, A., & Bozhüyük, A. U. (2022). Mardin ili yabancı ot sorununun ve kimyasal mücadele durumunun belirlenmesi. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 23(1), 84–93.
- Arslan, E., & Kitiş, Y. E. (2021). Antalya ili pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) ekim alanlarında görülen yabancı otlar ve popülasyon durumları. Turkish Journal of Weed Science, 24(2), 141–149.
- Basal, H., Karademir, E., Goren, H. K., Sezener, V., Dogan, M. N., Gencsoylu, I., & Erdogan, O. (2019). Cotton Production in Turkey and Europe. In Cotton Production (pp. 297–321). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119385523.ch14>
- Beyyavaş, V., Cun, S., Çelik, A., Ramazanoğlu, E., (2022). The Importance of Macro and Micro Nutrients In Cotton (*Gossypium Hirsutum* L.) Plant in Terms of Sustainable Agriculture. Agricultural and Environmental Reports For Sustainable Future. Iksad Publications – 2022© ISBN: 978-625-8246-18-6, ANKARA.
- Boltayev, B., & Boltayev, S. (2021). Management methods of harmful pests in the cotton-wheat crop rotation system. E3S Web of Conferences, 244, 02049. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124402049>
- Bükün, B. (2005). Weed flora changes in cotton growing areas during the last decade after irrigation of Harran plain in Şanlıurfa, Turkey. Pakistan Journal of Botany, 37(3), 667–672.
- Clements, D. R., & Jones, V. L. (2021). Rapid Evolution of Invasive Weeds Under Climate Change: Present Evidence and Future Research Needs. Frontiers in Agronomy, 3. <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.664034>
- Darbyshire, M., Salazar-Gomez, A., Gao, J., Sklar, E. I., & Parsons, S. (2023). Towards practical object detection for weed spraying in precision agriculture. Frontiers in Plant Science, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1183277>
- Fan, X., Chai, X., Zhou, J., & Sun, T. (2023). Deep learning based weed detection and target spraying robot system at seedling stage of cotton field. Computers and Electronics in Agriculture, 214, 108317. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108317>

- Gürbüz, R., Usanmaz Bozhüyük, A., Alptekin, H., & Taşkın, R. (2025). Investigation of Weeds Problematic in Agricultural Areas of Adana Province and Chemical Control Status. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18(1), 229–247. <https://doi.org/10.18185/erzifbed.1586325>
- Gürsoy, S., Akın, S., & Grichar, W. J. (2024). Best Crop Management and Processing Practices for Sustainable Cotton Production. *BoD–Books on Demand*.
- Hu, J., Gong, H., Li, S., Mu, Y., Guo, Y., Sun, Y., Hu, T., & Bao, Y. (2024). Cotton Weed-YOLO: A Lightweight and Highly Accurate Cotton Weed Identification Model for Precision Agriculture. *Agronomy*, 14(12), 2911. <https://doi.org/10.3390/agronomy14122911>
- Khan, A. T., Jensen, S. M., & Khan, A. R. (2025). Advancing precision agriculture: A comparative analysis of YOLOv8 for multi-class weed detection in cotton cultivation. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 15(2), 182–191. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2025.01.013>
- Kumari, A., Price, A. J., Gamble, A., Li, S., & Jacobson, A. (2024). Synergistic effect of cover crops residue and herbicides for effective weed management in southern U.S. cotton production systems. *Weed Technology*, 38, e73. <https://doi.org/10.1017/wet.2024.49>
- Matzrafi, M., Scarabel, L., Milani, A., Iamónico, D., Torra, J., Recasens, J., Montull, J. M., Llenes, J. M., Gazoulis, I., Tataridas, A., Rubin, B., Pardo, G., Cirujeda, A., Marí, A. I., Mennan, H., Kanatas, P., Dogan, M. N., Beffa, R., & Travlos, I. (2025). *Amaranthus palmeri* S. Watson: A new threat to agriculture in Europe and the Mediterranean region. *Weed Research*, 65(1). <https://doi.org/10.1111/wre.12596>
- Memon, M. S., Chen, S., Shen, B., Liang, R., Tang, Z., Wang, S., Zhou, W., & Memon, N. (2025). Automatic visual recognition, detection and classification of weeds in cotton fields based on machine vision. *Crop Protection*, 187, 106966. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.106966>
- Mennan, H., Kaya-Altop, E., Belvaux, X., Brants, I., Zandstra, B. H., Jabran, K., & Uysal, M. Ş. (2021). Investigating glyphosate resistance in *Amaranthus palmeri* biotypes from Turkey. *Phytoparasitica*, 49(5), 1043–1052. <https://doi.org/10.1007/s12600-021-00910-2>

- Özaslan, C., Akın, S., & Gürsoy, S. (2015). Weed control and crop production practices in cotton production in Diyarbakır Province of Turkey. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Journal of Agricultural Sciences*, 25(1).
- Öztop, Z. (2023). *Xanthium spinosum L.’un İklim Değişikliğine Bağlı Olarak Global Düzeyde Potansiyel Dağılım Alanlarının Belirlenmesi*. [Mastes Thesis]. Harran University.
- Pala, F., & Mennan, H. (2019). Clomazone Aktif Maddesinin Yarı Kurak Koşullarda Geleneksel Pamuk (*Gossypium hirsutum L.*) Tarlalarında Yabancı Ot Kontrolünde Çıkış Öncesi Herbisitlerle Tank Karışımı. *European Journal of Science and Technology*, 1256–1262. <https://doi.org/10.31590/ejosat.658839>
- Price, A. J., Nichols, R. L., Morton, T. A., Balkcom, K. S., Grey, T. L., & Li, S. (2021). Effect of cover-crop biomass, strip-tillage residue disturbance width, and PRE herbicide placement on cotton weed control, yield, and economics. *Weed Technology*, 35(3), 385–393. <https://doi.org/10.1017/wet.2021.8>
- Sajjad, Z., Saqib Sabir, M., Ali Siddique, A., Subhan, M., Ali Hashmi, Q., Zulfiqar Ali, U., Hussain, D., & Ali, A. (2023). Comparative evaluation of four herbicides for effective control of post-emergence weeds in cotton fields. *Journal Of Oasis Agriculture And Sustainable Development*, 5(4), 19–26. <https://doi.org/10.56027/JOASD.212023>
- Serim, A. T., Özkil, M., Üremiş, İ., & Uludag, A. (2023). Changes in the weed flora of cotton fields in the Eastern Mediterranean region of Türkiye. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 28(3), 633–648. <https://doi.org/10.37908/mkutbd.1325888>
- Sirri, M. (2022). Güneydoğu Anadolu Bölgesi İçin Yeni Bir Risk *Amaranthus palmeri*. *MAS Journal of Applied Sciences*, 7(4), 1072–1090.
- Süer, İ. E., & Tursun, N. (2024). Weeds in the cotton growing areas in the Southeastern Anatolia Region. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 28(2), 209–221. <https://doi.org/10.29050/harranziraat.1406951>
- Tokel, D., Dogan, I., Hocaoglu-Ozyigit, A., & Ozyigit, I. I. (2022). Cotton Agriculture in Turkey and Worldwide Economic Impacts of Turkish Cotton. *Journal of Natural Fibers*, 19(15), 10648–10667. <https://doi.org/10.1080/15440478.2021.2002759>

- Türkseven, S. G., Uludağ, A., Demirci, M., & Serim, A. T. (2022). Herbicide resistance in *Avena sterilis* subsp *ludoviciana* populations from the wheat fields of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 46(6), 888–897. <https://doi.org/10.55730/1300-011X.3050>
- Upadhyay, A., G C, S., Das, S., Mettler, J., Howatt, K., & Sun, X. (2025). Multiclass weed and crop detection using optimized YOLO models on edge devices. *Journal of Agriculture and Food Research*, 22, 102144. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102144>
- Yeşilayer, A., Gözener, B., & Ünal, C. (2024). Aydın İli Pamuk Üretiminde Bitki Koruma Sorunları. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 12(5), 795–802.

BÖLÜM 2

KURAKLIĞIN ENDÜSTRİ BİTKİLERİNE OLASI ETKİLERİ

Doç. Dr. Vedat BEYYAVAŞ¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16361008>

¹ Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Şanlıurfa, Türkiye.
vbeyyavas@harran.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-6516-9403

GİRİŞ

Küresel iklim değişikliği, insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının artmasıyla birlikte dünya atmosferinde gözlenen uzun vadeli sıcaklık artışlarıdır (IPCC, 2022). Bu değişiklikler, sadece ortalama sıcaklıkları değil, aynı zamanda yağış rejimlerini, rüzgar paternlerini ve ekstrem hava olaylarının sıklığını ve şiddetini de değiştirmektedir. Bu bağlamda, kuraklık gibi doğal afetlerin meydana gelme sıklığı ve şiddeti artmaktadır (Dai, 2011). Kuraklık, belirli bir bölgedeki yağış miktarının uzun süreli azalması nedeniyle ortaya çıkan ve tarımsal üretim, su kaynakları ve ekosistemler üzerinde ciddi etkiler yaratabilen karmaşık bir çevresel fenomendir. Meteorolojik, hidrolik, tarımsal ve sosyoekonomik kuraklık olmak üzere çeşitli türleri vardır ve bu türler birbirleriyle etkileşim halindedir (Wilhite ve Glantz, 1985).

Tarım sektörü, suyun yoğun kullanıldığı ve iklim değişikliğine karşı yüksek hassasiyet gösteren bir sektördür. Kuraklık, bitkilerin büyüme ve gelişmesi için gerekli olan suyun yetersizliği nedeniyle fotosentez kapasitesini düşürür, besin maddelerinin alımını sınırlar ve ürün verimliliğinde azalmaya neden olur (Farooq ve ark., 2012). Bu durum, özellikle suya bağımlı endüstri bitkileri için kritik risk oluşturur. Aynı zamanda kuraklık, toprak yapısını olumsuz etkileyerek organik madde ayrışmasını yavaşlatır ve toprak mikroorganizmalarının faaliyetini sınırlar (Manzoni ve ark., 2014; Celik, 2019). Bu zincirleme etkiler, uzun vadede tarımsal üretim sürdürülebilirliğini tehdit eder. Tarımsal üretimin sürdürülebilirliği açısından kuraklığın etkilerinin anlaşılması, özellikle geniş alanlarda yetiştirilen ve sanayiye hammadde sağlayan endüstri bitkileri için hayati önem taşımaktadır.

Endüstri bitkileri; lif, yağ, şeker, nişasta ve protein gibi değerli içerikleri nedeniyle tarım ve sanayi arasında köprü görevi görmektedir. Bu bitkilerin büyük bir kısmı, suya orta veya yüksek düzeyde ihtiyaç duymaktadır. Dolayısıyla kuraklık, bu bitkilerin fizyolojik süreçlerini, ürün kalitesini ve toplam verimini olumsuz etkilemektedir. Endüstri bitkilerinin birçoğu yüksek su tüketimine sahiptir ve bu nedenle kuraklık dönemlerinde verim kayıplarına uğramaktadır. Örneğin, pamuk üretiminde kuraklık, lif kalitesi ve miktarında ciddi azalmalar yaratmaktadır (Wang ve ark., 2016). Benzer şekilde, ayçiçeği ve şeker pancarında da su stresine bağlı olarak ürün verimlerinde dalgalanmalar görülmektedir. Bu durum hem üretici hem de ülke ekonomisi için önemli riskler

oluşturur. Ayrıca, iklim değişikliği etkisiyle kuraklık dönemlerinin uzaması, mevcut tarımsal üretim sistemlerinin dayanıklılığını sorgulatmaktadır.

KURAKLIĞIN TARIMSAL SİSTEMLER ÜZERİNDEKİ GENEL ETKİLERİ

Meteorolojik kuraklık, uzun süreli yağış azalması anlamına gelirken; tarımsal kuraklık, bitkilerin ihtiyaç duyduğu suyun yetersizliği sonucu ortaya çıkar. Hidrolik kuraklık, yeraltı ve yüzey su kaynaklarının kritik seviyeye düşmesini ifade eder. Sosyoekonomik kuraklık ise su kaynaklarının talebi karşılayamaması sonucu toplumsal ve ekonomik etkilerin ortaya çıkmasıdır.



Şekil 1. Kuraklığın bitki ve toprak üzerine etkisi

Kuraklık, bitkisel üretimde temel olarak su stresine yol açarak fotosentez aktivitesini, karbon tutulumunu ve bitki büyümesini olumsuz etkiler (Farooq ve ark., 2012). Su yetersizliği, bitkilerin stomalarını kapatmasına sebep olur, bu da gaz değişimini sınırlar ve CO₂ alımını kısıtlar. Sonuç olarak, biyokütle üretimi ve verim önemli ölçüde azalır. Ayrıca, kuraklık bitkide oksidatif stres yaratarak hücre yapısında hasara yol açar. Kuraklık koşulları altında toprak nem içeriği azalır, bu da mikroorganizma faaliyetlerinin düşmesine, organik madde ayrışmasının yavaşlamasına ve toprağın fiziksel yapısının bozulmasına neden olur (Manzoni ve ark., 2014). Ayrıca, topraktaki tuz birikimi artabilir, bu da bitkilerin tuzluluk stresine maruz kalmasına yol açar.

Su kaynaklarının aşırı kullanımı ve kuraklık, tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Kuraklık periyotlarının uzaması, yer altı suyu seviyelerinin kritik seviyelere inmesine neden olur (Scanlon ve ark., 2012). Bu durum, özellikle sulamaya dayalı endüstri bitkilerinin üretiminde ciddi riskler oluşturur.

ENDÜSTRİ BİTKİLERİNİN SINIFLANDIRILMASI VE SU İHTİYAÇLARI

Pamuk

Pamuk, lif üretimi için yetiştirilen önemli bir endüstri bitkisidir. Yıllık su ihtiyacı yaklaşık 600–1200 mm arasında değişmekte olup, özellikle çiçeklenme ve koza oluşumu dönemlerinde suya yüksek derecede bağımlıdır. Su stresi bu dönemlerde ortaya çıktığında, koza sayısı ve lif kalitesi olumsuz etkilenir (Koudahe ve ark., 2021).

Ayçiçeği

Ayçiçeği, diğer yağlı tohumlu bitkilere kıyasla daha az suya ihtiyaç duyar. Ortalama su gereksinimi 400–600 mm (yaklaşık 500–670 mm) civarındadır. Ancak özellikle çiçeklenme ve tohum doldurma aşamalarında su stresine karşı duyarlıdır; bu dönemlerde su eksikliği tohum verimi ve yağ kalitesi üzerinde olumsuz etki yapabilir (Hussain ve ark., 2018).

Şeker Pancarı

Şeker pancarı suya oldukça duyarlı bir bitkidir. Yıllık su ihtiyacı 600–800 mm arasında değişmektedir (Pidgion ve ark., 2001). Kuraklık stresinde kök gelişimi olumsuz etkilenirken, şeker içeriği ve verim düşer.

Kanola

Kanola, 450–650 mm arasında su tüketir. Kuraklık, özellikle generatif dönemlerde yağ verimini ve tohum sayısını azaltır (Teshamariam ve ark., 2010; Morsi ve ark., 2023).

Keten ve Kenevir

Keten ve kenevir gibi lif bitkileri, genellikle daha az su tüketen türlerdir ancak su stresinde lif kalitesi ve üretim miktarları düşmektedir (Gill ve ark., 2023; Payment ve Cvetkovska, 2023).

KURAKLIĞIN ENDÜSTRİ BİTKİLERİNE ETKİLERİ

Kuraklık, endüstri bitkilerinde doğrudan verim düşüşüne yol açar. Su stresi döneminde bitkilerin büyüme hızları azalır, özellikle generatif organların gelişimi kısıtlanır. Örneğin, pamukta su eksikliği koza sayısını ve dolayısıyla lif üretimini ciddi oranda azaltır (Rehman ve ark., 2021; Herritt ve ark., 2022). Ayçiçeğinde ise tohum sayısı ve ağırlığında azalma görülür (Hussain ve ark., 2018). Şeker pancarında kök gelişimi sınırlanır, şeker içeriği ve pancar verimi düşer (Pidgion ve ark., 2001).

Kuraklık sadece bitki verimini değil, lif kalitesini de olumsuz etkiler. Pamukta su stresi dönemlerinde lif uzunluğu azalır ve lif dayanıklılığı (strength) geriler (Saini ve ark., 2023; Ul-Allah ve ark., 2021). Ayçiçeğinde su stresi, yağ verimini düşürür ve yağ asidi profilini (örneğin linoleik ve palmitik asit) önemli ölçüde değiştirir (Ebrahimian ve ark., 2019)).

Kuraklık, bitkilerin kök büyümesini ve derinleşmesini etkiler; bazı türlerde suyun derinlikten alınabilmesi için kök sistemi derinleşir (Lynch, 2013; Comas ve ark., 2013) ancak aşırı su stresi kök gelişimini sınırlandırabilir. Su stresinde bitkiler yaprak alanını küçültür ve stomatal sayısını azaltarak su kaybını engellemeye çalışır (Farooq ve ark., 2012). Bu adaptasyon fotosentez kapasitesini de kısıtlar. Kuraklık, fotosentetik pigmentlerin azalmasına, stomatal kapanmaya ve karbondioksit alımının azalmasına neden olur (Yohannes ve ark., 2017). Bu süreçte net fotosentez hızında önemli düşüşler gözlenir.

Su kaybını minimize etmek için transpirasyon hızı düşürülür. Bitkiler bu sayede su kullanım verimliliğini artırmaya çalışır (Du ve ark., 2020). Prolin, betain gibi osmotik düzenleyiciler kuraklık stresi altında birikir ve hücrelerin su tutma kapasitesini artırır (Peng ve ark., 2023).

Serbest radikallerle savaşmak için süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) gibi enzimler aktivitesi artar (Yohannes ve ark., 2017). DREB, NAC gibi gen ailesi stres toleransında rol oynar ve bu genlerin aktivasyonu kuraklık koşullarında artar (Zhang ve ark., 2020).

KURAKLIK ETKİLERİ VE ADAPTASYON MEKANİZMALARI

Pamukta Kuraklık Stresi ve Adaptasyon

Pamuk bitkisi, kuraklık dönemlerinde stomatal kapanma ile su kaybını azaltır ancak bu durum fotosentezi sınırlar (Han ve ark., 2023; Qiao ve ark., 2024). Ayrıca yaprak yüzeyinde tüylenme artışı, ışık yansımaları ve sıcaklık regülasyonu sağlar. Prolin gibi osmoprotektanların birikimi hücrede osmotik dengeyi korur. Pamukta su stresi, koza ve lif gelişiminde önemli azalmalar yaratır. Son yıllarda genetik ıslah çalışmaları, kuraklığa dayanıklı pamuk çeşitleri geliştirmeyi amaçlamaktadır. Özellikle DREB ve NAC gibi stresle ilişkili transkripsiyon faktörlerinin gen ekspresyonunun artırılmasıyla tolerans artırılmaya çalışılmaktadır (Manna ve ark., 2021; Ramazanoğlu ve ark., 2024).



Şekil 2. Pamuk bitkisinde kuraklık stresinin belirtileri

Ayçiçeğinde Kuraklık Tepkileri

Ayçiçeği, kuraklığa nispeten dayanıklı sayılır ancak gelişme dönemindeki su yetersizliği, çiçek sayısı ve tohum ağırlığını azaltır (Hussain ve ark., 2018). Yaprak alanı daralır, kök sistemi derinleşerek su arayışına girer. Ayrıca ayçiçeğinde kuraklık stresine karşı osmotik düzenleyiciler artar.



Şekil 3. Ayçiçeği bitkisinde kuraklık belirtileri

Şeker Pancarı ve Kuraklık

Şeker pancarında kuraklık, kök sisteminin büyümesini engeller ve böylece bitkinin su ve besin elementi alımı kısıtlanır (Pidgeon ve ark., 2001). Bu durum şeker verimini azaltır. Ayrıca kuraklıkta nitrat birikimi artarak şeker kalitesini düşürür.

Kanola ve Kuraklık Toleransı

Kanola, generatif dönemde su stresine oldukça duyarlıdır. Kuraklık kapsül sayısını ve tohum ağırlığını azaltır (Zhu ve ark., 2016; Raza ve ark., 2017). Genetik ıslah ve sulama teknikleriyle bu olumsuz etkilerin önüne geçilmeye çalışılmaktadır.

Kuraklığa Dayanıklı Endüstri Bitkisi Çeşitlerinin Islahı

Geleneksel Islah Yöntemleri

Kuraklığa dayanıklı çeşit geliştirme çalışmalarında uzun yıllardır klasik ıslah yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerde, doğal ya da yapay seleksiyon yoluyla su stresi altında üstün performans gösteren genotipler seçilir (Lopes ve ark., 2015). Melezleme ve geri melezleme teknikleri, kuraklık toleransının genetik olarak aktarılmasını sağlar. Ancak, geleneksel yöntemler uzun zaman alması ve genetik çeşitliliğin sınırlı olması nedeniyle bazı kısıtlamalara sahiptir.

Moleküler İslah ve Genetik Mühendislik

Moleküler biyoloji teknikleri, kuraklık toleransı genlerini tanımlama ve aktarma sürecinde devrim yaratmıştır. Marker destekli seçim (MAS) ile aranan özelliklere sahip genotiplerin hızlı tespiti mümkün olmaktadır (Moose ve Mumm 2008). Transgenik yaklaşımlarla ise stres tolerans genleri, bitkilerde aktif hale getirilerek su stresine karşı dayanıklılık artırılmaktadır.

CRISPR-Cas9 Teknolojisi ve Yeni Yaklaşımlar

CRISPR-Cas9 teknolojisi, gen düzenleme alanında yeni bir çığır açmıştır. Bu yöntemle bitki genomunda istenilen genlerde hedefli değişiklikler yapılarak, kuraklık toleransı artırılabilir (Liu ve ark., 2024). Örneğin, DREB ve NAC genlerinde yapılan düzenlemelerle bitkilerin stres yanıt mekanizmaları güçlendirilmiştir.

Marker Destekli Seçim (MAS)

MAS, DNA belirteçleri kullanarak istenilen genetik özelliklerin erken dönemde seçilmesini sağlar. Bu yöntemle zamandan tasarruf edilir ve ıslah programlarının etkinliği artırılır (Moose ve Mumm 2008). Endüstri bitkilerinde kuraklık toleransı için önemli genetik bölgeler tanımlanmıştır.

Biyoförmülasyon ve Mikrobiyal Destek

Son yıllarda bitkilerin kuraklık toleransını artırmak için mikrobiyal biyogübre ve probiyotiklerin kullanımı artmaktadır. Özellikle rizobakteriler, mykorizal mantarlar ve mikroalglerin bitki büyümesini teşvik ettiği ve su stresine karşı koruduğu rapor edilmiştir (Vurukonda ve ark., 2016).

KURAKLIK YÖNETİMİ VE TARIMSAL UYGULAMALAR

Sulama Yönetimi ve Teknolojileri

Damla sulama sistemleri

Damla sulama, suyun bitkinin kök bölgesine doğrudan verilmesiyle su kaybını minimize eden etkili bir sulama yöntemidir (Feres ve Soriano, 2007). Endüstri bitkilerinde damla sulama kullanımı, su verimliliğini artırırken kuraklık stresinin etkilerini azaltır.



Şekil 4. Pamukta damlama sulama sistemi

Su tasarrufu sağlayan sulama teknikleri

Gece sulaması gibi teknikler buharlaşmayı azaltarak sulama verimliliğini artırır (Vallejo-Gómez ve ark., 2023; Night irrigation study, 2024).

Toprak Yönetimi

Organik madde uygulamaları

Toprak organik maddesi, su tutma kapasitesini artırarak bitkilerin su stresine karşı dayanıklılığını destekler (Lal, 2004). Kompost ve organik gübre uygulamaları kuraklık etkilerini azaltır.

Toprak işleme teknikleri ve erozyon kontrolü

Minimum toprak işleme teknikleri, toprak yapısını koruyarak nem kaybını sınırlar. Ayrıca, örtü bitkileri ve malçlama yöntemleri toprak nemini muhafaza eder (Derpsch ve ark., 2010).

Bitki besleme ve gübre yönetimi

Bitkilerin kuraklık stresine karşı dayanıklılığını artırmak için dengeli besleme önemlidir. Özellikle azot, potasyum ve kalsiyum gibi makro elementler, bitkilerin stres tolerans mekanizmalarında rol oynar (Hasanuzzaman ve ark., 2018).

Münavebe ve Karma Tarımın Rolü

Münavebe sistemleri, toprak sağlığını iyileştirerek su tutma kapasitesini artırır. Karma tarım ise bitkiler arası su ve besin rekabetini azaltarak verim ve sürdürülebilirliği destekler (Tilman ve ark., 2002; Sakin ve ark., 2024).

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ PERSPEKTİFİNDEN KURAKLIK VE ENDÜSTRİ BİTKİLERİ

Kuraklık Tahmin Modelleri ve Risk Analizi

İklim modelleri, gelecekteki kuraklık olaylarının sıklığı ve şiddeti hakkında önemli bilgiler sunmaktadır (IPCC, 2022). Bu modeller, tarımsal üretimde risk analizleri yaparak stratejik planlamalara olanak sağlar. Özellikle bölgesel iklim simülasyonları, endüstri bitkilerinin üretim alanlarındaki kuraklık risklerini önceden tahmin etmeye yardımcı olur.

Politika ve Stratejik Önlemler

Kuraklıkla mücadelede ulusal ve uluslararası politikaların önemi büyüktür. Su yönetimi, tarımsal destek programları ve araştırma yatırımları, sürdürülebilir üretim için kritik unsurlardır (FAO, 2023). Ayrıca, kuraklığa dayanıklı çeşitlerin yaygınlaştırılması ve eğitim programlarının desteklenmesi gerekmektedir.

Tarımsal Sigorta Sistemleri ve Ekonomik Destekler

Kuraklık riski yüksek bölgelerde tarımsal sigorta programları, üreticilerin ekonomik kayıplarını azaltmak için önemli bir araçtır (Coble ve Barnett, 2013). Bu sistemlerin kapsamı genişletilmeli ve çiftçilerin erişimi kolaylaştırılmalıdır.

Çiftçi Eğitimi ve Bilinçlendirme Programları

Kuraklıkla mücadelede teknolojik ve yönetsel yeniliklerin uygulanması için çiftçi eğitimleri kritik rol oynar. Yeni sulama teknikleri, stres toleranslı çeşitlerin kullanımı ve toprak koruma yöntemleri konusunda bilinçlendirme faaliyetleri artırılmalıdır (FAO, 2023).

SONUÇ

Kuraklık, endüstri bitkilerinin verim ve kalitesini olumsuz yönde etkileyen temel çevresel stres faktörlerinden biridir. Pamuk, ayçiçeği, şeker pancarı, tütün ve kanola gibi önemli endüstri bitkileri, su stresine karşı çeşitli morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal tepkiler geliştirir. Bu tepkiler genetik ıslah ve tarımsal yönetim stratejileri ile desteklenebilir.

Gelecekte, iklim değişikliğinin etkileri dikkate alınarak, kuraklığa dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi, sürdürülebilir sulama sistemlerinin yaygınlaştırılması ve çiftçi eğitimlerinin artırılması gerekmektedir. Ayrıca, teknolojik yeniliklerin (genomik, dijital tarım, akıllı sulama) entegrasyonu, endüstri bitkileri üretiminde kuraklık riskini minimize edecektir.

Sonuç olarak, disiplinler arası çalışmalar ve kapsamlı politika yaklaşımları ile kuraklık tehdidine karşı tarımsal sistemlerin dayanıklılığı artırılabilir.

KAYNAKLAR

- Celik, A. (2019). Comparing the microbial biomass carbon and nitrogen contents of tobacco growing soils with scanning electron microscopy and some soil parameters. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 20(2), 589-598.
- Coble, K. H., Barnett, B. J. (2013). Why do we subsidize crop insurance?. *American Journal of Agricultural Economics*, 95(2), 498-504.
- Comas, L. H., Becker, S. R., Cruz, V. M. V., Byrne, P. F., Dierig, D. A. (2013). Root traits contributing to plant productivity under drought. *Frontiers in plant science*, 4, 442. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00442>.
- Dai, A. (2011). Drought under global warming: a review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(1), 45-65. <https://doi.org/10.1002/wcc.81>.
- Derpsch, R., Friedrich, T., Kassam, A., Li, H. (2010). Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *International journal of agricultural and biological engineering*, 3(1), 1-25. <https://doi.org/10.3965/j.issn.1934-6344.2010.01.0-0>.
- Du, Q., Jiao, X., Song, X., Zhang, J., Bai, P., Ding, J., Li, J. (2020). The response of water dynamics to long-term high vapor pressure deficit is mediated by anatomical adaptations in plants. *Frontiers in Plant Science*, 11, 758. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00758>.
- Ebrahimian, E., Seyyedi, S. M., Bybordi, A., Damalas, C. A. (2019). Seed yield and oil quality of sunflower, safflower, and sesame under different levels of irrigation water availability. *Agricultural Water Management*, 218, 149-157. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.031>.
- FAO, (2023). *The State of Food and Agriculture 2023*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/cb4476en/cb4476en.pdf>
- Farooq, M., Hussain, M., Wahid, A., Siddique, K. H. M. (2012). Drought stress in plants: an overview. Plant responses to drought stress: From morphological to molecular features, 1-33. https://doi.org/10.1007/978-3-642-32653-0_1.

- Fereres, E., Soriano, M. A. (2007). Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of experimental botany*, 58(2), 147-159. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl165>.
- Gill, A. R., Loveys, B. R., Cavagnaro, T. R., & Burton, R. A. (2023). The potential of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) as an emerging drought resistant fibre crop. *Plant and Soil*, 493(1), 7-16.
- Han, J. M., Flexas, J., Xiong, D. L., Galmés, J., Zhang, Y. L. (2023). Regulation of photosynthesis and water-use efficiency in pima and upland cotton species subjected to drought and recovery. *Photosynthetica*, 62(1), 6.
- Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. B., Zulfiqar, F., Raza, A., Mohsin, S. M., Mahmud, J. A., Fotopoulos, V. (2020). Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: Revisiting the crucial role of a universal defense regulator. *Antioxidants*, 9(8), 681. <https://doi.org/10.3390/antiox9080681>.
- Herritt, M. T., Thompson, A., Thorp, K. (2022). Irrigation management impacts on cotton reproductive development and boll distribution. *Crop Science*, 62(4), 1559-1572.
- Hussain, M., Farooq, S., Hasan, W., Ul-Allah, S., Tanveer, M., Farooq, M., Nawaz, A. (2018). Drought stress in sunflower: Physiological effects and its management through breeding and agronomic alternatives. *Agricultural water management*, 201, 152-166. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.01.028>.
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Koudahe, K., Sheshukov, A. Y., Aguilar, J., Djaman, K. (2021). Irrigation-water management and productivity of cotton: A review. *Sustainability*, 13(18), 10070. <https://doi.org/10.3390/su131810070>.
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623-1627. <https://doi.org/10.1126/science.1097396>.
- Liu, M., Liu, X., Song, Y., Hu, Y., Yang, C., Li, J., Wang, L. (2024). Tobacco production under global climate change: combined effects of heat and

- drought stress and coping strategies. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1489993. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1489993>.
- Lopes, M. S., El-Basyoni, I., Baenziger, P. S., Singh, S., Royo, C., Ozbek, K., Vikram, P. (2015). Exploiting genetic diversity from landraces in wheat breeding for adaptation to climate change. *Journal of experimental botany*, 66(12), 3477-3486. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv122>.
- Lynch, J. P. (2013). Steep, cheap and deep: an ideotype to optimize water and N acquisition by maize root systems. *Annals of botany*, 112(2), 347-357. <https://doi.org/10.1093/aob/mcs293>.
- Manna, M., Thakur, T., Chirom, O., Mandlik, R., Deshmukh, R., Salvi, P. (2021). Transcription factors as key molecular target to strengthen the drought stress tolerance in plants. *Physiologia Plantarum*, 172(2), 847-868. <https://doi.org/10.1111/ppl.13268>.
- Manzoni, S., Schaeffer, S. M., Katul, G., Porporato, A., Schimel, J. P. (2014). A theoretical analysis of microbial eco-physiological and diffusion limitations to carbon cycling in drying soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 73, 69-83. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.02.008>.
- Moose, S. P., Mumm, R. H. (2008). Molecular plant breeding as the foundation for 21st century crop improvement. *Plant physiology*, 147(3), 969-977. <https://doi.org/10.1104/pp.108.118232>.
- Morsi, N. A., Hashem, O. S., El-Hady, M. A. A., Abd-Elkrem, Y. M., El-Temsah, M. E., Galal, E. G., Abdelkader, M. A. (2023). Assessing drought tolerance of newly developed tissue-cultured canola genotypes under varying irrigation regimes. *Agronomy*, 13(3), 836. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030836>.
- Night irrigation boosts efficiency amid drought in Turkish farms. (2024). Hürriyet Daily News.
- Payment, J., Cvetkovska, M. (2023). The responses of Cannabis sativa to environmental stress: a balancing act. *Botany*, 101(8), 318-332.
- Peng, X., Wang, Q., Lang, D., Li, Y., Zhang, W., & Zhang, X. (2023). Bacillus cereus G2 facilitates N cycle in soil, further improves N uptake and assimilation, and accelerates proline and glycine betaine metabolisms of Glycyrrhiza uralensis subjected to salt stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(42), 15485-15496.

- Pidgeon, J. D., Stafford, J. V., Armstrong, P. R. (2001). Impact of drought stress on sugar beet growth and yield. *European Journal of Agronomy*, 15(3), 243-256. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(01\)00125-9](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(01)00125-9).
- Qiao, M., Hong, C., Jiao, Y., Hou, S., Gao, H. (2024). Impacts of drought on photosynthesis in major food crops and the related mechanisms of plant responses to drought. *Plants*, 13(13), 1808.
- Ramazanoglu, E., Kılınçoğlu, N., Beyyavas, V., Cevheri, C. İ., Sakin, E., & Çelik, A. (2024). Glycine betaine application improved seed cotton yield and economic returns under deficit irrigation. *Journal of King Saud University-Science*, 36(10), 103445.
- Raza, M. A. S., Shahid, A. M., Saleem, M. F., Khan, I. H., Salman Ahmad, S. A., Muhammad Ali, M. A., Rashid Iqbal, R. I. (2017). Effects and management strategies to mitigate drought stress in oilseed rape (*Brassica napus* L.): a review. <https://doi.org/10.13080/z-a.2017.104.012>.
- Rehman, M., Bakhsh, A., Zubair, M., Rehmani, M. I. A., Shahzad, A., Nayab, S., Ali, I. (2021). Effects of water stress on cotton (*Gossypium* spp.) plants and productivity. *Egyptian Journal of Agronomy*, 43(3), 307-315.
- Saini, D. K., Impa, S. M., McCallister, D., Patil, G. B., Abidi, N., Ritchie, G., Jagadish, K. S. (2023). High day and night temperatures impact on cotton yield and quality—current status and future research direction. *Journal of Cotton Research*, 6(1), 16.
- Sakin, E., Yanardağ, H. İ., Firat, Z., Çelik, A., Beyyavaş, V., & Cun, S. (2024). Some indicators for the assessment of soil health: A mini review. *MAS Journal of Applied Sciences*, 9(2), 297-310.
- Scanlon, B. R., Faunt, C. C., Longuevergne, L., Reedy, R. C., Alley, W. M., McGuire, V. L., McMahon, P. B. (2012). Groundwater depletion and sustainability of irrigation in the US High Plains and Central Valley. *Proceedings of the national academy of sciences*, 109(24), 9320-9325. <https://doi.org/10.1073/pnas.1200311109>.
- Tesfamariam, E. H., Annandale, J. G., Steyn, J. M. (2010). Water stress effects on winter canola growth and yield. *Agronomy Journal*, 102(2), 658-666. <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0043>.

- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671-677. <https://doi.org/10.1038/nature01014>.
- Ul-Allah, S., Rehman, A., Hussain, M., Farooq, M. (2021). Fiber yield and quality in cotton under drought: Effects and management. *Agricultural Water Management*, 255, 106994.
- Vallejo-Gomez, D., Osorio, M., Hincapie, C. A. (2023). Smart irrigation systems in agriculture: A systematic review. *Agronomy*, 13(2), 342. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020342>
- Vurukonda, S. S. K. P., Vardharajula, S., Shrivastava, M., SkZ, A. (2016). Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. *Microbiological Research*, 184, 13-24. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.12.003>.
- Wang, R., Ji, S., Zhang, P., Meng, Y., Wang, Y., Chen, B., & Zhou, Z. (2016). Drought effects on cotton yield and fiber quality on different fruiting branches. *Crop Science*, 56(3), 1265-1276.
- Wilhite, D. A., Glantz, M. H. (1985). Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water international*, 10(3), 111-120. <https://doi.org/10.1080/02508068508686328>.
- Yohannes, D. F., Ritsema, C. J., Solomon, H., Froebrich, J., Van Dam, J. C. (2017). Irrigation water management: Farmers' practices, perceptions and adaptations at Gumselassa irrigation scheme, *North Ethiopia. Agricultural Water Management*, 191, 16-28. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.05.009>.
- Zhang, X., Mi, Y., Mao, H., Liu, S., Chen, L., Qin, F. (2020). Genetic variation in ZmTIP1 contributes to root hair elongation and drought tolerance in maize. *Plant Biotechnology Journal*, 18(5), 1271-1283.
- Zhu, M., Monroe, J. G., Suhail, Y., Villiers, F., Mullen, J., Pater, D., Assmann, S. M. (2016). Molecular and systems approaches towards drought-tolerant canola crops. *New Phytologist*, 210(4), 1169-1189. <https://doi.org/10.1111/nph.13866>.

BÖLÜM 3

KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SENARYOLARININ KAVŞAĞINDA ZEYTİN

Öğr. Gör. İsmail BAYYİĞİT¹

Doç. Dr. Nuray DEMİR²

Prof. Dr. Sezai ERCİŞLİ³

Doç. Dr. Gülçe İLHAN⁴

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16361089>

¹ Mardin Artuklu Üniversitesi, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Kızıltepe Meslek Yüksekokulu, Mardin, Türkiye ORCID:0000-0001-9190-4985

² Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Erzurum-Türkiye ORCID:0000-0001-5670-6801

³ Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Erzurum-Türkiye ORCID:0000-0001-5006-5687

⁴ Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Erzurum-Türkiye ORCID:0000-0003-2335-6846

GİRİŞ

Zeytin Akdeniz bölgesine özgü bir meyve türüdür. Akdeniz bölgesinde yüzyıllardır yetişen zeytin, bölgedeki insanların yaşamlarının ayrılmaz bir parçasıdır. Zeytin ve zeytinyağı bölgede yaşayan insanların tarihi ve kültürüyle de yakından ilişkilidir. Akdeniz ülkelerinde yapılan birçok kazıda ortaya çıkan arkeolojik kanıtlar, bu bölgedeki sakinlerin bakır çağından beri zeytin ve zeytinyağı tükettiğine tanıklık etmiştir (Langgut et al., 2019).

Zeytin ve zeytinyağı, tarihin başlangıcına kadar uzanan uzun ve zengin bir geçmişe ve mirasa sahiptir. Yunan şair Homeros zeytinyağını "sıvı altın" olarak adlandırmış ve tarih boyunca zeytinyağı sadece lezzetli ve insan vücudunu güçlendirici bir gıda olarak değil, aynı zamanda bir sağlık ve güzellik iksiri ve barış ile neşe sembolü olarak da kullanılmıştır. Zeytinyağının ve Akdeniz diyetinin özellikle kalp sağlığı üzerine faydaları konusunda çalışmalar arttıkça, zeytinyağı tüketimi dünya çapında istikrarlı bir şekilde artmaktadır (Xia et al., 2022).

Akdeniz havzası zeytin ağacının orijin yeri olup, bugün dünyada üretilen tüm zeytinyağının %95'inden fazlası Avrupa ve Kuzey Afrika dahil olmak üzere Akdeniz bölgesinde üretilmektedir. İspanya açık ara en büyük üretici ülkedir ve her mevsim dünya zeytinyağının yaklaşık %45'ini tedarik etmekte, onu İtalya ve Yunanistan takip etmektedir. İspanya, İtalya, Yunanistan, Türkiye ve Tunus birlikte yıllık ortalama küresel zeytinyağı üretiminin yaklaşık %80'ini karşılamaktadır (Şekil 1). Güney yarımküredeki daha yeni üretici ülkeler arasında Şili, Arjantin, Avustralya ve Yeni Zelanda yer almaktadır. Bu ülkeler ve ABD Akdeniz dışı üretimin %5'ine katkıda bulunmaktadır (FAOSTAT, 2024).

Binlerce yıl boyunca zeytinyağı yalnızca bir diyet bileşeni olarak değil, aynı zamanda lamba yakıtı, kozmetik ve farmakolojik uygulamalar ve çeşitli özel ritüeller için de kullanılmıştır. Yunan filozofları, besinsel ve tıbbi faydalarını incelemek için zeytin ve zeytinyağına özel ilgi göstermişlerdir. Aristoteles ve Hipokrat ise zeytinyağını dermatit, mide ve bağırsak sorunları, güneşten korunma ve cilt yanıklığı gibi birçok hastalığın tedavisi için önermiştir (Michalopoulos et al., 2020).

Farklı etnik, tarihi ve kültürel geçmişlere ve dini inançlara sahip milletler, zeytinlerin yetiştirildiği Akdeniz bölgesinde tarih boyunca birlikte yaşamıştır. Akdeniz diyetinden dolayı bölgedeki insanlar arasında

kardiyovasküler ve yaşa bağlı hastalıklar gibi birçok kronik hastalığın daha düşük oranda görülmesi nedeniyle, Akdeniz diyetinin dünyadaki en sağlıklı diyetler arasında olduğunu kabul edilmektedir (Martínez-González et al., 2019).

Özellikle 1960'larda, Akdeniz Diyeti ifadesi Ancel Keys tarafından Güney İtalya, Girit ve Akdeniz havzasındaki diğer ülkelerin kırsal alanlarındaki geleneksel mutfak uygulamaları üzerine yaptığı araştırmalara dayanarak türetilmiştir. Yedi ülkeyi içeren çalışmasının bir parçası olarak başlayan ve özellikle doymuş yağları (doymuş yağ asitleri, SFA) doymamış yağlarla, çoğunlukla zeytinyağından elde edilen çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) ve tekli doymamış yağ asitleri (MUFA) ile değiştirerek koroner kalp hastalıklarının önlenmesine yönelik beslenme uygulamalarına odaklanan araştırması, Akdeniz havzasında yaşayan insanların gerçekten daha az kardiyovasküler rahatsızlıklara sahip olduğunu ve diğer hastalıklara yakalanma riskinin azaldığını göstermiştir (Keys, 1994, 1995).

Yarım yüzyıl sonra, 2010'da Akdeniz diyeti, UNESCO'nun somut olmayan kültürel mirasının bir parçası haline geldi ve burada “ürünler, hasat, balıkçılık, hayvancılık, koruma, işleme, pişirme ve özellikle gıdanın paylaşımı ve tüketimiyle ilgili bir dizi beceri, bilgi, ritüel, sembol ve gelenek” olarak tanımlanmıştır.



Şekil 1. Akdeniz havzasında ana zeytin üreticisi ülkeler

Zeytin, zeytinyağı ve insan sağlığı

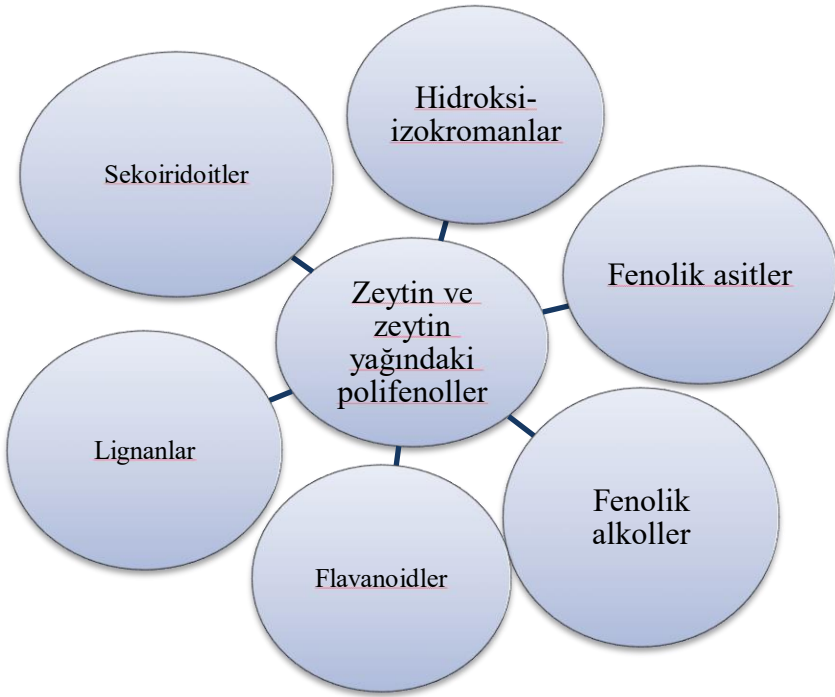
Geleneksel Akdeniz mutfak, çeşitli sebze, meyve, baklagiller, tam tahıllar ve kuruyemişlerin bol miktarda tüketilmesini, deniz ürünlerinin ve balıkların orta düzeyde tüketilmesini, kırmızı et, tatlılar ve diğer işlenmiş gıdaların düşük tüketilmesini vurgularken, sıvı altın olarak bilinen zeytinyağı, geleneksel Akdeniz mutfakının ayırt edici özelliğidir. Zeytinyağı aslında, diyetteki sağlıklı yağların ana kaynağıdır ve polifenoller gibi biyoaktif bileşenleriyle birlikte genellikle uzun ömür, refah ve kronik hastalıkların, özellikle de kardiyovasküler hastalıkların önlenmesinde oldukça etkilidir (Chiavarini et al., 2024). Zeytin ve zeytinyağı, damar tıkanıklığını önlemede, bağırsakların sağlıklı çalışmasında, kemik gelişiminde, kötü kolesterolü düşürmede, kansere karşı koruyucu olarak ve mide problemlerinin çözümünde sıkça kullanılmaktadır (Martínez-González et al., 2022) (Şekil 3).



Şekil 3. Zeytin ve insan sağlığına etkileri

Zeytinyağında önemli ölçüde insan sağlığını pozitif yönde etkileyen, biyoaktif bileşikler bulunmaktadır. Bunlar başında fenolik bileşikler gelmektedir. Bu bileşikler, oto-oksidasyon stabilitesinden, insan sağlığı üzerindeki faydalı etkilere kadar uzanan geniş bir biyolojik aktivite yelpazesi

ile karakterize edilirler. Zeytin yağının stabilitesi yanında organoleptik özelliklerini korumada da oldukça etkilidirler. Ayrıca, antioksidan, anti-inflamatuar, kardiyoprotektif, nöroprotektif, antikanser, antidiyabetik ve antimikrobiyal özellikleri nedeniyle sağlık geliştirici özelliklere de sahiptirler (Martínez-González et al., 2022). Sekil 5’de ifade edildiği gibi Sekoiridoidler, diğer bitki türlerine kıyasla zeytinde (*Olea europea* L.)’de bol miktarda bulunan fenolik bileşiklerdir. Zeytinyağında acı tat bu maddeden ileri gelmektedir.



Şekil 4. Zeytin’de bulunan ve biyoaktif özelliğe sahip polifenoller

Fenolik alkoller (veya feniletanoidler), aromatik bir hidrokarbon grubuna bağlı bir hidroksil grubuna sahiptir. Flavonoidler, üç doğrusal karbon zinciriyle birleştirilmiş iki benzen halkasından oluşan bir kimyasal yapıya sahiptir. Lignanlar, aromatik aldehitlerin yoğunlaşmasıyla kimyasal olarak karakterize edilir. Zeytinin posası ve çekirdeğin odunsu kısmı lignanlar içerir; bu moleküller, biyokimyasal değişiklikler olmaksızın ekstraksiyon işlemi sırasında yağa geçer. Hidroksi-izokromanlar, zeytin yağında karakterize edilen iki molekülden oluşur (Torres et al., 2028).

İklim değişikliği ve zeytin yetiştiriciliği

Akdeniz Havzası, gelecekte iklim değişikliğinden en çok etkilenmesi beklenen bölgelerin başında yer almaktadır. Çalışmalar, sıcaklıkların önümüzdeki 80 yıl içinde 7 °C'ye kadar veya on yılda yaklaşık 0.9 °C artabileceğini öne sürmektedir. Bölgesel sıcaklıkları artırmanın yanı sıra, iklim değişikliği Güney Avrupa'daki yağış seviyelerini de azaltmaktadır. Yağmur eksikliği, zeytin ağaçlarının ilkbaharda çiçek açmasını ve meyve vermesini daha düzensiz ve karmaşık bir hale getirmektedir (Fornaciari et al., 2025).

Fraga et al. (2021), Akdeniz Havzası'nın bir iklim değişikliği "merkezi" olarak kabul edildiğini ve iklim değişikliğinin zeytin yetiştiricileri için özellikle zorlayıcı olabileceğini, önümüzdeki on yıllarda iklim değişikliğine dair artan kanıtların uyum önlemlerinin alınmasını gerektirdiğini belirtmiştir.

Güney Amerika'nın birçok kurak ve yarı kurak bölgesinde, Akdeniz Havzası'nın çoğuna kıyasla kış ve ilkbahar aylarında sıcaklıklar yüksek ve yağış miktarı düşüktür. Yüksek sıcaklıkların, Güney Amerika'ya getirilen birçok zeytin çeşidinde çiçeklenme üzerinde zararlı etkileri olduğu sıklıkla görülmüş olup, soğuklama gereksinimlerinin daha iyi anlaşılması gerekmektedir. Kış ve ilkbaharda yağış eksikliği de kışın çiçek farklılaşma döneminden erken meyve vermeye kadar su gereksinimlerinin değerlendirilmesi için acil bir ihtiyaç doğurmuştur. Ek olarak, Güney Amerika ve Avustralya'nın bazı zeytin yetiştirme alanlarında, yüksek erken sezon sıcaklıkları, fenolojik olayların zamanlamasını etkileyerek, yağ sentezinin başlangıcının Akdeniz Havzası'ndan daha erken gerçekleşmesine ve yağ birikiminin çoğunun sıcaklıkların çok yüksek olduğu yaz aylarında gerçekleşmesine neden olmaktadır (Torres et al., 2017).

İklim değişikliğinin ayrıca, zeytin meyve sineği ve zeytin güvesi gibi yeşil meyveyle beslenen istilacı böceklerin yaygınlığını etkilediği düşünülmektedir. Değişen hava modellerinin, bitki tüketen zararlıların yaşam döngüsünü ve göç davranışlarını ve doğal düşmanlarla etkileşimlerini etkilediği bulunmuştur. Bunların hepsi, belirli bölgelerde daha hızlı çoğalmalarını sağlayarak bazı yerel zararlı popülasyonlarını etkileyebilmektedir (Caselli and Petacchi, 2021).

Yetersiz soğuklama ve neticede düzensiz ve erken çiçeklenme, hastalık ve zararlı artışı, kuraklık stresi artışı, erken meyve olgunlaşması, verim düşüşü, meyve ve yağ kalitesi azalışı, büyüme mevsimi uzunluğu, küresel iklim

değişikliğinde zeytin ağacını bekleyen tehlikelerdir (Şekil 4). Diğer çok yıllık meyve türlerinde olduğu gibi, zeytin ağaçlarının da iklim değişikliğinden etkileneceği bir gerçek olarak karşımızda durmaktadır. Meyve ağaçlarına özgü fenolojik dönemlerin özellikle çiçeklenme ve meyve olgunlaşması yanında verim ve kalite bileşenlerinin de bu süreçten olumsuz etkilenebileceği bilim insanları tarafından dile getirilmektedir (Lavee et al., 2014; Torres et al., 2017; Fraga et al., 2021; Fornaciari et al., 2025).



Şekil 4. İklim değişikliğinin zeytin ağacına olası etkileri

Sıcaklık değişiklikleri ilkbahar fenolojisini önemli ölçüde etkileyebilmekte ve iklim değişikliğine duyarlı zeytin ağaçları, daha yüksek ilkbahar sıcaklıklarına yanıt olarak daha erken çiçeklenme göstermektedir. Bu adaptasyon polen seviyelerini düşürerek halk sağlığına fayda sağlasa da, tarımsal verimi olumsuz etkileyebilir (Fornaciari et al., 2025)

Nitekim sıcaklık artışı öncelikle zeytinde büyüme mevsimini uzatacağı, yüksek sıcaklıklar ve artan buharlaşmanın meyve olgunlaşmasını hızlandırarak daha düşük olgunluk seviyelerinde olsa da erken hasat ihtiyacını ortaya çıkaracağı ifade edilmektedir. Fotosentez solunum denkleminde düşünüldüğünde verimin azalacağı ve gerek sofralık zeytin ve yine zeytinyağı kalitesinde olumsuz etkilere neden olabileceği belirtilmektedir (Torres et al., 2017). Bu senaryolar karşısında daha az su tüketen, adaptasyon yeteneği yüksek, hastalık ve zararlılara karşı dirençli, yüksek sıcaklıklara ve kuraklığa karşı dayanıklı, sofralık ve yağlık kalitesi ile insan sağlığı bakımından önemli olan sekonder metabolitleri daha yüksek oranda içeren çeşitlerin eldesi kaçınılmaz olacaktır.

Akdeniz Havzası'ndaki çevre koşulları altında, yağ birikiminin çoğu, sıcaklıkların maksimum yaz değerlerinden düştüğü yaz sonu ve sonbahar aylarına denk gelmektedir. Buna karşılık, zeytinyağı biyogenez döneminin başlangıcı, nispeten düşük enlemlerde bulunan güney yarımküre yetiştirme bölgelerinde biraz daha erken gerçekleşir ve yağ birikiminin çoğu, sıcaklıkların daha yüksek olduğu yaz aylarında gerçekleşir.

Zeytinyağı için artan küresel talep, zeytin yetiştiriciliğini güney yarımküredeki yeni yetiştirme alanlarına genişletmiştir. "Frantoio" ve "Leccino" gibi bazı yüksek soğuklama gerektiren çeşitlerde, kış dinlenmesi sırasında çiçeklenme için yetersiz soğuklama saatlerinin meydana gelmesi; Arjantin ve Avustralya'nın bazı bölgelerinde kış ve ilkbahar yağışlarının olmaması, yağış dağılımının önemini göstermektedir ve bazı bölgelerde yağ verimindeki düşüşleri önlemek için muhtemelen tüm yıl boyunca bir miktar sulamaya ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir; ve sıcak bölgelerdeki yağ konsantrasyonundaki ve oleik asit içeriğindeki azalmalar, küresel ısınmanın olduğu Akdeniz gibi daha soğuk bölgeler için beklenen bir durumdur.

KAYNAKLAR

- Caselli, A., Petacchi, R. (2021). Climate change and major pests of Mediterranean olive orchards: Are we ready to face the global heating? *Insects*, 12 (9), 802.
- Chiavarini, M., Rosignoli, P., Giacchetta, I., Fabiani, R. (2024). Health outcomes associated with olive oil intake: An umbrella review of meta-analyses. *Foods*, 13(16), 2619.
- FAOSTAT (2024) Food Agriculture and Organization. www.fao.org
- Fraga, H., Moriondo, M., Leolini, L., Santos, J.A. (2021) Mediterranean olive orchards under climate change: A review of future impacts and adaptation strategies. *Agronomy*, 11, 56.
- Keys, A. (1994). Lessons for science from the seven countries study. A 35-year collaborative experience in cardiovascular disease epidemiology. Tokyo: Springer Verlag
- Keys, A. (1995). The Mediterranean diet and public health: personal reflections. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 61 (suppl.), 1321S-1323S.
- Langgut, D., Cheddadi, R., Carrión, J. S., Cavanagh, M., Colombaroli, D., Eastwood, W. J., Greenberg, R., Litt, T., Mercuri, A. M., Miebach, A., Roberts, C. N., Woldring, H., Woodbridge, J. (2019). The origin and spread of olive cultivation in the Mediterranean Basin: The fossil pollen evidence. *The Holocene*, 29 (5), 902-922.
- Lavee, S. (2014). Adaptation of commercial olive cultivation to new production zones and environments including in the Southern Hemisphere-possibilities, considerations and the problems involved. *Acta Horticulturae*, 1057, 27-40.
- Martínez-González, M.A., Gea, A., Ruiz-Canela, M. (2019). The Mediterranean diet and cardiovascular health. *Circulation Research*, 124 (5), 779-798.
- Martínez-González, M.A., Sayón-Orea, C., Bullón-Vela, V., Bes-Rastrollo, M., Rodríguez-Artalejo, F., Yusta-Boyo, M.J., García-Solano, M. (2022). Effect of olive oil consumption on cardiovascular disease, cancer, type 2 diabetes, and all-cause mortality: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Nutrition*, 41, 2659–2682

- Michalopoulos, G., Kasapi, K.A., Koubouris, G., Psarras, G., Arampatzis, G., Hatzigiannakis, E., Kavvadis, V., Xiloyannis, C., Montanaro, G., Malliaraki, S. (2020). Adaptation of Mediterranean olive groves to climate change through sustainable cultivation practices. *Climate*, 8, 54
- Sevim, D., Varol, N., Köseoğlu, O. (2022). Küresel iklim değişikliğinin zeytin yetiştiriciliği ve zeytinyağı üzerine etkileri. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 36 (2), 415-432.
- Torres, M., Pierantozzi, P., Searles, P., Rousseaux, M.C., García-Inza, G., Miserere, A., Bodoira, R., Contreras, C., Maestri, D. (2017). Olive cultivation in the southern hemisphere: flowering, water requirements and oil quality responses to new crop environments. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1830.
- Torres, A., Espínola, F., Moya, M., Alcalá, S., Vidal, A.M., Castro, E. (2018). Assessment of phenolic compounds in virgin olive oil by response surface methodology with particular focus on flavonoids and lignans. *LWT*, 90, 22-30.
- Xia, M., Zhong, Y., Peng, Y., Qian, C. (2022). Olive oil consumption and risk of cardiovascular disease and all-cause mortality: A meta-analysis of prospective cohort studies. *Frontiers in Nutrition*, 18 (9), 1041203.

BÖLÜM 4

KURAK ALANLARDA LAVANTA YETİŞTİRİCİLİĞİ

Dr. Öğr. Üyesi Muzaffer KIRPIK¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16361250>

¹ Adıyaman Üniversitesi, Kahta Meslek Yüksekokulu, Bitkisel Üretim Bölümü, Adıyaman, Türkiye. mkirpik@adiyaman.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-8089-2533

GİRİŞ

Son yıllarda iklim değişikliği, dünya genelinde giderek artmakta ve tüm canlıların yaşamını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu küresel kriz karşısında ülkeler, çeşitli uluslararası anlaşmalar yoluyla iklim değişikliğini azaltmaya veya önlemeye yönelik ortak adımlar atmaktadır. Ancak mevcut yasal düzenlemelere ve kurallara rağmen, doğayı korumak ve sürdürülebilirliği sağlamak için tarımsal üretimde uygun tarım desenlerinin belirlenmesi ve çevre dostu bitki türlerinin tercih edilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, sürdürülebilir tarıma en uygun bitkilerden biri de lavantadır.

Lavanta (*Lavandula spp.*), genelde mor çiçekleriyle bilinmesine rağmen başka renkte olanlarına bahçelerde, kırsalda denk gelinen açıkçası çok tanıdık bir bitkidir. Bu bitki fazla uzun olmaz, ama bir karıştan biraz uzun ya da daha fazla boylanabilmektedir. Yaprakları biraz grimsi yeşil olup, elinle dokununca keskin bir kokusu gelmektedir. Aslında, en çok da sabunlarda, deterjanlarda ve yağlarda keskin kokusu için kullanılmaktadır. Aynı zamanda, tıbbi olarak yatıştırıcı özelliği dikkat çekmektedir, kozmetik olarak ise cilt ve saç bakımında işe yaradığı bilinmektedir, ancak genelde kokusu için tercih edilmektedir. Renkli çiçekleri üst üste dizili başak gibi durur (Baytop, 1999; Başer & Demirci, 2007).

Lavanta, özellikle Akdeniz'e yakın bölgelerde, yani sıcak ve güneşli yerlerde çok iyi yetişmektedir. Bu yüzden de ticari olarak oldukça değerli bir bitki olup tıbbi ve aromatik olarak da kullanılmaktadır. Lavanta yetiştiriciliği açısından Fransa en başta gelmektedir ancak Bulgaristan, İtalya, Yunanistan gibi ülkelerde de çok yaygındır. Son zamanlarda Hindistan, Avustralya gibi uzak yerlerde bile lavanta yetiştirilmeye başlanmıştır. Türkiye'de de son yıllarda lavanta tarlaları çoğalmış olup, özellikle fotoğraf çekimi için bile insanlar lavanta tarlalarına gitmeye başlamış ve turizm sektöründe aranılır konuma ulaşmıştır (Başer & Buchbauer, 2010; Lis-Balchin, 2002).

Lavantanın yetiştirildiği ülkeler aşağıda kısaca özetlenmiştir:

- En köklü ve en büyük lavanta üreticisi ülke Fransa olup özellikle Provence bölgesi, yüksek kaliteli *Lavandula angustifolia* ve *Lavandula x intermedia* türlerinin yetiştiriciliğinde öncüdür.
- Bulgaristan, 2010'lu yıllardan itibaren lavanta yağı üretiminde Fransa'yı geçerek dünya liderliğine yükselmiştir (OECD-FAO, 2021).

- Bulgaristan'da hem konvansiyonel hem de organik lavanta tarımı yapılmakta, özellikle uçucu yağ üretimi ve ihracatı ekonomide önemli yer tutmaktadır.
- Romanya, İspanya ve Yunanistan gibi ülkeler de lavanta üretiminde yükselen aktörler arasında yer almaktadır (Lis-Balchin, 2002).
- Avustralya, lavanta üretiminde Güney Yarımküre'de önemli bir merkezdir. Tasmania ve Victoria eyaletlerinde iklim ve toprak koşulları, *Lavandula angustifolia* yetiştiriciliği için uygundur.
- Hindistan, lavanta tarımını son yıllarda özellikle Jammu & Kashmir bölgelerinde yaygınlaştırmıştır. Lavanta burada hem kırsal kalkınma hem de aromaterapi endüstrisine katkı açısından stratejik olarak desteklenmektedir (Kumar vd., 2015).
- ABD, özellikle Washington, Oregon ve California eyaletlerinde lavanta tarımını desteklemekte, aynı zamanda lavanta festivalleri ile turizm ekonomisini entegre etmektedir.
- Türkiye'de ise lavanta üretimi ilk olarak 1970'li yıllarda *Lavandula x intermedia* türü ile başlamıştır. Özellikle Isparta (Keçiborlu- Kuyucak Köyü) başta olmak üzere Burdur, İzmir, Edirne ve Afyon illerinde yetiştiriciliği giderek yaygınlaşmaktadır. Tarım ve Orman Bakanlığı lavanta üretimini tıbbi ve aromatik bitkiler stratejisi kapsamında desteklemektedir (TÜBİTAK MAM, 2008; Öztürk vd., 2017). Ülkemizde lavanta, özellikle Akdeniz iklimine uyum sağlamış bir bitkidir. Güneşli, sıcak ve kurak bölgelerde iyi gelişir. Kalkerli, iyi drene olan, hafif alkali toprakları tercih eder. Türkiye'de özellikle Isparta, Burdur ve İzmir çevresinde yetiştiriciliği yaygındır (TÜBİTAK MAM, 2008).
- Ülkemizin yarı-kurak bölgelerinden biri olan Adıyaman ilinde, Adıyaman Üniversitesi Tarımsal Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde yürütülen çalışmalar sonucunda, lavanta (*Lavandula spp.*) bitkisinin bu iklim koşullarında başarıyla yetiştirilebildiği gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada kurak ve yarı kurak iklimlerde kıraç ve verimsiz arazilerde yetişebilme özelliğine sahip lavanta bitkisinin ne işe yarayabileceği değerlendirilmiştir. Bilindiği üzere, bu bitki pek fazla su istememekte ve

toprağı da çok seçmemektedir. Hatta eğilimli, besin değeri düşük ve verimsiz özellikte olan üçüncü ve dördüncü sınıf kötü toprakta bile yetişebilmektedir. Bu durum, özellikle iklim değişikliğiyle boğuşan bölgelerde, çiftçi için ciddi bir alternatif oluşturmaktadır. Üstelik sadece tarım açısından değil, çevresel olarak da bazı pozitif dışşallıklara sahiptir. Aslında, lavanta bitkisi sayesinde erozyonla da mücadele edilebilir. Aynı zamanda, arılar için de iyi bir besin kaynağıdır ve doğal çeşitlilik açısından olumlu faydaları vardır. Şu anda Fransa, Bulgaristan, Hindistan gibi ülkelerde lavanta tarımı oldukça yaygındır. Sadece yağ üretmek için değil, turizmde bile lavantadan faydalanılmaktadır. Benzer şekilde, Türkiye’de de Isparta, Burdur, İzmir civarında bu bitki ciddi şekilde yayılmaktadır. Hem az su harcamakta hem de üreticiye ek gelir getirmektedir. Kısacası lavanta, iklim dostu tarım için düşünülmesi gereken en önemli sürdürülebilir bitkilerden biri olarak değerlendirilebilir.

1. LAVANTANIN KULLANIM ALANLARI HAKKINDA BİLGİ

Lavanta çiçeklerinden elde edilen uçucu yağın ana bileşenleri linalool, linalil asetat, borneol, camphor ve 1,8-cineole'dür. Bu bileşikler bitkiye sedatif, antimikrobiyal ve antiinflamatuvar özellik kazandırır (Başer & Buchbauer, 2010; Lis-Balchin, 2002). Lavantanın kullanıldığı yerler (Koulivand vd., 2013; Sasannejad vd., 2012; Tian vd., 2011; Başer & Buchbauer, 2010; Kasper vd., 2010; Perry & Perry, 2006; Lewith vd., 2005; Lis-Balchin, 2002; Baytop, 1999; Buchbauer & Jirovetz , 1994) aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- a) Tıbbi Kullanım: Lavanta, tarih boyunca hem geleneksel hem de modern tıpta yaygın olarak kullanılmıştır. Eski Yunan ve Roma dönemlerinde antiseptik ve yatıştırıcı özellikleri nedeniyle yaraları temizlemek, uykusuzluk ve sindirim bozukluklarını tedavi etmek amacıyla kullanılmıştır. Lavanta yağı, stres, anksiyete ve uykusuzluk gibi durumların hafifletilmesinde kullanılır. Antiseptik ve yara iyileştirici özellikleri de vardır. Modern fitoterapide lavanta yağı (*Lavandula angustifolia* essential oil), başta anksiyete, depresyon, uykusuzluk, migren, sindirim bozuklukları, cilt irritasyonları ve minor yanıklar gibi durumlarda terapötik ajan olarak değerlendirilir.

Ayrıca, Lavanta yağı aromaterapisi, uyku kalitesini artırabilir. Özellikle *Lavandula angustifolia* bu alanda yaygın olarak kullanılmıştır. Lavanta bazlı

fitoterapötik ürünlerin (örneğin Silexan kapsül) hafif-orta şiddetteki anksiyete bozukluklarında etkili olduğu klinik çalışmalarda gösterilmiştir. Bununla birlikte, doğal bir analjezik olarak lavanta yağı, baş ağrısı ve migren tedavisinde aromaterapi yoluyla olumlu sonuçlar vermiştir.

- b) Aromaterapi ve Kozmetik: Lavanta (*Lavandula angustifolia*) uçucu yağı, aromaterapide kaygı ve stres azaltıcı, uyku düzenleyici etkileri nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca kozmetik sektöründe, antioksidan ve antimikrobiyal özellikleri sebebiyle cilt bakım ürünlerinde ve parfümlerde değerli bir bileşen olarak yer almaktadır. Bu bağlamda lavantanın parfüm, sabun, krem ve banyo ürünlerinde yaygın şekilde kullanıldığı söylenebilir.
- c) Gıda Endüstrisi: Tatlandırıcı ve aroma verici olarak çay, reçel ve bazı tatlılarda yer alır. Lavanta, gıda endüstrisinde doğal aroma verici ve koruyucu madde olarak kullanılmakta olup, özellikle tatlılar, içecekler ve şekerlemelerde kendine özgü aromasıyla ürünlerin organoleptik özelliklerini zenginleştirmektedir. Ayrıca lavanta uçucu yağı, antimikrobiyal ve antioksidan özellikleri sayesinde gıda raf ömrünün uzatılmasında potansiyel bir doğal katkı maddesi olarak değerlendirilmektedir.
- d) Peyzaj ve Tarım: Lavanta, peyzaj tasarımında dayanıklılığı, estetik görünümü ve hoş kokusuyla tercih edilen bir süs bitkisi olarak yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Tarım alanında ise lavanta, arıcılık için zengin bir nektar kaynağı olması ve toprak erozyonunun önlenmesine katkı sağlaması nedeniyle sürdürülebilir tarım uygulamalarında önemli bir bitkidir. Ayrıca, lavanta arıcılık için önemli bir nektar kaynağıdır ve aynı zamanda süs bitkisi olarak da kullanılmaktadır.

2. KURAK ALANLARDA LAVANTA YETİŞTİRME

Bu bölümde lavantanın su kullanımı, toprak kullanımı ve besin kullanımı özellikle kurak alanlar açısından açıklanmıştır.

2.1. Lavantanın Su Kullanımı ve Kurak Alanlarda Yetiştiriciliği

Lavanta (*Lavandula spp.*), aromatik ve tıbbi özellikleri nedeniyle dünya genelinde yaygın olarak yetiştirilen bir bitkidir. Kurak ve yarı kurak iklimlerde

lavantanın su tüketimi ve adaptasyon yeteneği üzerine yapılan araştırmalar, bitkinin düşük su ihtiyacıyla dikkat çektiğini göstermektedir. Lavanta, derin ve iyi drene edilmiş topraklarda yetiştiğinde kök sistemi sayesinde suyu verimli şekilde kullanabilmekte, böylece kurak koşullarda hayatta kalabilmektedir (Güvenç, 2011).



Resim 1. Adıyaman Üniversitesi, Tarımsal Araştırma Merkezi Lavanta Deneme Bitkisi

Resim 1’de görüldüğü gibi deneme alanımızda lavanta, Adıyaman ili ve benzer kurak ve yarı kurak alanlarda çok az su kullanımı ile rahat bir şekilde yetiştirilebilmektedir. Kurak iklim haricinde verimsiz arazilerde yetiştirilebilmesi üreticisine yüksek gelir sağlayacaktır.

