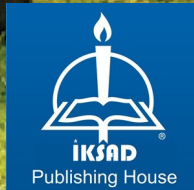


ELMA YETİŞTİRİCİLİĞİ

EDİTÖRLER

Doç. Dr. Hakan KELES
Doç. Dr. Müjgan GÜNEY



ELMA YETİŞTİRİCİLİĞİ

EDİTÖRLER

Doç. Dr. Hakan KELES

Doç. Dr. Müjgan GÜNEY

YAZARLAR

Prof. Dr. Aysen KOÇ

Prof. Dr. Yaşar ERTÜRK

Doç. Dr. Emre EVLİCE

Doç. Dr. Hakan KELES

Doç. Dr. Muhammet Ali GÜNDEŞLİ

Doç. Dr. Murat GÜNEY

Doç. Dr. Mustafa ALKAN

Doç. Dr. Müjgan GÜNEY

Doç. Dr. Servet ARAS

Doç. Dr. Şenay KARABIYIK

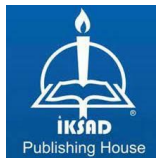
Dr. Öğr. Üyesi Elmira ZİYAMOTALEBİPOUR

Dr. Öğr. Üyesi Şeyda ŞİMŞEK

Dr. Adil Koray YILDIZ

Dr. Selcan ÖZYALIN

Dr. Sevim ATMACA



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: 978-625-378-532-1
Cover Design: İbrahim KAYA
December / 2025
Ankara / Türkiye
Size: 16x24cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	1
-------------------	----------

BÖLÜM I

ELMANIN KÜLTÜR TARİHİ VE ÜRETİM MİKTARLARI

Prof. Dr. Aysen KOÇ.....	3
--------------------------	---

BÖLÜM II

ELMANIN BİYOKİMYASAL İÇERİĞİ VE İNSAN DİYETİNDEKİ YERİ

Doç. Dr. Müjgan GÜNEY	
Dr. Öğr. Üyesi Elmira ZİYAMOTALEBİPOUR	
Doç. Dr. Muhammet Ali GÜNDEŞLİ	19

BÖLÜM III

ELMANIN DÖLLENME BİYOLOJİSİ

Doç. Dr. Şenay KARABIYIK.....	47
-------------------------------	----

BÖLÜM IV

ELMANIN ISLAH ÇALIŞMALARI VE GÜNCEL ÇEŞİTLER

Doç. Dr. Murat GÜNEY	
Doç. Dr. Hakan KELES.	63

BÖLÜM V

ELMA YETİŞTİRİCİLİĞİNDE KULLANILAN ANAÇLAR

Doç. Dr. Hakan KELES	
Doç. Dr. Murat GÜNEY	81

BÖLÜM VI

ELMADA SULAMA, B İTKİ BESLEME VE GÜBRELEME

Prof. Dr. Yaşar ERTÜRK	95
------------------------------	----

BÖLÜM VII

ELMA YETİŞTİRİCİLİĞİNDE ABİYOTİK STRESLER

Doç. Dr. Servet ARAS
Öğr. Gör. Selcan ÖZYALIN 141

BÖLÜM VIII

ELMA ZARARLILARI VE MÜCADELESİ

Dr. Öğr. Üyesi Şeyda ŞİMŞEK
Doç. Dr. Mustafa ALKAN
Doç. Dr. Emre EVLİCE.....155

BÖLÜM IX

ELMA YETİŞTİRİCİLİĞİNDE HASTALIKLAR

Arş. Gör. Dr. Sevim ATMACA.....181

BÖLÜM X

ELMANIN HASADI VE DEPOLANMASI

Öğr. Gör. Selcan ÖZYALIN.....219

BÖLÜM XI

ELMA YETİŞTİRİCİLİĞİNDE TEKNOLOJİK YAKLAŞIMLAR

Dr. Adil Koray YILDIZ.....237

ÖNSÖZ

Elma (*Malus domestica* Borkh.), tarih boyunca farklı medeniyetlerin tarımsal ve kültürel yaşamında önemli bir yer edinmiş, günümüzde ise dünya meyve üretimi ve ticaretinde başat türlerden biri hâline gelmiştir. Geniş ekolojik adaptasyon yeteneği, çeşit zenginliği ve uzun süre muhafaza edilebilme özelliği sayesinde elma, hem üretici hem de tüketici açısından sürekliliği olan stratejik bir tarım ürünü olarak öne çıkmaktadır. Küresel ölçekte artan nüfus ve değişen tüketim alışkanlıkları, elma yetiştiriciliğinin bilimsel temellere dayalı ve sürdürülebilir yaklaşımlar çerçevesinde ele alınmasını gerekli kılmaktadır.

Elinizdeki eser, elma yetiştiriciliğini bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirmeyi amaçlayan, güncel bilimsel bilgi ve uygulamaları bir araya getiren bir başvuru kaynağı olarak hazırlanmıştır. Kitap, yalnızca üretim odaklı bir yaklaşım sunmakla sınırlı kalmayıp; doğal kaynakların etkin kullanımı, çevresel duyarlılık ve uzun vadeli üretim sistemlerinin geliştirilmesine yönelik temel ilkeleri de dikkate almaktadır. Günümüz tarımında karşılaşılan iklimsel belirsizlikler ve çevresel baskılar, elmacılığın daha planlı ve bilimsel yöntemlerle ele alınmasını zorunlu hâle getirmiştir.

Bu kapsamda eser, elma yetiştiriciliğini tarihsel gelişiminden başlayarak modern üretim anlayışına kadar uzanan bir çerçevede ele almakta; anaç ve çeşit kullanımı, yetiştirme teknikleri, besleme ve sulama uygulamaları, hasat ve hasat sonrası süreçler gibi temel konuları bilimsel bir perspektifle değerlendirmektedir. Ayrıca güncel teknolojik gelişmeler ve araştırma bulgularının üretim sistemlerine yansıtılmasına yönelik yaklaşımlar, okuyucuya yol gösterici nitelikte sunulmaktadır.

Kitap, başta üniversitelerin ilgili bölümlerinde öğretim gören öğrenciler olmak üzere, araştırmacılar, teknik elemanlar ve elma yetiştiriciliği ile ilgilenen uygulayıcılar için güvenilir bir kaynak olmayı hedeflemektedir. Anlaşılır bir anlatım dili benimsenmiş olmakla birlikte, bilimsel doğruluk ve akademik yaklaşım temel ilke olarak korunmuştur. Bu yönüyle eser, elma yetiştiriciliğine ilişkin bilgi birikiminin yaygınlaştırılmasına ve uygulamaya aktarılmasına katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Bu kitabın ortaya çıkmasında emeği geçen, bilimsel katkılarıyla alana değer katan tüm bölüm yazarlarına teşekkür ederiz. Eserin, elma yetiştiriciliği

alanında yapılacak çalışmalara yol gösterici olması ve sürdürülebilir tarımsal üretime katkı sunması temennisiyle.

Aralık 2025

Editörler

Doç. Dr. Hakan KELES

Doç. Dr. Müjgan GÜNEY

BÖLÜM I

ELMANIN KÜLTÜR TARİHİ VE ÜRETİM MİKTARLARI

¹Prof. Dr. Aysen KOÇ

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18107298>

¹ Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Yozgat, Türkiye. aysen.koc@bozok.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-9766-721X

GİRİŞ

Elma (*Malus domestica* [Suckow] Borkh.), günümüzde dünyanın ekonomik ve kültürel açıdan en önemli meyvelerinden biri olup, tüm ılıman bölgelerde yetiştirilmektedir.

Kültüre alınan elma türler arası melezlemenin bir sonucudur ve *Malus × domestica* Borkh. ya da daha önceki yaygın isim olan *Malus pumila*'nın (Kobran ve Skirvin, 1984) yerine uygun bilimsel isim olarak kabul edilmektedir. Elmanın anavatanı Batı Çin ile eski Sovyetler Birliği sınırındaki Tien Shan dağlarında, Hazar Denizi kıyısına kadar uzanan yabancı bir tür olan *Malus sieversii* Lebed. olarak kabul edilmektedir (Morgan ve Richards, 1993; Way ve ark., 1990; Juniper ve ark., 1999). Vavilov'a (1926, 1930) göre, "Bir ürün türünün çeşitliliğinin merkezi, kökeninin bulunduğu yerdir". Zohary (1970), Vavilov'un versiyonunu, "kültür bitkisinin bir türünün köken yeri, o ürünün en büyük genetik çeşitliliğini barındıran bölgede bulunur" diyerek daha da basitleştirmiştir. Orta Asya'ya (Kazakistan, Kırgızistan, Özbekistan, Türkmenistan ve Tacikistan) yapılan çeşitli toplama gezileri, moleküler ve moleküler olmayan kanıtlara dayanan çalışmalar, evcilleştirilmiş elmanın çeşitli form, renk ve tatlara sahip *Malus sieversii*'n olduğunu doğrulamıştır (Way ve ark., 1990; Forsline ve ark., 1994, Forsline, 1995; Harris ve ark., 2002).

Dünyanın önemli meyve ürünlerinden biri olmasına rağmen, elmanın kültüre alınma zamanı ve yeri hakkında çok az bilgi bulunmaktadır (Zohary ve Hopf, 1994). Robinson ve arkadaşları (2001), *Malus × domestica*'nın Orta Asya'da, muhtemelen Almatı yakınlarında evcilleştirildiğini ve batıya doğru Avrupa'ya yayıldığını öne sürmüşlerdir. Haris ve arkadaşlarına (2002) göre, Geç Neolitik veya Erken Tunç Çağı'nda, Büyük İpek Yolu üzerindeki gezginler, Orta Asya yabancı elmasının tohumlarını batıya taşımışlardır. Elma yetiştiriciliği Yunanlılar ve Romalılar tarafından uygulanmış ve onların seyahatleri ve istilaları sonucunda tüm Avrupa ve Asya'ya yayılmıştır.

Ponomarenko (1980), elmaların insanlar tarafından dağıtılmasıyla birlikte, yeni tür içi ve türler arası melez popülasyonların geliştiği ikincil çeşitlilik merkezlerinin ortaya çıktığını belirtmiştir. Bu merkezler Doğu Avrupa (SSCB), Batı Avrupa (Birleşik Krallık, Fransa ve Almanya) ve daha yakın zamanda Kuzey Amerika'dır. Seçilmiş çeşitler muhtemelen rastgele melezlemelerden türemiş ve özellikle aşılama olmak üzere vejetatif çoğaltımla sürdürülmüştür. 20. yüzyıla gelindiğinde, çoğu tesadüfi olmak üzere 10.000'den fazla çeşit belgelenmiştir (Janick ve ark., 1996; Way ve ark., 1990). Ancak, dünya çapında ticari ölçekte yalnızca birkaç çeşit yetiştirilmektedir. Dünya çeşitlerinin çoğu, Breaburn, Delicious, Rome Beauty, Golden Delicious, Jonathan, McIntosh, Cox-Orange Pippin vb. gibi tesadüfi olarak elde edilenlerin yanı sıra Cortland, Empire, Fuji, Gala, Junagold ve Pink Lady gibi diğer bazı önemli çeşitler kontrollü ıslahın sonucunda elde edilmiştir (Janick ve ark., 1996).

Yabani Orta Asya türü *Malus sieversii* (Ldb.) M. Roem, meyve ve ağaç morfolojisi ile genetik verilerdeki benzerliklere dayanarak *Malus × domestica* gen havuzuna ana katkıda bulunan tür olarak tanımlanmıştır (Robinson vd., 2001; Haris vd., 2002; Coart vd., 2006; Velasco vd., 2010). Yabani elmaların tür içi önemli çeşitliliği nedeniyle, Orta Asya'daki Tanrı Dağları ormanları, elmanın ilk evcilleştirildiği coğrafi alan olarak belirlenmiştir (Vavilov, 1930; Dzhangaliev, 2003). Antik Neolitik Çağ'da (Tunç Çağı), tohum ve ağaç formundaki elma germplazmı, Orta Asya'dan Doğu'dan Çin'e ve Batı'dan Avrupa'ya, halk arasında "İpek Yolu" (Juniper vd., 1999) olarak bilinen Ticaret Kervan Yolları aracılığıyla yayılmış ve çeşitli ulaşım araçları, tercihen hayvanlar (deve, at vb.) kullanan gezginlerin yardımıyla yayılmıştır. Bunu, yol boyunca bulunan yakın akraba türler arasında melezlemeler izlemiş ve günümüzde yetiştirilen elmanın vejetatif yollarla seçilip çoğaltılabileceği çeşitli melez türlerin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Evcilleştirilmiş elmanın genetik yapısına muhtemelen katkıda bulunan bazı türler şunlardır: (i) Geç olgunlaşan ve acı meyvelere sahip bir Kafkas türü olan *Malus orientalis* Uglitz., ticaret

yolunun batı tarafında bulunur. (ii) Küçük, büzücü, yeşilimsi sarı meyveler taşıyan Avrupa yabani elması olan *Malus sylvestris* Mill., (iii) Küçük, dayanıklı meyvelere sahip ve Sibiry'a'ya özgü *Malus baccata* (L.) Borkh. (Wagner ve Weeden, 2000; Luby ve ark., 2001; Forsline ve ark., 2003).

Bu türlerin, *M. sieversii* gibi meyve kalitesine sahip olmasalar da, hastalık direnci, daha uzun süre saklanabilme, adaptasyon yeteneği vb. gibi diğer değerli özelliklere katkıda bulunmuştur. Ayrıca *Malus prunifolia*, *Malus asiatica* ve *Malus floribunda* türleri de genetik materyal sağlamıştır. Cornille ve arkadaşları (2012), Avrasya genelinde örneklenen kapsamlı bir elma örnekleri seti (Çin'den İspanya'ya 839 örnek) ve 26 mikrosatellit belirteci kullanarak, yabani türlerin *M. domestica* genomuna katkılarına dair kanıtları araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar, *M. sieversii*'nin *M. domestica*'nın ilk atası olduğunu doğrulamaktadır; ancak *M. sylvestris*, ikisi arasında yakın zamanda gerçekleşen introgresyon nedeniyle günümüz elmasına en yakın tür olarak bulunmuştur. Ayrıca, ters yöndeki gen akışını da tespit etmişlerdir (*M. domestica*'dan yabani türlere doğru *M. sylvestris*, *M. baccata*, *M. orientalis* ve *M. sieversii* gibi). Evcilleştirilmiş elma, binlerce yıl süren bir evrimin sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Bu süreçte, birden fazla yabani kaynaktan gen aktarımı gerçekleşmiş ve ardından aşılama yoluyla üstün bireylerin büyük ölçekli vejetatif çoğaltımı yoluyla yüksek düzeyde genetik çeşitliliğin sürdürülmesi sağlanmıştır (Cornille ve ark., 2012).

Sonuç olarak kültür elması ilk olarak Orta Asya'daki *M. sieversii*'den evcilleştirilmiş ve daha sonra İpek Yolu boyunca bulunan *M. sylvestris*, *M. baccata* ve *M. orientalis*'ten önemli bir genetik katkı almıştır. Ticari elma, türler arası ve tür içi melezlemenin sonucunda ortaya çıkmıştır. Aşılama yoluyla vejetatif çoğaltım, evcilleştirilmiş elmada genetik çeşitliliğin ve seçkin genotiplerin korunmasında önemli bir rol oynamıştır. Çeşitli yabani türlerin *M. domestica* gen havuzuna katkıları, hastalık direnci, kalite ve adaptasyon için

önemli genler içerebilen bu yabani genetik kaynakların korunması ihtiyacını ortaya koymaktadır (Wani vd., 2015).

Türkiye, Dünya elma üretim alanı bakımından dördüncü sırada olup sahip olduğu uygun ekolojik şartlar ve genetik kaynaklar sayesinde büyük bir potansiyele sahiptir. Tablo 1’de 2020-2023 yılları kıtalara göre elma üretim alanları verilmiştir (FAOSTAT, 2025a). Kıtaların 2023 yılı üretim alanları incelendiğinde Asya kıtası %69.7 ile en yüksek paya sahiptir. Üretim alanı bakımından Avrupa kıtası %19.5 payı ile ikinci, Amerika kıtası %6.4 ile üçüncü, Afrika kıtası %3.7 ile dördüncü ve Okyanusya %0.6 ile beşinci sıradadır (Tablo 1).

Tablo 1. 2020-2023 yılları kıtalar bazında elma üretim alanları (ha)

Kıtalar	2020		2021		2022		2023	
	(ha)	%	(ha)	%	(ha)	%	(ha)	%
Afrika	175798	3,8	174779	3,7	178678	3,8	172064	3,7
Amerika	300527	6,4	299517	6,4	295295	6,3	297179	6,4
Asya	3221983	68,8	3235843	69,0	3190467	68,6	3219324	69,7
Avrupa	958248	20,5	954756	20,3	959123	20,6	901926	19,5
Okyanusya	26318	0,6	27742	0,6	28754	0,6	27793	0,6
Dünya	4682875		4692637		4652317		4618285	

Ülkelerin elma üretim alanları incelendiğinde en büyük üretim alanına Çin’in sahip olduğu görülmektedir (Tablo 2). Türkiye, Hindistan ve Rusya’dan sonra elma üretim alanı (ha) bakımından 4. Sırada yer almaktadır.

Tablo 2. 2020-2023 yılları ülkeler bazında elma üretim alanları (ha)

Ülkeler	2020	2021	2022	2023
Çin	2000694	1975350	1955770	1996450
Hindistan	310000	313000	315000	304000
Rusya	211719	224953	235727	201388
Türkiye	170903	168811	170941	167437
Polonya	152600	161900	151900	150000
Amerika	119707	121205	122338	120233
Özbekistan	109849	111575	122459	120507
İran	100327	138087	97578	106345

Kıtaların ve ülkelerin 2020-2023 yılları arası elma retimi Tablo 3 ve Tablo 4’de verilmiştir (FAOSTAT, 2025a, 2025b). Kıtaların 2023 yılı üretim miktarları incelendiğinde Asya kıtası %67.3 ile en yüksek paya sahiptir. Avrupa kıtası üretim miktarı bakımından %18.8 payı ile ikinci, Amerika kıtası %10.1 ile nc, Afrika kıtası %3.8 ile dördüncü ve Okyanusya %0.9 ile beşinci sıradadır (Tablo 3). Kıtaların 2023 yılı verim değerleri incelendiğinde ise en yüksek verim değeri 3295.3 kg/da ile Amerika kıtası öne çıkmaktadır. Asya kıtası üretim miktarı bakımından birinci sırada olmasına rağmen verim olarak 2033.7 kg/da ile kıtalar arasında dördüncü sırada yer almaktadır.

Tablo 3. 2020-2023 yılları kıtaların elma üretimi ve verim değerleri

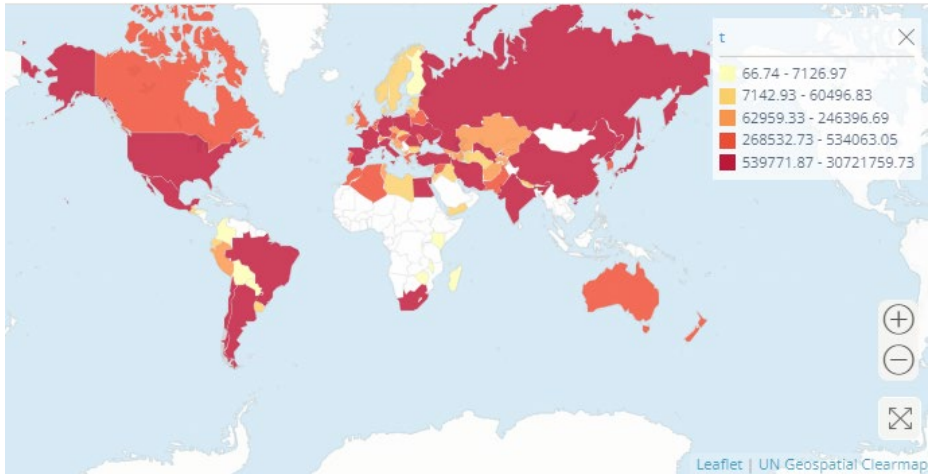
Kıtalar	retim miktarı (ton)				2023 Dünya retimindeki Payı (%)	2023 Verim (kg/da)
	2020	2021	2022	2023		
Afrika	3279685	3583761	3750740	3685713	3,8	2142,1
Amerika	9226088	9198279	8929892	9793006	10,1	3295,3
Asya	59463601	61789545	63551573	65469847	67,3	2033,7
Avrupa	17811617	18270220	18499384	17519472	18,0	1942,5
Okyanusya	829784	854537	879282	871301	0,9	3135,0
Dünya	90610775	93696342	95610870	97339339		2107,7

Ülkelerin 2020-2023 yılları üretim miktarları incelendiğinde Çin, %49’dan %51’e yükselerek 49.601.700 ton üretim ile birinci sırada yer almaktadır. Türkiye, 2023 yılı 4.602.517 ton’luk üretim ile Dünya elma üretiminde %4.7’lik pay ile Amerika’dan sonra üçüncü sıradadır. Bu durum ekolojik koşulların uygunluğundan ve ekonomik değerinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır (Tablo 4, şekil 1).

Tablo 4. 2020-2023 yılları ülkeler bazında elma üretimi ve verim değerleri

Ülkeler	Üretim miktarı (ton)				2023 Üretimin deki Payı (%)	2023 Verim (kg/da)
	2020	2021	2022	2023		
Çin	44066100	45983400	47571800	49601700	51,0	2484,5
Amerika	4665199	4568810	4524590	5151680	5,3	4284,8
Türkiye	4300486	4493264	4817500	4602517	4,7	2748,8
Polonya	3555200	4067400	4264700	3892700	4,0	2595,1
Hindistan	2814000	2276000	2589000	2876000	3,0	946,1
İtalya	2462440	2211740	2256240	2267750	2,3	4193,3
İran	2241100	2767822	1989734	2177337	2,2	2047,4
Rusya	2040700	2215300	2379900	2083191	2,1	1034,4
Fransa	1743360	1633080	1785660	1894440	1,9	3521,3
Özbekistan	1148455	1238188	1313233	1385872	1,4	1150,0

Dünya elma üretimi verim ortalaması 2107.7 kg/da iken Amerika 4284.8 kg/da ile en yüksek değere sahiptir. İtalya 4193.3 kg/da, Fransa 3521.3 kg/da ile takip ederken Türkiye 2748.8 kg/da ile bu ülkelerden düşük ancak dünya ortalamasından yüksek bir değere sahiptir (Tablo 4).

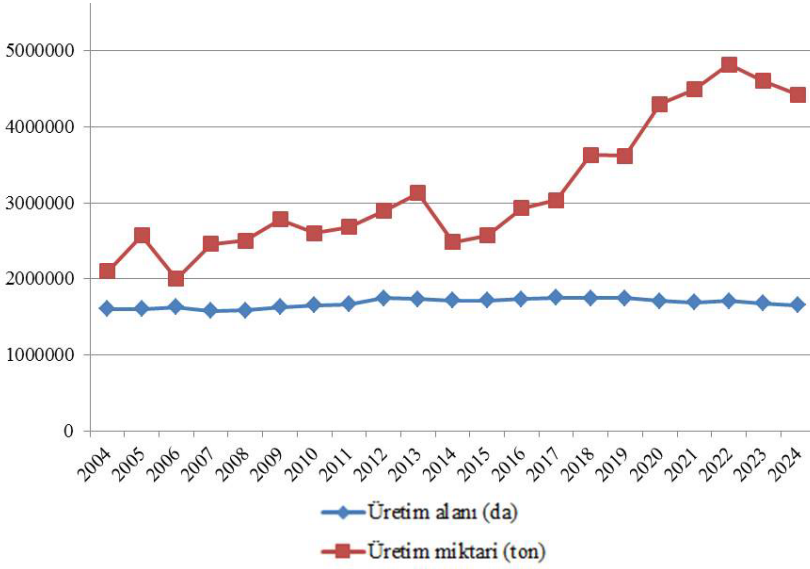
**Şekil 1.** Ülkelerin 1994-2022 yılları arasında elma üretim miktarları

Ülkemizde her geçen yıl elma üretim alanları ve miktarları artarak devam etmektedir. Son 20 yılın (2004-2024) üretim alanı verilerine bakıldığında

1.600.000 dekardan 1.653.191 dekara artmıştır. Üretim miktarı ise 2.100.000 ton'dan 4.420.185 ton'a artış göstermiştir (Tablo 5, şekil 2, TÜİK 2025).

Tablo 5. Türkiye 2004-2024 yılları arası elma üretim alanları (da) ve üretim miktarları (t)

Yıllar	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)
2004	1.600.000	2.100.000
2005	1.602.400	2.570.000
2006	1.626.656	2.002.033
2007	1.577.510	2.457.845
2008	1.583.996	2.504.494
2009	1.626.499	2.782.365
2010	1.650.775	2.600.000
2011	1.666.718	2.680.075
2012	1.748.126	2.888.985
2013	1.730.955	3.128.450
2014	1.714.169	2.480.444
2015	1.714.098	2.569.759
2016	1.733.935	2.925.828
2017	1.753.572	3.032.164
2018	1.746.404	3.625.960
2019	1.744.388	3.618.752
2020	1.709.032	4.300.486
2021	1.688.105	4.493.264
2022	1.709.408	4.817.500
2023	1.674.374	4.602.517
2024	1.653.191	4.420.185



Şekil 2. Türkiye 2004-2024 yılları arası elma üretim alanları (da) ve üretim miktarları (t)

TÜİK verilerine göre 2023 ve 2024 yılları Türkiye elma üretiminde öne çıkan iller Tablo 6’da verilmiştir (TÜİK, 2025).

Tablo 6. Önemli elma üreticisi illerin 2023 ve 2024 yılları üretim miktarları (ton)

İller	Üretim miktarı (ton)		2024 yılı Türkiye Üretimindeki Payı (%)
	2023	2024	
Isparta	1.169.945	1.019.904	23.1
Karaman	713.190	686.889	15.5
Niğde	581.304	619.371	14.00
Antalya	448.022	461.468	10.4
Kayseri	255.871	262.835	5.9
Konya	198.483	201.513	4.6
Denizli	176.582	115.216	2.6
Mersin	145.601	145.940	3.3
Çanakkale	102.180	99.706	2.3
Kahramanmaraş	86.531	84.339	1.9
Bursa	75.414	73.643	1.7
Türkiye	4.602.517	4.420.185	

Isparta ili 2024 yılında 1.019.904 ton ile Türkiye elma üretiminin %23.1'ini karşılamaktadır. Karaman 686.889 ton ile (%15.5) ikinci sırada yer almaktadır. Niğde %14'lük üretim payı ile 619.371 ton elma üretmektedir. Antalya ise 461.468 ton ile dördüncü sırada yer almaktadır. Bu onbir ilin Türkiye üretimindeki payı %85.3'dür.

Elma, elma suyu konsantresi, elma suyu veya taze meyve olarak ihracatı ya da ithalatı yapılmaktadır. Türkiye 2023 yılı ihracat ve ithalat miktarları ve değerleri Tablo 7'de verilmiştir. Türkiye 370836.2 ton taze elma ihracatı karşılığında 175.377.000 dolar, 3437.1 ton elma suyu ihracatı karşılığında 2.608.000 dolar ve 166739 ton elma suyu konsantresi ihracatı karşılığında 326.930.000 dolar gelir elde etmiştir.

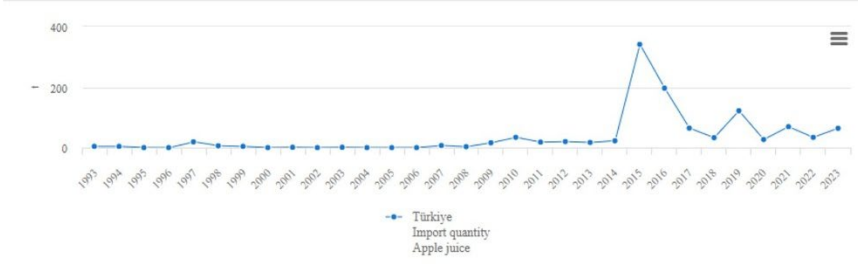
Elma ithalat değerleri incelendiğinde ise 366.7 ton taze elma ithalatı karşılığında 195.000 dolar, 63.9 ton elma suyu ithalatı karşılığında 154.000 dolar ve 35895.6 ton elma suyu konsantresi ithalatı karşılığında 47.835.000 dolar ödenmiştir.

Tablo 7. Türkiye 2023 yılı ihracat ve ithalat miktarları ve değerleri

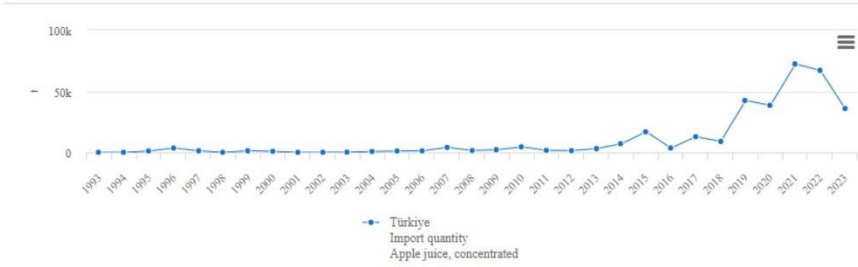
Ürün	İthalat miktarı (t)	İthalat değeri (1000 USD)	İhracat miktarı (t)	İhracat değeri (1000 USD)
Elma suyu	63.9	154	3437.1	2608
Elma suyu konsantresi	35895.6	47835	166739.0	326930
Taze elma	366.7	195	370836.2	175377

Türkiye uzun yıllar (1993-2023) elma suyu, elma suyu konsantresi ve taze elma ithalatı ve ihracatı miktarları Şekil 4-5'de verilmiştir.

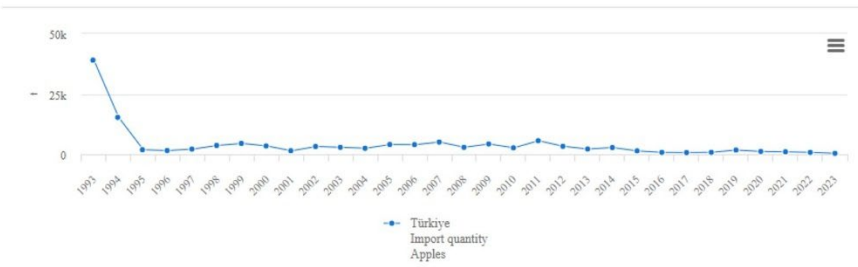
Elma suyu ithalatı (1993-2023)



Elma suyu konsantresi ithalatı (1993-2023)

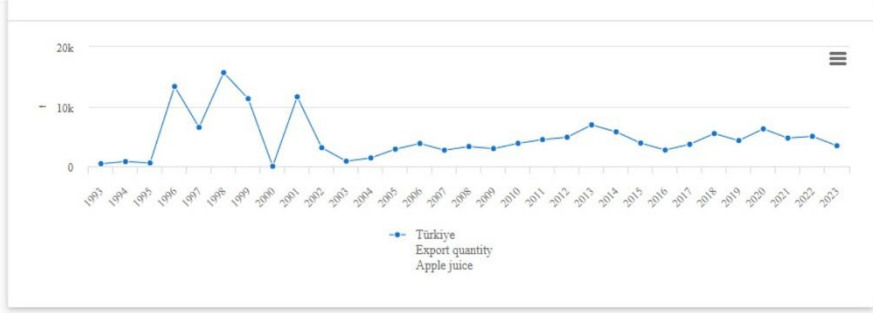


Elma ithalatı (1993-2023)

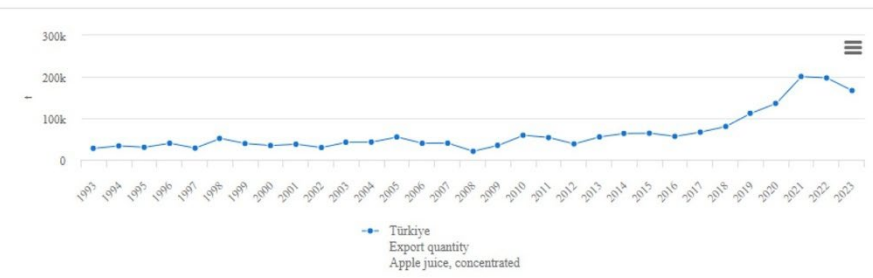


Şekil 4. Türkiye uzun yıllar (1993-2023) elma suyu, elma suyu konsantresi ve taze elma ithalat miktarları

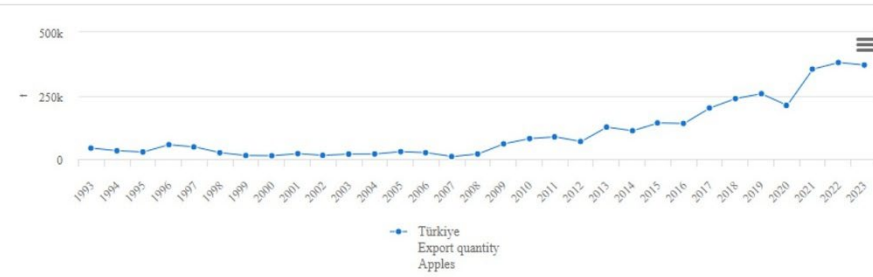
Elma suyu ihracatı (1993-2023)



Elma suyu konsantresi ihracatı (1993-2023)



Elma ihracatı (1993-2023)



Şekil 5. Türkiye uzun yıllar (1993-2023) elma suyu, elma suyu konsantresi ve taze elma ihracat miktarları

KAYNAKÇA

- Ayanoğlu, H., Yılmaz, M. (1995). Doğu Akdeniz bölgesinde sofralık erik seleksiyonu. *II. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi*, 3-6 Ekim 1995, Adana, 189-193.
- Coart E, Van Glabeke S, de Loose M, Larsen AS, Roldan-Ruiz I (2006). Chloroplast diversity in the genus *Malus*: New insights into the relationship between the European wild apple (*Malus sylvestris* (L.) Mill.) and the domesticated apple (*Malus × domestica* Borkh.). *Mol. Ecol.* 15:2171 – 2182.
- Cornille A, Gladieux P, Marinus JM, et al. (2012). New insight into the history of domesticated apple: secondary contribution of the European wild apple to the genome of cultivated varieties. *PLoS Genet.* 8 (5): 1 – 13.
- Dzhangaliev AD (2003). The wild apple tree of Kazakhstan. *Horti. Rev.* 29: 63 – 371. DOI:10.1002/9780470650868.ch2.
- Ertekin, C., Gozlekci, S., Kabas, O., Sonmez, S., Akinci, I. (2006). Some physical, pomological and nutritional properties of two plum (*Prunus domestica* L.) cultivars. *Journal of Food Engineering*, 75(4), 508-514.
- FAOSTAT (2024a). Food and Agriculture Organization of the United Nations Production Statistics. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (Erişim tarihi: 27.09.2024).
- FAOSTAT (2024b). Food and Agriculture Organization of the United Nations Production Statistics. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize> (Erişim tarihi: 27.09.2024).
- FAOSTAT (2024c). Food and Agriculture Organization of the United Nations Production Statistics. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/TCL> (Erişim tarihi: 27.09.2024).
- Forsline PL, Dickson EE, Dzhangaliev AD (1994). Collection of wild *Malus*, *Vitis* and other fruit species genetic resources in Kazakhstan and neighbouring republics. *Hort. Sci.* 29: 433.
- Forsline PL (1995). Adding diversity to the National Apple Germplasm Collection; collecting wild apples in Kazakhstan. *New York Fruit Quart.* 3: 3 – 6.

- Forsline P, Aldwinckle H, Dickson E, Luby J, Hokanson S (2003). Collection, Maintenance, Characterization, and Utilization of Wild Apples of Central Asia. Hort. Rev. 29: 1 – 62. doi:10.1002/9780470650868.ch1.
- Harris SA, Robinson JP, Juniper BE (2002). Genetic clues to the origin of apple. Trends Genet.18: 426 – 430.
- Hjalmarsson, I. (2019). Plum Cultivars In Sweden: History And Conservation For Future Use. *Proceedings Of The Latvian Academy Of Sciences*. Section B. Vol. 73 (3): 720, pp. 207–213.
- Janick J, Cumminis JN, Brown SK, Hemmat M (1996). Apples. In: Janick J, Moore J (ed.), Fruit Breeding Vol. II, Tree and Tropical Fruits, Wiley, New York, p. 1 – 76
- Janick, J. (2005). The Origins of Fruits, Fruit Growing, and Fruit Breeding. *Plant Breeding Rev.* 25:255-320.
- Juniper BE, Watkins R., Harris SA (1999). The origin of apple. Acta Hort. 484: 27 – 33.
- Kobran SS, Skirvin RM (1984). Nomenclature of the cultivated apple. Hort. Sci., 19: 177 – 180.
- Luby J, Forsline PL, Aldwinckle HS, Bus V, Geibel M (2001). Silk road apples – collection, evaluation, and utilization of *Malus sieversii* from Central Asia. Hort. Sci. 36: 225 – 231.
- Morgan J, Richards A (1993). The book of apples. Ebury Press, London, UK. Nebel B (1929). Zur cytology von Malus and Vitis. Die Gartenbauwissenschaft: 549 – 592.
- OECD (2006). *Section 6 - Stone Fruits (PRUNUS SPP.)*, in *Safety Assessment of Transgenic Organisms*, Volume 2: OECD Consensus Documents, OECD Publishing, Paris.
- Okie. W.. Hancock. J. (2008). *Plums*. In: Hancock. J.F. (eds) Temperate Fruit Crop Breeding. Springer. Dordrecht.
- Özçağiran, R., Ünal, A., Özeker, E., İsfendiyoğlu, M. (2005). *İlman İklim Meyve Türleri. Sert Çekirdekli*, Cilt I. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:553, İzmir, 229 s.
- Özvardar, S., Önal, K. (1990). *Erik Yetiştiriciliği*. Tarımsal Araştırmaları Destekleme ve Geliştirme Vakfı Yayınları, No: 23, Yalova.

- Ponomarenko VV (1980). Current state of research on problems of the origin of *Malus domestica* Borkh. (Russian). Trudy po Prikladnoy Botanike Genetike-i-Seleksii 67: 11 – 21.
- Robinson JP, Harris SA, Juniper BE (2001). Taxonomy of the genus *Malus* Mill. (Rosaceae) with emphasis on cultivated apple, *Malus domestica* Borkh. Plant Syst. Evol. 226: 35 – 58.
- Sülüsoğlu, M., Çavuşoğlu, A., Erkal, S. (2014). Meyve türlerinin insan sağlığı bakımından önemi ve tıbbi kullanımı. II. Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Sempozyumu, 23-25 Eylül 2014, Yalova, 128-129.
- Şimşek, E. (2019). *Iğdır Ekolojisinde Yetişen Erik Genotiplerinin Bazı Fiziksel Özellikleri ile Fitokimyasal İçeriklerinin Tespiti*, Iğdır Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Iğdır, 50 s.
- TÜİK (2024). Türkiye İstatistik Kurumu, Bitkisel Üretim İstatistikleri, <http://www.tuik.gov.tr> (Erişim tarihi: 15.10.2024).
- Vavilov NI (1926). Studies on the origin of cultivated plants. Trudy Byuro. Prikl. Bot.16: 139 –245.
- Vavilov NI (1930). Wild progenitors of the fruit trees of Turkistan and the Caucasus and the problems of the origin of fruit trees. In: Proceedings of the 9th International Horticultural Congress, London, p. 271 – 286.
- Velasco R, et al. (2010). The genome of the domesticated apple (*Malus × domestica* Borkh.). Nature Genet. 42: 833 – 839. doi: 10.1038/ng.654.
- Wagner I, Weeden NF (2000). Isozymes in *Malus sylvestris*, *Malus domestica* and in related *Malus* species. Acta Hort. 538: 51 – 56.
- Wani, A.A, Dar, J.A., & Bhat,T.A. (2015). *Malus × domestica* Borkh. - from wild resources to present day cultivated apple. Photon eBooks, UBN: 015-A94510112016.
- Way RD, Aldwinckle HS, Lamb RC, Rejman A, Sansavini S, Shen T, Watkins R, Westwood MN, Yoshida Y (1990). Apples (*Malus*). In: Moore JN, Ballington Jr JR (eds.), Genetic resources of temperate fruit and nut crops. Acta Hort. 3 – 62.
- Zohary D (1970). Centres of diversity and centres of origin. In: Frankel OH, Bennett E (eds.), Genetic Resources in Plants, their exploration

and conservation. Blackwell Scientific Publications, Oxford. p. 33 – 42.

Zohary D, Hopf M (1994). Domestication of plants in the old world. Clarendon Press, Oxford.

BÖLÜM II

ELMANIN BİYOKİMYASAL İÇERİĞİ VE İNSAN DİYETİNDEKİ YERİ

Doç. Dr. Müjgan GÜNEY¹

Dr. Öğr. Üyesi Elmira ZIYA MOTALEBİPOUR²

Doç. Dr. Muhammet Ali GÜNDEŞLİ³

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18107339>

¹ Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Yozgat, Türkiye. mujgan.guney@yobu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-5491-1430

² İsfahan İslam Azad Üniversitesi, Tarım, Su, Gıda ve Nutrasötikler Fakültesi, Tarım Bilimi ve Bitki Islahı Bölümü, İsfahan, İran. e.ziyamotalebipour@iau.ac.ir, ORCID ID: 0000-0002-3654-6019

³ Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye. maligun4646@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-7068-8248

1. GİRİŞ

Sağlıklı beslenme, uzun vadeli fiziksel ve zihinsel refahın temellerinden biri olarak kabul edilmektedir. Denge, çeşitlilik ve yüksek besin yoğunluğu esasına dayanan beslenme modelleri; obezite, tip 2 diyabet ve kardiyovasküler hastalıklar başta olmak üzere kronik hastalıkların önlenmesi ve yönetiminde önemli bir rol oynamaktadır. Beslenme düzenlerinin sağlık sonuçlarıyla bağlantısını gösteren kanıtların artmasıyla birlikte, halk sağlığı girişimleri, etiket eğitimi, dijital platformlar ve topluluk programları aracılığıyla tüketicileri bilinçli gıda seçimleri yapmaya teşvik ederek beslenme okuryazarlığını geliştirmeye yönelmiştir. Bu yaklaşımlar, bireylerin kanıta dayalı ve bilinçli beslenme tercihleri geliştirmelerini destekleyen bütüncül bir toplumsal farkındalık sürecini yansıtmaktadır (Bohn ve Bouayed, 2020).

Bu dönüşüme paralel olarak, bahçe bitkilerinin kalite özellikleri ile tarımsal uygulamaların sağlık üzerindeki etkileri giderek daha fazla önem kazanmıştır. TToprak özellikleri, sulama rejimleri, organik ve konvansiyonel üretim sistemleri, hasat zamanı ve hasat sonrası depolama koşulları; meyve ve sebzelerdeki biyoaktif bileşiklerin miktarını ve biyoyararlanımını belirgin biçimde etkileyebilmektedir. (Balci vd., 2023). Örneğin, organik üretim koşullarında yetiştirilen elma ve domateslerin, bitkide savunma mekanizmalarını ve fitokimyasal sentezi uyaran görece yüksek stres düzeyleri nedeniyle, çoğu zaman daha yüksek fenolik bileşik içeriğine sahip olduğu bildirilmektedir (Šic Žlabur vd., 2013; Patocka vd., 2020). Bu bulgular, tarımsal bilimlerle insan beslenmesi arasındaki giderek güçlenen sinerjiyi ve üretim uygulamalarının gıdaların işlevsel özelliklerini nasıl şekillendirdiğine yönelik artan ilgiyi ortaya koymaktadır. Bu çerçevede,

biyoaktif bileşikler kavramı özel bir önem kazanmıştır. Biyoaktif bileşikler; temel beslenme gereksinimlerinin ötesinde sağlık üzerinde olumlu etkiler gösteren, bitki kaynaklı gıdalarda doğal olarak bulunan kimyasal bileşenlerdir. Bu grup içerisinde polifenoller, flavonoidler, terpenler ve anti-enflamatuar, antikanser, antimikrobiyal ve kardiyoprotektif özelliklere sahip çeşitli ikincil metabolitler yer almaktadır (Erdmann vd., 2021; Szymczak vd., 2024). Bu bileşikleri ve sağlık üzerindeki etkilerini anlamak, moleküler biyoloji, biyokimya, klinik beslenme ve gıda biliminden yararlanan disiplinler arası bir yaklaşım gerektirmektedir.

Meyveler arasında elmalar (*Malus domestica* Borkh.), küresel ölçekte yaygın bulunmaları, yüksek tüketim düzeyleri ve zengin fitokimyasal bileşimleri nedeniyle diyet kaynaklı biyoaktif bileşiklerin incelenmesinde model bir tür olarak öne çıkmaktadır. Elmalar; flavonoidler (örneğin kuersetin ve epikateşin) ile fenolik asitler (örneğin klorojenik asit) başta olmak üzere fenolik bileşiklerin yanı sıra, triterpenoidler (örneğin ursolik ve oleanolik asitler) gibi fenolik olmayan biyoaktifler açısından da dikkate değer bir içerik sunmaktadır. Bu bileşiklerin düzeyleri elma çeşitleri arasında belirgin farklılıklar göstermekle birlikte, genetik yapı, çevresel koşullar ve hasat sonrası uygulamalardan güçlü biçimde etkilenmektedir; bu durum, çeşit seçimi ve işleme stratejilerinin besin kalitesi açısından kritik olduğunu ortaya koymaktadır (He & Liu, 2007; Geană vd., 2021a; André vd., 2012a). Hastalık riskindeki azalma ile ilişkilendirilen epidemiyolojik bulgular dikkate alındığında, elmalar, bitki kaynaklı biyoaktif bileşiklerin insan sağlığı üzerindeki etkilerinin anlaşılmasında hem bilimsel araştırmalar hem de halk sağlığı yaklaşımları açısından önemli bir referans noktası

oluşturmaktadır (Root vd., 2022). Elmalar, biyoaktif bileşiklerinin yanı sıra, sağlıklı beslenmedeki rollerini destekleyen temel besin maddeleri bakımından da önemli bir kaynak olarak bilinmektedir. Orta boy bir elma yaklaşık 4 g diyet lifi içermekte olup; bu lifin büyük bölümünü oluşturan pektin, bağırsak sağlığının korunması, glisemik yanıtın düzenlenmesi ve serum kolesterol düzeylerinin düşürülmesiyle ilişkilendirilmektedir (Koutsos vd., 2015; Bohn ve Bouayed, 2020). Pektin, glikoz emilimini yavaşlatarak ve safra asitlerini bağlayarak lipid metabolizmasını düzenlemektedir. Ayrıca, liften zengin diyetlerin bağırsak mikrobiyal çeşitliliğini artırdığı, elma lifinin ise yararlı bağırsak bakterileri için prebiyotik bir substrat olarak işlev gördüğü bildirilmektedir (Koutsos vd., 2015).

Elmalar, özellikle bağışıklık fonksiyonu, kolajen sentezi ve demir emilimini destekleyen C vitamini (askorbik asit) başta olmak üzere çeşitli mikro besin öğelerini içermektedir (Patocka vd., 2020; Asma vd., 2023). Buna ek olarak, nörolojik fonksiyonlar ve hücrel metabolizma ile ilişkili süreçlere katkı sağlayan düşük miktarlarda E vitamini ve B grubu vitaminleri de bulunmaktadır (Bohn ve Bouayed, 2020; Asma vd., 2023). Mineral içerik açısından değerlendirildiğinde, elmalar; kan basıncının düzenlenmesi ve sıvı dengesinin korunmasında kritik bir rol oynayan potasyumun yanı sıra, daha düşük miktarlarda magnezyum, kalsiyum, demir ve çinko da içermektedir (Patocka vd., 2020; Šic Žlabur vd., 2013). Bu mineral bileşenler, elmaları bitki temelli beslenme modellerinde besinsel açıdan değerli bir gıda hâline getirmektedir.

Özellikle, elmalarda bulunan biyoaktif bileşikler ile makro besin elementlerin arasındaki etkileşim, pektin yapısındaki polisakkaritlerin

polifenoller ve vitaminlerin stabilitesini ve biyoyararlanımını artırabildiği sinerjik bir besin matrisi oluşturmaktadır (Bohn ve Bouayed, 2020). Bu durum, elmaların işlevsel bütünlüğünün korunması açısından işlenmiş ürünler yerine bütün meyve formunda tüketilmesini destekleyen önemli bir gerekçe sunmaktadır.

Bu çok yönlü besleyici ve işlevsel özellikler ışığında, bu bölümde elmaların biyokimyasal bileşimi üzerine yayımlanmış güncel bilimsel literatürün derlenmesi ve sentezlenmesi amaçlanmaktadır. Özellikle biyoaktif bileşik grupları, bunların moleküler etki mekanizmaları ve düzenli elma tüketimi ile ilişkilendirilen kanıta dayalı sağlık çıktıları üzerinde durulacaktır.

2. İKİNCİL METABOLİTLERİN TANIMI VE SINIFLANDIRILMASI

İkincil metabolitler, canlı organizmalar, özellikle bitkiler tarafından sentezlenen ve büyüme, gelişme veya üreme gibi temel fizyolojik süreçlerde doğrudan rol almayan doğal organik bileşiklerdir. Bu bileşikler, birincil metabolik yolların özelleşmiş dalları aracılığıyla biyosentezlenir ve çoğunlukla abiyotik ve biyotik streslere karşı savunma, allelopatik etkileşimler veya tozlayıcıların ve dağıtıcıların çekilmesi gibi ekolojik ve adaptif işlevlerle ilişkilidir (Özyalın ve Yaman, 2023; Güney ve Ergün, 2023; Palazón vd., 2025).

Bu moleküller genellikle türe, organa veya dokuya özgü bir dağılım göstermekte olup biyosentezleri; çevresel stres faktörleri, gelişimsel evreler ve patojen saldırıları gibi içsel ve dışsal uyaranlar tarafından sıkı biçimde düzenlenmektedir. Karbonhidratlar ve amino asitlerin aksine, ikincil metabolitler bitki dokularında homojen olarak

dağılmaz; çoğunlukla vakuollerde depolanır veya hücre duvarı bileşenlerine bağlı hâlde bulunur. Sahip oldukları yüksek yapısal çeşitlilik ve özgül biyolojik işlevler nedeniyle, ikincil metabolitler modern bitki biliminde sıklıkla “özelleşmiş metabolitler” olarak tanımlanmaktadır (Palazón vd., 2025).

Biyosentetik açıdan değerlendirildiğinde, ikincil metabolitler; başta şikimat, asetat–malonat ve mevalonat yolları olmak üzere temel metabolik yolaklardan türemektedir. Bu yolaklar, ortak birincil ara metabolitleri kullanarak yapısal olarak son derece çeşitli bileşiklerin oluşumuna olanak tanır. Örneğin, şikimat yolaklı fenilalanin, flavonoidler ve tanenler gibi fenolik bileşiklerin biyosentezinde temel bir öncü olarak görev yaparken, asetil-CoA ise terpenoidler ve yağ asitlerinin sentezine doğrudan katkı sağlamaktadır (Cheynier vd., 2013).

Geniş kimyasal çeşitliliklerine rağmen, ikincil metabolitler; biyosentetik kökenleri ve temel moleküler yapıları esas alınarak üç ana grupta sınıflandırılmaktadır: fenolik bileşikler, terpenoidler ve alkaloidler. Bununla birlikte, bazı sınıflandırma yaklaşımlarında kükürt içeren bileşikler, glikozitler ve poliketidler gibi ek özelleşmiş gruplar da tanımlanmaktadır (Elshafie vd., 2023).

Fenolik bileşikler, bitkilerde en yaygın bulunan ikincil metabolit gruplarından biridir ve pigmentasyon, biyotik ve abiyotik streslere karşı savunma ile UV radyasyonuna karşı koruma gibi temel işlevlerde rol oynamaktadır. Bu bileşikler, fenilalanininden türeyen fenilpropanoid yolak aracılığıyla sentezlenmekte olup yapılarında bir veya daha fazla hidroksillenmiş aromatik halka bulunmaktadır (Cheynier vd., 2013).

Fenolik bileşikler; klorojenik asit gibi fenolik asitleri, kuersetin ve kateşin gibi flavonoidleri ve elmalarda yaygın olarak bulunan yoğunlaştırılmış tanenler ile proantosiyanidinler gibi polimerik formları kapsamaktadır (Palazón vd., 2025). Özellikle flavonoidler, elma, çilek ve üzüm gibi meyvelerde yüksek düzeylerde bulunmaları ve diyetle alımı takiben bildirilen sağlık yararları nedeniyle gıda kimyası ve beslenme bilimi açısından özel bir önem taşımaktadır (Hyson, 2011; Palazón vd., 2025).

erpenoidler (izoprenoidler), ikincil metabolitler arasında en geniş ve yapısal açıdan en çeşitli sınıfı oluşturmaktadır ve mevalonat (MVA) ya da metileritritol fosfat (MEP) yolları üzerinden izopren birimlerinden biyosentezlenmektedir. Bu grup; monoterpenleri (C10), seskiterpenleri (C15), diterpenleri (C20), ursolik ve oleanolik asitler gibi triterpenleri (C30) ve karotenoidler gibi tetraterpenleri (C40) kapsamaktadır (Vranová vd., 2013; Gershenzon ve Dudareva, 2007).

Alkaloidler, ikincil metabolitlerin bir diğer önemli sınıfını oluşturur ve başlıca lizin, tirozin ve triptofan gibi amino asitlerden türeyen azot içeren yapılarıyla karakterize edilir. Birçok tıbbi bitkide yaygın ve biyolojik olarak güçlü olmalarına karşın, elmalarda genellikle sınırlı düzeyde bulunur ya da hiç bulunmazlar; buna rağmen, özellikle sinir sistemi üzerindeki belirgin fizyolojik etkileri nedeniyle bitki krallığının kimyasal savunma repertuarının önemli bir bileşeni olmaya devam etmektedirler (Wink, 2003).

Bu ana gruplara ek olarak, kükürt içeren bileşikler, glukosinolatlar, siyanogenik glikozitler ve kükürt içeren uçucu bileşikler dâhil—özellikle Brassicaceae gibi bazı bitki familyalarında aroma oluşumu, lezzet gelişimi ve otçul caydırıcılığı ile

ilişkilendirilmiştir. Elmalar ise bu tür bileşikleri genellikle yalnızca eser miktarlarda içermekte olup, bu düşük düzeyler dahi duyuşal özelliklere ince katkılar sağlayabilmektedir (Dewick, 2002).

İşlevsel bir perspektiften bakıldığında, ikincil metabolitler bitkilerde kimyasal savunma, çekici bileşik, UV koruyucu ve sinyal molekülü olarak kritik ekolojik roller üstlenir; bu işlevler hem pasif mekanizmalar hem de biyolojik hedeflerle aktif etkileşimler yoluyla gerçekleştirilir (Wink, 2010; Palazón vd., 2025). Ayrıca, insan sağlığı ve beslenmesi bağlamında, elma gibi gıdalardan alınan ikincil metabolitler; enzim modülasyonu, reseptör etkileşimleri ve gen ekspresyonunun düzenlenmesi gibi mekanizmalar üzerinden gösterdikleri biyolojik etkiler nedeniyle giderek daha yoğun biçimde araştırılmaktadır (Crozier vd., 2009).

3. ELMALARDA BULUNAN BIYOAKTİF BİLEŞİK GRUPLARI

3.1. FENOLİK BİLEŞİKLER

3.1.1. FENOLİK ASİTLER

Fenolik asitler, elmalarda bulunan ve sağlıkla ilişkili etkileri belirgin biçimde şekillendiren başlıca biyoaktif bileşik sınıflarından birini oluşturmaktadır. Elmalar, klorojenik asit ve kafeik asit başta olmak üzere çeşitli fenolik asitler içermekte olup, bu bileşiklerin antioksidan aktiviteye katkı sağladığı ve insülin duyarlılığını artırabildiği bildirilmektedir (He & Liu, 2008; Geană vd., 2021b). Bu fenolik asitler, çok sayıda kronik hastalığın patogeneğinde rol oynayan oksidatif stresin azaltılması ile ilişkilendirilmektedir (Vişkelis vd., 2019; Petkova vd., 2023).

3.1.2. FLAVONOIDLER

Flavonoidler, özellikle kuersetin, elmalarda bulunan ve en ayrıntılı biçimde incelenmiş polifenolik bileşikler arasında yer almaktadır. Bu biyoaktif moleküller; antikanser, antioksidan ve kardiyoprotektif özellikleriyle yaygın olarak tanınmaktadır. Özellikle kuersetinin, hücre döngüsü düzenleyicilerinin modülasyonu ve apoptozisin indüklenmesi yoluyla bazı kanser hücre hatlarına karşı belirgin antiproliferatif aktivite gösterdiği ortaya konmuştur (He & Liu, 2008; Zhang vd., 2017a).

Bununla birlikte, kuersetin yoğun biçimde araştırılmış olsa da, dağılımı ve konsantrasyonu elma çeşitleri ve doku tipleri arasında önemli farklılıklar göstermektedir; çoğu durumda kabuk dokusunda, meyve etine kıyasla daha yüksek düzeylerde birirmektedir (Geană vd., 2021; André vd., 2012a; Awad vd., 2000). İlginç biçimde, bazı çalışmalarda—özellikle bütün meyve özütleri veya elma posası üzerine yapılan analizlerde—kuersetinin baskın flavonoid olmadığı bildirilmiştir. Bu çalışmalarda, flavan-3-oller (örneğin kateşin ve epikateşin) ile dihidrokalkonlar grubundan floridzin, daha yüksek düzeylerde tespit edilmiştir (Gumul vd., 2021; Suleria vd., 2021).

Özellikle epikateşin, oksidatif stres yanıtları ve inflamasyon dâhil olmak üzere temel hücresel sinyal yollarını modüle etme kapasitesiyle dikkat çekmektedir (Ko & Ku, 2022). Ayrıca epikateşin, elma tüketiminin antioksidan kapasitesine ve vasküler sağlık üzerindeki olumlu etkilerine anlamlı katkılar sağladığı gösterilen oligomerik flavan-3-oller grubundan prosiyanidinlerin biyosentezinde öncü bir bileşik olarak rol oynamaktadır (Bondonno vd., 2020; Suleria vd., 2021). LC–MS/MS ve UPLC gibi gelişmiş analitik teknikler

kullanılarak gerçekleştirilen profillemeye çalışmaları, toplam flavonoid içeriğinin yalnızca genotipe bağlı olmadığını; aynı zamanda çevresel koşullar, depolama uygulamaları ve analiz edilen bitki dokusu gibi faktörlerden de önemli ölçüde etkilendiğini ortaya koymuştur (Liaudanskas vd., 2014). Örneğin, Red Delicious elma çeşitlerinin kabuklarında 100 mg g⁻¹ taze ağırlığın üzerinde flavonoid içeriği rapor edilirken (Suleria vd., 2021), Golden Delicious gibi bazı diğer çeşitlerin belirgin biçimde daha düşük konsantrasyonlar sergileyebildiği bildirilmektedir.

Meyve dokusunun ötesinde, elma yaprakları da özellikle rutin, hiperosid ve kuersetin gibi kuersetin türevleri bakımından zengin bir flavonoid kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Flavonoidler, elmanın yalnızca meyvesinde değil, diğer bitkisel organlarında da bulunmakta olup, yedi farklı elma çeşidinin yapraklarını inceleyen bir çalışmada toplam flavonoid içeriğinin kuru ağırlık başına 2.9–6.4 mg arasında değiştiği rapor edilmiştir. Bu bulgu, meyve dışı dokularda flavonoidlerin bolluğunu ve çeşitler arası varyasyonunu açık biçimde ortaya koymaktadır (Liaudanskas vd., 2014).

Bu bulgular, elma yapraklarından elde edilen flavonoidlerin besin takviyesi ve farmasötik uygulamalar için potansiyel bir kaynak oluşturabileceğini düşündürmekle birlikte, insanlarda biyoyararlanım ve güvenliliklerinin değerlendirilmesi amacıyla ileri klinik ve toksikolojik çalışmalara ihtiyaç duyulduğunu da göstermektedir.

Ayrıca bu sonuçlar, elmaların sağlıkla ilişkili potansiyelini değerlendirirken kuersetin gibi tek bir bileşiğe odaklanmanın yetersiz olduğunu ortaya koymaktadır. Bunun yerine, kuersetin, epikateşin, kateşin ve floridzin dâhil olmak üzere tam flavonoid spektrumunun

sinerjik etkilerinin, meyvenin biyolojik aktivitesinin ortaya çıkmasında belirleyici olduğu düşünülmelidir.

Dahası, güncel araştırmalar elmalarda flavonoid biyosentezinin düzenleyici mekanizmalarını, özellikle ışığa maruz kalma ve genetik regülasyonun rolünü kapsayacak biçimde incelemeye devam etmektedir (Zhang vd., 2022). Bu çalışmalar, yetiştirme uygulamaları ve hasat sonrası koşulların, elmaların besin değerini ve fonksiyonel özelliklerini artıracak şekilde nasıl optimize edilebileceğine dair önemli bilgiler sunmaktadır.

3.1.3. B-TİPI PROANTOSİYANİDİNLER

Elmalarda yoğunlaştırılmış tanenlerin baskın formunu oluşturan B-tipi proantosiyanidinler, esas olarak kateşin ve epikateşin gibi flavan-3-ol birimlerinin C4–C8 veya C4–C6 bağları ile polimerleşmesi sonucu oluşan bileşiklerdir ve elma meyvesindeki başlıca tanen fraksiyonunu temsil etmektedir. Çok sayıda çalışma, elma kaynaklı B-tipi proantosiyanidinlerin, özellikle hücre proliferasyonunun baskılanması ve çeşitli kanser hücre hatlarında apoptozun indüklenmesi yoluyla önemli biyolojik aktivitelere sahip olduğunu ortaya koymuştur (Viškelis vd., 2019; Zhang vd., 2017b; Miura vd., 2008).

Bileşimsel açıdan değerlendirildiğinde, B-tipi proantosiyanidinlerin elmalarda baskın polifenolik sınıfı oluşturduğu ve hem kabuk hem de meyve eti dokularında toplam fenolik içeriğin en büyük payını temsil ettiği tutarlı biçimde bildirilmektedir (Vrhovsek vd., 2004). Çok sayıda elma çeşidini kapsayan kantitatif profillemeye çalışmaları, prosiyanidin dimerleri ve oligomerlerinin (örneğin prosiyanidin B1 ve B2) özellikle yüksek düzeylerde bulunduğunu ve bu

bileşiklerin antioksidan kapasite ile biyolojik aktivite arasında güçlü ilişkiler sergilediğini ortaya koymuştur (Vrhovsek vd., 2004).

Ayrıca, B-tipi proantosiyantinlerin varlığı, polimerizasyon derecesi ve toplam konsantrasyonu; çeşit, meyve olgunluk durumu ve yetiştirme koşullarına bağlı olarak belirgin değişkenlik göstermekte olup, biyosentezlerinin güçlü genetik ve çevresel kontrol altında olduğunu yansıtmaktadır (Ayeleso vd., 2017; Nezbedova vd., 2021). Bu bulgular, B-tipi proantosiyantinlerin, elmaların hem sağlıkla ilişkili potansiyelinin hem de fitokimyasal çeşitliliğinin belirlenmesinde merkezi bir rol oynadığını açık biçimde ortaya koymaktadır.

3.2. POLIFENOL OLMAYAN BIYOAKTİF BİLEŞİKLER

3.2.1. TRITERPENOIDLER

Ursolik asit ve oleanolik asit, elma kabuklarında yaygın olarak bulunan başlıca triterpenoid bileşikler arasında yer almaktadır. Bu pentasiklik triterpenler, anti-enflamatuar ve antikanser etkiler dâhil olmak üzere geniş bir farmakolojik aktivite spektrumu sergilemeleri nedeniyle dikkat çekmiştir (Zhang vd., 2017b; Butkevičiūtė vd., 2022). Özellikle ursolik asit, çeşitli hücrel sinyal yollarının düzenlenmesinde umut verici bir bileşik olarak öne çıkmakta olup, hücrel proliferasyonu teşvik eden yolları inhibe ederek biyolojik etkilerini gösterebilmektedir (Žibera vd., 2017; Zhang vd., 2017b).

3.2.2. FITOSTEROLLER

Fitosteroller, daha az araştırılmış olmakla birlikte, elmalarda da bulunan ve lipid metabolizmasının düzenlenmesi ile kolesterol homeostazının korunmasına katkı sağlayan bileşiklerdir. Bu bileşikler, kolesterol ile yapısal benzerlikler göstermeleri sayesinde bağırsak

düzeyinde kolesterol emilimini azaltabilir ve böylece LDL kolesterol düzeylerinin düşürülmesine yardımcı olarak kardiyovasküler sağlığın desteklenmesine katkıda bulunabilirler (Wang vd., 2013).

3.2.3. MONOTERPENLER VE SESQUITERPENLER

Terpenler, özellikle monotermenler ve seskiterpenler, elmanın aroma ve lezzet profilinin oluşumuna ve hasat sonrası fizyolojisine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Bu bileşikler arasında (E,E)- α -farnesen, özellikle kabuk kütiküler mumunda yüksek miktarlarda bulunan baskın bir seskiterpen olup, hem duyuşsal algı hem de meyve fizyolojisi açısından çift yönlü bir role sahiptir. Nitekim, α -farnesenin oksidasyon ürünlerinin, depolanan elmalarda yaygın olarak görülen bir hasat sonrası fizyolojik bozukluk olan yüzeysel yanık oluşumu ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Anet, 1963).

α -farnesene ek olarak, germakren D ve β -karyofillen gibi diğer seskiterpenler de farklı elma çeşitlerinde daha düşük konsantrasyonlarda tespit edilmiştir. Elmaların monotermen profili ise; linalool, α -pinen, limonen ve terpineol gibi çiçeksi, narenciye ve çam benzeri aromalar oluşturan bileşikleri içermekte olup, bu profil çeşide ve meyve olgunluk aşamasına bağılı olarak önemli ölçüde değışkenlik göstermektedir (Du vd., 2020).

Yapılan çalışmaları, uçucu terpen bileşiminin elma çeşitleri arasında belirgin farklılıklar sergilediğini ve bu varyasyonun genetik yapı, olgunluk durumu ve depolama koşulları gibi faktörlerden etkilendiğini ortaya koymuştur (Matich & Rowan, 2007). Elmalarda dallı zincirli ester biyosentez yolları, döteryum etiketleme teknikleri kullanılarak ayrıntılı biçimde incelenmiş olsa da, terpenlerin biyolojik

aktivitelerine ilişkin çalışmalar, fenolik bileşiklerle karşılaştırıldığında sınırlı kalmaktadır.

Bununla birlikte, linalool gibi bazı terpenlerin, *in vitro* ve hayvan modellerinde anti-enflamatuar, nöroprotektif ve antimikrobiyal etkiler sergilediği bildirilmiş olup, bu bulgular terpenlerin yalnızca aromatik bileşenler olmanın ötesinde potansiyel fonksiyonel rollere de sahip olabileceğini göstermektedir (Peano vd., 2002). Elmalarda bulunan karmaşık terpen karışımı, yalnızca organoleptik özelliklerin belirlenmesine katkı sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda bitki savunma mekanizmalarında ve ortaya çıkan sağlık yararlarında da rol oynayabilir; bu durum, terpenleri elmanın fitokimyasal profilinde önemli ancak görece az incelenmiş bir bileşen grubu hâline getirmektedir.

4. ELMA BİYOAKTİF BİLEŞİKLERİNİN MOLEKÜLER ETKİ MEKANİZMALARI

Elmalarda bulunan biyoaktif bileşikler, sağlık üzerindeki etkilerini çeşitli moleküler mekanizmalar aracılığıyla göstermektedir. Antioksidan etkilerinin ötesinde, bu bileşiklerin başlıca etkileri hücresel sinyal iletim yollarının modülasyonu ve gen ekspresyonunun düzenlenmesi üzerinden gerçekleşmektedir.

4.1 HÜCRESEL SİNYAL YOLLARI

Ursolik asidin, inflamasyon ve hücre çoğalmasının düzenlenmesinde önemli rol oynayan NF- κ B ve PI3K/Akt yolları da dahil olmak üzere birden fazla sinyal yolunu hedeflediği gösterilmiştir (Zhang vd., 2017b; Faria vd., 2017). NF- κ B aktivasyonunu inhibe ederek, çeşitli pro-inflamatuar sitokinlerin ekspresyonunu

baskılayabildiği ve bu mekanizma sayesinde kronik inflamasyonun azaltılmasına katkı sağlayabildiği bildirilmektedir (He & Liu, 2007; André vd., 2012b).

4.2. ENZİM İNHİBİSYONU VE GEN EKSPRESYONUNUN DÜZENLENMESİ

Oleanolik asit gibi triterpenoid bileşiklerin, inflamatuvar süreçlerde görev alan çeşitli enzimler üzerinde belirgin inhibitör etkiler sergilediği gösterilmiştir. Bu etkiler, özellikle kaspaz aktivitesinin düzenlenmesi yoluyla, inflamasyon ve apoptozdan sorumlu genlerin ekspresyonunun modülasyonu ile ilişkilendirilmektedir (Butkevičiūtė vd., 2022; Valdez vd., 2023). Bu bulgular, söz konusu triterpenoidlerin kanserin önlenmesine katkı sağlayan hücrel yanıtın düzenlenmesinde daha ince ve çok yönlü bir rol oynadığını düşündürmektedir (Žibera vd., 2017).

4.3. İLTIHAPLA İLİŞKİLİ MOLEKÜLER MEKANİZMALAR

Elmadan elde edilen biyoaktif bileşiklerin anti-inflamatuvar etkileri, stres yanıtları ve inflamatuvar sinyal iletimiyle ilişkili yolların modülasyonu ile yakından bağlantılıdır. Yapılan çalışmalar, ursolik asidin, oksidatif strese karşı hücrel savunmada merkezi bir role sahip olan Nrf2 (nükleer faktör eritroid 2-ilişkili faktör 2) aktivasyonunu artırabildiğini göstermektedir (Ko & Ku, 2022; André vd., 2013). Bu aktivasyonun, detoksifikasyon ve sitoproteksiyonla ilişkili genlerin ekspresyonunun yukarı regülasyonu ile sonuçlandığı bildirilmektedir.

5. ELMA KAYNAKLI BİYOAKTİF BİLEŞİKLERİN SAĞLIKLA İLGİLİ ETKİLERİ

Elma kaynaklı biyoaktif bileşiklerin düzenli tüketimi, özellikle kardiyovasküler ve metabolik sağlık açısından çok yönlü yararlarla ilişkilendirilmektedir. Epidemiyolojik veriler, elma tüketiminin kardiyovasküler hastalık riskinde azalma ile bağlantılı olduğunu ortaya koyarken, bu koruyucu etkilerin büyük ölçüde polifenoller ve triterpenoidler aracılığıyla lipid profillerinin iyileştirilmesi ve inflamatuvar belirteçlerin baskılanması yoluyla gerçekleştiği bildirilmektedir (Erdmann vd., 2021; Oh vd., 2017; Kim vd., 2016). Bununla paralel olarak, elma tüketiminin glisemik kontrolün iyileştirilmesi ve insülin duyarlılığının artırılması ile ilişkili olduğu; bu etkinin flavonoidler ve triterpenoidlerin adipokin sinyalleme ve insülinle ilişkili hücresel yollar üzerindeki düzenleyici rollerine dayandığı ifade edilmektedir (Zhang vd., 2017a; Ko & Ku, 2022; Woźniak vd., 2015). Ayrıca, elmalardan elde edilen biyoaktif bileşiklerin kanser biyolojisi bağlamında da önemli etkilere sahip olabileceğine dair artan kanıtlar bulunmaktadır. Özellikle ursolik asidin, çeşitli kanser hücre hatlarında apoptozu indüklediği ve hücre proliferasyonunu baskıladığı, bu etkilerin ise hücre döngüsü dinamiklerinin ve hayatta kalma sinyallerinin modülasyonu yoluyla ortaya çıktığı gösterilmiştir (He & Liu, 2008; Ayeleso vd., 2017; Žibera vd., 2017; Butkevičiūtė vd., 2022). Bu bütüncül bulgular, elma kaynaklı biyoaktiflerin kardiyometabolik sağlık ve hücresel homeostazın korunmasında önemli bir rol oynadığını ortaya koymaktadır.

6. ELMALARIN GELENEKSEL HALK VE KLASİK TIPTA TERAPÖTİK UYGULAMALARI

Elmalar, besleyici, serinletici ve tedavi edici özellikleri nedeniyle çeşitli tıp sistemlerinde uzun süredir geleneksel olarak kullanılmaktadır. Klasik Avrupa bitkisel tıbbında, elmalar; ateşin düşürülmesi, sindirim fonksiyonlarının desteklenmesi ve hastalık sürecinde iyileşmenin hızlandırılması amacıyla yaygın biçimde kullanılmıştır. Özellikle hafif sindirilebilir olmaları ve mide üzerinde nazik bir etki göstermeleri nedeniyle, haşlanmış elma formu, iyileşme dönemindeki bireylere ve yaşlılara önerilen geleneksel bir besin olarak öne çıkmıştır (Herbs NZ Foundation, n.d.). Halk tıbbında, elma sirkesi, şurubu ve lapası gibi farklı elma preparatlarının topikal uygulamalar ya da içsel dengeyi desteklemek amacıyla tüketilmesi yoluyla; ishal, artrit, astım, baş ağrısı ve anemi dâhil olmak üzere çok çeşitli rahatsızlıkların tedavisinde kullanıldığı bildirilmektedir (Patocka vd., 2020). Unani tıbbında elmalar (Tuffah), mizaç ve humoral denge anlayışıyla uyumlu biçimde kardiyotonik, hepatoprotektif ve sindirim fonksiyonlarını destekleyici özelliklere sahip olarak değerlendirilmiş; hayati organları güçlendirdiğine ve hem zihinsel hem de fiziksel canlılığı artırdığına inanılmıştır (Hammad & Malik, 2021). Benzer şekilde, Geleneksel Çin Tıbbı elmayı Akciğer, Mide ve Dalak meridyenlerini besleyen serinletici bir besin olarak tanımlamış; kuruluğu gidermek, kuru öksürüğü hafifletmek, balgamı azaltmak ve ısı toksinlerini uzaklaştırmak amacıyla kullanmıştır (Çin Elma Besin Özellikleri, n.d.).

Meyvenin kendisinin ötesinde, elma bitkisinin farklı kısımları da özgül terapötik amaçlarla değerlendirilmiştir. Olgunlaşmamış elmalar, büzücü özellikleri nedeniyle ishal tedavisinde önerilirken, olgun

elmaların kabızlığın giderilmesine yardımcı olduğu kabul edilmiştir. Elma sirkesi, eklem ağrıları, kronik öksürük, cilt rahatsızlıkları ve sindirim sorunlarında halk hekimliğinde yaygın biçimde kullanılmıştır (Patočka vd., 2020). Daha sınırlı olmakla birlikte, elma yaprakları mide-bağırsak rahatsızlıkları için infüzyon şeklinde hazırlanmış veya yaralar üzerine uygulanmış; güncel çalışmalar bu uygulamaların gastroprotektif potansiyelini desteklemektedir (Mahmoud vd., 2023). Elma çekirdekleri, siyanogenik glikozit içermelerine rağmen zaman zaman topikal tedavilerde kullanılmış; posa ve kabuk ise kırsal Avrupa’da iltihaplı durumlar için kompres olarak değerlendirilmiştir (Kumar vd., 2022).

Bütüncül olarak ele alındığında, bu geleneksel uygulamalar; elmaların sindirim fonksiyonlarını destekleme, ateş ve inflamasyonu hafifletme, solunum sağlığını iyileştirme, cilt iyileşmesini teşvik etme ve nazik bir beslenme kaynağı sağlama yönündeki rollerini ortaya koymakta olup, bu etkilerin önemli bir kısmı polifenoller, flavonoidler ve pektin gibi elma kaynaklı fitokimyasallar üzerine yürütülen modern bilimsel çalışmalarla da desteklenmektedir.

7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Özetle, elmalarda bulunan biyoaktif bileşikler—özellikle fenolik bileşikler ve triterpenoidler—diyet kaynaklı fitokimyasallar ile sağlık çıktıları arasındaki karmaşık ve çok katmanlı ilişkileri açık biçimde ortaya koymaktadır. Son yıllarda elde edilen moleküler düzeydeki bulgular, bu bileşiklerin başta inflamasyonun düzenlenmesi, insülin duyarlılığının artırılması ve kanserden korunma mekanizmaları olmak

üzere çeşitli biyolojik süreçler üzerindeki yararlı etkilerine ilişkin önemli bilgiler sunmaktadır.

Bununla birlikte, özellikle bu bileşiklerin insanlardaki biyoyararlanımı, metabolizması ve farmakokinetiği konularında hâlen önemli bilgi boşlukları bulunmaktadır. Gelecek çalışmaların, bu sınırlılıkları gidermeye odaklanarak klinik düzeydeki etkileri daha kapsamlı biçimde aydınlatması ve farklı biyoaktif bileşenler arasındaki olası sinerjik veya antagonistik etkileşimleri değerlendirmesi gerekmektedir. Elma tüketimiyle ilişkilendirilen sağlık iddialarının sağlam biçimde doğrulanabilmesi ve bu bilgilerin kanıta dayalı beslenme önerilerine dönüştürülebilmesi için uzunlamasına kohort çalışmaları ve iyi tasarlanmış klinik denemeler kritik öneme sahiptir.

KAYNAKÇA

- André, C. M., Greenwood, J. M., Walker, E. G., Rassam, M., Sullivan, M., Evers, D., ... & Laing, W. A. (2012b). Anti-inflammatory polyphenols and their concentrations in commercial fruit products and contributions to health: a review. *Food & Function*, 3(6), 577–587.
- André, C., Greenwood, J., Walker, E., Rassam, M., Sullivan, M., Evers, D., ... & Laing, W. (2012a). Anti-inflammatory procyanidins and triterpenes in 109 apple varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(42), 10546–10554.
- André, C., Larsen, L., Burgess, E., Jensen, D., Cooney, J., Evers, D., ... & Laing, W. (2013). Unusual immuno-modulatory triterpene-caffeates in the skins of russeted varieties of apples and pears. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(11), 2773–2779.
- Anet, E. F. L. J. (1963). Superficial scald, a functional disorder of stored apples: V. Oxidation of α -farnesene. *Australian Journal of Biological Sciences*, 16(4), 757–767.
- Asma, U., Morozova, K., Ferrentino, G., & Scampicchio, M. (2023). Apples and apple by-products: antioxidant properties and food applications. *Antioxidants*, 12(7), 1456.
- Awad, M. A., de Jager, A., & van Westing, L. M. (2000). Flavonoid and chlorogenic acid levels in apple fruit: characterisation of variation. *Scientia Horticulturae*, 83(3–4), 249–263.
- Ayeleso, T., Matumba, M., & Mukwevho, E. (2017). Oleanolic acid and its derivatives: biological activities and therapeutic potential in chronic diseases. *Molecules*, 22(11), 1915.
- Balcı, G., Özyalın, S., & Çoban, G. A. (2023). Dışsal Triptofan Uygulamasının Böğürtlende Bazı Biyokimyasal ve Meyvelerinin Kalite Kriterleri Üzerine Etkileri. *Bozok Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 2(1), 31–40.
- Bohn, T., & Bouayed, J. (2020). Apples: an apple a day, still keeping the doctor away?'. In *Nutritional composition and antioxidant*

- properties of fruits and vegetables* (pp. 595-612). Academic Press.
- Bondonno, N. P., Bondonno, C. P., Ward, N. C., Hodgson, J. M., & Croft, K. D. (2020). The cardiovascular health benefits of apples: Whole fruit vs isolated compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 202–215.
- Butkevičiūtė, A., Janulis, V., & Kviklys, D. (2022). Triterpene content in flesh and peel of apples grown on different rootstocks. *Plants*, 11(9), 1247.
- Cheyrier, V., Comte, G., Davies, K. M., Lattanzio, V., & Martens, S. (2013). Plant phenolics: recent advances on their biosynthesis, genetics, and ecophysiology. *Plant physiology and biochemistry*, 72, 1-20.
- Crozier, A., Jaganath, I. B., & Clifford, M. N. (2009). Dietary phenolics: chemistry, bioavailability and effects on health. *Natural product reports*, 26(8), 1001-1043.
- Dewick, P. M. (2002). *Medicinal natural products: a biosynthetic approach*. John Wiley & Sons.
- Du, X., Song, M., Baldwin, E. A., & Rouseff, R. (2020). Identification of aroma-active compounds in fresh apples using GC-olfactometry and GC-MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(47), 13861–13873.
- Elshafie, H. S., Camele, I., & Mohamed, A. A. (2023). A comprehensive review on the biological, agricultural and pharmaceutical properties of secondary metabolites based-plant origin. *International journal of molecular sciences*, 24(4), 3266.
- Erdmann, J., Kujaciński, M., & Wiciński, M. (2021). Beneficial effects of ursolic acid and its derivatives—focus on potential biochemical mechanisms in cardiovascular conditions. *Nutrients*, 13(11), 3900.
- Faria, E., Shabudin, S., Cláudio, A., Válega, M., Domingues, F., Freire, C., ... & Freire, M. (2017). Aqueous solutions of surface-active ionic liquids: remarkable alternative solvents to improve the solubility of triterpenic acids and their extraction from biomass. *Acs Sustainable Chemistry & Engineering*, 5(8), 7344-7351.

- Geană, E., Ciucure, C., Ionete, R., Ciocârlan, A., Arîcu, A., Ficăi, A., ... & Andronescu, E. (2021a). Profiling of phenolic compounds and triterpene acids of twelve apple (*Malus domestica* borkh.) cultivars. *Foods*, 10(2), 267.
- Geană, E.-I., Iordache, A.-M., Ionete, R. E., Marinescu, A., & Radu, G. L. (2021b). Screening of phenolic compounds in apple juices and their role in authenticity assessment. *Food Control*, 124, 107911.
- Gershenzon, J., & Dudareva, N. (2007). The function of terpene natural products in the natural world. *Nature chemical biology*, 3(7), 408-414.
- Gumul, D., Ziobro, R., Gumul, M., & Korus, J. (2021). Polyphenolic content and antioxidant properties of apple pomace as a potential source of bioactive food ingredients. *Foods*, 10(6), 1322.
- Güney, M., & Ergün, Z. (2023). Şeftalide sekonder metabolitler profili. In A. Endes & S. Aras (Eds.), *Şeftali yetiştiriciliği, hastalık ve zararlıları* (Bölüm XIII, pp. 241–257). Iksad Publications.
- Hammad, M., & Malik, A. (2021). *A review on medicinal uses of Tuffah (Malus domestica Borkh) in Unani medicine*. International Journal of Unani and Integrative Medicine, 5(2), 21–26.
- He, X. and Liu, R. (2008). Phytochemicals of apple peels: isolation, structure elucidation, and their antiproliferative and antioxidant activities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(21), 9905-9910.
- He, X., & Liu, R. H. (2007). Triterpenoids isolated from apple peels have potent antiproliferative activity and may be partially responsible for apple's anticancer activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(11), 4366–4370.
- Hyson, D. A. (2011). A comprehensive review of apples and apple components and their relationship to human health. *Advances in nutrition*, 2(5), 408-420.
- Kim, H., Ramirez, C., Su, Z., & Kong, A. (2016). Epigenetic modifications of triterpenoid ursolic acid in activating nrf2 and blocking cellular transformation of mouse epidermal cells. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 33, 54-62.

- Ko, D. and Ku, K. (2022). Effect of anti-obesity and antioxidant activity through the additional consumption of peel from 'fuji' pre-washed apple. *Foods*, 11(4), 497.
- Ko, Y. J., & Ku, S. K. (2022). Epicatechin attenuates inflammation and oxidative stress via regulation of signaling pathways: A review. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 145, 112442.
- Koutsos, A., Tuohy, K. M., & Lovegrove, J. A. (2015). Apples and cardiovascular health—is the gut microbiota a core consideration?. *Nutrients*, 7(6), 3959-3998.
- Kumar, M., Barbhai, M. D., Esatbeyoglu, T., Zhang, B., Sheri, V., Dhumal, S., ... & Lorenzo, J. M. (2022). Apple (*Malus domestica* Borkh.) seed: A review on health promoting bioactivities and its application as functional food ingredient. *Food Bioscience*, 50, 102155.
- Liaudanskas, M., Viškelis, P., Jakštas, V., Raudonis, R., Kviklys, D., Milašiūnaitė, L., & Janulis, V. (2014). Application of an optimized HPLC method for the detection of various phenolic compounds in apples from Lithuanian cultivars. *Journal of Chemistry*, 2014, Article ID 542121.
- Mahmoud, M. F., Abdo, W., Nabil, M., Drissi, B., El-Shazly, A. M., Abdelfattah, M. A., & Sobeh, M. (2023). Apple (*Malus domestica* Borkh) leaves attenuate indomethacin-induced gastric ulcer in rats. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 160, 114331.
- Matich, A., & Rowan, D. (2007). Pathway analysis of branched-chain ester biosynthesis in apple using deuterium labeling and enantioselective gas chromatography–mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(7), 2727-2735.
- Miura, T., Chiba, M., Kasai, K., Nozaka, H., Nakamura, T., Shoji, T., ... & Sato, T. (2008). Apple procyanidins induce tumor cell apoptosis through mitochondrial pathway activation of caspase-3. *Carcinogenesis*, 29(3), 585-593.
- Motalebipour, E. Z., Kafkas, S., Özongun, Ş., & Atay, A. N. (2015). Construction of dense genetic linkage maps of apple cultivars Kaşel-41 and Williams' Pride by simple sequence repeat

- markers. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39(6), 967-975.
- Nezbedova, L., McGhie, T., Christensen, M., Heyes, J., Nasef, N. A., & Mehta, S. (2021). Onco-preventive and chemo-protective effects of apple bioactive compounds. *Nutrients*, 13(11), 4025.
- Oh, Y., Min, J., Ryoo, G., Park, J., Chun, S., Han, S., ... & Lee, W. (2017). Inhibitory effects and duration of structurally related pentacyclic triterpenoids on the activity of the hepatic influx transporter organic anion transporting polypeptide 1b3 (oatp1b3). *The Faseb Journal*, 31(S1).
- Özyalın, S., & Yaman, C. (2023). Tıbbi Adaçayı (*Salvia officinalis*)'nın İn vitro Çoğaltımı Üzerine Temel Besin Ortamlarının ve Büyüme Düzenleyici Tiplerinin Etkisi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 26(3), 600-609.
- Palazón, J., Navarro-Ocaña, A., & Cusidó, R. M. (2025). Bioactive phenolic metabolites in food plants: New insights into classification and function. *Journal of Natural Product Research*, 39(1), 45–68.
- Patocka, J., Bhardwaj, K., Klimova, B., Nepovimova, E., Wu, Q., Landi, M., ... & Wu, W. (2020). *Malus domestica*: A review on nutritional features, chemical composition, traditional and medicinal value. *Plants*, 9(11), 1408.
- Peana, A. T., D'Aquila, P. S., Panin, F., Serra, G., Pippia, P., & Moretti, M. D. L. (2002). Anti-inflammatory activity of linalool and linalyl acetate constituents of essential oils. *Phytomedicine*, 9(8), 721-726.
- Petkova, N., Bileva, T., Valcheva, E., Dobrevska, G., Grozeva, N., Todorova, M., ... & Попов, B. (2023). Non-polar fraction constituents, phenolic acids, flavonoids and antioxidant activity in fruits from florina apple variety grown under different agriculture management. *Natural and Life Sciences Communications*, 22(1).
- Root, M., Petroski, W., McCullen, L., Lambiase, S., Wilson, B., & Joyner, R. (2022). A simplified HPLC-UV method for the analysis of triterpenoid acids from heritage apples (*Malus*

- domestica*) from western North Carolina, USA. *Bioactive Compounds in Health and Disease*, 5(4), 84. <https://doi.org/10.31989/bchd.v5i4.914>
- Šic Žlabur, J., Voća, S., Dobričević, N., Pliestić, S., Galić, A., & Novak, B. (2013). Nutritional composition of different varieties of apple purees sweetened with green and white stevia powder. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 78(1), 57-63.
- Suleria, H. A. R., Barrow, C. J., & Dunshea, F. R. (2021). An overview of apple polyphenols and their therapeutic potential. *Plants*, 10(1), 41.
- Szymczak, K., Zakłos-Szyda, M., Mietlińska, K., Eliašová, A., Jodłowska, I., Gruľová, D., ... & Bonikowski, R. (2024). Old apple cultivars as a natural source of phenolics and triterpenoids with cytoprotective activity on Caco-2 and HepG2 cells. *Foods*, 13(7), 1014.
- Valdez, D., Antunes-Ricardo, M., Martínez-Ávila, M., & Guajardo-Flores, D. (2023). Potential role of oleanolic and ursolic acids from food and plant materials as natural ingredients for the cosmetic industry: a review. *Acs Food Science & Technology*, 3(4), 576-591. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.2c00319>
- Viškelis, J., Uselis, N., Liaudanskas, M., Lanauskas, J., Bielicki, P., Univer, T., ... & Kviklys, D. (2019). Location effects across northeastern europe on bioactive compounds in apple fruit. *Agricultural and Food Science*, 28(2).
- Vranová, E., Coman, D., & Gruissem, W. (2013). Network analysis of the MVA and MEP pathways for isoprenoid synthesis. *Annual review of plant biology*, 64, 665-700.
- Vrhovsek, U., Rigo, A., Tonon, D., & Mattivi, F. (2004). Quantitation of polyphenols in different apple varieties. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(21), 6532-6538.
- Wang, J., Liu, L., Qiu, H., Zhang, X., Guo, W., Chen, W., ... & Deng, W. (2013). Ursolic acid simultaneously targets multiple signaling pathways to suppress proliferation and induce apoptosis in colon cancer cells. *Plos One*, 8(5), e63872.

- Wink, M. (2003). Evolution of secondary metabolites from an ecological and molecular phylogenetic perspective. *Phytochemistry*, 64(1), 3-19.
- Woźniak, Ł., Skapska, S., & Marszałek, K. (2015). Ursolic acid—a pentacyclic triterpenoid with a wide spectrum of pharmacological activities. *Molecules*, 20(11), 20614-20641.
- Zhang, C., Wang, C., Li, W., Wu, R., Guo, Y., Cheng, D., ... & Kong, A. (2017b). Pharmacokinetics and pharmacodynamics of the triterpenoid ursolic acid in regulating the antioxidant, anti-inflammatory, and epigenetic gene responses in rat leukocytes. *Molecular Pharmaceutics*, 14(11), 3709-3717.
- Zhang, L., Ma, X., Zhang, X., Xu, Y., Zhang, X., Li, C., & Wang, Y. (2022). MdAP2-34 positively regulates apple fruit flesh flavonoid accumulation by enhancing MdMYB10 expression. *Scientia Horticulturae*, 299, 111019.
- Zhang, X., Zhao, W., Wang, Y., Xu, C., & Wang, Y. (2017a). Quercetin inhibits the proliferation and metastasis of human non-small-cell lung cancer cell line A549. *Drug Design, Development and Therapy*, 11, 739–750.
- Žibera, L., Šamec, D., Mocan, A., Bishayee, A., Farooqi, A., Sureda, A., ... & Nabavi, S. (2017). Oleanolic acid alters multiple cell signaling pathways: implication in cancer prevention and therapy. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(3), 643.

BÖLÜM III

ELMANIN DÖLLENME BİYOLOJİSİ

Doç. Dr. şenay KARABIYIK¹

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18107392>

¹Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü Adana, TÜRKİYE.
senaybehlul@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-8579-6228

1. GİRİŞ

Türkiye, dünyanın önemli elma üreticisi ülkeleri arasında ön sıralarda yer almaktadır. Ancak yetiştiriciliğinde karşılaşılan döllenme biyolojisi ile ilgili sorunlar, meyve verimini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu sorunlar ilk planda bazı genetiksel ve ekolojik nedenlerden kaynaklanmakla birlikte, yetiştiricilik sırasında yapılan bazı hatalı uygulamalar da oldukça olumsuz sonuçlar ortaya koyabilmektedir (Eti ve Karabıyık, 2014).

2. ELMADA TOMURCUK OLUŞUMU VE ÇİÇEKLENME

Elmada tomurcuklar 1-3 yaşındaki odunsu sürgünlerin uç kısmında genellikle yaprakların koltuğundaki topuzun ucunda bir önceki yaz oluşur (Şekil 1a). Tomurcuklar, karışık tomurcuk olmaları nedeniyle hem yaprak hem de çiçek taslaklarını barındıracak şekilde bulunurlar. Elmalarda çiçeklenme ilkbahar aylarında gerçekleşir ve çeşitlere göre değişmekle birlikte ortalama 9 gün arasında devam edebilir. Bu süre serin bölgelerde uzamakta; sıcak, kuru veya rüzgarlı bölgelerde kısalmaktadır. Elmalarda karışık tomurcuk oluşumu söz konusu olup, bir tomurcuktan üzerinde yaprakların da bulunduğu huzme şeklinde 3-12 arasında ortalama 6 çiçek oluşur (Şekil 1b).



Şekil 1. Elmalarda Çiçeklenme **a.** Ağaç üzerinde tam çiçeklenme aşaması. **b.** Tomurcuk yapısı. (Kaynak: Karabıyık. 2025, Orijinal).

Çiçekler olgunlaştıktan sonra ilk olarak “birincil” veya “kral” tomurcuk açılır ve genellikle en seçkin meyveyi kral çiçekler verir. Herhangi bir

problem olması durumunda ise ikincil çiçekler de meyve tutabilmektedir. Çiçek huzmelerinde 1 veya nadiren 2 adet kral çiçek bulunur (Matsumoto, 2014). Kral çiçekler ile ikincil çiçekler arasında birkaç günlük bir çiçek açma süresi bulunmaktadır. Ayrıca bu çiçeklerde çiçek organlarının boyutlarının da farklılıklar gösterdiği, ikincil çiçeklerin daha küçük erkek ve dişi organa sahip olduğu belirtilmiştir (Güleryüz ve Ülkümen, 1972). Kral çiçeklerin tozlanıp döllemesinin ardından ikincil çiçeklerini döken çeşitler de bulunur (McGregor, 1976). Bu tip durumlarda kral çiçeklerin meyve tutumunun garanti edileceğinden emin olunmalı ya da partenokarpiye eğilim olması durumunda bitkinin hormonlarla desteklenmesi gerekmektedir (Watanabe ve ark., 2008).

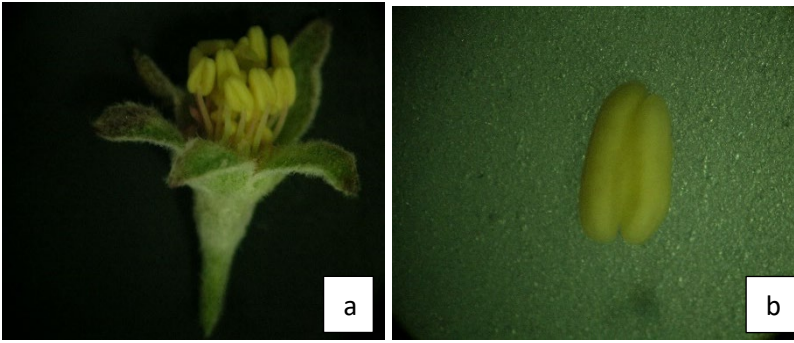
3. ELMADA ÇİÇEK YAPISI

Elma çiçeklerinde 5 adet tüylü yeşil çanak yaprak bulunur (Şekil 2a). Çanak yapraklar meyve olgunlaştıktan sonra çiçek çukurunda kuruyup kıvrılarak dökülmeden kalmaktadır. Çiçeğin ikinci halkası olan taç yapraklar ise iri, gösterişli, pembe-beyaz renklindedir (Şekil 2b). Taç yapraklarda beyaz renk oluşumu çiçek olgunlaştıkça artmakta ve çeşitlere göre değişmekle birlikte alacalı bir renk almaktadır.

Taç yaprakların bağlandığı kısmın hemen içinde erkek organ halkası bulunur. Bir elma çiçeğinde 15-25 adet erkek organ bulunmaktadır. Elmada erkek organlar kısa ve dik bir filament üzerinde bulunan irice bir anter şeklindedir (Şekil 3a). Anterler böceklerle tozlanan diğer türlere nazaran daha iri yapılı olup teka ve lokulusları oldukça belirgindir (Şekil 3b). Elma çiçeklerinde filament uzunluğu, dişi organ uzunluğu ve heterostili durumları çeşit belirlemede önemli parametrelerdir (Güleryüz ve Ülkümen, 1972).



Şekil 2. Elmada Çanak ve Taç Yapraklar. **a.** Balon aşamasındaki bir elma çiçeğinin tüylü çanak yaprakları. **b.** Çanak ve taç yaprakların çiçek tablasına bağlantı durumları. (Kaynak: Karabıyık. 2025, Orijinal).



Şekil 3. Elmada Erkek Organlar. **a.** Erkek organ dizilimi ve yapısı. **b.** Anterlerdeki belirgin tekalar. (Kaynak: Karabıyık. 2025, Orijinal).

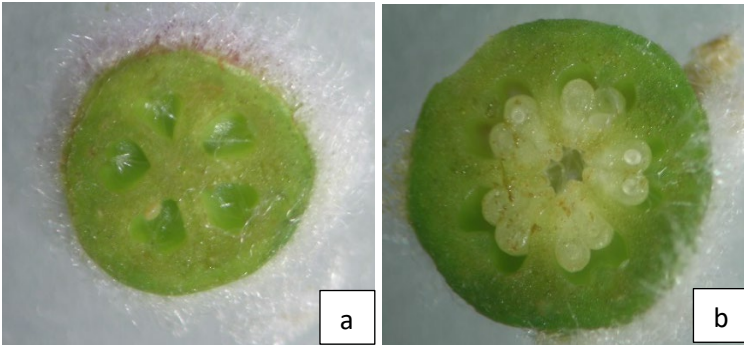
Her çiçekte 1 adet dişi organ bulunmaktadır. Dişi organda 5 tepelik ve 5 dişi borusu vardır. 5 dişi borusu yumurtalığa yakın noktadan itibaren aşağı doğru kaynaşarak birleşir ve tek bir dişi organ oluşturur (Şekil 4a). Dişi borusu bazı çeşitlerde ayrı ayrı da kalabilmektedir. Yumurtalık alt durumda olup çiçek tablası içerisinde gömülü durumdadır (Şekil 4b)

Yumurtalık çok odacıklı parakarp yumurtalık yapısında olup karpel sayısı genellikle 5 adettir (Şekil 5a). Bazı durumlarda karpel sayısı 4 olan çeşitlerle de karşılaşılabilir (Şekil 5a). Her karpelde ikişer tohum taslağı bulunur (Şekil 5b). Yumurtalıktaki her bir karpel ayrı birer dişi borusu

borusuna aittir. Bu durumda her karpelde yeterli miktarda tohum oluşabilmesi için her stigmanın ayrı ayrı tozlanması gerekmektedir.



şekil 4. Elmada Dişi Organ Yapısı. **a.** Elmada 5 stil ve stigmanın oluşumu. **b.** iek tablası içerisinde gömülü dişi organ. (Kaynak: Karabıyık. 2025, Orijinal).

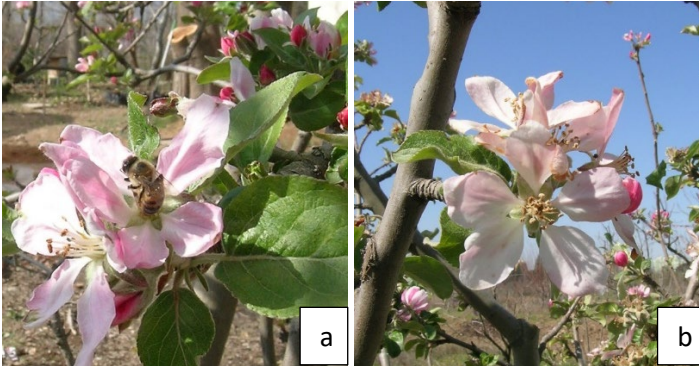


şekil 5. Elmanın Karpel Yapısı ve Tohum Taslakları. **a.** ok odacıklı parakarp yumurtalık. **b.** Tohum taslaklarının dizilimi. (Kaynak: Karabıyık. 2025, Orijinal).

4. TOZLANMA, ÇİÇEK TOZU KALİTESİ VE MEYVE OLUşUMU

Elmada tozlanma böceklerle, özellikle bal arıları ile olmaktadır (şekil 6a). Elma çiçeğinde böcekleri çekmek için petallerdeki hoş kokunun yanında erkek organ tabanı ile dişicik borusu arasında bol miktarda nektar

salgılanmaktadır. Nektarın söz konusu bölgede bulunması ve anterlerin de dağınık olmaması arıların dişi borusuna mutlaka dokunmasını sağlamaktadır (Şekil 6b). Nektar yaklaşık %63 oranında şeker içeriği ile arıları kendine çekebilmektedir (Smessaert ve ark., 2016). Polen ve nektar ayrıca arılar için değerli bir nektar olup özellikle ilkbahar balı oluşumunu desteklemekte çok faydalı bir yapıdadır (McGregor, 1976).



Şekil 6. Elmada tozlanma. **a.** Elma çiçeğinde arı faaliyeti. **b.** Çiçeğe nektar saklayacak erkek organ dizilimi. (Kaynak: Karabıyık. 2025, Orijinal).

Arı faaliyeti en yüksek sabah saatlerinde görülmektedir. Ancak çiçeklenme döneminde hava şartlarının genelde olumsuz olması arı faaliyetini azaltır. Bu nedenle kısa süreli çiçeklenme gösteren elma ağaçlarında arı faaliyetini artırmak için ek arı kovanları, arıları cezbedecek bitkilere yer verilmesi veya arı otelleri kullanılması önerilmektedir (Karabıyık ve İmrak, 2023). Tozlanmada arılar ve özellikle bal arıları önemli rol oynar. Tozlanmanın yeterli olması için çiçeklenme zamanında her 3 dekar bahçe için bir arı kovanının bulundurulması önerilir.

Bir anda çok fazla sayıda çiçeğin ağaç üzerinde olması nedeniyle arı faaliyetinin yüksek olması halinde bile yalnızca %5 düzeyinde meyve tutumu sağlanabilmektedir (McGregor, 1976). Elmalarda meyve oluşumu ve kalitesi tozlanma etkinliği ve dolayısıyla tohum oluşumu ile bağlantılıdır. Tohum oluşumu ile meyvede yoğun oksin birikimi sağlanır ve bu sayede meyvede

büyüme başlar (Elsysy ve ark., 2019). Elmalarda kaliteli bir meyve oluşabilmesi için 6-7 tohum oluşması gerekir. Tohum sayısının artması meyvenin ağaçta kalma düzeyini ve iriliğini artırmaktadır (McGregor, 1976).

Her bir çiçekteki çiçek tozu miktarının daha önce yapılan çalışmalarda 29 187 ile 104 125 arasında olduğu belirtilmiş olup (Bolat ve Alumur, 1997; Boyacı ve ark., 2022), çiçek tozu canlılık düzeylerinin %21,89 ile %77,73 (Aşkın ve ark., 2006; Karabıyık ve Çağlar, 2023) düzeyinde iken, çimlenme düzeylerinin iklim ve bakım koşullarının durumuna göre %54,32 ile %90,38 arasında değiştiği bildirilmiştir (Eti ve ark., 1998; Karabıyık ve Çağlar, 2023). Elmalarda bol miktarda ve kaliteli çiçek tozu oluşumu kendine uyumsuzluk özelliği bulunan çiçeğin yabancı tozlanabilme kapasitesini artıracak şekilde evrimleşmiştir. Elmalarda böylece meyve tutumunu garanti edilmektedir.

Elmalar soğuk koşullarda çiçeklenmekle birlikte dona karşı hassastır. Yapılan çalışmalar tozlanmış çiçeklerin dondan daha az zarar gördüğünü göstermektedir. Bu nedenle, elmalarda çiçeklenme döneminde en yüksek düzeyde tozlanmanın sağlanması ile bir nebze de olsa meyvelerin dondan korunabilmesine yardımcı olunmalıdır. Ancak, elverişli koşullar oluşması durumunda yüksek tozlanma nedeniyle oluşacak aşırı meyve tutumu olması durumunda ise meyvelerde seyreltme uygulamaları yapılması gerekmektedir (Elsysy ve ark., 2019).

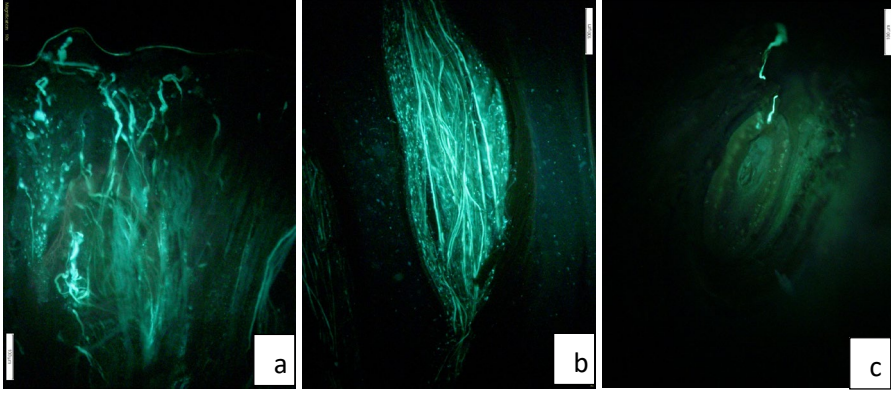
Elmalarda bahçe içerisine tozlayıcı yerleştirmesi sırasında her 3 sıranın 3. bitkisini tozlayıcı olarak kullanmak yani 9:1 dikim sistemi kullanmak gerekmektedir. Böylece her ana bitki bir tozlayıcı yanında bulunacaktır. Bu şekilde oluşturulacak bir bahçe teksel ağaçlarda meyve tutumu için yeterli bir düzendir. Sık dikim yapılan ve çit şeklinde yetiştiricilik sistemi kullanılan bahçelerde ise tozlayıcının bir sıra halinde yapılması arıların sıralar üzerinde gezinmesine neden olduğundan bunun yerine sıra üzerinde tozlayıcılar yerleştirilmesi önerilir. Bu şekildeki yetiştiricilikte meyvelerin aynı dönemde ve aynı renkte olgunlaşması durumunda hasatta zorluklar oluşacaktır. Bu gibi

durumlarda da ağaç yapısı daha farklı (dik, küçük, koni şeklinde) olan tozlayıcılar seçilmeli ve böylece paketlemede bir örnekliğin garanti edilmesi gerekmektedir (McGregor, 1976).

5. ETKİLİ TOZLANMA PERİYODU VE ÇİÇEK TOZU ÇİM BORUSU BÜYÜMESİ

Etkili tozlanma periyodu bitkilerde meyve tutumunu sınırlandıran en önemli faktörlerden biridir. Etkili tozlanma periyodu ilk olarak Williams tarafından ortaya atılmış ve dişik tepesinin (stigma) reseptiflik durumu, çiçek tozu çim borusu büyüme hızı ve ovül canlılık süresinin birlikte hareket ettiğini ve sürenin tohum taslağı canlılık süresinden tozlanma ve döllenme arasında geçen sürenin çıkarılması şeklinde hesaplandığı belirtilmiştir (Sanzol ve Herrero, 2001). Bu kapsamda elmalarda yapılan çalışmalarda etkili tozlanma periyodunun 1-12 gün arasında değiştiği ve sürenin çevre koşulları ile doğrudan ilişkili olduğu belirtilmiştir (Hedhly ve ark, 2005; Serra ve ark., 2022). Elmalarda çiçek tozu çim borusu gelişiminin kombinasyonlara bağlı olarak 1-3 hafta devam edebildiği söylenebilir (Paprestein ve Blazek, 1996; Matsumoto, 2014; Karabıyık ve Çağlar, 2023). Dişik tepesine ulaşan çiçek tozları her ne kadar hızlıca çimlenerek (Şekil 7a), uyumsuzluk olmadığı durumlarda stil içerisinde yoğun bir düzeyde ilerlemeye başlasa (Şekil 7b) da çiçek tozu çim borusu büyüme aralığı nispeten uzun olduğundan, döllenme başarısını artırmak için tohum taslağı ömrünün de uzun olması gerekmektedir.

Elmalarda etkili tozlanma periyodunu kısıtlayan en önemli faktörün çiçek tozu çim borusu uzama hızının yavaş olduğu durumda tohum taslağının canlılığını kaybetmesi olduğu söylenebilir. Bu gibi durumlarda tohum taslağının canlılık süresini artıracak azot kullanımı (Williams, 1965) veya putresin uygulaması yapılması (Crisosta ve ark.,1992; Karabıyık ve Çağlar, 2023) gibi ek uygulamalar önerilmektedir.



Şekil 7. Elmalarda Çiçek Tozu Çim Borusu Gelişimi. **a.** Çiçek tozlarının dişiçik tepesinde çimlenmesi ve dişiçik borusuna girişi. **b.** Çiçek tozu çim borularının yoğun bir şekilde dişiçik borusu boyunca uzaması. **c.** Putresin uygulaması sonucunda tozlamadan sonraki 14. günde çiçek tozu çim borusunun tohum taslağına penetrasyonu. (Kaynak: Karabıyık ve Çağlar, 2023).

Elmalarda stigma sıvısının salgılanmasında kral çiçekler ve yan çiçekler arasında farklılıklar vardır. Yapılan çalışmalar bir salkımdaki kral çiçeklerin antezis aşamasında yoğun stigma sıvısı ile kısa süreliğine reseptif olduğunu, lateral çiçeklerin ise kral çiçeklerin tozlanmasından sonraki üçüncü günden başlayarak daha düşük bir stigma sıvısı ile daha kısa süreliğine reseptif olduğunu göstermiştir (Losada ve Herrero, 2013; Matsumoto, 2014; Serra ve ark., 2022). Bu durum kral çiçeklerin daha hızlı ve daha etkin tozlanmasını ve sonuçta daha iri meyvelerin olması durumunu da açıklamaktadır.

6. EŞEYSEL UYUŞMAZLIK

Elmalarda eşeyssel uyumsuzluğun varlığı ilk olarak 1895 yılında Waite tarafından ortaya atılmış olup söz konusu durum günümüzde de elmalar için önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle bahçe kurarken çeşidin eşeyssel uyumsuzluk durumu göz önünde bulundurulmalı ve uygun tozlayıcı çeşitler ile birlikte dikim yapılmalıdır.

Elmada görülen eşeysel uyumsuzluk gametofitik eşeysel uyumsuzluktur. Bu uyumsuzluk tipinde tozlanma gerçekleştikten sonra stigma üzerine ulaşmış olan çiçek tozu uyumsuzluk alleli (S allelleri) ile dişi organın S allelleri arasında bir benzeşme var ise çiçek tozu çim borusu büyümesi stil içerisinde durdurulur. Elmada eşeysel uyumsuzluk esnasında S-RNase geni ve F-box genleri pistil ve polen faktörleri olarak görev yapar. Sistemde stildeki S-RNase'ların kendinden olmayan proteinlerin F-box proteinleri tarafından tanınırken, kendinden olan proteinleri tanımayan bir yapı sergilenmekte ve bu olay uyumsuzluk durumunu belirler (Karataş ve ark., 2023; Wu ve ark., 2024). Yapılan çalışmalar sonucunda elmalarda kendine uyuşur, kendine yarı uyuşur ve kendine uyuşmaz çeşitlerin olduğu bildirilmiştir.

Elmada eşeysel uyumsuzluk allelleri 600'den fazla çeşitte yapılan çalışmalar ile belirlenmiş olup, çalışmalar sonucunda elde edilen veriler Excell makro dosyasında (<http://www.agr.nagoya-u.ac.jp/~hort/apple/>) bir kütüphane düzeninde Dünya kullanımına açılmıştır (Matsumoto, 2014). Dosya çeşitlerin her bir çeşidin uyumsuzluk allellerini göstermektedir. Ülkemizde yetiştirilmekte olan 192 farklı elma çeşidinin eşeysel uyumsuzluk durumları ve S allel dağılımları da Karataş ve ark. (2023) tarafından detaylı bir şekilde sunulmuştur.

7. PARTENOKARPIYE EĞİLİM

Partenokarpi, tohumuz meyve oluşumu ile sonuçlanan, meyvenin kendi iç hormonal düzeyinin yüksek olması ile ilgili bir durumdur. Elmalarda partenokarpik meyve oluşumu daha önce Watanabe ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışmalarda belirtilmiş olup, dünyada yoğun bir şekilde yetiştiriciliği yapılan Summerred, Liberty, Elstar ve Fiesta gibi bazı elma çeşitlerinde partenokarpik meyve oluşturma eğilimi bildirilmiştir. Elmada bulunan partenokarpi, uyarılı/stimulatif partenokarpi şeklindedir. Ayrıca triploid çeşitlerde de yine aynı yolla partenokarpik meyveler oluşmaktadır.

Elmalarda oluşan partenokarpik meyvelerde yapılan çalışmalarda meyvenin kaliks bölgesinden salgılanan özellikle giberellin ve sitokinin hormonlarında artış olduğu tespit edilmiştir (Watanabe ve ark., 2008). Partenokarpik meyve oluşumunu teşvik etmek adına elmalarda tozlanma etkinliğinin azaltma ve giberellik asit gibi hormonlarla destek sağlama gibi yöntemler uygulanmaktadır. Ayrıca, tozlanmanın bir şekilde sekteye uğradığı koşullarda da hormon kullanımı önerilebilir.

8. MEYVE GELİŞİMİ

Meyvede dış kabuk ekzokarptan, meyve eti mezokarp ile çiçek tablasının kaynaşarak oluşturdukları ortak dokudan, tohumların etrafındaki kıkırdaksı yapılı ince tabaka ise endokarptan meydana gelir. Bu durumda, elmalarda ‘yalancı meyve’ oluşumu görülür. İyi döllenmiş bir elmada 10 taneye kadar tohum bulunmasına karşın düzgün şekilli ve çeşide özgü irilik için meyve içerisinde 5-7 adet tohum bulunması gerekir.

Elmalarda meyve gelişimi ve şekli meyvenin tozlanma ve döllenme durumuna göre farklılık göstermektedir. Elma çiçeklerindeki karpellerin her birinin bir dişi borusu ve dolayısıyla ayrı birer stigmaya bağlı oldukları çiçek yapısı konusu başlığı altında anlatılmıştı. Bu durum nedeniyle stigma üzerine ulaşan çiçek tozunun herhangi bir şekilde tohum taslağına ulaşamaması gibi koşullarda söz konusu karpeldeki tohum taslakları döllenemeyecektir. Meyve oluşum mekanizması göz önünde bulundurulduğunda, döllenmeyen tohum taslaklarını barındıran alanda hormon üretimi yetersiz kalarak söz konusu bölgeye su ve besin maddelerinin çekilmesi mümkün olmayacaktır. Böyle bir durumda örneğin 3 tohumlu bir elmada 3’ü de aynı yüzeyde ise o yüzey iyi, öteki yüzey zayıf gelişecek ve şekil bozukluğu görülebilecektir.

Partenokarpiye eğilimli ağaçlarda da partenokarpik meyvelerin tohumlulara nazaran daha küçük boyutlarda olduğu bilinmektedir.

9. MEYVE TUTUMU VE DÖKÜMLER

Elmalarda meyve tutumu böceklerle tozlanma ve dölleme sonrasında tohumlu, uyartılı partenokarpi yoluyla partenokarpik, triploid çeşitlerin varlığı sayesinde yine uyartılı partenokarpik ve yetersiz tozlanma koşullarda bitki gücüne bağlı olarak fakültatif partenokarpik meyve tutumu gerçekleşebilmektedir (Watanabe ve ark., 2008; Elsysy ve ark., 2019). Elmalarda özellikle kral çiçeklerden elde edilen meyveler oldukça kalitelidir. Bunun yanında ikincil çiçeklerin de döllenenek meyve tutma kapasitesi bulunmaktadır.

Bir bitki üzerindeki oluşan çiçeklerin yaklaşık %5'inin meyveye dönüşmesi ile ekonomik anlamda bir meyve yetiştiriciliği olduğu düşünülmektedir. Bu oranın altında veya üzerinde meyve seyreltmesi (Elsysy ve ark., 2019), iyi bakım koşullarını sağlama gibi işlemler ile desteklenmesi gerekmektedir.

Elmalarda meyve dökümleri özellikle çiçeklenmeden hemen sonra ve haziran ayında gerçekleşmekte olup dökülen meyveler ya bitkilerin beslenme kapasitesi düşük olmasından kaynaklanmakta ya da tohum sayısı az olan meyvelerden yana olmaktadır (Güleryüz ve Ülkümen, 1972).

10. BAHÇE KURARKEN DÖLLENME BİYOLOJİSİ AÇISINDAN DİKKAT EDİLMESİ GEREKENLER

Ticari yetiştiriciliği yapılan elmalar genellikle soğuklama ihtiyacı yüksek çeşitlerden oluşmaktadır. Bu da elmanın yeterli bir çiçeklenme sağlanabilmesi için daha çok ülkenin karasal iklimin hakim olduğu kısımlarında yetiştirilebilmesine olanak sağlar. Bu bölgelerde çiçeklenme döneminde meydana gelen yüksek ve düşük sıcaklıklar, uzun süren yağışlar, yüksek ve düşük hava nemi, şiddetli rüzgarlar ve ultraviyole ışınlarının yoğunluğu, dölleme olayını önemli ölçüde olumsuz etkileyebilen ve dolayısıyla rekolteyi de oldukça düşüren iklim olaylarıdır (Eti ve Karabıyık,

2014). Bu nedenle, bahçe kurarken tüm bu olumsuz koşulları ekarte etmeyi sağlamaya dikkat edilmelidir. Bahçe kurarken dölleme biyolojisi açısından iklim dışında dikkat edilmesi gereken diğer konular aşağıda özetlenmiştir.

Elma çiçeklerinde tozlanma böceklerle olur. Bu nedenle bahçe içerisinde yeterli miktarda arı kovası bulundurulması, gerekli olduğunda bahçe içerisine böcek çekmekte başarılı olan lavanta vb. bitkiler yerleştirilmelidir. Eşeyssel uyumsuzluk durumunda arı faaliyeti artırılmalı, partenokarpik meyve hedeflenmesi durumunda ise arı etkinliğinin azaltılması gerekir.

Elmalarda kendine uyumsuzluk oldukça yaygındır. Bu durumda mutlaka başka bir tozlayıcı çeşidin çiçek tozlarına ihtiyaçları vardır. Bu nedenle bahçe kurulurken iyi bir çeşit karışımı yapılmalıdır. Çeşit karışımı yaparken, tercih edilen ana çeşit için en uygun tozlayıcı çeşitlerin hangileri olduğu iyi bilinmelidir. Elma çeşitleri genelde diploid ($2n=34$) olmakla birlikte, bazı çeşitler triploittir ($2n=3x=51$) (Matsumoto, 2014). Tozlayıcı seçimi yaparken triploid çeşitler tercih edilmemelidir.

Tozlayıcılara karar verilirken ana çeşit ile aynı dönemde açan çiçeklerin kullanılmasına da dikkat edilmelidir. Bununla birlikte, tozlayıcıların bahçe içerisinde yeterli düzeyde ve yeterli aralıklarla bulunmasına dikkat edilmelidir.

Elmada tohum taslağı canlılık süresi çoğu zaman meyve yetiştiriciliğini kısıtlamaktadır. Bu durumda çeşitlerin tohum taslağı canlılık süreleri bilinmeli ve gerekli olduğu durumlarda azot, putresin gibi uygulamalar yapılması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- Aşkın, M. A., Öztürk, G., Sarısu, H. C., & Karakuş, A. (2006). Bazı yeni elma çeşitlerinde uygun tozlayıcı çeşidin ve kendine verimlilik durumunun belirlenmesi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 1(1), 64-73.
- Bolat, İ. & Alumur, Ü.G. (1997). Çoruh vadisinde yetiştirilen elma çeşitlerinin döllenme biyolojilerinin incelenmesi, *Yumuşak Çekirdekli Meyveler Sempozyumu*, 2-5 Eylül, Yalova, s: 91-98.
- Boyacı, S., Sütyemez, M., & Ay, Y. (2022). Bazı Yeni Elma Çeşitlerinde Çiçek Tozu Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 9(3), 682-688.
- Crisosto, C., Garner, D., Sibbett, S. and Day, K. (1992). Maturity studies on Asian pear. *Central Valley Postharvest Newsletter* 1, 1-3
- Elsysy, M., Serra, S., Schwallier, P., Musacchi, S., & Einhorn, T. (2019). Net enclosure of ‘Honeycrisp’ and ‘Gala’ apple trees at different bloom stages affects fruit set and alters seed production. *Agronomy*, 9(9), 478.
- Eti, S., & Karabıyık, Ş. (2014). Fertilization Biology Problems of Cherries and Apples in Turkey. *New Approaches in Apple and Cherry Growing and Breeding Techniques*, 94.
- Eti, S., Kaşka, N., Küden, A., & Ilgın, M. (1998). Bazı yazlık elma çeşitlerinin döllenme biyolojileri üzerinde araştırmalar. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 22, 111-116.
- Güleryüz, M., & Ülkümen, L. (1972). Erzincan'da Yetiştirilen Bazı Önemli Elma ve Armut Çeşitlerinin Pomolojileri ile Döllenme Biyolojileri Üzerinde Araştırmalar. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3(3).
- Hedhly, A., Hormaza, J. I., & Herrero, M. (2005). Influence of genotype-temperature interaction on pollen performance. *Journal of evolutionary biology*, 18(6), 1494-1502.
- Karabıyık, Ş., & Çağlar, A. B. (2023) Effect of Putrescine on Pollen Quality and Pollen Tube Growth of Apple. *9th International Horticultural Congress Proceedings Book*, 54.
- Karabıyık, Ş. & İmrak, B. (2023). Kirazda Döllenme Biyolojisi. In: Kiraz. Ed. Hakan Keleş, Murat Güney. İKSAD Yayınevi.
- Karataş, M. D., Hazrati, N., Özmen, C. Y., Hasanzadeh, M., Altıntaş, S., Akçay, M. E., & Ergül, A. (2023). Identification of Self Incompatibility

- (S) Alleles in Turkish Apple Gene Sources using Allele-specific PCR. *Journal of Agricultural Sciences*, 29(1), 287-297.
- Losada, J. M., & Herrero, M. (2013). Flower strategy and stigma performance in the apple inflorescence. *Scientia Horticulturae*, 150, 283-289.
- Matsumoto, S. (2014). Apple Pollination Biology for Stable and Novel Fruit Production: Search System for Apple Cultivar Combination Showing Incompatibility, Semicompatibility, and Full-Compatibility Based on the S-RNase Allele Database. *International journal of agronomy*, 2014(1), 138271.
- McGregor, S. E. (1976). Insect pollination of cultivated crop plants (No. 496). Agricultural Research Service, US Department of Agriculture.
- Papstein F. and Blazek, J. (1996). Pollination relations of new apple cultivars. II. Workshop on Pollination. *Acta Hort.* 423, 135-144
- Sanzol, J., & Herrero, M. (2001). The “effective pollination period” in fruit trees. *Scientia Horticulturae*, 90(1-2), 1-17.
- Serra, S., Roeder, S., Sheick, R., & Musacchi, S. (2022). Pistil biology of ‘WA 38’ apple and effect of pollen source on pollen tube growth and fruit set. *Agronomy*, 12(1), 123.
- Smessaert, J., Honnay, O., & Keulemans, W. (2016). Monitoring pollinator activity in an apple and pear orchard, linked with the analysis of the nectar composition. In *II International Workshop on Floral Biology and S-Incompatibility in Fruit Species 1231*, 59-66.
- Waite, M.B. 1895. The Pollination of Pear Flowers. *U.S. Dept. Agr., Div. Veg. Path. Bul.* 5, 86 pp
- Watanabe, M., Segawa, H., Murakami, M., Sagawa, S., & Komori, S. (2008). Effects of plant growth regulators on fruit set and fruit shape of parthenocarpic apple fruits. *Journal of the Japanese society for Horticultural Science*, 77(4), 350-357.
- Williams, R.R. (1965). The effect of summer nitrogen applications on the quality of apple blossoms. *J. Hort. Sci.* 40, 31-41.
- Wu, J., Nan, X., Zhang, X., Xu, W., Ma, H., Yang, Z., & Wang, C. (2024). The Identification and Analysis of the Self-Incompatibility Pollen Determinant Factor SLF in *Lycium barbarum*. *Plants*, 13(7), 959.

BÖLÜM IV

ELMADA ISLAH ÇALIşMALARı VE GÜNCEL ÇEşİTLER

Doç. Dr. Murat GÜNEY¹

Doç. Dr. Hakan KELES²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18107414>

¹ Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakóltesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Yozgat, Türkiye. murat.guney@yobu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-2882-8347

² Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakóltesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Yozgat, Türkiye. hakan.keles@yobu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-8225-931X

1. GİRİŞ

Elma (*Malus domestica* Borkh.), hem üretim hacmi hem de ekonomik değeri açısından dünya çapında en yaygın olarak yetiştirilen ılıman iklim meyve bitkilerinden biridir. Çeşitli iklim koşullarına geniş uyum yeteneği, uzun evcilleştirme geçmişi ve kapsamlı fenotipik değişkenliği, elmayı çok yıllık meyve bitkisi ıslahı için model bir tür haline getirmiştir (Janick vd., 1996; Laurens, 1998). Bununla birlikte, başarısının temelini oluşturan aynı biyolojik özellikler—yüksek heterozigotluk, kendi kendine döllemeyi önleme ve uzun süren gençlik evresi gibi—geleneksel ıslah programları için de önemli zorluklar oluşturmaktadır (Brown, 2012; Cornille vd., 2013). Bu bağlamda, çok yıllık bahçe bitkilerinde genetik iyileştirme süreçlerinin yalnızca fenotipik seçime değil, aynı zamanda fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler düzeyde varyasyonun bütüncül olarak değerlendirilmesine dayanması gerektiği giderek daha fazla vurgulanmaktadır (Güney, 2023; Özcan vd., 2024).

Genetik açıdan elma, yabani akrabalarının etkisiyle şekillenmiş karmaşık bir yapıya sahiptir ve bu durum ıslahçılar için hem bir zorluk hem de önemli bir fırsat sunmaktadır. Farklı *Malus* türlerinde bulunan genetik çeşitlilik; hastalıklara dayanıklı, iklim değişikliğine uyum sağlayabilen ve tüketicilerin kalite ile sürdürülebilirlik taleplerini karşılayabilen çeşitlerin geliştirilmesi açısından hayati öneme sahiptir (Cornille vd., 2012; Peck vd., 2010). Son yıllarda yapılan çalışmalar, bahçe bitkilerinde genetik varyasyonun yalnızca verim ve morfolojik özelliklerle sınırlı olmadığını; karbonhidrat dinamikleri, fenolik bileşik profilleri ve dokuya özgü metabolik farklılıkların da ıslah hedefleri açısından kritik olduğunu ortaya koymaktadır (Güney vd., 2023; Güney

vd., 2024). Bu tür çok düzeyli varyasyonların dikkate alınması, hem klasik ıslah stratejilerinin etkinliğini artırmakta hem de yeni nesil çeşitlerin çevresel streslere ve fizyolojik düzensizliklere karşı daha dayanıklı şekilde geliştirilmesine olanak tanımaktadır (Özcan vd., 2024).

Bu genetik kaynaklar, ıslahın etkinliğini ve uyarlanabilirliğini artırarak gelecekte geliştirilecek elma çeşitlerinin hem sürdürülebilir hem de ekonomik açıdan uygulanabilir olmasına katkı sağlamaktadır.

2. ELMA ISLAHINDA GENETİK KAYNAKLAR VE GERMPLAZMA KULLANIMI

2.1. KÜLTÜR ÇEŞİTLERİ VE YABANI MALUS TÜRLERİ

Geleneksel elma çeşitleri ile yabani *Malus* türleri, ıslah programları için temel genetik kaynakları oluşturmaktadır. Örneğin *Malus sieversii* ve *Malus baccata* gibi yabani akrabalar, ıslah çalışmalarında önemli avantajlar sunan birçok özelliğe sahiptir (Moradi vd., 2022; Hrazdina vd., 1997). Bu özellikler arasında artmış hastalık direnci, kuraklığa tolerans ve meyve kalitesinin iyileştirilmesi yer almaktadır. Özellikle *M. sieversii*, önemli bir genetik rezervuar olarak tanımlanmakta olup, elma üretiminde küresel ölçekte sorun oluşturmaya devam eden elmada karaleke (*Venturia inaequalis*) ve külleme (*Podosphaera leucotricha*) gibi hastalıklara karşı direnci kontrol eden genleri bünyesinde barındırmaktadır (Slatnar vd., 2011; Ishii vd., 2009).

Yabani *Malus* türleri, kültür elmalarında geliştirilmiş özelliklerin elde edilmesi amacıyla kullanılabilecek geniş bir genetik varyasyon sunmaktadır. *M. orientalis*'ten elde edilen morfolojik ve fenolojik özellikler; iklim değişkenliği ve gelişen tarımsal uygulamalar bağlamında giderek daha önemli hâle gelen hastalık direnci ve meyve

depolama süresi gibi özelliklerin iyileştirilmesinde ıslah programlarında değerlendirilmiştir (Cornille vd., 2012; Wearing vd., 2003).

2.2. ELMA GENETİK ÇEŞİTLİLİĞİNİN KORUNMASI VE KULLANIMI

Elma genetik çeşitliliğinin korunmasına yönelik stratejiler, hem *ex situ* hem de *in situ* yöntemleri kapsamaktadır. *Ex situ* koruma, farklı kültür çeşitleri ve yabani türlerden elde edilen tohum ve bitkisel materyallerin gen bankalarında muhafaza edilmesini içermektedir (Leser & Treutter, 2004). *In situ* yaklaşımlar ise yabani elma popülasyonlarının ve doğal habitatlarının korunmasına, ekolojik sürdürülebilirliğin sağlanmasına ve gen akışının devam ettirilmesine odaklanmaktadır. Genetik çeşitlilik, elma ıslah programlarında kritik bir unsur olup, ıslahçıların meyve kalitesini korurken yeni direnç özelliklerini kültüre alınmış çeşitlere aktarabilmesine olanak tanımaktadır (Guzu vd., 2024; Delate & Friedrich, 2004).

Islah programlarında etkin germplazma kullanımı, bu genetik kaynakların ayrıntılı biçimde karakterize edilmesini ve değerlendirilmesini gerektirmektedir. Moleküler markırlar ve genomik araçlar gibi modern tekniklerin kullanımı, yararlı özelliklerin ıslah süreçlerine sistematik biçimde entegre edilmesini sağlayarak seleksiyonun etkinliğini artırmaktadır (Peck vd., 2010; Wöhner vd., 2017).

3. ELMA ISLAHINDA AMAÇLAR

3.1. MEYVE KALİTESİ ÖZELLİKLERİ

Elma ıslahındaki temel amaçlardan biri; doku, aroma, renk, raf ömrü ve besin değeri gibi meyve kalitesi özelliklerinin iyileştirilmesidir.

Bu özelliklerin genetik olarak geliştirilmesi, tüketici tercihleri ve pazar taleplerinin karşılanması açısından büyük önem taşımaktadır (Taskuzhina vd., 2024). Örneğin, üstün gevreklik ile uygun şeker-asit dengesine sahip elma çeşitlerinin geliştirilmesinde önemli ilerlemeler kaydedilmiş olup, bu özellikler tat algısı ve tüketici kabulü üzerinde doğrudan etkilidir (Gygax vd., 2004). Buna ek olarak, antioksidan içeriği ve fenolik bileşikler gibi besinsel nitelikler giderek artan bir ilgi görmekte ve bu durum, ıslahçıları sağlık yararları artırılmış çeşitlerin seçimine yönlendirmektedir (Luz, 2014). Bu özelliklere dayalı sürekli değerlendirme ve seleksiyon, rekabet gücü yüksek elma çeşitlerinin geliştirilmesinde temel bir yaklaşım oluşturmaktadır.

3.2. BİYOTİK STRESLERE DİRENÇ

Elma üretiminin hastalıklar ve zararlılar tarafından sıklıkla tehdit edildiği günümüzde, biyotik streslere karşı direncin artırılması önemli bir ıslah hedefi olarak öne çıkmaktadır. Elma karaleke ve ateş yanıklığı (*Erwinia amylovora*) gibi hastalıklar, üretim açısından ciddi tehditler oluşturmaya devam etmekte ve dirençli elma çeşitlerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır (Eisenmann vd., 2016; Knuff vd., 2016). Kantitatif özellik lokuslarının (QTL) haritalanması ve işaretleyici destekli seleksiyon (MAS) gibi moleküler ve genomik teknikler, hastalık direncine yönelik ıslah çalışmalarının etkinliğini önemli ölçüde artırmıştır (Bus vd., 2005; Bus vd., 2010).

Son yıllarda yapılan çalışmalar, yabani akrabalardan elde edilen bazı hastalıkların direnciyle ilişkili genetik markırların tanımlandığını ortaya koymuştur (Soufflet-Freslon vd., 2008; Chen vd., 2019). Bu markırların kullanımı, dirençli özelliklerin daha hızlı tanımlanmasını ve

çoğaltılmasını sağlayarak, elma üretiminde kimyasal mücadeleye olan bağımlılığı azaltmaktadır (Guzu vd., 2024).