Kurak bölgelerde lavanta yetiştiriciliği, geleneksel tarım ürünlerine kıyasla daha düşük su gereksinimiyle sürdürülebilir tarım uygulamalarına olanak sağlamaktadır. Örneğin, araştırmalar lavantanın su tüketiminin zeytin veya üzüm gibi diğer Akdeniz bitkilerine kıyasla %30-40 daha az olduğunu ortaya koymuştur (Karaca ve ark., 2015). Bu özellik, lavantanın özellikle su kaynaklarının kısıtlı olduğu alanlarda ekolojik ve ekonomik açıdan avantajlı bir alternatif olarak değerlendirilmesini sağlamaktadır.

Ancak, lavantanın su stresi altında verim ve yağ kalitesi gibi parametrelerinin olumsuz etkilenebileceği de rapor edilmiştir. Bu nedenle, kurak alanlarda lavanta yetiştiriciliğinde damla sulama gibi su tasarrufu sağlayan yöntemlerin kullanılması hem bitkinin optimum gelişimini desteklemek hem de su kaynaklarının etkin kullanılmasını sağlamak açısından önemlidir (Yılmaz ve Demir, 2018). Toprak, tarımın en önemli parçası ve onun

sağlıklı kalması da üretimin devamı için şart. Adıyaman'da son yıllarda sulama imkânlarının artmasıyla kuru tarımdan sulu tarıma geçildi. Sulanan alanlar neredeyse üç katına çıktı. Bu da haliyle verimi artırdı. Ancak verim artsa da, bu durum toprağın yorulmasına neden olabilir. O yüzden toprağı koruyarak ve dengeli yöntemlerle tarım yapmak her zamankinden daha önemli (Çelik vd. 2017).



Resim 2. Adıyaman Üniversitesi, Tarımsal Araştırma Merkezi Damla Sulama Yöntemi ile Lavanta Yetiştiriciliğı

Adıyaman Üniversitesi deneme alanında lavanta (*Lavandula angustifolia*) damla sulama yöntemi uygulanılarak verimler alınmıştır. Suyun az kullanımı ve diğer tarımsal faaliyetler açısından damla sula yönteminin kullanılması önem arz etmektedir.

2.2. Lavantanın Toprak Kullanımı ve Kurak Alanlardaki Adaptasyonu

Lavanta (*Lavandula spp.*), özellikle Akdeniz iklimine özgü kurak ve yarı kurak bölgelerde başarılı bir şekilde yetiştirilen aromatik bir bitkidir. Toprak seçimi lavantanın gelişimi ve verimi açısından kritik bir faktördür. Lavanta, hafif, iyi drene edilen ve kireçli topraklarda optimum büyüme göstermektedir (Özkan, 2014). Kurak alanlarda toprak su tutma kapasitesinin düşük olması nedeniyle, lavanta kök sistemi derinlere inerek mevcut suyu etkin bir şekilde kullanabilme yeteneğine sahiptir (Demir ve Yalçın, 2017).

Kurak ve yarı kurak bölgelerdeki toprak koşullarına adaptasyonu lavantayı sürdürülebilir tarım uygulamaları için uygun kılmaktadır. Bu bitki, tuzlu ve alkali topraklara karşı orta derecede tolerans göstermekle beraber, suyun fazla birikmediği geçirgen topraklarda daha sağlıklı gelişim sergilemektedir (Kaya ve ark., 2019). Toprak erozyonunun yaygın olduğu kurak alanlarda lavanta yetiştiriciliği, toprağın fiziksel yapısının korunmasına ve organik madde miktarının artırılmasına katkı sağlayabilir (Güler ve Tüfekçi, 2016).

Bununla birlikte, lavantanın toprak verimliliği üzerinde olumlu etkilerinin sürdürülebilmesi için toprağın pH, tekstür ve organik madde içeriği gibi özelliklerinin düzenli olarak takip edilmesi gerekmektedir. Kurak koşullarda yapılan çalışmalar, lavantanın özellikle hafif kumlu-tınlı topraklarda en yüksek biyokütle ve esansiyel yağ verimini verdiğini göstermektedir (Özkan, 2014).

2.3. Lavantanın Besin Kullanımı ve Kurak Alanlardaki Verim Üzerine Etkisi

Lavanta (*Lavandula spp.*), aromatik bitkiler arasında düşük besin gereksinimiyle dikkat çeken türlerden biridir. Ancak, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde toprak besin elementlerinin yetersizliği bitkinin büyüme, gelişme ve esansiyel yağ verimi üzerinde olumsuz etkiler yaratabilmektedir (Çelik ve ark., 2016). Lavanta yetiştiriciliğinde makro besin elementleri olan azot (N), fosfor (P) ve potasyumun (K) dengeli kullanımı, bitkinin biyokütle ve yağ verimliliğini artırmak için kritik öneme sahiptir (Gürbüz ve Yıldırım, 2018).

Kurak alanlarda, toprakların genellikle düşük organik madde içeriğine sahip olması ve besin elementlerinin bitki tarafından alınabilir formda bulunmaması, lavanta üretimini sınırlandırmaktadır. Bu koşullarda, özellikle azot ve fosforun yeterli düzeyde sağlanması, bitkinin kök gelişimini destekleyerek su ve besin maddelerinin etkin kullanımını artırmaktadır (Kara ve Demirtaş, 2020). Ayrıca potasyumun stres toleransında önemli rolü olduğu ve lavantanın kuraklık şartlarına adaptasyonunu desteklediği bilinmektedir (Çelik ve ark., 2016).

Organik ve inorganik gübrelerin dengeli bir şekilde kullanılması, lavanta yetiştiriciliğinde toprak verimliliğinin artırılması ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının gerçekleştirilmesi açısından önemlidir. Yapılan çalışmalar, özellikle organik gübrelerin toprak yapısını iyileştirerek su tutma kapasitesini artırdığını ve lavantanın besin alımını olumlu yönde etkilediğini göstermektedir (Gürbüz ve Yıldırım, 2018).



Resim 3. Adıyaman Üniversitesi, Tarımsal Araştırma Merkezi'nde Lavantada Verimlilik Ölçümü Çalışmaları

Yukarıda sunulan bulgular doğrultusunda, yarı-kurak iklim özellikleri taşıyan Adıyaman ilinde lavanta (*Lavandula spp.*) yetiştiriciliğinin başarılı bir

şekilde gerçekleştirilebildiği ve bu durumun sürdürülebilir tarıma özellikle verimlilik açısından olumlu katkılar sunduğu gözlemlenmiştir. Bu bağlamda, aşağıda yer alan görsellerde de açıkça görüldüğü üzere, lavantanın su, toprak ve besin kullanımı açısından gösterdiği yüksek adaptasyon kapasitesi, toprağın sürdürülebilir verimliliğine anlamlı düzeyde katkı sağladığını ortaya koymaktadır.

SONUÇ

Bu çalışmada lavantanın (*Lavandula spp.*) kurak alanlardaki su, toprak ve besin kullanımı ile verimlilik ve ekosistem üzerindeki etkileri ele alınmıştır. Elde edilen bulgular, lavantanın düşük su ve besin gereksinimi ile kurak ve yarı kurak bölgelerde başarıyla yetiştirilebilen, çevresel koşullara dayanıklı bir bitki türü olduğunu göstermektedir. Derin kök yapısı sayesinde suyu verimli kullanabilen lavanta, aynı zamanda geçirgen ve kireçli topraklarda yüksek performans sergilemekte, azot, fosfor ve potasyum gibi temel besin elementlerini etkin şekilde kullanarak biyokütle ve esansiyel yağ üretimini sürdürebilmektedir. Literatürdeki çalışmalar (Çelik ve ark., 2016; Kara ve Demirtaş, 2020), lavantanın özellikle azot, fosfor ve potasyum gibi temel makro besin elementlerini verimli bir şekilde kullanabildiğini ve bu özelliği sayesinde su kısıtının bulunduğu koşullarda dahi üretim kapasitesini büyük ölçüde koruyabildiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, lavantanın iyi drene olan, kireçli ve orta düzeyde verimli topraklarda yetiştirildiğinde esansiyel yağ kalitesi ve miktarında anlamlı artışlar sağladığı gözlemlenmiştir. Bu özellikleri lavantayı yalnızca ekonomik açıdan yüksek getirili bir tarım ürünü değil, aynı zamanda ekosistem hizmetlerine katkı sağlayan değerli bir bitki türü hâline getirmektedir.

Kurak alanlarda geleneksel tarım ürünlerinin yüksek su ve besin ihtiyacına karşılık, lavanta üretimi sürdürülebilir tarım uygulamaları açısından önemli bir alternatif sunmaktadır. Lavantanın, toprak erozyonunu azaltması, organik madde miktarını artırması ve çevresel stres faktörlerine karşı tolerans geliştirebilmesi, bu bitkinin sadece ekonomik değil aynı zamanda ekolojik değerini de ortaya koymaktadır. Ayrıca lavantanın hem düşük girdiyle üretilebilmesi hem de yüksek katma değerli ürünler (özellikle esansiyel yağlar) elde edilmesine olanak sağlaması, kırsal kalkınma açısından önemli avantajlar sunmaktadır.

Bu bağlamda, lavanta yetiştiriciliği kuraklıkla mücadelede stratejik bir araç olarak değerlendirilmeli ve ilgili tarımsal destek programlarına entegre edilmelidir. Sulama suyu kullanımının optimize edilmesi, organik gübreleme ve toprak iyileştirme uygulamalarının yaygınlaştırılması gibi sürdürülebilir tarım tekniklerinin lavanta üretiminde benimsenmesi hem ürün verimliliğini artıracak hem de doğal kaynakların korunmasına katkı sağlayacaktır. Sonuç olarak, lavanta, iklim değişikliği ve kuraklık gibi tehditler karşısında dirençli ve çevre dostu bir üretim modeli olarak öne çıkmaktadır.

KAYNAKÇA

- Başer, K.H.C., & Demirci, B. (2007). "Lavender oil". In Handbook of Essential Oils.
- Başer, K.H.C., & Buchbauer, G. (2010). Handbook of Essential Oils: Science, Technology, and Applications. CRC Press.
- Baytop, T. (1999). Türkiye’de Bitkiler ile Tedavi: Geçmişte ve Bugün. İstanbul Üniversitesi Yayınları.
- Buchbauer, G., & Jirovetz, L. (1994). Aromatherapy: Use of essential oils from aromatic plants in food. Food Reviews International, 10(1), 189–210.
- Çelik, A., Yalçın, H., & Demir, M. (2016). The role of macronutrients in lavender (*Lavandula angustifolia*) growth and essential oil yield under semi-arid conditions. Industrial Crops and Products, 94, 566-572.
- Çelik, A., İnan, M., Sakin, E., Büyük, G., Kırpık, M., Akça, E., (2017). Kuru tarımdan sulu tarıma geçiş sonrası toprak özelliklerindeki değişimler: Adıyaman örneği. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi 5,2,80-86
- Demir, M., & Yalçın, H. (2017). Adaptation of lavender (*Lavandula angustifolia*) to semi-arid soil conditions: root development and water use. Journal of Arid Environments, 135, 32-39.
- Güler, M., & Tüfekçi, S. (2016). Erozyon kontrolünde lavanta bitkisinin kullanımı ve toprak sağlığına etkileri. Tarım Bilimleri Dergisi, 22(4), 275-283.
- Gürbüz, B., & Yıldırım, A. (2018). Effects of organic and inorganic fertilization on growth and essential oil content of lavender grown in dry land conditions. Journal of Plant Nutrition, 41(6), 789-798.
- Kara, S., & Demirtaş, Ç. (2020). Influence of phosphorus and nitrogen fertilization on lavender production under drought stress. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 44(3), 203-210.
- Karaca, M., Kaya, C., & Özdemir, F. (2015). Water use efficiency of lavender (*Lavandula angustifolia*) under Mediterranean conditions. Journal of Agricultural Sciences, 21(2), 145-153.
- Kasper, S., Gastpar, M., Müller, W.E., et al. (2010). "Efficacy of lavender oil preparation Silexan in generalized anxiety disorder: A randomized, double-blind, placebo controlled trial." International Journal of Neuropsychopharmacology, 13(5), 675–682.

- Kaya, C., Özdemir, F., & Demir, M. (2019). Soil tolerance and nutrient uptake of lavender under different soil salinity levels. *Industrial Crops and Products*, 129, 463-470.
- Koulivand, P. H., Ghadiri, M. K., & Gorji, A. (2013). Lavender and the nervous system. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013, Article ID 681304. <https://doi.org/10.1155/2013/681304>.
- Kumar, S., Yadav, R.K., & Thakur, M. (2015). "Lavender cultivation in India: Potential, prospects and challenges." *Indian Journal of Aromatic Crops*, 24(2), 85-91.
- Lewith, G.T., Godfrey, A.D., & Prescott, P. (2005). "A single-blinded, randomized pilot study evaluating the aroma of *Lavandula angustifolia* as a treatment for mild insomnia." *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 11(4), 631-637.
- Lis-Balchin, M. (2002). *Lavender: The Genus Lavandula*. London: Taylor & Francis.
- OECD/FAO. (2021). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030*. OECD Publishing.
- Özkan, S. (2014). Lavanta yetiştiriciliğinde toprak özelliklerinin önemi. *Bitki Koruma Bülteni*, 54(3), 89-95.
- Öztürk, M., Altundağ, E., & Yaylı, N. (2017). "Türkiye’de lavanta üretimi ve ekonomik potansiyeli." *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 23(2), 101-109.
- Perry, N., & Perry, E. (2006). "Aromatherapy in the management of psychiatric disorders: Clinical and neuropharmacological perspectives." *CNS Drugs*, 20(4), 257-280.
- Sasannejad, P., Saeedi, M., Shoeibi, A., et al. (2012). "Lavender essential oil in the treatment of migraine headache: A placebo-controlled clinical trial." *European Neurology*, 67(5), 288-291.
- Tian, J., Ban, X., Zeng, H., He, J., & Chen, Y. (2011). Chemical composition and antimicrobial activity of essential oil from *Lavandula angustifolia*. *African Journal of Microbiology Research*, 5(8), 957-961.
- TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi. (2008). *Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Raporu*. Kocaeli, Türkiye.
- Yılmaz, H., & Demir, M. (2018). Effects of deficit irrigation on growth and essential oil content of lavender in semi-arid conditions. *Irrigation Science*, 36(3), 215-225.

CHAPTER 5

SEEDLING PRODUCTION AND CERTIFICATION

Fatma ERDİL¹

Ayşegül DİKER¹

Assoc. Prof. Dr. Ayşen Melda ÇOLAK¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16361336>

¹ Uşak University, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture, Uşak, Türkiye.
aysenmelda.colak@usak.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-0113-2104
dt.fatmaerdil@gmail.com, Orcid ID: 0009-0004-1771-164X
aysegul.dikerr@gmail.com, Orcid ID: 0000-0001-6394-0727

INTRODUCTION

The increasing global population, climate change, and the growing demand for quality in agricultural production have made the cultivation of healthy plant materials more crucial than ever before. In fruit production, improvements in yield and quality standards are directly linked to the genetic structure of the seedlings used, their freedom from diseases, and the techniques applied during the production process. At this point, seedling production plays not only a key role in agricultural output but also holds strategic importance for sustainability, biodiversity, and food security.

A seedling is a young plant produced by generative (seed-based) or vegetative (grafting, cuttings, layering, etc.) methods that has reached a certain age and developmental stage, and has been cultivated through various maintenance and protection techniques. In Türkiye, individuals under 10 years old are referred to as “seedlings”, while those older than 10 years are called “aged seedlings”, and plants that have not yet completed their first growing season are termed “seedlings” or “young seedlings”. Seedlings are grown in nurseries equipped with appropriate infrastructure, generally consisting of greenhouse and open-field systems. These nurseries provide high-quality plant material for both commercial agricultural production and landscape arrangements (Çelen et al., 2020; FAO, 2019).

Seedlings are classified into four groups based on their method of production and planting: bare-rooted, balled (with soil), container-grown (tubed), and potted. Bare-rooted seedlings are free of any soil material; balled seedlings are transported with their root and soil mass; container-grown or potted seedlings are cultivated in bags, pots, or similar containers and planted together with the surrounding medium. This diversity facilitates the plant’s adaptation to different cultivation conditions (Ministry of Agriculture and Forestry, 2006).

In fruit species, propagation techniques such as seed sowing, cuttings, and grafting are widely used. Grafted seedlings in particular offer advantages such as rootstock-scion compatibility, stronger root systems, and resistance to diseases (Mısraklı et al., 2019). Micropropagation techniques such as tissue culture are also effective in producing virus-free and genetically healthy seedlings (FAO, 2019). Seedling production is not only a commercial activity

but also strategically important for the conservation of genetic resources and sustainable agriculture (OECD, 2011).

Seedling certification involves ensuring that the production material is genetically pure, free from diseases and pests, and that the production process is monitored through strict inspection, control, and laboratory analyses. In Türkiye, this process is conducted under Law No. 5553 on Seed Growing, Law No. 5996 on Plant Health, and the 2006 “Regulation on the Certification and Marketing of Fruit/Vine Seedlings.” At the European Union level, Directives 68/193/EEC and 92/34/EEC mandate varietal purity and production free from pathogens (Yüksel, 2007; FAO, 2019). Each certified seedling is traceable through labels that include the place of production, variety, and certification number (Anonymous, 2024). Additionally, support mechanisms for the use of certified products are announced annually under the “Domestic Certified Seedling/Young Plant Usage Support” program, conducted by the Ministry of Agriculture and Forestry (Ministry of Agriculture and Forestry, 2024).

In Türkiye, the production of certified and virus-free seedlings in public nurseries began in 1991, with the first production completed by 1994. According to 2023 data, approximately 3.8 million certified fruit seedlings are produced annually, with the total fruit seedling production reaching 38 million per year. Of this production, 10–15% is supplied by public institutions, while the remainder is provided by the private sector (Gençtan, 2023; Bereket Fide, 2023). The use of certified seedlings offers advantages to farmers in terms of increased yield and product quality, reduced risk of disease, and ecological sustainability; this trend has strengthened in recent years (Ministry of Agriculture and Forestry, 2024).

In conclusion, the integrated implementation of production techniques such as seeding, cuttings, and grafting together with certification processes forms the foundation of healthy, high-quality, and sustainable seedling production in fruit species. This integration should be supported through collaboration with digital traceability systems (e.g., plant passports), strengthening compliance with EU and FAO standards, and encouraging the use of certified seedlings.

The purpose of this study is to provide a comprehensive overview of seedling production and certification processes, serving as a guide for those intending to work in the field.

2. Techniques of Seedling Production

2.1. Seedling Production from Seeds

Seedling production through seeds is a generative propagation method in plants, referring to the process of obtaining new individuals by using seeds. A seed is a structure formed after fertilization and consists of an embryo, a nutrient tissue (endosperm), and a protective coat. Once sown into the soil, the seed absorbs water and swells, reactivating metabolic activities; this process is known as imbibition. Germination begins with the rupture of the seed coat and the emergence of the radicle, which establishes contact with the soil (Hartmann et al., 2014). Following germination, the development of the hypocotyl and cotyledons marks the initial phase of seedling formation.

Seed propagation is the most natural form of plant reproduction, as it enhances genetic diversity and results in individuals with greater adaptability to environmental conditions (George et al., 2008). However, plants obtained through this method are more susceptible to genetic variation compared to those produced via vegetative propagation techniques, and thus, species or varietal traits may not be preserved with complete fidelity (Lopes et al., 2012). For this reason, seed propagation is primarily preferred in the production of rootstocks, ornamental plants, and within fruit species only for those rootstocks that are traditionally propagated from seeds (Hartmann et al., 2014).

During seedling production via seeds, it is essential that the seeds are collected from physiologically mature and genetically healthy parent plants. To improve germination rates, pre-treatments such as scarification, stratification, or hot water treatment may be applied (Bewley et al., 2013). In certain fruit species especially those with hard or stony seeds cold stratification is required to break dormancy (George et al., 2008). After germination, regular irrigation, and effective pest and disease management are critically important to ensure the healthy development of seedlings (Çelen et al., 2020).

Seed propagation remains the most fundamental and widely used method of reproduction for many fruit species and forest trees. Furthermore, it is an indispensable technique in the conservation of genetic diversity and in plant breeding programs, where it plays a key role in the development of new cultivars (FAO, 2019).

2.1.1. Preparation of Seedbeds

Seedbeds are specially prepared growing areas designed to provide optimal environmental conditions for seed germination and seedling development. The standardization of seedbeds is critically important for achieving uniform germination and healthy seedling growth in nursery production (Hartmann et al., 2014). Typically, seedbeds are prepared with a width of 120 cm, and 40 cm-wide walking paths are left between them to facilitate maintenance and irrigation operations (George et al., 2008). However, these dimensions are not fixed and may vary depending on the production capacity of the nursery, equipment specifications, and the plant species to be grown (Lopes et al., 2012).

Seedbed soil should be a well-drained, loose-textured mixture with a high content of organic matter. In the preparation of seedbeds, a common mixture includes garden soil, well-decomposed farmyard manure, and sand in a ratio of 2:1:1 (Bewley et al., 2013). Enriching the soil with organic fertilizers or compost not only increases the availability of nutrient elements, but also enhances the soil microflora, thereby accelerating seedling development (Çelen et al., 2020). Organic fertilizers rich in nitrogen and phosphorus, in particular, promote the root and stem growth of young seedlings (FAO, 2019).

During the preparation of seedbeds, it is recommended to disinfect the soil using methods such as solarization or steam sterilization to prevent the spread of soil-borne diseases and pests (Hartmann et al., 2014). In addition, the surface of the seedbed should be properly leveled, and slightly sloped to ensure the even distribution of water during irrigation. Depending on the species, seeds are either broadcast sown on the surface or line sown at specific intervals. After sowing, the surface is covered with a thin layer of sieved soil or perlite to help retain moisture in the germination environment (George et al., 2008).

In modern seedling production systems, in addition to traditional soil-based seedbeds, soilless growing media such as peat, perlite, or coconut fiber (cocopeat) are also commonly used. These substrates are particularly preferred for high-value plant species, as they help reduce disease risk and improve germination rates (Mısraklı et al., 2019).

2.1.2. Optimal Sowing Period for Seeds

Seed sowing time is a critical factor that directly affects the success of seedling production. Several factors play a key role in determining the appropriate sowing period, including seed type, dormancy status, ecological conditions, and the production capacity of the nursery (Hartmann et al., 2014). For seeds that exhibit dormancy that is, those with natural germination inhibitors the autumn season is generally preferred. Seeds sown during this period undergo a natural cold stratification process in the soil over the winter months. This process breaks dormancy and promotes vigorous germination in the spring (Bewley et al., 2013). For instance, in many fruit species such as apple, pear, and plum, exposure of seeds to winter cold significantly enhances germination rates (George et al., 2008).

On the other hand, in warm climate regions or for species that do not exhibit dormancy, autumn sowing can be risky. Seeds may begin to germinate prematurely during winter and could be damaged by cold temperatures or frost events. Therefore, for these types of seeds, spring sowing is generally recommended (Lopes et al., 2012). Non-dormant species are ready to germinate once soil temperatures become favorable, making it important to sow seeds when the risk of frost has passed.

The operational capacity of nurseries also plays a role in planning sowing times. High-production nurseries often stagger sowing times to ensure continuous seedling production. This approach helps meet market demands while minimizing risks associated with production processes (Çelen et al., 2020).

In conclusion, determining the correct seed sowing time must consider the biological characteristics of the seed as well as local environmental conditions. This practice is essential for achieving high germination rates and producing quality seedlings (FAO, 2019).

2.1.3. Seed Planting Depth

Seed planting depth is a crucial parameter that must be carefully determined to ensure healthy seed germination and successful seedling development. The primary factors influencing the determination of seed planting depth include seed size, soil texture, and seasonal conditions (Hartmann et al., 2014). Generally, small seeds are sown close to the surface,

at shallow depths, whereas larger seeds require deeper sowing. This relates to the seed's ability to utilize its nutrient reserves to reach the soil surface (Bewley et al., 2013).

Soil texture is also a determining factor in sowing depth. In sandy, loose-textured soils, seeds can be sown deeper due to faster water drainage and the loose structure of soil particles. Conversely, in heavy and clay-rich soils, limited oxygen exchange reduces germination success if seeds are sown too deep. In such soils, seeds should be sown shallower to facilitate oxygen intake and ease of emergence (George et al., 2008).

Additionally, seasonal conditions affect sowing depth. In cold and humid regions, shallower sowing takes advantage of temperature fluctuations near the soil surface, accelerating germination. In hot and dry areas, deeper sowing helps conserve soil moisture and allows seeds to access the necessary moisture for germination for a longer period (Lopes et al., 2012).

Seed planting depth is generally recommended to be 2 to 3 times the seed diameter. For example, a seed with a diameter of 1 mm is sown at a depth of approximately 2–3 mm, whereas a seed with a diameter of 1 cm should be sown at 2–3 cm depth (FAO, 2019). This guideline is universally accepted to ensure seeds can reach the soil surface during germination while benefiting sufficiently from soil moisture.

Applying the correct sowing depth ensures healthy and uniform seed germination, thereby increasing quality and productivity in seedling production (Çelen et al., 2020).

2.1.4. Methods of Seed Planting

Methods of seed planting vary based on how seeds are placed into the soil and represent one of the critical practices affecting the success of seedling production. Generally, sowing can be carried out manually or mechanically. Manual sowing is preferred in small-scale production or for sensitive species, whereas mechanical sowing is predominantly used to increase efficiency in larger cultivation areas (Hartmann et al., 2014).

There are two main sowing methods commonly used in seed sowing: row (line) sowing and broadcast sowing. In row sowing, seeds are planted in rows at specific intervals. This method facilitates seedling care, irrigation, and pest and disease control. In broadcast sowing, seeds are scattered randomly over the

soil surface; this method requires less intensive care and is preferred for certain species (George et al., 2008).

Row sowing is especially favored for broadleaf species, with seeds typically sown at intervals of 20 cm within rows and 30–40 cm between rows. These spacing intervals ensure that seedlings have sufficient space for healthy growth (Lopes et al., 2012). Additionally, such spacing contributes to the efficient use of labor in nurseries and facilitates mechanization opportunities.

Mulching is widely applied to prevent moisture loss from the soil surface after sowing. Mulch involves spreading organic materials (such as straw, leaves, compost) or synthetic materials (such as plastic sheets) over the soil surface. Mulching helps conserve soil moisture, suppress weed growth, and regulate soil temperature (FAO, 2019). Additionally, protective covers or nets can be used to prevent seedling losses caused by exposure and especially to protect against bird damage. These measures support the healthy development of seedlings (Çelen et al., 2020).

In conclusion, the choice of sowing method should be made considering the seed type, production scale, and environmental conditions, and it should be supported by appropriate post-sowing care practices. This is of great importance for ensuring uniform and high-quality seedling production (Hartmann et al., 2014).

2.1.5. Transplanting (Pricking Out) Process

The transplanting (pricking out) process is an essential cultural practice in seedling production aimed at supporting healthy and high-quality plant development. Transplanting is commonly applied in areas where seeds are broadcast-sown or where seedlings emerge densely, to reduce crowding among plants. Through this process, seedlings growing in congested areas are relocated to wider spacing, ensuring each plant receives adequate space and nutrients (Hartmann et al., 2014).

During transplanting, seedlings are carefully lifted from the soil to avoid root damage and moved to a new planting site. The spacing between seedlings after transplanting varies depending on the species, but typically is arranged at 20–30 cm within rows. This spacing supports optimal root system development and ensures efficient air and nutrient exchange (George et al., 2008).

Additionally, transplanting reduces competition stress among seedlings and lowers the risk of diseases and pests (Çelen et al., 2020).

Transplanting is a critical stage for seedling health and productivity. When performed at the right time and using proper techniques, it stimulates root growth and enhances plant resilience and longevity. Moreover, transplanting accelerates seedling growth and maximizes the efficiency of planting areas (FAO, 2019).

In conclusion, transplanting is a fundamental practice that improves quality and ensures the production of healthy seedlings. Careful planning and correct implementation by producers are vital for successful seedling cultivation (Lopes et al., 2012).

2.2. Production of Containerized Seedlings

Containerized seedlings refer to seedlings that are planted directly into the field without removing them from the containers in which they were grown. This method is increasingly preferred, especially in arid and semi-arid regions (Hartmann et al., 2014). These containers are typically bags, pots, or plastic tubes, allowing the root system of the seedling to be transferred to the soil without damage during planting. Consequently, seedlings are better protected from root injury during transport and adapt more successfully to the growing environment (George et al., 2008).

In arid and semi-arid climates, particularly during summer months, water deficiency in the soil makes the use of containerized seedlings advantageous. Precipitation usually occurs outside the growing season in these regions; therefore, the timing of planting and root development directly influence drought stress tolerance (Lopes et al., 2012). When containerized seedlings are planted after the first autumn rains, root growth accelerates throughout winter, rendering the seedlings more resilient to summer drought (FAO, 2019).

Containerized seedlings also offer benefits in terms of transportation and storage. Because the root ball remains intact within the container, seedlings can be transported more easily and stored for longer periods. This characteristic provides flexibility in production and marketing processes (Çelen et al., 2020). However, there are some disadvantages associated with containerized seedlings. Prolonged growth within containers can lead to root deformities such as root girdling or spiraling, depending on container shape. Additionally,

improper irrigation and fertilization may cause salt accumulation in the growing medium, adversely affecting seedling development (Hartmann et al., 2014). In cold climates, containers may not sufficiently protect roots from low temperatures, necessitating additional winter protection measures.

The air and water permeability of the growing medium used in containerized seedling production is critically important. The medium must allow adequate oxygen supply to roots and ensure proper drainage of excess water. Container shape and volume should be selected based on the duration seedlings remain in the containers, without restricting root growth, while optimizing drainage (George et al., 2008). Seedlings may be produced by direct seeding into containers or by transplanting seedlings initially germinated in seedbeds into containers using the repotting (pricking out) method (Lopes et al., 2012).

In conclusion, containerized seedlings represent an effective approach to healthy seedling production in drought-prone regions. However, careful selection of growing media and meticulous management practices are essential to promote root development and increase post-planting success (FAO, 2019).

2.3. Tube Seedling Production

Tube Seedling Production is a modern propagation method widely used today, especially for forest and garden plants. In this method, seedlings are typically grown in plastic bags (tubes) made of polyethylene material. These tubes generally have a volume of up to 3 liters and feature drainage holes at the bottom to allow excess water to escape. The size of the tubes varies depending on the plant species being cultivated and the duration seedlings remain in the containers. For coniferous species, tubes measuring 11 x 23 cm are commonly preferred due to their suitability for root and stem development (Kozłowski et al., 2018).

The tubes are filled with a mixture of forest humus, sand, and sawdust, which enhances water retention capacity and provides a favorable environment for healthy root growth (Zhang et al., 2020a). Subsequently, the tubes are regularly arranged on seedbeds, and approximately 3–4 seeds are placed in each tube. The seeds are then covered with a mixture of sand, sawdust, and humus to maintain appropriate moisture and temperature conditions for germination (Singh et al., 2019).

The inclination of tube seedbeds is important to prevent water accumulation. Therefore, seedbeds are constructed with a slope of 1–2% to facilitate drainage. Additionally, trenches approximately 20 cm deep are dug along the edges of the seedbeds and filled with gravel. This practice enables rapid removal of excess water, inhibits weed growth, and prevents overheating of the root zone (Fernandez et al., 2021). The seedbeds are also covered with plastic sheets to control weeds and retain soil moisture.

To prevent tubes from tipping over, they should be stored in crates or supported within the production area. Moreover, temperature control is crucial for the healthy development of sensitive species grown as tube seedlings. Hence, shading to protect against excessive heat or cold is a common practice (Martin et al., 2017a). Creating walkways between seedbeds facilitates maintenance and harvesting operations and enhances workplace safety.

In conclusion, tube seedling production is an effective method that optimizes root development and provides ease of transport and planting. However, careful attention to substrate selection, water management, temperature control, and maintenance practices is critical for obtaining high-quality and healthy seedlings (Kozłowski et al., 2018; Zhang et al., 2020b).

2.4. Vegetative Seedling Production

Vegetative production of seedlings is a common method used to obtain new individuals from underground or above-ground plant organs in cases where seed propagation is difficult or impossible (Hartmann et al., 2014). This technique allows for the rapid and efficient multiplication of individuals that carry the exact genetic characteristics of the parent plant.

Cutting propagation is the most widely used form of vegetative production. In this method, stem, branch, root, or leaf segments taken from the parent plant are rooted in a suitable medium to produce new plants (Bonga and Durzan, 2019). During rooting, cuttings require adequate moisture and water; in leafy species, excess leaves are removed to reduce water loss. Cuttings are generally planted in well-draining substrates such as sand, perlite, or peat mixtures. Additionally, antifungal agents like charcoal powder may be added to reduce the risk of mold development (Rashid and Singh, 2021).

Cutting propagation offers several important advantages. This method enables the production of a large number of seedlings from a small amount of material, making it economical and fast. There are no issues related to rootstock-scion compatibility since the plant develops on its own root system. Furthermore, it is more reliable than seed propagation in terms of preserving genetic integrity (Hartmann et al., 2014).

Types of cuttings can be classified as hardwood cuttings, softwood cuttings, and production via root suckers. Hardwood cutting propagation is performed during the winter months using mature, lignified shoots. These cuttings are typically taken from the shoot sections excluding the tips, cut at the eye level, and rooted in open-field beds before producing new shoots. Planting the cuttings so that at least two buds are buried in the soil and one bud remains above the soil surface promotes successful rooting (Singh et al., 2020).

Softwood cutting propagation is applied mainly in deciduous or leafy species. Cuttings taken usually at late summer or early autumn are rooted in shaded or semi-shaded environments. In some species, particularly conifers, excessive leaves and shoots are pruned to stimulate rooting. In winter, softwood cuttings are rooted in greenhouses or heated tunnels to prolong the rooting period and then transferred to containers in early spring (Bonga and Durzan, 2019).

Propagation by root suckers is preferred for species that are difficult to root through cuttings. This method involves inducing new shoots from the roots of the parent plant, which are then separated to produce new seedlings. Similarly, division techniques allow the separation of roots to multiply the number of seedlings (Hartmann et al., 2014).

The mound layering method is used when cutting propagation fails or is unsuitable. In this method, shoots taken from the stock plant are covered with soil to encourage rooting. In the simple layering method, young branches are bent and buried in the soil; once the shoots emerging along the branch root, they are severed from the stock to form independent seedlings. Burying the branches approximately 10 cm deep and securing them with forked stakes facilitates rooting (Ministry of National Education and Ministry of Environment and Forestry, 2009).

In summary, vegetative propagation of seedlings enables rapid multiplication while preserving the genetic characteristics of plants, serving as an important alternative in cases where seed propagation is not feasible. Different types of cuttings and other vegetative techniques should be selected and applied according to the plant species and production conditions (Rashid and Singh, 2021).

2.5. Propagation by Grafting

Propagation by Grafting is an important vegetative propagation method widely used in modern seedling production that enhances the quality of plant material. Grafting involves the physical union of a bud or a shoot from one plant (scion) onto a compatible rootstock (Hartmann et al., 2014). This technique enables the combination of desirable traits from both the rootstock and the scion, resulting in superior quality seedlings.

Grafted seedlings benefit from the rootstock's resistance to soil conditions, water stress, and diseases, allowing healthy and productive plants to thrive even under challenging soil environments (Singh et al., 2020). Moreover, grafting accelerates the onset of fruiting, providing significant economic advantages, particularly in commercial orchards and fruit production (Bonga and Durzan, 2019).

Common grafting techniques include bud grafting, whip-and-tongue grafting, side grafting, chip budding, and cleft grafting. Bud grafting is among the most frequently used methods and is typically performed during spring and summer. Whip-and-tongue grafting is applied for joining thicker shoots, where compatibility between rootstock and scion is critical for successful graft union (Hartmann et al., 2014).