3.3. ABİYOTİK STRESLERE TOLERANS

İklim değişikliği ve çevresel değişkenlik, kuraklık, tuzluluk, yüksek ve düşük sıcaklık gibi abiyotik streslere toleranslı elma çeşitlerinin geliştirilmesi gerekliliğini artırmaktadır. Stres toleransı ile ilişkili özellikler, gelişmiş genomik teknikler ve yüksek çözünürlüklü fenotipleme yöntemleri aracılığıyla aktif biçimde ıslah programlarına entegre edilmektedir (Zeba vd., 2023; Militaru vd., 2022). Örneğin, soğuğa toleransı ile bilinen *Malus baccata*, modern çeşitlerin düşük sıcaklık stresine karşı dayanıklılığını artırmak amacıyla ıslah çalışmalarında kullanılmaktadır (Chen vd., 2019; Szankowski vd., 2008). Bu yaklaşımlar, gelecekte geliştirilecek elma çeşitlerinin değişen iklim koşulları altında yüksek kalite ve verimi koruyabilmesini sağlaması açısından büyük önem taşımaktadır.

4. GELENEKSEL ELMA YETİŞTİRME YAKLAŞIMLARI

4.1. SEÇİM VE MELEZLEME

Seçim ve melezleme gibi geleneksel yetiştirme yöntemleri, elma yetiştiriciliğinin temelini oluşturmaktadır. Geleneksel seleksiyon, mevcut çeşitlerin arzu edilen özellikler açısından değerlendirilmesini kapsarken; melezleme, farklı genetik kaynakların birleştirilerek geliştirilmiş özelliklere sahip bireylerin elde edilmesini amaçlamaktadır (Inderbitzin vd., 2019; Celton vd., 2008). Melez bireylerin saha denemeleriyle değerlendirilmesi, ticari standartları karşılayan üstün çeşitlerin belirlenmesine olanak tanımaktadır.

4.2. KLASİK YETİŞTİRMENİN SINIRLAMALARI

Klasik yetiştirme yaklaşımları, sağladıkları önemli başarılarla rağmen, uzun juvenil dönem ve birçok özelliğin karmaşık kalıtım modelleriyle kontrol edilmesi gibi ciddi sınırlamalara sahiptir. Elma ağaçlarında juvenil dönem birkaç yıl sürebilmekte ve bu durum değerlendirme sürecini geciktirmektedir (Broggini vd., 2011; Khan vd., 2006). Ayrıca, bağlantı sürüklenmesi nedeniyle istenmeyen özelliklerin olumlu özelliklerle birlikte kalıtılması, seleksiyon süreçlerini zorlaştırmaktadır (Boudichevskaya vd., 2009; Nacheva vd., 2012). Bu sınırlamalar, ıslah verimliliğini artırmak amacıyla modern ıslah tekniklerinin entegrasyonunun gerekliliğini ortaya koymaktadır.

5. ANAÇ ISLAHI VE ANAÇ-AŞI ETKİLEŞİMLERİ

Anaçlar, elma ağaçlarının büyüme gücü, verimlilik, stres toleransı ve meyve kalitesi üzerinde belirleyici bir role sahiptir. Bu nedenle anaç özelliklerinin ıslahı büyük önem taşımaktadır; zira anaçlar, aşıllı kalemin fizyolojik performansını önemli ölçüde etkileyebilmektedir (Kellerhals vd., 2009; Celton vd., 2008). Bodurlaştırıcı anaçlar, meyve kalitesini korurken daha yüksek dikim yoğunluklarına olanak tanıyan yoğun bahçecilik sistemleri için tercih edilmektedir (Pereira-Lorenzo vd., 2018; Jensen vd., 2014).

Anaç-aşı etkileşimlerinin genetik ve fizyolojik temellerinin anlaşılması, ıslah sonuçlarının optimize edilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Güncel araştırmalar, bu etkileşimleri yöneten moleküler mekanizmaların aydınlatılmasına odaklanmakta ve bahçe performansını artırmak amacıyla belirli kalemlerle uyumlu özel anaç çeşitlerinin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır (Stankiewicz-Kosyl vd., 2005).

6. ELMA ISLAHINDA MOLEKÜLER VE GENOMİK YAKLAŞIMLAR

6.1. MARKIR DAYALI SEÇİM VE GENOMİK SEÇİM

Markıra dayalı seleksiyon (MAS) ve genomik seleksiyon gibi moleküler ıslah yaklaşımları, elma ıslahında önemli bir dönüşüm sağlamıştır. MAS, hedeflenen özelliklerle ilişkili arzu edilen alellerin belirlenmesini kolaylaştırarak ıslah döngüsünü hızlandırmaktadır (Crosby vd., 1994; Tóth vd., 2012). Genomik seleksiyon ise genom çapında belirteçler kullanarak fidelerin genetik değerlerinin tahmin edilmesini sağlamakta ve seleksiyon doğruluğu ile etkinliğini önemli ölçüde artırmaktadır (Pfeifer vd., 2025; Wöhner vd., 2020).

6.2. GENOMİK KAYNAKLAR VE FONKSİYONEL GENOMİK

Referans genom dizileri ve transkriptomik veri tabanları gibi genomik kaynakların geliştirilmesi, elma ıslahçıları için son derece değerli araçlar sunmaktadır (Washington vd., 1998). Kapsamlı genomik haritalar, hastalık direnci ve meyve kalitesi gibi önemli özelliklerle ilişkili QTL'lerin belirlenmesine olanak tanıyarak daha hedefli ıslah çalışmalarının yürütülmesini mümkün kılmaktadır (Flachowsky vd., 2009; James vd., 2004). Fonksiyonel genomik yaklaşımlar ise özelliklerin moleküler temelini anlaşılmaya katkı sağlayarak yenilikçi ıslah stratejilerinin geliştirilmesine zemin hazırlamaktadır (Karlström vd., 2024).

6.3. YENİ ISLAH TEKNİKLERİ

Genom düzenleme ve sisgenetik gibi yeni ıslah teknikleri, elma yetiştiriciliğinde öncü yaklaşımlar olarak öne çıkmaktadır (Malnoy vd.,

2016; van Nocker & Gardiner, 2014). Özellikle CRISPR/Cas9 teknolojisi, elma genomunda son derece hassas değişikliklerin yapılmasına olanak tanıyarak, ıslahçıların benzeri görülmemiş bir doğrulukla özellikleri eklemesine veya düzenlemesine imkân sağlamaktadır (Malnoy vd., 2016). Bu teknikler, yabancı gen eklenmeden meyve kalitesinin artırılması ve zararlılar ile hastalıklara karşı dirençli çeşitlerin geliştirilmesi açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır (Wolt vd., 2016).

7. MODERN ELMA ÇEŞİTLERİ VE YETİŞTİRME PROGRAMLARI

7.1. ULUSLARARASI TİCARİ ÇEŞİTLER

‘Honeycrisp’, ‘Fuji’ ve ‘Gala’ gibi modern elma çeşitleri, verim, kalite ve direnç özelliklerine odaklanan kapsamlı yetiştirme çalışmalarının başarılı sonuçlarını temsil etmektedir. Bu çeşitler, sahip oldukları üstün özellikler ve farklı yetiştirme koşullarına uyum yetenekleri sayesinde küresel pazarlarda yaygın olarak tercih edilmektedir. Uluslararası ticarete öne çıkan bu elma çeşitlerinin fenolojik gelişim özelliklerine göre erkenci, orta mevsim ve geççi olarak sınıflandırılması, üretim planlaması ve pazarlama stratejileri açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, yaygın uluslararası ticari elma çeşitleri ve bunların fenolojik dönemleri Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Uluslararası Ticari Bazı Elma Çeşitleri ve Fenolojik Dönemleri

Fenolojik Grup	Çeşit Adı	Hasat Dönemi (Kuzey YK)	Temel Özellikler	Ticari Yaygınlık
Erkenci	Gala (Royal Gala)	Ağustos başı–ortası	Tatlı, aromatik, kırmızı-sarı	Çok yüksek
	Early Fuji	Ağustos sonu	Fuji benzeri, erken	Orta
	Akane	Temmuz sonu–Ağustos	Asidik-tatlı, kırmızı	Düşük–orta
Orta Mevsim	Golden Delicious	Eylül ortası	Sarı, dengeli tat	Çok yüksek
	Red Delicious	Eylül ortası–sonu	Kırmızı, tatlı	Çok yüksek
	Fuji	Eylül sonu–Ekim başı	Çok tatlı, gevrek	Çok yüksek
	Braeburn	Eylül sonu	Tatlı-ekşi dengesi	Yüksek
Geççi	Granny Smith	Ekim ortası–sonu	Yeşil, yüksek asit	Çok yüksek
	Cripps Pink (Pink Lady®)	Ekim sonu–Kasım	Tatlı-ekşi, sert	Çok yüksek
	Jazz®	Ekim	Gevrek, aromatik	Yüksek
	Envy™	Ekim sonu	Çok tatlı, düşük esmerleşme	Orta–yüksek

7.2. TÜRKİYE’DE ELMA ISLAHI

Türkiye’de elma ıslahı çalışmaları, hem yerel hem de uluslararası pazarlara uygun yeni çeşitlerin geliştirilmesine yönelik olarak giderek hız kazanmıştır. Kamu ve kurumsal programlar tarafından yürütülen bu çalışmalar, meyve kalitesini korurken genetik çeşitliliğin artırılmasını ve hastalıklara karşı direncin iyileştirilmesini hedeflemektedir. Bu durum, dünya çapında önemli bir elma üreticisi konumunda bulunan Türkiye açısından büyük önem taşımaktadır. Türkiye’de uzun yıllardır yetiştirilen yerel ve ulusal elma çeşitlerinin fenolojik gelişim özelliklerine göre sınıflandırılması, ıslah programlarının yönlendirilmesi ve üretim planlamasının optimize edilmesi açısından kritik bir bilgi

kaynağı oluşturmaktadır. Bu kapsamda, Türkiye’deki başlıca ulusal elma çeşitleri ve bunların fenolojik dönemleri Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Türkiye’deki Ulusal Elma Çeşitleri ve Fenolojik Dönemleri

Fenolojik Grup	Çeşit Adı	Geliştirildiği Kurum / Kaynak	Hasat Dönemi (Türkiye)	Temel Özellikler
Erkenci	Yazlık Amasya	Yerel (Amasya)	Temmuz sonu–Ağustos	İnce kabuklu, aromatik
	Hüryemez	Yerel	Ağustos	Tatlı, yumuşak dokulu
	Ak Sakı	Yerel (Ege)	Ağustos	Açık renkli, sofralık
Orta Mevsim	Amasya	Yerel (Amasya)	Eylül ortası	Yüksek aroma, kırmızı
	Demir	Yerel (İç Anadolu)	Eylül	Sert et dokusu, dayanıklı
	Kaşel	Yerel	Eylül	Orta irilik, aromatik
Geççi	Karamehmet	Yerel	Ekim ortası	Koyu kabuk, depoya uygun
	Niğde Elması (tıpler)	Yerel	Ekim sonu	Sert, uzun raf ömrü
	Posof	Yerel (Doğu Anadolu)	Ekim sonu	Soğuğa dayanıklı

8. ELMA ISLAHINDA ZORLUKLAR VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Elma ıslahı; iklim değişikliği, tüketici tercihlerindeki değişimler ve yeni ıslah tekniklerine yönelik düzenleyici kısıtlamalar gibi çok yönlü zorluklarla karşı karşıyadır. Çevresel faktörlerin hem meyve verimi hem de kalite üzerindeki etkileri, sürekli araştırma ve uyum stratejilerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Ayrıca tüketicilerin sürdürülebilir ve organik üretim taleplerinin artması, ıslah programlarının çevre dostu yaklaşımlara öncelik vermesini gerekli kılmaktadır.

9. SONUÇ

Sonuç olarak, elma ıslahı çalışmaları ve modern çeşit geliştirme faaliyetleri, meyvecilik sektöründe tarımsal inovasyonun temel bileşenleri arasında yer almaktadır. Geniş genetik kaynakların ve ileri biyoteknolojik yaklaşımların, geleneksel yöntemlerle bütünleştirilmesi, gelecekteki ilerlemeler için güçlü bir temel oluşturmaktadır. Mevcut gelişmelerin eleştirel bir değerlendirmesi, elma üretiminde sürdürülebilirlik ve dayanıklılığın artırılmasına yönelik umut verici bir yön ortaya koymakta ve *Malus domestica*'yı yalnızca önemli bir tarımsal ürün değil, aynı zamanda tarımsal mirasın simgesel bir unsuru olarak konumlandırmaktadır.

KAYNAKÇA

- Boudichevskaia, A., Flachowsky, H., & Dunemann, F. (2009). Identification and molecular analysis of candidate genes homologous to *crv* genes for scab resistance in apple. *Plant Breeding*, 128(1), 84-91.
- Broggini, G., Bus, V., Parravicini, G., Kumar, S., Groenwold, R., & Gessler, C. (2011). Genetic mapping of 14 avirulence genes in an eu-b04×1639 progeny of *Venturia inaequalis*. *Fungal Genetics and Biology*, 48(2), 166-176.
- Brown, S. K. (2012). Apple. In *Fruit Breeding* (pp. 329–367). Springer.
- Bus, V., Bassett, H., Bowatte, D., Chagné, D., Ranatunga, C., Ulluwishewa, D., ... & Gardiner, S. (2010). Genome mapping of an apple scab, a powdery mildew and a woolly apple aphid resistance gene from open-pollinated mildew immune selection. *Tree Genetics & Genomes*, 6(3), 477-487.
- Bus, V., Laurens, F., Weg, E., Rusholme, R., Rikkerink, E., Gardiner, S., ... & Plummer, K. (2005). The *Vh8* locus of a new gene-for-gene interaction between *Venturia inaequalis* and the wild apple *Malus sieversii* is closely linked to the *Vh2* locus in *Malus pumila* 12740-7a. *New Phytologist*, 166(3), 1035-1049.
- Celton, J., Tustin, D., Chagné, D., & Gardiner, S. (2008). Construction of a dense genetic linkage map for apple rootstocks using SSRs developed from *Malus* ESTs and *Pyrus* genomic sequences. *Tree Genetics & Genomes*, 5(1), 93-107.
- Chen, X., Li, S., Zhang, D., Han, M., Jin, X., Zhao, C., ... & An, N. (2019). Sequencing of a wild apple (*Malus baccata*) genome unravels the differences between cultivated and wild apple species regarding disease resistance and cold tolerance. *G3: Genes, Genomes, Genetics*, 9(7), 2051-2060.
- Cornille, A., Gladieux, P., & Giraud, T. (2013). Crop-to-wild gene flow and spatial genetic structure in the closest wild relatives of the cultivated apple. *Evolutionary Applications*, 6(5), 737-748.
- Cornille, A., Gladieux, P., Smulders, M., Roldán-Ruiz, I., Laurens, F., Cam, B., ... & Giraud, T. (2012). New insight into the history of domesticated apple: secondary contribution of the European wild apple to the genome of cultivated varieties. *PloS Genetics*, 8(5), e1002703.
- Crosby, J., Janick, J., Pecknold, P., Goffreda, J., & Korban, S. (1994). 'Gold Rush' apple. *HortScience*, 29(7), 827-828.

- Delate, K. and Friedrich, H. (2004). Organic apple and grape performance in the midwestern u.s.. *Acta Horticulturae*, (638), 309-320.
- Eisenmann, P., Ehlers, M., Weinert, C., Tzvetkova, P., Silber, M., Rist, M., ... & Muhle-Goll, C. (2016). Untargeted nmr spectroscopic analysis of the metabolic variety of new apple cultivars. *Metabolites*, 6(3), 29.
- Flachowsky, H., Szankowski, I., Fischer, T., Richter, K., Peil, A., Höfer, M., ... & Hanke, M. (2009). Transgenic apple plants overexpressing the lc gene of maize show an altered growth habit and increased resistance to apple scab and fire blight. *Planta*, 231(3), 623-635.
- Guzu, G., Mareş, S., Moldovan, C., Zagrai, I., Zagrai, L., & Cordea, M. (2024). Results of some apple hybrid populations to the attack of scab and powdery mildew under natural conditions. *Romanian Journal of Horticulture*, 5, 77-84.
- Gygax, M., Gianfranceschi, L., Liebhard, R., Kellerhals, M., Gessler, C., & Patocchi, A. (2004). Molecular markers linked to the apple scab resistance gene *vbj* derived from *malus baccata* jackii. *Theoretical and Applied Genetics*, 109(8), 1702-1709.
- Hrazdina, G., Borejsza-Wysocki, W., & Lester, C. (1997). Phytoalexin production in an apple cultivar resistant to *venturia inaequalis*. *Phytopathology*, 87(8), 868-876.
- Inderbitzin, J., Schütz, S., Klein, N., & Kellerhals, M. (2019). Consumer acceptance of disease tolerant apple cultivars. *Horticultural Science*, 46(4), 201-207.
- Ishii, H., Fountaine, J., Chung, W., Kansako, M., Nishimura, K., Takahashi, K., ... & Oshima, M. (2009). Characterisation of qoi-resistant field isolates of *botrytis cinerea* from citrus and strawberry. *Pest Management Science*, 65(8), 916-922.
- James, C., Clarke, J., & Evans, K. (2004). Identification of molecular markers linked to the mildew resistance gene *pl-d* in apple. *Theoretical and Applied Genetics*, 110(1), 175-181.
- Janick, J., Cummins, J. N., Brown, S. K., & Hemmat, M. (1996). Apples. In *Fruit Breeding, Vol. I: Tree and Tropical Fruits* (pp. 1–77). Wiley.
- Jensen, P., Fazio, G., Altman, N., Praul, C., & McNellis, T. (2014). Mapping in an apple (*malus x domestica*) flsegregating population based on physical clustering of differentially expressed genes. *BMC Genomics*, 15(1).

- Karlström, A., Gómez-Cortecero, A., Connell, J., Nellist, C., Ordidge, M., Dunwell, J., ... & Harrison, R. (2024). Transcriptome analysis reveals candidate genes and provides insights in resistance to european canker in apple..
- Kellerhals, M., Székely, T., Sauer, C., Frey, J., & Patocchi, A. (2009). Pyramidisieren von schorffresistenzen in der apfelzüchtung. *Erwerbs-Obstbau*, 51(1), 21-28.
- Khan, M., Duffy, B., Gessler, C., & Patocchi, A. (2006). Qtl mapping of fire blight resistance in apple. *Molecular Breeding*, 17(4), 299-306.
- Knuff, A., Obermaier, E., & Mody, K. (2016). Differential susceptibility and suitability of domestic and wild apple species for a florivorous weevil and its parasitoids. *Journal of Applied Entomology*, 141(4), 285-299.
- Laurens, F. (1998). Review of the current apple breeding programmes in the world: Objectives for scion cultivar improvement. *Euphytica*, 104, 163–170.
- Leser, C. and Treutter, D. (2004). Effects of nitrogen supply on growth, contents of phenolic compounds and pathogen (scab) resistance of apple trees. *Physiologia Plantarum*, 123(1), 49-56.
- Luz, J. P. (2014). Apple and pear. In *Diseases of temperate horticultural plants* (pp. 3-20). Wallingford UK: CABI.
- Malnoy, M., Viola, R., Jung, M. H., Koo, O. J., Kim, S., Kim, J. S., & Velasco, R. (2016). DNA-free genetically edited grapevine and apple protoplasts using CRISPR/Cas9 ribonucleoproteins. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1904.
- Militaru, M., Călinescu, M., Mareși, E., Iancu, A., Young-un, S., & Yong-seub, S. (2022). Evaluation of scab and powdery mildew resistance of apple germplasm collected at rifg pitesti. *Fruit Growing Research*, 38, 26-31.
- Moradi, Y., Khadivi, A., & Mirheidari, F. (2022). Multivariate analysis of oriental apple (*malus orientalis* uglitzk.) based on phenotypic and pomological characterizations. *Food Science & Nutrition*, 10(8), 2532-2541.
- Nacheva, L., Andonova, M., Gercheva, P., & Dzhuvinov, V. (2012). Investigations on resistance of in vitro regenerants of apple (*Malus domestica* borkh.) 'cadell'® to major diseases. *Acta Horticulturae*, (935), 35-39.

- Peck, G., Merwin, I., Brown, M., & Agnello, A. (2010). Integrated and organic fruit production systems for 'liberty' apple in the northeast united states: a systems-based evaluation. *Hortscience*, 45(7), 1038-1048.
- Pereira-Lorenzo, S., Fischer, M., Ramos-Cabrera, A., & Castro, I. (2018). Apple (*malus* spp.) breeding: present and future., 3-29.
- Pfeifer, M., Emeriewen, O., Flachowsky, H., Höfer, M., Keilwagen, J., Lim, F., ... & Wöhner, T. (2025). High-quality haplotype-resolved genome assembly and annotation of *malus baccata* 'jackii'..
- Slatnar, A., Mikulič-Petkovšek, M., Halbwirth, H., Štampar, F., Stich, K., & Veberič, R. (2011). Polyphenol metabolism of developing apple skin of a scab resistant and a susceptible apple cultivar. *Trees*, 26(1), 109-119.
- Soufflet-Freslon, V., Gianfranceschi, L., Patocchi, A., & Durel, C. (2008). Inheritance studies of apple scab resistance and identification of *vr14*, a new major gene that acts together with other broad-spectrum qtl. *Genome*, 51(8), 657-667.
- Stankiewicz-Kosyl, M., Pitera, E., & Gawronski, S. (2005). Mapping qtl involved in powdery mildew resistance of the apple clone u 211. *Plant Breeding*, 124(1), 63-66.
- Szankowski, I., Waidmann, S., Degenhardt, J., Patocchi, A., Paris, R., Silfverberg-Dilworth, E., ... & Gessler, C. (2008). Highly scab-resistant transgenic apple lines achieved by introgression of *hcrV2* controlled by different native promoter lengths. *Tree Genetics & Genomes*, 5(2), 349-358.
- Taskuzhina, A., Posharskiy, A., & Gritsenko, D. (2024). The contribution of *malus sieversii* to the emergence and diversity of domesticated apple varieties.
- Tóth, M., Ficzek, G., Király, I., Kovács, S., Hevesi, M., Halász, J., ... & Szani, Z. (2012). 'artemis', 'cordelia', 'hesztia', and 'rosmerta': new hungarian multiresistant apple cultivars. *Hortscience*, 47(12), 1795-1800.
- van Nocker, S., & Gardiner, S. E. (2014). Breeding better cultivars, faster: Applications of new technologies for the rapid deployment of superior horticultural tree crops. *Horticulture Research*, 1, 14022.
- Washington, W., Villalta, O., Ingram, J., & Bardon, D. (1998). Susceptibility of apple cultivars to apple scab and powdery mildew in victoria, australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 38(6), 625.

- Wearing, C., Colhoun, K., Attfield, B., Marshall, R., & McLaren, G. (2003). Screening for resistance in apple cultivars to lightbrown apple moth, *epiphyas postvittana*, and greenheaded leafroller, *planotortrix octo*, and its relationship to field damage. *Entomologia Experimentalis Et Applicata*, 109(1), 39-53.
- Wöhner, T., Emeriewen, O., & Höfer, M. (2020). Evidence of apple blotch resistance in wild apple germplasm (*malus* spp.) accessions. *European Journal of Plant Pathology*, 159(2), 441-448.
- Wöhner, T., Richter, K., Sundin, G., Zhao, Y., Stockwell, V., Sellmann, J., ... & Peil, A. (2017). Inoculation of *malus* genotypes with a set of *erwinia amylovora* strains indicates a gene-for-gene relationship between the effector gene *eop1* and both *malus floribunda* 821 and *malus* 'evereste'. *Plant Pathology*, 67(4), 938-947.
- Wolt, J. D., Wang, K., & Yang, B. (2016). The regulatory status of genome-edited crops. *Plant Biotechnology Journal*, 14(2), 510-518.
- Zeba, A., Hussain, R., Aarti, M., & Panwar, A. (2023). Highlights of major problems and their management in apple orchard., 316-322.

BÖLÜM V

ELMA YETİŞTİRİCİLİĞİNDE KULLANILAN ANAÇLAR

Doç. Dr. Hakan KELES¹

Doç. Dr. Murat GÜNEY²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18107534>

¹ Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Yozgat, Türkiye. hakan.keles@yobu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-8225-931X

² Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Yozgat, Türkiye. murat.guney@yobu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-2882-8347

1. GİRİŞ

Anaç, zeirne aşılanan kalemin (eşidin) kök sistemini oluşturan bitki materyalidir. Meyvecilik sisteminde yetiştiriciliği yapılacak tür ve çeşidin toprak ile olan ilişkisini, su ve besin alımındaki başarısını, abiyotik stres faktörlerine karşı toleransını doğrudan etkileyen temel bileşen olarak kabul edilmektedir (Hartmann vd., 2018; Güney vd., 2023; Aras ve ark., 2022). Bu zellikleri göz önünde bulundurulduğunda bitkinin toprakta tutunmasını sağlayan basit bir bileşenden ziyade üzerine aşılanan çeşidin genetik ve morfolojik potansiyelinin hangi oranda yansiyacağını belirleyen çok kritik bir faktördür.

1.1. ANAÇ ISLAHININ TARİHSEL GELİşİMİ

İnsanlığın tarımsal üretimde anaç ve çeşit gibi teknikleri kullanması ve geliştirmesi aşılama tekniğinin tarihiyle birlikte anılmaktadır. Antik dönem kaynakları özellikle Akdeniz havzasında bağcılık ve meyvecilikte aşılama uygulamalarının bilindiğini göstermektedir. Aşılama zamanı, kalem seçimi ve anaç seçimi gibi ayrıntıların bulunduğu De Re Rustica adlı eser Roma döneminde Columella tarafından kaleme alınmıştır. Bu bilgiler anaç ve kalem seçimi, kullanımı gibi bilgilerin çok eski tarihlerden beri kullanıldığının en net kanıtıdır (Columella, 1948). Bu dönemlerde anaç uygulamalarında genellikle çöğür anaçların kullanımı yaygın olmakla birlikte, anaç ıslahı çalışmalarının daha bilinçli ve sistematik şekilde yapılması daha sonraki yıllarda özellikle 19. yüzyıl sonu ve 20. yüzyıl başlarında meyvecilik üzerine yapılan bilimsel çalışmaların hız kazanmasıyla gerçekleşmiştir (Pease, 1933; Hartmann ve ark., 1997; zcan vd., 2024).

Meyvecilikte anaç kullanımı gereksinimi ve bu gereksinim ışığında başlayan ıslah çalışmalarının temelinde 2 sebep bulunmaktadır. Çöğür anaç üzerinde yapılan yetiştiricilikte varyasyoun yüksek olması ve ticari anlamda ortaya çıkan belirsizlik bu sebeplerden ilki olmuştur. Diğeri ise artan nüfus ve ticaretin yoğunlaşması sebebiyle ihtiyaç duyulan yüksek üretim miktarlarıdır.

Ayrıca daha yönetilebilir ağaç tiplerine olan ihtiyacın artmasıdır (Webster & Wertheim, 2003).

Bodurluk, elverişsiz toprak şartlarına tolerans, sık dikime uygunluk gibi modern tarım gereklerinin olmazsa olmazı bazı özelliklerin geliştirilmesi klonal anaçların ıslahı ile mümkün olmuş ve ıslah programları ihtiyaç duyulan birçok özellik üzerine odaklanabilmektedir (Marini ve Fazio, 2018).

Meyvecilikte anaç ıslahı konusu düşünüldüğünde 20. yüzyıl başlarında faaliyetlerine başlamış East Malling Araştırma İstasyonu akla gelen ilk kurum olmaktadır. Meyve anaçlarının ıslahı konusunu bilimsel açıdan ele almış, geliştirilen anaçların performanslarını ve adaptasyon özelliklerini belirlemiş, tarımsal dünyaya bilgileri sunmuştur. Bu hizmetleri ile meyvecilikte anaç ıslahı konusunda tarihsel bir önemi bulunmaktadır. Bu kurum özellikle elma anaçları üzerine yapılan çalışmaları ile öne çıkmakla birlikte günümüzde bilinen birçok elma anacının geliştirildiği adres olarak bilinmektedir (Webster ve Wertheim, 2003).

20. yüzyılın ortalarından itibaren Amerkia’ da Cornell Üniversitesi ve USDA-ARS ortaklığı ile yürütülen ıslah çalışmaları ise bodurluk kavramını hastalıklara dayanım ve sürdürülebilirlik ile birleştirerek anaçların farklı senaryolarda performanslarının belirlenmesinde önemli bir rol oynamıştır (Fazio ve ark., 2015).

1.2. ANAÇ KULLANIMININ AVANTAJLARI

Meyve bahçesi tesisinde yetiştirilecek türe karar verilmesi, çeşit seçimi gibi konularla birlikte sistemde kullanılacak anacın da doğru seçilmesi stratejik bir karardır. Meyve ağaçları çok yıllık bitkiler kategorisinde bulunmakla birlikte tesisi yapılacak bahçelerde yapılacak bazı hataların geri dönüşü neredeyse imkansız olmaktadır. Anaç seçiminde yapılabilecek bir hatanın geri döndürülme şansı yoktur. Bu nedenle iklim, toprak, sulama şartları, eğim vb. faktörler iyi incelendikten sonra şartlara en uygun anacın seçilmesi geri dönülmez hataları önleyebilecektir (Ferree ve Warrington,

2003). Kuvvetli ve sağlıklı bir kök sistemi ancak çevre ve iklim koşulları göz önünde bulundurularak seçilen uygun anaç ile mümkün olabilmektedir (Gundesli, 2018; Sharma ve ark., 2020).

Meyvecilikte anaçların rolünü sıralayacak olursak şu maddeler ile özetlenebilir:

- **Adaptasyon başarısı:** Anaçların fizyolojik özellikleri bulundukları toprak ve iklim koşullarında gösterdikleri performansları etkilemektedirler. Bazı anaçlar kurak koşullarda daha başarıyla bazıları ise kireçli topraklarda daha iyi uyum gösterebilirler (Wang ve ark., 2017; Kumar ve ark., 2017).

- **Kalemin büyümesi üzerindeki etkisi:** Seçilen anacın üzerindeki kalemin su ve besin almasına etki etmesi ve hormonal özellikler üzerinde değişiklikler yapması şeklinde kalemin büyüme gücü üzerine etkili olduğu bilinmektedir (Albacete ve ark., 2015; Warschefsky ve ark., 2016; Aras ve ark., 2021). Bu şekilde yoğun üretimin yapılabildiği, dikim mesafelerinin daha sık kurgulanabildiği modern bahçelerin tesisi mümkün olabilmektedir (Marini ve Fazio, 2018).

- **Hastalıklar ve zararlılara karşı dayanım:** Üzerine aşılardan çeşidin de biyotik stres koşullarına daha dayanıklı olmasını sağlarlar. Geliştirilen birçok anaç kök boğazı ve kök hastalıklarına, bazı zararlılara karşı daha dirençli olacak şekilde geliştirilmiştir. Bunlardan en bilineni nematoda dayanıklı NemaGuard anacı ve floksera zararlısına dayanıklı Amerikan Asma Anaçlarıdır (Fazio ve ark., 2015; Liu ve ark., 2020).

- **Meyveye yatma ve verim:** Bodur ve yarı bodur anaçlar tesis edilen bahçede klasik anaçlara oranla daha erken ürün alınmasını mümkün kılmaktadır. Ayrıca birim alandan elde edilen verimin de yüksek olmasını sağlamaktadır. Bu sayede hem kurulum maliyetleri için geri dönüş daha hızlı olabilmekte hem de birim alandan elde edilen kazanç daha yüksek olabilmektedir (Webster & Wertheim, 2003).

2. ELMADA ANAÇ ISLAHI

Anaç ıslahı çalışmalarının en hızlı ve sistematik bir şekilde geliştiği türlerin başında elma türü gelmektedir. Elmanın geniş bir ekolojide adaptasyon sağlaması, ürüne talebin fazla olması, birim alandan daha yüksek verim ve üretim beklentisi bu tür için anaç ıslahı çalışmalarını hızlandırmıştır. Elma ıslahında başı çeken kurum önceki başlıklarda bahsedilen East Malling Araştırma İstasyonu olmuştur. Günümüzde de geçerliliğini koruyan “Malling (M)” anaç serisinin ortaya çıkarılması bu kurumun çalışmaları sonucunda gerçekleştirilmiştir (Marini ve Fazio, 2018). “M” anaç serisinin en bilinenleri M9 (Malling IX), M26 ve M27 olarak sayılabilir.

- **M9:** Günümüzde de en bilinen tam bodur elma anacıdır. Modern bodur elma yetiştiriciliğinde “kilit taşı” dır. Bu anaç East Malling Araştırma İstasyonu’ nda erken dönemde ıslah edilmiş ve yaygınlaştırılmıştır. M9 bodur anacının klonları da mevcuttur. Farklı kuvvette gelişen bu klonlar kuvvetliden zayıfa doğru sıralandığında şu şekilde sıralanmaktadır:

Pajam 2 = RN29 > Pajam 1 > M9 > T337 > Fluere 56.

- **M26:** M16 x M9 melezi olarak tanımlanan anaç East Malling’ de ortaya çıkarılan anaçların tipik örneklerinden birisidir.

- **M27:** M13 x M9 melezi olarak seçilmiş olan bu anaç ise çok bodur sınıfta yer almaktadır. Ağaç gelişimi M9 anacından belirgin şekilde daha bodurdur.

M27 anacı çöğür anacın %20-25’ i kadar gelişim gösterirken, M9 klon anacı ise %30-40’ i kadar gelişebilmektedir. Bu nedenle M27 anacı saksı yetiştiriciliği, hobi bahçeleri veya çok sınırlı alanların değerlendirilmesi için kullanılırken, M9 klonu ise modern bahçelerin temel bodur anacı olarak öne çıkmaktadır.

“M” serisi anaçların bodurluk açısından sunduğu avantajların yanında belirli bazı etkenlere karşı mevcut hassasiyeti ileri ıslah çalışmalarını gerekli kılmıştır. East Malling ve John Innes Enstitüsü ortaklığında Malling-Merton

“MM” serisi anaçlar geliştirilmiştir. MM111 bu anaçlardan birisidir ve bu seride yünlü yaprak bitine dayanıklılığın önde gelen ıslah amaçları olduğu bildirilmiştir (Marini ve Fazio, 2018).

Klonal anaçların yaygınlaşması ile birlikte hastalıklardan ari materyal üretimi ayrı bir çalışma alanı olarak ortaya çıkmıştır. Malling anaçlarının 1950-1970 tarihleri arasında ısı uygulamaları ile virüslerden arındırılarak EMLA (East Malling-Long Ashton) ismiyle virüslerden ari klonlara dönüştürülmesi fidan standardizasyonunu güçlendirmiştir (Marini ve Fazio, 2018). Bazı kaynaklarda EMLA klonlarının (M9, M26, MM106, MM11 vb.) virüslerden arındırılmış klon anaçlar olarak yayıldığı bildirilmiştir.

Modern entansif tarım uygulamaları toprak yorgunlukları, bazı hastalık ve zararlıların popülasyonlarında artış gibi olumsuzluklara sebebiyet vermiştir. Günümüzde elma anacı ıslahında tek odak noktasının bodurluk olmadığı ateş yanıklığı, kök çürüklüğü, bazı zararlılar gibi olumsuzluklara toleransın da ıslah çalışmalarında önemli bir odak oluşturduğu bildirilmektedir. Son yıllarda Cornell Üniversitesi ve USDA-ARS iş birliği ile Geneva anaç programı üzerine çalışılmaktadır. Bu programın hastalık dayanımını merkezine aldığı ve G11, G41, G935 gibi klonların farklı stress koşullarına tolerans gösterdiği vurgulanmaktadır (USDA-ARS, 2023).

3. ELMA ANAÇLARI ve ÖZELLİKLERİ

Her ne kadar ekolojik koşullara göre ağaç gelişme kuvvetleri farklılıklar gösterse de ıslah edilmiş anaçların davranışları genetiksel sınırları içerisinde nettir. Ekolojiye göre ufak değişiklikler gösterebilir.

3.1. BODUR ANAÇLAR

Birim alandan daha yüksek verimin alınabildiği, verime erken yatmaları dolayısıyla kurulum maliyetlerinin daha hızlı geri döndüğü yetiştirme sisteminde bodur anaçlar daha çok tecih edilmektedir. M9, M27 ve bazı Geneva anaçlarının (G11, G41 gibi) dahil olduğu tam bodur anaç

sistemlerinde destek sistemi gerekmekte ve kültürel uygulamalar diğer sistemlere nazaran hassas yapılması gerekmektedir. Bu sistemde yapılacak hatalı uygulamalar gelişim, verim ve kalite parametrelerine hızlı bir şekilde yansır (Zeiger ve Tukey, 1960; Marini ve Fazio, 2018; Rufato ve ark., 2021; Anonim, 2025a; Anonim, 2025b; Anonim, 2025c).

3.2. YARI-BODUR ANAÇLAR

M26 ve MM106 gibi anaçlar ise yarı kuvvetli anaçlar olarak ıslah edilmişlerdir ve “yarı bodur” olarak isimlendirilirler. Bazı Geneva anaçları da (G935, G202, G30, G980) bu kuvvette anaçlar arasında değerlendirilmektedirler. Yarı bodur anaçlar daha dengeli sistemler olarak nitelendirilebilir. Bu sistemle kurulu bahçelerde tam bodur bahçeler kadar yoğun üretim yapılmamaktadır. Bununla birlikte destek sistemlerine ihtiyaçları daha az olacağından ilk kurulum maliyetleri de daha düşüktür. Her ne kadar planlı sulama ve besleme konularında hassas davranmak gerekirse de tam bodur sistemlerden daha toleranslı bir yönetim sistemine uygundur (Zeiger ve Tukey, 1960; Marini ve Fazio, 2018; Rufato ve ark., 2021; Anonim, 2025a; Anonim, 2025b; Anonim, 2025c).

3.3. KUVVETLİ ANAÇLAR

MM111 bu tip anaçların en önemli temsilcisidir. Bu anaçların kuraklığa karşı toleransları ve toprağa tutunma kuvvetleri bazı alanlarda bodur sistemlere göre daha avantaj sağlamaktadır. Ancak bu sistemlerde daha geniş taç yapısı, daha yüksek ağaçlar, geç meyveye yatma ve seyrek dikim söz konusudur. Bu sebeple kültürel işlemler daha zahmetli olmaktadır. Ayrıca birim alandan elde edilen ürün ve kazanç dengesi düşünüldüğünde günümüzde elma yetiştiriciliği genel anlamda bodur sistemlere kaymıştır (Anonim, 2025a).

Aşağıdaki tablo elma anaçları konusunda yeterli bir özet olarak incelenebilir.

Tablo 1. Elma anaçları özet tablosu

Anaç grubu	Tipik örnek anaçlar	Temel amaç / uygun sistem	Yönetim gereksinimi	Dikkat edilecek risk başlıkları
Tam bodur	M9, M27	Yüksek/çok yüksek üretim yoğunluğu; erken verim, işçilik verimi	Destek + damla sulama-fertigasyon çoğu zaman şart	Kök sistemi/tutunma zayıflığı, stres yönetimi hassasiyeti; uygun materyal, destek sistemi ve altyapı gerektirir
Yarı bodur / orta	M26, MM106	Orta-yüksek üretim yoğunluğu; dengeli bahçeler	Orta-yüksek	Hastalık/çevre riskine göre anaç seçimi; bölgeye özgü sorunlar göz önünde bulundurulmalıdır.
Kuvvetli/k lasik	MM111	Daha seyrekle dikim; daha büyük taç; bazı koşullarda toprağa iyi tutunma	Orta	Geç meyveye yatarlar, modern sistemlerde mevut yoğun üretime daha uzaktır; kurak ve uygun olmayan toprak koşullarına daha toleranslı
Yeni nesil dayanım odaklı	Geneva® (G.11, G.41, G.935 vb.)	Hastalık dayanımı + tekrar dikim toleransı + verim etkinliği	Orta-yüksek	Yeni geliştirilmektedir, bölge denemelerine bakılmalı; ateş yanıklığı/tekrar dikim gibi riskler için güçlü seçenekler sunar

Cohen ve ark., 2007; Seleznyova ve ark., 2008; Marini ve Fazio, 2018; Rufato ve ark., 2021; Biasuz ve ark., 2022; Anonim, 2025a; Anonim, 2025b; Anonim, 2025c

4. SONUÇ

Elma dünya genelinde yapılan meyve yetiştiriciliği düşünüldüğünde üretim hacmi, tüketim çeşitliliği bakımından önemli bir yere sahiptir. Antik dönem kaynaklarında dahi elmaya yapılmış atıflar düşünüldüğünde bu türün insanlığın beslenmesi ve kültürü ile olan bağlantısının ne derece önemli olduğu açıkça ortaya çıkmaktadır.

Orta Asya kökenli yabancı *Malus* türlerinden günümüzde yetiştiriciliği yapılan elma çeşitlerine gelen yetiştiricilik süreci düşünüldüğünde binlerce yıllık deneyim ve seçim ortaya çıkmaktadır. Elma yetiştiriciliği birçok faktörün birlikteliği ile başarılı olabilmektedir. Bu faktörlerden en önemlisi modern meyveciliğin başlangıcından günümüze kadar uzanan anaç kullanımıdır.

Elma yetiştiriciliğinde bodur anaçların kullanıma sunulması ve yaygınlaşması ile modern üretim sistemlerinden bahsedilir olmuş, birim alandan daha fazla üretim sağlanabilmiştir. Günümüzde yeni bir bahçe kurulması planlandığında yönelimin neredeyse tamamı artık bodur ve yarı bodur sistemler üzerine kurgulanmaktadır. Metinde de bahsedildiği üzere bu sistemlerin klasik-kuvvetli anaçlar ile karşılaştırıldığında birçok yönden avantajı bulunmaktadır. Güncel süreçte elma anaçlarının kullanılması tercih konusu olmaktan çıkmış stratejik bir zorunluluk haline dönüşmüştür. East Malling ile başlayan anaç ıslahı çalışmaları, Malling-Merton çalışmaları ile dayanım üzerine odaklanmış ve EMLA çalışmaları ile materyal sağlığını da konuya dahil ederek modern elma yetiştiriciliğine önemli bir altyapı oluşturmuştur. Günümüzde ise Geneva programları gibi çalışmalarda gelişim kuvveti gibi konuların ötesinde ateş yanıklığı dayanımı, tekrar dikim toleransı ve kök hastalıklarına dayanım gibi sürdürülebilirlik parametrelerine odaklanılmaktadır.

Elma yetiştiriciliği basitçe bahçe tesisi ve meyve üretimi kapsamından çıkmış, birçok parametrenin birlikte düşünülmesi gerektiği stratejik bir alan haline gelmiştir.

KAYNAKÇA

- Albacete, A., Martinez-Anujar, C., Marinez-Pérez, A., Thompson, A.J., Dodd, I.C., & Pérez-Alfocea, F. (2015). Unravelling rootstock $\times$ scion interactions to improve food Security. *J. Exp. Bot.* 66, 2211–2226.
- Anonim (2025a). https://apples.extension.org/apple-rootstock-info-mm-111-empla/?utm_source=chatgpt.com (Erişim tarihi: 15.12.2025).
- Anonim (2025b). <https://extension.psu.edu/apple-rootstocks-capabilities-and-limitations> (Erişim tarihi 17.12.2025).
- Anonim (2025c). https://www.ars.usda.gov/research/publications/publication/?seqNo115=406677&utm_source=chatgpt.com (Erişim tarihi 17.12.2025).
- Aras, S., Keles, H., & Bozkurt, E. (2022). Iron deficiency impacts chlorophyll biosynthesis, leaf cell expansion, xylem development and physiology of *Prunus persica* grafted onto rootstocks Garnem and GF 677. *Zemdirbyste-Agriculture*, 109(1).
- Aras, S., Keles, H., & Bozkurt, E. (2021). Physiological and histological responses of peach plants grafted onto different rootstocks under calcium deficiency conditions. *Scientia Horticulturae*, 281, 109967.
- Biasuz, A., Naor, A., Erel, R., & Bustan, A. (2022). Apple rootstocks affect water relations and leaf functional traits. *Frontiers in Plant Science*, 13, 933634.
- Columella, L. J. M. (1948). *On Agriculture: Res Rustica I-Iv* (Vol. 1). Harvard University Press.
- Cohen, S., Naor, A., & Klein, I. (2007). Hydraulic resistance components of mature apple trees on rootstocks of different vigour. *Journal of Experimental Botany*, 58(15–16), 4213–4224.
- Fazio, G., Robinson, T. L., Aldwinckle, H. S. (2015). The Geneva apple rootstock breeding program. *Plant Breeding Reviews: Volume 39*, 379-424.
- Ferree, D. C., & Warrington, I. J. (Eds.). (2003). *Apples: botany, production, and uses*. CABI.
- Gündeşli, M.A. (2018). Bazı Amerikan Anaçlarının Kabarcık ve Hönüsü (Mahrabaşı) Üzüm Çeşitlerinde Aşı Başarısı ve Fidan Kalitesi Üzerine Etkisi. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*. 5(3), 331-338, ISSN 2148-3647.

- Guney, M., Gundesli, M. A., Guney, M., Kafkas, S., & Kafkas, N. E. (2023). Exploring carbohydrate concentration fluctuations in pistachio (*Pistacia vera* L. cv Uzun) for deeper insights into alternate bearing patterns. *Sustainability*, 15(21), 15300.
- Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T., Geneve, R. L. (1997). Plant propagation: principles and practices.
- Hartmann, H., Kester, D. E., & Davies, J. (2018). Ft; Geneve, RI; Wilson, Se Plant Propagation: Principles And Practices.
- Kumar, P., Roupael, Y., Cardarelli, M., Colla, G. (2017). Vegetable grafting as a tool to improve drought resistance and water use efficiency. *Front. Plant Sci.* 8, 1130.
- Liu, B., Zhao, D., Zhang, P., Liu, F., Jia, M., & Liang, J. (2020). Seedling evaluation of six walnut rootstock species originated in China based on principal component analysis and cluster analysis. *Scientia Horticulturae*, 265, 109212.
- Marini, R. P., & Fazio, G. (2018). Apple rootstocks: History, physiology, management, and breeding. *Horticultural Reviews*, 45, 197–312.
- McKenzie, D. W. (1964). Apple rootstock trials Jonathan on East Malling, Merton and Malling-Merton rootstocks. *Journal of horticultural science*, 39(2), 69-77.
- Özcan, H., Güney, M., Karcı, H., Tevfik, H., Kafkas, S., Acar, İ., & Kafkas, E. (2024). Exploring nut quality traits in almond varieties: a comparative study of local and foreign cultivars and their F1 hybrid offsprings. *Euphytica*, 220(7), 96.
- Pease, A. S. (1933). Notes on ancient grafting. *Transactions and Proceedings of the American Philological Association*, *American Philological Association*, 66–76.
- Rufato, L., Da Silva, P. S., Kretschmar, A. A., Bogo, A., De Macedo, T. A., Welter, J. F., ... & Petry, D. (2021). Geneva® series rootstocks for apple trees under extreme replanting conditions in Southern Brazil. *Frontiers in Plant Science*, 12, 712162.
- Seleznayova, A. N., Tustin, D. S., & Thorp, T. G. (2008). Apple dwarfing rootstocks affect scion architecture and carbohydrate distribution in young apple trees. *Annals of Botany*, 101(3), 327–337.

- Sharma, B. J., Chauhan, N., Rana, K., & Bakshi, M. (2020). Evaluation of Rootstocks for Temperate Fruit Crops. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 9(11): 3533-3539.
- Wang, J., Jiang, L.B., Wu, R.L. (2017). Plant grafting: how genetic exchange promotes vascular reconnection. *New Phytol.* 214, 56–65. <https://doi.org/10.1111/nph.14383>.
- Warschefsky, E.J., Klein, L.L., Frank, M.H., Chitwood, D.H., Londo, J.P., von Wettberg, E.J.B., & Miller, A.J., (2016). Rootstocks: diversity, domestication, and impacts on shoot phenotypes. *Trends Plant Sci.* 21, 418–437.
- Webster, A. D., & Wertheim, S. J. (2003). Apple rootstocks. In *Apples: botany, production and uses* (pp. 91-124). Wallingford UK: CABI Publishing.
- Zeiger, D., Tukey, H. B. (1960). A Historical Review of the Malling Apple Rootstocks in America. *Michigan State University Agricultural Experiment Station Circular Bulletin*. 75 pages, November.

BÖLÜM VI

ELMA BAHÇELERİNDE SULAMA VE BİTKİ BESLEME YÖNETİMİ

Prof. Dr. Yaşar ERTÜRK¹

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18107604>

¹ Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü Kırşehir, Türkiye. yasar.erturk@ahievran.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2525-0260>

1. ELMA BAHÇELERİNDE SULAMA

Elma dünya üzerinde yetiştiriciliği yapılan en önemli yumuşak çekirdekli meyve türüdür. Ayrıca; subtropik bölgelerden çok soğuk bölgelere değin dağılım gösterebilen, adaptasyon kabiliyeti bakımından en değerli meyve türlerinden birisidir. Özellikle anaç ıslahı ile ilgili yapılan çalışmalar sayesinde, çok sık dikim yapılabilen ve birim alanın en etkin şekilde kullanılabildiği meyve türü olarak kabul edilmektedir.

Bitkilerin büyümesini ve gelişmesini etkileyen iki önemli faktör su ve gübredir. Su ve gübrenin makul bir şekilde düzenlenmesi, bitki kalitesini ve verimini iyileştirmenin en önemli yollarından biridir. Su ve gübre teminini ürün büyümesinin talepleriyle koordine etmek, su ve gübre kullanım verimliliğini artırmanın ve üretim maliyetini düşürmenin çözümüdür. Artan dünya nüfusu, tarım için toprak ve su kaynaklarının daha verimli kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Su kaynakları özellikle son yıllarda giderek daha hızlı bir şekilde azalmaktadır. İnsanoğlunun gıda üretimi için yaptığı sulama, dünyadaki toplam su kaynaklarının yaklaşık %70'ine tekabül eder (Anonim 2017). Ancak, ürünler sulama suyunun %60'ından daha azını etkili bir şekilde kullanmaktadır (Calzadilla vd. 2011). Küresel iklim değişikliğinin neden olduğu kuraklık ve su kaynaklarındaki azalma, modern sulama stratejilerinin geliştirilmesini zorunlu hale getirmiştir. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde elma üretiminin sürdürülebilirliği için sulama kritik bir faktördür. Yetersiz sulama, meyve kalitesi ve verim üzerinde olumsuz etki yaratırken, aşırı sulama ise kök çürüklüğü, besin elementlerinin yıkanması ve ekonomik kayıplara yol açmaktadır.

1.1. ELMA AĞAÇLARININ SU GEREKSİNİMLERİ

Elma ağaçlarının su gereksinimi, yaş, çeşit, kök sistemi ve çevresel koşullara bağlı olarak değişiklik gösterir. Özellikle meyve büyüme ve

olgunlaşma dönemlerinde su ihtiyacı en üst düzeye ulaşır. Sulama yetersizliği, meyve boyutunu küçültür ve kaliteyi düşürürken, aşırı sulama kök çürümmesine ve besin elementi yetersizliklerine yol açabilir (Li vd., 2012). Meyve boyutunu hassas bir şekilde yönetilmesi, kimyasal seyreltme uygulamalarına dikkat etmek ve sulamada hassasiyet gerektirir. Sulama, aynı zamanda yeni dikilmiş veya genç elma ağaçlarının büyümesini iyileştirmek ve en üst düzeye çıkararak sonraki yılların verim ve kalitesinde de ciddi katkı sunar. Sık dikim yapılmış meyve bahçelerinin ekonomik başarısı, üçüncü, dördüncü ve beşinci yıllarda kuruluş maliyetlerini karşılayacak önemli verimler elde edilmesine bağlıdır. Beklenen yüksek verimi elde etmek için, dikimden sonraki ilk 3 yıl boyunca mükemmel ağaç gelişimi gerekir. Ancak bu genellikle başarılmaz. Nitekim, ilk yıllardaki zayıf ağaç gelişiminin yeni bir meyve bahçesinin hasadını geciktirmesi durumunda, en yüksek yatırımın %20 arttığını ve meyve bahçesinin 20 yıllık ömrü boyunca toplam kârın %66 azaldığı tahmin edilmiştir. Zayıf ağaç gelişimi sorununun büyük bir kısmı, ilk 3 yıldaki yetersiz su temininden kaynaklanmaktadır. Kuzey Yarım küredeki plantasyonların genelinde, ortalama bir büyüme mevsiminde, ağaçların kritik kuruluş ve büyüme dönemlerinde optimum ağaç performansı için gerekenden daha az yağış olur. Ayrıca, her 10 yılın 3'ünde haziran, temmuz ve/veya ağustos aylarında ciddi su kıtlığı yaşanmaktadır. Dolayısıyla elma bahçelerinde en kritik dönemler, çiçeklenme sırasında ve sonrasında mayıs ve temmuz aylarıdır. (Robinson vd. 2013). Elma ağaçları, yüksek su gereksinimi olan çok yıllık bitkiler olarak, çeşitli fenolojik aşamalarda yüksek kaliteli meyve üretmek için önemli miktarda su tüketmektedir (Wang ve Liu, 2022) (tablo 1 ve 2).

Su kullanımı ile elma bitkisinin su gereksinimleri arasındaki boşluğu kapatmak ve su uygunluk seviyelerini netleştirmek, su kullanım verimliliğini artırmak için önemli adımlardır. Elma bahçelerinde aylık su gereksinimlerine ilişkin değerlendirmelerde de haziran, temmuz ve ağustos aylarında maksimum

düzeye çıktığı bunun en önemli nedeninin ise meyve büyüme döneminin bu aylarda en yüksek seviyelerde seyretmesidir (tablo 2).

Tablo 1. Elma Ağaçlarının Gelişim Dönemlerine Göre Su Gereksinimi

Gelişim Dönemi	Su Gereksinimi (mm/gün)	Kaynaklar
Tomurcuklanma	2–3	Ru vd., 2017
Çiçeklenme	3–5	Liao et al., 2021
Meyve Tutumu	4–6	Uçar vd., 2023
Meyve Dolumu	5–7	Wang ve Liu 2022,
Olgunlaşma/Hasat Öncesi	3–5	Wang ve Liu, 2021

Tablo 2. Elma ağaçlarının aylara göre su isteği (Keller vd. 2016).

Ay	Ortalama ETo (mm/gün)	Su İhtiyacı (mm/ay)	Notlar
Mart	2.1	65	Tomurcuklanma dönemi
Nisan	3.0	90	Filizlenme ve çiçeklenme
Mayıs	4.0	120	Meyve tutumu
Haziran	5.5	165	Meyve hızlı büyüme
Temmuz	6.0	180	Olgunlaşma dönemi
Ağustos	5.0	155	Hasat öncesi
Eylül	3.5	100	Hasat sonrası bakım
Ekim	2.5	75	Dinlenme başlangıcı

Ayrıca; toprağın yapısı, su tutma kapasitesi ve drenaj özellikleri elma ağaçlarının su gereksinimini doğrudan etkiler. Kumlu topraklar hızlı su kaybına neden olurken, kil oranı yüksek topraklar suyu daha uzun süre tutar. Bunun yanında, sıcaklık, nem ve rüzgâr gibi iklim faktörleri transpirasyon hızını etkileyeceğinden sulama planlamasında dikkate alınmalıdır (Öztürk vd, 2019). Özellikle elma yetiştiriciliğinin yapıldığı bahçelerin çok önemli bir kısmının klonal bodur ya da yarı bodur anaçlar üzerine aşılı çeşitlerle kurulduğu göz önünde tutulduğunda, sulama ihtiyaçlarının belirlenmesinde buna dikkat edilmesi gerektiğini belirtmek gerekir. Nitekim çöğür üzerine aşılı aynı elma çeşidinin sulama isteği (sulama sıklığı, su miktarı vs) ile M9 klonal anacı üzerine

aşılı aynı çeşide ait bir bitkinin istekleri birbirinden farklı olacaktır. Bunun yanında elma çeşitlerinin de gelişme kuvvetleri ve morfolojileri birbirinden farklılık göstermektedir. Bu farklılık bile çeşitlere ait su isteklerinin farklı olacağını bize göstermektedir. Elma çeşitleri, kök yapısının yanı sıra yüzeyi özelliklerine bağlı olarak ta farklı miktarlarda suya ihtiyaç duyar. Örneğin, ‘Golden Delicious’ ve ‘Red Delicious’ çeşitleri geniş yapraklı ve yüksek transpirasyon oranına sahip oldukları için su ihtiyacı daha fazladır. Buna karşın ‘Starking’ ve ‘Granny Smith’ gibi çeşitler, daha kompakt yapıya sahip olup nispeten daha az su gerektirir (Kaya et al., 2022). Çeşitlerin su ihtiyacını belirlemede, yaprak alanı indeksi (Leaf Area Index, LAI) ve stomatal iletkenlik değerleri önemli göstergelerdir (tablo 3).

Tablo 3. Bazı elma çeşitlerinin günlük su ihtiyaçları ve morfolojik değerlendirmeler (Ferree ve Warrington 2003; Çelik 2020; Keller vd. 2016; Kaya vd. 2022).

Elma Çeşidi	Ortalama Kök Derinliği (cm)	Yaprak Alanı İndeksi (LAI)	Max. Günlük Su İhtiyacı (mm)	Notlar
G.Delicious	90–110	5,2	5,0	Yüksek su ihtiyacı, yüksek transpirasyon
Red Delicious	85–100	4,8	4,5	Orta verim, duyarlı çeşit
Granny Smith	80–95	4,0	3,8	Daha az su ihtiyacı, kompakt yapı
S. Delicious	75–90	3,8	3,5	Su stresi toleransı yüksek

1.2. ELMA YETİŞTİRİCİLİĞİNDE KULLANILACAK SU VE KALİTESİ

Bilindiği gibi, bitki su fizyolojisi karmaşık ve sistematik bir olgudur. Bitki kök sistemi suyu emer ve çeşitli yer üstü organlarına taşıyarak normal fizyolojik işlevlerini sürdürmelerini sağlar. Su sadece besin emilimi için bir çözücü değil, aynı zamanda bitki büyümesi için de hayati önem taşır. Sulamada kullanılan suyun kimyasal ve fiziksel özellikleri, hem toprak yapısını hem de bitki

beslenmesini doğrudan etkilemektedir. Elektriksel iletkenlik (EC) değeri 1.5 dS/m'nin üzerindeki sular, uzun vadede tuzluluk stresine neden olabilir (Ayers & Westcot, 1985). Yüksek sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), toprak geçirgenliğini azaltarak kök bölgesine oksijen geçişini sınırlar (Ferreira vd., 2025). Bu nedenle, sulama suyunun düzenli analiz edilmesi ve gerektiğinde suyun asitleştirilmesi veya düşük tuzlulukta su kaynaklarıyla karıştırılması önerilmektedir. Jiang vd. (2021), kalsiyum açısından zengin sulama suyunun meyve dokusu sertliğini koruduğunu ve meyve çatlamalarını azalttığını bildirmiştir. Ayrıca, sulama suyu kalitesi ile besin elementi dengesinin izlenmesi, özellikle mikro elementlerin (Fe, Mn, Zn) alımını optimize etmek için önemlidir (tablo 4).

Tablo 4. Elma Yetiştiriciliğinde Kullanılacak Su ve Kalite Standartları

Parametre	Düşük Kalite	Orta Kalite	İdeal Kalite	Etki / Yorum
pH	>8,0	7,5–8,0	6,5–7,0	Toprak ve besin alımı; yüksek pH Ca, Mg, P alımını düşürebilir
EC (dS/m)	>2,5	1,0–2,5	0–0,7	Tuz stresini; kök gelişimini sınırlar
Na ⁺ /Ca ²⁺ Oranı (SAR)	>1,5	0,7–1,5	<0,7	Toprak yapısı bozulur; infiltrasyon azalır
Bikarbonat (meq/L)	>6,0	3–6	<3	Toprak alkalitesi artışı; pH yükselir
Cl ⁻ (meq/L)	>6,0	3–6	<1,5	Toksikite riski; yaprak yanıkları, verim düşüşü

1.3. ELMA AĞAÇLARINDA SULAMA İHTİYACININ BELİRLENMESİ

Elma bahçelerinde (*Malus domestica*) sürdürülebilir su yönetimi, hem verim hem de kalite açısından kritik öneme sahiptir. Bitkinin ihtiyacı olan suyun doğru miktarda ve doğru zamanda uygulanabilmesi için sulama ihtiyacının güvenilir yöntemlerle belirlenmesi gerekmektedir. Evapotranspirasyon (ET), toprak su dengesi, bitki gelişim dönemi, sensör teknolojileri ve modern uzaktan

algılama uygulamaları bu sürecin temel bileşenleridir. Sulama ihtiyacının belirlenmesinde temel kavram evapotranspirasyondur (ET). Sulama ihtiyacının Belirlenmesinde kullanılan yöntemler aşağıda kısaca özetlenmiştir.

1.3.1. MODEL-TEMELLİ YÖNTEMLER

1.3.1.1. FAO-56 + KC YAKLAŞIMI

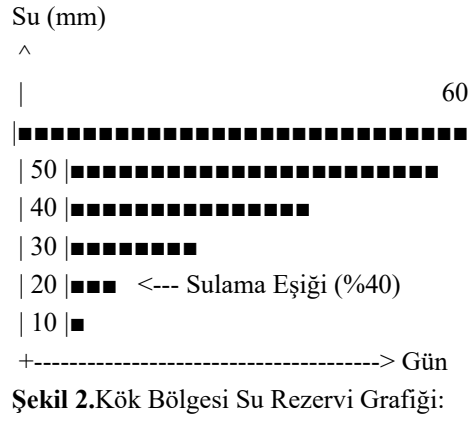
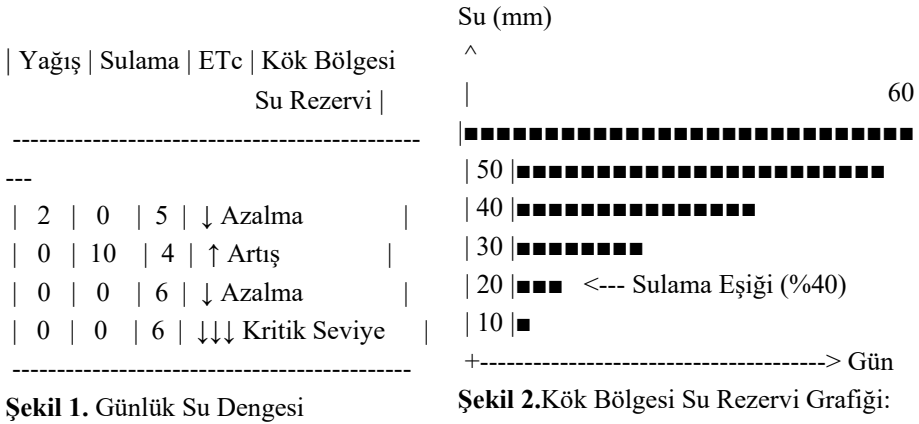
Evapotranspirasyon, bitkilerin transpirasyonu ve toprak yüzeyinin evaporasyonunun toplamıdır. Sulama ihtiyacının hesaplanmasında en yaygın kullanılan yöntem FAO-56 yaklaşımıdır (Allen et al., 1998). Bu yaklaşımda, referans evapotranspirasyon (ET_0) Penman–Monteith eşitliğiyle hesaplanmakta, bitkiye özgü katsayılarla (K_c) güncel su ihtiyacı belirlenmektedir. Bu yöntemde ET_0 meteorolojik verilerden hesaplanır: $ET_c = K_c \times ET_0$

formülü ile gerçek su ihtiyacı tahmin edilir. Türkiye’de elma üzerine yapılan bazı çalışmalarda K_c değerleri 0.52–1.00 arasında değişmektedir (Çoban ve Yazar, 2017).

1.3.1.2. TOPRAK SU DENGESİ (SOIL WATER BALANCE, SWB)

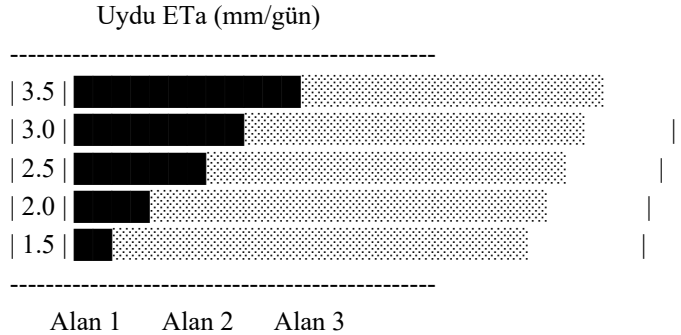
Toprakta bitkinin kök bölgesindeki su rezervi günlük olarak izlenir. Bu rezervin değerlendirilmesinde;

$Depletion(t) = Depletion(t-1) - (Yağış + Sulama) + ET_c$ denklemi kullanılır. Toprak neminin kullanılabilir suyun %40–50’sine düştüğü noktada sulama yapılır (Demir vd., 2021) (Şekil 1 ve 2).



1.3.2. UZAKTAN ALGILAMA + ENERJİ DENGESİ YAKLAŞIMLARI (METRIC, SEBAL)

Enerji dengesi modelleri, uydu görüntülerinden alan bazlı ETa (gerçek evapotranspirasyon) üretir. Son yıllarda elma bahçelerinde Kcb-SAVI ilişkileri başarılı şekilde kullanılmıştır (Pôças vd., 2015; Morton vd., 2020). (şekil 3)

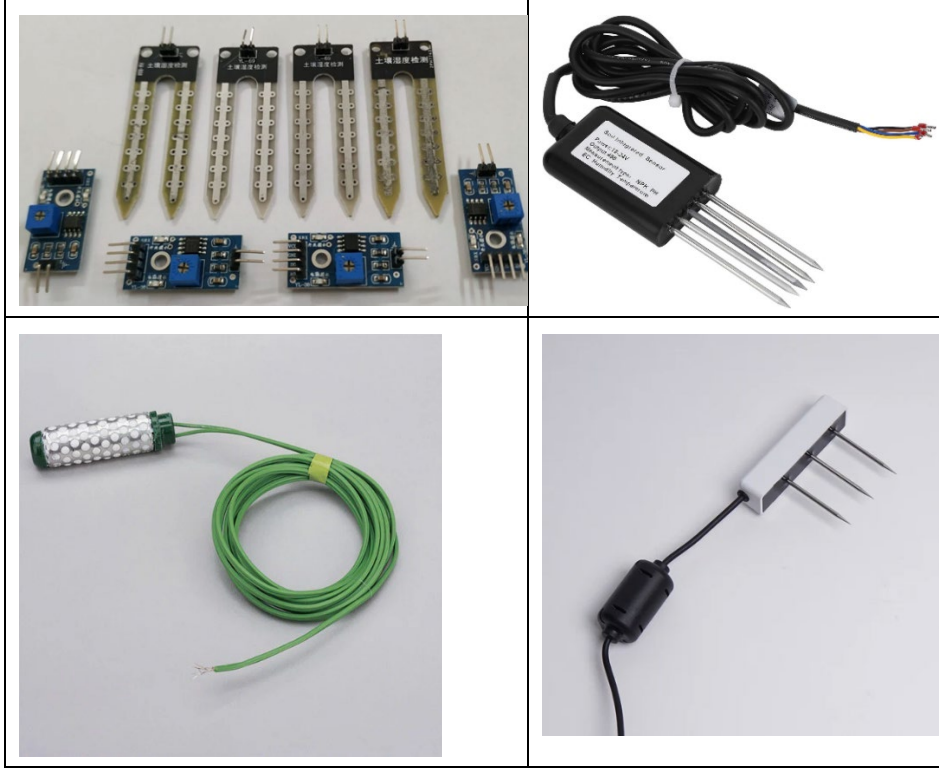


(Koyu bloklar → yüksek ET (aktif örtü); Açık bloklar → düşük ET (kurak/zayıf örtü))

1.3.2. ÖLÇÜM-TEMELLİ VE SENSÖR TABANLI YÖNTEMLER

1.3.2.1. TOPRAK NEM SENSÖRLERİ

TDR, FDR ve tansiyometreler kök bölgesindeki nem değişimini gerçek zamanlı ölçerek sulama kararına doğrudan katkı sağlar (Kim vd., 2024) (şekil 4).



Şekil 4. Bazı toprak nem sensör tipleri

1.3.2.2. Bitki Temelli Göstergeler

Gövde çapı değişimi, yaprak su potansiyeli ve stomatal iletkenlik gibi parametreler bitkinin su stresini doğrudan gösterir (Goldhamer & Fereres, 2001). Model-temelli yöntemler (FAO-56, SWB), basit, erişilebilir, başlangıç için yeterli; ancak yerel koşullarla kalibre edilmesi gerek yöntem olarak kabul

1.4. ELMA BAHÇELERİNDE SULAMA YÖNTEMLERİ

1.4.1. YÜZEY (GELENEKSEL) SULAMA

Açık kanallar veya akışla sağlanan yüzey sulamadır. Genellikle düz arazilere ve suya kolay erişim olan bahçelerde kullanılmaktadır. Düşük verimlilik, düzensiz dağılımla birlikte, tuz birikimi riskini barındırır.

1.4.2. YAğMURLAMA VE MİKRO-YAğMURLAMA

Yağmurlama ve mikro-yağmurlama sulama yöntemleri, suyun daha homojen dağılmasını sağlar; fakat buharlaşma kayıpları, su tüketimi ve enerji maliyeti gibi dezavantajlar taşır. Literatürde elma özelinde bu yöntemlerin yaygın tercih edilmediği; daha çok damla/SDI sistemlerine yönelim olduğu görülmektedir. Aynı zamanda, elma için yağmurlama yöntemi, su kullanımı ve verimlilik açısından modern yöntemlerin gerisinde kalmaktadır (şekil 6).



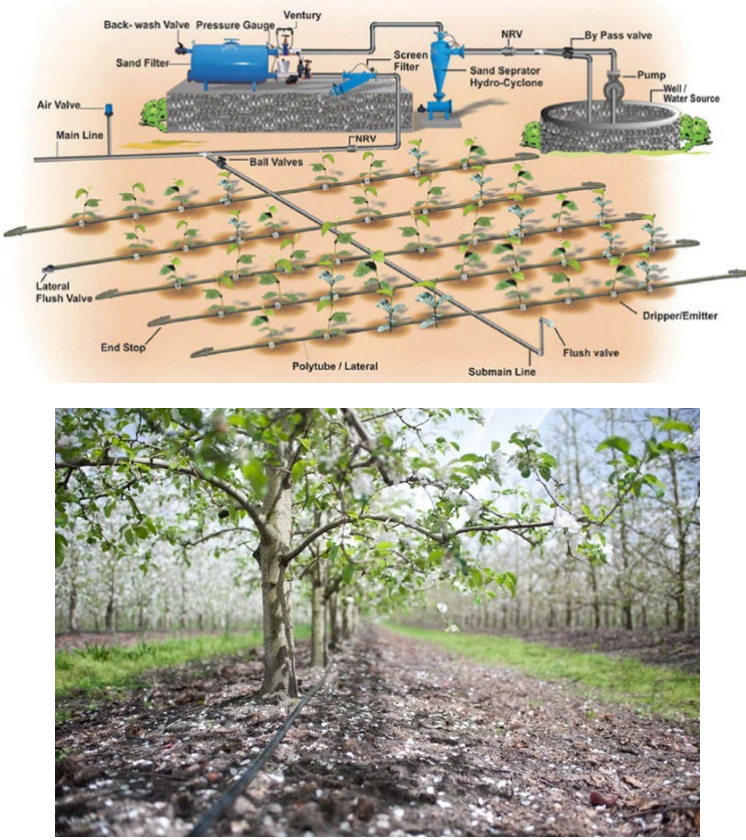
şekil 6. Micro-sprinkler sistemler (Anonim 2025a)

Elma yetiştiriciliği suya duyarlı olup sulama yönetimi, verim kalite ve ekonomik sürdürülebilirlik üzerinde belirleyicidir. Günümüzde su kaynaklarının giderek azalması ve iklim değişikliğinin etkileri, elma yetiştiriciliğinde modern

sulama teknolojilerinin kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Bu teknolojiler, hem su tasarrufu sağlamak hem de verimi ve meyve kalitesini artırmak için geliştirilmiştir. Sürdürülebilir sulama uygulamaları, üretim maliyetlerini düşürürken çevresel etkileri de azaltmaktadır. Geleneksel yüzey sulama yöntemlerinden modern damla ve alt yüzey damla (SDI) ile kısıntılı sulama (DI, RDI, PRD) sistemlerine geçiş, su tasarrufu ve çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik önem taşımaktadır (Han, 2018; Consoli vd., 2017; Du, 2015; 2025).

1.4.3. DAMLA SULAMA (SURFACE DRİP)

Damla sulama, suyun doğrudan kök bölgesine kontrollü ve düşük debili verilmesini sağlar, bu da su verimliliğini artırır. 2019–2021 döneminde 7-yaşlı elma ağaçlarında yapılan bir çalışmada, damla sulamanın kök uzunluğu ve kök dağılımı üzerinde belirgin etkisi olduğunu göstermiştir: damla sulama, kök yoğunluğunu ve derinlik dağılımını artırmıştır (Svoboda vd. 2023). Ayrıca Türkiye’de çok yıllık yüzey sulamadan damla sulamaya geçen elma bahçelerinde ekonomik analiz yapılmış; uzun vadede damla sulamanın hem ekonomik hem çevresel açıdan avantaj sağladığı raporlanmıştır (Öztürk vd. 2018) (şekil 7).



Şekil 7. Elma bahçelerinde damla sulama sistemi ve ana yapı elamanları (Anonim 2025a)

1.4.4. YÜZEY ALTI DAMLA SULAMA (SDI)

Yüzey altı damla sulama (SDI), damla hatlarının toprak altına gömülmesiyle suyu doğrudan kök bölgesine ulaştırır; bu da su tasarrufu, buharlaşma kayıplarının azalması ve kök sisteminin derinleşmesi anlamına gelir. Geniş kapsamlı bir çalışma, SDI'nin hem kök gelişimini desteklediğini hem de sera gazı emisyonlarını (CO_2 , N_2O) anlamlı şekilde azalttığını raporlamıştır (Liu vd. 2025). Diğer bir çalışma, farklı SDI derinliklerinin elma ağacı büyümesi, verim ve meyve kalitesi üzerindeki etkilerini incelemiştir; SDI'nin doğru derinlikte uygulanmasının olumlu sonuç verdiğini göstermiştir (Zeng vd. 2025). Ayrıca,

farklı damla sulama sistemlerinin (yüzey damla + yer altı damla) karşılaştırıldığı bir araştırmada, yer altı damla hattı (subsurface drip) en yüksek meyve verimi ve kaliteyi vermiştir (Masan vd. 2025). Yüzey altı damla sulama, güncel araştırmalar ışığında elma bahçelerinde hem üretim hem çevresel sürdürülebilirlik açısından en ileri sulama yöntemi olarak öne çıkmaktadır (Han, 2018) (şekil 8).



Şekil 8. Yüzey altı damla sulama sistemi (Anonim 2025c)

1.4.5. KISINTILI SULAMA YAKLAŞIMLARI (DI, RDI, PRD)

Kısıntılı sulama (deficit irrigation / deficit drip); yani ağaçları amaçlı su stresine sokarak su kullanımını azaltma, güncel elma sulama çalışmalarında etkinliğiyle dikkat çeken bir metottur. Özellikle yeni bir çalışmada, 85 % ETC düzeyinde sulamanın (yani yaklaşık %15 kısıntılı sulama) bitkide stomatal kontrolü ve fotosentetik verimliliği artırarak su kullanım verimliliğini (WUE) yükselttiği gösterilmiştir (Wen vd. 2025). Ayrıca, Çin’de Loess Plato’su’nda elma bahçelerinde yapılan bir çalışma, uygun doz ve zamanlamayla kısıntılı damla sulamanın hem meyve kalitesi hem su verimliliği hem de verim açısından

dengeyi sonuç verdiğini göstermiştir (Wen vd. 2024). Son olarak, damla sulama frekansını değiştiren bir çalışma, kısıntılı sulama (deficit) uygulanan ağaçların daha derin toprak su kaynaklarını kullandığını ve kök su alma plastisitesinin arttığını göstermiştir (Brighenti vd. 2024). Kısıntılı sulama stratejileri, su kısıtı olan bölgelerde özellikle değerli; doğru rejimlerle hem su tasarrufu hem de kalite-verim dengesi sağlayan bir yaklaşımdır. Güncel literatür, su verimliliği, çevresel sürdürülebilirlik ve verim/kalite dengesi açısından SDI ve kısıtlı damla sulama yöntemlerini önermektedir. Özellikle su kısıtı olan veya suyun dikkatli yönetilmesi gereken bölgelerde bu sistemler avantajlıdır. Farklı sulama metotlarının tür, çeşit, iklim özellikleri ve birbirleri arasındaki etkileşimler çerçevesinde birbirlerine üstünlükleri olabilir. Bu metotların avantaj, dezavantaj ve üstünlükleri tablo 6’da özetlenmiştir.

Farklı sulama yaklaşımları ile ilgili değerlendirmelerde özellikle verim ve meyve kalitesi gibi bir çok parametre de ele alınmakta, bu unsurlara göre değerlendirmeler yapılmaktadır (tablo 7).

Tablo 6. Farklı sulama yöntemlerinin etkinlikleri

Metot	Su Verimliliği / WUE	Yatırım& Kurulum Maliyeti	Operasyon/Bakım	Meyve Kalitesi / Verim	Avantaj / Dezavantaj Notu
Yüzey Sulama	Düşük	Düşük	Düşük	Genelde düşük / su israfı	Su tasarrufu yok, verimsiz
Yağmurlama / Mikro-yağmurlama	Orta	Orta	Orta/Yüksek enerji	Orta – düşük	Buharlaşma kaybı, su israfı
Damla Sulama (Surface Drip)	Yüksek	Orta/Yüksek	Orta	İyi	Köklere odaklı su, su tasarrufu
Alt Yüzey Damla (SDI)	Çok Yüksek	Yüksek	Orta/Yüksek	Çok iyi	Kök derinleşmesi, çevresel fayda
Kısıntılı / Deficit Drip	Yüksek (optimum)	Orta	Yüksek izleme / yönetim	Kalite & verim dengeli	Su tasarrufu, dikkatli yönetim gerek

Tablo 7. Sulama Sistemlerinin Meyve Kalitesine Etkisi (Lakso, 2018; Vurtchev vd. 2020).

Sistem	Ortalama Meyve Ağırlığı (g)	Şeker İçeriği (%)	Sertlik (N)	Renklenme (L* değeri)
Yüzey Sulama	150	12.5	25	70
Yağmurlama	165	13.2	28	68
Mikro Yağmurlama	170	13.8	30	66
Damla Sulama	180	14.5	32	65

Elma yetiştiriciliğinde sulama yöntemi seçimi, sadece su tüketimi değil; verim, meyve kalitesi, su kullanım etkinliği (WUE) ve uzun vadeli sürdürülebilirlik açısından da kritik öneme sahiptir. Yeni araştırmalar, farklı sulama sistemlerinin bu açılardan oldukça değişken sonuçlar verdiğini göstermektedir. Örneğin, toprak altı damla sulama (subsurface drip irrigation-SDI), yüzey damla (surface drip) ile kıyaslandığında hem kök sisteminde derin su alımını teşvik etmekte hem de sera gazı emisyonlarını azaltarak çevresel sürdürülebilirliği artırmaktadır. SDI uygulanan elma bahçelerinde, geleneksel damla sulamaya göre verimin %29–38 oranında arttığı rapor edilmiştir. Bir diğer strateji olan kısıntılı damla sulama (deficit-drip irrigation, DDI) ile değişken su uygulamaları da verim ve su verimliliği açısından olumlu sonuçlar vermektedir. 2025 yılında yapılan bir çalışmada, farklı su kısıntısı dozlarının ve uygulama zamanlarının fotosentez performansı, vejetatif büyüme, meyve verimi ve su verimliliği üzerindeki etkileri analiz edilmiş; su tüketimini önemli ölçüde azaltırken, verimde ve su verimliliğinde artış sağlandığı bildirilmiştir (Wen vd., 2025). Damla sulama ile birlikte gübreleme-sulama entegrasyonu (fertigasyon) de elma üretiminde verim ve kaliteyi artıran bir uygulama olarak öne çıkıyor. Özellikle yoğun bahçelerde, su ve besin kontrolü ile birlikte yapılan fertigasyon, hem verim artışı hem de kaynak kullanım etkinliği sağlamaktadır (Sharma vd., 2024). Bununla birlikte, sulama stratejisinin zamanlaması ve yönetimi de büyük önem taşımaktadır. Global meta-analizler, sulama zamanlaması ve su dozajının,

meyve ağacı türleri (elma, şeftali, kiraz) üzerinde verim, kalite ve su verimliliği açısından anlamlı farklar yarattığını göstermektedir. Bu sonuçlar, sulama programlarının bölge iklimi, toprak tipi ve meyve ağacı fizyolojisine göre dikkatle tasarlanması gerektiğini vurgulamaktadır (Nawab vd., 2024).

2. ELMA BAHÇELERİNDE BİTKİ BESLEME VE YÖNETİMİ

Elma bahçelerinde verim ve meyve kalitesinin optimize edilmesi, dengeli gübreleme uygulamalarına doğrudan bağlıdır. Gübreleme, yalnızca ağaçların büyümesini ve meyve oluşumunu desteklemekle kalmaz; aynı zamanda bitki sağlığını korur ve çevresel etkilerin azaltılmasına yardımcı olur (Gentile & Boldingh, 2022). Elma ağaçlarının besin ihtiyaçları, ağaç yaşı, çeşit, toprak özellikleri ve iklim koşullarına göre değişiklik göstermektedir (Csihon et al., 2024). Örneğin, genç ağaçlarda büyüme döneminde azot (N) ve potasyum (K) ihtiyacı yüksek iken, meyveye yatma ve olgunlaşma dönemlerinde fosfor (P) ve kalsiyum (Ca) önem kazanmaktadır (Shen et al., 2025). Aynı zamanda mikro besin elementleri, özellikle bor (B) ve çinko (Zn), meyve kalitesi ve depolama dayanıklılığı üzerinde kritik rol oynamaktadır (Lepp et.al., 2024). Araştırmalar, elma bahçelerinde gübreleme stratejilerinin yalnızca verim değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik ve ekonomik verimlilik üzerinde de önemli etkiler yarattığını göstermektedir. Gentile ve Boldingh (2022) sistem düzeyinde yapılan araştırmalarda, aşırı azot uygulamasının yer altı suyu kirliliğine yol açtığını, dengeli gübrelemenin ise hem verimi artırdığını hem de çevresel riskleri azalttığını bildirmiştir. Benzer şekilde, Ljavić vd. (2023) farklı elma çeşitlerinde yapılan gübreleme rejimi karşılaştırmalarında, optimum besin dengesi sağlanan ağaçların hem meyve kalitesi hem de ekonomik getirisi açısından üstün olduğunu rapor etmiştir. Elma yetiştiriciliğinde gübreleme stratejileri, hem vegetatif gelişim hem de meyve kalite parametreleri (sertlik, SSC, renk, kuru

madde) üzerinde belirleyici rol oynamaktadır (Robinson, 2011; Ertürk & Aydın, 2020). Yeni yarı-bodur anaçların (M9, M26, MM106) yaygınlaşması, besin alımı dinamiklerini değiştirmiş; özellikle N–Ca dengesine duyarlı, yüksek verimli fakat daha hassas sistemler ortaya çıkmıştır. Son 10 yılda fertigasyon temelli programlar, hassas tarım araçları (VRA, sensör temelli besleme), organik ve mikrobiyal gübreler, yaprak gübreleri, Ca ve mikro element yönetiminin önemi belirgin şekilde artmıştır.

21. yüzyılda gübreler bitkisel üretim oldukça önemli bir girdidir. Yetiştiricilik maliyetlerinin yaklaşık 1/3 lük kısmı gübre harcamalarını kapsamaktadır. Gübre harcamaları içinde en pahalı girdiler grubu ise inorganik gübrelerdir. Bu gübrelerin sadece belli bir kısmı bitkiler tarafından kullanılabilir. Nitekim; bitkiler toplam uygulanan azotlu gübrelerin yalnızca %30-50'sini ve toplam uygulanan fosforlu gübrelerin %10-45'ini kullanır. Dolayısıyla bitki yetiştiriciliği için uygulanan gübrenin %60-90'ı ekosistemde kaybolmaktadır (Adesemoye vd, 2008). Bu kayıplar, özellikle gelişmekte olan ülkelerde gübre kullanım verimliliği ve kirlilik üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kimyasal gübrelerin aşırı kullanımı yalnızca ekonomik olarak endişe verici olmakla kalmaz, aynı zamanda ekolojik ve meyve kalitesi açısından da olumsuz sonuçlar doğurur (Shah ve Wu, 2019).

Çok yıllık meyve türlerinde ağaçların besin elementi ihtiyaçlarını belirlemek için bahçelerin mevcut durumu (görsel), yüksek verim alınan meyve bahçelerinde besin yönetim programının takip edilmesi, hasat süreci ile kaybedilen besin elementi miktarlarının tespiti ve yaprak/toprak analizleri ile mevcut durumun belirlenmesi gibi birçok alternatif değerlendirme yapılabilir (Tagliavini ve Scandellari 2012). Bu nedenle elma bahçelerinde gübreleme programlarını oluşturmadan önce, toprağın ve bitkinin besin durumunu belirlemek gerekir. Ortaya çıkacak mevcut durum sayesinde özellikle inorganik gübre uygulamaları bu test sonuçları temelinde düzenlenebilir (tablo 8).

Tablo 8. Bazı besin maddeleri, bitkiler tarafından alınma formları, dokulardaki konsantrasyonları ve işlevleri

Besin Elementi	Besin Elementinin alındığı form	Bitki dokularındaki konsantrasyonu	İşlevi
N	NH_4^+ , NO_3^-	% 1.5	Klorofil, protein, nükleik asit, koenzim, amino şeker, amin, polipeptid vb. sentezi.
P	H_2PO_4^- HPO_4^{2-}	% 0.1–0.4	Metabolik transfer süreçlerinde, ATP, ADP, fotosentez ve solunumda önemlidir; fosfolipid bileşenidir.
K	K^+	% 1-5	Şeker ve nişasta oluşumunda rol oynar; lipit metabolizması ve azot fiksasyonu; organik asitleri nötralize eder.
Ca	Ca^{+2}	% 0,2-1,0	Hücre duvarlarının bileşeni: hücre büyümesi ve hücre bölünmesi için hayati önem taşır: bazı enzimlerin kofaktörüdür.
Mg	Mg^{+2}	% 0,1-0,4	Klorofilin bileşenidir.
S	SO_4^-	% 0,1-0,4	Amino asitlerin sentezi

Tablo 8. Devamı.

Besin Elementi	Besin Elementinin alındığı form	Bitki dokularındaki konsantrasyonu	İşlevi
Fe	Fe^{+2}	50-250 ppm	Sitokromların, perrikromun ve leghemoglobinin yapısal bileşenidir ve bu nedenle solunum ve fotosentezdeki oksidasyon-redüksiyon reaksiyonlarında rol oynar
Cu	Cu^{+2}	5-20 ppm	Klorofil oluşumu; sitokrom oksidaz gibi çeşitli enzimlerin bir parçasıdır; lignin oluşumunda, protein ve karbonhidrat metabolizmasında rol oynar.
Mn	Mn^{+2}	20-500 ppm	Fotosentez-oksijen evrimi, oksidasyon-redüksiyon süreçleri, dekarboksilasyon ve hidroliz reaksiyonları.
Zn	Zn^{+2}	21-150 ppm	Oksin ve kloroplastların oluşumu; karbonhidrat metabolizması; zar proteinlerinin stabilizasyonu ve yapısal yönelimi.
B	H_3BO_3 , H_2BO_3^-	6-60 ppm	Çimlenme ve polen tüpü büyümesinde rol oynar; meyve verme, hücre bölünmesi, azot metabolizması
Mo	MoO_4^{2-}	<1 ppm	Nitrat reduktatlarının ve nitrojenazın temel bileşenidir, bu nedenle N fiksasyonunda önemlidir.

2.1. ELMA AĞAÇLARINDA BİTKİ BESİN ELEMENTİ İHTİYAÇLARI VE BELİRLENMESİ

Genel olarak, en geleneksel meyve üretim bölgelerinde, gübreleme programları toprak verimliliğine, ağaç gereksinimlerine ve ürünün beslenme durumuna dayanır. Toprak ve doku analizlerinin sonuçları, bitkilerin besin ilavelerine yanıt verme olasılığına göre kritik besin aralıklarıyla karşılaştırılır. Bazı sistemler, beklenen verim, yeni sürgünlerin uzunluğuna göre tahmin edilebilen bitki büyümesi ve ağaçlarda olduğu gibi meyve analizi gibi diğer tavsiye kriterlerini de dikkate alır (CQFS-RS/SC, 2004). Ilıman iklim meyve bitkileri için gübre tavsiye kılavuzlarının tümü uzun vadeli bölgesel çalışmaların sonuçlarına dayanmamaktadır.

Gübreleme, meyve ağacı yetiştiriciliğinde kârı artırmanın en etkili araçlarından biri olarak kabul edilir; gübrelerin nispeten düşük maliyeti ve ağaç vejetatif ve üreme organlarının eklenen besinlere olumlu tepkisi, gerçek ağaç gereksinimlerine yeterince dikkat edilmeden genel bir gübre kullanımını tetiklemiştir. Ancak, artan küresel pazar göz önüne alındığında, organoleptik özellikler, işlevsel özellikler ve çevre açısından müşteri talebini karşılayan bir ürün sunarak meyve kalitesini iyileştirmek artık stratejik bir öneme sahiptir. Bitki gereksinimlerine kıyasla aşırı besin bulunabilirliği, aşırı bitki gelişimi, verim ve meyve kabuğu renginde azalma, çiçek dökülmesi (Huber ve Jones, 2013; Martin vd., 2004) ve yaprak ve meyvelerde mantar hastalıklarının görülme sıklığının artması (Huber ve Thompson, 2007) gibi olumsuz sonuçlar doğurur. Genellikle, toprak besin bulunabilirliği zaten yeterli aralıkta olduğundan meyve veriminde bir artış gözlenmez (Mengel ve Kirkby, 2001); üst eşiğin üzerinde ise toksisite belirtileri beklenir. Bazen toprak besin bulunabilirliği alt eşiğin altında olsa bile, ağaçlar gübrelemeye yanıt vermez çünkü besin rezervleri önceki yıllarda çok yıllık bitki organlarında birikir (Brunetto vd., 2014a).

Gübreleme uygulaması, meyve kalitesini morfolojik, fiziksel, kimyasal ve organoleptik açılarından etkileyebilir. Özellikle, kimyasal bileşime göre meyve kalitesi; makro ve mikro besinler, pH, toplam çözünür katılar (TSS), toplam veya titre edilebilir asitlik, organik asitler, antosiyaninler, toplam polifenoller, vitaminler vb. aracılığıyla tahmin edilebilir. Meyve kalitesi, taze pazar, depolama veya meyve işleme standartlarını karşılamalıdır. Dolayısıyla, gübreleme yönetimi nihai varış noktasına göre ayarlanmalıdır (Marschner 2012). Elma bahçelerinde belli başlı besin elementlerinin etkinliklerine ilişkin değerlendirmeler aşağıda özetlenmiştir.

Azot

N hariç diğer tüm faktörler eşit olduğunda, topraktaki N bulunabilirliği ve N alımı ne kadar yüksek olursa, elma ağaçlarının vejetatif büyümesi de o kadar yüksek olur. Sürgün büyümesi; kök büyümesi ve ürün verimliliğinden ziyade artan toprak N bulunabilirliğine daha fazla tepki verir. Ağaç büyümesi, ürün verimliliği ve ağaç organlarının mineral besin konsantrasyonu tahminlerine dayanan yıllık N alımı verileri, verime bağlı olarak topraktan N gideriminin 60 ila 75 kg N ha⁻¹ yıl aralığında olduğunu göstermektedir (Tagliavini; Scandellari, 2013). 40 ila 60 t FW ha⁻¹ verim için meyvelere N ilavesi genellikle 20 ila 30 kg N ha⁻¹ aralığındadır. İlkbaharda büyümenin yeniden başlamasından tam çiçeklenmeye iki hafta kalana kadar elma ağaçları, esas olarak yeniden mobilizasyondan elde edilen N'yi kullanırken, kök N alımı bundan sonra ana N kaynağı haline gelir. Ayrıca; N alımı, tam çiçeklenmeden 37 ila 81 gün sonra en yüksek oranlarda gerçekleşir ve ardından azalmaya başlar (Zanotelli vd. (2014). Yapıpraktan uygulanan N, daha yüksek verimlilikle hızla emilir ve bu nedenle, özellikle hasat sonrası dönemde, sonbahar ve kış yağışları nedeniyle topraktaki N miktarının genellikle N sızma riskinde artışa neden olduğu durumlarda, topraktaki N miktarını desteklemek için ilginç bir yöntem sunar (Toselli ve ark.,

2004). Toprakta aşırı N bulunması, lüks tüketime neden olur ve kırmızı renkli çeşitlerde, özellikle aşırı sürgün büyümesinin neden olduğu artan gölgelenme nedeniyle elma meyvesinin rengini düşürür; ayrıca, sürgün sertleşmesini (odunlaşma) baskılayarak onları kış donu zararlarına karşı daha duyarlı hale getirebilir. N toprakta oldukça hareketli olduğundan, N miktarı ne kadar yüksekse, sızma veya buharlaşma yoluyla N kaybı riski de o kadar yüksektir.

Fosfor

Çoğu toprakta fosfor çözünürlüğü düşüktür ve bu da toprak çözeltisinde kolayca bulunabilen çözünür fosfor konsantrasyonlarının çok düşük, genellikle ppm. aralığında olmasına neden olur. Bu, özellikle pH değeri 7'nin üzerindeki topraklarda kalsiyum fosfatlar ve pH değeri 4'ün altındaki topraklarda demir ve alüminyum fosfatlar şeklinde fosforun toprakta emilim ve çökeltme eğiliminin bir sonucudur. Bu nedenle, optimum fosfor bulunabilirliği genellikle asidik ve bazik pH koşulları arasındaki orta pH aralığında gerçekleşir. Ancak topraklar, toprak çözeltisinde yeterli fosforu muhafaza etme kabiliyetleri (toprağın fosfat tampon kapasitesi (PBC) açısından da farklılık gösterir. Yüksek PBC'li topraklar, aynı toprak çözeltisi fosfor konsantrasyonunu elde etmek için düşük PBC'li topraklara göre çok daha fazla fosfor ilavesi gerektirir. Yüksek PBC'li topraklar ayrıca, meyve bahçelerinde fosforun ana kök bölgesine etkili bir şekilde aşağı doğru hareket etmesini sağlamak için daha yüksek oranda fosforlu gübre gerektirir. Toprak çözeltisindeki fosfor konsantrasyonunun düşük olması ve elma ağaçlarının köklenme yoğunluğunun düşük olması nedeniyle, elmada fosfor alımı, fosforun toprak matrisinden desorpsiyonuna ve ağaç köklerine difüzyonuna büyük ölçüde bağlıdır. Sonuç olarak, desorpsiyonu ve difüzyonu azaltan düşük sıcaklık ve nem içeriği gibi toprak özellikleri, fosfor alımını da azaltır. Köklerinin, ağaçlarda fosfor alımını uyaran veziküler-arbüsküler endomikorizalarla enfekte olduğu bilinen elma için fosfor alımını etkileyen tüm

faktörleri yeterince simüle eden anlamlı bir toprak özütü geliştirmek zor olmuştur. Sonuç olarak, fosfor gübreleme programlarını tasarlamak için çeşitli çıkarılabilir toprak fosfor tayinlerinden sınırlı ölçüde yararlanılmıştır. Kullanılan ekstraktant ne olursa olsun, çıkarılabilir fosfor oranı düşük topraklara sahip bahçelerin fosfor gübrelemesine yanıt verme olasılığı en yüksektir. Buna karşılık, orta ve hatta yüksek fosfor seviyelerinin test edildiği yerlerde dikim çukuruna yüksek oranda fosfor uygulanmasıyla elma büyümesi teşvik edilmiştir. Elma ağaçlarının mutlak fosfor gereksinimleri diğer besin maddelerine kıyasla düşüktür. Elma ağaçlarında yüksek fosfor ihtiyacı, özellikle dikim sırasında, kök ve sürgünlerin ortaya çıktığı önemli meristematik aktivite dönemlerinde (fosforun önemli bir düzenleyici olduğu) ortaya çıkar. Bununla birlikte, meyve veren ağaçlarda yıllık fosfor gereksinimleri, kök uzunluğunun minimum olduğu bir dönemde, gelişmekte olan yapraklarda ve meyveciklerde yoğun hücre bölünmesinin meydana geldiği büyüme mevsiminin başlarında yüksek olabilir. Fosfor eksikliği olan ağaçlarda tomurcuk patlamasının gecikmesi ve çiçeklenmenin azalması da dikkat çekicidir. Bu gözlemler, fosfor eksikliğini tarla semptomlarından teşhis etmenin zor olabileceğini göstermektedir. Fosfor eksikliği olan genç ağaçlarla ilgili çalışmalarda, yeterli orta-uç yaprak fosfor konsantrasyonları %0,20 ile %0,30 kuru ağırlık (DW) arasındadır ve genellikle olgun meyve veren ağaçlar için geliştirilen eşikleri aşmaktadır. Yüksek oranda çözünür amonyum-fosfat gübrelerinin doğrudan dikim çukuruna uygulanması, yeni dikilen elma ağaçlarının gelişimini iyileştirme ve vejetatif büyümesini ve ilk verimini hızlandırma yöntemi olarak birçok bölgede yaygın olarak kullanılmaktadır. Çözünür fosfor bileşiklerinin yapraktan uygulanması, elmanın fosfor besin değerini başarıyla artırmıştır. Püskürtmeler genellikle meyve kalitesini artırmak için sezonun başlarında (çiçeklenmeden sonraki 4-6 hafta içinde) meyve hücresi bölünmesi döneminde uygulanır.

Potasyum

Olgun ve yüksek verimli elma bahçelerinde, K genellikle en yüksek oranda emilen besin maddesidir. Elma meyvesi, aslında güçlü bir K deposudur ve normalde 0,55 ila 0,8 kg K Mg-1 meyve kuru ağırlığı (d.w.) arasında değişen konsantrasyonlarda önemli miktarda K içerir. Bu nedenle, yıllık K alımı büyük ölçüde meyve verimine bağlıdır ve 80 ila 100 kg K ha-1 arasında, verim ise 40 ila 60 Mg meyve (d.w.) ha-1 arasında değişebilir. K eksikliği olan elma ağaçlarının yapraklarındaki K konsantrasyonu genellikle yaz aylarında %1'den (d.w.) daha azdır, yaprak fotosentezi düşüktür ve meyveler daha az şeker içerir. Optimum şeker-asit oranı ve meyve büyüklüğü genellikle K bakımından zengin topraklarda bildirilmektedir. Aşırı K tedariki olan ağaçlarda bazen Ca ile ilişkili bozukluklar görülür ve aşırı meyve K/Ca oranlarına sahiptir. N'ye benzer şekilde, elma ağaçlarında en yüksek K alımı oranı hücre bölünmesinden sonra gerçekleşir ve en az 5 hafta sürer (Tablo 5); K alım oranları meyve hasadına kadar nispeten yüksek kalır. Yüksek floem hareketliliği sayesinde, meyveye K dağılımı meyve tutumundan meyve olgunluğuna kadar nispeten sabit kalır (Zavalloni vd., 2001).

Kalsiyum

Ca, elmada özellikle hasat sonrası acı benek gibi fizyolojik meyve bozukluklarının gelişiminde rol oynar. Öte yandan, hasat öncesi Ca sprey uygulamalarıyla meyvedeki Ca içeriğinin artırılması, *Gloeosporium* enfeksiyonunu, yani elmaların iç çürümelerini ve yumuşamasını azaltmıştır. Hasat sonrası CaCl₂ uygulamalarının ayrıca *Penicillium* ve diğer mantar hastalıklarının neden olduğu çürümeyi azalttığı bilinmektedir. Toplam meyve Ca konsantrasyonu genellikle 200-400 ppm aralığındadır, ancak kabuk ve meyve eti arasında farklılık gösterir ve çok daha yüksek konsantrasyonlara (>700 ppm) ulaşabilir. Elma çeşitleri, Ca eksikliğinden kaynaklanan acı beneğe karşı duyarlılıkları bakımından farklılık gösterir; 'Gala' ve 'Golden Delicious',

'Breaburn', 'Red Decilious' ve 'Stayman'dan daha az duyarlıdır. Dünya çapındaki başlıca elma bölgelerindeki topraklar genellikle Ca bakımından zengindir ve Ca ile ilgili bozukluklar, Ca alımından ziyade meyvenin uygun Ca dağılımındaki içsel sorunların bir sonucudur. Elma ağaçlarının toplam Ca alımı, N ile karşılaştırılabilir olabilir; örneğin, Scandellari vd. (2010), 'Gala' ağaçları tarafından yılda 74 kg Ca ha-1'in alındığını ve ardından şu şekilde dağıtıldığını tahmin etmiştir: %11'i ağaç iskeletinde, %4'ü meyvelerde, %60'ı yapraklarda ve %25'i budanmış odunda. Bazı hassas elma çeşitleri (örneğin, 'Cox's Orange Pippin'), tam çiçeklenmeden sonraki 4-6 hafta içinde en fazla Ca'yı biriktirir; ancak 'Golden D.', 'Breaburn' ve 'Fuji' çeşitlerinde meyveye Ca akışı (daha düşük oranlarda bile) 120-140 güne kadar devam edebilir (Zavalloni ve ark., 2001), ancak Ca'nın vejetatif büyümeye aşırı bir şekilde dağılmaması gerekir. Meyveler büyük boyutlara ulaştığında (örneğin, ara yıllarda), meyvedeki Ca miktarı çok seyrelir ve meyvelerde acı benek oluşumuna daha yatkın hale gelir.

Magnezyum

Magnezyum, potasyum gibi, toprakta farklı formlarda bulunur. Özellikle organik madde ve kil minerallerine adsorbe edilen değiştirilebilir magnezyum ve toprak çözeltisinde çözünmüş çözünebilir magnezyum bulunur. Magnezyum kil minerallerinin yapısı içinde spesifik fiksasyona duyarlı değildir. Tüm değiştirilebilir katyonlar içindeki oranı genellikle kalsiyumdan sonra ikinci sıradadır ve potasyumunkinden fazladır. Sonuç olarak, toprak çözeltisi konsantrasyonları nispeten yüksektir ve kütle akışı, difüzyondan ziyade elma ağaçlarının magnezyum ihtiyaçlarını karşılayabilir. Ancak magnezyum bulunabilirliği, magnezyum ile K^+ , Ca^{+2} , NH^{+4} , Mn^{+2} ve H^+ dahil olmak üzere diğer pozitif yüklü katyonlar arasındaki iyonik dengeden etkilenir. Bu nedenle, yoğun kireçli veya potasyumla gübrelenmiş topraklarda magnezyum eksiklikleri meydana gelebilir. Toprak pH'ı ayrıca magnezyum bulunabilirliğini de etkiler ve

bu genellikle pH'ı 5-7 olan hafif asidik topraklarda optimumdur. pH 5'in altında H^+ ve Al^{+3} antagonizmaları yaygındır, 7'nin üzerinde ise Ca^{+2} baskındır. Elma ağacının magnezyum için nicel gereksinimleri, potasyum ve kalsiyumdan daha azdır. Toplam bitki magnezyumunun önemli bir kısmı (genellikle %15-20) klorofil molekülünün bir bileşeni olarak gereklidir ve bu iyon, fosforilasyon, ribuloz bifosfat karboksilaz aktivasyonu ve protein sentezi gibi enzimlerin aktivasyonunda önemli biyokimyasal işlevler görür (Marschener 2012). Magnezyum eksiklikleri en çok yaprak dokusunda belirgindir. Magnezyum floemde hareketli olduğundan, tercihen genç sürgün yapraklarına ve gelişmekte olan meyvelere taşınır. Eksikliğin şiddetine bağlı olarak, yaprak yanığı olarak bilinen kahverengi damarlar arası nekrotik lekeler gelişebilir, birleşebilir ve bazı çeşitlerde klorotik ve 'yanık yaprak' kenarlarına dönüşebilir. Şiddetli eksiklik, yaprakların kıvrılmasına ve erken yaprak dökülmesine neden olabilir. Genel olarak, yaprak magnezyum konsantrasyonları %0,20'nin altındaki konsantrasyonlara sahip yapraklarda magnezyum eksikliklerinin görülmesi muhtemeldir. Meyve bahçesi topraklarına magnezyum içeren materyallerin uygulanması, özellikle diğer toprak katyonlarına kıyasla toprak magnezyum durumunda anlamlı bir değişiklik sağlanabildiği sürece, elma ağaçlarının uzun vadeli magnezyum beslenmesini iyileştirebilir (Marschener, 2012) (tablo 9).

Makro elementlerin fizyolojik etkileri ve uygulama yöntemleri

Makro element	Fizyolojik Etkileri	Uygulama Yöntemleri
Nitrogen	- Protein sentezi - Fotosentez	- Toprak - Yaprak
Phosforus	- Enerji transferi - DNA sentezi	- Toprak - Yaprak
Potassium	- Su dengesi - Stres toleransı	- Toprak - Yaprak
Calcium	- Hücre duvarı yapısı - Kök gelişimi	- Toprak - Yaprak

Tablo 9. Bazı makro besin elementlerinin elma ağaçlarındaki etkileri

Mikro Besin Elementleri

Meyve bahçesi topraklarının toplam bor içeriği normalde 20 ila 200 ppm arasında değişir ve genellikle toplamın yalnızca küçük bir kısmı (%5'ten az) bitkiler için kullanılabilir. Toprak çözeltisinde yüksüz borik asit molekülü olarak çözünen bor, bitkiler için kullanılabilir, ancak kumlu topraklardan da kolayca yıkanır. Organik madde, mineralizasyon sırasında bitkiler için kullanılabilir olan önemli miktarda bor içerebilir. Kil ve organik maddeye bor adsorpsiyonu pH ile artar ve pH 8-9'da maksimum tutunma ve minimum çözelti konsantrasyonuna ulaşır. Bu nedenle, organik madde oranı düşük yıkanmış kumlu topraklar, özellikle kireçlemeden sonra bor eksikliğine karşı hassastır. Bor, şekerlerin hareketini, hücre duvarı yapısını, karbonhidrat metabolizmasını ve solunumu kolaylaştırmaktır. Çiçek ve meyvelerin döllenmesini iyileştirmede önemli bir rol oynar. Ayrıca önemli yaşamsal aktivitelerde de büyük bir rolü vardır ve gerçekleştirdiği faaliyetler arasında fotosentez ürünlerinin yapraklardan bitkinin aktif bölgelerine taşınmasını ve iletilmesini kolaylaştırmak yer alır. Polen tanelerinin çimlenmesinde ve polen tüpünün büyümesinde rol oynar. Bor

gübrelemesi çiçek tozlaşmasının sıklığını, meyve tutum oranını artırır, ılıman bölgelerdeki birçok meyvenin verimliliğini ve kalitesini yükseltir ve fizyolojik bozuklukların sıklığını azaltarak meyvelerin pazarlama özelliklerini iyileştirir (Ganie vd. 2013). Öte yandan çinko, nişasta oluşumuna ve nişasta sentetaz enziminin aktivasyonuna katılır ve ayrıca bitkinin gövdesinin uzamasına yardımcı olur ve büyüme düzenleyici oksinin etkisini uyarır. Bitkilerde önemlidir, örneğin hücre bölünmesini, yaprak büyümesini ve meyve gelişimini kontrol eden bir büyüme hormonu olan oksinin oluşumunu teşvik eder. Nişasta oluşumunu düzenler ve çinkonun büyük önemi, yapraklardaki yeşil pigmenti (klorofil) oluşturmak için yaprak hücrelerinin buna ihtiyaç duymasından kaynaklanır. Bu pigment, fotosentez süreciyle şeker üretiminde ve dolayısıyla meyvelere aktarılmasında rol oynar ve bu da meyvelerdeki şeker oranını artırır (Hadi ve Saleh, 2021).

Elma üretiminde, temel mikro besin maddelerinden biri olan demir, meyve ağaçlarının normal büyümesinde ve meyvelerinin kalitesinde vazgeçilmez bir rol oynar. Ancak, topraktaki demir bulunabilirliği çeşitli faktörlerden etkilenir ve bu da elmalarda demir eksikliğinin sık görülmesine neden olur. Bu nedenle, bu sorunu etkili bir şekilde yönetmek için demir kaynaklarını ve topraktaki davranışını tam olarak anlamak çok önemlidir. Elma üretimindeki demir kaynakları özellikle iki formda bulunur: iyonik kaynaklar ve şelatlı bileşikler. İyonik kaynaklardan elde edilen demir, genellikle demir sülfat gibi inorganik tuzlar formunda bulunur ve bu tuzlar doğrudan toprağa uygulanarak demir takviyesi yapılabilir. Öte yandan, şelatlı bileşikler formundaki demir, demir iyonlarının belirli şelatlayıcı ajanlarla bağlanmasıyla oluşur. Bu demir formu daha yüksek stabiliteye ve biyoyararlanıma sahiptir, toprakta daha uzun süre aktif kalır ve böylece meyve ağaçları tarafından daha etkili bir şekilde emilir ve kullanılır. Bununla birlikte, hem iyonik kaynakların hem de şelatlı demir formlarının gerçek kullanım verimliliği, toprak pH'ı,

organik madde içeriği, redoks potansiyeli ve rekabet eden iyonların varlığı gibi çeşitli faktörlerden etkilenir. Bu faktörler, topraktaki demirin çözünürlüğünü, hareketliliğini ve biyoyararlanımını topluca belirler ve bu da elma ağaçlarının demiri emme ve kullanma kabiliyetini etkiler. Topraktaki yetersiz toplam demir içeriğine ek olarak, yüksek toprak pH'ı, düşük organik madde içeriği ve yüksek karbonat seviyeleri gibi faktörler demir fiksasyonunu şiddetlendirerek biyoyararlanımını azaltabilir. Demir eksikliğinin en önemli nedenlerinden olan yüksek toprak pH seviyelerini düşürmek için asit karakterli gübreler (örneğin amonyum sülfat) veya organik asitli uygulamalar yapılabilir. Ayrıca, Fe-EDDHA veya Fe-DTPA şelat formları fertigasyon sistemiyle uygulanabilir. Yapraktan Fe uygulamalarının hızlı etki sağladığı ancak kalıcılığının düşük olduğu unutulmamalıdır (Colombo vd. 2014). Kısacası, meyve ağaçlarının demir gereksinimlerini karşılamak ve demir eksikliği oluşumunu azaltmak için hedefli toprak yönetimi önlemleri uygulamak esastır (tablo 10).

Mikro elementlerin fizyolojik etkileri		
Mikro element	Fizyolojik Etkileri	Uygulama Yöntemleri
Iron	• Klorofil sentez • Respirasyon	• Toprak • Toprak
Zinc	• Protein sentezi • Hormonlar	• Toprak • Toprak
Manganes	• Enzim aktivitesi • Lignin sentezi	• Toprak • Yaprak
Copper Boron	• Hücre duvarı yapısı • Polen tüpü oluşumu	• Toprak • Yaprak
Molybdenu Clorin	• Nitrat redüksiyonu • Nitrojen fiksasyonu	• Toprak • Yaprak

Tablo 10. Mikro elementlerin elma ağaçlarında bazı etkileri

2.2. YÜKSEK YOĞUNLUKLU ELMA BAHÇELERİNDE BİTKİ BESLEME UYGULAMALARI

Elma yetiştiriciliği son 60 yılda önemli bir dönüşüm geçirmiştir. Özellikle modern meyve bahçeleri, M.9, M.26 ve türevleri gibi bodur anaçların yaygın kullanımı ile 1.000–6.000 ağaç/ha yoğunluklara kadar ulaşmıştır. Bu dönüşüm, gübrelemenin de daha hassas ve fizyolojik temelli yapılmasını zorunlu kılmıştır. Çünkü bodur anaçlar, daha sınırlı kök hacmine sahip oldukları için toprakta depolanan besinlere tamamen bağımlıdır ve bu nedenle doğru besleme stratejileri, verim ve kalite için kritik öneme sahiptir. Kök yüzeyini çevreleyen 1–2 mm'lik *rhizosfer bölgesi*, kök tarafından salgılanan protonlar, organik asitler ve enzimler nedeniyle kimyasal olarak çevreden çok farklı bir mikro ortam oluşturur. Bu bölge, besin elementlerinin çözünürlüğünü, özellikle Fe, Mn, Zn, Cu gibi mikro elementlerin alınabilirliğini belirleyen en kritik alan olarak tanımlanır. Kök membranlarında bulunan iyon pompaları (ATPaz), taşıyıcı proteinler ve iyon kanalları mineral alımının temel belirleyicileridir. Bu membran sistemlerinin aktif çalışması büyük oranda karbonhidrat metabolizmasına bağlıdır; bu nedenle kökün mineral alım kapasitesi doğrudan fotosentez hızı ile ilişkilidir. Ksilem, kökten yapraklara doğru kütleli akımla su ve çözünmüş besinleri taşır; bu akım büyük ölçüde *transpirasyon* tarafından belirlenir. Bu nedenle, Ca gibi tamamen xylem akımına bağlı elementler meyveye sınırlı şekilde taşınır ve eksiklikler özellikle iri meyveli çeşitlerde sık görülür. Floem ise fotosentez ürünlerini; N, K, Mg gibi mobil elementleri ve hormonları bidirectional şekilde taşır. Bu çift yönlü hareket, elma ağaçlarında besinlerin hem büyüme noktalarına hem de depolama organlarına eş zamanlı dağıtımını sağlar. Burada odunsu dokular bir besin rezerv havuzu gibi davranmakta; kış boyunca gövde, dal ve köklerde depolanan elementlerin, ilkbahar sürgün ve çiçek gelişiminin %100'e yakın kısmını karşılamaktadır. Bu nedenle elma ağaçlarında gübrelemenin doğrudan kısa vadeli etkisi yoktur;

besinler önce gövde ve köklerde depolanır, daha sonra büyüme aşamalarında yeniden mobilize edilir. Bu durum, elma gübrelemesini yıllık bitkilerden (mısır, buğday vb.) tamamen ayırmaktadır. Yüksek yoğunluklu (high-density) elma bahçelerinin başarısı, özellikle besin yönetimindeki hassas uygulamalara bağlıdır. Yüksek yoğunluklu elma plantasyonlarında besin yönetiminin temel ilkeleri, toprak yapısı, besin maddelerinin alımı, gübreleme yöntemleri ve ağaç gelişimiyle ilişkili olarak değerlendirilmelidir. Elma plantasyonlarının kurulacağı alanlarda toprak analizleri oldukça önemlidir. Toprak pH'sının 6,0–7,0 aralığında tutulmasının besin elementlerinin elverişliliğini optimizasyon açısından kritik bir konudur. Özellikle yüksek yoğunluklu sistemlerde, köklerin yüzeysel gelişmesi nedeniyle besin alımının toprak yüzeyine yakın katmanda gerçekleştiği, dolayısıyla toprak organik maddesi, nem seviyesi ve mikrobiyal aktivitenin besin alım hızını doğrudan etkilediği vurgulanır bilinmektedir.

Neilsen & Nilsen (2002) gibi araştırmacıların çalışmalarına göre, yüksek yoğunluklu sistemlerde ağaçların sınırlı kök hacmine sahip olduğu için besin maddelerinin özellikle damla sulama ve fertigation (sulama ile gübreleme) yöntemleriyle düzenli ve düşük dozlarda verilmesinin daha etkili olduğu ifade edilmektedir. Bu yaklaşım, hem besin kayıplarını azaltmakta hem de ağaçların büyüme ve verim potansiyelini maksimum düzeye çıkarmaktadır. Azot, yoğun dikim sistemlerinde vegetatif büyüme ile generatif büyüme arasındaki dengeyi belirleyen ana unsurdur ve fazla azot uygulamalarının aşırı sürgün gelişimine, verim düşüşüne ve meyve kalitesinin zayıflamasına neden olduğu bilinmektedir. Ayrıca, N'nin parçalı dozlarda uygulanması meyve dökümünü azaltmakta ve meyve iriliğini artırmaktadır (Ashraf 2018).

Fosfor (P) ve potasyum (K) elementleri meyve kalitesi açısından önemlidir. P'nin kök gelişimini desteklediği; K'nın ise özellikle şeker taşınımını, meyve iriliğini, renk oluşumunu ve raf ömrünü olumlu etkilediği ifade edilmektedir. Yüksek yoğunluklu sistemlerde K eksikliğinin daha sık görüldüğü

ve bunun genellikle sınırlı kök sisteminden kaynaklandığı vurgulanmış; bu nedenle düzenli toprak ve yaprak analizlerinin önemi öne çıkarılmıştır. Kalsiyum (Ca), elmalarda özellikle bitter pit gibi fizyolojik bozuklukların önlenmesi açısından kritik öneme sahiptir. Çalışmada, yüksek yoğunluklu bahçelerde Ca hareketliliğinin sınırlı olduğu, bu nedenle mevsim boyunca yapraktan çoklu Ca uygulamalarının zorunlu olduğu ifade edilmektedir. Özellikle meyvenin raf ömrü için doğrudan meyve yüzeyine uygulandığında daha etkili olduğu ifade edilmektedir. Mikro elementler (B, Zn, Mn, Fe) için ise yüksek yoğunluklu bahçelerde eksiklik görülebilecek riski daha yüksektir. Özellikle B, çiçeklenme ve meyve tutumundaki rolü nedeniyle düzenli yaprak analizleri yapılarak uzun dönem takip edilmesi gereken bir besin elementidir. Ayrıca, sulama ve besin yönetimi birlikte ele alınmalıdır. Yüksek yoğunluklu dikimlerde su stresinin besin alımını ciddi bir şekilde kısıtladığı, bu nedenle damla sulama sistemlerini bu tip bahçelerde standart hale getirmek mecburidir. Fertigasyonda özellikle N ve K yönetiminde çok büyük başarılar sağlanabilmekte ise de, aşırı fertigation uygulamalarının tuzluluk ve iyon dengesizliği riskleri taşıdığı da unutulmamalıdır. Dolayısıyla; düzenli toprak ve yaprak analizleri, azotun kontrollü ve parçalı verilmesi, potasyum ve kalsiyum dengesinin titizlikle yönetilmesi, mikro besin eksikliklerinin yaprak uygulamalarıyla hızlı bir şekilde giderilmesi, fertigasyonun doğru programlanması ve ağaç gelişimi ve verim arasındaki dengenin besin yönetimiyle kontrol edilmesi oldukça önemli prensipler olarak karşımıza çıkmaktadır (Popova vd. 2018). Bahçelerde özellikle genç ağaçların yoğunlukta olduğu plantasyonlarda N ağırlıklı büyüme odaklı bir program, verime yatmış bahçelerde K ve Ca ağırlıklı kalite odaklı bir program önerilmektedir.

2.3. ELMA BAHÇELERİNDE YAPRAKTAN BİTKİ BESLEME YÖNETİMİ

Bitki besin elementleri içeren gübrelerin su içerisinde çözündürülerek belirli ekipmanlarla yaprağa püskürtülmesi son dönemde giderek daha fazla yapılmaktadır. Daha çok, mikro besinler ve üre, besin ihtiyacını karşılamak için genellikle yapraklara püskürtülerek kullanılmaktadır. Gübre içeren besinler, çoğu meyve bahçesinde pestisitlerle birlikte kullanılma imkânı sağlar. Yine de bu tür kimyasal karışımların püskürtülmesinden önce, besin maddelerinin pestisitlerle karışabilirlik durumunun bilinmesi oldukça önemlidir. Yaprak uygulamaları için yaygın gübre dozları ve kaynaklarından bazıları aşağıda belirtilmiştir:

Üre	%0,5-1
Potasyum di-hidrojen ortofosfat	%0,25
Potasyum sülfat veya nitrat	%0,5-1,0
Kalsiyum nitrat	%0,25
Magnezyum sülfat	%1-2
Demir sülfat	%0,5
Manganez sülfat	%0,3
Çinko sülfat	%0,5
Bakır sülfat	%0,3
Boraks, Borik asit	%0,1-0,4

Solüsyonların yüksek asidite durumunda nötralize edilmesi önem arz etmektedir. Yapılan araştırmalarda, yağmurlu ve nemli günlerde yapraktan uygulamalarının daha yüksek emilimiyle sonuçlandığını göstermiştir (Kumar-Tiwari ve Pandey 2018). Yapraktan besin uygulamaları, çiçeklenmeyi, meyve verimini ve meyve kalitesini önemli ölçüde kontrol eder. Yapraktan yapılan bor uygulamaları, özellikle polen tüpü çimlenmesini ve meyve tutumunu artırır (Wang vd, 2015).

Düzenli yapraktan besleme uygulamalarının elma ağaçlarının hem fizyolojik dayanıklılığını artırdığını hem de meyve kalitesi ve besin değerinde iyileştirmeler sağladığını göstermektedir. Özellikle yüksek sıcaklık ve kuraklık koşullarının sık yaşandığı bölgelerde, çok besinli yapraktan uygulamalar elma üretimi için stratejik bir uygulama olarak önerilmektedir. Hem makro hem mikro besinleri içeren formülasyonların adaptasyonu artırdığı, su dengesini iyileştirdiği, pigment yapısını güçlendirdiği ve antioksidan içeriğini zenginleştirdiği sonucuna ulaşılmıştır (Popova vd. 2018).

Bitki besleme uygulamalarında kullanılan besin elementleri arasındaki etkileşimlerin de iyi bilinmesi önem arz etmektedir. Besinler arasındaki etkileşim, tek bir besin maddesinin uygulanmasının diğer besinlerin emilimini ve asimilasyonunu etkilemesi, yetiştirme ortamında herhangi bir besinin aşırı konsantrasyonunun oluşması ve diğerlerinin olumlu veya olumsuz etkilenmesi durumunda meydana gelir (Frageria vd. 1997) (tablo11).

Tablo 11. Analiz temelli gübreleme planı ve element uygulama önerisi

Analiz Türü	Uygulama Alanı	Elementler	Zamanlama
Toprak	Kök bölgesi	N, P, K, Ca, Mg, S	İlkbahar, meyve seti öncesi
Yaprak	Yaprak yüzeyi	B, Zn, Fe, Mn, Cu, Mo	Çiçeklenme ve meyve tutumu dönemi
Fertigation	Kök bölgesi	N, K, mikro elementler	Yaz boyunca periyodik

2.4.ELMA BAHÇELERİNDE ORGANİK GÜBRELEME

Organik üretim yöntemleri, toprağa zarar veren kimyasalların miktarını azaltmaya yardımcı olabilir (Liu vd., 2020). Kimyasal gübre kullanımına ek olarak, elma yetiştiriciliğinde kullanılan üç tür gübre yönetim sistemi daha vardır: doğal koşullar (hiçbir ekim, gübre veya pestisit kullanılmadan), yalnızca organik gübre kullanımı ve organik ve kimyasal gübrelerin birlikte kullanımı (Peck vd., 2006; Kai ve Kubo, 2020). Ancak, sağlık ve çevre risklerini azaltmak

için kimyasal gübre ve pestisit kullanımının azaltılması gerekmektedir. Organik gübrelerin, insan ve hayvan gübresi ile hayvan ve bitki artıklarından elde edilen yavaş salımlı organik gübreler de dahil olmak üzere farklı türleri vardır (Qiu vd., 2021). Bunlar esas olarak, hayvan gübresi ve mahsul samanını birincil hammadde olarak kullanan, belirli işlevlere sahip mikroorganizmalardan-yararlı bakteri ve mikorizal mantarlar gibi) oluşur. Zararsız bir işlemten sonra, organik gübreler toprak kalitesini önemli ölçüde iyileştirir ve toprak mikroorganizmalarını artırır. Önceki çalışmalar, organik gübrelerin toprağın fiziko-kimyasal özelliklerini, meyve verimini ve meyvelerin kimyasal bileşimini etkilediğini araştırmıştır (Ertürk 2022). Örneğin Yang vd (2021), kimyasal gübre seviyesinin azaltılmasının ve organik gübre eklenmesinin yalnızca meyve üretimini ve meyve kalitesini artırmakla kalmayıp aynı zamanda toprak kalitesini de artırabileceğini bildirmiştir. Organik gübrelerin ilavesi ile kimyasal gübrelerin azaltılması, elma bahçelerini yönetmek ve verimi artırmak için temel önlemler haline gelmiştir. Farklı elma bahçesi yetiştirme sistemleri üzerinde yürütülen bir çalışmada, en yüksek karbon, azot, fosfor ve potasyum seviyelerinin genellikle organik olarak yetiştirilen bahçelerin topraklarında bulunduğu ve bu bahçelerin ayrıca daha fazla toprak mikrobiyal aktivitesine sahip olduğu belirlenmiştir (Kai ve Kubo 2020). Bu çalışmalar, organik olarak gübrelenen topraklardaki daha yüksek toprak karbonu ve azotunun, bakteri biyokütlesini artırabileceğini, bunun da gelişmiş N ve P dolaşımına yol açabileceğini ve böylece aktif toprak mikroorganizmalarıyla zengin bir toprak ortamı oluşturabileceğini göstermektedir. Verimli elma bahçeleri genellikle yıllık tarım arazisi topraklarına göre karbon, azot, fosfor ve potasyum açısından daha zengin topraklara sahiptir (Kai vd. 2017). Bu nedenle, toprak besin içeriğini iyileştiren organik gübre yönetim sistemleri özellikle meyve bahçesi toprakları için dikkate alınmalıdır. Elma bahçelerinde organik gübrelerden beklene faydaların görülebilmesi için doğru zamanda ve miktarda kullanılmalarının yanı

sıra aynı zamanda yeterli sıklıkta da uygulanmaları gerekmektedir. Örneğin; kompost veya iyi olgunlaştırılmış hayvan gübresi ilkbahar döneminde yeni büyüme başlamadan önce kullanılır. Yaz başlarında aktif büyümeyi desteklemek için sıvı organik ürünler kullanılmaktadır. Sonbahar sonunda ise toprağı bir sonraki büyüme mevsimine hazırlamak için kompost veya örtü bitkileri tercih edilmelidir. Bu işlemleri yaparken; yüzey uygulamalarını gübrenin ağacın tabanına eşit şekilde ve damlama hattına kadar yayılması şeklinde yapmak faydalı olacaktır. Ayrıca, besin emilimini artırmak için gübreyi tırmık kullanarak toprağın üst katmanı ile karıştırmakta fayda vardır.

3. Sonuç

Elma yetiştiriciliğinde gübreleme yalnızca NPK uygulaması değildir. Çok daha karmaşık bir fizyolojik denge gerektirmektedir. Elma ağaçlarında besin yönetimi; toprak özellikleri, ağaç yaşı, anaç, çeşit, sulama yönetimi, iklim, yıllık verim yükü, budama yoğunluğu gibi birçok değişkenin eşzamanlı olarak değerlendirilmesini gerektirir.

KAYNAKÇA

- Adesemoye, A.O., H.A. Torbert, and J.W. Kloepper. (2009). Plant growth-promoting rhizobacteria allow reduced application rates of chemical fertilizers. *Microb. Ecol.* 58(4):921–929. doi: 10.1007/s00248-009-9531-y.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements (FAO *Irrigation and Drainage Paper* No. 56). FAO.
- Anonymous (2017). FAO. Water for Sustainable Food and Agriculture: A Report Produced for the G20 Presidency of Germany. FAO; Rome, Italy.
- Anonim (2025a). <https://www.rivulis.com/exploring-different-types-of-irrigation-and-their-applications/>
- Anonim (2025b). https://www.rivulis.com/crop/apples_and_pears/
- Anonim (2025c). <https://www.farmprogress.com/farming-equipment/need-a-yield-boost-consider-subsurface-irrigation> (Erişim Tarihi ve saati: 04.12.2025-13:16)
- Ashraf, S. (2018). Nutrient Management in High Density Apple Orchards – A Review. *Current Journal of Applied Science and Technology*. <https://doi.org/10.9734/CJAST/2018/42568>
- Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). Water quality for agriculture. FAO *Irrigation and Drainage Paper* 29.
- Brighenti S, Tagliavini M, Comiti F, Aguzzoni A, Giuliani N, Abdelkader A.B, Penna D, Zanotelli D. (2024). Drip irrigation frequency leads to plasticity in root water uptake by apple trees. *Agricultural Water Management* Volume 298, 1 June 2024, 108870
- Brunetto G, Ceretta CA, Kaminski J, Melo GWB, Giroto E, Trentin EE, Lourenzi CR, Viera RCB, Gatiboni LC (2014a) Produção e composição química da uva em videiras submetidas à adubação nitrogenada na Serra Gaúcha do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural, Santa Maria*, v.39, p.2035-2041.
- Calzadilla A., Rehdanz K., Tol R.S.J. (2011). Water scarcity and the impact of improved irrigation management: A computable general equilibrium

- analysis. *Agric. Econ.*42:305–323. doi: 10.1111/j.1574-0862.2010.00516.x
- Csuhon, Á., Gonda, I., Sipos, M., & Holb, I. J. (2024). Impacts of N P K Mg fertilizer combinations on tree parameters and fungal disease incidences in apple cultivars with varying disease susceptibility. *Plants*, 13(9), 1217. <https://doi.org/10.3390/plants13091217>
- Colombo C, Palumbo G, He J-Z, Pinton R, Cesco S. (2014). Review on iron availability in soil: interaction of Fe minerals, plants, and microbes[J]. *J Soil Sediment*;14:538–48. <https://doi.org/10.1007/s11368-013-0814-z>.
- Consoli, S., & di Horta, V. (2017). Partial root-zone drying irrigation in tree crops. *Journal of Horticultural Science*.
- Çelik, A. (2020). Elma Yetiştiriciliğinde Su Yönetimi. Ankara: Tarım Bilimleri Yayınları.
- Çoban, H., & Yazar, A. (2017). Elma bahçelerinde sulama suyu ihtiyacının belirlenmesinde FAO56 yönteminin kullanımı. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 23(2), 145–153.
- Demir, Y., Çelik, H., & Sönmez, F. (2021). Toprak su dengesi yönteminin meyve bahçelerinde uygulanması. *Toprak Su Dergisi*, 10(1), 55–66.
- Du, T., Kang, S., & Zhang, J. (2015). Deficit irrigation and sustainable water-resource strategies in crop production. *Journal of Experimental Botany*, 66(8), 2253–2269.
- Ertürk, Y. (2022). Biological Fertilizers-Containing Beneficial Microorganisms in Fruit Culture. *Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2(1), 71-92.
- Ferreira, S., et al. (2025). Remote sensing-assisted estimation of water use in apple orchards. *Agronomy*, 15(3), 652–668.
- Ferree, D.C., & Warrington, I.J. (2003). Apples: Botany, Production and Uses. CABI Publishing.
- Frageria, N. K., Baligar, V. C., & Jones, C. A. (1997). Growth and mineral nutrition of crop plants (2nd ed.). New York: Marcel Dekker.
- Ganie, A.M., Akhter F., Bhat M.A., Malik. A.R., . J.M., Shah. M.A., Bhat. A.H., and Bhat T.A., (2013). Boron-a critical nutrient element for plant growth

- and productivity with reference to temperate fruits. *Current Science* 104 (1).
- Gentile, R. M., & Boldingh, H. L. (2022). System nutrient dynamics in orchards: A research roadmap for nutrient management in apple and kiwifruit. *Agronomy for Sustainable Development*, 42, Article 64. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00798-0>
- Goldhamer, D., & Fereres, E. (2001). Irrigation scheduling of almond trees. *Irrigation Science*, 20, 1–8.
- Han, S. G., et al. (2018). Effect of sprinkler, surface drip and subsurface drip irrigation methods on ‘Fuji’ apple orchards. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*.
- Hadi A N and Saleh S A A (2021). IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 904 012048
- Huber D.M., Jones J., (2013). The role of magnesium in plant disease. *Plant and Soil, Dordrecht*, v.368,p.73-85. 2013.
- Huber DM, Thomson LA (2007). Nitrogen and plant disease. In: DATNOFF, L. E.; ELMER, W. H.; HUBER, D. M. (Ed.). Mineral nutrition and plant disease. Washington: *The American Phytopathological Society Press*, 2007. p.31-44.
- Jiang, X., et al. (2021). Investigation of effective irrigation strategies for high-density apple orchards. *Agronomy*, 11(5), 957.
- Kai, T.; Adhikari, D.; Kubo, M. (2017). Soil preparation based on biological properties. *J. Water Land Environ. Eng.* 85, 927–930.
- Kai, T. and M. Kubo. (2020). Chemical and biological properties of apple orchard soils under natural, organic, hybrid, and conventional farming methods. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment* 9:134-146.
- Kaya, E., Demir, F., & Çetin, M. (2022). Effects of climate variability on apple yield: A case study in Turkey. *Agricultural Water Management*, 266, 107596
- Keller, M., et al. (2016). Effects of deficit irrigation on apple quality and water use efficiency. *HortScience*, 51(8), 1012–1020.