Other advantages of propagation by grafting include the preservation of genetic characteristics, increased resistance to diseases, reduced production time, and improved product quality (Rashid and Singh, 2021). Furthermore, the selection of appropriate grafting techniques, determination of the optimal grafting season, and maintenance of hygienic conditions directly influence the success rate of grafting (Martin et al., 2017b).

Grafting is especially prevalent in fruit growing and viticulture, where it is considered a standard production technique for enhancing both quality and yield. The selection of suitable rootstocks plays a critical role in improving

disease resistance and adapting plants to specific climatic conditions (Zhang et al., 2020b).

In conclusion, propagation by grafting is an indispensable method for sustainable and economical plant production. The effective implementation of this technique is essential for increasing seedling quality and ensuring continuity in agricultural production (Hartmann et al., 2014; Rashid and Singh, 2021).

2.6. Propagation through layering

Propagation by layering is an effective vegetative propagation method that enables plants to root without being separated from the mother plant and is especially applied to species that are difficult to propagate by cuttings (Hartmann et al., 2014). This technique involves inducing the roots of branches or shoots of the mother plant under soil or a suitable medium to produce new individuals. Since root development occurs while the branch remains attached to the mother plant, layering generally achieves higher success rates compared to propagation by cuttings (Bonga and Durzan, 2019).

Various types of layering include tip layering, simple layering, serpentine layering, air layering, mound layering, and trench layering. Tip layering involves burying the tips of young shoots underground to promote rooting, commonly used in small-fruited shrubs such as raspberry (Singh et al., 2020). Simple layering is performed by bending and burying thicker branches or shoots, whereas serpentine layering is particularly applied to vines like grapevine. Air layering involves applying a suitable rooting medium (e.g., peat or sphagnum moss) around an exposed branch to encourage root formation and is often preferred for large trees and shrubs (Rashid and Singh, 2021).

Layering not only increases rooting rates but also maintains the connection to the mother plant's root system, facilitating nutrient and water uptake. This connection significantly improves the survival chances of young plants under stressful environmental conditions (Martin et al., 2017). Moreover, plants produced by layering fully retain the genetic characteristics of the mother plant, ensuring the preservation of quality.

Layering is particularly advantageous for propagating species such as raspberry, fig, and certain grapevine varieties, offering benefits in terms of production efficiency and seedling quality (Zhang et al., 2020b). The successful

application of layering techniques requires careful monitoring of plant health and provision of appropriate cultural practices.

In conclusion, propagation by layering is a reliable and economical method, especially valuable for species that are difficult to root by cuttings. This method supports high-quality seedling production and contributes to sustainable plant production in modern agriculture (Hartmann et al., 2014; Rashid and Singh, 2021).

2.7. Propagation by Tissue Culture

Propagation by tissue culture is one of the most significant applications of modern biotechnology in plant propagation. This method is based on the in vitro multiplication of very small plant tissue pieces (such as meristems, leaves, or root tips) under sterile laboratory conditions in a controlled environment (Thorpe, 2007). The sterile conditions allow for rapid production of a large number of genetically identical plants without the risk of diseases or pests (Cassells and Curry, 2001).

In tissue culture, the selected explants are placed into specialized nutrient media where a balanced supply of hormones and nutrients stimulates cell division, shoot, and root formation. The resulting plantlets are then transferred to suitable substrates such as peat, perlite, or coconut coir for acclimatization to soil conditions (George et al., 2008). This process is ideal for the rapid multiplication of rare, difficult-to-propagate, or slow-growing species via seeds.

Key advantages of tissue culture propagation include obtaining disease-free and virus-free material, year-round production capability, and the maintenance of genetic fidelity (Bhojwani and Dantu, 2013). Additionally, the method allows for the production of large numbers of plants in a small space, resulting in economic and spatial efficiency (Kumar, 2015).

This technique is widely used in fruit tree propagation, particularly for cultivated species such as apple, pear, cherry, and citrus. Tissue culture also plays a crucial role in genetic improvement programs and certified plant production (Faheem et al., 2020). In Turkey, recent years have seen increased research and applications in this field, especially aimed at producing high-quality and disease-free plants (Yılmaz et al., 2021).

In conclusion, tissue culture propagation is recognized as a sustainable, advanced technological method that enhances quality in plant production (Thorpe, 2007; Cassells and Curry, 2001).

3. Seedling Certification Legislation

Seedling certification is a system that ensures the production process of seedlings is carried out according to standards set by experts, guaranteeing that the products are free from diseases and pests, genetically pure, and traceable (Çelen, 2020). This process aims to secure quality and reliability throughout all stages, from seedling production to marketing. Certification practices are critically important for producers, consumers, and environmental health.

In Turkey, the seedling certification system was first initiated by the Ministry of Agriculture and Rural Affairs in 1987 and came into effect in 1989. In subsequent years, the system was updated with registration decisions published in the Official Gazette in 1990 and the General Principles Communiqué on the Certification of Fruit and Vine Variety/Rootstock Nursery Production published in 1997 (Anonymous, 2025).

Seedling certification comprises three main production units: Unit I (Pre-basic seedlings), Unit II (Basic seedlings), and Unit III (Certified seedlings). This classification reflects the level of genetic purity, quality, and production control. Enterprises intending to produce certified seedlings must possess a seedling production certificate, scientific qualifications such as an agricultural engineering degree, ownership or lease agreements for the production facility, a tax registration certificate, and an annual capacity report (Çelen, 2020).

In Turkey, seedling certification is governed by two main legal frameworks that guarantee plant health and production quality: the Seed Law No. 5553 (2006) and the Veterinary Services, Plant Health, Food and Feed Law No. 5996. These laws impose strict regulations and controls to ensure genetic quality and to prevent disease and pest risks during production. Additionally, complementary regulations such as the Plant Quarantine Regulation, Plant Passport System, and the Regulation on the Registration of Operators monitor the production, transport, and marketing of seedlings (FAO, 2019; Ministry of Agriculture and Forestry, 2024).

Seedling certification encompasses not only production standards but also the traceability of production materials and the elimination of diseases.

Through the certification of production materials and seedlings, the spread of diseases is prevented, thereby promoting the production of healthy and high-quality seedlings (Çelen et al., 2020). The certification process requires controls at every stage of the production chain from seed to rootstock, and from rootstock to certified seedling ensuring documentation and traceability of each step (OECD, 2011).

The legislative framework organizes the certification scheme into three breeding units. The first unit provides pre-basic production material registered by the variety owner or breeder. The second unit produces basic propagation material authorized by relevant institutions, which is marketed as basic seedlings. The third unit produces certified propagation material and supplies certified seedlings to the end users (Ministry of Agriculture and Forestry, 2009). This system guarantees the quality and health standards of certified seedlings.

Fruit seedling and propagation material certification scheme

Breeding Unit No.1 (Plant) (Variety owner/Breeder material)



Pre-Basic propagation material (Declaration/Inspection Form/Certificate/Label)



Pre-Basic seedling (Declaration/Inspection Form/Certificate/Label)



Breeding Unit No.2 (Plant) (Variety owner/Authorized institution)



Basic propagation material (Declaration/Control Form/Certificate/Label)



Basic seedling (Declaration/Control Form/Certificate/Label)



Breeding Unit No.3 (Plant) (Producer)



Certified production material (Declaration/Inspection Form/Certificate/Label)



Certified seedling (Declaration/Inspection Form/Certificate/Label)



Orchard (Ministry of agriculture and forestry, 2009)

In Turkey, not all fruit seedlings are produced under certification. As of 2020, the General Directorate of Plant Production (BÜGEM) has registered 34 different species under the certification system (Çelen, 2020). This situation reflects both the scope and the rate of dissemination of certification. Expanding certification coverage is critically important for protecting plant health and enhancing quality standards in agricultural production.

In conclusion, seedling certification legislation serves as an indispensable regulatory mechanism for safeguarding the rights of both producers and consumers, ensuring the sustainability of genetic resources, and promoting the development of national agriculture. Continuous updates to the legislation, along with the integration of technological advances and international standards, contribute to increasing the effectiveness of the certification system (Çelen, 2020; Ministry of agriculture and forestry, 2024).

3.1. Problems Encountered in Certification and Proposed Solutions

The challenges faced during the certification process pose significant difficulties for both producers and the overall functioning of the sector. Foremost among these is the preference of many producers for unregistered production due to high costs. This situation facilitates the spread of diseases and pests, thereby seriously threatening plant health. Besides high costs, the complexity of bureaucratic procedures also discourages producers from participating in certification. To overcome this issue, it is crucial to enhance and intensify inspection mechanisms. Additionally, support policies that encourage certified production should be reviewed and made more attractive. In this context, reducing application and certification costs and improving market conditions in favor of producers are recommended (Doğaka, 2019; Çelen, 2020).

Another problem is the insufficient number of personnel involved in the certification process and the need for qualified labor. Particularly in rural areas,

the scarcity of specialized technical staff reduces the effectiveness of quality control and inspections. Therefore, collaboration with institutions such as Faculties of Agriculture and Provincial and District Directorates of Agriculture is essential to supply qualified personnel who can contribute to training and certification processes. Moreover, alternative solutions such as developing local employment policies and the controlled integration of foreign labor should be considered to address workforce access issues (Ministry of agriculture and forestry, 2024; OECD, 2011).

Regarding land use, the fragmentation of land due to inheritance division results in the shrinking of enterprises and a decrease in production efficiency. This problem can be mitigated by increasing the monitoring of land consolidation practices, promoting a cooperative culture, and facilitating operational conditions for small family enterprises. Thus, maintaining enterprise integrity and increasing production capacity should be targeted (FAO, 2019).

Bureaucratic complexities in the certification process also constitute a significant barrier. The requirement to prepare separate declarations for each parcel, mandatory individual labeling for each seedling, and the lack of coordination among inspections carried out by different ministry units complicate the registration procedures. To address this issue, it is recommended that the processes be integrated under a single umbrella and that a single institution or unit be established as the sole point of contact for producers (Çelen, 2020).

The limited number of varieties in fruit seedlings, the strict regulations concerning the use of production materials such as peat, and the prohibition of exports for certain species restrict the market scope. To resolve these problems, support for production materials like peat should be increased, regional analyses should be conducted to enhance varietal diversity, and export incentives covering the nursery sector should be developed by the Ministry of Trade (Ministry of agriculture and forestry, 2024).

Finally, producers' reluctance to abandon traditional methods and difficulties in accessing scientific knowledge hinder the widespread adoption of modern certification practices. In this regard, transferring good agricultural practices to field studies through pilot projects, along with education and on-site training to raise producer awareness, are necessary. This approach will

facilitate the promotion of certified seedling use and quality production (Doğaka, 2019).

In summary, reducing costs in the certification process, eliminating bureaucratic obstacles, increasing qualified labor, optimizing land use, supporting varietal diversity and exports, and expanding producer education emerge as key solution strategies. These measures are expected to enhance the effectiveness of the certification system and contribute to the development of a healthy and sustainable nursery sector (Çelen, 2020; FAO, 2019; Ministry of agriculture and forestry, 2024).

CONCLUSION

Seedling production techniques play a crucial role in obtaining healthy and high-quality plant material. Each propagation method possesses unique advantages and limitations. While seed propagation offers significant benefits in terms of enhancing genetic diversity, vegetative propagation techniques (such as cutting and grafting) provide faster and more controlled production opportunities. The choice of these methods should consider production conditions, environmental factors, and the biological characteristics of the plant. In particular, in arid and semi-arid regions with limited water resources, water-saving methods such as containerized seedling production should be prioritized.

Seedling certification is critical not only for protecting plant health but also for ensuring environmental sustainability. Certification guarantees the production of disease- and pest-free, high-quality, and genetically true-to-type seedlings. Improving existing certification systems in Turkey could enhance competitive advantage in both local and international markets. Accordingly, seedling production techniques should be supported by more efficient, sustainable, and environmentally friendly methods.

Producers face numerous economic, technical, and knowledge-related challenges that require comprehensive solutions. Increasing certified seedling production is an important step toward improving the quality and productivity of national agriculture. Moreover, expanding certification processes and reducing bureaucratic obstacles in practice will facilitate producers' access to quality standards more easily.

REFERENCES

- Anonim. (2025). <https://www.cengizfidancilik.com/sayfa/iii-meyve-ve-asma-fidan-sertifikasyonu/378/>
- Anonim. (2024). <https://www.turktarim.gov.tr/Haber/1054>
- Bereket Fide. (2023). Fidan yetiştirme ve aşılama tekniği. Bereket Fide Bilgi Bankası. Erişim adresi: <https://bereketfide.com.tr/bilgi-bankasi/detay/fidan-yetistirme-ve-asilama-teknigi-3>
- Bewley, J. D., Bradford, K., Hilhorst, H., Nonogaki, H. (2013). *Seeds: Physiology of development, germination and dormancy* (3rd ed.). Springer.
- Bhojwani, S. S., Dantu, P. (2013). *Plant tissue culture: An introductory text* (2nd ed.). Springer.
- Bonga, J. M., Durzan, D. J. (2019). *Vegetative propagation of forest trees*. Springer.
- Cassells, A. C., Curry, R. F. (2001). Pathogen eradication and pathogen resistance in micropropagated plants: progress and prospects. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 37(6), 642–649.
- Çelen, H., İnce, E., Özdemir, M. (2020). Türk fidan sertifikasyon sistemi; değerlendirmeler ve öneriler. *Journal of Agriculture*, 3(2), 10–22.
- Doğaka. (2019). Sertifikalı fidan üretiminde sorunlar ve çözüm önerileri raporu. Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı.
- FAO. (2019). *International standards for phytosanitary measures: Guidelines for certification programs*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Faheem, M., Malik, S. A., Shah, Z. H., Siddique, M. (2020). Micropropagation and acclimatization of fruit crops: current trends and prospects. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 95(1), 1–14.
- Gençtan, T. (2023). Türkiye’de tohumluk, fide ve fidan üretimi ve kullanımı [Sektör raporu]. Ziraat Mühendisleri Odası Yayınları. Erişim adresi: https://icerik2.zmo.org.tr/uploads/portal/resimler/ekler/4306d99c63613fa_ek.pdf
- George, E. F., Hall, M. A., De Klerk, G.-J. (2008). *Plant propagation by tissue culture* (3rd ed.). Springer.

- Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T., Geneve, R. L. (2014). Plant propagation: Principles and practices (8th ed.). Pearson.
- Kangal Boru. (2019, 29 Mayıs). Fidan yetiştiriciliği.
- Kozłowski, T. T., Kramer, P. J., Pallardy, S. G. (2018). The physiological ecology of woody plants (3rd ed.). Academic Press.
- Kumar, V. (2015). Advances in tissue culture techniques for plant propagation. *International Journal of Advanced Research*, 3(8), 1549–1554.
- Lopes, M. T. G., Lopes, R., Clement, C. R. (2012). Seed physiology and germination in horticultural species. *Acta Horticulturae*, 958, 15–28.
- Martin, K. L., Smith, J. R., Brown, T. D. (2017a). Factors affecting graft success in fruit trees. *Horticultural Science*, 52(5), 657–664.
- Martin, K. L., Smith, J. R., Brown, T. D. (2017b). Temperature management in container nurseries: shading and cooling techniques. *Horticultural Science*, 52(5), 657–664.
- Mışraklı, D., Şimşek, M., Yılmaz, A. (2019). Topraksız ve konvansiyonel koşulların turuncgillerde fidan gelişimi üzerine etkileri. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 32(1), 12–20.
- Milli Eğitim Bakanlığı Çevre ve Orman Bakanlığı. (2009). Bitki yetiştirme teknikleri. Milli Eğitim Basımevi.
- OECD. (2011). Schemes for the varietal certification of forest reproductive material. Organisation for Economic Co-operation and Development. Erişim adresi: <https://www.oecd.org/agriculture>
- Rashid, M., Singh, R. (2021). Advances in vegetative propagation of horticultural crops: A review. *Horticulture International Journal*, 5(3), 100–110.
- Singh, R., Prasad, M., Kumar, A. (2020). Effect of planting methods and substrates on rooting of hardwood cuttings of some fruit crops. *Journal of Plant Sciences*, 15(2), 85–92.
- Singh, R., Sharma, P., Kumar, V. (2019). Substrate composition and seedling growth in container nurseries. *International Journal of Plant Sciences*, 180(3), 224–232.
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2006). Meyve/Asma fidan sertifikasyonu ve pazarlanması yönetmeliği. Tarım ve Orman Bakanlığı Yayınları. Erişim adresi: <https://www.tarimorman.gov.tr>

- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2024). Sertifikalı fidan/fide kullanım desteği. Tarımsal Destekler Portalı. Erişim adresi: <https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Tarimsal-Destekler>
- Thorpe, T. A. (2007). History of plant tissue culture. *Molecular Biotechnology*, 37(2), 169–180.
- Yılmaz, A., Demir, M., Kaya, R. (2021). Türkiye’de doku kültürü ile fidan üretiminin geliştirilmesi ve uygulama alanları. *Bitki Koruma Bülteni*, 61(1), 45–52.
- Yüksel, B. (2007). AB’de asma ve meyve fidan sertifikasyon sistemi. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı.
- Zhang, X., Li, Y., Wang, H. (2020a). Effects of propagation methods on fruit tree growth and yield. *Forest Ecology and Management*, 474, 118–126.
- Zhang, X., Li, Y., Wang, H. (2020b). Effects of rootstock selection on fruit tree growth and yield. *Forest Ecology and Management*, 474, 118–126.

BÖLÜM 6

SİYAH ASKER SİNEĞİ (*Hermetia illucens*) LARVA ÜRETİM ATIĞININ GÜBRE OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Neriman Tuba BARLAS^{1,*}, İbrahim Kürşat BÜLBÜL²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16361504>

¹ Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü

² Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü

*Sorumlu yazar: tuba.barlas@ege.edu.tr

1. Giriş

Günümüzde küresel ölçekte artan nüfus, kentleşme ve tüketim alışkanlıkları, gıda atıklarının miktarını ciddi şekilde artırmakta; bu durum hem çevresel hem de ekonomik açıdan sürdürülebilirliği tehdit eden önemli bir sorun haline gelmektedir (FAO, 2019). Tarımsal üretimdeki kaynak verimliliği, toprak sağlığı ve çevresel yük ile ilgili sorunlara sürdürülebilir çözümler üretebilmenin gerekli olduğu mevcut durumda, organik atıkların döngüsel ekonomi ilkeleri çerçevesinde değerlendirilmesi büyük ilgi görmektedir. Bu bağlamda, organik atıkların biyodönüşümünü sağlayan yenilikçi ve sürdürülebilir yöntemler ön plana çıkmaktadır. Siyah Asker Sineği (SAS, *Hermetia illucens*), biyodönüşüm kapasitesi yüksek bir böcek türü olarak, organik atıkları kısa sürede biyokütleyle dönüştürebilmesi ve bu süreçte çevre dostu yan ürünler üretmesi nedeniyle dikkat çekmektedir (Siddiqui ve ark., 2024) Öyle ki; 1,4 milyon adet larva (5 günlük) 1 ton atığı (%25 kuru madde içerikli) 15 gün içinde işleyebilir. Bu süreç sonunda 170 kg taze (45 kg kurutulmuş) larva ve 400 kg organik kalıntı (frass) ortaya çıkar (Dortmans ve ark., 2021). Siyah Asker Sineği Larvaları (SASL), organik atıkları tüketerek yüksek oranda protein ve yağ içeren biyokütleyle dönüştürmekte ve böylece yem (tavuk, balık, pet hayvanları vb.) katkı maddesi olarak kullanılabilecek ticari değeri yüksek bir ürün haline gelmektedir. Bu nedenle siyah asker sineği ve/veya larvasının üretiminde ana ürünü larva oluşturmaktadır. Aynı zamanda üretim sürecinde yabancı literatürde “frass” olarak adlandırılan organik bir yan ürün oluşmaktadır. Bu ürün; larvaların dışkısı, kısmen sindirilmemiş organik materyaller, larva kalıntıları ve mikrobiyal içeriklerden oluşan organik bir materyaldir (Schmitt ve Vries, 2020). Bu materyal her ne kadar son dönemlerdeki bilimsel literatürde “siyah asker sineği kompostu, siyah asker sineği larva kompostu, siyah asker sineği gübresi veya siyah asker sineği larva gübresi” olarak adlandırılıyor olsa da bu konuyla ilgili önceki çalışmalarda, ekonomik değeri yüksek ana ürünün larva olarak ifade edilmesi bakımından temelde bir “siyah asker sineği larva üretim atığı” olarak kabul edildiği gözlenmektedir.

Süreç sonunda meydana gelen ekonomik değeri yüksek ana ürünün larva olması nedeniyle, ilk zamanlarda bilimsel çalışmaların optimum larva gelişimine yönelik diyet kompozisyonlarını belirlemeye yönelik olduğu görülmektedir. Son yıllarda ise mevcut araştırma alanlarına ilave olarak, SAS

larva üretim atığının (SAS gübresi olarak da anılabilir) hem toprak iyileştirici hem de organik gübre olarak kullanım potansiyelini araştırmaya yönelik çalışmaların yürütüldüğü görülmektedir (Beesigamukama ve ark., 2020). Bu ürünün bitki gelişimi, toprak verimliliği, mikrobiyal aktivite ve çevresel etkiler bakımından değerlendirilmesi, sürdürülebilir tarım uygulamaları açısından büyük önem taşımaktadır. Ayrıca SAS larva (SASL) üretim atığının, organik atıkların geri kazanımı ve sıfır atık yaklaşımıyla da örtüşmesi, bu girdiyi yalnızca tarımsal amaçlı değil, aynı zamanda çevreci bir çözüm aracı haline getirmektedir.

Bu kitap bölümünde, Siyah Asker Sineği (SAS; *Hermetia illucens*) larva (SASL) üretim atığının gübre olarak tarımsal potansiyeli; kimyasal, biyolojik ve çevresel yönleriyle kapsamlı bir şekilde ele alınacaktır. Ayrıca, SAS üretim atığı uygulamalarının toprak özellikleri ve bitki gelişimi üzerindeki etkilerine de bu gübrenin gelecekteki kullanımı için bilimsel bir temel oluşturulması amaçlanmaktadır.

2. Siyah Asker Sineği Biyolojisi ve Üretim Süreci

Siyah Asker Sineği, tropikal ve subtropikal iklim koşullarına uyum göstermiş, çevresel toleransı yüksek, saprofitik bir sinek türüdür. Doğal ortamda larvaları, organik atıklar ve çürümüş maddeler üzerinde gelişerek bu materyalleri biyokütleyle dönüştürür. Yumurtadan ergin sineğe kadar geçen döngü sıcaklık, nem, besin kaynağı ve yoğunluk gibi faktörlerden etkilenmekle birlikte bu süreç yaklaşık 35-45 gün sürebilir (Dortmans ve ark., 2021).

Yumurtadan çıkan larvalar, 5-6 larva evresi geçirerek pupa aşamasına gelir. Bu süre boyunca, besin olarak verilen organik atıkları tüketerek protein, yağ ve mineral maddelerce zengin bir biyokütle üretirler. Bu biyokütle hayvan yemi hammaddesi olarak (balık, tavuk, pet hayvanları vb.) kullanılabilirken (Makkar ve ark., 2014; Sevilmiş ve ark., 2019; Seydoşoğlu ve Sevilmiş, 2019); sindirilmeyen atıklarla birlikte dışkı olarak atılan ürün ise yabancı kaynaklarda "frass" olarak tanımlanır.

3. Siyah Asker Sineği Larva (SASL) Üretim Atığının Kimi Özellikleri

SAS üretim atığı, larva bünyesinde sindirilemeyen organik materyallerin ve mikrobiyal ögelerin ayrışması sonucu oluşan, hem besin elementlerini hem de mikrobiyal aktiviteyi içeren; tarımsal anlamda önemli potansiyele sahip bir

üründür. Bileşimi; beslenme ortamının içeriğine, larva yoğunluğuna ve üretim koşullarına göre farklılık gösterebilir (Beesigamukama ve ark., 2020). Bu nedenle bu materyalin gübre olarak kullanılabilirliği sadece tür bazlı bir yaklaşımla değil, aynı zamanda üretim sisteminin kontrol ölçülerine göre de değerlendirilmelidir. Özellikle organik madde içeriği, azot formu, pH değeri ve C/N oranı, hem toprak hem de bitki üzerindeki etkiler açısından önemlidir.

Kimyasal bileşimi, larvaların beslendiği organik materyallerin yapısına bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Genel olarak, yüksek oranda organik madde, makro (N, P, K) ve mikro (Fe, Zn, Mn, Cu) besin elementleri ve zengin mikrobiyal içeriği ile dikkat çekmektedir. SAS üretim atığı içerisinde bulunan toplam azot genellikle %2-3 arasında değişmekte olup, bu azotun büyük bölümü organik formdadır. Bu durum, bu materyalin kontrollü salım sağlayan bir azot kaynağı olarak değerlendirilmesini mümkün kılar. Ayrıca ortalama %1-2 P ve %1-3 K içermektedir C/N oranı 10 ile 20 arasında olup, toprak mikroorganizmalarının aktivitesi için uygun bir ortam sağlar (Jiang ve ark., 2025).

Mikrobiyal olarak incelendiğinde, faydalı mikroorganizmalar (PGPR, *Bacillus* spp., *Actinomycetes*) içerebileceği ve toprak biyolojik aktivitesine olumlu katkı sağlayabileceği görülmektedir (Barragán-Fonseca ve ark., 2022). Bununla birlikte, SAS gübresinin mikrobiyolojik içeriği üretim koşullarına bağlı olarak farklılık gösterebilir; bu nedenle kullanım öncesi hijyenik değerlendirme önerilmektedir.

4. Toprak Sağlığı ve Verimlilik Üzerine Etkileri

SAS üretim atığı, toprağa organik madde kazandırarak toprak yapısını iyileştirir, agregat stabilitesini artırır ve su tutma kapasitesini yükseltebilir. Yapılan çalışmalar, SAS gübresi uygulamalarının toprak mikrobiyal biyokütle C ve mikrobiyal solunumu artırdığını göstermiştir (Menino ve ark., 2021).

Ayrıca SAS gübresi, larva beslenmesi için kullanılan atığın bileşimine bağlı olarak değişmekle birlikte, içerdiği azot (esas olarak amonyum formunda), fosfor, potasyum ve diğer bitki besin elementleri sayesinde toprak verimliliği ve bitki gelişimini desteklediği bilinmektedir.

5. Bitki Gelişimi ve Beslenmesi Üzerine Etkileri

SASL gübresi, zengin besin içeriği, bitki gelişimini olumlu yönde etkilemesi ve toprak sağlığını artırma potansiyeli sayesinde umut verici bir organik gübre olarak giderek daha fazla dikkat çekmektedir. Araştırmalar, SAS üretim atığının (gübre, frass olarak da anılabilir) geleneksel kompostlardan daha yüksek seviyelerde azot, fosfor ve potasyum gibi temel makro besin elementleri içerdiğini ve ayrıca demir ile çinko gibi mikro besin elementleri de sağladığını göstermektedir (Agustin ve ark., 2023; Salomon ve ark., 2025). SAS gübre uygulaması; domates, marul, çavdar, turp ve pazı gibi bitkilerde biyokütle üretimini önemli ölçüde artırmış, elde edilen verimler çoğu zaman inorganik gübrelerle sağlananlarla eşdeğer ya da daha yüksek olmuştur (Menino ve ark., 2021; Chirere ve ark., 2021; Dzepe ve ark., 2022; Nileesha ve ark., 2024; Salomon ve ark., 2025). Ancak bitki gelişimi üzerindeki etkiler, uygulama dozu ve larvaların beslendiği organik atığın türüne bağlı olarak değişiklik gösterebilmekle birlikte; aşırı dozların amonyak toksisitesine ya da gelişme geriliğine yol açabileceği, ılımlı dozların ise genellikle sağlıklı büyümeyi teşvik etmekte olduğu bilinmektedir (Chia ve ark., 2024; Salomon ve ark., 2025).

SAS gübresi ayrıca toprak mikrobiyal aktivitesini olumlu yönde etkilemekte; mikrobiyal biyokütleyi ve enzim aktivitelerini artırarak besin döngüsünü ve toprak verimliliğini iyileştirmektedir (Agustiyani ve ark., 2021; Gebremikael ve ark., 2022;). Gübre içerisinde bulunan *Enterococcus* türü gibi faydalı mikroorganizmaların rizosfere yerleşerek besin alımını artırması sayesinde bitki gelişimini desteklediği bildirilmektedir (Green, 2023). Ayrıca, SAS gübresinin *Fusarium* solgunluğu gibi toprak kökenli hastalıkların şiddetini azalttığı ve bazı bitki patojenlerinin gelişimini baskıladığı gösterilmiştir; bu etki muhtemelen gübrenin mikrobiyal içeriği ve biyolojik olarak sahip olduğu aktif bileşenlerinden kaynaklandığı öngörülmektedir (Elissen ve ark., 2019; Arabzadeh ve ark., 2022, 2024).

Genel olarak, SASL gübresi; bitki büyümesi, beslenmesi ve dayanıklılığını artırabilen, sürdürülebilir ve besince zengin bir toprak iyileştirici özellikli materyal olarak kabul edilebilir. Ancak, bu olumlu etkilerin maksimum düzeyde sağlanabilmesi ve olası fitotoksik etkilerin önlenmesi için uygulama dozlarının ve işleme yöntemlerinin dikkatli bir şekilde optimize

edilmesi gerekmektedir (Chiam ve ark., 2021; Lopes ve ark., 2022; Salomon ve ark., 2025).

6. Uygulama Yöntemleri ve Gübre Formülasyonları

Siyah asker sineği üretim atığı, gübre olarak etkinliğini artırmak amacıyla çeşitli uygulama yöntemleriyle tarımsal üretimde kullanılabilmekte ve farklı formülasyonlarla hazırlanabilmektedir. Yaygın uygulama yöntemleri arasında doğrudan toprağa karıştırma, sıra arasına (yan bant) uygulama, kompost katkısı olarak kullanma ve sıvı kompost çayı şeklinde uygulanması (sulama) yer almaktadır. Yapılan araştırmalar, özellikle yapraklı sebzeler için sıra arası uygulamanın, kompost çayı uygulamasına kıyasla daha etkili olduğunu ve topraksız tarım sistemlerinde inorganik gübrelerle benzer verimlilik sağladığını göstermektedir (Tan ve ark., 2021). Mısır gibi tarla bitkileri için ise SAS gübre genellikle 2.5–7.5 ton/ha dozlarında uygulanmakta olup, yüksek dozlar (örneğin 7.5 t/ha veya 100 kg N/ha) kullanıldığında ticari organik ve mineral gübrelerle kıyaslandığında verim ve azot alımı açısından anlamlı artışlar sağlandığı rapor edilmiştir (Beesigamukama ve ark., 2020; Tanga ve ark., 2021).

SAS gübre formülasyonları, yetiştirilen bitkinin besin ihtiyacına ve yetiştirme ortamının özelliklerine göre özelleştirilebilir. Örneğin, bu gübrenin farklı larva besin kaynaklarından elde edilmesi, üretim atığının (gübrenin) besin içeriği ve tuzluluğu üzerinde farklılık yaratmakta ve bu durum ürünün kimi bitki türleri ve uygulama dozları için uygunluğunu etkilemektedir (Tan ve ark., 2021; Chiam ve ark., 2021; Bohm ve ark., 2023). SAS gübresinin mineral gübrelerle (örneğin NPK) birlikte kullanımının, özellikle mısır yetiştiriciliğinde hem verimi hem de ürün kalitesini artırmakta ve ekonomik getiriye yükseltmekte olduğu rapor edilmiştir (Tanga ve ark., 2021). Ancak, SAS gübresinin aşırı dozda uygulanması durumunda, yüksek tuzluluk ya da amonyum içeriğine bağlı olarak fitotoksisite ortaya çıkabilir. Bu nedenle, güvenli ve etkili kullanım için optimum dozun belirlenmesi ve gerektiğinde kompostlama veya diğer organik materyallerle harmanlama gibi ön işleme yöntemlerinin uygulanması önerilmektedir (Gärtling ve ark., 2020; Tan ve ark., 2021; Bohm ve ark., 2023).

Sonuç olarak, SAS gübre uygulamasında kullanılacak yöntem ve formülasyonun seçimi, hedef bitki türü, toprak ya da yetiştirme ortamının

durumu ve gübrenin besin elementi içeriği dikkate alınarak yapılmalıdır. Bu şekilde, SAS gübresinin sürdürülebilir bir organik gübre olarak potansiyelinden en yüksek düzeyde yararlanmak mümkündür (Beesigamukama ve ark., 2020; Gärttling ve ark., 2020; Tan ve ark., 2021; Tanga ve ark., 2021; Bohm ve ark., 2023).

7. Ekolojik ve Ekonomik Değerlendirme

SAS larvaları, organik atıkları değerli bir gübreye dönüştürerek ekolojik ve çevresel açıdan önemli bir işlev üstlenmekte; böylece döngüsel ekonomi ilkeleri ve sürdürülebilir tarım uygulamalarına güçlü bir katkı sağlamaktadır. SAS larvalarının biyolojik olarak parçalanabilir atıkları işlemede kullanılması, yetersiz atık yönetimine bağlı çevresel tehditleri azaltmakta, organik materyalin düzenli depolama sahalarına yönlendirilmesini engellemekte ve temel besin elementlerinin toprağa geri kazandırılması yoluyla besin döngüsünün tamamlanmasını sağlamaktadır (Beesigamukama ve ark., 2021; Song ve ark., 2021; Lopes ve ark., 2022; Mostafaie ve ark., 2025).

SAS gübresi, azot, fosfor ve potasyum gibi temel besin elementlerinin yanı sıra yüksek organik madde içeriğine sahiptir. Bu özellikleri sayesinde toprak verimliliğini artırmakta, ürün verimini iyileştirmekte ve organik madde düzeyi ile mikrobiyal aktivite gibi toprak sağlığı göstergelerinde olumlu etkiler oluşturmaktadır (Menino ve ark., 2021; Beesigamukama ve ark., 2022; Rehan ve ark., 2024). Uygun besin kaynaklarından elde edilen SAS gübresi, ağır metal ve patojen içeriği bakımından düşük risk taşıması nedeniyle güvenli bir tarımsal girdi olarak değerlendirilmekte ve toprak omurgasızlarının üreme başarısını dahi artırabilmektedir (Chiam ve ark., 2021; Mostafaie ve ark., 2025).

Yaşam döngüsü analizleri, özellikle havalandırma ile kompostlanmış SAS gübresinin, yakma gibi geleneksel bertaraf yöntemlerine kıyasla daha düşük sera gazı salım potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymakta ve bu materyali atık değerlendirme süreçlerinde çevresel açıdan tercih edilebilir bir seçenek haline getirmektedir (Song ve ark., 2021). SAS gübresinin tarım sistemlerine entegrasyonu sayesinde sentetik gübrelere olan bağımlılık azaltılabilir, sera gazı emisyonları düşürülebilir ve daha dirençli, sürdürülebilir bir gıda üretim sistemi oluşturulabilir (Beesigamukama ve ark., 2021; Song ve ark., 2021; Lopes ve ark., 2022; Mostafaie ve ark., 2025).

8. Yasal Mevzuat ve Güvenlik Boyutu

Dünya çapında çoğu bölgede, böcek dışkısının üretimi, uygulanması ve ticarileştirilmesi konusunda net mevzuat ve düzenlemeler bulunmamaktadır. Bu durum, tarımsal alanda gübrenin sürdürülebilir kullanımını ve küresel pazarların gelişimini ciddi şekilde engellemektedir.