- Kim, J., Park, S., & Lee, H. (2024). Smart irrigation control using soil moisture sensors in orchard systems. *Precision Agriculture*, 25(1), 120–135.
- Kumar-Tiwari D and Pandey A. (2018). Nutrient Management in Perennial Fruit Crops. *Dimensions of Agr. Sci.* (Ed. Pankaj Kumar Ojha), p:137—151, ISBN: 978-93-272-8337-2.
- Lakso, A. N. (2018). Irrigation of apple orchards: Principles and practices. *HortScience*, 53(4), 451–461.
- Lepp, B., Zikeli, S., Hartung, J., & Möller, K. (2024). Fertilisation strategies and their influence on nutrient flows in organic apple orchards. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 128, 251–267. <https://doi.org/10.1007/s10705-024-10350-z>
- Li, R., Hou, X., Jia, Z., Han, Q., Yang, B., (2012). Effects of rainfall harvesting and mulching technologies on soil water, temperature, and maize yield in loess plateau region of china. *Arid. Soil Res. Rehabil.* 50 (2), 105–113. <https://doi.org/10.1071/SR11331>
- Liao, Yang & Cao, Hong-Xia & Xue, Wen-Kai & Liu, Xing, (2021). Effects of the combination of mulching and deficit irrigation on the soil water and heat, growth and productivity of apples. *Agricultural Water Management*, Elsevier, vol. 243. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106482
- Liu Yong-qing, LI Yu-cai, LI Ming-jun. (2020). Improvement of soil physical and chemical properties and nutrient utilization rate of apple trees by localized application of different organic fertilizers. *Journal of Northwest Forestry University* 35:112-117.
- Ljavić, D., et al. (2023). Influence of cultivar and fertilization treatment on the yield and environmental & economic implications in apple orchards. *Frontiers in Plant Science*, 14, 102–115. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.10220371>
- Marschner H (2012). Marscher's Mineral Nutrition of Hihger Plants. Third Edt. ISBN:978-0-12-384905-2. 574p.
- Martin, P, Delgado R, Gonzales MR, Gallegos JI (2004). Colour of 'Tempranillo' grapes as affected by different nitrogen and potassium fertilization rates. *Acta Horticulturae*, The Hague,v.652, p.153-159, 2004.
- Maśán, V., Burg, P., Vašítk, L., Vlk, R., Souček, J., & Krakowiak-Bal, A. (2025). The Evaluation of the Impact of Different Drip Irrigation Systems on the

- Vegetative Growth and Fruitfulness of ‘Gala’ Apple Trees. *Agronomy*, 15(9), 2161. <https://doi.org/10.3390/agronomy15092161>
- Mengel K, Kirkby EA (2001). Principles of plant nutrition. Netherlands: Springer, 849p.
- Morton, C., Wiegand, C., & Allen, R. (2020). Remote sensing of orchard evapotranspiration. *Remote Sensing of Environment*, 240, 111–145.
- Nawab A & Dong, Younsuk & Lavelly, Emily, (2024). Impact of irrigation scheduling on yield and water use efficiency of apples, peaches, and sweet cherries: A global meta-analysis. *Agricultural Water Management*, Elsevier, vol. 306(C).
- Neilsen D, Neilsen GH. Efficient use of nitrogen and water in high-density apple orchards. *Hort Technology*. 2002;12:19- 25.
- Öztürk, F. P., Küçükyumuk, C., Kaçal, E., Yıldız, H. (2018). Verim Çağındaki Elma Ağaçlarında Yüzey Sulama Yönteminden Damla Sulama Sistemine Geçiş Sürecinin Ekonomik Değerlendirmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 21, 102-108. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdogavi.472705>
- Öztürk, H., Yıldız, F., & Demir, R. (2019). Effects of Irrigation Methods on Apple Yield and Quality. *Journal of Fruit Science*, 34(2), 45–58.
- Qiu, X., X. Qin, L. Chen, Q. Qiu, H. Wang, M. Aziz ur Rahmanand, B. Cao and H. Su. (2021). Effects of Age and Rice Straw Inclusion Levels in the Diet of Yiling Cull Cows on Growth Performance, Meat Quality, and Antioxidant Status of Tissues. *Animals* 11:1732.
- Peck, G.M., P.K. Andrews, J.P. Reganold and J.K. Fellman. (2006). Apple orchard productivity and fruit quality under organic, conventional, and integrated management. *HortScience* 41: 99-107.
- Pôças, I., Cunha, M., Moreno, G., & Paço, T. (2015). Estimating evapotranspiration of apple orchards using remote sensing-based soil water balance. *Remote Sensing*, 8(3), 253.
- Popova, V. ., Yaroshenko, O. ., & Sergeeva, N (2018). The effect of foliar feeding on physiological condition of apple trees and chemical content of fruits. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 12(1), 634–643. <https://doi.org/10.5219/928>

- Robinson, T. L. (2011). Nutrient management in apple orchards: A comprehensive review. *Tree Fruit Nutrition Journal*, 18(2), 45–70. <https://doi.org/10.1002/tfnj.2011.18.2.45>
- Robinson T., Lakso A., Dominguez L (2013). Precision Irrigation Management. *New York Fruit Quarterly*. V. 21, N. 2, p:17-19.
- Ru X, He T, Yan G, He Y, Zhu Z, Yu Q and He J (2025) Assessing water requirements and suitability for apple growth at county scale in China: a phenological modeling approach during key growth stages. *Front. Plant Sci.* 16:1572647. doi: 10.3389/fpls.2025.1572647
- Scandellari F. Ventura, M. Gioacchini, P. Vittori Antisari, L. Tagliavini, M. (2010). Seasonal pattern of net nitrogen rhizodeposition from peach (*Prunus persica* (L.) Batsch) trees in soils with different textures. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 136, p. 162-168, 2010.
- Sharma K, Sharma JC, Sharma S, Sharma N, Sharma R, Ananthakrishnan S, Hashem A, Almutairi KF, Abd_Allah EF (2025). Optimizing leaf nutrient status, growth, and yield parameters in high-density apple orchards (cv. Super chief) via integrated drip irrigation and fertigation techniques. *Heliyon*. Volume 10, Issue 16,
- Shah, F., and W. Wu. (2019). Soil and crop management strategies to ensure higher crop productivity within sustainable environments. *Sustain.*(Switzerland) 11(5):1485. doi: 10.3390/su11051485.
- Shen, Y., et al. (2025). Impact of phosphorus fertilization on leaching and soil nutrient balance in apple orchards. *Agronomy*, 15(4), 952. <https://doi.org/10.3390/agronomy15040952>
- Svoboda, P., Haberle, J., Moulik, M., Raimanová, I., Kurešová, G., & Mészáros, M. (2023). The Effect of Drip Irrigation on the Length and Distribution of Apple Tree Roots. *Horticulturae*, 9(3), 405. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030405>
- Tagliavini, M. & Scandellari, F. (2012). Methodologies and concepts in the study of nutrient uptake requirements and partitioning in fruit trees. In *Proceedings of the Seventh International Symposium on Mineral Nutrition of Fruit Crops*, Chanthaburi, Thailand, 19–25 May (pp. 19–25).
- Toselli, M. Zavalloni, C. Maragoni, B. Tagliavani, M. Scudellari, D.E. Anderini, G. (1998). Effetto dell'epoca di concimazione azotata e dei trattamenti di

- calcio sulla qualità delle pere conference. *Frutticoltura*, Bologna, v.9, p.4548.
- Ucar, Y.; Kocicek, J.; Liberacki, D.; Rolbiecki, R. (2023). Analysis of Crop Water Requirements for Apple Using Dependable Rainfall. *Atmosphere* 14, 99. <https://doi.org/10.3390/atmos14010099>
- Vurtchev, L., et al. (2020). Micro-sprinkler irrigation in temperate fruit orchards. *Irrigation and Drainage*, 69 (2), 215–228.
- Wang, J., Liu, T. (2022). Spatiotemporal evolution and suitability of apple production in China from climate change and land use transfer perspectives. *Food Energy Secur.* 11, e386. doi: 10.1002/fes3.386
- Wang, N., Yang, C., Pan, Z., Liu, Y., & Peng, S. (2015). Boron deficiency in woody plants: Various responses and tolerance mechanisms. *Frontiers in Plant Science*, 6, 916.
- Wen S, Cui N, Wang Y, Gong D, Xing L, Wu Z, Zhang Y, Zhao L, Fan J, Wang Z (2024). Optimizing deficit drip irrigation to improve yield, quality, and water productivity of apple in Loess Plateau of China. *Agricultural Water Management* Volume 296, 1 May 2024, 108798.
- Wen S, Cui N, Wang Y, Gong D, Xing L, Wu Z, Zhang Y, Wang Z (2025). Deficit irrigation enhances yield and water productivity of apples by inhibiting excessive vegetative growth and improving photosynthetic performance. *Agricultural Water Management*. 307:109220
- Yang Li-li, Wang Yong-he, Han Wen-she. (2021). Effects of reducing nitrogen fertilizer and applying organic fertilizer on apple yield and quality and soil biological characteristics. *Journal of Agro-Environment Science* 40:631-639.
- Zanotelli D, Rechenmacher M, Guerra W, Cassar A, Tagliavini M (2014). Seasonal uptake rate dynamics and partitioning of mineral nutrients by bourse shoots of field-grown apple trees. *European Journal of Horticultural Science*, Stuttgart, v.4, p.203-211.
- Zavalloni, C. Marangoni, B. Scudellari, D. Tagliavini, M. (2001). Dynamics of uptake of calcium, potassium and magnesium into apple fruit in high density planting. *Acta Horticulturae*, The Hague, v.564, p.113-122.
- Zheng, M., Sun, Y., Mu, W., Bai, Y., Wang, Q., Lu, Z., & Zhang, W. (2025). Effects of Subsurface Drip Irrigation Depth on Growth Characteristics and

Yield Quality of Apples (*Malus pumila* Mill.) in Northwest China. *Plants*, 14(17), 2702. <https://doi.org/10.3390/plants14172702>

BÖLÜM VII

ELMA YETİŞTİRİCİLİĞİNDE ABİYOTİK STRESLER

Doç. Dr. Servet ARAS¹
Öğr. Gör. Dr. Selcan ÖZYALIN²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18107700>

¹ Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü Yozgat, Türkiye. servet.aras@yobu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-0347-6552

² Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü Yozgat, Türkiye. selcan.ozyalin@yobu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-4831-8600

1. GİRİŞ

Elma (*Malus domestica*), ılıman bölgelerde en yaygın olarak yetiştirilen meyve ürünlerinden biridir ve yüksek tüketici talebi, depolanabilirliği ve çeşitli iklim koşullarına uygunluğu nedeniyle önemli bir ekonomik öneme sahiptir. Ancak, uyum yeteneğine rağmen, elma üretimi sürekli olarak çeşitli abiyotik stres faktörlerinin baskısı altındadır. Kuraklık, tuzluluk, aşırı sıcaklıklar, besin dengesizlikleri ve ağır metal toksisitesi gibi bu stres faktörleri, büyümeyi, verimi, meyve kalitesini ve uzun vadeli bahçe sürdürülebilirliğini ciddi şekilde sınırlayabilir. Elma ağaçlarının abiyotik kısıtlamalara verdiği fizyolojik tepkileri anlamak, etkili yönetim uygulamaları geliştirmek ve strese dayanıklı çeşitler yetiştirmek için çok önemlidir.

Bitkiler fenolik bileşik birikimini artırma gibi farklı savunma mekanizmaları ile stres faktörlerine dayanıklılık sağlayabilmektedir (Güney ve diğerleri, 2024; Güney ve Keles, 2025). Kuraklık stresi, özellikle düzensiz yağış veya sınırlı sulama kaynakları yaşayan bölgelerde elma bahçelerini etkileyen en kritik abiyotik faktörler arasındadır. Su eksikliği, yaprak su potansiyelini, stoma iletkenliğini, fotosentez aktivitesini ve nihayetinde karbon asimilasyonunu azaltır (Muller ve diğerleri, 2011). Uzun süreli kuraklık altında elma ağaçları büyüme inhibisyonu, meyve boyutunun küçülmesi, meyve dökülmesinin artması ve çiçek tomurcuğu farklılaşmasının bozulması gibi sorunlar gösterir (Reid ve Kalcsits, 2020). Anaç seçimi kuraklığa dayanıklılıkta hayati bir rol oynar; örneğin, bodur anaçlar genellikle sık köklere sahiptir ve daha hassastır; kuvvetli anaçlar ise daha iyi dayanıklılık sağlar. Kısıtlı sulama, mikro yağmurlama ve damlama sistemleri gibi gelişmiş sulama sistemleri su stresini azaltmaya yardımcı olurken, malçlama ve toprak organik madde zenginleştirilmesi su tutma kapasitesini artırır.

Aşırı sıcaklıklar, özellikle ısı stresi ve don da önemli tehditler oluşturmaktadır. Yüksek yaz sıcaklıkları, meyve yüzeylerinde güneş

yanıklarına, fotosentezin bozulmasına ve buharlaşmanın artmasına neden olabilir. Sıcaklık stresi, membran bütünlüğünü, enzim stabilitesini ve hormonal dengeyi bozar (Hasanuzzaman ve diğerleri, 2013). Öte yandan, ilkbahar geç donları, özellikle tam çiçeklenme döneminde, hassas fenolojik aşamalarındaki çiçeklere zarar verebilir. Don nedeniyle oluşan çiçek nekrozu, önemli verim kayıplarına neden olur (Unterberger ve diğerleri, 2018). Uyum stratejileri arasında, çiçeklenme gecikmesi olan çeşitlerin seçilmesi, don koruma yöntemlerinin (yağmurlama sistemleri veya rüzgar makineleri gibi) kullanılması ve düşük don riski olan yerlerde meyve bahçeleri kurulması yer alır.

Tuzluluk stresi, düşük kaliteli sulama suyu veya toprak tuzluluğunun meyve bahçesi performansını etkilediği kurak ve yarı kurak bölgelerde ortaya çıkan bir sorundur. Aşırı sodyum (Na^+) ve klorür (Cl^-) iyonları ozmotik dengeyi bozar, iyon toksisitesine neden olur ve özellikle potasyum, kalsiyum ve magnezyum olmak üzere besin maddesi alımını engeller. Tuzluluk stresi altındaki elma ağaçlarında sıklıkla yaprak yanması, kloroz, sürgün büyümesinin azalması ve zayıf meyve gelişimi görülür (Jia ve diğerleri, 2019). Anaçlar tuzluluk toleransı açısından önemli ölçüde farklılık gösterir. Aşırı tuzların yıkanması, organik madde takviyesi uygulanması ve sodyumlu topraklarda alçıtaşı kullanımı gibi yönetim uygulamaları, tuz stresinin etkilerini azaltmak için çok önemlidir.

Besin dengesizlikleri, eksiklikler ve toksisiteler de dahil olmak üzere, bir diğer önemli abiyotik kısıtlamayı oluşturur. Elma ağaçları, optimum fizyolojik işleyiş için dengeli makro (N, P, K, Ca, Mg, S) ve mikro besin maddelerine (Fe, Zn, Mn, B, Cu) ihtiyaç duyar. Eksiklikler, bozulmuş fotosenteze, düşük meyve kalitesine, sertliğin azalmasına ve depolama sorunlarına yol açar (Suman ve diğerleri, 2017; Bai ve diğerleri, 2021). Örneğin, kalsiyum eksikliği acı beneğe sebep olurken (De Freitas ve diğerleri, 2016), bor eksikliği polen tüpünün büyümesini kısıtlar ve meyve tutumunu

azaltır (Álvarez-Herrera ve diğerleri, 2025). Tersine, aşırı azot, aşırı vejetatif büyümeyi teşvik eder ve hastalıklara karşı duyarlılığı artırır. Dengeli beslenmeyi sağlamak için etkili toprak testleri, yaprak analizleri ve hassas gübreleme stratejileri esastır.

Ağır metal stresi, daha az yaygın olsa da, endüstriyel alanlar veya kirlı toprakların yakınında giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Kadmiyum, kurşun ve arsenik gibi metaller hücre metabolizmasını bozar, kloroplastlara zarar verir ve oksidatif strese neden olur (Pinho ve Ladeiro, 2012). Elma ağaçları, süperoksit dismutaz ve katalaz gibi enzimlerin artan aktivitesi de dahil olmak üzere karmaşık antioksidan savunma sistemleriyle tepki verir. İyileştirme teknikleri arasında fitoremediasyon, toprak yenileme ve metalleri hareketsizleştirmek için organik madde uygulaması yer alır.

Abiyotik stresler dünya çapında elma üretimi için önemli zorluklar oluşturmaktadır. Etkileri fizyolojik, biyokimyasal ve agronomik boyutları kapsayarak, nihayetinde verimi ve meyve kalitesini etkilemektedir. Sürdürülebilir meyve bahçesi yönetimi, strese dayanıklı anaç ve çeşitleri, hassas sulama, toprak iyileştirme uygulamaları ve iklim dostu stratejileri entegre etmelidir. Stres fizyolojisi, moleküler ıslah ve adaptif meyve bahçesi sistemleri üzerine devam eden araştırmalar, değişen çevre koşullarında dayanıklı elma üretiminin sağlanmasında önemli bir rol oynayacaktır. Bu kitap bölümünde elma yetiştiriciliğinde karşılaşılan en yaygın stres faktörleri tartışılacaktır.

2. YÜKSEK PH/KİREÇLİ TOPRAK STRESİ

Elma yetiştiriciliğinde kireçten kaynaklanan yüksek pH sorunuyla sık sık karşılaşmaktadır. Bu stres, toprak ve/veya sulamada kullanılan suyun kireç miktarının fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Kireç stresi hem toprağın hem suyun hem de bitki bünyesindeki apoplastik sıvının pH'sının yükselmesine sebep olmaktadır. Kireç stresi sonucunda demir (Fe)

elementinin yarayışlılığı azalmaktadır. Demir elementi iki farklı iyonik formda bulunmaktadır; Fe^{+2} ve Fe^{+3} . Bu iyonik formlardan iki değerlikli olanı bitkiler için yarayışlı durumundadır. Bitkilere Fe^{+3} verildiğinde, bitkiler bu iyonik hali Fe^{+2} 'ye indirgeyerek yarayışlı hale getirir. Bu indirgemeden sorumlu enzim demir şelat redüktaz (FC-R) enzimidir (Martínez-Cuenca ve diğerleri, 2013). Bu enzim yüksek pH koşullarında aktivitesi düşer ve indirgemedede sorun yaşanır. Bu nedenle kireç stresi altında elma ağaçlarında demir yarayışlılığında kayıp yaşandığından dolayı ağaçlarda demir eksikliği belirtileri ortaya çıkar.

Elma yetiştiriciliğinde kireç stresi ile mücadele etmek amacıyla birçok çalışma yapılmıştır. Kireç stresine karşı faydalı mikroorganizma kullanımı oldukça yaygındır. Faydalı bakterilerin kireçli şartlarda yetiştirilen elma fidanlarına etkilerinin incelendiği bir çalışmada, MM106 ve M9 anaçlarına aşılı Braeburn elma çeşidine farklı faydalı bakteri uygulamaları yapılmıştır (Aras ve diğerleri, 2018). Çalışma sonucunda faydalı bakterilerin birçok organik asidin üretim miktarını arttırarak demir elementini yarayışlı hale getirdiği bildirilmiştir.

Kireç stresine karşı mineral beslenme de önemli bir çözüm yoludur. Kireçli topraklarda yetiştirilen elma ağaçlarına potasyum (K) ve kalsiyum (Ca) belli oranlarda uygulanarak K/Ca dengesi sağlanması durumunda ağaçların gelişiminin iyileştiği belirlenmiştir (Dilmaghani ve diğerleri, 2005).

3. TUZ STRESİ

Elma ağaçların gelişimini sınırlayan önemli çevresel faktörlerden biri tuz stresidir. Sulamayla birlikte yetersiz drenaj, yoğun gübreleme ve sahil kesimlerinde yetiştiricilik tuz stresinin nedenleri arasında yer almaktadır. Tuz stresi sonucunda elma ağaçlarının gelişiminin azaldığı, fotosentezde kayıpların yaşandığı ve fizyolojik işlemlerde sorunlar meydana geldiği bildirilmiştir (Zhu ve diğerleri, 2019). Tuz stresine dayanıklılık türden türe ve

çeşitten çeşide göre değişmekte olup ılıman iklim meyve türleri grubuna giren elma hassas türler kategorisinde yer almaktadır (Aras ve Eşitken, 2019).

Elma ağaçlarını tuz stresine karşı korumak amacıyla birçok uygulama yapılabilmektedir. Dışarıdan (eksojen) yapılan uygulamalar ile elma ağaçlarının tuz stresine karşı dayanıklılığı artırılabilir. Tuz stresi altında yetiştirilen elma fidanlarına dışarıdan silisyum uygulanması sonucunda bitkilerin tuz stresine dayanıklılığının arttığı bildirilmiştir (Aras, 2020). Başka bir çalışmada dopamin ve arbuskular mikoriza mantarı uygulamalarının elma ağaçlarında tuz stresine karşı dayanıklılığı arttırdığı belirlenmiştir (Gao ve diğerleri, 2020). Jasmonik asit uygulanan elma ağaçlarında tuz taşınma yolağı etkilenecek bitkilerin tuz stresine dayanıklı hale geldiği belirlenmiştir (Zhao ve diğerleri, 2025).

Stres faktörlerine dayanıklılık sağlaması bakımından anaçlar da önemli roller üstlenmekte olup elma yetiştiriciliğinde anacın rolü önemlidir. Tuz stresine karşı farklı anaçların kullanımı ile elma ağaçlarında tuz stresine karşı dayanıklılık sağladığı birçok çalışmada bildirilmiştir (Zhu ve diğerleri, 2019; Li ve diğerleri, 2024; Zhang ve diğerleri, 2024).

4. KURAKLIK STRESİ

Kuraklık stresi, dünya çapında elma büyümesini, verimliliğini ve meyve kalitesini sınırlayan en önemli abiyotik kısıtlamalardan birini temsil etmektedir. İklim değişikliği ilerledikçe uzun süreli su kıtlığı dönemleri giderek daha yaygın hale gelmiş ve elma bahçelerini hem fizyolojik dayanıklılığı hem de tarımsal yönetimi zorlayan koşullara sürüklemiştir. Elma ağaçları, su eksikliğine orta derecede toleranslı olsalar da, yaprak düzeyinde ince bir şekilde başlayan ve sonunda tüm bitki performansını etkileyen bir dizi stres tepkisi sergilemektedir.

Kuraklık koşullarında, stomaların kapanması en erken savunma mekanizmalarından biridir; bu durum terlemeyi azaltırken fotosentezi de

sınırlar (Pirasteh-Anosheh ve diğerleri, 2016). Karbon özümlemesindeki bu azalma genellikle bitkisel büyümenin azalmasına, meyve tutumunun düşmesine ve meyve boyutunun küçülmesine yol açar. Biyokimyasal düzeyde, elma ağaçları hücrel homeostazı korumak için antioksidan enzimleri, prolin gibi ozmoprotektanları ve absisik asit içeren hormonal düzenlemeleri aktive eder (Hu ve diğerleri, 2020; Devin ve diğerleri, 2023). Kök sistemi mimarisi de belirleyici bir rol oynar; daha derin veya daha lifli kökler, sınırlı nem altında su alımını artırır.

Meyve bahçesi yönetimi açısından, kontrollü su kısıtlamalı sulama, malçlama, toprak nemi izleme ve kuraklığa dayanıklı çeşitlerin kullanımı gibi stratejiler, yetiştiricilerin su tasarrufu ile verim istikrarı arasında denge kurma çabaları nedeniyle önem kazanmıştır. Mevcut araştırmalar, kuraklığa karşı genetik çeşitliliği incelemeye devam ederek, üstün dayanıklılığa sahip çeşitleri ve anaçları belirlemeyi amaçlamaktadır.

Genel olarak, elmalarda kuraklık stresi, bütünleşik fizyolojik anlayış ve uyarlanabilir bahçe uygulamaları gerektiren çok yönlü bir faktördür. İklim değişikliği ilerledikçe, sürdürülebilir su yönetimi ve strese dayanıklı genotipler, tutarlı üretim ve meyve kalitesini korumak için hayati önem taşıyacaktır.

Elma ağaçlarını kuraklık stresine karşı korumak amacıyla farklı uygulamalar yapılabilir. Kitosan uygulanan elma fidanlarında kuraklığa dayanıklılık sağlandığı, yaprak membran stabilitesinin korunduğu ve antioksidan savunma sisteminin tetiklendiği bildirilmiştir (Yang ve diğerleri, 2009). Dışarıdan melatonin uygulanan elma ağaçlarında kuraklığa karşı dayanıklılığın sağlandığı ve besin alımında artışın yaşandığı rapor edilmiştir (Liang ve diğerleri, 2018). Arbuskular mikoriza uygulanan elma ağaçlarında kuraklığa karşı dayanıklılık sağladığı, fotosentezi ve gaz alışverişini iyileştirdiği bildirilmiştir (Huang ve diğerleri, 2020). Ayrıca, sitrigalakton (Xu ve diğerleri, 2023), γ -aminobütirik asit (Chen ve diğerleri, 2022) ve çinko

(Guan ve diğ erleri, 2025) uygulamaları elma ağ a larında kuraklık stresine dayanıklılığ a katkı sağlamıştır.

Elma yetiştiriciliğinde ana  kullanımı ile kuraklık stresine dayanıklılık sağlanabilmektedir. Ana ların kuraklığ a karşı  nemli olduğu bir ok  alışmada mevcuttur (Liu ve diğ erleri, 2012; Aras ve Keles, 2019; Sun ve diğ erleri, 2022).

KAYNAKÇA

- Álvarez-Herrera, J. G., Jaime-Guerrero, M., & Fischer, G. (2025). The Effect of Boron on Fruit Quality: A Review. *Horticulturae*, 11(8), 992.
- Aras, S. (2020). Silicon nutrition in alleviating salt stress in apple plant. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 19(1), 3-10.
- Aras, S., & Eşitken, A. (2019). Responses of apple plants to salinity stress. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 29(2), 253-257.
- Aras, S., & Keles, H. (2019). Responses of apple plants to drought stress. *J Agric Stud*, 7(3), 154-160.
- Aras, S., Arıkan, Ş., İpek, M., Eşitken, A., Pırlak, L., Dönmez, M. F., & Turan, M. (2018). Plant growth promoting rhizobacteria enhanced leaf organic acids, FC-R activity and Fe nutrition of apple under lime soil conditions. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40(6), 120.
- Chen, X., Li, N., Liu, C., Wang, H., Li, Y., Xie, Y., ... & Li, C. (2022). Exogenous GABA improves the resistance of apple seedlings to long-term drought stress by enhancing GABA shunt and secondary cell wall biosynthesis. *Tree Physiology*, 42(12), 2563-2577.
- De Freitas, S. T., Amarante, C. D., & Mitcham, E. J. (2016). Calcium deficiency disorders in plants. *Postharvest ripening physiology of crops*, 477-502.
- Devin, S. R., Prudencio, Á. S., Mahdavi, S. M. E., Rubio, M., Martínez-García, P. J., & Martínez-Gómez, P. (2023). Orchard management and incorporation of biochemical and molecular strategies for improving drought tolerance in fruit tree crops. *Plants*, 12(4), 773.
- Dilmaghani, M. R., Malakouti, M. J., Neilsen, G. H., & Fallahi, E. (2005). Interactive effects of potassium and calcium on K/Ca ratio and its consequences on apple fruit quality in calcareous soils of Iran. *Journal of Plant Nutrition*, 27(7), 1149-1162.
- Gao, T., Liu, X., Shan, L., Wu, Q., Liu, Y., Zhang, Z., ... & Li, C. (2020). Dopamine and arbuscular mycorrhizal fungi act synergistically to promote apple growth under salt stress. *Environmental and Experimental Botany*, 178, 104159.
- Guan, Y., Lu, L., Liu, J., Lyu, M., Xu, X., Xing, Y., ... & Ge, S. (2025). Zinc promotes nitrogen uptake and plant growth by regulating the antioxidant system and carbon–nitrogen metabolism under drought

- condition in apple plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 221, 109619.
- Güney, M., & Keles, H. (2025). Comparative Analysis of Total Phenolic Content and Antioxidant Activity in Cherry (*Prunus avium* L.) Stems from Different Cultivars in Türkiye. *International Journal of Agriculture Forestry and Life Sciences*, 9(2), 111-115.
- Güney, M., Gündeşli, M. A., Güney, M., Kafkas, N. E., Kafkas, S., & Ergün, Z. (2024). Quantitative variation of phenolic compounds in different tissues of pistachio (*Pistacia vera* L. cv. Uzun) associated with alternate bearing. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 48(4), 539-556.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M. M., Roychowdhury, R., & Fujita, M. (2013). Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. *International journal of molecular sciences*, 14(5), 9643-9684.
- Hu, L., Zhou, K., Yang, S., Liu, Y., Li, Y., Zhang, Z., ... & Ma, F. (2020). MdINT1 enhances apple salinity tolerance by regulating the antioxidant system, homeostasis of ions, and osmosis. *Plant Physiology and Biochemistry*, 154, 689-698.
- Huang, D., Ma, M., Wang, Q., Zhang, M., Jing, G., Li, C., & Ma, F. (2020). Arbuscular mycorrhizal fungi enhanced drought resistance in apple by regulating genes in the MAPK pathway. *Plant Physiology and Biochemistry*, 149, 245-255.
- Jia, X. M., Wang, H., Svetla, S., Zhu, Y. F., Hu, Y., Cheng, L., ... & Wang, Y. X. (2019). Comparative physiological responses and adaptive strategies of apple *Malus halliana* to salt, alkali and saline-alkali stress. *Scientia Horticulturae*, 245, 154-162.
- Li, L., Chen, G., Sun, Q., Wang, Q., Wang, S., Wang, H., ... & Li, T. (2024). Evaluation of Salt Resistance of Six Apple Rootstocks. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(23), 12568.
- Liu, B., Li, M., Cheng, L., Liang, D., Zou, Y., & Ma, F. (2012). Influence of rootstock on antioxidant system in leaves and roots of young apple trees in response to drought stress. *Plant Growth Regulation*, 67(3), 247-256.
- Martínez-Cuenca, M. R., Iglesias, D. J., Forner-Giner, M. A., Primo-Millo, E. ve Legaz, F. (2013). The effect of sodium bicarbonate on plant performance and iron acquisition system of FA-5 (Forner-Alcaide 5) citrus seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35, 2833-2845.

- Muller, B., Pantin, F., Génard, M., Turc, O., Freixes, S., Piques, M., & Gibon, Y. (2011). Water deficits uncouple growth from photosynthesis, increase C content, and modify the relationships between C and growth in sink organs. *Journal of experimental botany*, 62(6), 1715-1729.
- Pinho, S., & Ladeiro, B. (2012). Phytotoxicity by lead as heavy metal focus on oxidative stress. *Journal of Botany*, 2012(1), 369572.
- Pirasteh-Anosheh, H., Saed-Moucheshi, A., Pakniyat, H., & Pessarakli, M. (2016). Stomatal responses to drought stress. *Water stress and crop plants: A sustainable approach*, 1, 24-40.
- Reid, M., & Kalcsits, L. (2020). Water deficit timing affects physiological drought response, fruit size, and bitter pit development for 'Honeycrisp' apple. *Plants*, 9(7), 874.
- Suman, M., Sangma, P. D., & Singh, D. (2017). Role of micronutrients (Fe, Zn, B, Cu, Mg, Mn and Mo) in fruit crops. *International Journal Current Microbiology Application Science*, 6(6), 3240-3250.
- Sun, P., Tahir, M. M., Lu, X., Liu, Z., Zhang, X., Zuo, X., ... & Yang, W. (2022). Comparison of leaf morphological, anatomical, and photosynthetic responses to drought stress among eight apple rootstocks. *Fruit Research*, 2(1), 1-13.
- Unterberger, C., Brunner, L., Nabernegg, S., Steininger, K. W., Steiner, A. K., Stabentheiner, E., ... & Truhetz, H. (2018). Spring frost risk for regional apple production under a warmer climate. *PloS one*, 13(7), e0200201.
- Xu, J., Li, L., Liu, Y., Yu, Y., Li, H., Wang, X., ... & Sun, Q. (2023). Molecular and physiological mechanisms of strigolactones-mediated drought stress in crab apple (*Malus hupehensis* Rehd.) seedlings. *Scientia Horticulturae*, 311, 111800.
- Yang, F., Hu, J., Li, J., Wu, X., & Qian, Y. (2009). Chitosan enhances leaf membrane stability and antioxidant enzyme activities in apple seedlings under drought stress. *Plant Growth Regulation*, 58(2), 131-136.
- Zhang, D., Zhang, Z., & Wang, Y. (2024). Effects of salt stress on salt-repellent and salt-secreting characteristics of two apple rootstocks. *Plants*, 13(7), 1046.
- Zhao, J., Zhang, S., Yu, Z., Gu, T., Zhang, J., Meng, L., ... & Liu, W. (2025). The transcription factor MdWRKY9 is involved in jasmonic acid-mediated salt stress tolerance in apple. *Horticulture Research*, 12(6), uhaf068.

- Zhu, Y. F., Wu, Y. X., Hu, Y., Jia, X. M., Zhao, T., Cheng, L., & Wang, Y. X. (2019). Tolerance of two apple rootstocks to short-term salt stress: focus on chlorophyll degradation, photosynthesis, hormone and leaf ultrastructures. *Acta Physiologiae Plantarum*, 41(6), 87.
- Zhu, Y. F., Wu, Y. X., Hu, Y., Jia, X. M., Zhao, T., Cheng, L., & Wang, Y. X. (2019). Tolerance of two apple rootstocks to short-term salt stress: focus on chlorophyll degradation, photosynthesis, hormone and leaf ultrastructures. *Acta Physiologiae Plantarum*, 41(6), 87.

BÖLÜM VIII

ELMA ZARARLILARI VE MÜCADELESİ

Dr. Öğr. Üyesi Şeyda ŞİMŞEK¹, Doç. Dr. Mustafa ALKAN²,
Doç. Dr. Emre EVLİCE³

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18107738>

¹ Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü Yozgat Türkiye.
seyda.simsek@yobu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-0096-8949

² Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü Yozgat Türkiye.
mustafa.alkan@yobu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-7125-2270

³ Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi Bitki
Koruma Bölümü, emre.evlice@sivas.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-6402-0287

1.GİRİŞ

Elma (*Malus domestica* Borkh.), dünyada en yaygın olarak yetiştirilen ve ekonomik değeri en yüksek meyve türlerinden biridir. Ilıman iklim kuşağında geniş bir ekolojik adaptasyon gösteren bu tür, taze tüketim ve işlenmiş ürün formunda (meyve suyu, reçel, kurutulmuş meyve, sirke, şarap vb.) önemli bir yer tutmaktadır (Czernyszewicz, 2016). Gıda güvenliği, beslenme ve kırsal kalkınma açısından büyük öneme sahip olan elma, içerdiği karbonhidrat, pektin, organik asitler, vitaminler ve fenolik bileşiklerle insan sağlığına katkı sağlayan fonksiyonel bir besin olarak kabul edilmektedir (Oğuz ve Karaçayır, 2009). Ayrıca elmanın antioksidan özellikleri, kardiyovasküler hastalıklar ve bazı kanser türleri riskini azalttığına dair bulgularla desteklenmiştir (Bashimov, 2016).

Elmanın kökeni ve evcilleştirilmesi üzerine yapılan moleküler ve arkeobotanik araştırmalar, bu türün genetik kaynağının Orta Asya'daki Tanrı Dağları bölgesine dayandığını ortaya koymuştur (Cornille ve ark., 2019). *Malus sieversii* türünün doğal populasyonları, kültür elmasının atası olarak kabul edilmekte ve bu populasyonlardan yayılan genetik materyalin İpek Yolu üzerinden Anadolu ve Avrupa'ya taşındığı düşünülmektedir (Cornille ve ark., 2019). Bu tarihsel yayılım sürecinde Anadolu, hem genetik çeşitliliğin korunması hem de kültürleşmenin ilerlemesinde önemli bir geçiş bölgesi olmuştur. Günümüzde Türkiye, elma genetik kaynakları bakımından dünyanın en zengin ülkelerinden biridir ve yerel genotiplerin korunması, gelecekte iklim değişikliğine ve biyotik stres faktörlerine dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesinde stratejik önem taşımaktadır (Szot ve ark., 2022).

Türkiye, elma üretimi bakımından dünya sıralamasında dördüncü sırada yer almakta ve yıllık 3 milyon ton civarında üretim gerçekleştirmektedir (Bashimov, 2016). Ülke genelinde yaklaşık 1.7 milyon dekar alanda yetiştirilen elmanın üretiminin büyük bölümü Isparta, Karaman, Niğde, Denizli ve Nevşehir gibi illerde yoğunlaşmıştır (Oğuz ve Karaçayır, 2009).

Türkiye’de yetiştirilen başlıca çeşitler arasında Starking Delicious, Golden Delicious, Amasya, Granny Smith ve Fuji yer almakta olup, bu çeşitlerin çoğu ihracata da yöneliktir. Üretimin büyük bir kısmı iç pazarda tüketilmekte, ihracat ise toplam üretimin yaklaşık %4’ünü oluşturmaktadır (Bashimov, 2016). Türkiye, 1990’lı yıllarda elma ihracatında belirgin bir rekabet avantajına sahipken, sonraki dönemlerde kalite standardizasyonu, lojistik altyapı ve pazar çeşitliliği yetersizlikleri nedeniyle bu avantajını kısmen kaybetmiştir (Oğuz ve Karaçayır, 2009; Bashimov, 2016). Buna rağmen Türkiye, Rusya, Irak ve Orta Doğu ülkelerine yaptığı elma ihracatıyla bölgesel düzeyde önemli bir tedarikçidir. Küresel ölçekte elma yetiştiriciliği son yıllarda önemli yapısal dönüşümler geçirmiştir. Yüksek yoğunluklu ve cüce anaçlı bahçecilik sistemleri, üretim alanlarında verim artışı sağlamış; özellikle M.9 ve M.26 gibi anaçların kullanımı erken meyveye yatmayı kolaylaştırmıştır (Robinson, 2011). Ancak bu sistemler yüksek yatırım maliyetleri, kısa ekonomik ömür ve çevresel sürdürülebilirlik sorunlarını da beraberinde getirmiştir (Badiu ve ark., 2015). Elma yetiştiriciliğinde verim ve kaliteyi artırmak amacıyla yürütülen ıslah çalışmaları ve modern bahçe tesis teknikleri, ekonomik getiriye yükseltmekle birlikte, biyolojik çeşitliliğin azalmasına ve yerel genotiplerin kaybolmasına da yol açmaktadır (Szot ve ark., 2022). Bu nedenle yerel çeşitlerin korunması ve üretim sistemlerinde genetik çeşitliliğin sürdürülmesi, sürdürülebilir elma üretimi açısından büyük önem taşımaktadır. Elma üretiminde çevresel faktörlerin yanı sıra zararlı böcek ve akar türleri de verim ve kaliteyi ciddi ölçüde sınırlamaktadır. Elma iç kurdu (*Cydia pomonella*), yaprak bükenler (Tortricidae), yaprak bitleri (Aphididae), kırmızı örümcekler (Tetranychidae) ve çeşitli kabuklu bit türleri (Coccidae) elma bahçelerinde ekonomik öneme sahip zararlılar arasında yer almaktadır (Blommers, 1994). Uzun yıllar boyunca kimyasal mücadele temel yöntem olarak uygulanmış olsa da, pestisit direnci, kalıntı sorunları ve doğal düşmanların olumsuz etkilenmesi gibi nedenlerle entegre mücadele

yaklaşımları ön plana çıkmıştır (Blommers, 1994). Günümüzde entegre zararlı yönetimi (IPM) kapsamında biyolojik, biyoteknik ve kültürel önlemler öncelikli olarak değerlendirilmektedir. Predatör akarların korunması, parazitoitlerin etkinliğinin artırılması, feromon tuzaklarının kullanımı ve seçici insektisitlerin uygulanması bu stratejiler arasında yer almaktadır (Blommers, 1994; Oğuz ve Karaçayır, 2009). Türkiye’de elma üretim alanlarında entegre ve organik üretim modellerine yönelim giderek artmakta olup, bu durum hem çevresel sürdürülebilirlik hem de ihracat potansiyeli açısından umut verici bir gelişmedir.

Elma bahçeleri yalnızca üretim birimleri değil, aynı zamanda karmaşık ekolojik sistemlerdir.

Bu sistemlerde polinatör böcekler, doğal düşmanlar ve mikroorganizmalar arasındaki etkileşimler, hem verim hem de ekolojik denge açısından büyük rol oynar. Özellikle arılar (*Apis mellifera*), yaban arıları ve sinekler gibi polinatörlerin elma meyve tutumuna katkısı büyüktür (Pardo ve Borges, 2020). Ancak yoğun tarımsal uygulamalar, pestisit kullanımı ve habitat kayıpları, polinatör popülasyonlarında azalmaya yol açmaktadır (Potts ve ark., 2016). Dolayısıyla, polinatörlerin ve doğal düşmanların korunmasına yönelik agroekolojik yaklaşımlar, geleceğin elma yetiştiriciliğinde vazgeçilmez bir bileşen olacaktır.

Sonuç olarak, elma üretimi hem Türkiye hem de dünya ekonomisi açısından stratejik bir öneme sahiptir. Ancak üretimin sürdürülebilirliği, sadece yüksek verim hedeflerine değil; aynı zamanda biyolojik çeşitliliğin korunmasına, çevresel etkilerin azaltılmasına ve entegre mücadele stratejilerinin uygulanmasına bağlıdır. Türkiye sahip olduğu genetik kaynak çeşitliliği, uygun ekolojik koşulları ve yetiştiricilik deneyimiyle, elma üretiminde sürdürülebilir bir büyüme potansiyeline sahiptir. Bu potansiyelin korunması için yerel genotiplerin değerlendirilmesi, ekolojik temelli zararlı

yönetimi yaklaşımlarının yaygınlaştırılması ve ihracat kapasitesinin artırılmasına yönelik politikaların geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

2. ELMADA GÖRÜLEN ÖNEMLİ ZARARLI TÜRLER

2.1. LEPIDOPTERA TAKIMINDA YER ALAN ZARARLI TÜRLER

Lepidoptera takımı içerisinde farklı familyalarda (Tortricidae, Lymantriidae, Lasiocampidae, Cossidae, Sphingidae, Coleophoridae, Phyllocnistidae) yer alan birçok zararlı türü bulunmaktadır. Elmanın en önemli ve ana zararlısı elma yetiştirilen alanlarda birçok zarara sebep olan *Cydia pomonella* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Tortricidae) 'dır. *Cydia pomonella* larvaları elmanın sapa yakın kısımdan ve çiçek çukurundan meyve içine giriş yaparak çekirdek evine doğru galeriler oluşturmaktadır. Her bir meyve içerisinde bir adet larva bulunmaktadır (Sarı ve Yıldırım, 2021). Larvaların beslenmesi sonucunda meyve içeriğini beslenme atıkları ve dışkılarıyla kirleterek meyvenin dökülmesine ve ürünün verim kalitesinin düşmesine sebep olmaktadır (Khan ve ark., 2018) (Şekil 1). Verdikleri zarar oranı %3-96 arasında değişmektedir (Pawar ve ark., 1981).

Zararlının mücadelesinde öncelikli olarak elma bahçeleri tesis ediliyorken zararlının diğer konukçuları (ceviz, badem vs.) ile karışık olmamasına dikkat etmek gerekmektedir (Anonim, 2017). Bulaşık olan yere dökülmüş meyvelerin toplanıp imha edilmesi popülasyonun düşürülmesi için önemli bir husustur (Blommers, 1994; Shaw, 2021). *Trichogramma* türleri zararlının mücadelesinde kullanılabilecek önemli yumurta parazitoidir. Ancak zararlının ekonomik zarar eşiği çok düşük olduğunda tek başına yeterli olmamaktadır (Oatman, 1966). *Cydia pomonella* erginleri feromon tuzaklarla kitle halinde yakalanması ile popülasyon oranı önemli oranda düşürülmektedir ve bu yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır (Anonim, 2017; Charmillot ve

ark, 2000). Zararlının kimyasal mücadelesinde ilaçlamaya karar verdikten sonra genellikle toplam 3 ilaçlama yeterli olmaktadır.



Şekil 1: *Cydia pomonella* larva ve zararı (Khan ve ark., 2018; Anonim, 2025a; Anonim, 2025b)

Elmanın en önemli zararlılarından bir tanesi de önemli zararlara neden olan *Archips rosana* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Tortricidae)'dır. Zararlının larvaları genellikle taze yaprak ve sürgün kısımlarında beslenerek salgıladıkları ağlar ile birden fazla yaprağı bağlayarak buket haline getirmektedir. Zararlının en spesifik zararlarından biri de yaprakları puro gibi orta damar boyunca uzunlamasına sarmasıdır (Sarı ve Yıldırım, 2021) (Şekil 2) *Archips rosana* türü dışında *A. xylosteanus* ve *A. crataegus* türleride

elmada önemli zararlara sebep olmaktadır. Bu türlerin hepsi polifag olup elma dışında kiraz, armut, ceviz, yenidünya, badem de konukçuları arasında bulunmaktadır (Anonim, 2011). Bu zararlı yoğun olduğu dönemlerde ağaçların zayıf düşmesine ve ciddi verim kayıplarına neden olmaktadır (Canbay ve Tozlu, 2013).



Şekil 2: *Archips rosana* larva ve ergini (UkrBin, 2025)

Bu zararlının mücadelesinde budama yapılırken veya kış aylarında dallarda bulunan yumurta paketleri imha edilmelidir. Zararlının biyolojik mücadelesinde *C. pomonella*' da olduğu gibi yumurta parazitoiti olan *Trichogramma* türü kullanılmaktadır. *Archips rosana* erginlerini kitle halinde yakalamak için şaraplı ve pekmezli besli tuzakları kullanılmaktadır (Anonim, 2017).

Euproctis chrysorrhoea (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: (Lymantriidae) bazı yıllarda aşırı popülasyon yoğunluğuna ulaşır ve elma ağaçlarında önemli kayıplara sebep olmaktadır (Bulut, 1991). Zararlının larvaları ağaçların yapraklarını yiyerek zarara sebep olmaktadır. Bu zararlı, özellikle elma, armut, kayısı, vişne, kiraz ve alıç gibi birçok meyve ağacının önemli zararlılarından biri olarak tanımlanmıştır (İlçin, 2022) (Şekil 3).



Şekil 3: *Euproctis chrysorrhoea* larvası (Hallot, 2025)

Euproctis chrysorrhoea ile mücadelede zararlının kışı geçirdiği kışlak yuvaları ve ilkbaharda toplu halde beslenen larva kümeleri ağaçtan kesilerek toplanmaktadır ve popülasyonun düşmesi sağlanmaktadır (Anonim, 2011).

Lymantria obfuscate (Walker, 1865) (Lepidoptera: Lymantriidae) larvaları toplu halde beslenirler ağaçların yaprakları tamamen dökülür, bu da daha düşük kalitede meyve oluşumuna veya meyve oluşumunun azalmasına neden olabilmektedir (Sherwani ve ark., 2016).

Stigmella malella (Stainton, 1854) Beirne, 1945 (Lepidoptera: Nepticulidae) larvaları elma yapraklarında tipik galeriler oluşturarak beslenir. Bu galeriler fotosentez alanını azaltır, yaprakların erken dökülmesine neden olur ve yoğun bulaşmalarda ağaçların zayıflamasına yol açar. Tür, bazı yıllarda ve bölgelerde ekonomik olarak önemli popülasyon patlamaları yapabilir. Larvaların çıkış deliği yarım ay şeklindedir ve zararın tanınmasında karakteristik bir belirtidir (Eveleens ve Evenhuis, 1968) (Şekil 4). Zararlıının mücadelesinde kimyasal kullanılmamaktadır. Elma bahçelerinde kurumuş olan yaprakların imha edilmesi, kuru ağaç kabuklarının soyulması ve toprağın sürülmesi popülasyonu düşürmektedir (Anonim, 2017).



Şekil 4: *Stigmella malella* ergin ve zararı (Robrecht, 2021)

2.2. HEMIPTERA TAKIMINDA YER ALAN ÖNEMLİ ZARARLI TÜRLER

Aphis pomi (De Geer, 1773) (Hemiptera: Aphididae) elma yetiştirilen alanlarda ekonomik olarak zarara neden olan en önemli Hemiptera türüdür (Rakauskas ve ark., 2015; Shah ve ark., 2025). Elma bahçelerinde *A. pomi* dışında 15 farklı yaprakbiti türü zararlı olarak bulunmaktadır (Lowery ve ark., 2006; Erdoğan ve ark., 2023). *Aphis pomi* genç sürgün ve yapraklarda koloniler halinde bulunmaktadır ve bitkinin özsuğunu emerek fizyolojik dengenin bozulmasına neden olmaktadır (Arbab ve ark., 2006; Erdoğan ve ark., 2023; Shah ve ark., 2025). Bu beslenmeleri sonucunda bitkinin sürgünlerinde kısılma, yapraklarında kıvrılma, sararma ve şekil bozukluklarına yol açmaktadır (Carroll ve Hoyt, 1984; Erdoğan ve ark., 2023) (Şekil 5). *Aphis pomi* salgıladığı tatlı madde nedeniyle çiçek ve yapraklarda fumajin gelişmesine neden olarak bitkinin fotosentez yapmasını engeller ve meyve gelişimini olumsuz olarak etkilemektedir (Stoeckli ve ark., 2008). Bu nedenle zararlının yüksek popülasyonlara ulaşmasına engel olmak amacıyla bahçelerde düzenli popülasyon takibi ve erken müdahale büyük önem taşımaktadır. Zararlının bitkiye verdiği doğrudan zararının yanında birde virüs hastalılarını taşıyarak bitkinin zarar görmesine sebep olmaktadır (Anonim, 2017)



Şekil 5: *Aphis pomi* koloni ve zararı (Anonim, 2024; Anonim, 2025c)

Dysaphis plantaginea (Passerini, 1860) (Hemiptera: Aphididae) elmada zarara sebep olan bir diğer yaprakbiti türüdür. Zararlı yumurtalarını tomurcuk yakınlarına bırakır ve yumurtadan çıkan nimfler yeni patlamış tomurcukların yaprak altlarında koloniler oluşturarak yaprakların kıvrılmasına neden olmaktadır (Anonim, 2011) (Şekil 6).



Şekil 6: *Dysaphis plantaginea* ergin ve zararı (Anonim, 2025d)

Aphis pomi ve *Dysaphis plantaginea* ile mücadelede öncelikle dayanıklı bitki çeşitlerinin seçimi önem arz etmektedir. Bazı elma çeşitleri bu afit türlerine karşı daha az duyarlıdır (Arnaoudov ve Kutinkova, 2006; Kutinkova ve Dzhuvinov, 2014). Bitkilerin bakımında aşırı azotlu gübrelerin kullanılması yaprakbiti popülasyonun ve zararının artmasına neden olmaktadır (Altieri ve Nicholls, 2003; Anonim 2011; Ryalls ve ark.,2024). Bulaşık olan özellikle sürgün uçlarında yoğunlaşan kıvrık yapraklı bölgelerin erken dönemde budanarak bahçeden uzaklaştırılması popülasyonun azalmasını sağlamaktadır (Blommers,1994; Shaw,2021).

Sık dikimden kaçınılmalı ve düzenli budamalarla bahçe içerisinde yeterli ışıklanma ve hava sirkülasyonu sağlanmalıdır (Anonim, 2017). Yaprakbiti popülasyonunu baskı altında tutabilecek birçok doğal düşmanı bulunmaktadır (Coccinellidae, Syrphidae, Anthocoridae, Chrysopidae ve Aphidiidae) (Khan ve ark., 2018). Doğal düşman varlığı göz önünde bulundurularak kimyasal mücadele yapılmalı aşırı ve gereksiz insektisit kullanımından kaçınılmalıdır (Ryalls ve ark.,2024)

Eriosoma lanigerum (Hausmann, 1802) (Homoptera: Aphididae), tüm dünyada elma bahçelerini istila eden ve elma ağaçlarının gövde, sürgün ve kök bölgesinde koloniler oluşturarak ekonomik olarak önemli kayıplara neden olan bir zararlıdır (Bus ve ark., 2007; Ateyyat ve Al-Antary, 2009; Khan ve ark., 2018). Zararının nimf ve erginleri sürgün, dal ve ağaç kabuklarında bitki özsuğunu emerek beslenmektedir ve beslenme noktasında pamuk görünümünde mumsu bir tabaka oluşturmaktadır (Khan ve ark., 2018) (Şekil 7). Emgi sonucunda kabuk çatlamaları ve köklerde gal şeklinde şişkinliklere sebep olmaktadır. Bu deformasyonlar su-besin iletimini kısıtlayarak ağacın gelişimini zayıflatmaktadır (Adalakha ve Hameed, 1972; Nicholas ve ark., 2005; Khan ve ark., 2018). Köklerde zararın yoğun olduğu zamanlarda ağaçlarda gelişme zayıflığı, sararma, bodurluk görülmektedir. Ayrıca popülasyon baskınının yüksek olduğu bahçelerde meyve iriliği düşmekte,

gelişim yavaşlamakta ve ağaçlar stres altında kalmaktadır (Khan ve ark., 2018).

Zararlı ile mücadelede dayanıklı elma çeşitleri tercih edilerek zarar oranı azaltılabilmektedir (Sandanayaka ve ark., 2005). Budama esnasında ağaçta yara oluşturulmadan yapılmalı eğer yaralanmışsa macunla kapatılmalıdır aksi takdirde buradan çıkan özsuyla beslenmeler olacağı için zarar oranı artmaktadır (Anonim,2017). *Eriosoma lanigerum*'un en önemli parazitoiti *Aphelinus mali*' dir. Elma bahçelerinde yoğun olduğu dönemlerde zararlının popülasyonunu baskı altına almaktadır ve kimyasal mücadeleye ihtiyaç duyulmamaktadır (Anonim, 2011; Khan ve ark., 2018).



Şekil 7: *Eriosoma lanigerum* zararı (Dburridge, 2018; vcharny, 2022)

Quadraspidiotus perniciosus (Comst.) (Hemiptera: Diaspididae) özellikle genç meyve ağaçlarında önemli zararlara sebep olmaktadır. Ağaçların gövde, dal, meyve, tomurcuk ve sürgünlerinde özsuğunu emerek beslenirler ve aynı zamanda toksik madde salgılarlar (Anonim, 2011). Meyvede beslenmesi sonucunda meyve üzerinde çukurcuk ve kırmızı leke oluşumuna neden olmaktadır (Richards, 1962) (Şekil 8). Zararının mücadelede öncelikle temiz materyal kullanılmalı ve kabuk altında bulunan koloniler kış budamasında açığa çıkarılarak yok edilmelidir (Anonim, 2017). Kışlık sürgün ve kabuk temizliğiyle zararının bahçedeki bulaşma oranı düşürülmüş olur (Shaw, 2021). Genç larva döneminin izlenmesi başarı için kritik nokta olup, yoğunluk artışı yapışkan tuzaklarla izlenebilir (Ryalls ve ark., 2024). *Encarsia* spp. ve *Aphytis* spp. en önemli doğal düşmanlarıdır ve popülasyonu uzun vadede baskı altına almaktadır (Funayama ve ark., 2015). Kimyasal uygulamalar en hassas dönem olan birinci döl gözeterek planlanmalıdır (Anonim, 2017). Gereksiz ve aşırı uygulama doğal düşmanları baskılayacağı için kontrollü kullanım önerilmektedir.



Şekil 8: *Quadraspidiotus perniciosus* zararı ve ergini (Anonim, 2025e; Schmid, 2025)

2.3. COLEOPTERA TAKIMINDA YER ALAN ÖNEMLİ ZARARLI TÜRLER

Tropinota (Epicometis) hirta (Poda, 1761) (Coleoptera: Cetoniidae) meyve ağaçları (elma, Kiraz, erik), süs bitkileri gibi birçok bitkide önemli zararlara sebep olmaktadır (Çelik ve Yaşar, 2011). Zararlıının erginleri bitkilerin çiçek kısımlarını yiyerek zarar meydana getirmektedir. Bitkilerin sadece çiçek değil tomurcuklarında da beslenmektedir (Vuts ve ark., 2009; Anonim, 2011) (Şekil 9).

Tropinota (Epicometis) hirta ile mücadelede çiçeklenme dönemi oldukça kritik bir dönemdir bahçe içerisinde bulunan çiçekli yabancı otlarında kontrol edilmesi önemlidir. Uçuş aktivitesinin düşük olduğu sabah saatlerinde elle toplama yöntemi zararlı popülasyonunu düşürmektedir (Anonim,2017). Zararlıının doğal düşman sayısı azdır ancak yinede bahçe kenarında bulunan çiçekli bitkilerin korunması predatör ve parazitoitleri artırabilir (Ryalls,2024). Biyoteknik mücadelesinde genelde trans-sinamil alkol ve anetol (1:1 oranında) kullanılarak huni tuzaklarıyla erginler yakalanır. Erginlerin yakalanmasında mavi renk tonları etkili olmaktadır. Aynı zamanda altı kısımlara konulan suyunda önemli olduğu bildirilmiştir (Yaşar ve Dahham, 2019).

Elma çiçekli dönemde olduğu için kimyasal uygulama polinatör zararı riski nedeniyle son çaredir. Müdahale yalnızca yüksek yoğunlukta önerilir (Shaw,2021).



Şekil 9: *Tropinota (Epicometis) hirta* erginleri (Dijanazg, 2012; Kuchenko, 2025)

2.4. ACARI TAKIMINDA YER ALAN ZARARLI TÜRLER

Tetranychus urticae (Koch, 1836) (Acari: Tetranychidae) elmada bulunan önemli akar türlerinden biridir. Zararlı elma başta olmak üzere narenciye, üzüm, domates, biber gibi birçok üründe zarar yapmaktadır (Rakhmanov, 2024). Zararlıının bitki özsuyunu emerek beslenmesi sonucunda yaprakta beyaz lekeler oluşur ve yoğun popülasyonlarda yaprakların dökülmesine sebep olmaktadır (Rakhmanov, 2024) (Şekil 10). Tetranychidae familyasına bağlı *T. viennensis*, *T. kanzawai*, *T. shahi* ve *T. cinnabarinus*, elma bahçelerinde yaprak alt yüzeyinde koloni oluşturarak özsu emen önemli kırmızı örümcek türleridir. Beslenme sonucunda yapraklarda sararma ve bronzlaşma meydana getirerek, kurumalara sebep olmaktadır. Popülasyon yoğun olduğunda ağ örme davranışı artmakta ve erken yaprak dökümüne neden olarak verimi düşürmektedir. Özellikle sıcak ve kuru yaz koşulları bu türlerin çoğalmasını hızlandırmakta ve ekonomik zarar eşiği kısa sürede aşılabilmektedir (Blackman & Eastop, 2000; Helle & Sabelis, 1985; Zhang, 2003). Zararlıının mücadelesinde dikkat edilmesi gereken şeylerin başında bahçede hava sirkülasyonunun sağlanması için budama uygulamaları popülasyon artışını sınırlar (Funayama ve ark., 2015). Biyolojik mücadelesinde *Phytoseiulus persimilis*, *Neoseiulus californicus*, *Amblyseius andersoni* gibi predatör akarlar en etkili doğal düşman grubudur. Kimyasal kullanımının azaltılması bu faydalı türlerin baskıyı arttırmasına izin verir

(Funayama ve ark., 2015). Popülasyon artışını sarı yapışkan tuzaklarla takip edip zarar eşiğine ulaşmadan müdahale etmek mümkündür (Ryalls et al., 2024). Kimyasal mücadelede ekonomik eşik aşılmadan uygulamaya gidilmemelidir. Aynı etki mekanizmasına sahip ürünlerin tekrarlanan kullanımından kaçınılmalı, direnç yönetimi sağlanmalıdır (Funayama ve ark., 2015)



Şekil 10: *Tetranychus urticae* ergin ve zararı (Amyprentice, 2023)

3. SONUÇ

Elma yetiştiriciliği, küresel ölçekte olduğu gibi Türkiye’de de ekonomik, ekolojik ve sosyal açıdan stratejik bir tarımsal faaliyet alanı olarak öne çıkmaktadır. Türkiye’nin elma üretimindeki yüksek potansiyeli, uygun ekolojik koşullar, çeşit zenginliği ve üretim deneyimiyle birleştiğinde hem iç pazar hem de dış ticaret açısından önemli bir rekabet üstünlüğü yaratmaktadır. Ancak, bu potansiyelin gerçekleştirilebilmesi ve sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi, üretim süreçlerinde karşılaşılan biyotik stres faktörlerinin etkin biçimde yönetilmesini zorunlu kılmaktadır. Elma yetiştiriciliğinde görülen zararlı türler, verim kayıplarının yanı sıra kalite düşüşüne, ürün deformasyonu ve ekonomik maliyet artışına neden olmakta, dolayısıyla hem üretici gelirlerini hem de pazar standartlarını doğrudan etkilemektedir. Bu bağlamda, zararlı türlerin biyolojisinin, ekolojisinin ve davranışlarına ilişkin

detaylı bilgiler, mücadele stratejilerinin geliştirilmesi ve uygulanmasında kritik bir öneme sahiptir.

Bu çalışmada ele alınan Lepidoptera, Hemiptera, Coleoptera ve Acari takımlarına bağlı zararlılar, Türkiye'deki elma üretim alanlarında yaygın olarak görülen ve ekonomik öneme sahip türleri temsil etmektedir. *Cydia pomonella*, *Archips* türleri, *Aphis pomi*, *Dysaphis plantaginea*, *Eriosoma lanigerum*, *Quadraspidotus perniciosus*, *Tropinota hirta* ve *Tetranychus urticae* gibi türlerin biyolojileri ve oluşturdıkları zarar şekilleri ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Bu zararlıların ortak etkisi, üretim periyodunun kritik aşamalarında verim ve kalite düşüşlerine yol açmalarıdır. Ancak, bu türler arasında zarar şiddeti, ekonomik eşik değerleri, popülasyon dinamikleri ve konukçu bitki tercihleri açısından önemli farklılıklar bulunmakta olup, mücadele kararları bu farklılıklara göre özelleştirilmeyi gerektirmektedir.

Geleneksel üretim paradigmasında yoğun pestisit kullanımı, zararlılarla mücadelede kısa vadeli başarılar sağlamış olsa da, direnç gelişimi, faydalı türlerin baskılanması, kalıntı sorunları ve çevresel riskler gibi uzun vadeli olumsuz etkiler ortaya çıkarmıştır. Günümüzde entegre zararlı yönetimi (IPM), elma yetiştiriciliğinde sürdürülebilir üretimin temel stratejisi olarak kabul edilmekte ve biyolojik, kültürel, biyoteknik ve kimyasal mücadele yöntemlerinin bütüncül, dengeli ve çevresel etkileri minimize edecek şekilde uygulanmasını öngörmektedir. *Trichogramma* türleri, predatör akarlar, doğal parazitoitler ve feromon tuzakları gibi biyolojik ve biyoteknik bileşenler, ekosistem tabanlı üretim modelinin omurgasını oluşturmaktadır. Kimyasal mücadele ise ekonomik eşik, etki mekanizması ve çevresel riskler dikkate alınarak, seçici ve zamanlı müdahale prensiplerine uygun şekilde değerlendirilmelidir.

Zararlılarla mücadelede başarı, sadece uygun yöntemin seçilmesiyle değil; bahçe hijyeni, budama uygulamaları, besin yönetimi, çeşit seçimi ve bahçe planlaması gibi agroteknik kararların optimizasyonu da yakından

ilişkilidir. Bu kapsamda, dayanıklı çeşitlerin kullanımı, tarımsal ekosistem hizmetlerinin desteklenmesi ve polinatörlerin korunması, geleceğin elma yetiştiriciliğinde stratejik öncelikler arasında yer almaktadır. Ayrıca, iklim değişikliğinin zararlı-popülasyon dinamikleri ve hastalık etmenleri üzerindeki etkileri göz önünde bulundurularak, adaptif ve risk temelli yönetim yaklaşımlarının geliştirilmesi önem kazanmaktadır.

Sonuç olarak, elma yetiştiriciliğinde zararlı türlerin yönetimi, ekonomik verimlilik, ürün kalitesi ve ekolojik sürdürülebilirlik arasındaki dengeyi gözeten, bilim temelli, bütünleşik ve uzun vadeli bir yaklaşım gerektirmektedir. Türkiye'nin elma üretimindeki güçlü konumu, ekolojik avantajları ve bilimsel altyapısı, entegre mücadele stratejilerinin yaygınlaştırılması ve biyolojik kontrol uygulamalarının desteklenmesiyle daha da güçlenebilir. Bu kapsamda, yerel genetik kaynakların korunması, bilgi tabanlı üretici eğitimi, araştırma-geliştirme faaliyetleri ve politika destek mekanizmaları temel bileşenler olarak değerlendirilmelidir. Elma yetiştiriciliğinde sürdürülebilir başarı, üretim ekosisteminin bir bütün olarak ele alınması, biyolojik çeşitliliğin korunması ve çevresel etkilerin minimize edilmesiyle mümkün olacaktır.