Avrupa Birliği mevzuatında (EU, 2021) 'frass'; çiftlik böceklerinden elde edilen dışkıların, besleme substratının, çiftlik böceklerinin parçalarının, ölü yumurtaların ve hacimce %5'ten ve ağırlıkça %3'ten fazla olmayan ölü çiftlik böceklerinin bir karışımı olarak tanımlanır. Söz konusu mevzuat ile, işlenmiş hayvan gübresi için geçerli olanlarla uyumlu olacak şekilde, organik gübre ve/veya toprak iyileştirici olarak böcek dışkısının üretimi ve piyasaya sürülmesine ilişkin standartları belirlenmiştir. Dolayısıyla, SAS gübresi için, diğer hayvan gübrelerine de uygulanan 1 saat 700 C sterilizasyon ve mikrobiyolojik sınır şartları getirilmiştir.

Türkiye'de, böcek gübresi ile ilgili mevzuatta özel bir düzenleme yer almamaktadır. Ancak, Organik Tarımın Esasları ve Uygulanmasına İlişkin Yönetmeliğin organik tarımda kullanılabilecek gübrelerin listelendiği Ek-1 tablosunda "solucan (vermikompost) ve böcek dışkıları" olarak ismi geçmektedir.

Ülkemizde henüz ticari ölçekte üreticisinin olmamasının da etkisiyle ayrıntılı bir düzenlemeye ihtiyaç duyulmadığı düşünülebilir. Ancak, konu hakkındaki farkındalığın ve bilimsel çalışmaların da etkisiyle ticari ürünlerin ortaya çıkması ile solucan gübresi mevzuatının oluşum sürecine benzer şekilde böcek gübrelerine ilişkin mevzuatın da AB ile uyumlu olarak belirleneceği öngörülebilir.

9. Genel Değerlendirme ve Gelecek Perspektifleri

SAS gübresi, organik atıkların besin açısından zengin toprak düzenleyicilere dönüştürülmesi yoluyla sürdürülebilir tarım ve döngüsel ekonomi hedeflerini destekleyen değerli bir organik gübre olarak öne çıkmaktadır. Genel değerlendirmeler, bu materyalin özellikle azot ve potasyum bakımından dengeli bir makro besin elementi profiline sahip olduğunu ve toprak sağlığı ile bitki verimliliğini artırma potansiyelinin yüksek olduğunu göstermektedir. Nitekim SAS gübresi, geleneksel organik gübrelerle eşdeğer veya daha üstün performans gösterebilmekte ve düşük ağır metal ile patojen

içeriği sayesinde uygun besin kaynaklarından üretildiğinde çevresel riskleri azaltmaktadır (Gärttling ve Schulz, 2021; Menino ve ark., 2021; Chiam ve ark., 2021; Beesigamukama ve ark., 2022; Bohm ve ark., 2023; Susilo ve ark., 2024; Idris ve ark., 2024; Mostafaie ve ark., 2025).

Bununla birlikte, SAS gübresinin besin içeriği ve tarımsal etkinliği, larvaların beslendiği organik materyale ve uygulanan işlem yöntemlerine bağlı olarak büyük ölçüde değişkenlik göstermektedir. Bu değişkenlik, bitki büyümesi ve toprak mikrobiyal aktiviteleri üzerinde tutarsız sonuçlara yol açabilmektedir (Gärttling ve Schulz, 2021; Gebremikael ve ark., 2022; Lopes ve ark., 2022; Mulyani ve ark., 2025). Bu durum, ürünün yaygın tarımsal kullanımında kalite kontrolünün ve standartlaştırmanın önemini ortaya koymaktadır.

Geleceğe dönük perspektifler, SAS gübresinin üretim ve işleme süreçlerinin standartlaştırılmasını, gübre kalitesinin tutarlılığının sağlanmasını, toprak ekosistemleri üzerindeki uzun vadeli etkilerinin araştırılmasını ve bu materyalin mineral veya diğer organik girdilerle entegre edilerek daha geniş gübreleme stratejilerine dahil edilmesini içermektedir (Gärttling ve Schulz, 2021; Gebremikael ve ark., 2022; Lopes ve ark., 2022; Rehan ve ark., 2024). Ayrıca, SAS gübre kaynaklı biyoaktif bileşikler, toprak mikrobiyotası ve bitki sağlığı arasındaki etkileşimlerin daha iyi anlaşılmasına ve farklı bitki-toprak sistemleri için optimum uygulama dozlarının belirlenmesine yönelik daha fazla araştırmaya ihtiyaç bulunmaktadır (Gärttling ve Schulz, 2021; Chiam ve ark., 2021; Lopes ve ark., 2022).

Böcek bazlı gübrelerin pazarda giderek daha fazla yer bulduğu günümüzde, SAS gübresi sürdürülebilir gıda sistemlerinde anahtar bir rol oynayabilir. Ancak bu potansiyelin tam olarak gerçekleştirilebilmesi için, besin içeriğindeki değişkenlik, toprak-bitki etkileşimleri ve düzenleyici çerçeveler gibi bilgi eksikliklerinin giderilmesi oldukça önem arz etmektedir (Gärttling ve Schulz, 2021; Gebremikael ve ark., 2022; Lopes ve ark., 2022).

KAYNAKLAR

- Agustin, H., Warid, W., & Musadik, I. (2023). KANDUNGAN NUTRISI KASGOT LARVA LALAT TENTARA HITAM (*Hermetia illucensi*) SEBAGAI PUPUK ORGANIK. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*. <https://doi.org/10.31186/jipi.25.1.12-18>.
- Agustiyanı, D., Agandi, R., A., Nugroho, A., & Antonius, S. (2021). The effect of application of compost and frass from Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens* L.) on growth of Pakchoi (*Brassica rapa* L.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 762. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/762/1/012036>.
- Arabzadeh, G., Delisle-Houde, M., Tweddell, R., Deschamps, M., Dorais, M., Lebeuf, Y., Derôme, N., & Vandenberg, G. (2022). Diet Composition Influences Growth Performance, Bioconversion of Black Soldier Fly Larvae: Agronomic Value and In Vitro Biofungicidal Activity of Derived Frass. *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081765>.
- Arabzadeh, G., Delisle-Houde, M., Vandenberg, G., Deschamps, M., Dorais, M., Derome, N., & Tweddell, R. (2024). Suppressive Effect of Black Soldier Fly Larvae Frass on Fusarium Wilt Disease in Tomato Plants. *Insects*, 15. <https://doi.org/10.3390/insects15080613>.
- Barragán-Fonseca, K., Nurfikari, A., Zande, E., Wantulla, M., Loon, J., Boer, W., & Dicke, M. (2022). Insect frass and exuviae to promote plant growth and health. *Trends in Plant Science*, 27(7), 646-654
- Beesigamukama, D., Mochoge, B., Korir, N. K., Fiaboe, K. K. M., Nakimbugwe, D., & Khamis, F. M. (2020). Exploring Black Soldier Fly frass as novel fertilizer for improved growth, yield, and nitrogen use efficiency of maize under field conditions. *Frontiers in Plant Science*, 11, 574592. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.574592>
- Bohm, K., Hatley, G., Robinson, B., & Gutiérrez-Ginés, M. (2023). Analysis of Chemical and Phytotoxic Properties of Frass Derived from Black Soldier Fly-Based Bioconversion of Biosolids. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su151511526>.
- Chia, S. Y., Tanga, C. M., Osuga, I. M., & Ekesi, S. (2021). Black soldier fly larval frass as an alternative organic fertilizer in East Africa. *Agronomy*

- for *Sustainable Development*, 41(3), 1-11.
<https://doi.org/10.1007/s13593-021-00676-y>
- Chia, S., Van Loon, J., & Dicke, M. (2024). Effects of frass from larvae of black soldier fly (*Hermetia illucens*) and yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) on growth and insect resistance in field mustard (*Brassica rapa*): differences between insect species and frass treatments. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 172, 394 - 408.
<https://doi.org/10.1111/eea.13425>.
- Chiam, Z., Lee, J., Tan, J., Song, S., Arora, S., Tong, Y., & Tan, H. (2021). Evaluating the potential of okara-derived black soldier fly larval frass as a soil amendment.. *Journal of environmental management*, 286, 112163 . <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112163>.
- Chirere, T., Khalil, S., & Lalander, C. (2021). Fertiliser effect on Swiss chard of black soldier fly larvae-frass compost made from food waste and faeces. , 1-14. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0120>.
- Dortmans B.M.A., Egger J., Diener S., & Zurbrügg C. (2021). Black Soldier Fly Biowaste Processing - A Step-by-Step Guide, 2nd Edition, Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Dübendorf, Switzerland.
- Dzepe, D., Mbenda, T., Ngassa, G., Mube, H., Chia, S., Aoudou, Y., & Djouaka, R. (2022). Application of Black Soldier Fly Frass, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) as Sustainable Organic Fertilizer for Lettuce, *Lactuca sativa* Production. *Open Journal of Applied Sciences*. <https://doi.org/10.4236/ojapps.2022.1210111>.
- Elissen, H., Schilder, M., Postma, J., & Weide, R. (2019). Disease suppressing effects of BSF (black soldier fly, *Hermetia illucens*) larvae frass in bioassays with cress and sugar beet plants. . <https://doi.org/10.18174/515047>.
- European Commission. (2023). Commission regulation (EU) on the use of animal by-products as fertilizers. <https://eur-lex.europa.eu>
- European Union. (2021). Commission Regulation (EU) 2021/1925 of 5 November 2021 amending certain Annexes to Regulation (EU) No 142/2011 as regards the requirements for placing on the market of certain insect products and the adaptation of a containment method (Text with

- EEA relevance). <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/1925/oj>. (Erişim tarihi: 20.07.2025)
- FAO. (2019). *The State of Food and Agriculture 2019: Moving Forward on Food Loss and Waste Reduction*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/11f9288f-dc78-4171-8d02-92235b8d7dc7/content>
- Gärttling, D., & Schulz, H. (2021). Compilation of Black Soldier Fly Frass Analyses. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22, 937-943. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00703-w>.
- Gärttling, D., Kirchner, S., & Schulz, H. (2020). Assessment of the N- and P-Fertilization Effect of Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) By-Products on Maize. *Journal of Insect Science*, 20. <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieaa089>.
- Gebremikael, M., Wickeren, N., Hosseini, P., & De Neve, S. (2022). The Impacts of Black Soldier Fly Frass on Nitrogen Availability, Microbial Activities, C Sequestration, and Plant Growth. , 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.795950>.
- Green, T. (2023). A biochemical analysis of Black Soldier fly (*Hermetia illucens*) larval frass plant growth promoting activity. *PLOS ONE*, 18. <https://doi.org/10.1101/2023.01.06.523026>.
- Jiang, S., Shen, K., Brandon, M., Lu, S., Tomberlin, J., Tang, X., Wang, H., Xiang, F., Chen, X., & Zhang, Z. (2025). Using black soldier fly frass to restore soil health. *Bioresource Technology*, 432, 132701. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2025.132701>
- Lopes, I., Yong, J., & Lalander, C. (2022). Frass derived from black soldier fly larvae treatment of biodegradable wastes. A critical review and future perspectives.. *Waste management*, 142, 65-76 . <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.02.007>.
- Makkar HP, Tran G, Heuzé V, Ankers P, 2014. State-Of-The-Art On Use Of Insects As Animal Feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197:1-33.
- Menino, R., Felizes, F., Castelo-Branco, M.A., Fareleira, P., Moreira, O., Nunes, R., & Murta, D. (2021). Agricultural value of Black Soldier Fly

- larvae frass as organic fertilizer on ryegrass. *Heliyon*, 7, e05855. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05855>
- Mostafaie, A., Silva, A., Pinto, J., Prodana, M., Lopes, I., Murta, D., Brooks, B., Loureiro, S., & Cardoso, D. (2025). Towards circularity for agro-waste: Minimal soil hazards of olive pomace bioconverted frass by insect larvae as an organic fertilizer.. *Journal of environmental management*, 375, 124151 . <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.124151>.
- Mulyani, S., Mardiana, M., Fatmawati, F., B, M., & Yunus, M. (2025). Chemical Characteristic of Frass Fertilizer Derived from Black Soldier Fly (BSF) Larvae Culture using Leftover Fruits and Vegetables. *Devotion: Journal of Research and Community Service*. <https://doi.org/10.59188/devotion.v6i2.25416>.
- Nileesha, P., Parameswari, Y., Bindu, G., Madhavi, A., & Anitha, V. (2024). Effect of Black Soldier Fly Larval Frass on Growth and Yield of Radish (*Raphanus sativus* L.). *International Journal of Plant & Soil Science*. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i84934>.
- Rehan, I., Lopes, I., Murta, D., Lidon, F., Fareleira, P., Esteves, C., Moreira, O., & Menino, R. (2024). Agronomic potential of *Hermetia illucens* frass in the cultivation of ryegrass in distinct soils. *Journal of Insects as Food and Feed*. <https://doi.org/10.1163/23524588-00001242>.
- Salomon, M., Cavagnaro, T., & Burton, R. (2025). Potential of black soldier fly larvae frass (BSFL) as a novel fertilizer: impacts on tomato growth, nutrient uptake, and mycorrhizal formation. *Plant and Soil*. <https://doi.org/10.1007/s11104-024-07187-4>.
- Schmitt, E., & Vries, W. (2020). Potential benefits os using *Hermetia illucens* frass as a soil amendment on food production and for environmental impact reduction. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 25:100335. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.03.005>
- Sevilmiş, U., Seydoşoğlu, S., Ayaşan, T., Bilgili, E. Ve Sevilmiş, D., 2019. Siyah Asker Sineğinin (*Hermetia illucens* L.) Yem Kaynağı Olarak Değerlendirilmesi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(4): 2379-2389, 2019.
- Seydoşoğlu, S. ve Sevilmiş, U., 2019. Siyah Asker Sineğinin (*Hermetia Illucens* L.) Kanatlılar Ve Balıklar İçin İnnovatif Bir Yem Kaynağı

- Olarak Değerlendirilmesi. Uluslararası Tarım ve Kırsal Kalkınma Kongresi 10-12 Haziran 2019, Siirt.
- Siddiqui, S. A., Gadge, A. S., Hasan, M., Rahayu, T., Povetkin, S. N., Fernando, I., Castro-Munoz, R. (2024). Future opportunities for products derived from black soldier fly (BSF) treatment as animal feed and fertilizer – A systematic review. *Environment, Development and Sustainability*, 26:30273-30354. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-04673-8>
- Song, S., Ee, A., Tan, J., Cheong, J., Chiam, Z., Arora, S., Lam, W., & Tan, H. (2021). Upcycling food waste using black soldier fly larvae: Effects of further composting on frass quality, fertilising effect and its global warming potential. *Journal of Cleaner Production*, 288, 125664. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125664>.
- Susilo, H., Nurmayulis, N., Syahbana, M., & Sodik, A. (2024). The Potential of Frass BSF as an Organic Fertilizer for Making Sustainable Agriculture a Reality. *Jurnal Biologi Tropis*. <https://doi.org/10.29303/jbt.v24i2.6782>.
- Tan, J., Lee, J., Chiam, Z., Song, S., Arora, S., Tong, Y., & Tan, H. (2021). Applications of food waste-derived black soldier fly larval frass as incorporated compost, side-dress fertilizer and frass-tea drench for soilless cultivation of leafy vegetables in biochar-based growing media.. *Waste management*, 130, 155-166 . <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.05.025>.
- Tanga, C. M., Beesigamukama, D., Morisho, D., & Ekesi, S. (2021). Edible insects for global food security: Current status and future perspectives. *Annual Review of Entomology*, 66, 233–250. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-041720-075802>

BÖLÜM 7

TURUNÇGİLLERDE MAKRO BESİN ELEMENTLERİNİN (N, P, K, Ca, Mg) MEYVE KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Doç. Dr. Neriman Tuba BARLAS¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16361579>

¹ Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü

*Sorumlu yazar: tuba.barlas@ege.edu.tr

Giriş

Turunçgiller (*Citrus spp.*), taze tüketim ve işlenmiş ürün olarak yüksek ekonomik değere sahip, dünya genelinde geniş bir coğrafyada yaygın olarak yetiştirilen bir meyve türüdür. İnsan beslenmesi, ticaret hacmi ve gıda güvenliğine katkısı açısından stratejik öneme sahip olan turunçgil üretiminde, sadece verim değil, aynı zamanda meyve kalitesi de üretici ve tüketici açısından temel bir kriter olarak ön plana çıkmaktadır. Meyve kalitesi; irilik, renk, kabuk yapısı, şeker/asit oranı, aroma bileşenleri, besleyicilik özellikleri ve raf ömrü gibi fiziksel, kimyasal ve duyuşsal parametrelerle tanımlanmakta olup, bu özelliklerin büyük ölçüde bitki besin elementleriyle etkileşimli olduğu bilinmektedir (Obreza & Morgan, 2008).

Makro besin elementleri olan azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K), turunçgil ağaçlarının büyümesi, verimi ve meyve içeriği üzerinde doğrudan etkili olan temel besinlerdir. Azot, amino asit, protein ve klorofil sentezinde görev alarak vejetatif gelişimi desteklerken, fazlalığı ya da eksikliğinin meyve kalitesinde önemli bozulmalara yol açabileceği bilinmektedir (Liao et al., 2019). Fosfor, enerji transferi ve karbon metabolizması gibi temel fizyolojik süreçleri düzenleyerek meyvede şeker ve asit dengesini etkilerken; potasyumun, ozmotik denge, şeker taşınımı ve meyve renginin oluşumu gibi süreçlerde rol alarak lezzet ve raf ömrü üzerinde belirleyici olabileceği çeşitli literatürlerde belirtilmektedir (Alva et al., 2006a,b; Wu et al., 2024). Bunlara ek olarak, kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg) da turunçgil kalitesinin şekillenmesinde giderek artan bir öneme sahiptir. Kalsiyum, hücre duvarı yapısında bulunan pektinlerle çapraz bağ oluşturarak meyve kabuğunun sertliği, mekanik dayanımı ve hasat sonrası çürümeye karşı direnci üzerinde etkili olurken; magnezyum, klorofil molekülünün merkez atomu olması nedeniyle fotosentezde ve karbonhidrat üretiminde kilit rol oynamaktadır (Marschner, 2012; Morgan and Kadyampakeni, 2021; Huai et al., 2022; Dong et al., 2025). Son yıllarda yapılan çalışmalar, bu besin elementlerinin tek tek ya da birlikte uygulanmasının meyve kalitesi üzerinde anlamlı etkiler oluşturduğunu göstermektedir. Ancak, bitki türüne, çeşide, anaç kullanımına, toprak özelliklerine ve iklim koşullarına bağlı olarak bu etkilerin yönü ve büyüklüğü değişebilmektedir. Bu nedenle, turunçgillerde azot, fosfor, potasyum, kalsiyum ve magnezyumun meyve kalitesine olan etkilerinin detaylı olarak değerlendirilmesi hem doğru gübreleme stratejilerinin geliştirilmesi hem

de sürdürülebilir ve yüksek kaliteli üretimin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışma ile, turunçgil yetiştiriciliğinde makro elementlerin (azot, fosfor, potasyum, kalsiyum ve magnezyum) meyve kalitesi üzerine etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmakta olup, ilgili besin elementlerinin doğru dozda ve dengeli uygulanmasının kalite öğelerine katkısının ortaya koymayı hedeflenmektedir.

1. Azot (N)

Azot (N), turunçgil büyümesi ve meyve kalitesi için temel bir makro besin elementi olup, etkileri büyük ölçüde uygulama dozuna bağlıdır ve hem eksiklik hem de fazlalığının, bitkide önemli fizyolojik bozukluklara ve kalite kayıplarına yol açabileceği bilinmektedir. Amino asit ve proteinlerin ana yapısına katılarak bitkinin gelişiminde ve büyümesinde temel rol oynayan azot, turunçgillerde vejetatif gelişimi teşvik ederken; noksanlığı durumunda çiçek ve meyve dökümü, fotosentetik pigment oluşumunda azalma, verimde düşüş ve büyümede gerilemeler gibi olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır (Huang et al., 2021; Peng et al., 2023). Ayrıca, klorofil içeriğinde azalma ile fotosentezde bozulma, şeker ve C vitamini gibi besin maddelerinde azalma, asitlikte artış ve genel meyve kalitesinde düşüş gözlenmektedir. Bitkiler, eksikliğe karşı kök gelişimini artırma, azot kullanım etkinliğini yükseltme ve oksidatif stresle başa çıkmak için karbon bazlı bileşikler ve antioksidanlar üretme gibi adaptasyonlar geliştirirse de, bu önlemler verim ve kalite kaybını tamamen telafi edemez. Buna karşılık, aşırı azot uygulamaları da bitki sağlığı ve meyve kalitesi açısından ciddi olumsuzluklara neden olur. Meyvelerde küçülme, kalın ve pürüzlü kabuk oluşumu, açık renkli kabuk gelişimi, meyve suyunda azalma, artan asitlik, mekanik zararlara hassasiyet, meyve çatlaması ve fizyolojik bozuklukların hızlanması gibi kaliteyi düşüren etkiler ortaya çıkmakta; bu durum meyvenin depo ömrünü kısaltarak hasat sonrası dayanıklılığı azaltmaktadır (Zekri & Obreza, 2003). Ayrıca, aşırı azot uygulaması meyvede TSS ve TSS/TA oranının düşmesine, şeker ve C vitamini içeriğinin azalmasına, organik asit dengesinin bozulmasına, toplam biyokütle ve kök gelişiminde azalmaya ve azot kullanım etkinliğinde düşüşe neden olmaktadır (Niu et al., 2024). Çinko ve bakır gibi mikro besin elementleriyle dengesizliklere yol açan bu durum, yaprak bitleri gibi zararlılara karşı duyarlılığı da artırmakta, böylece toprak mikrobiyal

çeşitliliğini ve bahçe sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir (Braham et al., 2023). Bu tür olumsuzluklara rağmen, dengeli ve optimum düzeyde yapılan azot uygulamaları, toplam çözünür katı madde (TSS), sükroz, fruktoz, glukoz ve C vitamini içeriğini artırırken, titre edilebilir asitliği azaltarak daha tatlı ve tüketici açısından lezzetli meyvelerin oluşumuna katkı sağlar; örneğin, ‘Huangguogan’ çeşidinde yıllık 1,81 kg N uygulaması en yüksek TSS ve TSS/TA oranı ile en düşük asitlik değerini sağlamıştır. Bu düzeydeki azot uygulaması, bitki büyümesi, enzim aktiviteleri ve azot metabolizmasıyla ilişkili gen ifadelerini destekleyerek verim ve kaliteyi artırmakta; aynı zamanda yaprak ve meyvede dengeli amino asit birikimi sağlayarak meyve gelişimine katkı sunmaktadır (Liao et al., 2019; Zhao et al., 2025). Uygulanan azotun formu (nitrat ya da amonyum) ve kullanılan anaç tipi de azotun alımı, dağılımı ve meyve kalitesi üzerinde belirleyici rol oynamakta olup; turuncgiller genellikle amonyum formuna karşı daha hassas olduğundan, özellikle yüksek dozlarda büyüme ve fotosentez baskılanabilmektedir. Nitrat ağırlıklı beslenen ve azotu verimli kullanan anaçlar kaliteyi olumlu etkileyebilirken, yüksek azot alım kapasitesine sahip anaçlar meyvede fazla azot birikimine yol açarak kaliteyi düşürebilir (Chen et al., 2020; Barlas and Kadyampakeni, 2023; Boaretto et al., 2024). Tüm bu nedenlerle, dengeli azot yönetimi hem yüksek kaliteli hem de sürdürülebilir turuncgil üretimi için hayati öneme sahiptir; uygulamalar, bitkinin fizyolojik ihtiyaçları, toprak özellikleri ve kullanılan anaç yapısına göre dikkatle planlanmalıdır.

2. Fosfor (P)

Fosfor (P), turuncgil meyve kalitesini şeker ve asit metabolizması, meyve verimi, bitki gelişimi ve toprak sağlığı üzerindeki etkileriyle önemli ölçüde etkileyen mutlak gerekli bir makro besin elementidir. Yeterli düzeyde fosfor gübrelemesinin, özellikle çözünür şekerler ve organik asitlerin birikimini düzenleyerek turuncgil meyvelerinin tat profili ve tüketici beğenisini belirleyen duyuşal özelliklerini olumlu yönde etkilediği gösterilmiştir. Cara Cara Washington portakallarında yapılan çalışmalarda, fosfor uygulaması meyvede sükroz, fruktoz ve glukoz konsantrasyonlarını artırırken, titre edilebilir asitlik ve sitrik asit içeriğini azaltmıştır. Bu değişim, toplam çözünür katı madde (TSS) ile titre edilebilir asitlik (TA) oranının artmasına ve daha tatlı, daha az asidik – pazarda yüksek değer gören – meyvelerin oluşmasına yol açmıştır. Bu etki,

fosforun sükröz metabolizmasından sorumlu enzimlerin aktivitesinde neden olduğu değişimlerle ilişkilidir: erken meyve gelişimi döneminde fosfor, sükrözün fruktoz ve glukozu parçalanmasını teşvik ederken, ilerleyen dönemlerde sükrözün yeniden sentezini artırarak toplam şeker içeriğini yükseltir. Ayrıca, fosfor, sitrik asit sentezinde görev alan enzimlerin aktivitesini baskılayarak sitrik asit birikimini azaltır ve böylece meyve aromasını ve kalitesini daha da iyileştirir (Wu et al., 2021). Fosforun meyve bileşimi üzerindeki doğrudan etkilerinin ötesinde, meyve verimini ve bitki canlılığını desteklemede de kritik rolü vardır. Uzun dönemli arazi çalışmaları, fosfor gübrelemesinin, özellikle meyve sayısını artırmak suretiyle turuncgil verimini önemli ölçüde artırdığını ortaya koymuştur. Örneğin, asidik topraklarda yetiştirilen Navelina çeşidi portakal ağaçlarında fosfor uygulaması, verimde %32,6 artış sağlamıştır; bu etkinin muhtemelen toprak koşullarının iyileşmesi ve kök gelişimini ve besin alımını sınırlayan alüminyum toksisitesinin azalmasıyla ilgili olduğu düşünülmektedir (Li et al., 2020). Bununla birlikte, fosforun aşırı uygulanması olumsuz sonuçlara da yol açabilir. Toprakta fazla fosfor birikimi, bakır ve çinko gibi önemli mikro besin elementlerinin alımını azaltarak, bitki sağlığı ve meyve kalitesini bozabilecek nitelikte besin elementi eksikliklerine neden olabilir (Bingham and Martin, 1956).

Ayrıca, turuncgil bahçesi topraklarında fosfor birikimi, toprak mikrobiyal canlılığını olumsuz etkileyerek mikrobiyal çeşitliliği azaltabilir; bu da uzun vadede toprak verimliliği ve sürdürülebilirliği tehdit edebilir (Zeng et al., 2024). Öte yandan fosfor eksikliği de turuncgil gelişimini olumsuz etkileyerek yaprak ve gövde biyokütlesinin azalmasına, klorofil içeriğinin düşmesine ve fotosentetik etkinliğin azalmasına yol açar. Fosforca noksan yetişen bitkilerde oksidatif stres artar ve besin maddesi alımı bozulur; bu da büyümenin duraklamasına ve düşük meyve kalitesine neden olur (Meng et al., 2021). Bu nedenle, fosforun dengeli yönetimi büyük önem taşır: optimal dozlar şeker içeriğini artırır, asitliği azaltır ve sağlıklı bitki gelişimini desteklerken hem eksiklik hem de fazlalık meyve kalitesini ve bahçe sürdürülebilirliğini olumsuz etkileyebilir. Bu bağlamda, fosfor gübrelemesinin toprak ve bitki besin durumu dikkate alınarak dikkatli bir şekilde izlenmesi, turuncgil meyve kalitesinin en üst düzeye çıkarılması ve bahçelerin uzun vadeli verimliliğinin sağlanması açısından kritik önemdedir (Li et al., 2020; Wu et al., 2021; Zeng et al., 2024).

3. Potasyum (K)

Potasyum (K), turunçgil meyve kalitesini derinlemesine etkileyen, fizyolojik, biyokimyasal ve duyuşsal özellikleri doğrudan şekillendiren kritik bir makro besin elementidir. Turunçgil üretiminde potasyumun rolü, meyve verimi ve iriliğinin artırılmasından, şeker içeriğı, asitlik, renk ve depolanabilirlik gibi kalite parametrelerinin iyileştirilmesine kadar uzanmaktadır. Bitki içinde oldukça hareketli olan potasyum; metabolit taşınımını kolaylaştırmakta, enzimleri aktive etmekte ve ozmotik dengeyi düzenlemektedir. Bu işlevlerin tümü, optimum meyve gelişimi ve yüksek kalite için gereklidir (Alva ve ark., 2006b). Potasyumun turunçgil kalitesi üzerindeki en önemli etkilerinden biri, meyvede şeker birikimini teşvik etme yeteneğidir. Özellikle potasyum sülfat (K_2SO_4) formunda uygulandığında, gelişim boyunca toplam çözünür katı madde (TSS), çözünür şeker içeriğı ve TSS:TA (titre edilebilir asitlik) oranı önemli ölçüde artmakta; bu da daha tatlı ve tüketici açısından daha cazip meyveler elde edilmesini sağlamaktadır. Bu etki, şeker taşınımı ve metabolizmasında görevli genlerin aktivitesinin artması, kaynak (source) yapraklardan meyveye karbon akışının hızlanması ve meyvenin ‘sink’ gücünün artması yoluyla gerçekleşmektedir (Thu ve ark., 2024; Wu ve ark., 2023, 2024). Potasyum ayrıca meyve ağırlığını, karotenoid içeriğini ve pazarlanabilirliği artırarak hem verim hem de kalite açısından kritik bir faktör haline gelmektedir (Ashraf ve ark., 2010; Wen ve ark., 2021). Şeker içeriğı üzerindeki etkilerinin yanında, potasyum meyvenin asitliğini ve lezzet profilini de düzenleyici rol oynar. Uygun potasyum beslemesi, özellikle erken meyve gelişim döneminde, sitrik asit birikimini ve meyve suyunun asitliğini artırmakta; bu da trikarboksilik asit (TCA) döngüsündeki enzimlerin aktivitesinin artması ve vakuol asidifikasyonunun güçlenmesi ile sağlanmaktadır (Barlas and Çakıcı, 2021; Barlas, 2022; Wu ve ark., 2025). Ancak potasyumun aşırı uygulanması, meyvelerin büyümesine, kabuğun kalın ve kaba yapılı olmasına ve aynı zamanda magnezyum ve kalsiyum gibi diğer önemli katyonların alımının azalmasına neden olarak besin dengesizliklerine, meyve dokusunda bozulmalara ve depolama süresinin kısılmasına yol açabilir (Quaggio ve ark., 2011; Papadakis ve ark., 2023a,b). Öte yandan, potasyum eksikliği küçük, ince kabuklu, düşük şeker içerikli ve zayıf renklere sahip meyvelerle sonuçlanmakta ve hem kaliteyi hem de pazar değerini düşürmektedir (Mimoun ve ark., 2018).

Uygulama yöntemi ve zamanlaması da sonuçlar üzerinde belirleyici olmaktadır. Özellikle meyve gelişiminin kritik dönemlerinde yapılan yaprakdan potasyum uygulamaları, sadece topraktan verilen uygulamalara kıyasla meyve kalitesini artırmada daha etkili bulunmuştur (Tahir ve ark., 2023; Thu ve ark., 2024). Potasyum gübrelemesinin organik maddelerle kombinasyonu ise hem besin alımını hem de meyve yüzey rengini ve iç kalitesini iyileştirirken, aynı zamanda toprak sağlığını ve sürdürülebilirliği de desteklemektedir (Wen ve ark., 2021). Potasyum uygulaması ayrıca meyve çatlamasını azaltmakta, kabuk sertliğini artırmakta ve turuncgillerin raf ömrünü uzatarak hasat sonrası kaliteyi ve ekonomik değeri yükseltmektedir (Jiao ve ark., 2022; Beheiry ve ark., 2023). Potasyumun çinko ve bitki büyüme düzenleyicileriyle birlikte uygulanması ise meyve tutumu, meyve suyu hacmi ve genel kalite üzerinde sinerjik etkiler yaratmakta, üreticilere hem verimi hem de kaliteyi optimize etme yönünde pratik stratejiler sunmaktadır (Arshad ve ark., 2024).

Sonuç olarak, potasyum, turuncgil üretiminde yüksek kalite elde etmek için vazgeçilmez bir besin elementidir. Şeker ve asit metabolizması, meyve iriliği, renk oluşumu ve depolama süresi gibi pek çok özelliği etkiler. Bitkinin ve toprağın özgül gereksinimlerine göre dengeli potasyum yönetimi hem verimi hem de meyve kalitesini en üst düzeye çıkarmak ve uzun vadeli bahçe sürdürülebilirliğini sağlamak için kritik öneme sahiptir (Papadakis et al., 2023b; Thu ve ark., 2024; Wu et al., 2025).

4. Kalsiyum (Ca)

Kalsiyum (Ca), turuncgil meyve kalitesini belirleyen hem hasat öncesi gelişim hem de hasat sonrası özellikler üzerinde çok yönlü etkileri olan hayati bir makro besin elementidir. Kalsiyumun en önemli etkilerinden biri, meyve kabuğunu hücre duvarındaki pektinlerle çapraz bağlar oluşturarak güçlendirmesidir. Bu çapraz bağlanma süreci, kabuk dokusunda daha yoğun bir hücresel yapı ve artan sertlik sağlayarak meyve çatlaması ve kabuk buruşması gibi, görünüm, depolama dayanımı ve pazar değeri açısından önemli fizyolojik bozuklukların önüne geçer. Örneğin, genç meyve gelişimi evresinde yapılan kalsiyum uygulamaları, meyve çatlamasını %70'in üzerinde azaltmakta ve verimi artırmaktadır. Bu etkiler, pektin stabilizasyonu ve selülaz, ksilaz, poligalakturonaz gibi hücre duvarını parçalayan enzimlerin aktivitesinin baskılanması yoluyla ortaya çıkar. Sonuç olarak, çevresel streslere ve mekanik

zarara karşı daha dirençli bir kabuk gelişmekte; böylece meyvenin raf ömrü ve taşınabilirliği iyileşmektedir (Huai ve ark., 2022; Shi ve ark., 2024; Dong ve ark., 2025).

Hasat öncesi uygulanan kalsiyum, hasat sonrası meyve kalitesi üzerinde de belirgin etkilere sahiptir. Nanfeng mandarinaları üzerine yapılan çalışmalarda, hasattan önce yapılan kalsiyum püskürtmelerinin meyvede daha yüksek kalsiyum içeriği sağladığı, kabuk sertliğini koruduğu ve depolama sürecinde çürümeyi ve ağırlık kaybını azalttığı gösterilmiştir. Ayrıca bu uygulamalar, meyve renginin iyileştirilmesi ve daha yüksek çözünür katı madde, şeker, titre edilebilir asit ve C vitamini seviyelerinin korunmasına yardımcı olarak meyvenin görsel cazibesini artırdığı ifade edilmektedir. Ayrıca kalsiyum uygulamalarının, tartarik, oksalik ve sitrik asit gibi organik asitlerin parçalanmasını hızlandırırken, sükroz ve glukoz birikimini teşvik ederek meyvenin daha tatlı ve aromatik olmasına katkı sağladığı rapor edilmektedir. Kalite değerlendirmeleri, kalsiyumla muamele edilen meyvelerin, kontrol grubuna göre daha yüksek depolama kalitesi ve tüketici beğenisi sergilediğini ortaya koymaktadır (Dhakad ve ark., 2020; Zhang ve ark., 2022; Chen ve ark., 2024).

Kalsiyumun olumlu etkileri fizyolojik ve moleküler düzeyde de gözlemlenmektedir. Antioksidan enzimlerden süperoksit dismutaz (SOD) ve katalaz (CAT) gibi enzimlerin aktivitesini artırarak oksidatif strese karşı dayanımı geliştirdiği ve yaşlanmayı geciktirdiği belirtilmektedir. Ayrıca, hücre duvarı bozulmasına neden olan genleri baskılayarak kabuk bütünlüğünü korur ve kabuk buruşması ile meyve çatlaması gibi bozuklukların oluşumunu azaltır (Huai ve ark., 2022; Shi ve ark., 2024). Bunun yanında, kalsiyum desteği deniz yosunu ekstraktı ve borik asit gibi uygulamalarla sinerjik biçimde birleştirilerek, özellikle Valencia portakalı gibi çeşitlerde verim, meyve iriliği ve genel kaliteyi daha da artırabilir (Alebedi & Abdel-Sattar, 2024).

Meyve suyu işleme süreçlerinde ise kalsiyum takviyesinin, çoğu durumda aroma, bulanıklık yoğunluğu veya viskozite gibi temel kalite özelliklerini olumsuz etkilemediği; ancak kullanılan kalsiyum formuna ve işleme koşullarına bağlı olarak renk ve tat değerlerinde değişimlere neden olabileceği bildirilmiştir (Baker ve ark., 1991). Genel olarak, kalsiyum turuncgil meyvesinin fiziksel yapısını güçlendiren, hasat sonrası depolama dayanımını artıran, besleyici ve duyuşal özellikleri iyileştiren ve hücreşel

düzeyde bitki sağlığını destekleyen kapsamlı bir rol üstlenmektedir. Bu nedenle, özellikle hedefli hasat öncesi uygulamalar yoluyla etkili kalsiyum yönetimi, pazara ve tüketici beklentilerine uygun yüksek kaliteli turuncgil üretimi için vazgeçilmezdir (Dhakad ve ark., 2020; Huai ve ark., 2022; Zhang ve ark., 2022; Chen ve ark., 2024; Shi ve ark., 2024;; Alebidi & Abdel-Sattar, 2024; Dong ve ark., 2025).

5. Magnezyum (Mg)

Magnezyum (Mg), turuncgil bitkileri için yaşamsal öneme sahip bir makro besin elementi olup, verim, renklenme, şeker birikimi ve genel meyve kalitesi üzerinde etkiler göstermektedir. Düzenli ve optimum düzeyde Mg uygulaması; şeker sentezini teşvik ederek, meyve kabuğu rengini iyileştirerek ve sağlıklı gelişim için gerekli fizyolojik süreçleri destekleyerek turuncgil ağaçlarının verimliliğini ve kalitesini artırmaktadır. Washington portakalı ve pomelo üzerinde yapılan çalışmalarda, özellikle önerilen dozlarda (bitki başına yaklaşık 142–200 g MgO) yapılan Mg uygulamasının meyve verimini %28'e kadar artırdığı, meyve etinde sükroz içeriğini ise %20–30 oranında yükselttiği rapor edilmiştir. Bu etkiler, meyvede daha tatlı bir tat profili oluşturmakla kalmayıp, aynı zamanda kabuk parlaklığını ve renk doygunluğunu artırarak olgunlaşmayı hızlandırmakta; klorofil içeriğinin azalmasıyla birlikte kabukta istenen renk oluşumu sağlanmakta ve böylelikle pazar değeri yükselmektedir (Liu et al., 2022a,b; Su et al., 2024). Yapraktan uygulanan Mg, ayrıca sükroz metabolizmasından sorumlu enzimler ve taşıyıcıların aktivitesini uyararak, meyvede toplam çözünür katı madde ve şeker içeriğinin artışı desteklemekte, bu da meyve tadı ve tüketici tercihi açısından kritik öneme sahiptir (Han et al., 2024).

Buna karşılık, magnezyum eksikliği özellikle asidik topraklara sahip ya da dengesiz gübreleme yapılan turuncgil bahçelerinde yaygın ve ciddi bir sorundur. Mg eksikliği, meyve verimi ve kalitesinde düşüslere neden olmakta; zayıf renklenme, düşük şeker içeriği ve artan asitlik gibi belirtilerle kendini göstermektedir. Fizyolojik düzeyde, Mg yetersizliği fotosentezde bozulmaya yol açmakta; klorofil içeriğinin azalması, elektron taşıma zincirinin kesintiye uğraması ve CO₂ asimilasyonunun düşmesi sonucunda büyüme duraklamakta, yapraklarda sararma görülmekte ve antioksidan savunma sistemi zayıflamaktadır (Yang et al., 2012; Wang et al., 2022). Bununla birlikte

karbonhidrat, amino asit ve fenolik bileşik metabolizmasının bozulmakta; yapraklarda karbonhidratlar birikimine ilaveten meyveye şeker taşınımının azalmakta, bu durumun ise meyve tatlılığı ve besin değerinde düşüşe yol açmakta olduğu çeşitli araştırmalarda belirtilmektedir (Peng et al., 2015; Li et al., 2017; Huang et al., 2021). Ayrıca, yine Mg eksikliğinin floemde tıkanmalar ve anormal lignifikasyon gibi iletim dokusu bozukluklarına yol açarak besin taşınımını ve meyve gelişimini önemli düzeyde engellediği belirtilmektedir (Huang et al., 2018; Ye et al., 2020).

Turunçgillerde aşırı Mg dozlarının etkileri nadiren rapor edilmiş olmakla birlikte kimi önemli ve olumsuz etkiler yaratabildiği ifade edilmektedir. Bunlar arasında, kalsiyum, potasyum ve demir gibi diğer mutlak gerekli besin elementlerinin alımının engellenmesi ve buna bağlı olarak ikincil eksikliklere ve besin dengesizliklerine yol açma riski taşınması yer almaktadır. Magnezyumu yüksek konsantrasyonlarının ayrıca klorofil floresansını azaltabileceği ve mineral emilimini olumsuz etkileyebileceği belirtilmiştir (Papadakis et al., 2023a). Bu nedenle, Mg yönetimi dikkatli bir şekilde yapılmalı ne eksik ne de fazla olacak şekilde uygulanmalıdır. Dengeli bir Mg takviyesi ile birlikte yürütülen entegre besin elementi yönetimi yaklaşımlarının, meyve lezzeti, besin içeriği ve antioksidan özellikleri artırmakta; aynı zamanda sürdürülebilir ve ekonomik turunçgil üretimini desteklediği bilinmektedir (Wang et al., 2022; Su et al., 2024).

Sonuç olarak, turunçgillerde düzenli ve dengeli magnezyum beslenmesinin, üretimde yüksek kalite için oldukça önem arz etmektedir. Optimal Mg dozları meyve verimini, şeker içeriğini ve renklenmeyi artırırken; eksiklik, meyve kalitesinde gerilemeye, fizyolojik bozukluklara ve pazar değerinde azalmaya yol açmaktadır. Öte yandan, aşırı Mg uygulaması da besin dengelerini bozabileceğinden, turunçgil bahçelerinde hassas ve entegre besin yönetimi stratejilerinin uygulanması büyük önem taşımaktadır.

6. Sonuç

Bu çalışmada, makro besin elementlerinin azot (N), fosfor (P), potasyum (K), magnezyum (Mg) ve kalsiyumun (Ca) turunçgillerde meyve kalitesi üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Her bir elementin turunçgil fizyolojisi ve özellikle meyve kalite öğeleri (meyve iriliği, kabuk yapısı, renk gelişimi, şeker/asit oranı, vitamin içeriği ve raf ömrü) üzerinde her bir elementin kendine

özgü ve birbirini tamamlayıcı roller üstlendiği elde edilen kaynaklar ile ortaya konmuştur.

Azotun, vejetatif gelişmeyi teşvik etmesiyle birlikte şeker birikimini ve meyve büyüklüğünü olumlu yönde etkilediği; ancak aşırı uygulamalarında asitlik artışı, kabuk kalınlaşması ve raf ömrü kısalması gibi olumsuzluklara neden olduğu görülmüştür. Fosforun, özellikle enerji metabolizması ve şeker-asit dengesi üzerindeki etkileriyle, meyve lezzeti ve olgunlaşma sürecini düzenleyici bir işlevi olduğu belirlenmiştir. Potasyumun, karbon metabolizması, şeker taşınımı, renk oluşumu ve aroma gelişimi gibi kaliteyi doğrudan etkileyen süreçlerde oldukça önemli bir rol üstlendiği belirlenmiştir. Magnezyum, klorofil sentezinde ve fotosentetik verimlilikte oynadığı temel rolle, dolaylı olarak meyve kalitesine katkı sağlamakta; eksikliğinde özellikle yaprak klorozu ve şeker birikiminde azalma gözlenmektedir. Kalsiyum ise hücre duvarı stabilitesini ve zar geçirgenliğini düzenleyerek meyve kabuğunun sertliği, çatlama direnci, mekanik hasara dayanıklılığı ve depo süresi üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir.

Sonuç olarak, turunçgillerde yüksek kaliteli ve sürdürülebilir meyve üretimi için azot, fosfor, potasyum, magnezyum ve kalsiyumun bitki ihtiyaçlarına ve toprak koşullarına göre dengeli ve entegre biçimde uygulanması büyük önem taşımaktadır. Her bir elementin yalnızca bireysel değil, aynı zamanda sinerjik etkileri de dikkate alınarak gübreleme programlarının çeşit ve bölgeye özgü şekilde planlanması hem verim hem de kalite açısından optimum sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır. Bu bağlamda, modern turunçgil tarımında besin yönetimi stratejilerinin, düzenli yaprak ve toprak analizleri ile desteklenmesi, kalite odaklı üretim hedeflerine ulaşılmasında temel bir araç olarak değerlendirilmelidir.

Kaynakça

- Alebidi, A., & Abdel-Sattar, M. (2024). Synergistic effect of seaweed extract and boric acid and/or calcium chloride on productivity and physico-chemical properties of Valencia orange. *PeerJ*, 12.
- Alva, A. K., Paramasivam, S., Obreza, T. A., & Schumann, A. W. (2006a). Nitrogen best management practice for citrus trees: II. Nitrogen fate, transport, and components of N budget. *Scientia Horticulturae*, 109(3), 223–233. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.05.023>
- Alva, A., Mattos, D., Paramasivam, S., Patil, B., Dou, H., & Sajwan, K. (2006b). Potassium Management for Optimizing Citrus Production and Quality. *International Journal of Fruit Science*, 6, 3 - 43. https://doi.org/10.1300/J492v06n01_02.
- Arshad, I., Saleem, M., Akhtar, M., Shani, M., Farid, G., Jarecki, W., & Ashraf, M. (2024). Enhancing Fruit Retention and Juice Quality in ‘Kinnow’ (Citrus reticulata) Through the Combined Foliar Application of Potassium, Zinc, and Plant Growth Regulators. *Horticulturae*. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10121245>.
- Ashraf, M., Gul, A., Ashraf, M., Hussain, F., & Ebert, G. (2010). IMPROVEMENT IN YIELD AND QUALITY OF KINNOW (CITRUS DELICIOSA X CITRUS NOBILIS) BY POTASSIUM FERTILIZATION. *Journal of Plant Nutrition*, 33, 1625 - 1637.
- Baker, R., Crandall, P., Davis, K., & Wicker, L. (1991). Calcium supplementation and processing variable effects on orange juice quality. *Journal of Food Science*, 56, 1369-1371. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.1991.TB04775.X>.
- Barlas, N. T. and H. Çakıcı. 2021. The effects of foliar application of different potassium forms on yield, tree development and pomological properties in orange (Washington Navel) 2021. IX International Symposium on Mineral Nutrition of Fruit Crops, June 28–30, 2021.
- Barlas, N. T. (2022). *Citrus response to various foliar potassium treatments*. *Journal of Plant Nutrition*, 46(1), 1–13. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2105714>
- Barlas, N. T., & Kadyampakeni, D. (2023). *Citrus responses to nutritional imbalance*. In M. M. Rehman & M. Iqbal (Eds.), **Citrus: Soil–plant–**

- water-climate continuum** (Chap. 14). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003119852-14>.
- Beheiry, H., Hasanin, M., Abdelkhalek, A., & Hussein, H. (2023). Potassium Spraying Preharvest and Nanocoating Postharvest Improve the Quality and Extend the Storage Period for Acid Lime (*Citrus aurantifolia* Swingle) Fruits. *Plants*, 12. <https://doi.org/10.3390/plants12223848>.
- Bingham, F., & Martin, J. (1956). Effects of Soil Phosphorus on Growth and Minor Element Nutrition of Citrus. *Soil Science Society of America Journal*, 20, 382-385.
- Boaretto, R., Hippler, F., Dovis, V., Bernardi, L., Bortoloti, G., Quaggio, J., & Mattos, D. (2024). Nitrogen fertilizer use by citrus trees is affected by varying nitrate and ammonium ratios. *Revista Brasileira de Fruticultura*. <https://doi.org/10.1590/0100-29452024218>.
- Braham, M., Boulahia-Kheder, S., Kahia, M., & Noura, S. (2023). Aphids and citrus responses to nitrogen fertilization. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2023.03.003>.
- Chen, H., Jia, Y., Xu, H., Wang, Y., Zhou, Y., Huang, Z., Yang, L., Li, Y., Chen, L., & Guo, J. (2020). Ammonium nutrition inhibits plant growth and nitrogen uptake in citrus seedlings. *Scientia Horticulturae*, 272, 109526.
- Chen, Z., Q., Zheng, S., Liu, X., Wu, D., Gu, Q., & Wei, Q. (2024). Effect of Pre-Harvest Calcium Treatment on Post-Harvest Fruit Quality of Nanfeng Tangerine. *Horticulturae*.
- Dhakad, A., Sonkar, P., Bepari, A., & Kumar, U. (2020). Effect of pre-harvest application of plant growth regulators and calcium salts on biochemical and shelf life of acid lime (*Citrus aurantifolia* Swingle). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9, 1983-1985.
- Dong, Z., Shi, X., Liu, X., Srivastava, A., Shi, X., Zhang, Y., Hu, C., & Zhang, F. (2025). Calcium application regulates fruit cracking by cross-linking of fruit peel pectin during young fruit growth stage of citrus. *Scientia Horticulturae*. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113922>.
- Han, H., Chen, X., Liu, Y., Zhou, T., Alam, S., & Khan, M. (2024). Foliar spraying magnesium promotes soluble sugar accumulation by inducing the activities of sucrose biosynthesis and transport in citrus fruits. *Scientia Horticulturae*. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112593>.

- Huai, B., Wu, Y., Liang, C., Tu, P., Mei, T., Guan, A., Yao, Q., Li, J., & Chen, J. (2022). Effects of calcium on cell wall metabolism enzymes and expression of related genes associated with peel creasing in Citrus fruits. *PeerJ*, 10. <https://doi.org/10.7717/peerj.14574>.
- Huang, J., Xu, J., Ye, X., Luo, T., Ren, L., Fan, G., Qi, Y., Li, Q., Ferrarezi, R., & Chen, L. (2018). Magnesium deficiency affects secondary lignification of the vascular system in Citrus sinensis seedlings. *Trees*, 33, 171-182. <https://doi.org/10.1007/s00468-018-1766-0>.
- Huang, W., Xie, Y., Chen, X., Zhang, J., Chen, H., Ye, X., Guo, J., Yang, L., & Chen, L. (2021). Growth, Mineral Nutrients, Photosynthesis and Related Physiological Parameters of Citrus in Response to Nitrogen Deficiency. *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091859>.
- Jiao, Y., Sha, C., & Shu, Q. (2022). Integrated Physiological and Metabolomic Analyses of the Effect of Potassium Fertilizer on Citrus Fruit Splitting. *Plants*, 11. <https://doi.org/10.3390/plants11040499>.
- Li, C., Qi, Y., Zhang, J., Yang, L., Wang, D., Ye, X., Lai, N., Tan, L., Lin, D., & Chen, L. (2017). Magnesium-deficiency-induced alterations of gas exchange, major metabolites and key enzymes differ among roots, and lower and upper leaves of Citrus sinensis seedlings. *Tree Physiology*, 37, 1564–1581. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpx067>.
- Li, D., Li, X., Han, Q., Zhou, Y., Dong, J., & Duan, Z. (2020). Phosphorus application improved the yield of citrus plants grown for three years in an acid soil in the Three Gorges Reservoir Area. *Scientia Horticulturae*, 273, 109596. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109596>.
- Liao, L., Dong, T., Liu, X., Dong, Z., Qiu, X., Rong, Y., Sun, G., & Wang, Z. (2019). Effect of nitrogen supply on nitrogen metabolism in the citrus cultivar ‘Huangguogan’. *PLoS ONE*, 14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213874>.
- Liu, X., Hu, C., Liu, X., Riaz, M., Liu, Y., Dong, Z., Tan, Q., Sun, X., Wu, S., & Tan, Z. (2022a). Effect of magnesium application on the fruit coloration and sugar accumulation of navel orange (Citrus sinensis Osb.). *Scientia Horticulturae*. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111282>.
- Liu, X., Hu, C., Liu, X., Riaz, M., Dong, Z., Liu, Y., Qiling, T., Sun, X., & Wu, S. (2022b). Magnesium Application Induced Effects on the Fruit Yield,

- Coloration, Sugar and Organic Acid Accumulation of ‘Newhall’ Navel Orange (*Citrus Sinensis* Osb.). *SSRN Electronic Journal*.
- Marschner, P. (2012). *Marschner’s Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed.). Academic Press.
- Meng, X., Chen, W., Wang, Y., Huang, Z., Ye, X., Chen, L., & Yang, L. (2021). Effects of phosphorus deficiency on the absorption of mineral nutrients, photosynthetic system performance and antioxidant metabolism in *Citrus grandis*. *PLoS ONE*, 16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246944>.
- Mimoun, M., Dbara, S., Lahmar, K., & Marchand, M. (2018). Effects of potassium nutrition on fruit yield and quality of ‘Maltaise’ citrus (*Citrus sinensis* L.). *Acta Horticulturae*. <https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.2018.1217.28>.
- Morgan, K. T., & Kadyampakeni, D. M. (2021). Nutrient management and fertilization of citrus. In A. K. Alva et al. (Eds.), *Citrus Production: Developments in Plant and Soil Sciences* (Vol. 12, pp. 157–184). Springer.
- Niu, R., Yuan, Z., Lali, M., Zhao, L., Xie, J., Xiong, H., Wang, Y., He, X., Shi, X., & Zhang, Y. (2024). Root Reduction Caused Directly or Indirectly by High Application of Nitrogen Fertilizer Was the Main Cause of the Decline in Biomass and Nitrogen Accumulation in Citrus Seedlings. *Plants*, 13. <https://doi.org/10.3390/plants13070938>.
- Obreza, T. A., & Morgan, K. T. (2008). *Nutrition of Florida citrus trees* (2nd ed.). University of Florida IFAS Extension Circular 1406.
- Papadakis, I., Antonopoulou, C., Sotiropoulos, T., Chatzissavvidis, C., & Therios, I. (2023a). Effect of Magnesium on Mineral Nutrition, Chlorophyll, Proline and Carbohydrate Concentrations of Sweet Orange (*Citrus sinensis* cv. Newhall) Plants. *Applied Sciences*. <https://doi.org/10.3390/app13147995>.
- Papadakis, I., Ladikou, E., Oikonomou, A., Chatzistathis, T., & Chatziperou, G. (2023b). Exploring the Impact of Potassium on Growth, Photosynthetic Performance, and Nutritional Status of Lemon Trees (cv. Adamopoulou) Grafted onto Sour Orange and Volkamer Lemon Rootstocks. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su152215858>.
- Peng, H., Qi, Y., Lee, J., Yang, L., Guo, P., Jiang, H., & Chen, L. (2015). Proteomic analysis of *Citrus sinensis* roots and leaves in response to

- long-term magnesium-deficiency. BMC Genomics, 16. <https://doi.org/10.1186/s12864-015-1462-z>.
- Peng, M., Ren, Q., Lai, Y., Zhang, J., Chen, H., Guo, J., Yang, L., & Chen, L. (2023). Integration of physiology, metabolome and transcriptome for understanding of the adaptive strategies to long-term nitrogen deficiency in Citrus sinensis leaves. Scientia Horticulturae. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112079>.
- Quaggio, J., M., D., & Boaretto, R. (2011). Sources and rates of potassium for sweet orange production. Scientia Agrícola, 68, 369-375.
- Shi, G., Zhou, X., Tong, C., & Zhang, D. (2024). The Physiological and Molecular Mechanisms of Fruit Cracking Alleviation by Exogenous Calcium and GA3 in the Lane Late Navel Orange. Horticulturae.
- Su, D., Jiang, Y., Song, B., Wu, Z., Yan, X., He, Z., Ye, D., Ou, J., Zeng, Y., & Wu, L. (2024). Reduced Fertilization and Magnesium Supplementation: Modulating Fruit Quality in Honey Pomelo (Citrus maxima (Burm.) Merr.). Plants, 13.
- Tahir, M., Sabah, N., Gul, S., Javed, M., Aslam, M., Daud, M., , A., Aziz, A., & Javed, M. (2023). OPTIMIZATION OF NEW GENERATION POTASSIUM (NG-K) FERTILIZER FOR IMPROVEMENT IN QUANTITY AND QUALITY OF CITRUS (CITRUS LIMON). SABRAO Journal of Breeding and Genetics. <https://doi.org/10.54910/sabrao2023.55.2.29>.
- Thu, A., Alam, S., Khan, M., Han, H., Liu, D., Tahir, R., Ateeq, M., & Liu, Y. (2024). Foliar spraying of potassium sulfate during fruit development comprehensively improves the quality of citrus fruits. Scientia Horticulturae. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113696>.
- Wang, Y., Long, Q., Li, Y., Kang, F., Fan, Z., Xiong, H., Zhao, H., Luo, Y., Guo, R., He, X., Lakshmanan, P., Shi, X., Zhang, F., & Zhang, Y. (2022). Mitigating magnesium deficiency for sustainable citrus production: A case study in Southwest China. Scientia Horticulturae. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110832>.
- Wen, M., Zhang, J., Zheng, Y., & Yi, S. (2021). Effects of Combined Potassium and Organic Fertilizer Application on Newhall Navel Orange Nutrient Uptake, Yield, and Quality. Agronomy. <https://doi.org/10.3390/agronomy11101990>.

- Wu, S., Li, M., Zhang, C., Tan, Q., Yang, X., Sun, X., Pan, Z., Deng, X., & Hu, C. (2021). Effects of phosphorus on fruit soluble sugar and citric acid accumulations in citrus.. *Plant physiology and biochemistry* : PPB, 160, 73-81 .
- Wu, K., Hu, C., Liao, P., Hu, Y., Sun, X., Tan, Q., Pan, Z., Xu, S., Dong, Z., & Wu, S. (2023). Potassium stimulates fruit sugar accumulation by increasing carbon flow in Citrus. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2023.11.06.565758>.
- Wu, K., Hu, C., Liao, P., Hu, Y., Sun, X., Tan, Q., Pan, Z., Xu, S., Dong, Z., & Wu, S. (2024). Potassium stimulates fruit sugar accumulation by increasing carbon flow in Citrus sinensis. *Horticulture Research*, 11. <https://doi.org/10.1093/hr/uhae240>.
- Wu, K., Hu, C., Duan, Y., Moussa, M., Li, J., Lou, W., Sun, X., Yan, X., Tan, Q., & Wu, S. (2025). Potassium Promotes Citric Acid Accumulation by Regulating Its Synthesis and Vacuole Storage in Newhall Navel Orange (Citrus sinensis).. *Journal of agricultural and food chemistry*. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.4c11984>.
- Yang, G., Yang, L., Jiang, H., Li, Y., Wang, P., & Chen, L. (2012). Physiological impacts of magnesium-deficiency in Citrus seedlings: photosynthesis, antioxidant system and carbohydrates. *Trees*, 26, 1237-1250. <https://doi.org/10.1007/s00468-012-0699-2>.
- Ye, X., Chen, X., Cai, L., Lai, N., Deng, C., Guo, J., Yang, L., & Chen, L. (2020). Molecular and physiological mechanisms underlying magnesium-deficiency-induced enlargement, cracking and lignification of Citrus sinensis leaf veins.. *Tree physiology*. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpaa059>.
- Zekri, M., & Obreza, T. A. (2003). Plant nutrient management for Florida citrus production. University of Florida IFAS Extension Circular 1410.
- Zeng, Q., Mei, T., Wang, M., & Tan, W. (2024). Linking phosphorus fertility to soil microbial diversity and network complexity in citrus orchards: Implications for sustainable agriculture. *Applied Soil Ecology*.
- Zhang, W., Lin, M., Feng, X., Yao, Z., Wang, T., & Xu, C. (2022). Effect of lemon essential oil-enriched coating on the postharvest storage quality of citrus fruits. *Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1590/fst.125421>.

Zhao, Y., Xiong, H., Luo, Y., Hu, B., Wang, J., Tang, X., Wang, Y., Shi, X., Zhang, Y., & Rennenberg, H. (2025). Long-term nitrogen fertilization alters the partitioning of amino acids between citrus leaves and fruits. *Frontiers in Plant Science*, 15.

CHAPTER 8

USE OF TECHNOLOGY IN BERRY HARVESTING

Lecturer Dr. Fatma ALAN¹

Assoc. Prof. Dr. Ayşen Melda ÇOLAK²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16361591>

¹ Ankara University, Kalecik Vocational School, Horticulture Program, Ankara Türkiye. faalan@ankara.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-5266-6339

² Uşak University, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture, Uşak, Türkiye. aysenmelda.colak@usak.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-0113-2104

INTRODUCTION

Berry fruits constitute an important group of agricultural products worldwide due to their high nutritional value and economic return. Species such as strawberry (*Fragaria × ananassa*), raspberry (*Rubus idaeus*), blackberry (*Rubus fruticosus*), red currant (*Ribes rubrum*), aronia (*Aronia melanocarpa*), and blueberry (*Vaccinium corymbosum*) are preferred both for fresh consumption and in the food industry, particularly because of their high antioxidant capacity and bioactive compounds (Skrovankova et al., 2015; Routray and Orsat, 2011). Countries with a significant share in global berry fruit production include the United States, Mexico, Spain, and Poland (FAO, 2023), while Türkiye stands out especially in strawberry production. According to data from the Turkish Statistical Institute (TÜİK, 2023), the amount of strawberries produced in Türkiye has shown a significant increase over the past decade, placing the country among the top five strawberry-producing nations in the world. Additionally, the cultivation of alternative berry species such as aronia and blueberry has also become increasingly widespread in Türkiye in recent years (Demir and Gündoğdu, 2021a).

Harvesting is one of the most critical stages that directly affects the quality characteristics of berry fruits. Due to their thin skin and delicate texture, these fruits are highly susceptible to mechanical damage. The appropriate timing and method of harvest are among the most important factors determining the market value, shelf life, and processability of the fruit (Perkins-Veazie and Collins, 2021). Mistakes made during the harvest period increase the risk of tissue bruising, water loss, and microbial spoilage, thereby reducing the marketability of the product (Wang et al., 2022).

Traditional harvesting methods largely rely on manual labor, which leads to several drawbacks such as high labor demand, extended harvesting periods, and a decline in product quality. In fruits with particularly short shelf lives, slow harvesting increases postharvest losses (Maas, 2018). Additionally, difficulties in finding seasonal workers and rising labor costs negatively affect the economic returns of producers (Khan et al., 2020a). The use of technology is becoming increasingly important in overcoming these challenges. Technological solutions such as mechanical and semi-mechanical harvesters, vibration-based collection systems, and ergonomic harvesting tools not only increase harvesting speed but also reduce labor costs (Peterson and Wolf,

2019a). Furthermore, when used appropriately, these systems help preserve fruit quality by minimizing damage. However, due to the delicate structure of some berries, the applicability of mechanical harvesting is limited, making it necessary to develop crop-specific technological solutions (Baugher et al., 2017a).

2. Technological and Practical Challenges in the Harvesting of Berry Fruits

Berry fruits, in addition to having thin and delicate skin structures, are among the crops that require great care and attention during the harvesting process due to their short shelf life and the non-synchronous ripening of fruits on the plant. These sensitivities necessitate the careful selection and implementation of harvesting methods, while also increasing the risk of fruit damage and potential quality losses. Furthermore, due to heterogeneous ripening, accurate planning of harvest timing is critically important for maintaining both yield efficiency and market value.

Climate and environmental factors also play a significant role in the success of harvesting. High temperatures and humidity rapidly degrade fruit quality, while rainy weather complicates harvesting and increases the risk of microbial spoilage in the products. Therefore, harvest strategies suitable for climatic conditions must be developed (Perkins-Veazie and Collins, 2021).

On the other hand, since berry fruits are generally grown in small-scale production areas, difficulties in finding seasonal workers and rising labor costs create serious economic challenges for producers. Labor shortages lead to delays in harvesting and consequently cause product losses (Khan et al., 2020a).

In conclusion, both the biological characteristics of berry fruits and environmental and economic factors must be taken into account when applying the correct timing and appropriate methods in harvesting. Failure to harvest at the right time and with the proper techniques results in decreased product quality as well as economic losses (Perkins-Veazie and Collins, 2021).

2.1. Fruit Morphology and Its Impact on Harvesting

Berry fruits are highly sensitive to physical damage due to their thin epidermis and high water content. Fruits such as strawberries and raspberries have low mechanical resistance, and even minimal pressure during harvesting can cause bruising in their cellular tissues (Hernández-Muñoz et al., 2008). In

species like blackberries and blueberries, the sensitivity of the detachment point during harvesting can cause damage to the fruit stem, leading to microbial entry (Crisosto et al., 2020a). Additionally, physical damage accelerates browning and water loss on the fruit surface, negatively affecting both shelf life and marketability (Vicente et al., 2009). As the degree of ripeness increases, fruit softness also increases, further raising the risk of damage. For example, Perkins-Veazie and Collins (2021) reported that fully ripe strawberries exhibited 30% more deformation during postharvest storage compared to half-ripe strawberries. Therefore, it is recommended that the pressure applied to the fruit during manual or mechanical harvesting be kept to a minimum.

Most berry fruits exhibit the characteristic of bearing fruits at different ripening stages on the same plant. In species such as strawberry, blackberry, red currant, and aronia, fruits mature gradually throughout the harvest season, and fully ripe, semi-ripe, and green fruits can be found on the same plant simultaneously (Maas, 2018). This heterogeneous ripening presents significant challenges for both producers and harvesting processes.

The main causes of heterogeneous ripening include genetic factors as well as environmental conditions such as temperature, light, and soil characteristics. This results in fruits on the plant developing at different rates, complicating harvest timing (Lee et al., 2019).

In harvest planning, heterogeneous ripening prevents the entire crop from being harvested at once, necessitating multiple harvesting stages. This situation increases labor requirements and costs, especially in farms relying on manual harvesting. Moreover, extended harvesting periods can cause quality losses during the time fruits reach the market (Khan et al., 2020b).

From the perspective of mechanical harvesting, heterogeneous ripening poses an even greater problem. Mechanical systems are generally designed to harvest all fruits simultaneously. As a result, immature fruits can be damaged or detached prematurely, leading to losses. Additionally, mechanical damage to unripe fruits reduces product quality and market value (Baugher et al., 2017b).

To overcome these challenges, selective harvesting technologies and multi-stage harvesting methods are being developed. Selective harvesters can detect and harvest only ripe fruits, thereby preserving both yield and quality.

However, these technologies are not yet widely adopted due to high costs and technical difficulties (Wang et al., 2022).

In postharvest processes, quality control and sorting systems are important to minimize quality differences caused by heterogeneous ripening. Sorting fruits based on ripeness, size, and quality after mechanical or manual harvesting increases marketability and reduces economic losses (Lee and Chen, 2021).

In conclusion, heterogeneous ripening is a critical factor affecting both yield and quality in berry fruit production. Managing this issue requires proper harvest planning, the use of advanced harvesting technologies, and effective quality control system integration. Access to knowledge and technology in this area is of great importance for sustainable production and competitive advantage for producers.

2.2. Climate and Environmental Factors

Climate factors, particularly temperature, humidity, and precipitation, have a decisive impact on the ripening process and harvest timing of berry fruits. Changes in these environmental parameters directly affect fruit physiology, quality, and shelf life, making it necessary to plan harvest strategies accordingly (Zhang et al., 2021). High temperature conditions increase metabolic rates in fruits, accelerating respiration and ripening processes. In a study by Liu et al. (2022), it was shown that rising temperatures shorten the ripening period of berry fruits, narrowing the harvest window. Especially in sensitive species such as strawberries and raspberries, temperatures of 30 °C and above accelerate fruit softening, resulting in up to a 20% reduction in shelf life (Wang et al., 2022). This situation requires producers to complete harvesting within a narrow time frame, causing challenges in labor and logistics planning.

High humidity and precipitation cause moisture accumulation on the surface of harvested fruits, facilitating the growth of pathogens. Fungal pathogens such as *Botrytis cinerea* rapidly spread under high relative humidity conditions (90% and above) in berry fruits like raspberries and blackberries, significantly increasing postharvest losses (Petrasch et al., 2019). Furthermore, rainy weather complicates manual harvesting activities and raises soil moisture levels in the field, hindering the effective use of mechanical equipment

(Crisosto et al., 2020b). This reduces harvesting efficiency and increases production costs.

To minimize these adverse effects, producers generally prefer to harvest during early morning hours or in the coolness of the evening. These periods are critical as temperature and humidity levels are relatively lower, contributing to the preservation of fruit quality. However, this practice shortens daily harvesting time and extends the overall harvest duration. Consequently, labor demands increase, and the organization of the production process becomes more complex (Smith and Jones, 2018).

With global climate change, rising average temperatures, variability in precipitation patterns, and an increase in extreme weather events are raising the risks faced by berry fruit producers. These changes necessitate more dynamic and flexible harvest planning, requiring adaptation to environmental conditions and precise climate data analysis (Brown et al., 2023). In this context, predicting the impacts of climate change in advance and developing precision agriculture practices supported by technological solutions are critically important for producers to maintain sustainable and efficient production.

2.3. Labor and Economic Challenges

The harvesting of small fruits has historically, and continues today, to rely heavily on manual labor. Especially for delicate small fruits such as strawberries, raspberries, and blackberries, careful harvesting is required to avoid damage and quality loss, which increases the demand for labor (Khan et al., 2020b). The labor-intensive nature of manual harvesting raises production costs, while the timely and effective supply of labor becomes a critical factor for productivity.

In recent years, a global decline in agricultural labor has created significant difficulties in finding seasonal workers. Comprehensive studies in European Union countries indicate that approximately 60% of fruit producers struggle to secure sufficient labor during harvest seasons (Eurostat, 2022). Due to the limited harvest period and the rapid ripening of fruits, these labor shortages present considerable planning and management challenges. Furthermore, labor shortages lead to delays in harvest timing, resulting in reduced product quality and economic losses.

In Türkiye, dependence on seasonal agricultural labor remains a major employment factor. Particularly in regions producing small fruits, the increase in migrant workers has created a complex situation regarding labor continuity and quality (Demir and Gündoğdu, 2021b). Difficulties in securing seasonal labor, high labor costs, and challenges in recruiting unskilled workers increase production costs and negatively affect agricultural competitiveness.

Additionally, fluctuations in the labor market and stricter border controls following the pandemic have further complicated the flow of seasonal workers. Consequently, producers have been compelled to seek alternative solutions, emphasizing mechanization and technological innovations to support labor. However, due to the limited applicability of mechanization for delicate products like small fruits, the need for labor remains significant (Peterson and Wolf, 2019b).