2. KAYNAKLAR

- Adlakha, R. L., & Hameed, S. F. (1972). Woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* (Hausmann). *Kullu Valley. Pesticides*, 6, 13-22.
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2003). Soil fertility management and insect pests: harmonizing soil and plant health in agroecosystems. *Soil and Tillage Research*, 72(2), 203-211.
- Amyprentice, (2023), <https://www.inaturalist.org/observations/322591245>. (Erişim tarihi: 27.11.2025).
- Anonim (2011). Elma Entegre Mücadele Teknik Talimatı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/yayin/012_elma.pdf. (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Anonim (2024), <https://www.cropscience.bayer.ro/descopera/biblioteca-agronomica/ghidul-daunatorilor/aphis-pomi>. (Erişim tarihi: 26.11.2025).
- Anonim (2025b), <https://www.dpir.d.wa.gov.au/businesses/pests-weeds-and-diseases/animal-pests-diseases/pest-insects/codling-moth/>. (Erişim tarihi: 26.11.2025).
- Anonim (2025c), http://influentialpoints.com/Gallery/Aphis_pomi_green_apple_aphid.htm. (Erişim tarihi: 26.11.2025).
- Anonim (2025d), https://influentialpoints.com/Gallery/Dysaphis_plantaginea_Rosy_apple_aphid.htm. (Erişim tarihi: 26.11.2025).
- Anonim (2025e), <https://pnwhandbooks.org/node/6817/print>. (Erişim tarihi: 26.11.2025).
- Anonim, (2017). Elma, Armut ve Ayva Entegre Mücadele Teknik Talimatı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/yayin/ELMA_ARMUT_VE_AYVA-11.10.2017.pdf. (Erişim Tarihi: 26.11.2025)

- Anonim, (2025a), <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cydia.pomonella.7162.jpg>. (Erişim tarihi: 26.11.2025).
- Arbab, A., Kontodimas, D. C., & Sahragard, A. (2006). Estimating development of *Aphis pomi* (DeGeer) (Homoptera: Aphididae) using linear and nonlinear models. *Environmental Entomology*, 35(5), 1208-1215.
- Arnaoudov, V., & Kutinkova, H. (2006). Susceptibility of some apple cultivars to infestation by the rosy apple aphid (*Dysaphis plantaginea* Pass., Homoptera: Aphididae). *Journal of fruit and ornamental plant research*, 14, 137.
- Ateyyat, M. A., & Darwish, M. A. (2009). Insecticidal activity of different extracts of *Rhamnus dispermus* (Rhamnaceae) against peach trunk aphid, *Pterochloroides persicae* (Homoptera: Lachnidae). *Spanish Journal of Agricultural Research*, (1), 160-164.
- Badiu, D., Arion, F. H., Muresan, I. C., Lile, R., & Mitre, V. (2015). Evaluation of economic efficiency of apple orchard investments. *Sustainability*, 7(8), 10521–10533. <https://doi.org/10.3390/su70810521>
- Bashimov, G. (2016). Elma ihracatında Türkiye'nin karşılaştırmalı üstünlüğü. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13(2), 9–15.
- Blackman, R. L., & Eastop, V. F. (2000). *Aphids on the world's crops: An identification guide* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Blommers, L. H. (1994). Integrated pest management in European apple orchards. *Annual Review of Entomology*, 39(1), 213-241.
- Blommers, L. H. M. (1994). Integrated pest management in European apple orchards. *Annual Review of Entomology*, 39, 213–241. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.39.010194.001241>
- Bulut, H. (1991). Investigationson the egg parasitoids of *Euproctis chrysorrhoea* L, their distribution and natural ellectiveness. *Turkish Journal of Entomology*, 15(1).
- Burke, H. E. (1919). Biological Notes on the Flat-headed Apple Tree Borer (*Chrysobothris femorata*, Fab.) and the Pacific Flatheaded Apple Tree Borer (*Chrysobothris mali*, Horn). *J Econ Entomol*, 1:326–330

- Bus, V. G. M., Chagné, D., Bassett, H. C. M., Bowatte, D., Calenge, F., Celton, J. M., ... & Gardiner, S. E. (2008). Genome mapping of three major resistance genes to woolly apple aphid (*Eriosoma lanigerum* Hausm.). *Tree Genetics & Genomes*, 4(2), 223-236.
- Canbay, A., & Tozlu, G. (2013). Erzincan ilinde elma ağaçlarında zarar yapan *Archips* (Lepidoptera: Tortricidae) türlerinin tespiti, popülasyon değişimleri ile önemli tür *Archips rosana* (L., 1758)'nın biyolojisi. *Turkish Journal of Entomology*, 37(3), 305-318.
- Carroll, D. P., & Hoyt, S. C. (1984). Natural enemies and their effects on apple aphid, *Aphis pomi* DeGeer (Homoptera: Aphididae), colonies on young apple trees in central Washington. *Environmental Entomology*, 13(2), 469-481.
- Charmillot, P. J., Hofer, D., & Pasquier, D. (2000). Attract and kill: a new method for control of the codling moth *Cydia pomonella*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 94(2), 211-216.
- Cornille, A., Antolín, F., Garcia, E., Vernesi, C., Fietta, A., Brinkkemper, O., ... & Roldán-Ruiz, I. (2019). A multifaceted overview of apple tree domestication. *Trends in Plant Science*, 24(8), 770-779. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.05.007>
- Czernyszewicz, E. (2016). Long-term trends in production and consumption of apples in Poland, Europe and worldwide. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 15(3), 95-104.
- Çelik, V., & Yaşar, B. (2021). The effects of traps hung in different places in the cherry orchard on the capture and flower damage of *Tropinota* (Epicometis) *hirta* (Poda, 1761) (Coleoptera: Cetoniidae). *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 7(4), 582-589.
- Dburridge, (2018). <https://www.inaturalist.org/photos/15070417>. (Erişim tarihi: 27.11.2025).
- Dijanazg, (2012), <https://www.inaturalist.org/observations/327480068>. (Erişim tarihi: 27.11.2025).
- Funayama, K., Komatus, M., Sonoda, S., Takahashi, I., & Hara, K. (2015). Management of apple orchards to conserve generalist phytoseiid mites suppresses two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Experimental and Applied Acarology*, 65(1), 43-54.

- Hallot, (2025). <https://www.gbif.org/tools/zoom/simple.html?src=//api.gbif.org/v1/image/cache/occurrence/5077176658/media/733800b943413a45243687833da7b7c3>. (Erişim tarihi: 28.11.2025).
- Helle, W., & Sabelis, M. W. (Eds.). (1985). *Spider mites: their biology, natural enemies and control* (Vol. 1, pp. 141-160). Amsterdam: Elsevier.
- İlçin, M. (2022). *Euproctis chrysorrhoea* Linnaeus, 1758 (Lepidoptera: Lymantriidae) Biology and Determination of Damage Yedisu, Bingöl, Türkiye. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 6(3), 451-456.
- Khan, A. A., Wani, A. R., Zaki, F. A., Nehru, R. K., & Pathania, S. S. (2018). Pests of apple. In *Pests and their management* (pp. 457-490). Singapore: Springer Singapore.
- Kuchenko, (2025). <https://www.inaturalist.org/observations/326686545>. (Erişim tarihi: 27.11.2025).
- Kutinkova, H., & Dzhuvinov, V. (2014, August). Apple breeding for resistance to the aphids *Dysaphis plantaginea* and *Aphis pomi* in Bulgaria. In *XXIX International Horticultural Congress on Horticulture: Sustaining Lives, Livelihoods and Landscapes (IHC2014): 1127* (pp. 103-108).
- Nicholas, A. H., Spooner-Hart, R. N., & Vickers, R. A. (2005). Abundance and natural control of the woolly aphid *Eriosoma lanigerum* in an Australian apple orchard IPM program. *BioControl*, 50(2), 271-291.
- Oatman, E. R. (1966). Studies on integrated control of apple pests. *Journal of Economic Entomology*, 59(2), 368-373.
- Oğuz, C., & Karaçayır, H. F. (2009). Türkiye’de elma üretimi, tüketimi, pazar yapısı ve dış ticareti. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 2(1), 41-49.
- Pardo, A., & Borges, P. A. V. (2020). Worldwide importance of insect pollination in apple orchards: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 293, 106839. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106839>
- Pawar, A. D., Tuhan, N. C., Balasubramanian, S., & Parry, M. (1981). Distribution, Damage and Biology of Codling Moth, *Cydia Pomonella* (L). *Indian Journal of Plant Protection*, 9(1), 111-114.

- Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., & Kunin, W. E. (2016). Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(6), 345–353. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007>
- Rakauskas, R., Bašilova, J., & Bernotienė, R. (2015). *Aphis pomi* and *Aphis spiraeicola* (Hemiptera, Sternorrhyncha: Aphididae) in Europe—new information on distribution, molecular and morphological peculiarities. *European journal of entomology.*, 112(2), 270-280.
- Rakhmanov, A. (2024). *Tetranychus urticae* Koch biology on apple trees. *Бюллетень науки и практики*, 10(10), 239-243.
- Richards, A. M. (1962). Damage to apple crops infested with San Jose scale, *Quadrastipidiotus perniciosus* (Comst.). *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 5(5-6), 479-484.
- Robinson, T. (2011). Advances in apple culture worldwide. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Special Volume, 37–47.
- Robrecht, D. (2021). *Stigmella malella* leaf mines on cultivated apple (*Malus domestica*) [Photograph]. Nordrhein-Westfalen, Germany. Retrieved from https://lepiforum.org/wiki/page/Stigmella_Malella
- Ryalls, J. M., Garratt, M. P., Spadaro, D., & Mauchline, A. L. (2024). The benefits of integrated pest management for apple depend on pest type and production metrics. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1321067.
- Sandanayaka, W. R. M., Bus, V. G. M., & Connolly, P. (2005). Mechanisms of woolly aphid [*Eriosoma lanigerum* (Hausm.)] resistance in apple. *Journal of Applied Entomology*, 129(9-10), 534-541.
- Sarı, E. D., & Yıldırım, E. (2021). Gülnar (Mersin) İlçesi elma ağaçlarındaki zararlı ve yararlı Arthropoda türlerinin tespiti ve bazı biyoeekolojik gözlemler. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 24(6), 1247-1262.
- Shah, M. A., Rehman, S. A., Tramboo, H. A., Rasool, R., Raja, W. H., Nabi, S. U., ... & Verma, M. K. (2025). Outbreaks of Green Apple Aphid, *Aphis pomi* (De Geer) in Apple Orchards of Kashmir, India: Grower-Adopted Management Tactics and their Implications for Cultivation Costs. *Crop Protection*, 107328.

- Shaw, B., Nagy, C., & Fountain, M. T. (2021). Organic control strategies for use in IPM of invertebrate pests in apple and pear orchards. *Insects*, 12(12), 1106.
- Stoeckli, S., Mody, K., & Dorn, S. (2008). *Aphis pomi* (Hemiptera: Aphididae) population development, shoot characteristics, and antibiosis resistance in different apple genotypes. *Journal of economic entomology*, 101(4), 1341-1348.
- Szot, I., Goncharovska, I., Klymenko, S., & Bulakh, P. (2022). Importance of old and local apple cultivars. Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality, 6(2), 156–170. <https://doi.org/10.15414/ainhlq.2022.0017>
- UkrBin (https://ukrbn.com/show_image.php?imageid=153314)
- Vcharny, (2022). <https://www.inaturalist.org/photos/241639910>. (Erişim tarihi: 27.11.2025).
- Yaşar, B., & Dahham, O. A. D. (2019). Farklı elma çeşitleri üzerine asılan tuzakların *Tropinota hirta* (Poda, 1761)(Coleoptera: Cetoniidae)’nın yakalaması üzerine etkisi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 6(1), 57-64.
- Zhang, Z. Q. (2003). *Mites of greenhouses: identification, biology and control*. Cabi.
- Zhou, H., Yu, Y., Tan, X., Chen, A., & Feng, J. (2014). Biological control of insect pests in apple orchards in China. *Biological Control*, 68, 47-56.

BÖLÜM IX

ELMA YETİŞTİRİCİLİğİNDE HASTALIKLAR

Arş. Gör. Dr. Sevim ATMACA¹,

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18107843>

¹ Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü Yozgat, Türkiye
sevim.dogan@yobu.edu.tr, Orchid ID: orcid.org/0000-0001-8568-3469

1. GİRİŞ

Elma (*Malus domestica*), dünya genelinde en fazla yetiştirilen ve ticareti yapılan meyvelerden biridir. Ancak üretimde sürdürülebilirliği tehdit eden en önemli faktörlerden biri, fungal, bakteriyel ve viral kaynaklı hastalıkların neden olduğu kayıplardır. Hastalıkların etkisi yalnızca miktar kaybıyla sınırlı olmayıp aynı zamanda meyve kalitesi üzerinde belirgin bozulmalara yol açmaktadır. Özellikle **elma kara lekesi** (*Venturia inaequalis*), **külleme** (*Podosphaera leucotricha*), **ateş yanıklığı** (*Erwinia amylovora*) ve **meyve çürüklükleri** gibi yaygın hastalıklar, hem tarla hem de depolama döneminde ciddi ekonomik zararlar oluşturur. Hastalıkların yönetimi yalnızca mevcut yılın ürünü değil, ağaçların uzun süreli verimliliğini de koruma açısından kritik öneme sahiptir.

Bu bölümde, dünya genelinde elma üretimini etkileyen başlıca hastalıklar ele alınmakta ve bu hastalıkların yönetiminde kullanılan yaygın stratejiler özetlenmektedir. Bölümün amacı, elmada görülen tüm hastalıkları ayrıntılı biçimde tanımlamak değil majör hastalık etmenlerini güncel ve kapsamlı literatür taraması niteliği taşımaktadır.

2. ELMA KARA LEKESİ HASTALIĞI (*Venturia inaequalis*)

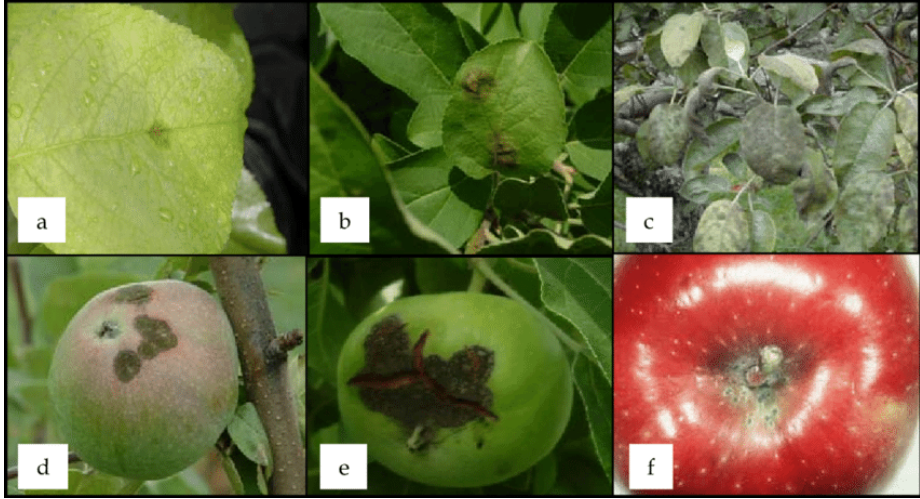
Elma kara lekesi, *Venturia inaequalis* (anamorf *Spilocaea pomi* Fr.) tarafından oluşturulan ve elma yetiştiriciliği için önemli bir tehdit olan, yönetimi oldukça zor ve maliyetli bir hastalıktır (Carisse ve Bernier, 2002). Bu hastalık, özellikle serin ve nemli ilkbahar iklimiyle karakterize edilen ılıman bölgelerde, dünya genelindeki elma yetiştirme alanlarında önemli bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır (MacHardy vd., 2001). Yoğun araştırmalara rağmen, elma kara lekesi dikkat çekici bir

dirençliliğe sahiptir ve dünya çapında elma ağaçlarında ekonomik açıdan en zararlı patojen konumuna gelmiştir (Philion, 1996). Hastalık, yaprak ve meyve dokularının canlılığını etkileyerek hem anlık hem de dolaylı ekonomik kayıplara neden olur (Philion, 1996; Majeed vd., 2017; Annu vd., 2019). Ağaçlarda gelişim geriliğine sebep olarak , verim ve meyve kalitesini bozmakta, üreticiler için ciddi bir sorun teşkil etmektedir (Philion, 1996); Belete ve Boyraz, 2017). Bir elmadaki küçük bir kara leke dahi meyveyi pazarlanamaz hâle getirir ve önemli ekonomik kayıplarla sonuçlanır (Carisse ve Dewdney, 2005; Okoro vd., 2024).

Elma kara lekesine ilişkin ilk rapor, 1819 yılında İsveç'te Fries tarafından yayımlanmıştır (Belete ve Boyraz, 2017). Bununla birlikte, hastalığın en erken belirtisi 1600 yılına tarihlenmekte olup, Londra Ulusal Galerisi'nde bulunan Michelangelo Caravaggio'nun "Emmaus'ta Akşam Yemeği" adlı tablosunda gözlemlenmiştir (MacHardy vd., 2001). Patojenin Orta Asya kökenli olduğunu ve günümüzde küresel yayılımının neredeyse tüm bahçelerde önemli ölçüde genetik çeşitlilik gösterdiğini ortaya koymuştur (Xu vd., 2013).

Elma kara lekesi, teleomorf ya da saprofit formu temsil eden patojenik fungus *V. inaequalis* ile anamorf ya da parazitik formu temsil eden *S. pomi* Fr. tarafından oluşturulur (Belete ve Boyraz, 2017). *V. inaequalis* enfeksiyonunun elma ağaçlarındaki ortaya çıkışı, çeşitli faktörlerle ilişkili karmaşık bir süreçtir. Fungus öncelikle genç bitki dokularını hedef alır ve oldukça yüksek bir uyum sağlama kapasitesine sahiptir (Carisse ve Dewdney, 2005). Hastalık en belirgin olarak yaprak ve meyvelerde görülmekle birlikte, çanak yaprakları, taç yaprakları, genç sürgünleri ve tomurcuk pullarını da etkileyebilir (Annu vd., 2019). Erken ilkbaharda, gelişen yaprakların alt yüzeylerinde koyu yeşil kadifemsi

lekeler şeklinde ilk kara leke belirtileri ortaya çıkar. Bu lezyonlar olgun yaprakların üst yüzeylerine ilerledikçe genişler, yapraklarda yarıma, kabalaşma, pullanma ve sonuçta yaprak dökümüne yol açar (Belete ve Boyraz, 2017). Sezon sonu enfeksiyonları başlangıçta fark edilmeyebilir; ancak depolama sonrasında ortaya çıkarak “iğne ucu kara leke” olarak bilinen tabloya neden olabilir. Kayıpların boyutu, hastalığın şiddeti ve hâkim hava koşullarına bağlı olarak değişmekte olup, elma üretiminde küresel ölçekte kritik bir sınırlayıcı faktör haline gelmiştir (Carisse ve Dewdney, 2005), (Şekil 1).



Şekil 1. *Venturia inaequalis* tarafından elma yaprakları ve meyvelerinde oluşturulan belirtiler: Yeni gelişen yaprak lezyonları (a); yapraklarda iyi gelişmiş lezyonlar (b); yaprak yüzeyi kabuğu belirtileri (sheet scab) (c); meyvede lezyonlar (d); erken enfeksiyonların neden olduğu meyve deformasyonu (e); iğne ucu kabuğu (pin point scab) (f) (Kaynak: Odile ve David-Mathieu, 2010).

V. inaequalis'ın enfeksiyon mekanizması; tipik konukçu hücre penetrasyonundan farklı olarak, fungus sporlanmadan önce subkutiküler boşlukta yerleşir ve böylece muhtemelen özel efektörler aracılığıyla konukçunun savunma mekanizmalarını etkisiz hâle getirir (Bowen vd.,

2011). Genetik kanıtlar, *V. inaequalis* tarafından efektör salgılandığını güçlü biçimde desteklemektedir. Filamentöz funguslarda yaygın olarak görülen özellikleri taşıyan çeşitli aday efektör genleri tanımlanmıştır (Bowen vd., 2011; Shiller vd., 2015; Khajuria vd., 2023). Buna ek olarak, Thakur vd., (2013), *V. inaequalis*'ta metabolizma, taşınma ve uyarana yanıt gibi biyolojik süreçlerle ilişkili kritik genleri belirlemiştir.

Hastalık döngüsü iki aşamadan oluşur: esas olarak kışın gerçekleşen cinsel veya birincil aşama ile ilkbahar/yaz döneminde vejetatif dönemde gerçekleşen eşeysiz veya ikincil aşamadır (Belete ve Boyraz, 2017; Gauthier, 2018).

Konukçu ağacın dinlenme döneminde *V. inaequalis*, yapraklar ve meyve artıklarında psödotesyum başlangıçları olarak veya sürgün lezyonlarında konidi şeklinde stratejik olarak bulunur. Patojen, gelecekteki kolonizasyon şansını en üst düzeye çıkarmak için sıcaklık dalgalanmalarına uyum sağlayarak konukçu ağacın gelişim evresiyle hassas bir şekilde senkronize olur (MacHardy vd., 2001; Gauthier, 2018). Erken ilkbaharda konukçu bitkiler dormansiye kırarken, artık materyal üzerinde farklı eşleşme tiplerine sahip bireyler arasında heterotallik eşleşme gerçekleşir ve üreme başlar (Annu vd., 2019; Gauthier, 2018). Ardından döllenme, yoğun bir fungus miselyum tabakası (stroma) içerisinde psödotesyum gelişimine yol açar; burada askus ve askosporlar oluşur. Diploid evre kısadır ve mayoz bölünme sonucunda psödotesyum içinde haploid askosporlar meydana gelir (Gauthier, 2018). Psödotesyum gelişiminin negatif jeotropik doğası, yapraklar döküldüğünde ostiyolün havaya dönük şekilde konumlanmasına neden olur. Bu konumlanma, ilkbaharda askosporların

yukarı doğru dağılma olasılığını artırarak rüzgârla yayılımlarını kolaylaştırır (MacHardy vd., 2001; Okoro vd., 2024).

Patojen, askosporları konukçunun en duyarlı olduğu zamanda stratejik şekilde serbest bırakarak, konukçu taçında başarılı yerleşim ve etkili hastalık ilerleyişi için en uygun koşulları sağlar (MacHardy vd., 2001). Askosporlar duyarlı konukçu dokusu üzerine ulaştığında ve yeterli nem mevcut olduğunda çimlenir; yaprak yüzeyine yapışkan mukus aracılığıyla bağlanır. Bu mukus, sporun yaprağa sağlam biçimde tutunmasını sağlayarak enfeksiyon bölgesinin kurulmasına imkân tanır (Carisse ve Dewdney, 2005).

Patojen, konukçuyu penetre etmek için, kütinaz gibi enzimler tarafından kolaylaştırılan kutikulanın enzimatik hidrolizinden yararlanır; bu süreçte apressorium ve haustorium oluşumunu sağlar ve tipik lezyonların gelişimine yol açar (Bowen vd., 2011). Konidiyoforlar üzerinde bu lezyonlardan üretilen tek hücreli, tek çekirdekli konidiler yaprak kutikulasını delerek dışarı çıkar ve kara leke lezyonlarının kadifemsi görünümünü oluşturur (Gauthier, 2018). Hastalığın birincil yayılımı, enfekte ağacın taç yapısı içinde gerçekleşir. Patojen tarafından üretilen konidiler, su filmleriyle taşınarak, yağmur sıçramasıyla yakın çevredeki duyarlı konukçu dokulara ulaşır. Bu yayılma şekli, konidilerin bahçedeki diğer duyarlı dokulara ulaşmasını ve hastalığın yerleşip yayılmasını sağlar (MacHardy vd., 2001). Bu süreç, büyüme sezonu boyunca ikincil enfeksiyonların gelişmesine yol açar (Gauthier, 2018).

Doğal çeşitliliği taklit eden karışık çeşitten oluşan bahçelerin kurulması, kara leke (scab) hastalığı insidansını azaltmada umut verici görünmektedir (MacHardy vd., 2001). Carisse ve Bernier (2002), *V. inaequalis*'e karşı çeşit duyarlılığından yararlanarak tasarlanan bir bahçe

düzeninin hastalık şiddetini azaltmada önemli bir potansiyel taşıdığını vurgulamıştır. Bu durum, Blaise ve Gessler (1994) tarafından yürütülen çalışmada açık bir şekilde gösterilmiş; çeşit seçiminin ve yerleşim düzeninin dikkatle planlanmasının hastalık şiddetinde önemli ölçüde azalma sağladığı ortaya konmuştur. Sıra içinde veya sıralar arasında çeşitlerin stratejik olarak karıştırılması, inokulum yayılmasını engelleyen bariyerler oluşturarak duyarlı doku miktarının azaltılmasına ve hastalık kontrolünün güçlendirilmesine olanak tanımaktadır (Blaise ve Gessler, 1994).

Son yetmiş yıl boyunca elma kara leke hastalığının yönetimi büyük ölçüde haftalık fungusit uygulamalarına dayanmış, ticari formülasyonlarla büyüme dönemi boyunca genellikle 10 ila 30 arasında uygulama yapılmıştır (Rusevski, 2018). *V. inaequalis*, Fungisit Direnç Eylem Komitesi (FRAC) tarafından yüksek riskli bir patojen olarak sınıflandırılmıştır (FRAC, 2019); bu durum, söz konusu patojende fungusit direnci gelişme olasılığının oldukça yüksek olduğunu göstermektedir (Hoffmeister vd., 2023). Elma kara lekesinin yönetiminde, farklı etki mekanizmalarına sahip birçok aktif madde kullanılmıştır. Yönetimdeki temel hedef, ilkbahar başında gerçekleşen ve askospor kaynaklı olan birincil enfeksiyonların etkin bir şekilde baskılanmasıdır (Benyagoub vd., 1998).

3. MEYVE MONİLYASI (MUMYA) (*Monilinia fructigena*)

Kahverengi çürüklük, *Monilinia* Honey (anamorf *Monilia*) cinsine ait fungusların neden olduğu bir hastalıktır (Lesik, 2013). Bu hastalık dünya genelinde bildirilmiş olup etkilenen organa bağlı olarak çiçeklerde, sürgünlerde solmaya veya meyvelerde kahverengi çürüklüğe

neden olan ciddi belirtiler ortaya çıkarmaktadır. Patojen esas olarak rosaceae familyasına ait, elma, armut, kiraz, kayısı, şeftali gibi sert çekirdekli veya yumuşak çekirdekli meyve ağaçlarını enfekte etmektedir (Hrusti'c vd., 2012). Kahverengi çürüklük özellikle hasat sonrası dönemde önemli kayıplara yol açmaktadır (De Oliveira Lino, 2016).

Literatürde kahverengi çürüklüğe neden olduğu bildirilen birkaç fungal patojen bulunmakla birlikte, bunlardan yalnızca üçü önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır: *Monilinia laxa*, *Monilinia fructicola* (Fas'ta karantina etmenleri) ve *Monilinia fructigena* (Dam ve Guillaume, 2017). İlk iki tür daha çok sert çekirdekli meyvelerle ilişkiliyken, *M. fructigena* elmalarda meyve çürüklüğüne neden olan başlıca patojendir (Van Leeuwen, 2000). Belirtiler enfeksiyon noktasında merkezlenen yuvarlak, kahverengimsi lekeler şeklinde başlar. *M. fructigena*, beyazdan açık beje değişen koloni rengi ile karakterizedir ve meyve üzerinde ortalama 1.5 mm büyüklüğünde, eşmerkezli daireler hâlinde dizilmiş büyük konidiyum yastıkçıkları oluşturur. Buna karşılık *M. laxa*, ortalama 0.5 mm'den küçük, yeşilimsi-gri konidiyum yastıkçıkları ile tüm enfeksiyon alanını kaplamasıyla ayırt edilir (De Oliveira Lino, 2016), (Şekil 2).



Şekil 2. *Monilinia laxa*'nın elmalarda oluşturduğu belirtiler (A) PDA üzerinde yedi günlük *Monilinia laxa* kolonisi, (B) limon şeklindeki konidiler ve miselyum, (C) beyaz miselyum ve spor külesiyle kaplı kahverengi, çürümüş bir meyve (Kaynak: Derikvand vd., 2023).

Meyveler, fungusun kutikülü doğrudan penetre etmesiyle (kütinaz üretimi yoluyla) (Bostock vd., 1999), stomalar veya tüyler üzerinden ya da çatlak ve yaralardan enfekte olabilir (Wade, 1992). Konidiler büyüme mevsimi boyunca üretilir ve meyveleri gelişimlerinin herhangi bir aşamasında enfekte edebilir. Dal ve gövde kanserleri ile mumyalaşmış meyveler, patojenin yıl boyunca hayatta kalmasını sağlar. Bununla birlikte, depolamada gözlenen kahverengi çürüklük çoğunlukla hasattan hemen önce meydana gelen enfeksiyonlarla ilişkilidir.

Günümüzde kahverengi çürüklüğün kontrolü, çoğunlukla meyveleri zedeleyerek patojen için giriş kapısı oluşturan böceklerin kontrolüne dayanmaktadır (Hrustić vd., 2012). Fungisitler, yüksek böcek baskısına karşı uygulanan kültürel ve hijyen önlemlerine ek olarak kullanılmaktadır. Çiçek dönemindeki enfeksiyonları önlemek için özellikle fungal sporlanmayı engelleyen dicarboksimidler, benzimidazoller ve triazoller gibi birçok aktif madde uygulanmaktadır (Malandrakis vd., 2020). Ancak kamuoyunun elma üzerindeki fungisit kalıntılarına dair artan endişeleri ve aktif maddelere veya fungisit gruplarına karşı gelişen direnç (Lahlali vd., 2020a; Franclet, 1994; Lima vd., 2006), özellikle Avrupa Birliği (AB) ülkeleri gibi meyve ithal eden ülkeleri, hasat sonrası hastalıkların kontrolünde bazı fungisitlerin kullanımına ilişkin çok katı düzenlemeler benimsemeye zorlamıştır. Bazı konvansiyonel koruyucu fungisitlerin yasaklanması (Wellings, 1996), araştırmacıları ve endüstri temsilcilerini insan sağlığına daha az zararlı ve çevre dostu alternatif yöntemlere yöneltmiştir. Bu yöntemler arasında alternatif kimyasal bileşikler, hasat sonrası fiziksel uygulamalar ve biyolojik kontrol ajanları (BKA'lar) yer almaktadır (Usall vd., 2015; Palou vd., 2016).

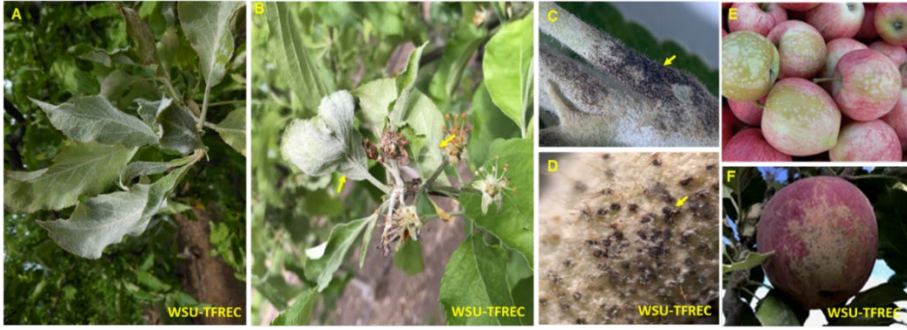
Mikrobiyal antagonistlere dayalı biyolojik kontrol, meyvelerin hasat sonrası hastalıklarının yönetiminde etkili bir strateji olarak ortaya çıkmıştır (Lahlali vd., 2020a). Bu nedenle depolama koşullarında meyve çürüklüğüne neden olan patojenlere karşı potansiyel BKA olarak birçok mikroorganizma bildirilmiştir (Spadaro ve Droby, 2016). Bu antagonistik mikroorganizmaların çoğu *Bacillus* ve *Pseudomonas* cinslerine aittir. Özellikle *Bacillus amyloliquefaciens* BUZ-14'ün elma çürüklüğünü etkili bir şekilde kontrol ettiği bulunmuştur (Calvo vd., 2017). Ayrıca saprofit bir fungus olan *Epicoccum nigrum*, *Monilinia* türlerine karşı potansiyel bir biyokontrol etmeni olarak değerlendirilmiştir (Zhou vd., 1996). Bu antagonistik fungusn *M. laxa* üzerinde etkisini, flavipin gibi antibiyotikler salgılayarak hücresel solunumu, adenosin trifosfat (ATP) sentezini ve protein sentezini inhibe eden çoklu etki mekanizmasıyla gösterdiği rapor edilmiştir (Madrigal ve Melgarejo, 1994). De Cal vd., (2009), *E. nigrum* konidilerinin meyve yüzeyindeki *Monilinia* konidisi sayısını önemli ölçüde azalttığını ifade etmiştir. Ek olarak, *B. subtilis* ve *B. amyloliquefaciens* suşları endospor üretme yetenekleri sayesinde ekstrem çevresel koşullara dayanabilmekte ve bu nedenle hasat sonrası meyve hastalıklarının kontrolünde yaygın olarak BKA olarak kullanılmaktadır (Wang vd., 2016). Bu bakterilerin biyokontrol özellikleri, büyük ölçüde iturin, bacillomycin, surfaktin ve fengisin gibi geniş bir yelpazede antibakteriyel ve antifungal bileşik üretme yeteneklerinden kaynaklanmaktadır (Lahlali vd., 2020a; Lahlali vd., 2020b).

4. ELMA KÜLLEMESİ HASTALIĞI (*Podosphaera leucotricha*)

Elma küllemesi, *Erysiphales* takımı içinde yer alan zorunlu biyotrof bir fungal hastalık olup, Ascomycetous bir fungus olan *Podosphaera leucotricha* (Ellis & Everh.) E. S. Salmon tarafından meydana gelir. Fungusun yaşam öyküsü, çok yıllık konukçusu olan elmanın fenolojisi ile yakından senkronize olmuştur. *P. leucotricha*, elma dışında badem, armut, ayva, Afrika kirazı ve *photinia* gibi bitkileri de enfekte edebilir (Garibaldi vd., 2005; Liang et al. 2012; Mwanza et al. 2001; Spotts 1984; Xu 1996).

P. leucotricha'nın eşeysiz sporları olan konidiler hiyalin, kesik elipsoid şekillidir ve tanılamada önemli olan fibrosin cisimleri içerir. Bu konidiler, yaprak yüzeyindeki miselyumdan uzun zincirler halinde üretilir. Fungus, kışı genellikle bir önceki büyüme mevsiminde konukçu tarafından üretilen tomurcukların içinde gelişen miselyum olarak geçirir. Enfekte olmuş tomurcuklar ilkbaharda uykudan çıktığında, miselyum gelişen sürgün ve yaprak dokusuna yayılır, haustoria oluşturur ve bu da sürgün malformasyonuna ve yaprakların bodurlaşmasına neden olan birincil enfeksiyonları oluşturur (Turecek 2004).

Konidilerin enfeksiyonu sonucu oluşan ikincil enfeksiyonlar, genç yaprakların alt yüzeylerinde beyaz, keçe benzeri yamalar halinde ortaya çıkar. Hastalık belirtileri yayıldıkça, enfekte olmuş yapraklar uzunlamasına kıvrılır ve erken dökülebilir. Eşeyli üreme yapıları olan chasmothecium, *P. leucotricha*'nın kışlamasına yardımcı olabilir, ancak eşeyli üreme sonucu oluşan askosporların hastalık gelişimine katkıda bulunmadığı düşünülmektedir (Cunningham, 1923; Fisher, 1918; Berwith, 1936), (Şekil 3).



Şekil 3. *Podosphaera leucotricha* tarafından elma yapraklarında enfeksiyonlar, A), üreme organlarında B; (sarı oklarla gösterilmiştir), ‘Granny Smith’ elma çeşidinde oluşan klestotesyumlarda (C) ve Elstar (E) ile Fuji (D) elmalarında görülen paslı görünüm (russeting) şeklinde oluşturulan belirtiler, (Kaynak: Amiri ve Ganani, 2019).

P. leucotricha'nın gelişimi ve yayılması, konukçu fenolojisi ve çevresel koşullarla karmaşık bir şekilde bağlantılıdır (Holb 2009). Konidia salınımı için optimal sıcaklık aralığı 15 ila 28°C iken, çimlenme 22°C'de en uygun düzeydedir (Sutton ve Jones 1979; Xu 1996; Xu and Butt 1998). 4 ila 10°C altındaki ve 30°C üzerindeki sıcaklıklarda konidiler etkili bir şekilde çimlenemez (Coyier 1968). *P. leucotricha* için ortam neminin büyük bir etkisi olmamakla birlikte, serbest su çimlenmeyi engeller (Butt 1978; Molnar 1971; Sutton and Jones 1979). Konidia dağılımı ise yüksek (>%80) bağıl nemden olumsuz etkilenir. Yağış, miselyal kolonilerin ve eşeysiz üremenin gelişimini olumsuz etkiler (Aust ve Hoyningen-Huene 1986; Sivapalan 1993).

Küllemenin dünya çapındaki yaygınlığına rağmen, ekonomik verim kayıplarını ve ağaç canlılığı üzerindeki etkilerini nicelendiren araştırmalar kısıtlıdır. Külleme tedavi edilmediğinde, ağacın fotosentetik yapılarını ve yapraklarının besin içeriğini azaltır (Ellis vd., 1981; Nicolae ve Buse-Dragomir, 2020). Hastalık yönetimi için Yoder (2000), bir zarar eşiği olarak %20 terminal yaprak insidansı önermiştir. Hastalık şiddetini

değerlendirmede insidans (gözle görülür şekilde hastalıklı bitki birimi sayısı) ve şiddet (hastalıklı dokunun toplam alana/hacme oranı) ölçümleri kullanılır (Xu and Madden 2002).

Kültürel kontrol yöntemleri, birincil inokulum kaynaklarını azaltmaya odaklanır. *P. leucotricha* miselyumu konukçu dokularda kışladığı için, budama inokulumu azaltmak için etkili bir sanitasyon uygulamasıdır (Holb 2005; Yoder ve Hickey 1983). Budama faydaları, bir fungusit programı ile birlikte kullanıldığında önemli ölçüde artar (Holb ve Kunz 2016).

Fungisit uygulamalarının ideal zamanlaması, terminal tomurcuk oluşumuna kadar çiçeklenmeden sonra 10 günlük aralıklarla yapılan uygulamalardır (Butt 1972; Agnello vd., 2019; Nottingham vd., 2019; Wise vd., 2019). Elementel kükürt, hem konvansiyonel hem de organik programlarda temel bir geniş spektrumlu fungusit olarak kullanılmaktadır (Holb 2014; Tate vd., 2000). Organik elma üretiminde potasyum karbonatlar, kireç kükürtü ve kaolin bazlı partikül film de kullanılmaktadır (Holb ve Kunz 2016; Sharma vd., 2020). Konvansiyonel elma üretiminde, demetilasyon inhibitörleri (DMIs), kuinon dışı inhibitörler (QoIs) ve süsinat dehidrojenaz inhibitörleri (SDHIs) en yaygın kullanılan üç fungusit grubunu oluşturur. DMI'lar en etkili ve yaygın olarak kullanılanlar arasındadır (Yoder 2000).

Biyolojik kontrol, doğal bileşiklerin veya organizmaların kullanımına odaklanır. Ayçiçeği, zeytin, kanola, mısır, soya fasulyesi ve üzüm çekirdeği yağları gibi bitkisel yağ özlerinin külleme semptomlarını %99 oranında kontrol ettiği gösterilmiştir (Northover ve Schneider 1993). *Bacillus* türlerini kullanan formülasyonların külleme insidansını

azalttığına dair başarılar bildirilmiştir (Cox ve Villani 2015; Pscheidt ve Bassinette 2016; Yoder vd., 2007, 2019).

5. ELMALARDA MEMELİ PAS HASTALIğI (*Gymnosporangium spp.*)

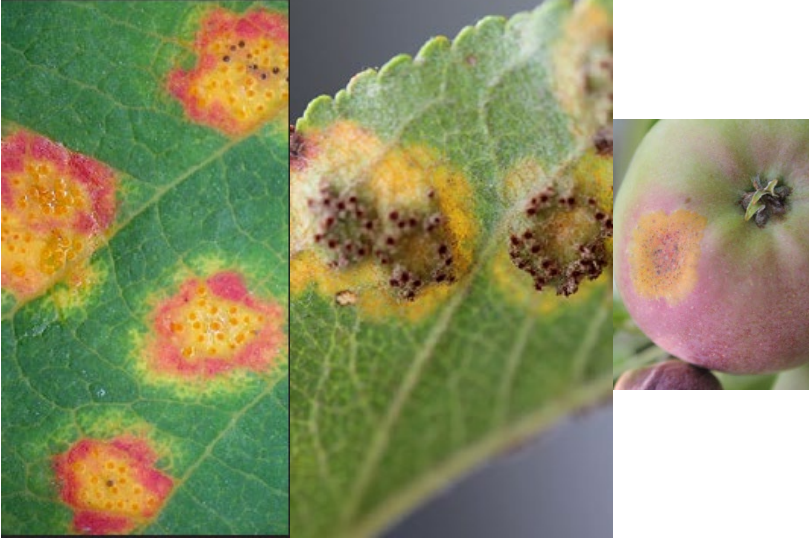
Pas enfeksiyonları meyve bahçelerinde ciddi kayıplara neden olabilir. Yaprak enfeksiyonları ağaçları zayıflatır ve mevcut mahsulün meyve boyutu ve kalitesinde düşüşe, ayrıca bir sonraki yılki çiçeklenmede azalmaya yol açar. Üst üste birkaç yıl süren yoğun enfeksiyonlar, bodurlaşmaya, kış zararlarına karşı artan hassasiyete ve meyve veriminin tamamen kaybolmasına neden olabilir; bu stresler sonucunda ağaç ölümü dahi görülebilir. Enfekte meyveler erken dökülebilir ve hasada kalanların piyasa değeri düşük olabilir (Sanford, 1888; Aldwinckle vd., 1977; Gauthier ve Heisdorffer, 2015). Pas hastalıkları, *Gymnosporangium* cinsinden fungus türleri tarafından meydana getirilir (Gauthier ve Heisdorffer, 2015): Sedir-elma pası: *G. juniper-virginianae*, Sedir-alıç pası: *G. Globosum*, Sedir-ayva pası: *G. clavipes* şeklindedir. Fungusun yaşam döngüsü karmaşıktır ve 2 yıllık bir döngüyü tamamlamak için iki farklı konukçuya (elma ve ardıç/sedir türleri) ihtiyaç duyarlar Bu konukçular arasında yerel kırmızı sedirler ve süs ardıçları gibi *Juniperus* türleri bulunur ve bu türler hastalıktan ciddi şekilde zarar görmezler (Gauthier ve Heisdorffer, 2015; Liv d., 2024).

Pas fungusları, *Juniperus* türlerinde oluşan urlar veya şişlikler halinde kışı geçirirler. Bu yapılar, elverişli koşullar altında 2 yıl boyunca genişler ve ikinci kıştan sonra ilkbaharda sarı-turuncu, jelatinimsi kütleler (teliospores) üretir. Teliospores nemli koşullarda çimlenerek basidiospores oluşturur (Aldwinckle vd., 1981; Gauthier ve Heisdorffer,

2015). Erken ilkbaharda, basidiospores hava akımlarıyla ardıç/sedirden elma ağaçlarına taşınır. Enfeksiyonlar genellikle yaklaşık 30 metre yakındaki enfekte ardıç türlerinden kaynaklanır. Enfeksiyon, sıcaklıkların 10°C ile 20°C arasında olduğu ve yaklaşık 6-7 saatlik ıslaklık süresinin bulunduğu nispeten kısa dönemlerde gerçekleşebilir. Enfeksiyon tehlikesi, yaprakların genişlemesi ve pembe tomurcuk aşamasından (erken çiçeklenme) başlar ve basidiospore üretimi durduğunda, yani çiçeklenmeden yaklaşık 30 gün sonra sona erer (Aldwinckle vd., 1977). Basidiospores ile enfeksiyondan 10 ila 14 gün sonra elma yapraklarının üst yüzeylerinde lekeler oluşur ve pycniospores bu lezyonlarda gelişir. Birkaç hafta sonra, yaprakların alt yüzeylerinde aecia (tüp şeklindeki yapılar) oluşur ve buradan çıkan aeciospores, ardıç ve sedirleri enfekte ederek 2 yıl önce başlayan döngüyü tamamlayan ur veya şişlik oluşumuna neden olur (Sanford, 1888; Gauthier ve Heisdorffer, 2015).

Enfeksiyonlar, orta ila geç ilkbaharda üst yaprak yüzeylerinde küçük, soluk sarı lekeler olarak başlar. Lekeler giderek büyür (yaklaşık 0,6 cm çapa kadar), parlak sarı-turuncu hale gelir ve sıklıkla kırmızımsı bir sınırla çevrilidir. Fungal meyve gövdeleri (pycnia; siyah noktalar) leke merkezlerinde belirir. Daha sonra, alt yaprak yüzeylerinde sarı lekeler oluşur ve doku kalınlaşır; küçük, turuncu-sarı, tüp şeklindeki meyve gövdeleri (aecia) bu alt yüzey lekelerinden aşağı doğru uzanır. Meyve lekeleri genellikle meyvenin çiçek ucuna (kaliks) yakın ortaya çıkar (Aldwinckle vd., 1981). Bu lekeler sarı-turuncu renkte olup, yaprak lekelerinden daha büyüktür (1,9 cm veya daha fazla çapta). Lekenin etrafı, meyve açık yeşil olsa bile, koyu yeşil bir bölgeyle çevrilidir.

Lezyonların altındaki meyve eti fungusla kaplı hale gelir ancak canlı kalır (Gauthier & Heisdorffer, 2015), (Şekil 4).



Şekil 4. Elma yaprak ve meyvesindeki *Gymnosporangium spp.* belirtileri (Kaynak: Gauthier ve Heisdorffer, 2015).

Hastalık yönetiminde hastalığa karşı dirençli veya çok dirençli elma ve ardıç çeşitleri seçilmelidir. Örneğin, ‘Williams Pride’, ‘Redfree’ ve ‘Liberty’ gibi elma çeşitlerinin sedir pasına karşı dirençli olduğu belirtilmiştir (Gauthier ve Heisdorffer, 2015; Liv vd., 2024). Ancak direnç seviyeleri, bölgede bulunan spesifik pas ırklarına göre farklılık gösterebilir. Yakın çevredeki yabani, terk edilmiş veya yönetilmeyen elma, alıç, sedir veya ardıç ağaçlarının yok edilmesi önerilir (Tao vd., 2020). Uygulanabilir olduğunda, süs ardıç ve sedirlerindeki 'sedir urları' budanarak yok edilmelidir. Önerilen bir fungusit yönetim programı uygulanmalıdır (Gauthier ve Heisdorffer, 2015). Enfeksiyonların çoğu çiçeklenmeden sonraki ilk 30 gün içinde meydana geldiği için, pembe

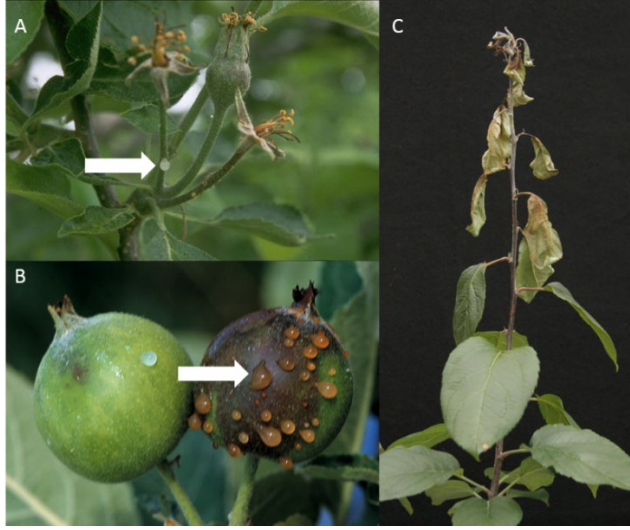
tomurcuk aşamasında başlayan erken koruma yönetimi için kritik öneme sahiptir (Gauthier ve Heisdorffer, 2015; Tao vd., 2020).

6. YUMUŞAK ÇEKİRDEKLİ MEYVE AĞAÇLARINDA ATEŞ YANIKLIĞI HASTALIĞI (*Erwinia amylovora*)

Ateş yanıklığı, *Erwinia amylovora* tarafından oluşturulan ve yumuşak çekirdekli meyvelerde en yıkıcı bakteriyel hastalıklardan biridir. *Erwinia amylovora*, uygun iklim koşullarında hem bitki dokuları arasında sistemik olarak hem de konukçu bitkiler arasında hızla yayılabilen yüksek virülens bir bakteridir ve çiçeklerde, meyvelerde, taze sürgünlerde, yapraklarda, dallarda, gövdede ve kök boğazında ateş yanıklığına neden olur. İlkbaharda havaların ısınmasıyla birlikte hastalığın ilk belirtileri çiçeklerde görülür. Patojen çiçeğin stigmasına kolonize olduktan sonra hızla çoğalır ve bitkinin diğer dokularına yayılır. Hastalık gelişimi; yağış, nem, çiğ, çeşidin duyarlılığı, ağaçtaki çiçek sayısı, çiçeklerdeki patojen inokulum yoğunluğu, bahçede vektör böceklerin varlığı ve sıcaklık gibi faktörlere bağlı olarak artış gösterir (Van der Zwet ve Keil, 1979; Vanneste, 2000), (Şekil 5).

Patojen, konukçu bitki üzerinde hem endofitik hem de epifitik biçimde varlığını sürdürebilmekte; ilkbaharda primer inokulumun oluşmasıyla birlikte çiçeklerde enfeksiyona yol açmakta, yaz aylarında ise sürgün ve meyvelerde hastalık belirtileri ortaya çıkmaktadır. Vejetasyon döneminin sonuna doğru, sonbaharda kanser oluşumlarıyla süreç tamamlanmaktadır. Uygun çevresel koşullar sağlandığında etmen bitki içinde hızlı bir şekilde ilerleyerek kısa sürede şiddetli epidemilere neden olabilmektedir. Hastalığın yayılmasında rüzgâr, yağış, böcekler,

kuşlar ve insan faaliyetleri en kritik yayılma unsurları arasında yer almaktadır. (Kaya vd., 2023).



Şekil 5. Elmada ateş yanıklığı enfeksiyonları: A) çiçeklerde, B) meyvede ve C) sürgünde. Ok işareti, ateş yanıklığı enfeksiyonlarının yaygın bir belirtisi olan bakteriyel akıntıyı göstermektedir (Kaynak: Norelli, 2014).

Türkiye’de hastalık ilk kez 1985 yılında Afyon ili Sultandağı ilçesinde armut ağaçlarında görülmüştür (Öktem ve Benlioğlu 1988). 1987’den itibaren Türkiye’nin tüm armut yetiştiriciliği alanlarında ateş yanıklığı belirtileri gözlemlenmiş ve birçok bölgede bahçeler ciddi zarar nedeniyle sökülme zorunda kalmıştır (Timur Momol ve Yegen ,1992). Ateş yanıklığı etmeni başlangıçta çiçeklerde kolonize olur (Pusey, 2002). Patojenin en şiddetli ve birincil enfeksiyonları çiçeklenme dönemindedir; bu nedenle bu dönem, mücadele açısından kritik öneme sahiptir. Tıpkı patojen bakteriler gibi, antagonistik bakterilerin de çiçeklerde yüksek popülasyonlarda kolonize olması gerekir. Antagonist bakteriler, stigma yüzeyinde besin ve yer için patojenle rekabet ederek

çiçek enfeksiyonuna karşı koruma sağlayabilirler (Johnson ve Stockwell 1998).

Ateş yanıklığına karşı kullanılan biyolojik mücadele ajanları arasında *Pseudomonas fluorescens* A506 (BlightBan A506, Nufarm Americas Inc., Morrisville, USA), *Pantoea agglomerans* P10 (BlossomBless, Gro-Chem, New Zealand) ve *Bacillus subtilis* QST 713 (Serenade Optimum, Bayer, Hillcrest, Auckland, New Zealand) bulunmaktadır (Lindow vd., 1996; Özaktan vd., 1999; Vanneste vd., 2002a; Özaktan ve Bora 2004; Sundin vd., 2009). *Bacillus subtilis* QST 713'in etki mekanizmasının diğer antagonistik bakterilerden farklı olduğu ve lipopeptid metabolitleri üreterek antimikrobiyal aktivite gösterdiği bildirilmektedir (Alexandrova vd., 2002). Bakterilerin yanı sıra mayalar da çiçeklere uygulandıklarında *E. amylovora*'ya karşı antagonistik potansiyele sahiptir. BIO-FERM (Avusturya) tarafından üretilen **Blossom Protect** adlı ticari preparat, *Aureobasidium pullulans* mayasını içermekte olup ülkemizde armutta ateş yanıklığına karşı ruhsatlı bir biyolojik bakterisittir. *A. pullulans*, çiçeğe kolonize olduktan sonra ortamın pH'ını asidik seviyeye çekerek patojen bakterinin gelişimini baskılamak suretiyle ateş yanıklığının kontrolünde başarıyla kullanılmaktadır (Kunz, 2004).

Bu konuda dünya genelinde yürütülen çalışmalar sonucunda antagonistik mikroorganizmaların çeşitli formülasyonları geliştirilmiş ve ticarileştirilmiştir. Ancak Türkiye'de ateş yanıklığına karşı biyolojik mücadelede kullanılabilecek etkili ve yerel preparatlar üretilmemektedir (Aktepe ve Aysan, 2023). Buna ek olarak, son 10 yılda yapılan araştırmalarda Macaristan ve Çekya'da ateş yanıklığının yalnızca yumuşak çekirdekli meyveleri değil, bazı sert çekirdekli

meyvelerin (erik, kızılçık eriği, kayısı) çiçeklerini, taze sürgünlerini ve meyvelerini de enfekte ettiği bildirilmiştir (Vanneste vd., 2002b; Korba ve Sillerova, 2011; Végh vd., 2012). *Erwinia amylovora*'nın sert çekirdekli meyvelerde doğal enfeksiyonları farklı araştırmacılar tarafından da rapor edilmiştir. Japon eriklerinde doğal enfeksiyonlar ABD'de bildirilmiştir (Mohan ve Thomson, 1996). Mohan ve Bijman (1999), bazı Japon eriği çeşitleri ve kayısının sera koşullarında ateş yanıklığına duyarlı olduğunu bildirmiştir. Ayrıca Japon eriği ve kayısının genç sürgünlerinin çok duyarlı olduğu; kayısı, Japon eriği ve bazı erik-kiraz melezlerinin olgunlaşmamış meyvelerinin tarla koşullarında en duyarlı dokular olduğu belirtilmiştir (Mohan vd., 2002). Bunun yanında, kayısıda (Végh ve Palkovics, 2013), erik ve kızılçık eriğinde (Végh ve Palkovics, 2016) Macaristan'da doğal enfeksiyonlar rapor edilmiştir. Yakın tarihli bir çalışmada Kore'de kayısı ağaçlarında ateş yanıklığı varlığı bildirilmiştir (Lee vd., 2021). Bu durum, *Erwinia amylovora*'nın uygun çevresel koşullarda elma ve armuttan daha erken çiçek açan sert çekirdekli meyveleri de enfekte ederek konukçu yelpazesini genişlettiğini göstermektedir. Patojenin sert çekirdekli meyvelerde tespit edilmesi, gelecekte bu meyvelerin üretimini ciddi şekilde etkileyecektir. Bu nedenle ateş yanıklığı mücadelesi daha da önemli hale gelmektedir. Başarılı bir kontrol için, çiçeklenme döneminde biyolojik preparatlarla patojen gelişiminin baskılanması ve bakterinin bitkinin diğer dokularına yayılmasının önlenmesi gerekmektedir (Aktepe ve Aysan, 2023).

Türkiye'de bakteriyel hastalıkların kimyasal mücadelesinde koruyucu olarak bakır içeren preparatlar önerilmektedir (Kotan, 2002). Ancak bazı bakır preparatları bitki üzerinde fitotoksik etki oluşturabilir

(Van der Zwet ve Beer, 1995). Kimyasallar, özellikle antibiyotikler (Streptomisin sülfat, Kasugamisin, Terramisin) birçok ülkede hastalığın baskılanmasında başarıyla kullanılmaktadır (Tancos vd., 2016). Ancak en önemli dezavantaj, patojenin zamanla bu antibiyotiklere karşı direnç geliştirmesidir (Thomson vd., 1993; Sundin, 2014). Türkiye’de bu antibiyotikler ruhsatlı olmadığından, ulusal araştırmacılar çoğunlukla elma ve armutta çiçeklenme dönemlerinde antagonistik mikroorganizmaların potansiyel kullanımına odaklanmışlardır (Özaktan ve Turkusay, 1994; Aysan vd., 1999; Özaktan ve Bora, 2004; Karabıçak ve Kotan, 2014). Ateş yanıklığının kimyasal mücadelesi, dünya genelinde etkili bakterisit ve antibiyotik seçeneklerinin az olması nedeniyle zordur. Çiçeklenme döneminde bakır fungusitlerin uygulanması çiçeklerde fitotoksisiteye neden olabilir. Buna karşın, biyolojik mücadele ajanları erken veya orta çiçeklenme döneminde çiçeklere uygulandığında elma ve armut stigmasında çoğalarak kimyasal kullanılmadan patojenin enfeksiyon merkezlerini işgal etmesini engelleyebilir (Özaktan ve Bora, 2004). Kimyasal pestisitlerin kullanımına bağlı sağlık riskleri, fitotoksik etkiler ve çevresel sorunlar (Ganesan vd., 2007) araştırmacıları, ateş yanıklığını kontrol etmek için antagonistik mikroorganizmaların kullanımına odaklanmaya yöneltmiştir.

7. ELMA MOZAİK VİRUS HASTALIĞI (Apple mosaic virüs, ApMV)

Elma mozaik hastalığı, dünya genelinde elma yetiştiriciliğinin yapıldığı tüm bölgelerde görülen, ekonomik açıdan önemli bir hastalıktır ve elma endüstrisi için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Hastalık ilk

olarak 1930 yılında Avrupa’da bildirilmiştir (Bradford ve Joley, 1933). Enfekte yapraklarda fotosentez hızının %2.93 ile %45.83 arasında azalabileceği (Chai vd., 2017) ve meyve veriminde %30–50’ye varan düşüslere neden olabileceği belirtilmektedir (Tombisana vd., 2009). Ağaçta simptomatik yaprakların yoğun bulunduğu bireylerde gelişim gücü ve büyüme zayıflamaktadır (Nemeth, 1986). Simptomların görünümü, farklı virüs suşlarının varlığına bağlı olarak farklı konukçu bitkilerde değişiklik gösterebilir. Elma mozaik hastalığı ile enfekte elma ağaçlarının yapraklarında parlak soluk sarı veya parlak krem renginde düzensiz klorotik lekeler gelişir ve bu lekeler ilkbahar boyunca genişler (Şekil 6). Kloroz, yaprak damarları boyunca gelişerek ağısı bir görünüm oluşturabilir veya bazı durumlarda yaprak damarları arasında geniş, amorf klorotik alanlar şeklinde görülebilir (Petrzik ve Lenz, 2011).

Yaz güneşinin sıcaklığına maruz kalındığında, bu lezyonlar etkilenmiş yapraklarda nekrotik noktalara dönüşebilir (Dursunoglu ve Ertunc, 2006) ve yapraklar erken dökülebilir. Simptomlu yaprakların dağılımı bireysel ağaçlarda düzensiz olabileceği gibi yalnızca bir dal ile sınırlı da olabilir. Simptomlu yaprakların sayısı ve şiddeti sıcaklık ile doğrudan ilişkilidir; özellikle ilkbahar sıcaklıklarının ılıman seyrettiği yıllarda belirtiler daha şiddetli görülmektedir (Chai vd., 2017).



Şekil 6. Elma yapraklarında mozaik ile birlikte görülen nekroz belirtileri (Kaynak: Noda vd., 2017).

Virüsün mücadelesinde; virüs çoğunlukla aşı ile taşındığından, enfekteli materyalin dikiminden kaçınmaya yönelik koruyucu önlemler büyük önem taşımaktadır. Elma mozaik hastalığının kontrolünde, dikim materyalinin test edilmesi viral hastalıkları kontrol etmede önemli ancak tek başına yeterli olmayan bir yöntemdir (López vd., 2003). Virüsten arı dikim materyali üretiminde kullanılan çeşitli teknikler arasında termoterapi, doku kültürü vb. yöntemler bulunmaktadır.

Termoterapi, enfekte bitkilerden virüsleri elimine etmek için etkili bir tekniktir ve sürgün ucu aşılama ile birleştirildiğinde virüs eliminasyonunun verimliliğini artırabilir. İnfekteli elma ağaçlarında uygulanan termoterapinin ardından, ertesi yıl hiçbir semptom görülmemiş; ancak aşıda anaç olarak kullanılan gözlerde semptomların devam edebileceği belirtilmiştir (Hunter vd., 1959). Bhardwaj vd., (1998) ağaç kalemlerinin 47°C’de 30 dakika ve 50°C’de 15 dakika sıcak su muamelesine tabi tutulmasıyla ApMV’nin tamamen inhibe edildiğini bildirmiştir. Pandey vd. (1972) 50°C’de 8–12 dakikalık uygulamanın ApMV’yi tamamen etkisiz hâle getirdiğini rapor etmiştir. Kuru ısı uygulamalarından sonra, sıcaklık ve maruz kalma süresi arttıkça sürgünlerin canlılık yüzdesinde azalma gözlenmiştir.

Doku kültürü, virüs eliminasyonunda ısı işleminin yerini kısmen almıştır. Meristem ucu kültürleri, çok sayıda bitki türünde meristematik bölgelerde virüs yoğunluğunun düşük veya yok olması nedeniyle virüsten arı bitki elde etmek için sıklıkla kullanılmaktadır (Matthews, 1991; Bhardwaj, 1998). Araştırmacılar, taş çekirdekli meyvelerden ApMV eliminasyonu için *in vitro* mikro aşılama ile termoterapiyi karşılaştırmış ve ApMV’nin mikro aşılama ile daha kolay elimine edildiğini göstermiştir. Meristematik kültürlerle yapılan çalışmalarda,

virüs eliminasyonu ile eksplant boyutu arasında bir korelasyon olduğu gösterilmiştir. Başarılı iyileşme yalnızca 0.5 mm boyutundaki küçük aksiller tomurcuklarla sağlanmış ve başarı oranı %87'ye ulaşmıştır; buna karşılık 2–3 mm büyüklüğündeki tomurcuklarda virüsten ari bitki oranı yalnızca %25 olmuştur. Apikal meristemler kullanılarak ApMV'nin tamamen elimine edildiği bildirilmiştir (Theiler-Hedtrich ve Baumann, 1989; Cho vd., 2017; Grimova vd., 2016; Németh, 1986).

KAYNAKÇA

- Agnello, A., Brown, B., Carroll, J., Cheng, L., Cox, K., Curtis, P., ... & Robinson, T. (2019). Cornell pest management guidelines for commercial tree fruit production. *PMEP, Cornell University, Ithaca, NY*.
- Aktepe, B. P., & Aysan, Y. (2023). Biological control of fire blight disease caused by *Erwinia amylovora* on apple. *Erwerbs-Obstbau*, 65(4), 645-654.
- Aldwinckle, H. S., Lamb, R. C., & Gustafson, H. L. (1977). Nature and inheritance of resistance to *Gymnosporangium juniperi-virginianae* in apple cultivars. *Phytopathology*, 67, 259-266.
- Aldwinckle, H. S., Pearson, R. C., & Seem, R. C. (1981). Infection periods of *Gymnosporangium juniperi-virginianae* on apple.
- Alexandrova, M., Bazzi, C., Lameri, P. (2002). *Bacillus subtilis* strain Bs-F3: colonization of pear organs and its action as a biocontrol agent. *Acta Hort.* 590:291–297.
- Amiri A. & Ganan Betancur L. Amiri, WSU. 2019. <https://treefruit.wsu.edu/crop-protection/apple-powdery-mildew/> (erişim tarihi: 28.11.2025).
- Annu, R. R., & Sharma, J. R. (2019). Studies on biology and management of apple scab incited by *Venturia inaequalis*. Review article. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(1), 162-182.
- Aust, H., & Hoyningen-Huene, J. V. (1986). Microclimate in relation to epidemics of powdery mildew. *Annual Review of Phytopathology*, 24(1), 491-510.
- Aysan, Y., Tokgonul, S., Çınar, Ö., Kuden, A. (1999). Biological, chemical, cultural control methods and determination resistant cultivars to fire blight in pear orchards in the eastern mediterranean region of Turkey. Proceeding of the 8th Int. Workshop on Fire Blight. *Acta Hort* 489:549–552.
- Belete, T., & Boyraz, N. (2017). Critical review on apple scab (*Venturia inaequalis*) biology, epidemiology, economic importance, management and defense mechanisms to the causal agent. *J. Plant Physiol. Pathol*, 5(2), 2.
- Benyagoub, M., Benhamou, N., & Carisse, O. (1998). Cytochemical investigation of the antagonistic interaction between a

- Microsphaeropsis sp.(isolate P130A) and Venturia inaequalis. *Phytopathology*, 88(7), 605-613.
- Berwith, C. E. (1936). Apple powdery mildew. *Phytopathology*, 26, 1071–1073.
- Bhardwaj, S. V., Rai, S. J., Thakur, P. D., & Handa, A. (1998). Meristem tip culture and heat therapy for production of Apple mosaic virus free plants in India. In *XVII International Symposium Virus and Virus-Like Diseases of Temperate Fruit Crops* 472 (pp. 135-142).
- Blaise, P., & Gessler, C. (1994). Cultivar mixtures in apple orchards as a mean to control apple scab?. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences (Norway)*, (17).
- Bostock, R. M., Wilcox, S. M., Wang, G., & Adaskaveg, J. E. (1999). Suppression of Monilinia fructicola cutinase production by peach fruit surface phenolic acids. *Physiological and molecular plant pathology*, 54(1-2), 37-50.
- Bowen, J. K., Mesarich, C. H., Bus, V. G., Beresford, R. M., Plummer, K. M., & Templeton, M. D. (2011). Venturia inaequalis: the causal agent of apple scab. *Molecular plant pathology*, 12(2), 105-122.
- Bradford, F.C., Joley, L. (1933). “Infectious variegation in the apple”. *Journal of Agricultural Research* 46.10: 901-908.
- Butt, D. J. (1972). The timing of sprays for the protection of terminal buds on apple shoots from powdery mildew. *Annals of Applied Biology*, 72(3), 239-248.
- Butt, D. J. (1978). Epidemiology of powdery mildew. Pages 51–81 in: *The Powdery Mildews*. D. M. Spencer, ed. Academic Press, London, U.K.
- Calvo, H., Marco, P., Blanco, D., Oria, R., & Venturini, M. E. (2017). Potential of a new strain of Bacillus amyloliquefaciens BUZ-14 as a biocontrol agent of postharvest fruit diseases. *Food microbiology*, 63, 101-110.
- Carisse, O., & Bernier, J. (2002). Effect of environmental factors on growth, pycnidial production and spore germination of Microsphaeropsis isolates with biocontrol potential against apple scab. *Mycological Research*, 106(12), 1455-1462.
- Carisse, O., & Dewdney, M. (2002). A review of non-fungicidal approaches for the control of apple scab. *Phytoprotection*, 83(1), 1-29.