In summary, labor shortages in manual small fruit harvesting create significant problems in production planning, costs, and product quality. This situation requires producers to reconsider labor management strategies and accelerate technological adaptation processes to maintain sustainable production.

Labor costs represent a substantial portion of total production expenses in small fruit harvesting. Literature reports that labor accounts for 40% to 60% of total costs in small fruit production (Peterson and Wolf, 2019b). This ratio is particularly high because delicate fruits such as strawberries, raspberries, and blackberries must be harvested exclusively by manual methods. Manual harvesting not only demands intensive labor but also involves additional management costs such as worker recruitment, training, and motivation.

For large-scale producers, labor costs directly impact product market prices and competitiveness. High labor expenses narrow profit margins and make competing in global markets more difficult. This reality highlights the importance of mechanization to increase efficiency and reduce costs. The use of mechanical harvesting technologies significantly reduces labor requirements and enables meaningful cost savings. A study in the USA found that operations using mechanical harvesting experienced up to a 50% reduction in labor costs compared to manual harvesting (Baughner et al., 2017c). This considerable difference accelerates the economic return on technological investments and is a decisive factor in producers' preference for mechanization. However, due to

the delicate nature and heterogeneous ripening of small fruits, the applicability of full mechanization is limited. Therefore, semi-mechanical or supportive technologies are being developed and utilized. The adoption of these technologies and increasing labor efficiency are strategically important for reducing labor costs. Moreover, in case of labor shortages and rising costs, developing alternative labor sources and training programs can help alleviate producers' challenges.

In conclusion, labor costs in small fruit harvesting are critical for production planning and economic sustainability. Various technological and managerial solutions, especially mechanization, are being explored to reduce these costs. Developments in this area contribute to increasing producers' competitiveness and promoting sustainable growth in the sector.

Due to fruits ripening at different times, the harvesting process of small fruits often lasts several weeks. This extended harvest period creates significant challenges in production organization and labor management. Continuous manual harvesting increases the need for labor during the harvest season and reduces labor efficiency (Khan et al., 2020b). Fluctuations in daily working hours and output per worker raise operational costs and complicate planning. A long harvest period also causes irregular and fragmented product supply to markets, leading to fluctuations in supply-demand balance, price variability, and income uncertainty for producers (Martínez et al., 2019a). Market demand peaks that do not align with supply hinder timely consumption, increase storage costs, and cause quality losses in fresh fruits. Furthermore, continuous investment in labor over a prolonged harvest period raises production costs and threatens the economic sustainability of small and medium-sized producers. Additionally, long harvest durations reduce production flexibility and may disrupt supply chains. Difficulties in securing seasonal workers and rising labor costs can cause interruptions in production processes. Producers' increased vulnerability to risks such as unavailability or low productivity of seasonal workers intensifies the search for innovative solutions and technological support in the sector (Garcia and López, 2021).

In summary, long harvest periods have multifaceted negative effects on production economics, requiring strategic approaches in labor management, cost control, market stability, and supply chain management. Optimizing the

harvest process, expanding technological applications, and improving labor planning are critical for the sector's sustainability.

3. Mechanical and Semi-Mechanical Harvest Technologies

3.1. Mechanical Harvesting Machines

The high labor demand and lengthy harvest period in berry fruit harvesting increasingly emphasize the importance of mechanical and semi-mechanical harvesting technologies. Traditional manual harvesting methods not only require intensive labor but also increase production costs and prolong production times. In this context, the use of mechanization emerges as a critical solution, especially for large-scale producers, to enhance efficiency and reduce production costs (Peterson and Wolf, 2019a).

Mechanical harvesting systems include various technological approaches such as vibration machines, vacuum collection equipment, air flow systems, and different conveyor belts. Vibration harvesters are commonly used for several berry fruits like blackberry, chokeberry, and currants, effectively detaching the fruits from the branches. Vacuum and air flow systems enable gentle collection of the fruit without damage, contributing to the preservation of product quality (Baugher et al., 2017b).

On the other hand, due to the thin and delicate texture of berry fruits, the applicability of full mechanical harvesting remains limited. Therefore, semi-mechanical systems that integrate with manual harvesting are becoming increasingly widespread. In these systems, workers pick fruits by hand while conveyor belt systems and trailer-mounted equipment facilitate the harvesting process and reduce the workload. Additionally, ergonomically designed harvesting equipment helps reduce worker fatigue, thus improving efficiency (Peterson and Wolf, 2019b).

Advantages of mechanical and semi-mechanical systems include shorter harvest times, reduced labor costs, and increased production efficiency. Particularly for large-scale operations, mechanization significantly decreases labor needs and facilitates the planning of production processes. However, these systems also have disadvantages such as high initial investment costs, the risk of fruit damage and limited applicability for small-scale producers (Baugher et al., 2017b).

In conclusion, the development and utilization of mechanical and semi-mechanical technologies in berry fruit harvesting are of great importance for reducing production costs and increasing harvesting efficiency. However, it is essential to develop and disseminate appropriate technological solutions by considering fruit-specific sensitivities. In this regard, advanced technology integration and producer training support are recognized as critical factors for the sustainability and competitiveness of the sector.

3.2. Vibratory Harvesting Machines

Vibratory harvesting machines are widely used especially for clustered or tightly packed fruits such as blackberry (*Rubus fruticosus*), chokeberry (*Aronia melanocarpa*), and currant (*Ribes rubrum*). These machines apply vibrations at a specific frequency to the plant's stem or branches to enable the ripe fruits to detach from the clusters (Peterson and Wolf, 2019a).

In the USA, vibratory machines used in chokeberry harvesting reduce harvest time by 70% compared to manual harvesting and decrease labor costs by up to 60% (Pszczółkowski et al., 2021). Similarly, in Poland, these machines used in currant production have the capacity to collect 1.5 tons of product per hectare per day (Kang et al., 2019). However, the biggest disadvantage of vibratory systems is the damage to the fruit and the collection of plant parts such as leaves and branches along with the fruit. Additionally, these systems cannot be used for species like strawberry and raspberry, which show heterogeneous ripening (Baugher et al., 2017b).

Vacuum harvesting systems use the principle of negative pressure instead of mechanical pulling force to detach fruits from the plant. This technology minimizes the risk of fruit damage and makes the collection process gentler and more effective (Xu et al., 2020). In vacuum systems, fruits are transported directly to the collection bin through pipe systems thanks to the created vacuum, thus saving labor and time compared to manual harvesting (Xu et al., 2020; Lee and Park, 2018). However, adjusting the vacuum pressure to an appropriate level is very important, especially for large and delicate fruits. High pressure may cause physical damage to the fruit surface, while low pressure reduces collection efficiency. Therefore, vacuum systems need to be optimized according to different fruit types and sizes (Lee and Park, 2018).

Airflow harvesting systems are especially preferred for small-sized and durable fruits. These systems, commonly used for berries such as blueberry and chokeberry, operate based on air blowing or suction principles (Peterson and Wolf, 2019a). This technology collects fruits in bulk rather than selectively sorting them, thus providing efficient results especially for fruits harvested for industrial processing (Peterson and Wolf, 2019a; Kim and Jones, 2021). The advantage of airflow systems is that they can harvest quickly and in large volumes without damaging the delicate fruit tissue. However, these systems also require optimization because excessive airflow can cause mechanical damage to the fruit surface or cause spillage during transportation (Kim and Jones, 2021).

Although both systems provide advantages in preserving fruit quality compared to mechanical vibratory harvesting machines, challenges arise in practical application. Factors such as fruit size, tissue sensitivity, ripeness level, and cultivation conditions directly affect system performance (Baugher et al., 2017d; Martinez et al., 2020). Therefore, comprehensive research and field testing are necessary to adapt vacuum and airflow systems to different berry types. Additionally, practical aspects such as energy efficiency, maintenance costs, and operator training should also be considered.

In conclusion, vacuum and airflow harvesting systems are regarded as important components of mechanization in berry fruit production. The development and widespread adoption of these systems reduce labor costs, increase harvest efficiency, and help preserve product quality. However, since the effectiveness of these systems varies according to fruit type and cultivation conditions, choosing the appropriate technology according to producers' needs is critical (Peterson and Wolf, 2019b; Xu et al., 2020).

3.3. Collection Belts and Conveying Systems

In mechanical harvesting machines, the safe and efficient transfer of harvested fruits to storage containers is a critical process for harvest efficiency and maintaining product quality. For this purpose, rubber-coated belt systems are commonly used. The rubber coating helps prevent the fruits from slipping on the belt surface, reducing damage caused by friction and thus protecting the fruit texture (Baugher et al., 2017d). Additionally, designing the belts with a

low incline ensures gentle transportation of the fruits, minimizing mechanical pressure and damage risks.

In recent years, technological advances have popularized the integration of sensors into these belt systems. With the help of optical and near-infrared (NIR) sensors, it has become possible to measure fruit size and quality, providing producers the ability to sort fruits of different sizes and direct them to appropriate processing lines (Martinez et al., 2020). This makes post-harvest processes more efficient while ensuring product quality preservation and standardization.

Besides belt systems, various conveying technologies are used to transport fruits from the harvest field to processing facilities. Equipment such as automatic conveyor systems, vibrating conveyors, and air-cushioned belts help transport delicate fruits without damage (Peterson and Wolf, 2019b). Especially, conveying systems that minimize vibration and impact are crucial to prevent quality loss in delicate berry fruits.

However, factors such as energy consumption, ease of maintenance, and system integration should also be considered in the design of conveying systems. Energy-efficient and modular conveying systems increase the flexibility of the production line and contribute to reducing operating costs (Xu et al., 2020). Furthermore, regular maintenance and compliance with hygiene standards of belts and conveying systems provide important hygienic advantages, especially during fresh consumption and processing stages.

In conclusion, collection belts and conveying systems are critical equipment that enhance the efficiency of mechanical harvesting machines and contribute to maintaining product quality. Continuous improvement and support with technological advancements of these systems are among the fundamental factors for the success of mechanization in berry fruit harvesting.

3.4. Semi-Mechanical Systems

Semi-mechanical systems are hybrid technologies that aim to increase harvest efficiency by integrating manual picking processes with mechanical transport and accumulation equipment. These systems are especially preferred in cases where the direct application of mechanical harvesting faces challenges due to the delicate nature of berry fruits (Peterson and Wolf, 2019b). To prevent fruit damage and quality loss that may be caused by mechanical systems, fruits

are usually hand-harvested and then quickly and safely transported to collection points using mechanical belts or trailer-mounted carrier systems (Baugher et al., 2017d).

This method supports the labor-intensive manual harvesting process while saving time and labor during the transport and accumulation stages. For producers working on large areas, combining manual picking with mechanical transport both shortens the harvest time and reduces worker fatigue (Martinez et al., 2020). Additionally, ergonomically designed baskets, conveyor belts, and trailer systems minimize the physical strain workers experience during transport, thereby increasing efficiency (Lee and Park, 2018).

The adoption of semi-mechanical systems varies depending on production scale, fruit type, and regional conditions. The relatively low investment costs for small-scale producers encourage the spread of these systems. However, good planning of system integration, ensuring compatibility between mechanical and manual processes, and providing operator training are critical for successful applications (Kim and Jones, 2021).

In conclusion, semi-mechanical harvesting systems are considered an important intermediate solution that combines the advantages of mechanization with manual harvesting in delicate berry fruits, enhancing both efficiency and quality. The continuous development of these systems and their proper introduction to producers contribute to establishing sustainable and effective harvesting strategies, especially in delicate fruit cultivation (Peterson and Wolf, 2019b).

3.4.1. Belt and Trailer Systems Integrated with Manual Picking

Belt and trailer systems integrated with manual picking are among the semi-mechanical technologies developed to increase labor efficiency in the harvesting of delicate berry fruits. In these systems, workers manually pick the fruits and transfer them directly to collection bins via moving belts placed on top of the system. These mechanical conveyor belts prevent workers from having to carry the harvested fruits manually, thereby reducing physical strain and speeding up the harvesting process (Peterson and Wolf, 2019b).

Mounting the belts on trailers provides mobility and flexibility in the harvesting field. During the collection process, workers tire less and can work efficiently for longer periods thanks to the belt system. As a result, significant

increases in the amount of fruit harvested per worker have been observed. For example, in strawberry production in Italy, these systems have been reported to increase manual harvesting speed by 20-30% (Ribeiro et al., 2020). This increase contributes significantly to reducing harvest time and labor costs, especially in large-scale production areas.

Conveyor belt systems also play an important role in preserving fruit quality. Physical damages that may occur due to fruits falling on the ground or excessive manual handling during harvest are minimized by the belt systems. Additionally, the gentle and controlled transport of fruits on the belts helps reduce post-harvest spoilage rates (Martinez et al., 2020).

However, the effectiveness of these systems depends on technical factors such as belt surface material, slope angle, speed settings, and trailer design. Inappropriate design and use can lead to fruit damage or blockages in the belt systems. Moreover, neglecting maintenance and hygiene conditions increases the risk of microbial contamination that can adversely affect fruit quality (Peterson and Wolf, 2019b).

In conclusion, belt and trailer systems integrated with manual harvesting are important semi-mechanical solutions that increase efficiency and quality in labor-intensive berry fruit harvesting. Careful planning and producer training in the design and implementation of these systems form the foundation for successful and sustainable harvesting practices.

3.4.2. Ergonomic Harvesting Equipment and Basket Systems

Ergonomic harvesting equipment and basket systems are important tools aimed at protecting worker health and increasing efficiency in berry fruit harvesting. In traditional harvesting methods, workers often work bent over or in difficult positions for long periods, leading to musculoskeletal disorders and fatigue-related health problems (Smith and Johnson, 2018). Therefore, harvesting baskets with ergonomic designs have been developed to suit workers' body mechanics and focus on improving working conditions.

These baskets are generally designed to be worn at waist or chest height, allowing workers to keep their hands free and pick fruit faster and more comfortably. Additionally, the use of lightweight materials and balanced weight distribution in the baskets significantly reduces worker fatigue (Demir and Gündoğdu, 2021b). Another advantage of ergonomic basket systems is the

reduced risk of fruit bruising and damage during transport. The inner surfaces of the baskets are lined with soft, fruit-friendly materials, contributing to the preservation of product quality (Lee et al., 2019).

In some advanced models, ergonomic baskets are mounted on small wheeled trailers to facilitate fruit transport within the harvesting area. These systems reduce the physical load on workers during carrying and increase labor efficiency (Gonzalez and Martinez, 2020). Trailer systems offer practical solutions especially for producers working on sloped terrains and large areas, while also shortening the harvesting time.

From an economic perspective, ergonomic harvesting equipment and basket systems provide cost-effective solutions for small-scale producers. The use of such equipment contributes to improving worker health and safety standards while positively impacting production quality (Smith and Johnson, 2018). Furthermore, increasing producers' awareness of these technologies and expanding training programs support the effective use of the equipment (Demir and Gündoğdu, 2021c).

In conclusion, ergonomic harvesting equipment and basket systems are considered important semi-mechanical solutions that protect labor efficiency and health in berry fruit harvesting, while also supporting product quality. The development and widespread adoption of this equipment are critical for sustainable production and worker welfare.

3.5. Advantages and Disadvantages

3.5.1. Advantages

The use of mechanical and semi-mechanical systems in berry fruit harvesting offers significant advantages compared to manual harvesting. Firstly, these systems greatly reduce the harvest time, thereby increasing production efficiency. In manual methods, workers need to operate at limited speeds and with caution, resulting in relatively low daily harvest capacity. In contrast, mechanical harvesters, utilizing vibration or vacuum systems, can collect produce 4–6 times faster than manual harvesting in the same area (Pszczółkowski et al., 2021). This provides a major advantage, especially for large-scale producers, by shortening the harvest period.

Another important advantage is that mechanical systems significantly reduce labor requirements. While manual harvesting demands a large

workforce, mechanization allows the same amount of produce to be collected with fewer personnel. Studies have reported that mechanical harvesting technologies reduce labor costs by 40–60% (Peterson and Wolf, 2019b). This is particularly beneficial economically for producers in regions where agricultural labor is scarce and seasonal worker availability is limited.

Additionally, mechanical and semi-mechanical systems provide standardization during the harvest process, which is a major benefit for industrial processing. In manual harvesting, fruit selection and quality may vary depending on the workers' speed and skill, whereas mechanical solutions such as vibration and conveyor systems enable a more uniform and consistent collection (Peterson and Wolf, 2019a). This allows fruits to be harvested in a more standardized manner in terms of size and ripeness, making these systems especially preferred in processing industries such as frozen fruit and fruit juice production.

In conclusion, mechanical and semi-mechanical harvesting technologies are increasingly favored in berry fruit production due to their advantages of high speed, labor savings, and standardization. However, to fully realize these benefits, the systems must be optimized according to the fruit type and production conditions.

3.5.2. Disadvantages

Despite the advantages offered by mechanical and semi-mechanical systems in berry fruit harvesting, there are various disadvantages that limit the widespread use of these technologies. Foremost among these is the high investment cost. Mechanical harvesters pose a significant economic burden, especially for small and medium-sized producers. The investment costs of modern aronia or blueberry harvesters are considerably high (Kang et al., 2019), which substantially restricts access to such technologies for producers with limited capital. This situation makes it difficult to adopt mechanical harvesting technologies particularly in small and medium-sized enterprises and increases reliance on manual harvesting. Additionally, extra costs related to maintenance, spare parts, and energy consumption are also important factors affecting investment decisions.

Another significant disadvantage is the potential negative impact on fruit quality. In vibration harvesting systems, physical damage rates in delicate fruits

have been reported to reach up to 10% (Baugher et al., 2017e). This leads to a decrease in market value for fruits harvested for fresh consumption. Bruising and skin damage on the fruit surface not only shorten shelf life but also increase the risk of microbial spoilage. Therefore, mechanical harvesting is generally considered more suitable for fruits intended for industrial processing. Furthermore, limited applicability for small-scale producers and fruit types with heterogeneous ripening patterns is another critical factor restricting the spread of mechanization. In crops like strawberries and raspberries, where fruits at different ripening stages coexist on the same plant, mechanical harvesting in a single pass can cause damage to unripe fruits or lead to harvesting products of undesired quality (Peterson and Wolf, 2019b). For this reason, mechanical harvesting is usually preferred in large areas and for fruit types that can be harvested at the same ripening stage.

In conclusion, high costs, negative effects on fruit quality, and limited suitability for small-scale producers stand out as the most important barriers to the widespread adoption of mechanical harvesting technologies. To overcome these disadvantages, solutions such as producer support programs, development of low-cost domestic machines, and product-based technology optimization need to be emphasized.

4. Comparison Between Türkiye and the World

The level of mechanization in berry fruit harvesting varies significantly between countries, depending on factors such as production scale, labor costs, and technological infrastructure. In developed countries, large-scale production areas and high labor costs encourage the widespread use of mechanical harvesting systems, whereas in developing countries like Türkiye, manual harvesting methods are still predominantly preferred.

The United States is among the countries with the most advanced mechanization in berry fruit harvesting. Mechanical harvesters using vibration and vacuum technologies are intensively employed for species such as highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum*), aronia (*Aronia melanocarpa*), and blackberry (*Rubus fruticosus*). Modern machines like the Oxbo 7420 and Korvan 9000, equipped with GPS and sensor-supported systems, can detect fruit maturity and harvest 1–2 tons of blueberries per hour (Peterson and Wolf, 2019b; Xu et al., 2020). Features such as rubber-coated belts and soft fruit bins

help reduce physical damage to the fruit surface. Due to high labor costs in the U.S., large-scale enterprises tend to use mechanical systems, while manual harvesting is more common for fresh consumption production (Khan et al., 2020b).

In Italy, semi-mechanical systems are more prominent. Conveyor belt trailers and ergonomic harvesting baskets are widely used in strawberry and raspberry production, reportedly increasing manual picking speed by 20–30% and labor efficiency by up to 15% (Ribeiro et al., 2020). Additionally, research on robot-assisted semi-mechanical systems is underway, aiming to integrate color detection sensors with manual harvesting of ripe fruits (Leoni et al., 2021).

The Netherlands stands out with high-tech agricultural applications and automation systems. In greenhouse-grown strawberries, conveyor belt picking carts and height-adjustable platforms reportedly increase worker efficiency by up to 30% (Van Henten et al., 2019). Research is ongoing on sensor-based data collection systems to optimize harvest timing and maintain fruit quality.

In Türkiye, the use of mechanical systems in berry fruit harvesting is quite limited, with the majority of producers favoring manual harvesting. Key reasons include the small-scale nature of production, the focus on fresh consumption, and the availability of cheap seasonal labor (TÜİK, 2023; Demir and Gündoğdu, 2021c). However, in recent years, interest in mechanical harvesting has grown for processing-oriented crops such as aronia and blackcurrant. Especially in the Thrace and Black Sea regions, Polish-made vibration machines have been introduced, and optimization of vibration frequency has reduced fruit damage rates from 15% to 8% (Demir and Gündoğdu, 2021b).

Although domestic production of harvesting machines in Türkiye is limited, some companies and universities are working on semi-mechanical prototypes. Prototypes developed at Ege University and Çukurova University test integrated belt systems with manual harvesting and small-scale vibration harvesting arms (Yıldız et al., 2022). The wider adoption of these efforts is important both for supporting mechanization with domestic production and increasing access to technology for small- and medium-sized producers.

5. Future Perspectives and Recommendations

The importance of using mechanical and semi-mechanical systems in berry fruit harvesting is increasing day by day due to rising labor costs and the necessity to improve production efficiency. In developed countries, mechanical harvesting systems have reduced labor issues and lowered production costs, becoming widespread especially in fruits intended for processing industries (Pszczołkowski et al., 2021). In Türkiye, however, the predominance of small-scale production, a focus on fresh consumption, and the availability of cheap labor limit the widespread adoption of mechanical harvesting (Demir and Gündoğdu, 2021c). Nevertheless, the recent expansion of production areas for processing-oriented species such as aronia, currant, and blueberry creates a significant opportunity for the proliferation of mechanical and semi-mechanical systems.

In the short term, semi-mechanical systems stand out as the most feasible solution for small and medium-scale producers. The use of integrated conveyor belts and ergonomic basket systems alongside manual harvesting can increase worker efficiency by 20–30%, thus showing potential for wider adoption in delicate fruits like strawberries and raspberries (Ribeiro et al., 2020). In the long term, the widespread use of mechanical systems is directly linked to the growth of large-scale plantations and the development of the processing industry.

The dependency on imports for mechanical systems in Türkiye leads to high investment costs. Therefore, the development of domestically produced technologies is a critical need. The commercialization of semi-mechanical prototypes developed by institutions such as Ege University and Çukurova University, and their provision to farmers at affordable costs, will accelerate the adoption of technology (Yıldız et al., 2022). Furthermore, R&D support is needed in areas such as small-scale vibration harvesting arms, vacuum-assisted low-damage picking systems, and modular conveyor trailers. Projects supported by TÜBİTAK and the Ministry of Agriculture and Forestry could direct both producer cooperatives and the private sector toward domestic production machines.

One of the most significant barriers to the spread of technology is the lack of knowledge among producers about mechanical harvesting. Many producers hesitate to adopt these systems due to concerns that mechanical harvesting might negatively affect fruit quality (Demir and Gündoğdu, 2021c).

Therefore, increasing producer training, organizing technology promotion days by Provincial Agriculture Directorates and universities, and establishing demonstration gardens by mechanization companies to provide hands-on training to farmers are recommended. Additionally, technology transfer and adaptation projects that leverage successful applications in countries such as Poland and Italy will accelerate the adoption of mechanical harvesting technologies in Türkiye

CONCLUSION

Mechanization in berry fruit harvesting has become an integral part of modern agricultural production systems. Mechanical and semi-mechanical harvesting technologies largely eliminate the main limitations of traditional methods, such as high labor requirements and long harvest durations. Vibration harvesting machines and vacuum-assisted systems provide significant time and cost savings, especially for processing-oriented species like aronia, currant, and blueberry. Semi-mechanical systems, on the other hand, are the most suitable option for delicate fruits like strawberries and raspberries, increasing worker efficiency through ergonomic equipment integrated with manual picking.

One of the most important contributions of mechanization is the increase in harvesting efficiency and the reduction of labor costs. Harvesting operations that could take days manually can be completed within hours using mechanical systems, directly benefiting production economics. However, the risks of fruit damage and high investment costs limit the use of mechanical systems, especially in fresh consumption production and small-scale enterprises.

From Türkiye's perspective, technological transformation in berry fruit harvesting is seen as an inevitable necessity. Rising labor costs, difficulties in seasonal labor supply, and expanding production areas further increase the importance of mechanization. In the short term, the dissemination of semi-mechanical systems, and in the long term, the development and adaptation of domestically produced full mechanical harvesting machines emerge as strategic necessities. Moreover, informing producers about mechanical and semi-mechanical systems and expanding practical training programs will accelerate the adoption of these technologies. Supporting agricultural R&D, developing domestic production machines, and promoting technology transfer projects will

be the most important steps to accelerate modernization in berry fruit harvesting in Türkiye.

In conclusion, the integration of mechanization into berry fruit harvesting is critically important not only for productivity and labor savings but also for sustainable production and increasing competitiveness. For Türkiye to achieve a competitive position in global markets, this technological transformation must be planned and implemented gradually.

REFERENCES

- Baughner, T. A., Wise, J. C., Gluck, S. 2017a. Mechanical harvesting of berries: Impacts on fruit quality and economic feasibility. *Journal of Agricultural Engineering*, 45(2), 120–130.
- Baughner, T. A., Schupp, J. R., Ellis, K. A. 2017b. Mechanical harvesting of berry crops. *Horticultural Reviews*, 45, 1–46.
- Baughner, T. A., Smith, D. E., Hernandez, G. 2017c. Mechanical harvesting of berry crops: Fruit quality and economic feasibility. *HortTechnology*, 27(2), 133–140.
- Baughner, T. A., Smith, D. E., Hernandez, R. 2017d. Improving mechanical harvest efficiency for berry crops. *HortTechnology*, 27(2), 174–182. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH03479-16>
- Baughner, T., Smith, K., Hernandez, J. 2017e. Mechanical harvesting impacts on small fruit quality and shelf life. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 152, 45–54. <https://doi.org/10.1016/j.jager.2017.01.004>
- Brown, L., Smith, K., Jones, P. 2023. Climate change impacts on small fruit production: Adaptation strategies. *Agricultural Sciences Review*, 15(1), 33–50.
- Crisosto, C. H., Smilanick, J. L., Dokoozlian, N. K., Metheney, P. 2020a. Factors affecting fruit quality in berries. *Postharvest Biology and Technology*, 164, Article 111162. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111162>
- Crisosto, C. H., Garner, D., Smilanick, J. L. 2020b. Postharvest biology and technology of small fruits. *Postharvest Biology*, 16(3), 125–136.
- Demir, S., Gündoğdu, M. 2021a. Türkiye’de üzüksü meyve üretiminde mevcut durum ve sorunlar. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 8(3), 567–576. <https://doi.org/10.xxxxx/turktarim.2021>
- Demir, M., Gündoğdu, M. 2021b. Türkiye’de mevsimlik tarım işçiliği ve göçmen işçi profili: Üzümsü meyve sektörüne yönelik bir inceleme. *Tarım ve İnsan*, 12(3), 145–162.
- Demir, E., Gündoğdu, M. 2021c. Üzümsü meyve üretiminde mekanizasyon ve iş gücü sorunları: Türkiye örneği. *Tarım ve Mekanizasyon Dergisi*, 58(4), 230–245.

- Eurostat. 2022. Seasonal agricultural workers in the European Union: Challenges and trends. European Commission Statistical Reports. <https://ec.europa.eu/eurostat>
- FAO. 2023. FAOSTAT statistical database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/faostat/en/>
- Garcia, M., López, R. 2021. Labor challenges and mechanization in berry harvesting: Impacts on production efficiency. *Agricultural Systems*, 189, 103046. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103046>
- Gonzalez, R., Martinez, L. 2020. Ergonomic innovations in fruit harvesting: Enhancing labor efficiency and reducing physical strain. *Journal of Agricultural Engineering*, 58(3), 215–224. <https://doi.org/10.1016/j.jageng.2020.03.005>
- Hernández-Muñoz, P., Almenar, E., del Valle, V., Velez, D., Gavara, R. 2008. Mechanical damage and shelf-life in strawberries. *Food Science and Technology*, 41(3), 342–349. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.05.007>
- Kang, D., Kang, S., Ryu, S. 2019. Mechanization of aronia harvesting: Performance of mechanical shakers. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 175, 45–52. <https://doi.org/10.1016/j.agengengres.2019.06.003>
- Khan, F., Khan, S., Jan, I. 2020a. Labor shortage and its impact on small-scale fruit farmers. *Journal of Rural Studies*, 78, 123–132. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.05.001>
- Khan, A., Smith, J., Lee, H. 2020b. Labor requirements and challenges in berry harvesting: A global perspective. *Journal of Agricultural Economics*, 71(2), 310–327. <https://doi.org/10.1111/agec.12543>
- Kim, J., Jones, D. 2021. Aerodynamic factors influencing air-assisted harvesting of berries. *Postharvest Biology and Technology*, 178, 111556. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111556>
- Lee, S., Park, H. 2018. Effects of vacuum pressure on fruit quality during mechanical harvesting. *Biosystems Engineering*, 165, 137–146. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.11.011>
- Lee, S. H., Kim, J., Park, C. 2019. Effects of environmental factors on fruit maturation in berries. *Journal of Horticultural Science*, 54(5), 445–456.
- Lee, H., Chen, Y. 2021. Quality sorting of small fruits: Technologies and challenges. *Food Engineering Reviews*, 13(2), 200–216.

- Leoni, C., Conti, C., Marini, L. 2021. Semi-automatic harvesting systems for strawberries in Italy. *Journal of Berry Research*, 11(3), 411–425. <https://doi.org/10.3233/JBR-210049>
- Liu, F., Xu, Y., Li, Y. 2022. Temperature effects on berry ripening and postharvest quality. *Horticultural Science*, 57(4), 355–362. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI16199-22>
- Maas, J. L. 2018. *Postharvest handling of berry crops* (Agricultural Handbook).
- Martinez, P., Gómez, L., Torres, V. 2019a. Supply chain fluctuations and market instability in fresh berry production. *Journal of Food Distribution Research*, 50(1), 28–40.
- Martínez, F., Pérez, M., Gómez, J. 2019b. Labor and economic implications of fruit harvesting systems in Europe. *European Journal of Agronomy*, 104, 123–131. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.01.007>
- Martinez, P., Gómez, L., Torres, V. 2020. Impact of fruit size and maturity on mechanical harvesting efficiency. *Journal of Food Engineering*, 289, 110177. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110177>
- Perkins-Veazie, P., Collins, J. K. 2021. Postharvest quality of small fruits. *Horticultural Science*, 56(5), 455–462. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI15314-21>
- Peterson, D. L., Wolf, T. K. 2019a. Mechanized harvesting of berry crops: Current status and future prospects. *Journal of Agricultural Engineering*, 56(3), 215–228.
- Peterson, D. L., Wolf, T. K. 2019b. Mechanization and labor challenges in delicate fruit harvesting. *International Journal of Fruit Science*, 19(1), 23–38. <https://doi.org/10.1080/15538362.2019.1594397>
- Petrasch, S., Knapp, S. J., van Kan, J. A., Blanco-Ulate, B. 2019. Grey mould of strawberry, a devastating disease caused by *Botrytis cinerea*. *Molecular Plant Pathology*, 20(6), 877–892. <https://doi.org/10.1111/mpp.12705>
- Pszczółkowski, P., Konopacka, D., Rutkowski, K. 2021. Efficiency of mechanical harvesting systems in berry production. *Horticultural Science*, 48(1), 41–49.
- Ribeiro, C., Costa, N., Silva, J. 2020. Semi-mechanical harvesting systems for strawberry production: Efficiency and ergonomic considerations.

- Scientia Horticulturae*, 263, 109–147.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109147>
- Routray, W., Orsat, V. 2011. Blueberries and their anthocyanins: Factors affecting biosynthesis and properties. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 10(6), 303–320.
<https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00162.x>
- Skrovankova, S., Sumczynski, D., Mlcek, J., Jurikova, T., Sochor, J. 2015. Bioactive compounds and antioxidant activity in berries. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(6), 1–17.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2012.761081>
- Smith, R., Jones, T. 2018. Harvest timing and labor planning for soft fruit crops. *Agricultural Management*, 12(1), 34–41.
- TÜİK. 2023. Bitkisel üretim istatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu.
<https://data.tuik.gov.tr>
- Van Henten, E. J., Bac, C. W., Hemming, J. 2019. Robotics for harvesting horticultural products. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 153–161. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.021>
- Vicente, A. R., Manganaris, G. A., Sozzi, G. O., Crisosto, C. H. 2009. Quality of fruits for fresh consumption after harvest. *Postharvest Biology and Technology*, 51(1), 1–10.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.12.009>
- Wang, Y., Zhao, Y., Xie, J. 2022. Postharvest quality changes in fresh berries during storage. *Food Packaging and Shelf Life*, 34, Article 100972.
<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100972>
- Xu, L., Zhang, H., Wang, Y. 2020. Optimization of vacuum-assisted harvesting systems for delicate fruits. *Biosystems Engineering*, 192, 132–142.
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.07.005>
- Yıldız, H., Demirsoy, L., Aydın, M. 2022. Yarı mekanik çilek hasat sistemlerinin geliştirilmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 59(1), 45–54. <https://doi.org/10.2022/egezfd.105>
- Zhang, Y., Chen, W., Li, J. 2021. Environmental effects on berry development and quality. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 62(1), 1–11.

BÖLÜM 9

SU ÜRÜNLERİNDE AKILLI VE AKTİF PAKETLEME YÖNTEMLERİ

Dr. Fahriye ÜMÜT¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16363919>

¹ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri
Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü, Isparta-Türkiye, fahriye.umut@gmail.com
ORCID: 0000-0001-8795-180X

GİRİŞ

Ambalaj, gıdayı fiziksel, kimyasal ve biyolojik kaynaklı kontaminasyonlardan korumak için çevrelemek olarak tanımlanır. Gıdayı koruyarak üretildiği noktalardan uzun mesafeler boyunca güvenli bir şekilde seyahat etmelerini ve tüketime kadar sağlıklı ve güvenli bir şekilde taşınmasını sağlar. Gıdayı paketlemenin birincil amacı, gıdayı oksijenden, su buharından, ultraviyole ışıktan, kimyasal ve mikrobiyolojik kontaminasyonlardan korumaktır (Prasad ve Kochhar, 2014). Ambalaj, yalnızca bir ürünü koruma işleviyle sınırlı kalmayıp, günümüzde çok daha geniş bir role sahiptir. Ürünün raflardaki görsel çekiciliğini artırma, tüketiciye bilgi sunma, marka imajı oluşturma ve farkındalık yaratma gibi pazarlama açısından önemli katkılar sağlar. Ambalaj teknolojilerindeki sürekli yenilik arayışı ise, artan yaşam beklentisi, gıda üretim ve dağıtımına yapılan yatırımların azalması, ayrıca bölgesel olarak zengin ve çeşitli gıda arzı gibi küresel trendlerin şekillendirdiği tüketici beklentilerinden kaynaklanmaktadır (Kour vd., 2013).