- Chai, G., Song, L., Jiang, Z., Zhang, X., Zhang, S., Liu, M., ... & Zhao, L. L. (2017). The effect of apple mosaic on photosynthesis of different varieties of apple. *Yantai Fruits*, 3, 8-9.
- Cho, I. S., Kwon, S. J., Yoon, J. Y., Chung, B. N., Hammond, J., & Lim, H. S. (2017). First report of apple necrotic mosaic virus infecting apple trees in Korea.
- Cox, K. D., & Villani, S. M. (2015). Evaluation of fungicide programs for control of powdery mildew in apples, 2014. *Plant Dis. Manag. Rep*, 9.
- Coyier, D. L. (1968). Effects of temperature on germination of *Podosphaera leucotricha* conidia. *Phytopathology*, 58, 1047-1048.
- Cunningham, G. H. (1923). Powdery mildew: *Podosphaera leucotricha*. *N. Zeal. J. Agric.*, 26, 344-351.
- Dam, D., & Guillaume, R. O. C. H. (2017). *Identification des Facteurs Intervenant dans le Développement du Monilia sur Fleurs et Rameaux d'Abricotiers et Recherche de Résistances Génétiques*, sl: Sn. 2017.
- De Cal, A., Larena, I., Liñán, M., Torres, R., Lamarca, N., Usall, J., ... & Melgarejo, P. (2009). Population dynamics of *Epicoccum nigrum*, a biocontrol agent against brown rot in stone fruit. *Journal of Applied Microbiology*, 106(2), 592-605.
- De Oliveira-Lino, L. (2016). *Etude de la variabilité génétique de la sensibilité à la pourriture brune au cours du développement du fruit chez la pêche en lien avec l'évolution des caractéristiques biochimiques du fruit* (Doctoral dissertation, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse).
- Derikvand, F., Bazgir, E., El Jarroudi, M., Darvishnia, M., Mirzaei Najafgholi, H., Laasli, S. E., & Lahlali, R. (2023). Unleashing the potential of bacterial isolates from apple tree rhizosphere for biocontrol of *Monilinia laxa*: a promising approach for combatting Brown rot disease. *Journal of Fungi*, 9(8), 828.
- Dursunoglu, S., & Ertunc, F. (2006). Distribution of Apple mosaic ilarvirus (ApMV) in Turkey. In *XX International Symposium on Virus and Virus-Like Diseases of Temperate Fruit Crops-Fruit Tree Diseases* 781 (pp. 131-134).
- Ellis, M. A., Ferree, D. C., & Spring, D. E. (1981). Photosynthesis, transpiration, and carbohydrate content of apple leaves infected by *Podosphaera leucotricha*. *Phytopathology*, 71(4), 392-395.

- Fisher, D. F. (1918). *Apple powdery mildew and its control in the arid regions of the Pacific Northwest* (No. 712). US Department of Agriculture.
- FRAC Pathogen at Risk 2019. Available online: <https://www.frac.info/docs/default-source/publications/pathogen-risk/fracpathogen-list-2019.pdf> (erişim tarihi: 26.10.2025).
- Franclet, J. (1994). Enquete ANPP [Association Nationale de Protection des Plantes]. Maladies de conservation des pommes. *Arboriculture Fruitiere*.
- Ganesan, S., Kuppasamy, R. G., & Sekar, R. (2007). Integrated management of stem rot disease (*Sclerotium rolfsii*) of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) using *Rhizobium* and *Trichoderma harzianum* (ITCC-4572). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31(2), 103-108.
- Garibaldi, A., Gilardi, G., & Gullino, M. L. (2005). First report of powdery mildew caused by *Podosphaera leucotricha* on *Photinia*× *fraserii* in Italy. *Plant Disease*, 89(12), 1362-1362.
- Gauthier, 2018. N. Apple Scab. In The Plant Health Instructor; University of Kentucky: Lexington, UK,.
- Gauthier, N. W., & Heisdorffer, A. M. (2015). Apple Rust Diseases (PPFS-FR-T-05). University of Kentucky, College of Agriculture, Food and Environment, Cooperative Extension Service. <https://plantpathology.mgcafe.uky.edu/files/ppfs-fr-t-05.pdf> (erişim tarihi: 28.11.2025).
- Grimova, L., Winkowska, L., Konrady, M., & Ryšánek, P. (2016). Apple mosaic virus. *Phytopathologia Mediterranea*, 1-19.
- Hoffmeister, M., Scheu, P., Glaab, A., Zito, R., & Stammli, G. (2024). Sensitivity evolution in *Venturia inaequalis* towards SDHIs in comparison to other modes of action. *European Journal of Plant Pathology*, 168(4), 763-773.
- Holb, I. J. (2005). Effect of pruning on disease incidence of apple scab and powdery mildew in integrated and organic apple production. *International Journal of Horticultural Science*, 11(1), 57-61.
- Holb, I. J. (2009). Apple powdery mildew caused by *Podosphaera leucotricha*: some important features of biology and epidemiology. *International Journal of Horticultural Science*, 15(1-2), 45-51.

- Holb, I. J. (2014). Apple powdery mildew caused by *Podosphaera leucotricha*: Some aspects of disease management. *International Journal of Horticultural Science*, 20, 29–33.
- Holb, I. J., & Kunz, S. (2016). Integrated control of apple scab and powdery mildew in an organic apple orchard by combining potassium carbonates with wettable sulfur, pruning, and cultivar susceptibility. *Plant Disease*, 100(9), 1894-1905.
- Hrustić, J., Mihajlović, M., Grahovac, M., Delibašić, G., Bulajić, A., Krstić, B., & Tanović, B. (2012). Genus *Monilinia* on pome and stone fruit species. *Pesticides and Phytomedicine/Pesticidi i fitomedicina*, 27(4).
- Hunter, J. A., Chamberlain, E. E., & Atkinson, J. D. (1959). Note on a modification in technique for inactivating Apple mosaic virus in apple wood by heat treatment. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 2(5), 945-946.
- Johnson, K. B., & Stockwell, V. (1998). Management of fire blight: a case study in microbial ecology. *Annual review of phytopathology*, 36(1), 227-248.
- Karabıçak, Y., & Kotan, R. (2014). Armut ağaçlarında Ateş Yanıklığı etmeni *Erwinia amylovora* (Burrill) Winslow et al.'ya karşı bakteri uygulamaları ile biyolojik mücadele imkânlarının araştırılması. *Plant Protection Bulletin/Bitki Koruma Bülteni*, 54(4).
- Kaya, A., Yeşildağ, M. F., & Çoruh, İ. (2023). Elma (*Malus domestica* L.) Çeşitlerinin Ateş Yanıklığı Hastalığına Karşı Duyarlılık Düzeylerinin Araştırılması. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 10(1), 91-100.
- Khajuria, Y. P., Akhoon, B. A., Kaul, S., & Dhar, M. K. (2023). Avirulence (Avr) genes in fungal pathogen *Venturia inaequalis*, a causal agent of scab disease on apple trees. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 127, 102101.
- Korba, J., Sillerova, J. (2011). First occurrence of fire blight on apricot (*Prunus armeniaca*) in Czech Republic. *Acta Horti* 896:289–292.
- Kotan, R. (2002). Doğu Anadolu Bölgesi'nde yetiştirilen yumuşak çekirdekli meyve ağaçlarından izole edilen patojen ve saprofitik bakteriyel organizmaların klasik ve moleküler metodlar ile tanısı ve biyolojik mücadele imkânlarının araştırılması. Atatürk Üniversitesi. *Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitki Koruma Anabilim Dalı. Doktora Tezi*, 217.
- Kunz, S. (2004). Development of "Blossom-Protect"-a yeast preparation for the reduction of blossom infections by fire blight. In *Ecofruit-11th*

International Conference on Cultivation Technique and Phytopathological Problems in Organic Fruit-Growing: Proceedings to the Conference from 3rd February to 5th February 2004 at Weinsberg/Germany (pp. 108-112).

- Lahlali, R., Mchachti, O., Radouane, N., Ezrari, S., Belabess, Z., Khayi, S., ... & Barka, E. A. (2020b). The potential of novel bacterial isolates from natural soil for the control of brown rot disease (*Monilinia fructigena*) on apple fruits. *Agronomy*, 10(11), 1814.
- Lahlali, R.; Aksissou, W.; Lyousfi, N.; Ezrari, S.; Blenzar, A.; Tahiri, A.; Ennahli, S.; Hrustić, J.; MacLean, D.; Amiri, S. (2020a). Biocontrol activity and putative mechanism of *Bacillus amyloliquefaciens* (SF14 and SP10), *Alcaligenes faecalis* ACBC1, and *Pantoea agglomerans* ACBP1 against brown rot disease of fruit. *Microb. Pathog.*, 139, 103914.
- Lee, M. H., Ji, S. H., Ham, H., Kong, H. G., Park, D. S., & Lee, Y. H. (2021). First report of fire blight of apricot (*Prunus armeniaca*) caused by *Erwinia amylovora* in Korea. *Plant Disease*, 105(3), 696-696.
- Lesik, K. (2013, March). *Monilinia* species causing fruit brown rot, blossom and twig blight in apple orchards in Belarus. In *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences* (Vol. 67, No. 2, p. 192). De Gruyter Poland.
- Li, Y., Tao, S., & Liang, Y. (2024). Time-course responses of apple leaf endophytes to the infection of gymnosporangium yamadae. *Journal of Fungi*, 10(2), 128.
- Liang, C., Xing, H. H., Cho, S. E., & Shin, H. D. (2012). First report of powdery mildew caused by *Podosphaera leucotricha* on *Photinia serrulata* in China. *Plant Disease*, 96(11), 1695-1695.
- Lima, G., De Curtis, F., Piedimonte, D., Spina, A. M., & De Cicco, V. (2006). Integration of biocontrol yeast and thiabendazole protects stored apples from fungicide sensitive and resistant isolates of *Botrytis cinerea*. *Postharvest biology and technology*, 40(3), 301-307.
- Lindow, S. E., McGourty, G., & Elkins, R. (1996). Interactions of antibiotics with *Pseudomonas fluorescens* strain A506 in the control of fire blight and frost injury to pear. *Phytopathology*, 86(8), 841-848.
- López, M. M., Bertolini, E., Olmos, A., Caruso, P., Gorris, M. T., Llop, P., & Cambra, M. (2003). Innovative tools for detection of plant pathogenic viruses and bacteria. *International Microbiology*, 6(4), 233-243.

- MacHardy, W. E., Gadoury, D. M., & Gessler, C. (2001). Parasitic and biological fitness of *Venturia inaequalis*: relationship to disease management strategies. *Plant disease*, 85(10), 1036-1051.
- Madrigal, C., & Melgarejo, P. (1994). Mechanisms of action of the antibiotic flavipin on *Monilinia laxa* and *Saccharomyces cerevisiae*. *Mycological Research*, 98(8), 874-878.
- Majeed, M., Bhat, N. A., Badri, Z. A., VaseemYousuf, V., Wani, T. A., Hassan, M., & ShaziaPaswal, S. (2017). Non-chemical management of apple scab-a global perspective. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 2(2), 238747.
- Malandrakis, A. A., Kavroulakis, N., & Chrysikopoulos, C. V. (2020). Use of silver nanoparticles to counter fungicide-resistance in *Monilinia fructicola*. *Science of the Total Environment*, 747, 141287.
- Matthews, R. E. F. (1991). "Factors influencing the course of infection and disease". In: *Plant virology*. Academic Press, London, UK: 463-464.
- Mohan, S.K., Bijman, V.P. (1999). Susceptibility of prunus species to *Erwinia amylovora*. *Acta Hort.* 489:145–148.
- Mohan, S.K., Bijman, V.P., Fallahi, E. (2002). Field evaluation of *Prunus* species for susceptibility to *Erwinia amylovora* by artificial inoculation. *Acta Hort.* 590:377–380.
- Mohan, S.K., Thomson, S.V. (1996). An outbreak of fire blight in plums. *Acta Hort.* 411:73–76.
- Mwanza, E. J. M., Waithaka, S. K., & Simons, S. A. (2001). First report of powdery mildew caused by *Podosphaera leucotricha* on *Prunus africana* in Kenya. *Plant Disease*, 85(12), 1285-1285.
- Nemeth, M. (1979). *Virus, mycoplasma and rickettsia diseases of fruit trees*. Kluwer Academic, Hingham, MA, USA (pp. 630-pp).
- Nemeth, M. (1986). "Virus, Mycoplasma and Rickettsia Diseases of Fruit Trees". Dordrecht. Boston, Lancaster. Nijhoff and junk, W Publishers 750.
- Nicolae, I., & Buse-Dragomir, L. (2020). The influence of fungicides on the physiological processes' intensity in *Malus domestica* Borkh. attacked by *Podosphaera leucotricha* (Ellis & Everh.) E. S. Salmon. *Ann. Univ. Craiova-Agric.*, 49, 117–124.
- Noda, H., Yamagishi, N., Yaegashi, H., Xing, F., Xie, J., Li, S., & Yoshikawa, N. (2017). Apple necrotic mosaic virus, a novel ilarvirus from mosaic-

- diseased apple trees in Japan and China. *Journal of General Plant Pathology*, 83(2), 83-90.
- Norelli, J. 2014. Apple Fire Blight. <https://www.rosbreed.org/node/422> (erişim tarihi: 28.11.2025).
- Northover, J., & Schneider, K. E. (1993). Activity of plant oils on diseases caused by *Podosphaera leucotricha*, *Venturia inaequalis*, and *Albugo occidentalis*. *Plant Dis.*, 77, 152–157.
- Nottingham, L., Kangiser, J., Amiri, A., Daniels, C. H., Steffen, G. R., Taylor, L. F., Schmidt, T., Klaus, M., Grove, G. G., Beers, E. H., & Jones, W. (2019). 2019 Crop Protection Guide for Tree Fruits in Washington. Washington State University Extension, Pullman, WA.
- Odile, C., & David-Mathieu, T. (2010). Disease Decision Support Systems: Their Impact on Disease Management and Durability of Fungicide Effectiveness. *Fungicides*, 177.
- Okoro, C. A., El-Hasan, A., & Voegelé, R. T. (2024). Integrating biological control agents for enhanced management of apple scab (*Venturia inaequalis*): insights, risks, challenges, and prospects. *Agrochemicals*, 3(2), 118-146.
- Öktem, Y. E., & Benlioğlu, K. (1988). Yumuşak çekirdekli meyve ağaçlarında görülen ateş yanıklığı hastalığı (*Erwinia amylovora* (Burr.) Winslow et. al.) üzerine çalışmalar. *V. Türkiye Fitopatoloji Kongresi (18-21 Ekim 1988) Bildiri Özetleri, TÜBİTAK Yayınları*, (643).
- Özaktan H, Bora T, Sukan S, Sargin S, Vardar Sukan F (1999) Studies on determination of antagonistic potential and biopreparation of some bacteria against the fireblight pathogen. *Acta Hort* 489:663–668.
- Özaktan, H., & Bora, T. (2004). Biological control of fire blight in pear orchards with a formulation of *Pantoea agglomerans* strain Eh 24. *Brazilian journal of Microbiology*, 35, 224-229.
- Özaktan, H., & Türküsay, H. (1994). Bazı epifitik bakterilerin ateş yanıklığı etmeni *Erwinia amylovora* (Burr.)'ya antagonistik etkileri üzerine araştırmalar, Türkiye 3. *Biyolojik Mücadele Kongresi*, 25-28.
- Palou, L., Ali, A., Fallik, E., & Romanazzi, G. (2016). GRAS, plant-and animal-derived compounds as alternatives to conventional fungicides for the control of postharvest diseases of fresh horticultural produce. *Postharvest Biology and Technology*, 122, 41-52.

- Pandey, B. N., Sindhan, G. S., & Singh, B. E. (1972). Note on the effect of heat treatment on the inactivation of some temperate-fruit viruses (hot water treatment).
- Petrzik, K., & Lenz, O. (2011). CHAPTER 6: Apple mosaic virus in Pome Fruits. In *Virus and virus-like diseases of pome and stone fruits* (pp. 25-28). The American Phytopathological Society.
- Philion, V. (1996). The Screening of Potential Fungal Antagonists of Pseudothecial Formation by the Apple Scab Pathogen *Venturia inaequalis*; National Library of Canada = Bibliothèque Nationale du Canada: Ottawa, ON, Canada,; ISBN 978-0-612-05615-2.
- Pscheidt, J. W., & Bassinette, J. P. (2016). Evaluation of fungicides for management of apple diseases on Braeburn, 2015. *Plant Dis. Manag. Rep.*, 10, PF009.
- Pusey, P. L. (2002). Biological control agents for fire blight of apple compared under conditions limiting natural dispersal. *Plant disease*, 86(6), 639-644.
- Rusevski, R., Kuzmanovska, B., Petkovski, E., & Oreskovic, K. B. (2018). New opportunities for chemical control of *Venturia inaequalis* and *Podosphaera leucotricha* in apple orchards in Macedonia. *Journal of Agricultural, Food and Environmental Sciences, JAFES*, 72(3), 12-15.
- Sanford, E. (1888). Microscopical Anatomy of the Common Cedar-Apple (Gymnosporangium Macropus). *Annals of Botany*, 1(3/4), 263-268.
- Sharma, R. R., Datta, S. C., & Varghese, E. (2020). Kaolin-based particle film sprays reduce the incidence of pests, diseases and storage disorders and improve postharvest quality of 'Delicious' apples. *Crop protection*, 127, 104950.
- Shiller, J., Van de Wouw, A. P., Taranto, A. P., Bowen, J. K., Dubois, D., Robinson, A., ... & Plummer, K. M. (2015). A large family of AvrLm6-like genes in the apple and pear scab pathogens, *Venturia inaequalis* and *Venturia pirina*. *Frontiers in plant science*, 6, 980.
- Sivapalan, A. (1993). Effects of impacting rain drops on the growth and development of powdery mildew fungi. *Plant Pathology*, 42(2), 256-263.
- Spadaro, D., & Droby, S. (2016). Development of biocontrol products for postharvest diseases of fruit: The importance of elucidating the mechanisms of action of yeast antagonists. *Trends in Food Science & Technology*, 47, 39-49.

- Spotts, R. A. (1984). Infection of Anjou pear fruit by *Podosphaera leucotricha*. *Plant Dis.*, 68, 857–859.
- Strickland, D. A., Hodge, K. T., & Cox, K. D. (2021). An examination of apple powdery mildew and the biology of *Podosphaera leucotricha* from past to present. *Plant Health Progress*, 22(4), 421-432.
- Sundin, G. W., Werner, N. A., Yoder, K. S., & Aldwinckle, H. S. (2009). Field evaluation of biological control of fire blight in the eastern United States. *Plant Disease*, 93(4), 386-394.
- Sundin, W.G. (2014). Fire blight. In: Sutton TB, Aldwinckle HS, Agnello AM, Walgenbach JF (eds) Compendium of apple and pear diseases and pests. *APS, St. Paul*, pp 87–89.
- Sutton, T. B., & Jones, A. L. (1979). Analysis of factors affecting dispersal of *Podosphaera leucotricha* conidia. *Phytopathology*, 69(380), 10-1094.
- Tancos, K. A., Villani, S., Kuehne, S., Borejsza-Wysocka, E., Breth, D., Carol, J., ... & Cox, K. D. (2016). Prevalence of streptomycin-resistant *Erwinia amylovora* in New York apple orchards. *Plant disease*, 100(4), 802-809.
- Tao, S. Q., Auer, L., Morin, E., Liang, Y. M., & Duplessis, S. (2020). Transcriptome analysis of apple leaves infected by the rust fungus *Gymnosporangium yamadae* at two sporulation stages. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 33(3), 444-461.
- Tate, K. G., Manktelow, D. W., Walker, J. T., & Stiefel, H. (2000). Disease management in Hawkes Bay apple orchards converting to organic production. *New Zealand Plant Protection*, 53, 1-6.
- Thakur, K., Chawla, V., Bhatti, S., Swarnkar, M. K., Kaur, J., Shankar, R., & Jha, G. (2013). De novo transcriptome sequencing and analysis for *Venturia inaequalis*, the devastating apple scab pathogen. *PloS one*, 8(1), e53937.
- Theiler-Hedtrich, R., & Baumann, G. (1989). Elimination of apple mosaic virus and raspberry bushy dwarf virus from infected red raspberry (*Rubus idaeus* L.) by tissue culture. *Journal of Phytopathology*, 127(3), 193-199.
- Thomson, S. V., Gouk, S. C., Vanneste, J. L., Hale, C. N., & Clark, R. G. (1992, October). The presence of streptomycin resistant strains of *Erwinia amylovora* in New Zealand. In *VI International Workshop on Fire Blight* 338 (pp. 223-230).

- Timur Momol, M., & Yegen, O. (1992, October). Fire Blight In Turkey: 1985–1992. In *VI International Workshop on Fire Blight* 338 (pp. 37-40).
- Tombisana Thokchom, T. T., Tanuja Rana, T. R., Vipin Hallan, V. H., Raja Ram, R. R., & Zaidi, A. A. (2009). Molecular characterization of the Indian strain of Apple mosaic virus isolated from apple (*Malus domestica*).
- Turechek, W. W. (2004). Apple diseases and their management. *Diseases of Fruits and Vegetables Volume I: Diagnosis and Management*, 1-108. Vol. 1. S. A. M. H. Naqvi, ed. Academic Publishers, New York, NY.
- Usall, J., Casals, C., Sisqueña, M., Palou, L., & De Cal, A. (2015). Alternative technologies to control postharvest diseases of stone fruits. *Stewart Postharvest Review*, 11(4), 1-6.
- Van der Zwet T, Keil HL (1979) Fire blight a bacterial disease of rosaceous plants. *Agric Handbook*, U.S.A, vol 510 (199 pp.)
- Van der Zwet, T., Beer, S.V. (1995). Fire blight--its nature, prevention and control: a practical guide to integrated disease management. *Agric Inf Bull*, vol 631. US Department of Agriculture, National Agricultural Library, Washington, DC (97 p.)
- Van Leeuwen, G. C. (2000). *The brown rot fungi of fruit crops (Monilinia spp.), with special reference to Monilinia fructigena (Aderh. & Ruhl.) Honey*. Wageningen University and Research.
- Vanneste, J. L. (Ed.). (2000). *Fire blight: the disease and its causative agent, Erwinia amylovora*. CABI. Oxon (370 p.)
- Vanneste, J.L., Cornish, D., Yu, J., Voyle., M. (2002a). P10c: a new strain of *Pantoea agglomerans* for control of fire blight, which can be sprayed or distributed using honey bees. *IOBC Wprs Bull*. 25:13–16.
- Vanneste, J.L., Lex, S., Vermeulen, M., Berger, F. (2002b), Isolation of *Erwinia amylovora* from blighted plums (*Prunus domestica*) and potato roses (*Rosa rugosa*). *Acta Hort* 590:89–94.
- Végh A, Palkovics L (2013) First occurrence of fire blight on apricot (*Prunus armeniaca*) in Hungary. *Not Bot Horti Agrobot Cluj Napoca* 41(2):440–443
- Végh, A., Némethy, Z. S., Hajagos, L., & Palkovics, L. (2012). First report of *Erwinia amylovora* causing fire blight on plum (*Prunus domestica*) in Hungary. *Plant Disease*, 96(5), 759-759.

- Végh, A., Palkovics, L. (2016). First occurrence of fire blight (*Erwinia amylovora*) on *Prunus* species in Hungary. *Acta Hort.* 1149:31–36.
- Wade, G. C., & Cruickshank, R. H. (1992). Rapid development of resistance of wounds on immature apricot fruit to infection with *Monilinia fructicola*. *Journal of Phytopathology*, 136(2), 89-94.
- Wang, Y., Yuan, Y., Liu, B., Zhang, Z., & Yue, T. (2016). Biocontrol activity and patulin-removal effects of *Bacillus subtilis*, *Rhodobacter sphaeroides* and *Agrobacterium tumefaciens* against *Penicillium expansum*. *Journal of Applied Microbiology*, 121(5), 1384-1393.
- Wellings, P. W. (1996). The role of public policy in biological control: some global trends. *Entomophaga*, 41(3), 435-441.
- Wise, L. C., Gut, L. J., Isaacs, R., Miles, T., Sundin, G. M., Zandstra, B., Beaudry, R., & Lang, G. (2019). 2019 Michigan Fruit Management Guide. Bull. E-154. *Michigan State University Extension*, East Lansing, MI.
- Xu, X. M. (1996). The effects of constant and fluctuating temperatures on the length of the incubation period of apple powdery mildew (*Podosphaera leucotricha*). *Plant Pathology*, 45(5), 924-932.
- Xu, X. M., & Butt, D. J. (1998). Effects of temperature and atmospheric moisture on the early growth of apple powdery mildew (*Podosphaera leucotricha*) colonies. *European Journal of Plant Pathology*, 104(2), 133-140.
- Xu, X., & Madden, L. V. (2002). Incidence and density relationships of powdery mildew on apple. *Phytopathology*, 92(9), 1005-1014.
- Xu, X., Harvey, N., Roberts, A., & Barbara, D. (2013). Population variation of apple scab (*Venturia inaequalis*) within mixed orchards in the UK. *European journal of plant pathology*, 135(1), 97-104.
- Yoder, K. S. (2000). Effect of powdery mildew on apple yield and economic benefits of its management in Virginia. *Plant disease*, 84(11), 1171-1176.
- Yoder, K. S., & Hickey, K. D. (1983). Control of apple powdery mildew in the mid-Atlantic region. *Plant Dis.*, 67, 245–248.
- Yoder, K. S., Cochran, A. E., II, Kilmer, S. W., Royston, W. S., Jr., & Cochran, S. (2007). Broad-spectrum disease management by alternate fungicide programs on three apple cultivars, 2006. *Plant Dis. Manag. Rep.*, 1, PF030.

- Yoder, K. S., Cochran, A. E., II, Royston, W. S., Jr., Kilmer, S. W., Kowalski, L., & King, N. K. (2019). Broad spectrum disease control by fungicides first applied to Gala apple at petal fall. *Plant Dis. Manag. Rep.*, 13, PF058.
- Zhou, T., Reeleder, R. D., & Sparace, S. A. (1996). Influence of nutrients on growth of *Epicoccum nigrum*. *Canadian journal of microbiology*, 42(7), 647-654.

BÖLÜM X

ELMANIN HASADI VE DEPOLANMASI

Öğr. Gör. Dr. Selcan ÖZYALIN¹

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18107884>

¹ Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakóltesi, Bahęe Bitkileri Bölümü Yozgat, Türkiye. selcan.ozyalin@yobu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-4831-8600

1. GİRİş

Elma, dünya üzerinde çok geniş yayılma alanına ve zengin genetik çeşitliliğe sahip, farklı ekolojilere adapte olabilen bir türdür (Anonim, 2007; Motalebipour ve diğerleri, 2015; Aras ve Keles, 2019; Önal ve Güney, 2025). Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'nün 2024 yılı verilerine göre, dünyada yaklaşık 95 ülkede elma üretimi yapılmakta, Türkiye ise üretimde üçüncü sırada yer almaktadır (FAO, 2025). Türkiye'de, yumuşak çekirdekli meyveler içerisinde, ağaç sayısının ve üretim miktarının yaklaşık %81'ini elma oluşturmaktadır (TÜİK, 2025). Elma, lifli yapısı ve düşük kalorisi ile diyet programlarında yer almakta ve dünya çapında yaygın olarak tüketilmektedir (Anonim, 2007; Aras ve Eşitken, 2019; Güney ve Ergün, 2024). Taze tüketiminin yanı sıra meyve suyu, püre, konserve, sirke, pekmez, reçel, marmelat ve kurutulmuş olarak değerlendirilmektedir.

2. ELMANIN HASADI

2.1. HASAT ZAMANI

Elma klimakterik bir türdür. Klimakterik meyvelerin kalitesi büyük ölçüde doğru hasat zamanına ve depolama koşullarına bağlıdır. Bu nedenle, optimum hasat tarihinin belirlenmesi temel bir rol oynamaktadır (Karaçalı, 2011; Bertone ve diğerleri, 2012). Genel olarak, meyveler ağaç üzerinde ne kadar uzun süre olgunlaşırsa, o kadar iyi yeme kalitesine ulaşırlar. Çünkü olgunlaşma ilerledikçe duyuasal özellikler iyileşir; şeker ve aroma seviyeleri artar, toplam asit miktarı ise azalır (Song ve Bangerth, 1996, Kader, 2008). Ancak elmalarda, optimum kalite, uzun depolama ve pazar ömrü için meyveler

olgunlaşma başlangıcında toplanmalıdır (Bertone ve diğerleri, 2012; Thompson, 2015). Elmada hasat zamanı, mevsimsel hava durumuna, çiçeklenme tarihine ve yetiştirici deneyimine göre belirlenir ve beklenen hasat dönemi yaklaştıkça meyveler, nişasta parçalanması, suda çözünebilir kuru madde miktarı, meyve eti sertliği, toplam asit miktarı ve kabuk rengi gibi olgunluk göstergeleri kullanılarak değerlendirilir (Anonim, 2007; Kingston, 2010; Özcan, 2012). Bu ölçütler dışında pratik ölçütler de kullanılmaktadır. Örneğin, hasat zamanı gelen meyvenin daldan kopması kolaylaşır, kabuk üzerinde bulunan pusluluk ve lentiseller belirginleşir, yeşil olan meyve et rengi beyaz veya açık krem tonlarına dönüşür ve meyve tatlanmaya başlar (Karaçalı, 2016). Elmaların kabuk rengi olgunlaştıkça değişmektedir. Bazı çeşitler için renk katalogları mevcut olsa da, kabuk rengi ile olgunluk tayini güvenilir kabul edilmemektedir. Çünkü kabuk rengi değişimleri genellikle hafiftir ve sıcaklık, güneşlenme, beslenme vb. koşullardan büyük ölçüde etkilenmektedir (Thompson, 2015; Özcan, 2020). Elmalarda kabuk alt (zemin) rengi çeşitten çeşide farklı olabilmektedir. Genellikle yeşil olan zemin rengin, belirgin şekilde azalması klimakterik aşamadan sonra gözlenmektedir. Mc Intosh ve Baldwin gibi elma çeşitlerinde ise kabuk alt renginde biraz değişim olduktan sonra olgunlaşmaya başlamaktadır. Kabuk üst rengi tamamen koyu kırmızı olan çeşitlerde kabuk alt renginin saptanması zor olduğundan olgunluk ölçütü olarak kullanılamamaktadır (Özcan, 2020). Bertone ve diğerleri (2012) yapmış oldukları çalışmalarında, meyvenin olgunlaştıkça klorofil seviyelerinin azaldığını, ancak bu düşüşün kırmızı kabuklu çeşitlerde görülmediğini bildirmişlerdir.

Genel olarak hasat olgunluğunun belirlenmesinde bu yöntemlerin birleşiminden elde edilen sonuçlar değerlendirilmektedir (Thompson, 2015). Elmalarda hasat bir defada (tümünden hasat) yapılmaktadır fakat yazlık çeşitlerde 2-3 defada (seçmeli hasat) da yapılabilmektedir (Anonim, 2007).

2.2. HASAT ŞEKİLLERİ

Hasat şeklinin belirlenmesinde çeşit, hava koşulları ve pazar durumu gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır (Karaçalı, 2016). Elma hasadı deneyimli işçiler tarafından elle yapılmaktadır. Hasat sırasında ağacın durumuna göre merdiven veya platform ile uygun kesici bir alet kullanılabilmektedir. Elma hasadı yapılırken meyve avuç içerisinde tutulmalı, parmaklar ile sıkılmamalı, kabuğunun ince ve hassas olmasından dolayı tırnakların kabuğa batmamasına dikkat edilmelidir. Hasadın sabah erken saatlerde yapılması, öğle sıcaklığında hasat yapılmaması önem arz etmektedir. Hasat edilen meyveler gölge bir yere konulmalı ya da hızla soğuk hava depolarına götürülmelidir. Hasatta torbalar, kovalar, sepetler, ahşap veya plastik kasalar kullanılmaktadır. Hasat sırasında meyveler yere düşürülmemeli, kasalara konulurken ya da kasalardan boşaltılırken dikkat edilmelidir. Aksi durumda meyvelerde zedelenme, meyve etinde kararmalar meydana gelmektedir. Bu durum, meyve kalitesinin düşmesine neden olup, hem ürünün pazarlanabilirliğini hem de depolama süresini olumsuz etkilemektedir.

Akıllı tarım uygulamaları ve modern teknolojilerdeki ilerlemeler sayesinde geliştirilen robotik elma hasat makineleri, günümüzde bazı işletmeler tarafından aktif olarak kullanılmaktadır (Anonim, 2025).

2.3. SINIFLANDIRMA

Hasat işlemi tamamlanan elmalar, paketlenme evlerine götürülerek standartlara uygun bir şekilde hazırlanır. Bu aşamada, bahçeden getirilen meyvelere ayıklama, temizleme, yıkama, kurutma, sınıflama ve boylama işlemleri yapılır. Bu işlemler tamamlandıktan sonra, uygun şekilde ambalajlanan elmalar pazara sunulmak veya depolama tesislerine götürülmek üzere taşınmaktadır (Özcan, 2012).

Elmaların sınıflandırılmasında, birden fazla özellik dikkate alınmaktadır. Türk Standartları Enstitüsü (TSE)'ne göre, elmalar, renklerine, botanik yapılarına, kalite özelliklerine ve iriliklerine göre sınıflandırılmaktadır.

Renklerine göre, kırmızı renkli (Starkrimson Delicious, Starking Delicious, Red Delicious vb.), karışık kırmızı renkli (Beauty, Jonathan, Amasya vb.), sarı zemin üzerine kırmızı çizgili (Stark's Earliest) ve hiç kırmızı renk bulundurmeyen (Granny Smith, Golden Delicious, Hüryemez, Mutsu ve Reinette du Canada vb.) olmak üzere dört gruba ayrılmaktadır (TS Elma, 2007).

Kalite özelliklerine göre, ekstra, sınıf I ve sınıf II olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Üstün kalitedeki elmalar ekstra sınıfına girmektedir. Bu sınıfa giren elmalar, şekil, renk ve irilik özellikleri bakımından çeşidin özelliklerini taşımalıdır ve çeşitler birbirine karıştırılmamalıdır. Üründe çok hafif, yüzeysel kabuk özürleri dışında kusur bulunmamalıdır. İyi kalitedeki elmalar sınıf I grubuna girmektedir. Bu sınıfa giren elmalar da çeşidin tipik özelliklerini taşımalıdır. En az bir kusur olmak koşuluyla, renk, şekil ve gelişme özellikleri bakımından hafif kusurlar kabul edilmektedir. Örneğin, uzunluğu 2 cm'yi geçmeyen kusurlar, 1 cm²'yi geçmeyen hafif çürüme

olabilir. Fakat meyve eti sağlam olmalıdır. Sınıf II grubun da ise daha üst sınıflara giremeyen elmalar sınıflandırılmaktadır. Fakat elmalar çeşidin genel özelliklerini taşımalıdır. Meyvenin özelliklerini ve muhafazasını etkilemeyecek hafif kusurlar bulunabilir. Örneğin, uzunluğu 4 cm'yi geçmeyen kusurlar, 1.5 cm²'yi geçmeyen hafif çürüme ve renk değişimi olabilir (TS Elma, 2007).

İriliklerine göre ise iri boy ve normal boy olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Bu sınıflandırma, elmaların çapına veya kütlesine göre belirlenmektedir. İri boy elmalar, 60-65 mm çapında veya 90-110 gram ağırlığında; normal boy elmalar ise, 50-60 mm çapında veya 70-90 gram ağırlığında olmalıdır (TS Elma, 2007).

Botanik yapılarına göre, çeşitler sınıflandırılmaktadır (Starkrimson Delicious, Golden Delicious, Starking Delicious, Granny Smith, Jonathan, Stayman Winesap, Gala, Fuji, Amasya vb.) (TS Elma, 2007).

2.4. HASAT SIRASI VE HASAT SONRASI MEYDANA GELEN KALİTE KAYIPLARI

Hasat sırası ve sonrası birçok fiziksel, fizyolojik ve hastalık gibi nedenlerden dolayı meyvelerde bozulmalar, çürümeler meydana gelebilmektedir. Uygun hasat, meyve kalitesini etkileyen en önemli faktörlerden birisidir (Anonim, 2007; Karaçalı, 2016). Zamanında yapılmayan (erken veya geç) hasat, uygun olmayan alet ve ekipmanlar, deneyimsiz işçi, hasat sırasında hava koşullarının uygun olmaması ve özensiz hasat (düşme, ezilme, berelenme vb.) gibi durumlar kalite kayıplarına neden olmaktadır. Bunların dışında, pazara hazırlama ve taşıma aşamasında uygun olmayan ambalaj ve paketleme, bozulmaya

başlamış veya hastalıklı ürünlerin ayıklanmaması, taşıma ve depolama koşullarının uygun olmaması gibi nedenler de kalite kayıplarına neden olmaktadır.

Klimakterik olan elmanın içsel etilen düzeyi ve etilen üretme hızı birçok meyve ve sebze türünden daha yüksektir (Özcan, 2020). Etilen, hasat sonrası meyvelerin solunum hızına etki ederek, meyve olgunlaşmasını teşvik etmektedir. Elma ayrıca etilen maruziyetine karşı da çok hassastır (Thompson, 2015; Özcan, 2020). Etilen maruziyeti elmaların kalitesini düşürebilmekte ve depolama ömrünü kısaltabilmektedir. Bu nedenlerle elma, hasat sonrası taşıma sırasında ya da depolama yerlerinde etilen ile temas ettirilmemeli, var olan etilen kısa sürede uzaklaştırılmalıdır (Özcan, 2020).

Elmalarda hasat ve hasat sonrasında yüksek veya düşük sıcaklıklar, meyvenin kalitesini ve depolanmasını olumsuz etkilemektedir. Özellikle düşük sıcaklık derecelerine uzun süre maruz kalan elmalarda, yumuşak iç bozukluğu, iç kararması, öz kararması ve yumuşak yanık gibi çeşitli kahverengileşmeler görülmektedir (Kaynaş, 2004; Şen ve diğerleri, 2009; Thompson, 2015; Karaçalı, 2016). Golden Delicious, McIntosh, Yellow Newton, Jonathan gibi çeşitler düşük sıcaklığa hassas çeşitlerdir. Elmalarda hasat sonrası çeşitli nedenlerle kabuk yanığı, acı benek, lentisel beneği, iç mantarlaşması, iç sulanması, yaşlanma gibi bazı fizyolojik bozukluklar görülmektedir. Bunun dışında karbondioksit ve düşük oksijen zararları da meydana gelebilmektedir (Şen ve diğerleri, 2009; Karaçalı, 2016).

3. ELMANIN DEPOLANMASI

Taze elmalar, uygun depolama koşullarında en uzun süre muhafaza edilebilen meyve türlerinden birisidir. -1 ila +4 °C’de ve %85-90 oransal nem koşullarında 2 ila 8 ay boyunca muhafaza edilebilmektedir (Cadun, 1968; Özcan, 2020). Her çeşidin depolama koşulları farklı olsa da genellikle 0 °C’de ve %90-95 oransal nem en uygun ortamlardır. Yapılan bir araştırmada, -1, 0 ve +2 °C’de, % 90-95 nisbi nem koşullarında Granny Smith, Imparatore ve Idared elma çeşitleri 6 ay boyunca depolanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, tüm çeşitler 0 °C sıcaklık ve % 90 95 nispi nem içeren depoda 5-6 ay boyunca başarılı bir şekilde muhafaza edilmiştir (Koyuncu ve Eren, 2005). Elmaların daha uzun süre muhafaza edilebilmesi için kontrollü atmosferli depolarda %1-3 oksijen (O₂) ve %3-5 karbondioksit (CO₂) ve %92-94 azot (N₂) içeren ortamlar uygun olmaktadır (Anonim, 2007).

Elmanın muhafazasını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Hasat öncesi faktörler (çeşit, anaç, ağaç yaşı, iklim, toprak, yöney, kültürel işlemler vb.) ile hasat sırasında dikkat edilmesi gereken durumlar, hasat sonrası ön soğutma, ambalajlama, paketleme, taşıma sistemleri, depolama koşulları gibi birçok faktör depolama süresini etkilemektedir.

3.1. DEPOLAMA ÖNCESİ UYGULAMALAR

Elmaların depolanmasında meyve kalitesini korumak ve depolama süresini uzatmak amacıyla çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Bu kapsamda, ön soğutma, uygun ambalajlama-

paketleme teknikleri ile farklı organik ve inorganik maddelerin kullanımı önemli bir yer tutmaktadır.

Ön soğutma, elmalarda yaygın bir ticari uygulama değildir, ancak literatürde farklı öneriler sunan bazı bilgiler mevcuttur (Thompson, 2015). Bu kapsamda hava ve su ile soğutma kullanılabilmektedir. Depolanacak elmalar 1 gün içerisinde 2 °C'ye soğutulması ve özellikle hasattan sonra 7 günlük yapılan ön soğutmanın yeterli olduğu bildirilmektedir. Bu sürenin uzaması durumunda kalite kayıpları meydana gelebilmektedir (Karaçalı, 2016).

Elmalar önemli bir ticari değere sahip olduğundan, elmanın hasadından pazarlama aşamasına kadar gerçekleşen taşıma sürecinde ve depolama koşullarında, elmanın korunmasını sağlayacak ve insan sağlığına zarar vermeyecek ambalajlama-paketleme yapılması önem arz etmektedir. Bu kapsamda, dünyada ve ülkemizde son derece gelişmiş tesisler ve paketleme üniteleri bulunmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Elma paketleme tesisi (Kaynak: Emaplast, 2025)

Elma meyvelerinde kalite kayıplarını azaltmak ve depolama süresini uzatmak amacıyla araştırmacılar tarafından depolama öncesi çeşitli uygulamalar denenmiş ve çoğunun olumlu etkiler sağladığı rapor edilmiştir.

Bu kapsamda, oksalik ve salisilik asit (Sabır ve diğerleri, 2013; Aydöner Çoban ve Aras, 2023), 1-MCP (1-Methylcyclopropane) (Kuzucu ve Aydın, 2014; Çalhan ve diğerleri, 2016; Yalav ve Kaynaş, 2018; Erbaş ve Koyuncu, 2020), 1-N-Naftilfitalamik asit (Tekkanat ve Koyuncu, 2024) ile kekik ve lavanta yağı (Güner ve diğerleri, 2022) gibi çeşitli organik ve inorganik maddelerin kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır.

3.2. MODİFİYE ATMOSFER PAKET (MAP) DEPOLAMA

Özel gaz geçirgenliğine sahip plastik torbaların kullanılarak depolandığı bu sistem (Karaçalı, 2016), elmalarda yaygın olarak denenmiş ve ticari olarak da kullanılmaktadır (Batu ve Demirdöven, 2010; Saraçoğlu ve diğerleri, 2011).

3.3. KONTROLLÜ ATMOSFER (KA) DEPOLAMA

Kontrollü atmosfer (KA) depolama, meyvelerin birkaç aydan daha uzun bir süre depolanmasına olanak tanıyan, elma endüstrisinin en temel ve en eski ticari depolama yöntemlerinden biridir (Thompson, 2015; Brizzolara ve diğerleri, 2017; Al Shoffe ve diğerleri, 2024).

Çeşitlere, yetiştirilme bölgelerine ve olgunluk derecelerine göre farklılıklar olmakla birlikte elmaların depolanmasında genel olarak, %1-3 oksijen (O₂) ve %3-5 karbondioksit (CO₂) içeren kontrollü atmosferli depolar önerilmektedir (Anonim, 2007; Thompson, 2015; Karaçalı, 2016). Bazı çeşitler karbondioksit dayanaklı (Golden Delicious, Crispin vb. - %5-10 CO₂) iken, bazı çeşitler ise hassastır (Cox - <%1). Red Delicious, Golden Delicious, Jonathan, McIntosh, Granny Smith gibi çeşitler -1 ila 4 °C'de, %2-3 O₂ ve %1-5 CO₂ içeren ortamda başarı ile depolanabilmektedir (Karaçalı, 2016). Bazı çeşitlerin kontrollü atmosfer depolama koşulları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Bazı elma çeşitlerinin kontrollü atmosfer depolama koşulları

Çeşit	Depolama sıcaklığı (°C)	Nisbi Nem (%)	Hava Bileşimi (%)		Depolama Süresi	Referans
			O ₂	CO ₂		
Starkspur Golden Delicious	0	85-90	2	3	8 ay	Eren ve diğerleri, 2016
Granny Smith	0	90-95	1.5	1	10 ay	Çalhan ve diğerleri, 2012
Pink Lady	0	85-90	1.5	1	8 ay	Onursal ve diğerleri, 2015
Scarlet Spur	0	90-95	1	3	8 ay	Koyuncu ve Bayındır, 2013

3.4. DİNAMİK KONTROLLÜ ATMOSFER (DKA) DEPOLAMA

Dinamik kontrollü atmosfer depolamada, klorofil flüoresans tekniğinden yararlanılmaktadır. Bu yöntem, meyvelerin zarar görmeden dayanabileceği en düşük oksijen (O₂) düzeyinin biraz üzerinde bir ortamı sürekli olarak ayarlayan modern bir depolama tekniğidir (Vanoli ve diğerleri, 2010; Çalhan ve diğerleri, 2012). Bu depolama yöntemi yeni bir teknoloji olmasına rağmen elmalarda ticari uygulama alanı bulmuştur (Kaynaş ve diğerleri, 2024). Bu teknik, araştırmacılar tarafından Granny Smith, Red Delicious (Çalhan ve diğerleri, 2012; Brizzolara ve diğerleri, 2017), Pink Lady (Yalav ve Kaynaş, 2018), Scarlet Spur (Onursal ve Koyuncu, 2023), Enterprise, Goldrush, Honeycrisp, Golden Delicious, Jonagold ve Fuji (Al Shoffe ve diğerleri, 2024) elma çeşitlerinde denenmiştir.

Yapılan çalışmalarda, DKA depolama tek başına ya da 1-MCP uygulamasıyla kombine olarak incelenmiş ve kontrollü atmosfer depolama ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, DKA depolama, meyvelerin tepkilerine göre O₂ seviyesini sürekli olarak ayarladığı için meyve kalitesini daha iyi korumuş ve daha uzun bir depolama olanağı sunmuştur. Özellikle 1-

KAYNAKÇA

- Al Shoffe, Y., Rudell, D., Park, D., Algul, B. E., Qin, M., Shi, M., Dando, R., & Watkins, C. B. (2024). Aroma volatiles and sensory quality of organically-grown apple cultivars after dynamic controlled atmosphere (DCA) storage and comparison with CA-stored fruit with and without 1-methylcyclopropene (1-MCP). *Postharvest Biology and Technology*, 218, 113162.
- Anonim (2007). Ilıman iklim meyveleri yetiştiriciliği. Yayınlanmamış Ders Notu. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Çanakkale.
- Anonim (2025). “Anadolu Etap elma hasat makineleri ile akıllı tarım uygulamalarına yatırım yapıyor” [Haber Grupları]. Erişim Adresi: <https://www.tarimpusulasi.com/haber/anadolu-etap-elma-hasat-makineleri-ile-akilli-tarim-uygulamalarina-yatirim-yapiyor-39037>
- Aras, S., & Eşitken, A. (2019). Responses of apple plants to salinity stress. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 29(2), 253-257.
- Aras, S., & Keles, H. (2019). Responses of apple plants to drought stress. *Journal of Agricultural Studies*, 7(3), 154-160.
- Aydöner Çoban, G. & Aras, S. (2023). Effects of ascorbic and oxalic acids on cucumber seedling growth and quality under mildly limey soil conditions. *Gesunde Pflanzen*, 1-8.
- Batu, A., & Demirdöven, A. (2010). Modifiye atmosferde paketlenme ve soğukta depolamanın elmanın duyusal kalitesi üzerine etkileri. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 20(2), 58-67.
- Bertone, E., Venturello, A., Leardi, R., & Geobaldo, F. (2012). Prediction of the optimum harvest time of ‘Scarlet’ apples using DR-UV-Vis and NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 69, 15–23.
- Brizzolara, S., Santucci, C., Tenori, L., Hertog, M., Nicolai, B., Stürz, S., Zanella, A., & Tonutti, P. (2017). A metabolomics approach to elucidate apple fruit responses to static and dynamic controlled atmosphere storage. *Postharvest Biology and Technology*, 127, 76-87.
- Cadun, Ö. (1968). Elmaların Depolanması. *Bahçe*, 1(2), 97-103.
- Çalhan, Ö., Eren, İ., Onursal, C. E., & Güneyli, A. (2012). Granny Smith elma çeşidinin dinamik kontrollü atmosferde (DKA) depolanması. *Bahçe Bilimi Yayın*, (3), 145-152.

- Çalhan, Ö., Onursal, C., Seçmen, T., Güneyli, A., & Eren, İ. (2016). Galaxy Gala elma çeşidinde muhafaza öncesi SencyFresh™ uygulamasının depolama süresince meyve kalitesi üzerine etkisi. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*, 53(1), 51-59.
- Emaplast (2025). “Elma paketleme tesisi” Erişim Adresi: <https://www.emaplast.com.tr/Home/Paketleme>
- Erbaş, D., & Koyuncu, M. A. (2020). Granny Smith elma çeşidinin depolama performansı üzerine farklı 1-MCP dozlarının etkisi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(4), 2301-2314.
- Eren, İ., Onursal, C. E., Çalhan, Ö., Seçmen, T., Güneyli, A., Erkan, M., & Akol, S. (2016). Eğirdir Koşullarında Yetiştirilen Starkspur Golden Delicious Elma Çeşidinde Kontrollü Atmosfer Depolama İçin Uygun Atmosfer Bileşiminin Belirlenmesi. *Bahçe*, 45(Özel Sayı 1) 7. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi), 148-154.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), (2025). Crops and livestock products, Erişim Adresi: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Güney, M., & Ergün, Z. (2024). Kayısının biyokimyasal içeriği ve insan diyetindeki yeri. Keles, H., & Güney, M. (Ed), *Kayısı Yetiştiriciliği*, 21-46, İksad Yayınevi, Ankara, 266 s.
- Kader, A. A. (2008). Flavor quality of fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(11), 1863-1868.
- Karaçalı, İ. (2011). Tarımsal ürünlerin muhafazası. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın no: 555, İzmir, 139 s.
- Karaçalı, İ. (2016). Bahçe ürünlerinin muhafaza ve pazarlanması. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın no: 494, İzmir, 486 s.
- Kaynaş, K. (2004). Bahçe bitkilerinin muhafazası ve pazara hazırlanması. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Ders Notu, Çanakkale, 66 s.
- Kaynaş, K., Çiftci, H. N., Aktürk, C., & Kıyı, H. (2024). Geçici Şeftali Çeşitlerinin Depolanmasında 1-MCP ve Dinamik Kontrollü Atmosfer Koşullarının Kullanımı. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12(1), 121-131.
- Kingston, C. M. (2010). Maturity indices for apple and pear. *Horticultural Reviews*, 13, 407-422.

- Koyuncu, M. A., & Eren, İ. (2005). Bazı elma çeşitlerinin soğukta depolanma koşullarının belirlenmesi. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2(1), 45-52.
- Koyuncu, M., & Bayındır, D. (2013). Scarlet spur elma çeşidinin normal ve kontrollü atmosfer koşullarında depolanması. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 28(2), 71-76.
- Kuzucu, F. C., & Aydın, M. N. (2014). 1-Methylcyclopropane Uygulamalarının ve Farklı Depolama Sıcaklıklarının “Fuji Kiku” Elma Çeşidinin Meyve Kalitesine Etkileri. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2(1), 101-108.
- Motalebipour, E. Z., Coban, N., Khodaeiaminjan, M., Guney, M., Ozongun, S., Atay, N., & Kafkas, S. (2015). Development Of BAC-End based simple sequence repeat (SSR) markers in apple. *Ekin Journal of Crop Breeding and Genetics*, 1(2), 84-92.
- Onursal, C. E., & Koyuncu, M. A. (2023). Scarlet Spur Elma Çeşidinde Farklı Olgunluk Aşaması ve Depolama Sistemlerinin Yüzeysel Kabuk Yanıklığı ve Duyusal Kalite Üzerine Etkileri. *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 33(1), 76-87.
- Onursal, C. E., Erbaş, D., & Koyuncu, M. A. (2015). Eğirdir Koşullarında Yetiştirilen Pink Lady Elma Çeşidinde Farklı Atmosfer Bileşimlerinin Depolama Boyunca Meyve Kalitesine Etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2), 179-183.
- Önal, İ. K., & Güney, M. (2025). Evaluation of genetic diversity and population structure of Central Anatolian apple (*Malus domestica*) genotypes. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 72, 123-139.
- Özcan, M. (2012). Meyvelerde derim, muhafaza ve pazarlama. Gerçekçioğlu, R., Bilginer Ş., Soylu, A. (Ed), Genel Meyvecilik: Meyve Yetiştiriciliğinin Esasları, 457-486. Gözden Geçirilmiş 3. Basım, Nobel, Ankara, 486 s.
- Özcan, M. (2020). Ürün muhafazası ve pazarlama. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Ders Notu, Samsun, 100 s.
- Sabır, F. K., Yiğit, F., & Taşkın, S. (2013). Fuji elma çeşidinde salisilik asit uygulamalarının soğukta depolama süresince kaliteye olan etkileri. *Alatırım*, 12(1), 19-25.
- Saraçoğlu, O., Kalkışım, Ö., Çekiç, Ç., & Özgen, M. (2011). Yomra’ve ‘Granny Smith’elma çeşitlerinin modifiye atmosfer koşullarında

- muhafaza edilebilirliğinin karşılaştırılması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1, 40-46.
- Song, J., & Bangerth, F. (1996). The effect of harvest date on aroma compound production from 'Golden Delicious' apple fruit and relationship to respiration and ethylene production. *Postharvest Biology and Technology*, 8(4), 259-269.
- Şen, F., İslam, A., Koç, S., & Karaçalı, İ. (2009). Elmada Fizyolojik Bozukluklar. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, (1), 121-126.
- Tekkanat, D. N., & Koyuncu, M. A. (2024). Derim Sonrası Oksin, 1-Metilsiklopropen ve 1-N-Naftilfitalamik Asit Uygulamalarının 'Golden Delicious' Elma Çeşidinde Depolama Boyunca Meyve Kalitesi Üzerine Etkisi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 39(2), 291-310.
- Thompson, A. K. (2015). Fruit and vegetables harvesting, handling and storage. Third Edition, Volume I (Introduction and Fruit), John Wiley & Sons, Ltd, UK, 552 p.
- TS Elma (2007, Ocak). Türk Standardı, Elma, TS 100, ICS 67.080.10, Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr> > eskiler > 2007/02
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) (2025). Bitkisel üretim istatistikleri, Erişim Adresi: <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>
- Vanoli, M., Eccher Zerbini, P., Grassi, M., & Rizzolo, A. (2009, April). Ethylene production and quality in 1-methylcyclopropene treated 'Abbé fétel' pears after storage in dynamically controlled atmosphere. In X International Controlled and Modified Atmosphere Research Conference 876 (pp. 31-38).
- Yalav, F., & Kaynaş, K. (2018). Pink Lady Elma Çeşidinde Hasat Sonrası 1-Methylcyclopropene Uygulaması ve Dinamik Atmosferde Depolamanın Uzun Dönem Depolamada Kaliteye Olan Etkileri. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG)*, 35(Ek Sayı), 1-7.

BÖLÜM XI

ELMA YETİŞTİRİCİLİğİNDE TEKNOLOJİK YAKLAŞIMLAR

Dr. Adil Koray YILDIZ ¹

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18107927>

¹ Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakóltesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendislięi Bölümü Yozgat, Türkiye. adilkorayyildiz@gmail.com,
Orcid ID: 0000-0002-6472-5276

1. GİRİş

Elma (*Malus domestica Borkh.*), dünya çapında en yaygın olarak yetiştirilen ve ekonomik açıdan en önemli meyve türleri arasında yer alır ve yıl boyunca hem taze hem de işlenmiş ürün pazarlarına hitap eder. Uluslararası nemi, sadece önemli üretim seviyeleri ve tüketiciler eğilimleri ile değil, aynı zamanda farklı kültür eşitleri, yetiştirme koşulları ve dağıtım ağları ile de korunmaktadır. Hassas tarım, dijital algılama ve otomasyon gibi son teknolojik gelişmeler, meyve bahçesi yönetim sistemlerini önemli ölçüde dönüştürerek elma yetiştiriciliğini geleneksel, emek yoğun bir uygulamadan veri odaklı, teknoloji entegre bir işletmeye dönüştürmüştür (Haqıq vd., 2024). Yüksek znrlkl 3D haritalama, yapay zekâ destekli izleme ve otomatik mahsul yönetimi gibi bu gelişmeler, meyve bahçelerinin düşük teknolojik üretim birimleri olduğu şeklindeki geleneksel görüşe meydan okumuştur (Sekharamanry vd., 2024).

Tarihsel olarak, elma yetiştiriciliği uzun ağaçlar, seyrek dikim yoğunluğu ve fiziksel işgücüne ve çiftçilerin deneyimsel uzmanlığına önemli ölçüde bağımlı olan geniş meyve bahçelerine dayanıyordu. Bu geleneksel paradigma, belirli iklimsel ve sosyoekonomik koşullar altında gelişmiştir, ancak günümüzde artan işgücü maliyetleri, pazar rekabeti, iklim değişkenliği ve sürdürülebilirlik talepleri nedeniyle giderek daha fazla sınırlanmaktadır. İşletmeler, yüksek yoğunluklu dikim yöntemlerine, hassas yönetim yaklaşımlarına, verimliliği ve dayanıklılığı artıran dijital teknolojilerin kullanımına geçmiştir (Gallardo vd., 2019). Budama ve mahsul izleme sistemleri dahil olmak üzere otonom ve

robotik teknolojiler, işgücü bağımsızlığını ve meyve bahçelerinin tekdüzeliğini artırmaktadır (Navone ve Martini, 2025).

Bu bölüm, tarla düzeyinde algılama, hassas yönetim, mekanizasyon ve veriye dayalı karar vermeyi kapsayan, çağdaş elma yetiştiriciliğini etkileyen temel teknik metodolojileri tanımlamayı ve eleştirel olarak değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, dijital meyve bahçesi yönetimindeki gelişmeler ve çevresel etkiyi azaltırken verimliliği artırmak için tasarlanmış sürdürülebilirlik odaklı çözümlerle de ilgilidir. Bu bölüm, meyve bahçesi performansını iyileştirmede teknolojinin önemli rolünü vurgulayarak, kitapta daha önceki bölümlerde ele alınan çeşit seçimi, beslenme, zararlı ve hastalık yönetimi, sulama ve hasat sonrası işlemleri daha da zenginleştirmektedir (Lauri vd. ., 2020).

2. ELMA YETİŞTİRİCİLİĞİNDE TEKNOLOJİNİN ÖNEMLİ ETKİSİ

2.1. GELENEKSEL YAKLAŞIMLARIN KISITLAMALARI

Tarihsel olarak, geleneksel elma bahçeleri, sağlam anaçlara aşılanmış, aralıkları geniş, devasa ağaçlarla tanımlanmıştır ve bu da yönetilmesi zor geniş taçlara neden olmaktadır. Budama, seyreltme, zararlı yönetimi ve hasat gibi temel bahçe faaliyetleri manuel olarak gerçekleştirilmekte olup, bu da önemli miktarda mevsimlik işgücü gerektirmekte ve işçilerin fiziksel dayanıklılığına ve pratik becerilerine büyük ölçüde bağlı olmaktadır. Bu sistemlerde karar verme, tarihsel olarak nicel, veriye dayalı analiz yerine görsel inceleme ve deneyimsel bilgiye dayanmaktadır. Bu sezgiye bağımlılık, bahçelerdeki bölgesel

değişkenliğe göre yönetim tekniklerini değiştirme yeteneğini kısıtlamakta ve modern algılama veya otomasyon teknolojilerinin kullanılmasına engel olmaktadır (Zhang vd., 2022). Geniş ağaç gölgelikleri ile karakterize edilen geleneksel meyve bahçelerinin yapısal karmaşıklığı, mekanizasyona pratik engeller oluşturarak, çağdaş meyve bahçesi yönetimi için gerekli olan LiDAR ve İHA tabanlı gölgelik ölçüm sistemleri gibi hassas aletlerin uygulanmasını engellemektedir (Mahmud vd., 2021).

Bu yapısal ve operasyonel özellikler, mevcut sosyoekonomik ve iklim koşulları göz önüne alındığında, önemli üretim kısıtlamalarına neden olmaktadır. Verim ve meyve kalitesi, çeşitli taç yapıları, düzensiz ışık alımı ve tarımsal faaliyetlerin değişken zamanlaması nedeniyle mevsim içinde ve mevsimler arasında sıklıkla önemli ölçüde dalgalanmaktadır. Artan işçilik maliyetleri ve vasıflı işgücünün dönemsel eksikliği, geleneksel meyve bahçesi sistemlerinin ekonomik kırılganlığını artırmaktadır (Navone ve Martini, 2025). Ayrıca, bu geleneksel sistemler, artan iklim değişkenliği, don, kuraklık ve sıcak dalgaları gibi abiyotik zorlukların artan sıklığıyla başa çıkmak için yeterince hazırlıklı değildir. Sınırlı esneklikleri, zararlı ve hastalık salgınları gibi biyotik streslere hızlı tepki vermeyi de engellemektedir. Bu kısıtlamalar, toplu olarak üretim verimliliğini azaltmakta ve çağdaş tarımda geleneksel elma bahçelerinin rekabet gücünü, sürdürülebilirliğini ve dayanıklılığını sınırlamaktadır (Gallardo vd., 2019).

2.2. TEKNOLOJİNİN VERİMLİLİK, KALİTE VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Gelişmiş sensörler, otomasyon teknolojileri, veri analitiği ve kontrollü ortam sistemlerinin uygulanması, elma bahçelerinin üretim potansiyelini kökten değiştirmiştir. Hassas tarım, toprak ve bitki sensörleri, otomatik sulama-gübreleme ve değişken oranlı püskürtme sistemlerini bir araya getirerek, girdi ve çıktıları uzamsal ve zamansal olarak optimize eder ve böylece su, besin maddeleri ve pestisitlerin pazarlanabilir verime dönüştürülme verimliliğini artırır (Lu vd., 2022). Bu çözümler, sürdürülebilirlik hedeflerine uygun olarak, besin maddelerinin sızması ve kimyasal atıklar gibi çevresel dışsallıkları azaltırken üretimi artırmaktadır (Panotra vd., 2024). Akıllı sensörlerin ve Nesnelerin İnterneti (IoT) sistemlerinin kullanılması, toprak nemi, sıcaklık ve mahsul stresinin sürekli izlenmesini kolaylaştırarak, verim tutarlılığını ve kalitesini artıran uyarlanabilir yönetimi mümkün kılmaktadır (Mansoor vd., 2025). Veriye dayalı karar verme, seyreltme, zararlı yönetimi ve hasat gibi işlemler için en uygun zamanlamayı mümkün kılar ve bu da meyve boyut dağılımının, renginin ve iç kalitesinin iyileşmesine yol açar (Gallardo vd., 2019). Bu gelişmeler, teknolojinin ekonomik performansı iyileştirirken çevresel etkiyi nasıl en aza indirebileceğini ve böylece elma üretim sistemlerinin sürdürülebilirliğinin nasıl güçlendirebileceğini toplu olarak göstermektedir (Balafoutis vd., 2017).

Elma yetiştiriciliğinde, hasat sonrası teknolojisi, tedarik zinciri boyunca verimliliği ve kaliteyi sürdürmek için gereklidir. Kontrollü atmosfer (CA) ve ultra düşük oksijen (ULO) depolama sistemleri,

sıcaklık, nem ve etilenin hassas yönetimi ile birlikte meyvenin sertliğini, lezzetini ve rengini uzun süre korumayı kolaylaştırır (Escribà-Gelonch vd., 2024). Bu teknolojiler, çiftçilerin hasat zamanını pazar talebinden ayırmalarını sağlayarak, fiyatları istikrarlı hale getirirken yıl boyunca tutarlı bir elma arzını garanti eder. Ayrıca, hasat sonrası teknolojisinin dijital izlenebilirlik ve “dijital ikiz” modelleriyle birleştirilmesi, parti düzeyinde depolama koşullarının izlenmesini ve doğrulanmasını kolaylaştırarak şeffaflığı ve gıda güvenliği gerekliliklerine uyumu artırır (Soussi vd., 2024). Hassas tarım ve hasat sonrası yönetimin entegrasyonu, dünya çapındaki elma üretim sistemlerinde sürdürülebilir yoğunlaştırma ve kalite güvencesi açısından önemli bir ilerleme anlamına gelmektedir (Hoque ve Padhiary, 2024).

2.3. TEKNOLOJİYE UYGUN MEYVE BAHÇESİ MİMARİSİNİN YENİDEN KAVRAMSALLAŞTIRILMASI

Çağdaş teknik yöntemler, elma bahçesi tasarımında devrim yaratarak, düşük yoğunluklu, serbest duran ağaçlardan, bodur veya yarı bodur anaçlar kullanan yüksek yoğunluklu dikim planlarına geçiş yapılmasını sağlamıştır. Ağaçlar şu anda, genellikle kafes sistemleriyle desteklenen ince iğ, uzun iğ veya düz meyve duvarları dahil olmak üzere dar, dikey yönelimli gölgelik oluşumları halinde yetiştirilmektedir. Bu tasarımlar ışık alımını optimize eder, meyvelerin homojenliğini artırır ve yüksek verimliliği sürdürürken vejetatif büyümeyi üstün bir şekilde kontrol etmeyi sağlar (Robinson ve Lakso, 1991). Dahası, bu organize yapılar mekanizasyon, otomasyon ve robotik faaliyetler için uygun, güvenilir bir gölgelik ortamı yaratarak meyve bahçesini hassas

mühendislik ürünü bir üretim sistemine dönüştürür (Lordan vd., 2018). Işık toplama ve gölgelik yapısının ayarlanması, enerji dağılımını ve kaynak kullanım verimliliğini dengeleyerek hem üretkenliği hem de sürdürülebilirliği artırır (Ferree, 1980).

Robotik ve mekanizasyona uyum sağlamak için meyve bahçesi mimarisini tasarlamak, ağaç yüksekliği, sıra aralığı, sıra içi aralık ve yönelim gibi uzamsal ve geometrik özelliklerin titizlikle dikkate alınmasını gerektirir. Ağaçların yüksekliği, mekanize platformların ve robotik hasat makinelerinin çalışma sınırları içinde kalmalı, sıra aralıkları ise yoğunluğu feda etmeden makinelerin etkili bir şekilde hareket etmesine izin vermelidir. Tepe örtüsünün kalınlığı ve homojenliği, püskürtme penetrasyonunu, sensör görünürlüğünü ve meyve tanıma ve izlemede makine görüşünün doğruluğunu doğrudan etkiler (Fallahi vd., 2020). Sıra yönü ışık dağılımını etkiler ve taç görüntülemede kullanılan optik sensörlerin ve LiDAR sistemlerinin performansını değiştirebilir (Karim vd., 2024). Meyve bahçesi yapımı ve yenilenmesi sırasında bu teknik ve mühendislik faktörlerini entegre ederek, yetiştiriciler otomasyon ve hassas yönetim için özünde tasarlanmış sistemler oluşturabilir ve böylece gelecekteki üretim bağlamlarında verimlilik ve uyarlanabilirlik sağlayabilir (Xiong vd., 2022).