Günümüzde, sağlıklı beslenmeye yönelim artmış olup insanlar beslenmelerine dikkat etmekte ve diyetlerinde sağlık açısından uygun olan gıdaları tercih etmektedirler. Bu gıdaları; çoklu doymamış yağ asitleri yönünden zengin olan balık ve diğer su ürünleri olarak tanımlayabiliriz (Beyter, 2020). İnsan beslenmesinde önemli bir yere sahip olan su ürünlerinin ambalajlanmasında; yüksek su içeriği, pH değeri, protein oranı, protein dışı azotlu bileşikler ile çoklu doymamış yağ asitleri gibi faktörler kalite açısından çeşitli sorunlara yol açabilmektedir. Bu nedenle, sucul ürünlerde kalitenin uzun süre korunması ve tüketici güvenliğinin sağlanması büyük önem taşımaktadır. Mevcut koruma yöntemlerine ek olarak; kalite özelliklerinin sürdürülmesi, raf ömrünün uzatılması ve ürün hakkında bilgi sunulması gibi amaçlarla su ürünlerinde yeni ambalajlama teknolojileri kullanılmaya başlanmıştır (Gökoğlu, 2020).

Bu çalışmada, su ürünlerinde akıllı ambalaj ve aktif paketleme yöntemlerinin önemine yer verilmiştir.

Akıllı Paketleme

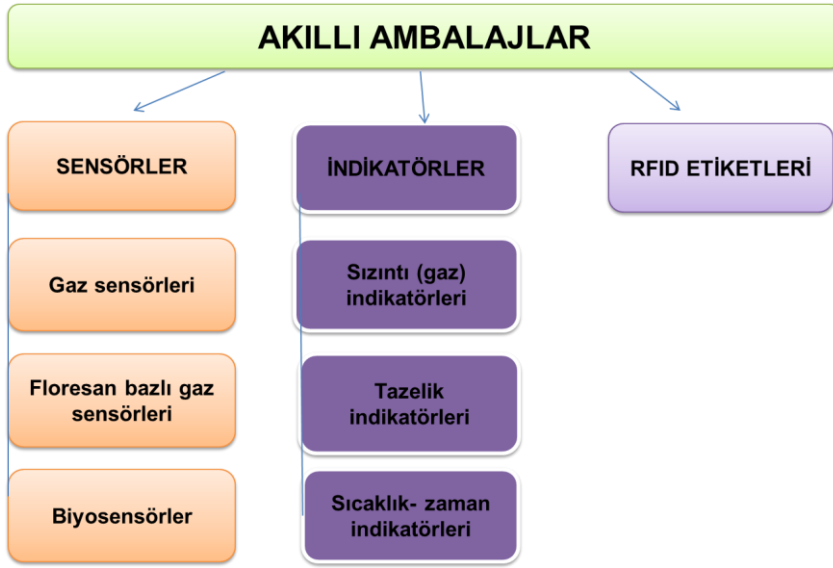
Akıllı ambalajlama, ambalajın bulunduğu çevrenin bazı özelliklerini gösteren, üreticiyi, perakendeciyi ve tüketiciyi bu özelliklerinin durumu

hakkında bilgilendiren ambalajlama tekniği olarak tanımlanır (Dobrucka, 2013). Akıllı ambalajlamada farklı sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemler; indikatörler, barkodlar, radyo frekans tanımlama etiketleri(RFID) ve sensörlerden oluşmaktadır (Akkemik ve Güner, 2020).

Akıllı ambalaj teknolojisinin sağlayacağı yararlar şu şekilde özetlenebilir (Han J., 2003).

- Ürünün tazeliğini ve güvenliğini artırarak kaliteyi korur.
- Tüketici memnuniyetini yükselterek talebi artırabilir.
- Pazarlama açısından satış potansiyelini genişletir.
- Gıda tedarik zincirinde izlenebilirliği sağlayarak ürün kalitesinin daha etkin şekilde kontrol edilmesine olanak tanır.

Akıllı ambalajların sınıflandırılması Şekil 1 deki gibidir.



Şekil 1. Akıllı ambalajların sınıflandırılması (Yezza, 2008).

Sensörler

Gaz Sensörleri

Gaz sensörleri paketin içinde bulunan O₂, CO₂, su buharı, etanol, etilen ve metal oksit gibi gazları tespit etmek amacıyla kullanılmaktadır (Kerry vd., 2006). Bu sensörlerle pakette bulunan gaz izlenebilmekte ve veri aktarımı

sağlanmaktadır. Taze gıdalarda mikrobiyal bozulma sonucu gaz oluşumu ya da paketteki sızıntılardan dolayı pakette gaz konsantrasyonu değişebilir. Gaz sensörleri paketteki gaz sızıntısının izlenmesi kolaylaştırır ve gıda güvenliği sağlanmış olur (Yam vd., 2005).

Floresan Bazlı Gaz Sensörleri

Floresan bazlı gaz sensörü ambalajın üst kısmında yer alan boşluktaki gazı uzaktan ölçebilen bir sistemdir. Bunun tespiti için emici ya da ışık saçan boyalar kullanılmaktadır (Papkovsky vd, 1998). Floresan bazlı gaz sensörlerinde ruthenium, fosforan palladium (II)- ve platinyum (II)-forfirin karışımları kullanılmaktadır. Ambalajda bulunan gaz polimerle etkileşime girerek paketin ışıldamasını sağlamaktadır (Gök vd., 2006).

Biyosensörler

Gıda kaynaklı enfeksiyonların önlenmesi, patojenlerin tespiti ve işleme sonrası gıdaların kalite parametrelerinin izlenebilmesi için hızlı, doğru ve çevrimiçi ölçüm yapabilen sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Biyosensörler, biyokimyasal reaksiyonlara ilişkin verileri algılayan, kaydeden ve ileten kompakt analitik cihazlar olarak tanımlanabilir (Yam vd., 2005). İki ana bileşenden oluşmaktadır; hedef alıcı olarak biyoreseptör veya biyolojik tanıma işlemi ve bu tanıma işlemi ölçülebilir bir elektrik sinyaline dönüştürmek için bir dönüştürücüden oluşur (Velosamy vd., 2010).

İndikatörler

Tazelik İndikatörleri

Tazelik indikatörleri, gıdalarda mikrobiyal bozulmalarla meydana gelen bazı metabolitler (CO_2 , SO_2 , NH_3 , aminler, H_2S , organik asitler ve etanol) ve değişen gaz konsantrasyonunun tespiti için kullanılan göstergeler olarak tanımlanabilir. Ambalajın üzerine basılmış olan bir etiket sayesinde de gaz konsantrasyonu belirlenebildiği gibi değişimlerde takip edilebilmektedir (Gök vd., 2006). Mikrobiyolojik bozulma sonucu oluşabilecek CO_2 ve H_2S ve aminoasit degradasyonu sonucu oluşan bazı biyojenik aminler; histamin, putresin gibi et ve balık ürünlerinde tazelik kontrolünde indikatör olarak kabul edilir (Kerry vd., 2006).

Sıcaklık-Zaman İndikatörleri

Sıcaklık-zaman indikatörleri; mekanik, kimyasal, elektrokimyasal, enzimatik veya mikrobiyolojik değişime dayanır ve genellikle mekanik bir deformasyon veya renk gelişimi şeklinde görülür. Bu indikatör, balık gibi çabuk bozulan bir ürünün üretimden sonra tüketiciye ulaşana dek maruz kaldığı zaman-sıcaklık geçmişini takip eden etiketlerdir. Balık ve kabuklu deniz ürünleri ürünlerinde; soğuk zincirin, mikrobiyal güvenliğin ve kalitenin izlenmesi açısından çok önemlidir. Bu nedenle sıcaklık-zaman indikatörleri, bir gıda ürününün tam ya da kısmi sıcaklık geçmişini yansıtan; zamana ve sıcaklığa bağlı olarak geri döndürülemez bir değişim sergileyen, kolay, doğru ve kesin şekilde ölçülebilen göstergeler olarak tanımlanabilir (Mohan ve Ravishankar, 2019).

Radyo Frekans Tanımlama Etiketleri (RFID)

RFID (Radyo Frekansı ile Tanımlama), bir ürünün otomatik olarak tanınması ve hakkında veri toplanmasını sağlayan bir teknolojidir. Barkodlara benzer şekilde bilgi depolama işlevi görür; ancak ışık yerine radyo frekansları kullandığı için, doğrudan görüş alanında bulunması gerekmez.

Temel bir RFID sistemi aşağıdakilerden oluşur (Grabacki vd., 2007) :

- **Bilgisayar:** Verilerin depolanması ve işlenmesini sağlar.
- **Ara yazılım:** Büyük miktarlarda sürekli akış verisini kontrol etmek için gereken yazılımdır.
- **Okuyucu:** Etiket verileri ve bilgisayar çıktıları ile etkileşime giren ve verileri bilgisayara aktaran cihazdır.
- **Okuyucu anteni:** Etiket aktivasyonu için radyo frekansı yayar; tasarımı sistemin etkinliği için önemlidir.
- **Etiket:** Ürünü tanımlayan verileri içerir ve okuyucu ile iletişim kurar.

Akıllı ambalajlarla ilgili yapılmış çalışmalar şu şekildedir;

Alamdari vd. (2021) de yaptıkları bir çalışmada; gıda israfını önlemek için ürünün bozulduğuna dair bilgi veren dedektör geliştirmişlerdir. Dedektörü üretmek için kağıt üzerine soya fasulyesi kabukları (asidik ortamda hidrotermal olarak muamele edilmiş), bentonit ve bromokresol moru karışımı ile kaplanmıştır. Elde edilen bu et bozulma dedektörü, yayın balığı filetosunda (*Ictalurus punctatus*) gerçek zamanlı tazelik ve bozulma göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Balık etinin tazeliği ve bozulması gibi

kriterlerde dedektörün pH 'sı kullanılmıştır. Sonuç olarak, geliştirilen dedektörlerin, dedektörün pH'ını ayarlayarak çeşitli örneklerde ve ambalaj boyutları için uyarlanabileceğini göstermiştir.

Dudnyk vd. (2018), gıdanın tazeliğini renk değişimiyle gösterebilen bir sensör film geliştirmiştir. Bu sensör, özellikle amin bileşiklerine karşı yüksek hassasiyet göstermiş ve gıda örneklerinde kullanılan standart bozulma belirteçleriyle uyumlu sonuçlar vermiştir. Amonyak, kadaverin ve piridin gibi çeşitli sentetik aminlere maruz bırakıldığında, sensör filmlerinin UV-VIS absorpsiyon spektrumlarında belirgin değişiklikler gözlemlenmiştir. Sığır eti, tavuk, karides ve mezgıt gibi ürünlerde ise bozulma ilerledikçe, sensör filmlerinde açık renk değişimleri meydana gelmiştir.

Pacquit vd. (2007) tarafından yapılan bir çalışmaya göre; paketlenmiş balığın kafa boşluğundaki mikrobiyal parçalanma ürünlerinin takip edilebileceği bir akıllı paketlenme geliştirilmiştir. Balık bozulduğunda, uygun pH'da sensörlerle tespit edilebilen çeşitli bazik uçucu aminler salgılamaktadır. Bunlar, toplam uçucu bazik azot (TVB-N) yardımıyla gözle görülen renk değişimine neden olduğu belirtilmiştir. pH'a duyarlı bir boyanın bir polimer matris içine hapsedilmesiyle hazırlanmıştır. Taze balık filetoları üzerinde yapılan laboratuvar denemelerinde; paket üst boşluğundaki amin konsantrasyonundaki artış sensör üzerinden gözlenmiştir. Sensör formülasyonunun gıda ambalajında uygunluğunu değerlendirmek için boyanın süzülmesi zaman içinde izlenmiştir.

Semano vd. (2018) de yaptıkları bir çalışmada; Tilapianın (*Oreochromis niloticus*) bozulma süresini elektronik bir burun yardımıyla gözlemlemişlerdir. Bu optik sensör, bakteri artışının zaman içinde takip etmiş ve tilapianın tazeliğini belirlemede uygun olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca maliyetinin düşük olması ve sistemin çalışma potansiyeli bakımından da önerilmiştir.

Jang vd.(2018), dondurulmuş balık ürünlerinin çözülüp çözülmediğini belirleyebilen bir zaman-sıcaklık göstergesi geliştirmişlerdir. Sıcaklık arttıkça zamanla artan kırmızı bölgenin uzunluğu ile renk maviden kırmızıya dönüşmüştür. Bu nedenle, üretilen bu sıcaklık-zaman indikörünün; donmuş balık ve balık ürünlerinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Akıllı paketlenme sistemleri gıdanın iyileştirilmesine katkıda bulunan paketlenmiş gıdaların güvenliğini ve raf ömrünü uzatan paketlenme

yöntemidir. Ancak, su ürünleri alanında halen gelişen teknolojilerdir ve bu sistemlerin çoğu geliştirme aşamasındadır (Mohan ve Ravishankar, 2019).

Aktif Paketleme

Aktif ambalajlama, ambalajlanmış gıdaların kalitesini korurken, raf ömrünü uzatan güvenliğini sağlayan ve duyuusal niteliklerini geliştiren bir sistemdir (Ahvenainen, 2003). Bu sistem kalite özelliklerinin korunması için farklı çözümlere imkan tanır. Örneğin, bir gıda ürününün oksidasyonunun yavaşlatılması gerekiyorsa, ambalajda bir oksijen tutucu veya antioksidan içeren aktif bir sistem kullanılmalıdır. Ayrıca, eğer gıdanın bozulmasına nem veya yoğunlaşma neden oluyorsa, ambalaj sistemine nem tutucu materyaller eklenerek bu durum önlenabilir (Pereira vd., 2012). Aktif ambalajlamada sıkça kullanılan sistemler şunlardır (Baysal ve İçier, 2012) :

1. Oksijen tutucu/emici sistemler
2. Etilen tutucu /emici sistemler
3. Nem tutucu/düzenleyici sistemler
4. Karbondioksit salıcı/tutucu sistemler
5. Antioksidan salıcı sistemler
6. Antimikrobiyel ambalajlama

Oksijen Tutucu/Emici Sistemler

Gıda ambalajı içerisindeki yüksek oksijen seviyeleri; mikrobiyal boğalma, istenmeyen tat ve koku oluşumu, renk değişimleri ve besin değerinde kayıplara yol açabilmektedir. Bu olumsuzlukları önlemek amacıyla kullanılan oksijen tutucu/emici sistemler, ürün kalitesini koruyarak raf ömrünü uzatmada etkili bir yöntem sunmaktadır (Özdemir ve Floros, 2010). Oksijen tutucu olarak; demir tozu, askorbik asit, ışığa duyarlı boya, enzimler ve doymamış yağ asitleri (oleik asit, linolenik asit) kullanılır. Gıda uygulamalarında bazı örnekler şöyledir; ekmek, kek, pişmiş pirinç, bisküvi, pizza, makarna, peynir, salam ve balık, kahve, aperatif yiyecekler, kurutulmuş gıdalar ve içkiler (Baysal ve İçier, 2012).

Etilen Tutucu /Emici Sistemler

Etilen, meyve ve sebzelerin solunum hızını artırarak olgunlaşmayı hızlandıran, böylece raf ömrünü kısaltan büyümeyi simüle eden bir hormondur. Etilen ayrıca yapraklı sebze ve meyvelerde klorofil parçalanma

oranını da hızlandırır (Knee, 1990; Özdemir ve Floros, 2010). En çok kullanılan etilen tutucu potasyum permanganattır. Gıda uygulamalarında bazı örnekler şöyledir; meyve, sebze ve diğer bahçecilik ürünleri (Baysal ve İçier 2012).

Nem Tutucu/Düzenleyici Sistemler

Gıda paketlerindeki aşırı nemin kontrolü, mikrobiyal artışı bastırmak ve sisli film oluşumunu önlemek için önemlidir. Su buharına karşı yüksek bariyeri olan bir ambalajda nem kontrolü için; silika jel, moleküler elekler, doğal killer (örn., Montmorillonit), kalsiyum oksit, kalsiyum klorür ve modifiye edilmiş gibi bir nem tutucu kullanılmaktadır (Özdemir ve Floros, 2010). Nem miktarının kontrol edilmesindeki temel neden su aktivitesini düşürerek ortamda bozulmaya neden olabilecek küf, maya ve bakteri oluşumunu engellemektir. Yaygın nem tutucu maddeler; silika, zeolit, aktif karbon, tuzlar (NaCl, KCl, CaCl₂). Gıda uygulamalarında bazı örnekler şöyledir; balık, et, kümes hayvanları, aperatif yiyecekler, hububat, kurutulmuş gıdalar, sandviç, meyve ve sebzeler (Baysal ve İçier, 2012 ; Dobrucka, 2013).

Karbondioksit Salıcı/Tutucu sistemler

Gıda ambalajı için kullanılan birçok plastik filmde, karbondioksit oksijenden daha geçirgen olduğundan, ambalajın içindeki karbondioksitin çoğu genellikle filmin içinden geçmektedir. Paketin karbondioksit geçirgenliğinin yüksek olduğu durumlarda, solunum hızını azaltmak ve mikrobiyal artışı bastırmak için bir karbondioksit yayan sistem gereklidir (Özdemir ve Floros, 2010). Karbondioksit tutucu olarak; demir oksit, kalsiyum hidroksit, demir karbonat, metal halide kalsiyum oksit, aktif kömür askorbat, sodyum bikarbonat kullanılır. Gıda uygulamalarına bazı örnekler şöyledir; kahve, taze et ve balık, fındık ve diğer aperatif gıda ürünleri ve sünger kek (Baysal ve İçier, 2012; Dobrucka,2013).

Antioksidan Salıcı Sistemler

Antioksidan maddeler, oksijene duyarlı gıdalarda, oksidasyon stabilitesini artırmak, gıdayı oksidatif bozulmalara karşı korumak, raf ömrünü uzatmak amacıyla kullanılır. En çok kullanılanlar: Organik asitler, gümüş zeolit baharat ve bitki özleri, BHA/BHT antioksidanlar, E vitamini antioksidan uçucu klor dioksit/ kükürt dioksit

Gıda uygulamalarında bazı örnekler şöyledir; tahıllar, et, balık, ekmek, peynir, aperatif yiyecekler, meyve ve sebze (Baysal ve İçier, 2012).

Antimikrobiyel Ambalajlama

Antimikrobiyal ambalajlama, özellikle et ürünleri için umut vadeden bir aktif gıda ambalajlama yöntemidir. Bu tür gıdalarda mikrobiyal kontaminasyon genellikle yüzeyde başladığından, ürün işlendikten sonra uygulanan antibakteriyel spreylere veya daldırma yöntemleriyle bozulma geciktirilmekte ve gıda güvenliği artırılmaktadır (Quintavalla ve Vicini, 2002). Uygulanan bazı antimikrobiyel ambalajlama yöntemleri; uçucu antimikrobiyel maddeleri içeren torba veya keselerin ambalaj içine yerleştirilmesi, uçucu ve uçucu olmayan antimikrobiyellerin polimer içine işlem sırasında eklenmesi, antimikrobiyellerin polimer yüzeyine kaplanması veya adsorbe edilmesi, antimikrobiyellerin polimere iyon veya kovalent bağlarla bağlanması, doğal olarak antimikrobiyel özellik gösteren polimerlerin kullanılması şeklinde verilebilir (Baysal ve İçier, 2012).

López-de-Dicastillo vd. (2012), aktif antioksidan gıda ambalaj filmlerinin salamura sardalyada lipid üzerine etkisini incelemişlerdir. Aktif antioksidan olarak; askorbik asit, ferulik asit, kuersetin ve yeşil çay ekstraktının bir etilen vinil alkol kopolimer (EVOH) matrisine dahil edilmesiyle üretilmiştir. Sonuç olarak yeşil çay özü içeren filmler, lipid oksidasyonuna karşı en iyi korumayı sağlamıştır.

Woraprayote vd.(2018), pangasius (*Pangasius hypophthalmus*) filetolarındaki patojenlerin kontrolü için antimikrobiyal biyolojik olarak parçalanabilen bir gıda ambalajı geliştirmeyi amaçlamışlardır. Antimikrobiyel olarak *Weissella hellenica* BCC 7293 dan üretilen Bakteriyosin 7293 ve biyokompozit olarak ise poli laktit asit/talaş partikülleri (PLA/SP) kullanılmıştır. Sonuç olarak PLA/SP + Bakteriyosin 7293 kullanımının pangasius filetolarında antimikrobiyel etkisinin yüksek olduğu gözlenmiştir.

Monteiro vd. (2020), tilapia (*Oreochromis niloticus*) filetolarını oksijen tutucu bir paket ve UV-C radyasyonu birlikte kombine kullanılarak paketlenmiş ve $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de 23 gün süreyle muhafaza etmişlerdir. Radyasyon farklı iki dozda (0.102 ve 0.301 J/cm²) ve kontrol olarak tek başına uygulanmıştır. Sonuç olarak kombine şekilde kullanılan koruma yöntemleri,

tilapia filetolarının raf ömrünü uzatmış ve fizikokimyasal kaliteyi de olumlu yönde etkilediği belirtilmiştir.

Su Ürünlerinde Etiketleme ve Önemi

Etiketin Türk Gıda Kodeksindeki tanımı şöyledir: Etiket, gıda ambalajı veya kabı üzerine yazılmış, basılmış, kabartma ya da soğuk baskı yöntemiyle işlenmiş, yapıştırılmış ya da iliştilirilmiş her türlü işaret, marka, damga, resim veya tanımlayıcı unsurları kapsar. Etiketleme ise, gıdayla birlikte sunulan veya onu tanıtan ambalaj, paket, doküman, bildirim ve etiket gibi materyaller üzerinde yer alan; gıdaya ilişkin yazılar, bilgiler, ticari markalar, marka adları, resimler veya diğer işaretlerin tamamını ifade eder (TGK, 2017).

Etikette gıda hakkında zorunlu bilgilendirmenin içeriğinde ise şunlar yer almaktadır : gıdanın adı, bileşenler listesi, alerjiye veya intoleransa neden olan belirli madde veya ürünler (balık ve balık ürünlerinde allerjen uyarısı olarak; balık jelatini ve Isinglass (balık tutkalı) yer almaktadır), belirli bileşenlerin veya bileşen gruplarının miktarı, gıdanın net miktarı, tavsiye edilen tüketim tarihi veya son tüketim tarihi, özel muhafaza ve/veya kullanım koşullar, gıda işletmecisinin adı veya ticari unvanı ve adresi, işletme kayıt numarası veya tanımlama işareti, menşe ülke, gıdanın uygun şekilde tüketimi mümkün değilse, gıdanın kullanım talimatı ve beslenme bildirimi yer almalıdır (TGK, 2017).

Ülkemizde işlenmiş su ürünlerinde etiket bilgisi yanında ürünün izlenebilirliği konusunda önemli bazı ihtiyaçlar karşılanırken, taze olarak satışa sunulan su ürünleri ambalajlarında bazı eksikleriyle izlenebilirlikle ilgili bilgileri görmek mümkündür (Yılmaz ve Yılmaz, 2017). İzlenebilirliğin sağlanması için geliştirilen bazı sistemler; ürün tanımlama, etiketleme (barkod ve RFID), EAN-UCC (EAN International-Uniform Code Council) sistemi ve DNA barkodlamadır (Oral, 2009). EAN.UCC numaraları EAN-13, EAN-8 gibi barkod sembolojileriyle gösterilir. Tektir, uluslararasıdır ve güvenlidir (TOBB, 2004). Barkod; farklı kalınlıktaki dik çizgi ve boşluklardan oluşan, verinin hatasız bir şekilde başka bir ortama aktarılmasını sağlar (Yam vd., 2005). Ambalajın üzerindeki çizgi kod, optik okuyucu yardımıyla okunabilen bir şifre olarak tanımlanabilir. Dünya genelinde iki barkod sistemi kullanılmaktadır. Bunlar; EAN (European Article Number) ve UPC

(Universal Product Code) olarak isimlendirilir (Öksüztepe ve Beyazgül, 2015).

Hu vd. (2018) tarafından yapılan bir çalışmaya göre, Kanada'nın bir bölgesinde su ürünlerinin takibi için yapılan etiketleme sisteminde DNA barkodlama ve mini DNA barkod yöntemleri kullanılmıştır. Sonuç olarak, su ürünlerinde etiketin yapılan bilimsel isimlendirmenin doğru şekilde yapılması, yetiştirme yöntemleri hakkında bilgi içerene sistemde karışıklığın önlenmesi için gerekli olduğu vurgulanmıştır. Su ürünlerinin işleme geçmişi ve kullanılan balıkçılık/çiftçilik yöntemleri, balık ürünlerinin tekneden sofraya etkili bir şekilde izlenmesini sağlamıştır.

Shokralla vd. (2015) de mini-DNA barkodlama sistemiyle işlenmiş balık ürünlerinde kimlik tespiti yapmışlardır. Mini barkodlama sisteminin, birden fazla türün tanımlanmasında yeni yollar sağlayacağı sonucuna varmışlardır.

Peterson vd.(2021) de yaptıkları bir çalışmada, ticari olarak satılan dondurulmuş balık filetolarının menşei ülke etiketlemesi ve tür doğrulaması hakkında çalışmışlardır. Bu çalışmanın sonuçları, önceden paketlenmiş dondurulmuş balık filetolarında yüksek oranda menşe ülke uyumluluğunu ve yanlış etiketlemenin azaldığını göstermiştir.

SONUÇ

Dünyada balık tüketimi her geçen gün artmaktadır (FAO, 2020). Bu artışla birlikte, su ürünlerinin ambalajlanarak korunması ve tüketiciye sağlıklı, taze şekilde ulaştırılması büyük önem taşımaktadır.

Günümüzde artan talep ve hızlı yaşam koşulları, ambalaj kullanımını vazgeçilmez hale getirmiştir. Gıda ürünleri geniş bir çeşitliliğe sahip olup, ambalaj bu ürünleri tamamlayıcı bir unsur olarak değerlendirilmektedir (Yaris ve Sezgin, 2020). Bu çeşitlilik, ambalaj sektörünü daha yenilikçi tasarımlar geliştirmeye, koruyuculuğu yüksek sistemler kullanmaya ve maliyeti azaltan malzemelere yönlendirmiştir.

Su ürünleri, yüksek besin değerine sahip olmasına rağmen çabuk bozulabilen ürünlerdir. Bu nedenle, ürünün özelliklerine uygun ambalaj ve ambalajlama yönteminin seçilmesi, kalite özelliklerinin korunması açısından kritik öneme sahiptir. Avcılık ya da hasat sonrası, ürünlerin tüketiciye ulaşana

kadar kalite kaybı yaşamadan, sağlıklı ve güvenli biçimde korunması, uygun ambalajlama ile mümkündür.

Son yıllarda teknolojiye gelişmelerle birlikte, özellikle akıllı ve aktif ambalajlama sistemleri, su ürünleri için henüz yeni kabul edilen teknolojiler arasında yer almakta ve halen geliştirilme aşamasındadır (Mohan ve Ravishankar, 2019). Ambalaj türleri ve ambalajlama yöntemleri ise teknolojik ilerlemeler ve tüketici beklentileri doğrultusunda sürekli olarak değişim göstermektedir.

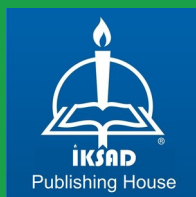
KAYNAKÇA

- Akkemik, Y., & Güner, A. (2020). Gıda Ambalaj Sistemlerinde Yeni Yaklaşımlar: Akıllı Ambalaj Sistemleri. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 13(1), 9-22.
- Alamdari, N. E., Aksoy, B., Aksoy, M., Beck, B. H., & Jiang, Z. (2021). A novel paper-based and pH-sensitive intelligent detector in meat and seafood packaging. *Talanta*, 224, 121913. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.121913>
- Baysal ve İçier., (2012). Gıda Mühendisliğinde Isıl olmayan işlemler. Kitap
- Beyter, N., (2020). Deniz Ürünlerinin Sağlık Açısından Önemi Ve Gastronomideki Yeri. Antalya Bilim Üniversitesi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi, 1(2), 47-61.
- Dobrucka, R. (2013). The future of active and intelligent packaging industry. *Logforum*, 9(2).
- Dudnyk, I., Janeček, E. R., Vaucher-Joset, J., & Stellacci, F. (2018). Edible sensors for meat and seafood freshness. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 259, 1108-1112. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.12.057>
- FAO, 2020. FishStat Plus-Universal software for fishery statistical time
- Ozdemir, M., & Floros, J. D. (2004). Active food packaging technologies. *Critical reviews in food science and nutrition*, 44(3), 185-193. <https://doi.org/10.1080/10408690490441578>
- Gokoglu, N. (2020). Innovations in seafood packaging technologies: A review. *Food Reviews International*, 36(4), 340-366.
- Gök V., (2007). Gıda Paketleme Sanayinde Akıllı Paketleme Teknolojisi.
- Gök, V., Batu, A., & Telli, R. (2006). Akıllı paketleme teknolojisi, Türkiye 9. Gıda Kongresi, 24-26 Mayıs, Bolu.
- Gökoğlu, N. (2019). Innovations in seafood packaging technologies: a review. *Food Reviews International*, 36(4), 340-366. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1649689>
- Gülyavuz, H., & Ünlüsayın, M. (1999). Su ürünleri işleme teknolojisi. Şahin Matbaa, Isparta.
- Han, J. H. (2003). Antimicrobial food packaging. *Novel food packaging techniques*, 8, 50-70.

- Hu, Y., Huang, S. Y., Hanner, R., Levin, J., & Lu, X. (2018). Study of fish products in Metro Vancouver using DNA barcoding methods reveals fraudulent labeling. *Food Control*, 94, 38-47. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.06.023>
- Jang, M. K., Hong, C. W., Choi, J. H., Kim, K. B. W. R., Choi, J. W., Nam, T. J., & Ahn, D. H. (2018). A time-temperature indicator for a vision based-detection system for managing the storage temperature of frozen fish products. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 51(1), 91-94. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2018.0091>
- Kerry, J. P., O'grady, M. N., & Hogan, S. A. (2006). Past, current and potential utilisation of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review. *Meat science*, 74(1), 113-130. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.04.024>
- Knee, M. (1990). Ethylene effects in controlled atmosphere storage of horticultural crops. In: *Food Preservation by Modified Atmospheres*, pp. 225-235. Eds., Calderon M. and Barkai-Golan, R. CRC Press, Boca Raton.
- Kour H., Naseer A. T., Anisa M., Rajkumari K., Harmeet C., Gupta P., Anju B. and Jagmohan S. (2013). Advances in food packaging – a review. *Stewart Postharvest Review*, 4(7):1-7. <https://doi.org/10.2212/spr.2013.4.1>
- López-de-Dicastillo, C., Gómez-Estaca, J., Catalá, R., Gavara, R., & Hernández-Muñoz, P. (2012). Active antioxidant packaging films: Development and effect on lipid stability of brined sardines. *Food Chemistry*, 131(4), 1376-1384. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.002>
- Lopez-Rubio, A., Almenar, E., Hernandez-Muñoz, P., Lagarón, J. M., Catalá, R., & Gavara, R. (2004). Overview of active polymer-based packaging technologies for food applications. *Food Reviews International*, 20(4), 357-387.
- Mohan, C. O., & Ravishankar, C. N. (2019). Active and intelligent packaging systems-application in seafood.
- Monteiro, M. L. G., Mársico, E. T., da Silva Mutz, Y., Castro, V. S., Moreira, R. V. D. B. P., da Silveira Álvares, T., & Conte-Junior, C. A. (2020). Combined effect of oxygen-scavenger packaging and UV-C radiation

- on shelf life of refrigerated tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets. Scientific reports, 10(1), 1-12. <https://doi.org/10.3390/foods11142144>
- Öksüztepe, Gülsüm & Beyazgül, P. (2015). Akıllı ambalajlama sistemleri ve gıda güvenliği. Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Veteriner Dergisi, 29(1), 67-74.
- Pagev, (2017). Türkiye ambalaj sektörü izleme raporu 2017. www.pagev.com
- Papkovsky, D. B., Ovchinnikov, A. N., Ogurtsov, V. I., Ponomarev, G. V., & Korpela, T. (1998). Biosensors on the basis of luminescent oxygen sensor: the use of microporous light-scattering support materials. Sensors and Actuators B: Chemical, 51(1-3), 137-145. [https://doi.org/10.1016/S0925-4005\(98\)00171-3](https://doi.org/10.1016/S0925-4005(98)00171-3)
- Pereira de Abreu, D. A., Cruz, J. M., & Paseiro Losada, P. (2012). Active and intelligent packaging for the food industry. Food Reviews International, 28(2), 146-187. <https://doi.org/10.1080/87559129.2011.595022>
- Peterson, A. M., McBride, G. E., Jhita, S. K., & Hellberg, R. S. (2021). An investigation into country of origin labeling, species authentication and short weighting of commercially sold frozen fish fillets. *Heliyon*, 7(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06713>
- Prasad P. and Kochhar A. (2014). Active Packaging in food industry-a review. Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology.
- Quintavalla, S., & Vicini, L. (2002). Antimicrobial food packaging in meat industry. Meat science, 62(3), 373-380.
- Shokralla, S., Hellberg, R. S., Handy, S. M., King, I., & Hajibabaei, M. (2015). A DNA mini-barcoding system for authentication of processed fish products. Scientific reports, 5(1), 15894. <https://doi.org/10.1038/srep15894>
- Speranza, B., Corbo, M. R., Conte, A., Sinigaglia, M., & Del Nobile, M. A. (2009). Microbiological and sensorial quality assessment of ready-to-cook seafood products packaged under modified atmosphere. Journal of food science, 74(9), M473-M478. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01369.x>
- TGK, (2017). Türk Gıda Kodeksi Gıda Etiketleme Ve Tüketicileri Bilgilendirme Yönetmeliği. 26 Ocak 2017 Perşembe. Resmî Gazete. Sayı : 29960 (Mükerrer)

- TGK, (2018). Türk Gıda Kodeksi Gıda İle Temas Eden Madde ve Malzemelere Dair Yönetmelik. 5 Nisan 2018 Perşembe. Resmî Gazete Sayı : 30382
- TGK, (2020). Türk Gıda Kodeksi Gıda Etiketleme Ve Tüketicileri Bilgilendirme Yönetmeliği Hakkında Kılavuz. 8.5.2020 / Gösterim Sayısı : 142254
- Üçüncü, M. (2007). Gıda ambalajlama teknolojisi. Yy.
- Velusamy, V., Arshak, K., Korostynska, O., Oliwa, K., & Adley, C. (2010). An overview of foodborne pathogen detection: In the perspective of biosensors. *Biotechnology advances*, 28(2), 232-254. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.12.004>
- Woraprayote, W., Pumpuang, L., Tosukhowong, A., Zendo, T., Sonomoto, K., Benjakul, S., & Visessanguan, W. (2018). Antimicrobial biodegradable food packaging impregnated with Bacteriocin 7293 for control of pathogenic bacteria in pangasius fish fillets. *LWT*, 89, 427-433. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.10.026>
- Wu, J., Liu, H., Ge, S., Wang, S., Qin, Z., Chen, L., & Zhang, Q. (2015). The preparation, characterization, antimicrobial stability and in vitro release evaluation of fish gelatin films incorporated with cinnamon essential oil nanoliposomes. *Food Hydrocolloids*, 43, 427-435. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.06.017>
- Yam, K. L., Takhistov, P. T., & Miltz, J. (2005). Intelligent packaging: concepts and applications. *Journal of food science*, 70(1), R1-R10. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb09052.x>
- Yaris, A., & Sezgin, A. (2017). Food packaging: glass and plastic. *Researches on science and art in 21st century Turkey*, 8, 735-740.
- Yezza, I.A., 2008. Active/Intelligent Packaging: Concept, Applications and Innovations. Technical Symposium, New Packaging Technologies to Improve and Maintain Food Safety, September 18-19, Toronto.
- Yılmaz, S., & Yılmaz, İ., (2017). Su Ürünlerinde İzlenebilirliğin Pazarlamadaki Önemi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6, 233-242. <https://doi.org/10.17100/nevbiltek.334540>



ISBN: 978-625-378-275-7