3. ELMA BAHÇELERİNDE HASSAS TARIM VE AKILLI SİSTEMLER

3.1. HASSAS YÖNETİM İÇİN TOPRAK VE BİTKİ SENSÖRLERİ

Elma bahçelerindeki toprak sensörleri, hacimsel su içeriği, matrik potansiyeli, sıcaklık, elektriksel iletkenlik ve besin konsantrasyonları gibi temel kök bölgesi özelliklerinin sürekli veya aralıklı olarak izlenmesini sağlar. Bu veriler, toprak nemi dinamikleri ve tuzluluk hakkında mekânsal olarak açık bilgiler sunarak, yetiştiricilerin kuraklık stresi, su basması veya aşırı sızıntıya maruz kalan alanları tespit etmelerini sağlar. Toprak sensörü verilerinin otomatik sulama sistemleri ve karar destek araçlarıyla entegre edilmesi, bireysel toprak özelliklerine göre özelleştirilmiş sulama zamanlamasının doğru bir şekilde yapılmasını sağlar ve böylece besin tükenmesine veya hipoksiye neden olabilecek aşırı sulamayı azaltır (Marković vd., 2024). Sensör tabanlı sulama sistemleri, toprak nemi seviyeleri ve tuzluluk dalgalanmaları hakkında gerçek zamanlı veriler sağlayarak üretim istikrarını artırırken, %50'ye varan su tasarrufu sağlayabilir (Sharma, 2021). Ayrıca, toprak nemine dayalı sulama planlamasının uygulanması, su tüketimi verimliliğini ve kök sistemi canlılığını artırarak, çeşitli meyve bahçesi topraklarında daha tutarlı bir verimlilik sağlar (Jiang ve He, 2021).

Bitki tabanlı sensörler, ağaçların çevresel ve yönetim faktörlerine verdiği fizyolojik tepkileri doğrudan ölçerek bu sistemleri geliştirir. Gövde apı dalgalanmalarını ve özsu akışını ölçen aletler, günlük büzüleme ve genişleme döngülerinin gösterdiği su durumundaki

değişiklikleri tespit edebilir (Wheeler vd., 2023). Kızılötesi termografi ve mikro tansiyometreler, taç sıcaklığını ve gövde su potansiyelini izlemek için giderek daha fazla kullanılmaktadır ve ağaç stresi ve terleme dinamikleri hakkında hassas göstergeler sunmaktadır (Blanco ve Kalcsits, 2024). Bu bitki bazlı ölçümleri çevre ve toprak verileriyle birleştirerek, yetiştiriciler dış iklim sinyallerinden ziyade ağaçların fizyolojik gereksinimlerini ön plana çıkaran uyarlanabilir sulama yöntemleri geliştirebilir ve böylece su verimliliğini ve meyve bahçelerinin uzun vadeli dayanıklılığını artırabilirler (Chen vd., 2024).

3.2. İKLİM GÖZETİMİ, DON VE TERMAL STRESİN AZALTILMASI

Elma bahçelerindeki mikro iklim izleme istasyonları genellikle hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı ve yönü, güneş radyasyonu ve bazen de yaprak nemi ve yağışları değerlendirir. Topografya, bitki örtüsü ve toprak özellikleri nedeniyle çevresel değişkenler kısa mesafelerde belirgin şekilde dalgalanabileceğinden, yerel veri toplama, tek tek bahçe blokları içindeki mikro iklim risklerini anlamak için çok önemlidir. Sürekli iklim verileri, fenolojik gelişimi ve stres tepkilerini tahmin etmek için kritik öneme sahip soğuk birikimi, artan derece saatleri ve buhar basıncı açığı gibi temel agroklimatik endekslerin hesaplanmasını destekler. Bu hedefli izleme, uyarlanabilir yönetimi kolaylaştırarak, yetiştiricilerin çiçeklenme, meyve tutumu ve olgunlaşma gibi kritik aşamaları tahmin etmelerini ve aynı zamanda öngörülen abiyotik zorluklara hazırlanmalarını sağlar (Sremac vd., 2021).

Don uyarı sistemleri, mikroklima verilerini tahmin modelleriyle birleştirerek yaklaşan radyasyon veya advectif don olaylarını belirler ve sıcaklık düşüşlerinin yoğunluğunu ve süresini tahmin eder. Belirlenen eşiklere ulaşıldığında, üstten yağmurlama sistemleri, rüzgâr makineleri veya ısıtıcılar gibi koruyucu sistemleri devreye sokmak için uyarılar başlatılır. Güncel metodolojiler, UAV tabanlı termal görüntüleme ve makine öğrenimi algoritmalarını kullanarak, doğru, bölgeye özgü don tahminleri ve ısıtma ihtiyacı haritaları oluşturur ve böylece don koruma etkinliğini artırır (Yuan ve Choi, 202; Noh vd., 2021). İklim değişikliği nedeniyle stratejik don kontrolü giderek daha önemli hale gelmiştir, çünkü modeller, çiçeklenme zamanlaması ve soğuk hava kütlesi modellerindeki değişikliklerin sonucu olarak ısınan bölgelerde devam eden don risklerini tahmin etmektedir.

Yüksek sıcaklık ve yoğun güneş ışıınımı koşullarında, ısı stresinin yönetimi zorunlu hale gelmektedir. Akıllı telefonlara entegre meyve yüzey sıcaklığı sensörleri ve termal görüntüleme gibi gerçek zamanlı izleme araçları, güneş yanığı riskinin erken tespitini kolaylaştırır ve önleyici stratejilerin derhal uygulanmasına olanak tanır (Wang vd., 2020). Evaporatif soğutma, ara sıra sisleme ve gölge ağları gibi hafifletici önlemler, uygun meyve sıcaklığının korunmasına ve kalite bozulmasının azaltılmasına yardımcı olur. Son araştırmalar, orta ila yüksek gölge seviyelerinin (%28-%50) ısı yükünü sürdürülebilir bir şekilde azaltabileceğini, bitkilerin hidrasyon durumunu iyileştirebileceğini ve verimi olumsuz etkilemeden meyve rengini ve sertliğini koruyabileceğini göstermektedir (Boini vd., 2021; Boini vd.,

2022). Mikro iklim izleme ile uyarlanabilir müdahalelerin entegrasyonu, çağdaş elma bahçelerinde don ve ısı stresini yönetmek için sağlam bir temel oluşturur.

3.3. UZAKTAN ALGILAMA: UYDU, İHA VE YAKIN GÖRÜNTÜLEME

Multi spektral uydu veya hava fotoğrafçılığından elde edilen Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) ve Normalize Edilmiş Kırmızı Kenar İndeksi (NDRE) gibi bitki örtüsü indeksleri, elma bahçelerindeki bitki örtüsünün canlılığını ve sağlığını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu indeksler, klorofil konsantrasyonu, bitki örtüsü yoğunluğu ve fotosentetik aktivitedeki değişiklikleri değerlendirerek bitki sağlığı ve verimliliği hakkında dolaylı ancak güvenilir göstergeler sağlar. NDVI ve NDRE'deki coğrafi farklılıkları haritalamak, yetiştiricilerin besin eksikliği, su stresi veya hastalıkları gösterebilecek canlılık kaybı olan alanları tespit etmelerini sağlar. Tekrarlanan görüntüleme, zamansal analiz yapılmasına olanak tanıyarak müdahalenin etkinliğinin ve bahçenin sağlığının mevsimsel gelişiminin değerlendirilmesine yardımcı olur (Li vd., 2022).

Multi spektral veya hiperspektral sensörlerle donatılmış insansız hava araçları (İHA'lar), tek tek ağaç veya gölgelik sektörü düzeyinde değişiklikleri tespit edebilen yüksek çözünürlüklü uzamsal veriler sağlar. Bu yöntemler, gölgelik boşlukları, eksik ağaçlar ve su veya besin stresi yaşayan alanlar dahil olmak üzere yapısal ve fizyolojik tutarsızlıkların tanımlanmasını sağlar ve böylece hedeflenen müdahaleler için yönetim bölgelerinin sınırlarının belirlenmesine yardımcı olur. Traktörlere veya

sabit platformlara takılan yakın görüntüleme sistemleri, bu gözlemleri geliştirerek çiçek tanıma, meyve yükü hesaplama ve taç geometrisi modelleme gibi uygulamaları kolaylaştıran karmaşık RGB veya multispektral görüntüler üretir. İHA ve yakın algılama sistemlerinin birleştirilmesi, bölgeye özgü meyve bahçesi yönetimini geliştirerek kaynak dağılımını ve genel üretim verimliliğini optimize eder (Sun vd., 2020).

3.4. HASSAS SULAMA VE GÜBRELEME SİSTEMLERİ

Damla sulama ve mikro yağmurlama sulama teknolojileri, elma bahçelerinde hassas su kontrolü için temel çerçeveyi oluşturur. Bu teknolojiler, buharlaşma kayıplarını azaltır ve düzenlenmiş, düşük akış hızlarında suyu doğrudan kök bölgesine sağlayarak, mahsulün evapotranspirasyonuna uygun sık ve hassas sulamalar sağlar. Bahçeleri, her biri toprak nem sensörleri ve otomatik vanalarla donatılmış, özerk olarak yönetilen hidrolik bölgelere ayırmak, yetiştiricilerin toprak bileşimi, arazi ve bitki verimliliğine göre sulama programını iyileştirmelerini sağlar. Gerçek zamanlı sensör verilerini, meteorolojik bilgileri ve mahsul modellerini içeren otomatik kontrolörler, ağaç sağlığını korumak ve su kullanım verimliliğini artırmak için sulama sıklığını ve süresini dinamik olarak değiştirebilir (Lu vd., 2022).

Bu mikro sulama çerçevelerine entegre edilen gübreleme sistemleri, sulama suyu yoluyla besin maddelerinin uygulanmasını kolaylaştırarak, rizosfere doğrudan ve doğru bir şekilde ulaştırılmasını sağlar. Bu teknik, vejetatif büyüme, meyve tutumu ve olgunlaşma gibi fenolojik aşamalara uygun olarak kısa ve sık uygulamalarla gübre

vererek azot emilim verimliliğini artırır ve çevresel kayıpları azaltır. Gelişmiş hassas sistemlerde, gübreleme oranları toprak ve doku testleri, verim hedefleri ve uzaktan tespit edilen taç besin durumu göstergelerine göre dinamik olarak değiştirilir. Bu uyarlanabilir yönetim, elma üretiminin ekolojik ayak izini en aza indirirken meyve kalitesini ve meyve bahçesinin sürdürülebilirliğini artırır (Mansoor vd., 2025).

4. MEKANİZASYON, ROBOTİK VE OTOMASYON

4.1. ÖZEL MEKANİZASYON: PLATFORMLAR, BUDAMA VE SEYRELTME EKİPMANLARI

Kendinden tahrikli veya traktörle çekilen çalışma platformları, çağdaş yüksek yoğunluklu elma bahçelerinde mekanizasyonun temel unsurlarıdır. Bu platformlar, budama, taç eğitimi, seyreltme ve hasat gibi kritik görevleri yerine getirmek için esnek çalışma yükseklikleri ve istikrarlı çalışma alanları sağlar. Geleneksel merdiven tabanlı operasyonlarla karşılaştırıldığında, ergonomiyi önemli ölçüde artırır, yorgunluğu azaltır ve işçi güvenliğini iyileştirir. Bazı modern platformlar, konveyörler veya kutu taşıma sistemleri kullanarak manuel meyve işleminin fiziksel yükünü hafifletir. Platformlar, birçok operatörün ağaç sıraları boyunca aynı anda çalışmasını sağlayarak işgücü verimliliğini artırır ve zamana duyarlı faaliyetler için gereken süreyi azaltır. Bu, sınırlı fenolojik pencereler içinde bahçe verimini sürdürmek için çok önemlidir (Zhang ve Heinemann, 2017).

Mekanik ve yarı mekanik budama ve inceltme teknikleri, meyve bahçelerinin mekanizasyonunun kapsamını genişletir. Çit kesme makineleri, tepe budama makineleri ve ip incelticiler artık düz kanopi

yapılarını şekillendirmek ve sürdürmek için rutin olarak kullanılır, bu da manuel budama gereksinimlerini azaltır ve tutarlı mahsul yükü yönetimini mümkün kılar. Etkili bir şekilde birleştirildiğinde, mekanik ve kimyasal inceltme meyve boyutunu artırır ve işgücüne olan bağımlılığı azaltır. Genellikle makine görüşü ve sensör teknolojileri tarafından yönlendirilen otomatik budama ve çiçek seyreltme sistemlerindeki son gelişmeler, taç değerlendirme ve karar verme konusunda önemli bir hassasiyet sergilemiş ve robotik operasyonlara geçişi kolaylaştırmıştır (Zhang vd., 2016). Bu mekanizasyon, verimliliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda meyve bahçesi sistemlerinde gelecekteki otomasyon ve robotik için teknolojik bir temel oluşturur.

4.2. AKILLI PÜSKÜRTME SİSTEMLERİ VE HASSAS KİMYASAL UYGULAMA

Akıllı püskürtme sistemleri, geleneksel püskürtme ekipmanını gerçek zamanlı algılama teknolojisi ve uyarlanabilir kontrol algoritmalarıyla birleştirerek püskürtme çıkışını bitki örtüsü özelliklerine göre değiştirir. Ultrasonik, LiDAR ve kamera tabanlı sensörler, püskürtücü sıra boyunca ilerlerken elma bitki örtüsünün boyutlarını, yoğunluğunu ve konfigürasyonunu belirler, nozulları otomatik olarak etkinleştirir veya devre dışı bırakır ve püskürtme parametrelerini buna göre ayarlar. Akış hızı, püskürtme basıncı ve damlacık boyutunun gerçek zamanlı olarak ayarlanması, pestisitlerin veya büyüme düzenleyicilerin hassas bir şekilde uygulanmasını garanti eder, birikim verimliliğini ve biyolojik etkinliği artırırken israfı azaltır (Gu vd., 2025).

Akıllı püskürtme sistemleri, püskürtme dağıtımını bitki örtüsünün hacmi ve yapısı ile uyumlu hale getirerek pestisit kullanımını, püskürtme sapmasını ve çevre kirliliğini önemli ölçüde azaltır. Araştırmalar, LiDAR tabanlı bitki örtüsü algılama teknolojisini kullanan hava destekli hassas püskürtücülerinin, yaprak yüzeylerinin yeterli şekilde kaplanmasını sağlarken püskürtme sapmasını %50'den fazla azaltabildiğini göstermiştir. Bu azalmalar, girdi maliyetlerinin düşmesine, operatörlerin maruz kalma riskinin azalmasına ve çevresel sonuçların iyileşmesine yol açar. Ayrıca, entegre izleme ve veri kaydetme sistemleri, yetiştiricilerin tarımsal en iyi uygulamalara ve sürdürülebilirlik sertifikalarına uygunluk için uygulama modellerini izlemelerine olanak tanır ve hassas püskürtmeyi çağdaş elma üretiminde hem ekonomik hem de ekolojik verimlilik için çok önemli bir teknoloji haline getirir (Gu vd., 2025).

4.3. ROBOTİK HASAT VE YARDIMCI HASAT SİSTEMLERİ

Robotik elma hasat sistemleri, karmaşık meyve bahçesi ortamlarında verimli bir şekilde çalışmak için giderek daha fazla sofistike algılama ve manipülasyon teknolojisine bağımlı hale gelmektedir. Bu sistemler, RGB-D veya multispektral görüntüleme yoluyla meyveleri tanımak ve konumlandırmak için derin öğrenme tabanlı bilgisayar görme algoritmaları kullanır ve değişken aydınlatma koşulları ve kısmi engellere rağmen elmaların hassas bir şekilde algılanmasını kolaylaştırır. Meyveyi bulduktan sonra, vakum tabanlı veya yumuşak kısıpçılarla donatılmış robotik manipülatörler hassas hasat

işlemlerini gerçekleştirerek meyvelerin ezilmesini veya zarar görmesini azaltır. Son araştırmalar, çağdaş robotik hasat makinelerinin iyi organize edilmiş ağaçlarda %80'in üzerinde hasat başarı oranlarına ulaşabildiğini göstermektedir, bu da ticari uygulanabilirlik yönünde önemli bir ilerleme olduğunu göstermektedir (Zhang vd., 2023).

Şu anda, çok sayıda ticari meyve bahçesi, tam otomasyona geçiş aşaması olarak hasat destek sistemlerini kullanmaktadır. Bu sistemler, konveyörler, vakum destekli toplama sistemleri ve işçi verimliliğini artırırken fiziksel zorlanmayı en aza indiren otomatik kutu doldurucular içeren yarı otomatik platformlardan oluşur. Bu teknolojiler, insan işçileri tamamen ikame etmeden işgücü dağılımını iyileştirir ve meyve elleçlemeyle ilişkili yaralanmaları azaltır. Ekonomik değerlendirmeler, tamamen otonom robotik sistemlerin gelişimi daha geniş bir uygulamaya doğru ilerlerken, insan becerisini kısmi otomasyonla entegre eden hibrit sistemlerin kısa ve orta vadede en avantajlı yatırım getirisi sağladığını göstermektedir (Yi ve Mhamed, 2024).

4.4. DEĞERLENDİRME, SINIFLANDIRMA VE PAKETLEME SÜREÇLERİNDE OTOMASYON

Elma paketlenme tesislerindeki optik-elektronik sınıflandırma ve ayırma sistemleri, hasat sonrası otomasyonun son derece sofistike bir türünü örneklemektedir. Elmalar, konveyör bantları üzerinde ilerlerken multispektral ve hiperspektral kameralar tarafından döndürülerek incelenir ve karmaşık görsel ve spektral veriler yakalanır. Bu görüntüleme teknolojileri, her meyvenin boyutları, rengi, şekli, yüzey kusurları ve çözünür katı madde içeriği (SSC) gibi dış ve iç özelliklerini

değerlendirir ve elmaları belirlenen kalite kriterlerine göre sınıflandırır. Görsel ve yakın kızılötesi (Vis–NIR) spektroskopinin makine öğrenimi algoritmalarıyla birleştirilmesi, dış görünüm ve iç kalitenin eşzamanlı değerlendirilmesini kolaylaştırarak, insan önyargısını azaltırken yüksek verimde tek tip sınıflandırma etkinliğini garanti eder (Yu vd., 2024).

Sınıflandırmanın yanı sıra, operasyonel verimliliği ve izlenebilirliği artırmak için paketleme ve lojistikte robotik ve otomatik teknolojiler giderek daha fazla kullanılmaktadır. Otomatik paketleyiciler ve robotik paletleyiciler, elmaları konteynırlara yerleştirir, dijital izlenebilirlik sistemleriyle ilişkili etiketleri yapıştırır ve nakliye stabilitesi için ideal konfigürasyonlara göre kartonları düzenler. Bu entegre sistemler her eylemi belgeler, hasat sonrası verileri bahçe düzeyindeki kayıtlarla ilişkilendirerek tedarik zinciri genelinde şeffaflık, uyumluluk ve kalite güvencesi sağlar. Otomasyondaki bu gelişmeler, emek yoğun süreçleri iyileştirir, fiziksel yükü hafifletir, hataları azaltır ve gelişmiş kaynak ve veri yönetimi yoluyla sürdürülebilirliği teşvik eder (Peng vd., 2023).

5. VERİYE DAYALI YÖNETİM: NESNELERİN İNTERNETİ, YAPAY ZEKÂ VE TAHMİNİ DAYALI MODELLEME

5.1. ELMA BAHÇELERİNDE SENSÖR AĞLARI VE NESNELERİN İNTERNETİ (IoT)

Nesnelerin İnterneti (IoT) çerçevesi içinde, elma bahçelerine yerleştirilmiş dağınık sensörler ve cihazlar, sürekli veri toplama ve iletişim için birbirine bağlı bir ağ sağlar. Toprak nemi problemleri,

meteoroloji istasyonları, botanik sensörleri, akış ölçerler ve ekipmanlara monte edilmiş cihazlar, LoRa, ZigBee veya Wi-Fi gibi kablosuz protokollerle yerel ağ geçitlerine aktarılan önemli miktarda gerçek zamanlı veri sağlar. Bu ağ geçitleri, verileri analiz ve görüntüleme için buluta veya sahadaki bilgisayarlara iletmeden önce birleştirir ve analiz eder. Ağ tasarımı, meyve bahçesi yönetimi kararları için ilgili içgörüler sağlamak üzere iletişim menzili, enerji verimliliği, veri aktarım hızı ve güvenilirlik arasında denge sağlamalıdır. Bu entegrasyon, üreticilerin çevresel ve fizyolojik göstergeleri sürekli olarak izlemelerine olanak tanır ve böylece üretimi ve kaynak verimliliğini artıran, veriye dayalı müdahaleler yapılabilir (Jamshidi vd., 2024).

Sensör verilerini yararlı içgörülere dönüştürmek için standardizasyon ve sistematik veri yönetimi gereklidir. Toprak ve hava parametreleri, operasyonel kayıtlar ve mahsul performans ölçümleri dahil olmak üzere çeşitli veri kaynakları, sensör kalibrasyonu ve konumu ile ilgili tutarlı meta verilerle birlikte standartlaştırılmış formatlara entegre edilmelidir. Merkezi bulut veri tabanları ve IoT özellikli gösterge panelleri, yetiştiricilerin gerçek zamanlı ve geçmiş verileri depolamasına, görüntülemesine ve analiz etmesine olanak tanıyarak uzun vadeli performans eğilimlerini ve yönetim etkilerini bulmalarını sağlar. Kapsamlı veri altyapılarının oluşturulması, izole sensör uygulamalarından tamamen entegre, akıllı meyve bahçesi yönetim sistemlerine geçişi kolaylaştırarak izlenebilirliği, sürdürülebilirliği ve hassas karar vermeyi geliştirir (Farooq vd., 2019).

5.2. VERİM VE KALİTE TAHMİNİ İÇİN MAKİNE ÖĞRENİMİ

Makine öğrenimi (ML) metodolojileri, karmaşık biyolojik ve çevresel etkileşimleri modellemek için birçok veri kaynağını kullanarak elma bahçelerinde verimlilik ve meyve kalitesini tahmin etmek için önemli araçlar olarak ortaya çıkmıştır. Meteorolojik veriler, edafik parametreler, uzaktan algılamadan elde edilen gölgelik indeksleri ve çiçek yoğunluğu, meyve tutumu ve vejetatif büyüme gibi sezon içi ölçütleri gibi girdiler, tahmine dayalı modelleme için bir temel oluşturur. Rastgele ormanlar, destek vektör makineleri (SVM), gradyan güçlendirme ve sinir ağları gibi algoritmalar, bu değişkenler arasındaki doğrusal olmayan korelasyonları etkili bir şekilde yakalar ve verim tahmin hassasiyetinde geleneksel regresyon modellerini sıklıkla geride bırakır. Bu tahmin çerçeveleri, yetiştiricilerin sezonun erken dönemlerinde verimi tahmin etmelerini sağlayarak işgücü dağılımı, pazarlama stratejileri, depolama lojistiği ve finansal risk yönetimi planlamasını geliştirir (Zhao vd., 2023).

Verimin yanı sıra, makine öğrenimi modelleri, hasat sonrası yönetim ve pazar farklılaşması için gerekli olan iç ve dış kalite özelliklerini tahmin etmek için giderek daha fazla kullanılmaktadır. Çeşitlilik, yönetim uygulamaları ve mikro iklim bilgileri gibi özellikler, çözünür katı madde içeriği, sertlik ve fizyolojik sorunların oluşumunu değerlendirmek için görüntüleme veya spektral verilerle entegre edilir. Kısmi en küçük kareler regresyonu ve destek vektör regresyonu gibi makine öğrenimi yöntemleriyle birleştirilen tahribatsız hiperspektral görüntüleme, sertlik, asitlik ve nem içeriği için iyi korelasyon katsayıları

ile depolama sırasında elma kalite özelliklerinin gerçek zamanlı tahminini kolaylaştırır. Bu tahmine dayalı algoritmalar, üretim sırasında hassas kontrolü kolaylaştırır ve çeşitli meyve partileri için uygun depolama süreleri ve pazar tahsisleri dahil olmak üzere hasat sonrası kararları optimize eder (Khaled vd., 2023).

5.3. RİSK AZALTIMI İÇİN İKLİM VE HASTALIK VERİLERİNİN DAHİL EDİLMESİ

İklim verileri, yerinde toplanmış veya tahmin modellerinden elde edilmiş olsun, elma bahçelerinde don, dolu, rüzgâr ve şiddetli sıcaklık gibi hava koşullarıyla ilgili riskleri değerlendirmek için çok önemlidir. Sıcaklık, nem, radyasyon ve rüzgâr verileri, çiçeklerin, meyvelerin veya yaprakların zarar görme riskini artıran durumları belirlemek için sıklıkla agroklimatik endekslere dönüştürülür. Minimum sıcaklık tahminlerinin fenolojik verilerle entegrasyonu, don hasarı olasılığının tahminini kolaylaştırırken, bölgesel dolu ve fırtına risk haritaları, ağların kullanımı ve sigorta poliçelerinde değişiklikler dahil olmak üzere koruyucu önlemlerin alınmasına rehberlik eder. Gelişmiş Risk Bilgi Sistemleri için Uzamsal Analitik Çerçeve (SAFARIS) ile örneklendirilen gelişmiş simülasyon çerçeveleri, yüksek riskli olayları tahmin etmek ve hızlı müdahaleler için bilgi sağlamak amacıyla gerçek zamanlı iklim verilerini zararlı ve hastalık modelleriyle entegre etmenin etkinliğini göstermektedir (Takeuchi vd., 2023).

İklim değişkenlerinden etkilenen öngörücü ve fenolojik modeller, zararlı ve hastalık yönetiminde önemli meyve bahçesi patojenleri ve zararlıları için enfeksiyon baskısını ve yaşam döngüsü olaylarının

zamanlamasını değerlendirir. SOPRA gibi sistemler, önemli elma zararlılarının ortaya çıkışını tahmin etmek için sıcaklık ve yaprak nemi verilerini kullanır, böylece daha hassas kontrol önlemleri ve püskürtme zamanının optimizasyonu kolaylaşır. Son zamanlarda, iklim-hastalık etkileşim modelleri, daha sıcak bölgelerde artan elma güvesi nesilleri ve artan ateş yanıklığı enfeksiyon riski dahil olmak üzere, olası iklim senaryoları altında zararlıların yaşam döngülerindeki değişiklikleri tahmin etmek için kullanılmaktadır. Bu entegre karar destek sistemleri, bitki korumanın doğruluğunu ve sürdürülebilirliğini artırarak, üretim ve meyve kalitesini korurken pestisit kullanımını azaltır (Hirschi vd., 2012).

5.4. KARAR DESTEK SİSTEMLERİ VE DİJİTAL İKİZ KONSEPTİ

Elma bahçesi yönetimindeki Karar Destek Sistemleri (DSS), çeşitli veri kaynaklarını, modelleri ve arayüzleri, üreticilerin bilinçli operasyonel ve stratejik kararlar almasına yardımcı olan platformlarda birleştirir. Bu sistemler, sensörlerden, meteorolojik verilerden ve agronomik modellerden gelen girdileri entegre ederek sulama, gübreleme, zararlı ve hastalık yönetimi ve hasat zamanlaması için öneriler üretir. Kullanıcılar, sezgisel gösterge panelleri aracılığıyla gerçek zamanlı durumları gözlemleyebilir, eşik değerlerin aşılması durumunda uyarılar alabilir ve uygun yönetim eylemlerini değerlendirmek için “ne olurdu” senaryoları simüle edebilir. Günlük önerilerin yanı sıra, Karar Destek Sistemleri (DSS), karmaşık, çok kaynaklı verileri sürdürülebilir bahçe işletimini kolaylaştıran tutarlı ve

kullanılabilir bir çerçeveye yapılandırarak şeffaflığı ve verimliliği artırır (Sciarretta vd., 2019).

Dijital ikiz yaklaşımı, fiziksel ortamı yansıtan, sürekli güncellenen bir sanal meyve bahçesi temsili oluşturarak DSS işlevselliğini geliştirir. Her meyve bahçesi bloğu, hatta tek tek ağaçlar, yapısal özellikleri, yönetim geçmişi ve mevcut durumu ile ilgili kapsamlı ayrıntıları içeren dijital bir varlık olarak tasvir edilebilir. Sensörlerden, ekipmanlardan ve harici kaynaklardan gelen güncel veriler bu dijital kopyayı sürekli olarak yeniler, alternatif yönetim stratejilerinin simülasyonunu ve bunların verim, kalite ve sürdürülebilirlik üzerindeki olası etkilerinin tahminini mümkün kılar. Dijital ikiz, yetiştiricilerin sulama programları, budama uygulamaları ve çeşit seçimi ile ilgili kararları gerçek dünyada risk almadan değerlendirmeleri için sanal bir platform görevi görür. Çalışmalar, dijital ikiz teknolojisinin LiDAR ve yapay zeka destekli modelleme ile entegrasyonunun, taç büyümesini etkili bir şekilde izleyebileceğini, stresi ve hastalıkları tahmin edebileceğini ve meyve bahçesi yönetim stratejilerinin sürekli olarak geliştirilmesini sağlayabileceğini göstermektedir (Moghadam vd., 2020).

6. DİJİTAL MEYVE BAHÇESİ YÖNETİMİ VE İZLENEBİLİRLİK

6.1. MOBİL UYGULAMALAR VE TARIMSAL EĞİTİM PLATFORMLARI

Meyve bahçesi yönetimi için mobil uygulamalar, elma üretim sistemlerinde operasyonel verimliliği, izlenebilirliği ve bilgi yayılımını

artırmak için hayati öneme sahip araçlar haline gelmiştir. Bu programlar, yetiştiricilerin ilaçlama, budama, seyreltme ve hasat gibi meyve bahçesi faaliyetlerini planlamasına ve kaydetmesine olanak tanırken, ilerlemeyi gerçek zamanlı olarak izlemesini sağlar. Entegre haritalama ve GPS işlevleri, görevleri belirlenen meyve bahçesi bölgeleriyle ilişkilendirirken, gömülü veri kayıt modülleri girdi kullanımı, çalışma saatleri ve mekanik işlemleri belgeler. Bu dijital veriler, maliyet muhasebesini iyileştirir ve sertifikasyon kriterlerine ve en iyi tarım uygulamalarına uyumu kolaylaştırır. Fruit Harvest Helper sistemi tarafından gösterilen mobil verim tahmin ve izleme uygulamaları, kullanıcı dostu arayüzlerin ve çapraz platform işlevselliğinin verim tahminlerinin doğruluğunu nasıl artırabileceğini ve çiftçiler için meyve bahçesi yönetimini nasıl iyileştirebileceğini göstermektedir (Duncan vd., 2024).

Operasyonel yönetimin yanı sıra, mobil ve web tabanlı teknolojiler, çiftçi eğitimi ve iletişimi için araçlar olarak giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bu teknolojiler, akıllı telefonlar aracılığıyla anında erişilebilen filmler, teknik kılavuzlar ve etkileşimli teşhis talimatları gibi eğitim materyallerinin depolandığı bir kaynak sağlar. Bu teknolojiler, zararlı böcek ve hastalıkların tanımlanmasına yardımcı olmak, çiftçiler ve uzmanlar arasındaki danışmanlık iletişimini geliştirmek ve akran ağları arasında bilgi alışverişini teşvik etmek için yapay zekayı entegre edebilir. Elma ve armut hastalıklarını tespit etmek için kullanılan mobil derin öğrenme sistemleri, gömülü yapay zekanın hassas bahçeciliği nasıl geliştirebileceğini ve tarla yetiştiricileri için ileri tarım bilgisine erişilebilirliği nasıl artırabileceğini göstermektedir

(Kodors vd., 2020). Bu platformlar, yönetim, eğitim ve iletişimi uyumlu mobil ekosistemlere entegre ederek meyve bahçesi sahipleri arasında sürekli öğrenmeyi ve dijital araçların daha yaygın olarak benimsenmesini teşvik etmektedir.

6.2. UZAKTAN GÖZETİM VE YÖNETİM SİSTEMLERİ

Uzaktan izleme ve kontrol sistemleri, meyve bahçesi yöneticilerinin sulama, gübreleme ve çevre düzenlemesi gibi temel faaliyetleri uzaktan denetlemelerine ve yürütmelerine olanak tanıyarak yeteneklerini artırır. Bu sistemler, Nesnelerin İnterneti (IoT) ağları üzerinden gerçek zamanlı verileri bulut tabanlı veya yerel gösterge panellerine ileten ağ bağlantılı sensörlere ve aktüatörlere dayanır. Yöneticiler, web veya mobil uygulamalar aracılığıyla pompaları uzaktan başlatabilir veya durdurabilir, sulama hacimlerini değiştirebilir, donma önleme cihazlarını devreye sokabilir ve toprak nemi, tank seviyeleri ve çevresel koşullar gibi faktörleri denetleyebilir. Bu yetenek, gece operasyonları veya kötü hava koşullarında insan varlığının gerekliliğini azaltarak, gelişen zorluklara hızlı yanıt verilmesini kolaylaştırır ve operasyonel verimliliği ve mahsul güvenliğini artırır (Varandas vd., 2020).

Doğrudan ekipman kontrolüne ek olarak, çağdaş sistemler çeşitli görsel ve duyuşal girdileri uyumlu görselleştirme arayüzlerinde birleştirir. Canlı video akışları, hava görüntüleri ve sensör verileri, meyve bahçesinde kapsamlı bir durum farkındalığı sağlamak için coğrafi bilgi sistemlerine (GIS) entegre edilebilir. Bu çok yönlü veri görselleştirmeleri, kullanıcıların gölgelik canlılık haritalarını, toprak nem

dağılımlarını ve sulama bölgesi durumlarını üst üste bindirmelerine olanak tanıyarak, anormalliklerin tanımlanmasını ve saha faaliyetlerinin daha etkin bir şekilde koordine edilmesini kolaylaştırır. IoT ve uzaktan algılamanın birleştirilmesi, stratejik ve taktiksel karar vermeyi iyileştirir, gerçek zamanlı yönetimi kolaylaştırır ve optimum kaynak kullanımı yoluyla sürdürülebilirliği teşvik eder (Sarjerao ve Sudhagar, 2024).

6.3. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ, İZLENEBİLİRLİK VE BLOK ZİNCİRİ UYGULAMALARI

Elma endüstrisindeki dijital tedarik zinciri yönetim sistemleri, meyvelerin hasattan pazara kadar olan hareketini izlemek için giderek daha fazla parti bazlı izlenebilirlik teknolojilerini kullanmaktadır. Hasat sırasında, kasalar, çeşit, anaç, blok ve hasat tarihi gibi bilgileri içeren farklı tanımlayıcılar (genellikle barkodlar veya QR kodları) alır. Bu tanımlayıcılar, meyvelerin depolanması, paketlenmesi ve dağıtımı boyunca eşlik eder ve her partiyi menşee ve işleme geçmişiyle ilişkilendirir. Sonuçta ortaya çıkan dijital izlenebilirlik, gıda güvenliği ve kalite gerekliliklerine uyumu garanti ederken, kontaminasyon veya hasar gibi sorunları hızlı bir şekilde tespit etme ve düzeltme kapasitesini de artırır. Bu teknolojiler, karmaşık, çok aktörlü değer zincirleri boyunca şeffaf kayıt tutmayı mümkün kılar ve müşterilerin elma ürünlerinin menşee ve kalitesine olan güvenini artırır (Yang vd., 2021).

Blokszincir (Blockchain) teknolojisi, veri depolamanın merkeziyetsizleştirilmesi ve kayıtların değiştirilemezliğinin garanti edilmesi yoluyla izlenebilirlik için yeni bir çerçeve oluşturur. Blokszincir destekli sistemlerde, hasat, depoya giriş veya nakliye gibi her işlem veya

olay, yetiştiriciler, paketleyiciler, dağıtıcılar ve tüccarlar dahil olmak üzere yetkili tarafların erişebileceği dağıtılmış bir deftere güvenli bir şekilde kaydedilir. Bu çerçevede, veri manipülasyonunu engeller ve tedarik zinciri boyunca doğrulanabilir şeffaflık sağlar. AgriBlockIoT konseptinde gösterilen tarımda blok zinciri uygulamaları, güvenlik ve verimliliği sağlarken veri toplama işlemlerini otomatikleştirmek ve izlenebilirliği iyileştirmek için IoT entegrasyonunun potansiyelini göstermektedir. Bu teknoloji, görünür kanıtlar sunarak sertifika taleplerini (örneğin, organik veya düşük karbonlu üretim) kolaylaştırır ve üreticilerin premium pazarlara girmesini ve müşteri güvenini artırmasını sağlar (Ehsan vd., 2022).

7. SÜRDÜRÜLEBİLİR ELMA YETİŞTİRİCİLİĞİ İÇİN TEKNOLOJİK YENİLİKLER

7.1. ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIMI

Elma üretiminin enerji ihtiyacı, esas olarak sulama sistemleri, mekanik işlemler, soğuk hava depolama, paketleme ve çiftlik içi nakliyeden kaynaklanmaktadır. Ölçüm cihazları ve enerji yönetimi yazılımı kullanarak enerji kullanımını izlemek ve yönetmek, üreticilerin verimsizlikleri tespit etmelerini ve tüm operasyonlar boyunca enerji kullanımını optimize etmelerini sağlar. Yüksek verimli pompalar ve motorların kullanılması, talebe göre pompa performansını ayarlamak için değişken frekanslı sürücüler (VFD'ler) kullanılması ve soğutma sistemi kontrollerinin optimizasyonu gibi teknolojik gelişmeler, enerji

kayıplarını önemli ölçüde azaltabilir. Soğuk hava depolarında yalıtım ve hava akışı düzenlemesinin iyileştirilmesi verimliliği artırır. Bu çözümler sadece işletme giderlerini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda elma yetiştiriciliğiyle bağlantılı sera gazı emisyonlarının azaltılmasına da yardımcı olur (Fadavi vd., 2018).

Yenilenebilir enerji teknolojileri, özellikle fotovoltaiik (PV) sistemler, elma çiftçilerine operasyonlarını karbonsuzlaştırmak ve enerji bağımsızlığı elde etmek için uygulanabilir çözümler sunar. Meyve bahçesi yapılarına, paketlenme tesislerinin çatılarına veya komşu mülklere yerleştirilen fotovoltaiik paneller, sulama, soğutma ve otomasyon sistemleri için enerji sağlayabilir. Araştırmalar, fotovoltaiik enerji üretiminin sulama sistemleriyle entegrasyonunun, özellikle akıllı fotovoltaiik pompalama ve depolama çözümleri yoluyla, güvenilir su teminini sağlarken toplam sera gazı emisyonlarını üçte bir oranında azaltabileceğini göstermiştir. Agrivoltaiik sistemler (AVS), güneş panellerini elma bahçeleriyle entegre ederek, enerji üretimi ve bitkilerdeki ısı stresini hafifleten kısmi gölgeleme sağlayarak arazi kullanımını iyileştirir. Bu teknolojiler, Avrupa'daki meyve bahçelerinde önemli bir ekonomik potansiyel ve enerji verimliliği artışı göstermiştir (Chalgynbayeva vd., 2024).

7.2. SU VE BESİN KAYNAKLARININ KORUNMASI

Elma bahçelerinde etkili su tasarrufu, hassas sulama yöntemlerini alternatif su kaynaklarının hasat edilmesi ve yeniden kullanılması için kapsamlı taktiklerle birleştirir. Son zamanlarda yapılan bir araştırma, sulama seviyelerinin kontrol edilmesi ve toprağın su tutma kapasitesini

artırmak ve buharlaşmayı en aza indirmek için malçlama yönteminin kullanılması gerektiğini vurgulamaktadır. Yüksek yoğunluklu elma sistemleri üzerine yapılan araştırmalar, organik mal ile orta düzeyde sulamanın (mahsulün evapotranspirasyonunun %85-100') entegrasyonunun su kullanım verimliliğini (WUE) %13'e kadar artırdığını, toprak sıcaklığını stabilize ettiğini ve verim performansını sürdürdüğünü göstermektedir. Bu bulgular, artan su kısıtlamaları ortamında sürdürülebilir elma yetiştiriciliği için iklim dirençli bir strateji olarak mal temelli su yönetiminin önemini vurgulamaktadır (Ananthakrishnan ve Sharma, 2025).

Besin maddelerinin korunması, vresel bozulmayı en aza indirmek ve toprak verimliliğini korumak için çok önemlidir. Boylamsal alışmalar, kompost, örtü bitkileri ve organik malların kullanımının toprak organik karbonunu %50'den fazla artırabildiğini ve toprak mikrobiyal çeşitliliğini iyileştirebileceğini, böylece besin döngüsünü ve tutulmasını kolaylaştırabileceğini göstermektedir. Süt gübresi veya bitki kaynaklı kompost gibi kompostlanmış organik kalıntıların kullanımı hem toprakta hem de yapraklarda makro besin seviyelerini (N, P, K) artırırken, aynı zamanda toprak nem koşullarını da iyileştirir. Ayrıca, hassas kontrol teknolojisine sahip gübreleme sistemlerinin kullanılması, bitki ihtiyaçlarına göre besin maddesi tedarikinin gerçek zamanlı olarak değiştirilmesini kolaylaştırarak sızıntı ve akışı azaltır. Entegre toprak ve besin maddesi yönetim stratejileri, elma yetiştiriciliğinde sürdürülebilir verimlilik ve vre korumasını teşvik eder (Sharaf vd., 2021).

7.3. ATIK YÖNETİMİ, DÖNGÜSEL EKONOMİ VE YAN ÜRÜN KULLANIMI

Budama artıkları, elma bahçelerinde önemli bir biyokütle kaynağı oluşturur ve sürdürülebilir kaynak yönetimi için gereklidir. Budanan odunlar, parçalanıp öğütüldüklerinde, toprağın su tutma kapasitesini artırmak, yabancı otların büyümesini engellemek ve toprağın organik karbon seviyelerini yükseltmek için malç olarak kullanılabilir. Alternatif olarak, bu artıkları kompostlama veya biyoenerji üretimi için yakıt olarak kullanabilir, böylece çöpü yenilenebilir ısı veya elektriğe dönüştürebiliriz. Bu değerlendirme seçenekleri, biyokütle üretimi ve enerji kullanımı arasında kapalı kaynak döngüleri sağlar ve böylece meyve bahçesi sistemlerinde döngüsel ekonomi fikirlerini destekler. Araştırmalar, budama artıkları yönetimini enerji ve toprak koruma stratejilerine dahil etmenin, sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltabileceğini ve tarım arazilerinde sürdürülebilir enerji geri kazanımını artırabileceğini göstermektedir (Duan vd., 2021).

Elma işleme yan ürünleri, özellikle elma posası, döngüsel değer kazanımı için önemli olanaklar sunmaktadır. Diyet lifi, pektin ve polifenoller açısından zengin olan bu biyokütle, gıda, yem, kozmetik ve biyoenerji uygulamaları için önemli ürünlere dönüştürülebilir. Anaerobik çürütme, süperkritik sıvı ekstraksiyonu ve mikrobiyal fermantasyon gibi gelişmiş biyorafineri yöntemleri, biyoaktif maddelerin ve biyometan ve hidrojen gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının ekstraksiyonunu kolaylaştırır. Entegre biyorefineri sistemleri, katma değerli biyolojik ürünler ve biyogübreler üretirken atıkları azaltır, böylece elma üretimini kaynak verimliliği ve çevre yönetimi hedefleriyle

birleştirir. Elma posasının döngüsel kullanımı, atık akışlarını üretim döngüsüne yeniden entegre ederek işleme işletmelerinde kirliliğin azalmasını ve karlılığın artmasını sağlamıştır (Costa vd., 2022).

7.4. BİYOÇEŞİTLİLİĞİ VE EKOSİSTEM HİZMETLERİNİ KOLAYLAŞTIRAN TEKNOLOJİLER

Polenizasyon, elma bahçelerinde hayati bir ekosistem hizmeti oluşturur ve teknoloji hem yönetilen hem de yabancı polen taşıyıcıların yardımını giderek daha fazla kolaylaştırmaktadır. Ses sensörleri, kamera tuzakları ve makine öğrenimi tabanlı görüntü analizi gibi gelişmiş izleme araçları, araştırmacıların ve çiftçilerin arıların ve diğer polen taşıyıcıların sayısını, çeşitliliğini ve ziyaret sıklığını değerlendirmesini sağlar. Bu veriler, kovanların yeri, yoğunluğu ve zamanlaması ile yabancı çiçek alanları ve çitlerin uygulanması gibi habitat geliştirme teknikleri ile ilgili pratik kararların alınmasında yol gösterici olmaktadır. Araştırmalar, yabancı çiçek şeritleri gibi çiçek müdahalelerinin sinek çeşitliliğini marjinal olarak artırabilmesine rağmen, bunların avantajlarının pestisit uygulaması ve bahçe yönetiminin sertliği nedeniyle sınırlı olabileceğini göstermektedir (McKerchar vd., 2020).

Biyoçeşitlilik korumasını meyve bahçesi verimliliği ile entegre etmek, mekânsal bilgiye dayalı bir strateji gerektirir. LiDAR, multispektral görüntüleme ve GIS gibi jeo-uzamsal ve uzaktan algılama teknolojileri, yetiştiricilerin meyve bahçesi ortamlarındaki habitat kalitesini ve tozlayıcıların faaliyetlerini belirlemelerine ve değerlendirmelerine olanak tanır. Peyzaj ölçeğinde yapılan araştırmalar, polen taşıyıcıların zenginliği ve miktarının, meyve bahçelerinin birkaç

kilometre içindeki yarı doğal habitatlar (örneğin, çayırliklar, çitler ve ormanlık alanlar) tarafından, tarla içi çiçek kaynaklarından daha önemli ölçüde etkilendiğini göstermektedir (Bartholomée vd., 2020). Uzaktan algılama teknolojileri, peyzaj özelliklerini türlerin davranışları ve verim sonuçlarıyla ilişkilendirerek, tozlaşma ve zararlı kontrolü dahil olmak üzere ekosistem hizmetlerini değerlendirmede etkinliğini kanıtlamıştır (Galbraith vd., 2015).

Böceklerin aracılık ettiği tozlaşma dışında, diğer faydalı canlılar da meyve bahçelerinde hayati ekosistem hizmetleri sunmaktadır. Kuşlar, eklembacaklı popülasyonlarını azaltarak doğal zararlı kontrolörü görevi görürler ve yaygınlıkları, meyve bahçelerini çevreleyen yarı doğal ormanlık habitatların varlığıyla ilişkilidir (García vd., 2018). Bu veriler, tozlaşma ve zararlı kontrol hizmetlerini aynı anda geliştirmek için coğrafi modelleme ve çok ölçekli habitat tasarımının uygulanmasını desteklemektedir. Ekolojik verilerin hassas teknolojilerle entegre edilmesi, elma bahçelerinin yüksek üretim verimliliğini sürdürürken biyolojik çeşitliliği teşvik eden çok işlevli tarımsal ekosistemlere dönüşmesini sağlar.

8. SONUÇ

Algılama, mekanizasyon, veri analitiği ve dijital tedarik zinciri yönetimindeki gelişmeler, elma bahçelerini emek yoğun, deneyime dayalı sistemlerden titizlikle izlenen, tasarlanmış ve bilgi yoğun üretim ortamlarına dönüştürmektedir. Bu bölüm, yüksek yoğunluklu bahçe tasarımları, hassas sulama ve gübreleme, akıllı ilaçlama, robotik, IoT sistemleri, makine öğrenimi tahminleri, mobil karar destek araçları ve

gelişmiş hasat sonrası otomasyonun, daha az girdi ve daha az çevresel etki ile daha homojen, yüksek kaliteli meyve elde etmeyi amaçladığını göstermektedir. Aynı zamanda, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji kullanımı, su ve besin maddelerinin korunması, atıkların değerlendirilmesi ve biyolojik çeşitliliğin artırılmasına yönelik odaklanmış önlemler, teknolojiyi hem yoğunlaştırmanın katalizörü hem de iklim direncinin ve ekolojik sürdürülebilirliğin önemli bir kolaylaştırıcısı olarak konumlandırmaktadır.

Bu ilerlemeye rağmen, elma üretiminde teknoloji benimsenmesinin mevcut durumu düzensiz ve bağlama çok özeldir. Sermaye harcamaları, sistem karmaşıklıkları, birlikte çalışabilirlik zorlukları, veri sahipliği endişeleri ve dijital okuryazarlık eksiklikleri, özellikle küçük ve orta ölçekli üreticiler arasında yaygın kullanımın önündeki engeller olmaya devam etmektedir. Çok sayıda çözüm, kapsamlı genel “siber-fiziksel” sistemlerin unsurları yerine bağımsız araçlar olarak uygulanmaktadır, bu da potansiyel etkinliklerini sınırlamaktadır. Dahası, modern algılama, otomasyon ve analitik avantajları, ancak meyve bahçesi tasarımı, yönetim uygulamaları, tedarik zinciri yapısı ve politika çerçeveleri birlikte optimize edildiğinde tam olarak elde edilebilir. Danışmanlık hizmetlerinin, çiftçi eğitim platformlarının, katılımcı teknoloji tasarım prosedürlerinin ve iş birliğine dayalı veri paylaşımı düzenlemelerinin geliştirilmesi, teknik potansiyeli büyük ölçekte önemli ekonomik getirilere ve önemli çevresel faydalara dönüştürmek için çok önemli olacaktır.

Elma tarımında gelecekteki teknolojik gelişmelerin daha fazla entegrasyona, özerkliğe ve zekaya doğru ilerlemesi bekleniyor. Karmaşık yapısal meyve bahçesi modellerini gerçek zamanlı sensör verileriyle birleştiren dijital ikizler, meyve bahçesi otomasyonu için özel olarak tasarlanmış gelişmiş robotik platformlar ve anaç seçimi ve budama tekniklerinden depolama uygulamaları ve pazar dağıtımına kadar değer zinciri boyunca karar almayı geliştiren yapay zekâ sistemleri, meyve bahçelerini kademeli olarak tahmine dayalı, kendi kendini optimize eden yönetim çerçevelerine dönüştürecek. Gelecekteki yenilikler, tarımsal ekoloji, döngüsel ekonomi ve sosyal sürdürülebilirlik ilkelerine dayanmalı ve üretkenlik ve kalitedeki iyileştirmelerin biyolojik çeşitlilikten, peyzajın çok işlevliliğinden veya çiftçilerin geçim kaynaklarından ödün vermemesini sağlamalıdır. Bu koşullar altında, teknolojik olarak gelişmiş elma bahçeleri, giderek daha öngörülemez hale gelen bir iklimde sürekli olarak istikrarlı verim, üstün ürün kalitesi, azaltılmış çevresel etkiler ve iyileştirilmiş ekosistem hizmetleri sağlayan güçlü tarımsal ekosistemlere dönüşebilir.

KAYNAKÇA

- Ananthakrishnan, S., Sharma, J. C., Sharma, N., Kumar, S., Shankar, S. V., Ranjha, R., Lalkhumliana, F., Sharma, K., ve Aravinthkumar, A. (2025). Mulching and irrigation strategies for climate resilient apple cultivation in high-density orchards. *Scientific Reports*, 15(1), 17125.
- Balafoutis, A., Beck, B., Fountas, S., Vangeyte, J., Wal, T., Soto, I., Gómez-Barbero, M., Barnes, A., ve Eory, V. (2017). Precision Agriculture technologies positively contributing to GHG emissions mitigation, farm productivity and economics. *Sustainability*, 9(8), 1339.
- Bartholomée, O., Aullo, A., Becquet, J., Vannier, C., ve Lavorel, S. (2020). Pollinator presence in orchards depends on landscape-scale habitats more than in-field flower resources. *Agriculture Ecosystems ve Environment*, 293, 106806.
- Blanco, V., ve Kalcsits, L. (2024). Relating microtensiometer-based trunk water potential with sap flow, canopy temperature, and trunk and fruit diameter variations for irrigated ‘Honeycrisp’ apple. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1393028.
- Boini, A., Bortolotti, G., Perulli, G. D., Venturi, M., Bonora, A., Manfrini, L., ve Corelli-Grappadelli, L. (2022). Late Ripening Apple Production Benefits from High Shading and Water Limitation under Exclusion Netting. *Horticulturae*, 8(10), 884.
- Boini, A., Manfrini, L., Morandi, B., Grappadelli, L. C., Predieri, S., Daniele, G. M., ve López, G. (2021). High levels of shading as a sustainable application for mitigating drought, in modern Apple production. *Agronomy*, 11(3), 422.
- Chalgynbayeva, A., Balogh, P., Szöllösi, L., Gabnai, Z., Apáti, F., Sipos, M., ve Bai, A. (2024). The Economic Potential of Agrivoltaic Systems in Apple Cultivation—A Hungarian Case Study. *Sustainability*, 16(6), 2325. <https://doi.org/10.3390/su16062325>
- Chen, R., Xu, Q., Wan, J., Jiang, N., Ma, J., ve Zheng, L. (2024). The daily minimum leaf turgor pressure can represent the water status of apple trees under drip irrigation. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1516824.
- Costa, J. M., Ampese, L. C., Di Domenico Ziero, H., Sganzerla, W. G., ve Forster-Carneiro, T. (2022). Apple pomace biorefinery: Integrated approaches for the production of bioenergy, biochemicals, and value-

- added products – An updated review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(5), 108358.
- Duan, Y., Mehariya, S., Kumar, A., Singh, E., Yang, J., Kumar, S., Li, H., ve Awasthi, M. K. (2021). Apple orchard waste recycling and valorization of valuable product-A review. *Bioengineered*, 12(1), 476–495. <https://doi.org/10.1080/21655979.2021.1872905>
- Duncan, B., Bulanon, D. M., Bulanon, J. I., ve Nelson, J. (2024). Development of a Cross-Platform mobile application for fruit yield estimation. *AgriEngineering*, 6(2), 1807–1826.
- Ehsan, I., Khalid, M. I., Ricci, L., Iqbal, J., Alabrah, A., Ullah, S. S., ve Alfakih, T. M. (2022). A Conceptual model for Blockchain-Based Agriculture Food Supply Chain System. *Scientific Programming*, 2022, 1–15.
- Escribà-Gelonch, M., Liang, S., Van Schalkwyk, P., Fisk, I., Van Duc Long, N., ve Hessel, V. (2024). Digital twins in agriculture: orchestration and applications. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 72(19), 10737–10752.
- Fadavi, R., Keyhani, A., ve Mohtasebi, S. (2011). An analysis of energy use, input costs and relation between energy inputs and yield of apple orchard. *Research in Agricultural Engineering*, 57(3), 88–96.
- Fallahi, E., Fallahi, B., ve Mahdavi, S. (2020). Branch configuration impacts on production, fruit quality, and leaf minerals of ‘Aztec Fuji’ apple trees in an upright single row High-Density orchard system over five years. *Journal of Agricultural Science*, 12(4), 53.
- Farooq, M. S., Riaz, S., Abid, A., Abid, K., ve Naeem, M. A. (2019). A survey on the Role of IoT in agriculture for the implementation of smart Farming. *IEEE Access*, 7, 156237–156271.
- Ferree, D. C. (1980). Canopy development and yield efficiency of ‘Golden Delicious’ apple trees in four orchard management systems¹. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 105(3), 376–380.
- Galbraith, S. M., Vierling, L. A., ve Bosque-Pérez, N. A. (2015). Remote Sensing and Ecosystem Services: Current status and future opportunities for the study of bees and Pollination-Related Services. *Current Forestry Reports*, 1(4), 261–274.

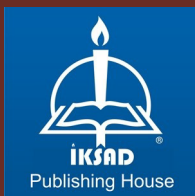
- Gallardo, R. K., Grant, K., Brown, D. J., McFerson, J. R., Lewis, K. M., Einhorn, T., ve Sazo, M. M. (2019). Perceptions of precision agriculture technologies in the U.S. fresh apple industry. *HortTechnology*, 29(2), 151–162.
- García, D., Miñarro, M., ve Martínez-Sastre, R. (2017). Birds as suppliers of pest control in cider apple orchards: Avian biodiversity drivers and insectivory effect. *Agriculture Ecosystems ve Environment*, 254, 233–243.
- Gu, C., Sun, J., Li, S., Yang, S., Zou, W., ve Zhai, C. (2025). Deposition characteristics of Air-Assisted Sprayer based on canopy volume and leaf area of orchard trees. *Plants*, 14(2), 220.
- Haqiq, N., Zaim, M., Haqiq, A., Sbihi, M., Alaoui, M. E., ve Masmoudi, L. (2024). The Analysis of Apple Orchard from Three-dimensional Point Cloud Data for Precision Agriculture. In 2024 11th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud) (pp. 390–396).
- Hirschi, M., Stoeckli, S., Dubrovsky, M., Spirig, C., Calanca, P., Rotach, M. W., Fischer, A. M., Duffy, B., ve Samietz, J. (2012). Downscaling climate change scenarios for apple pest and disease modeling in Switzerland. *Earth System Dynamics*, 3(1), 33–47.
- Hoque, A., ve Padhiary, M. (2024). Automation and AI in Precision Agriculture: Innovations for enhanced crop management and sustainability. *Asian Journal of Research in Computer Science*, 17(10), 95–109.
- Jamshidi, B., Jolfaee, H. K., Mohammadpour, K., Seilsepour, M., Dehghanisanij, H., Hajnajari, H., Farazmand, H., ve Atri, A. (2024). Internet of things-based smart system for apple orchards monitoring and management. *Smart Agricultural Technology*, 10, 100715.
- Jiang, X., ve He, L. (2021). Investigation of effective irrigation strategies for High-Density apple orchards in Pennsylvania. *Agronomy*, 11(4), 732.
- Karim, M. R., Ahmed, S., Reza, M. N., Lee, K., Sung, J., ve Chung, S. (2024). Geometric Feature Characterization of Apple Trees from 3D LiDAR Point Cloud Data. *Journal of Imaging*, 11(1), 5.
- Khaled, A. Y., Ekramirad, N., Donohue, K. D., Villanueva, R. T., ve Adedeji, A. A. (2023). Non-Destructive Hyperspectral Imaging and Machine Learning-Based Predictive Models for Physicochemical Quality

- Attributes of Apples during Storage as Affected by Codling Moth Infestation. *Agriculture*, 13(5), 1086.
- Kodors, S., Lacis, G., Zhukov, V., ve Bartulsons, T. (2020). Pear and apple recognition using deep learning and mobile. *Engineering for Rural Development*.
- Lauri, P., Pitchers, B., Dufour, L., ve Simon, S. (2020). Apple farming systems – current initiatives and some prospective views on how to improve sustainability. *Acta Horticulturae*, 1281, 307–322.
- Li, W., Zhu, X., Yu, X., Li, M., Tang, X., Zhang, J., Xue, Y., Zhang, C., ve Jiang, Y. (2022). Inversion of nitrogen concentration in Apple canopy based on UAV hyperspectral images. *Sensors*, 22(9), 3503.
- Lordan, J., Wallis, A., Francescato, P., ve Robinson, T. L. (2018). Long-term effects of training systems and rootstocks on ‘McIntosh’ and ‘Honeycrisp’ performance, A 15-year Study in a Northern Cold Climate—Part 1: Agronomic Analysis. *HortScience*, 53(7), 968–977.
- Lu, Y., Liu, M., Li, C., Liu, X., Cao, C., Li, X., ve Kan, Z. (2022). Precision Fertilization and irrigation: progress and applications. *AgriEngineering*, 4(3), 626–655.
- Mahmud, M. S., Zahid, A., He, L., Choi, D., Krawczyk, G., Zhu, H., ve Heinemann, P. (2021). Development of a LiDAR-guided section-based tree canopy density measurement system for precision spray applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, 182, 106053.
- Mansoor, S., Iqbal, S., Popescu, S. M., Kim, S. L., Chung, Y. S., ve Baek, J. (2025). Integration of smart sensors and IOT in precision agriculture: trends, challenges and future prospectives. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1587869.
- Marković, M., Kočar, M. M., Barač, Ž., Turalija, A., Atılğan, A., Jug, D., ve Ravlić, M. (2024). Field performance evaluation of Low-Cost soil moisture sensors in irrigated orchard. *Agriculture*, 14(8), 1239.
- McKerchar, M., Potts, S., Fountain, M., Garratt, M., ve Westbury, D. (2020). The potential for wildflower interventions to enhance natural enemies and pollinators in commercial apple orchards is limited by other management practices. *Agriculture Ecosystems ve Environment*, 301, 107034.

- Moghadam, P., Lowe, T., ve Edwards, E. J. (2020). Digital Twin for the Future of Orchard Production Systems. In *The Third International Tropical Agriculture Conference (TROPAG 2019)* (p. 92).
- Navone, A., Martini, M., ve Chiaberge, M. (2025). Autonomous Robotic Pruning in Orchards and Vineyards: a Review. *arXiv* (Cornell University).
- Noh, I., Doh, H., Kim, S., Kim, S., Shin, S., ve Lee, S. (2021). Machine Learning-Based hourly Frost-Prediction system optimized for orchards using automatic weather station and digital camera image data. *Atmosphere*, 12(7), 846.
- Panotra, N., Chandana, V. M., Parmar, B., Ashoka, P., Pandey, S. K., Singh, A. P., Rathi, S., ve Singh, B. (2024). Potential of the advanced precision irrigation techniques for enhanced protected cultivation systems in the developing nations. *International Journal of Environment and Climate Change*, 14(12), 584–607.
- Peng, W., Ren, Z., Wu, J., Xiong, C., Liu, L., Sun, B., Liang, G., ve Zhou, M. (2023). Qualitative and Quantitative Assessments of Apple Quality Using Vis Spectroscopy Combined with Improved Particle-Swarm-Optimized Neural Networks. *Foods*, 12(10), 1991.
- Robinson, T. L., ve Lakso, A. N. (1991). Bases of yield and production efficiency in Apple Orchard Systems. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 116(2), 188–194.
- Sarjerao, J. S., ve Sudhagar, G. (2024). Integration of Remote Sensing and IoT for Real-Time Monitoring of Irrigation in Smart Farming. In *1st International Conference on Innovative Sustainable Technologies for Energy, Mechatronics, and Smart Systems (ISTEMS)* (pp. 1–6).
- Sciarretta, A., Tabilio, M. R., Amore, A., Colacci, M., Miranda, M. Á., Nestel, D., Papadopoulos, N. T., ve Trematerra, P. (2019). Defining and Evaluating a Decision Support System (DSS) for the Precise Pest Management of the Mediterranean Fruit Fly, *Ceratitis capitata*, at the Farm Level. *Agronomy*, 9(10), 608.
- Sekharamanthy, P. K., Melgani, F., Malacarne, J., Ricci, R., De Almeida Silva, R., ve Marcato, J., Junior. (2024). A seamless deep learning approach for Apple detection, depth estimation, and tracking using YOLO models enhanced by Multi-Head Attention mechanism. *Computers*, 13(3), 83.

- Sharaf, H., Thompson, A. A., Williams, M. A., ve Peck, G. M. (2021). Compost applications increase bacterial community diversity in the apple rhizosphere. *Soil Science Society of America Journal*, 85(4), 1105–1121.
- Sharma, M. (2021). Computational analysis of specific indicators to manage crop yield and profits under extreme heat and climate change conditions. *Preprints.org*.
- Soussi, A., Zero, E., Sacile, R., Trincherro, D., ve Fossa, M. (2024). Smart Sensors and Smart Data for Precision Agriculture: A review. *Sensors*, 24(8), 2647. h
- Sremac, A. F., Lalic, B., Cuxart, J., ve Marcic, M. (2021). Maximum, minimum, and daily air temperature range in orchards: What do observations reveal? *Atmosphere*, 12(10), 1279.
- Sun, G., Wang, X., Yang, H., ve Zhang, X. (2020). A canopy information measurement method for modern standardized Apple orchards based on UAV multimodal information. *Sensors*, 20(10), 2985.
- Takeuchi, Y., Tripodi, A., ve Montgomery, K. (2023). SAFARIS: a spatial analytic framework for pest forecast systems. *Frontiers in Insect Science*, 3, 1198355.
- Tianjing, Y., ve Mhamed, M. (2024). Developments in Automated Harvesting Equipment for the Apple in the orchard: Review. *Smart Agricultural Technology*, 9, 100491.
- Varandas, L., Faria, J., Gaspar, P., ve Aguiar, M. (2020). Low-Cost IoT remote sensor mesh for Large-Scale orchard monitorization. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 9(3), 44.
- Wang, B., Ranjan, R., Khot, L. R., ve Peters, R. T. (2020). Smartphone Application-Enabled Apple Fruit Surface Temperature Monitoring Tool for In-Field and Real-Time Sunburn Susceptibility Prediction. *Sensors*, 20(3), 608.
- Wheeler, W. D., Black, B., ve Bugbee, B. (2023). Assessing water stress in a high-density apple orchard using trunk circumference variation, sap flow index and stem water potential. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1214429.
- Xiong, Z., Feng, Q., Li, T., Xie, F., Liu, C., Liu, L., Guo, X., ve Zhao, C. (2022). Dual-Manipulator optimal design for Apple robotic harvesting. *Agronomy*, 12(12), 3128.

- Yang, X., Li, M., Yu, H., Wang, M., Xu, D., ve Sun, C. (2021). A trusted Blockchain-Based traceability system for fruit and vegetable agricultural products. *IEEE Access*, 9, 36282–36293.
- Yu, J., Zhang, Z., Li, Y., Hua, W., Wei, X., Igathinathane, C., Mhamed, M., Zhang, W., Jiao, X., Yang, L., Zhang, M., ve Li, H. (2024). In-field grading and sorting technology of apples: A state-of-the-art review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 226, 109383.
- Yuan, W., ve Choi, D. (2021). UAV-Based heating requirement determination for frost management in Apple Orchard. *Remote Sensing*, 13(2), 273.
- Zhang, K., Lammers, K., Chu, P., Li, Z., ve Lu, R. (2023). An automated apple harvesting robot—From system design to field evaluation. *Journal of Field Robotics*, 41(7), 2384–2400.
- Zhang, W., Chen, X., Qi, J., ve Yang, S. (2022). Automatic instance segmentation of orchard canopy in unmanned aerial vehicle imagery using deep learning. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1041791.
- Zhang, Z., ve Heinemann, P. H. (2017). Economic analysis of a low-cost Apple harvest-assist unit. *HortTechnology*, 27(2), 240–247.
- Zhang, Z., Heinemann, P. H., Liu, J., Baugher, T. A., ve Schupp, J. R. (2016). The Development of Mechanical Apple Harvesting Technology: a review. *Transactions of the ASABE*, 59(5), 1165–1180. <https://doi.org/10.13031/trans.59.11737>
- Zhao, X., Peng, Y., Li, Y., Guo, Q., ve Wang, B. (2023). A flight sensing detector for apple maturity indexes in orchard. *Biosystems Engineering*, 230, 470–479.



ISBN: 978-625-378-532-1