



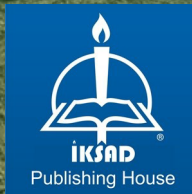
SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMDA BİYOLOJİK, DİJİTAL VE EKOLOJİK ÇÖZÜMLER

EDİTÖRLER

Doç. Dr. Atilla ÇAKIR

Doç. Dr. Mehmet İlhan ODABAŞIOĞLU

Doç. Dr. Abdullah GÜLLER



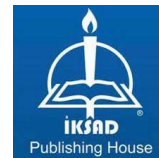
SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMDA BİYOLOJİK, DİJİTAL VE EKOLOJİK ÇÖZÜMLER

EDİTÖRLER

Doç. Dr. Atilla ÇAKIR
Doç. Dr. Mehmet İlhan ODABAŞIOĞLU
Doç. Dr. Abdullah GÜLLER

YAZARLAR

Prof. Dr. Ayfer ALKAN TORUN
Prof. Dr. Muharrem ERGUN
Prof. Dr. Memet İNAN
Prof. Dr. Savaş KORKMAZ
Prof. Dr. Serpil TANGOLAR
Prof. Dr. Nurdan TUNA GÜNEŞ
Prof. Dr. Yeşim OKAY
Doç. Dr. Abdullah GÜLLER
Doç. Dr. Ali KARANFİL
Doç. Dr. Mehmet İlhan ODABAŞIOĞLU
Doç. Dr. Evin POLAT AKKÖPRÜ
Doç. Dr. Filiz RANDA-ZELYÜT
Doç. Dr. Mustafa USTA
Dr. Öğr. Üyesi Meriç BALCI
Dr. Öğr. Üyesi Ceren Ayşe BAYRAM
Dr. Öğr. Üyesi Özge HORZUM
Dr. Öğr. Üyesi Nesrin KARACA SANYÜREK
Dr. Öğr. Üyesi Muzaffer KIRPIK
Dr. Öğr. Üyesi Abdullah OSMANOĞLU
Öğr. Gör. Dr. Saadet Sevil YÜCEL
Arş. Gör. Dr. Burcu ÇETİN
Arş. Gör. Dr. Serap DEMİREL
Arş. Gör. Ömer Can Devrim DEMİRCİOĞLU
Ziraat Yük. Müh. Sevda AÇAR TOKGÖZ
Ziraat Yük. Müh. Melek AĞIRTIŞ
Ziraat Yük. Müh. Nazan ERGUN
Ziraat Yük. Müh. Tuba HENTEŞ
Ziraat Yük. Müh. Zeynelabidin KURT



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: 978-625-378-521-5

Cover Design: İbrahim KAYA

December / 2025

Ankara / Türkiye

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....1

BÖLÜM 1

TOPRAKSIZ KÜLTÜRDE MAVİYEMİŞ YETİŞTİRİCİLİĞİ

Prof. Dr. Ayfer ALKAN TORUN

Prof. Dr. Serpil TANGOLAR.....3

BÖLÜM 2

KONTROLLÜ ATMOSFER DEPOLAMADA İLERİ TEKNİKLER

Prof. Dr. Muharrem ERGUN

Ziraat Yük. Müh. Nazan ERGUN.....45

BÖLÜM 3

ELMALARDA RENKLENMENİN FİZYOLOJİK VE YÖNETİMSEL TEMELLERİ: ANTOSİYANİN BİYOSENTEZİNDEN YETİŞTİRİCİLİK STRATEJİLERİNE

Prof. Dr. Nurdan TUNA GÜNEŞ.....65

BÖLÜM 4

YARI-KURAK KOŞULLARDA ROKA YETİŞTİRİCİLİĞİNDE BİÇİM ZAMANLARININ VERİM VE C VİTAMİNİ ÜZERİNE ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Muzaffer KIRPIK

Dr. Öğr. Üyesi Ceren Ayşe BAYRAM

Prof. Dr. Memet İNAN.....85

BÖLÜM 5

MEYVE VE SEBZELERİN HASAT SONRASI YÖNETİMİNDE YAPAY ZEKA UYGULAMALARI

Dr. Öğr. Üyesi Özge HORZUM

Prof. Dr. Nurdan TUNA GÜNEŞ

Arş. Gör. Ömer Can Devrim DEMİRCİOĞLU.....103

BÖLÜM 6

BİTKİ VİRÜSLERİNİN YAPRAK BİTLERİ İLE İLİŞKİLERİ VE TAŞINMA MODELLERİ

Doç. Dr. Ali KARANFİL

Doç. Dr. Filiz RANDA-ZELYÜT

Prof. Dr. Savaş KORKMAZ.....123

BÖLÜM 7

JOJOBA (*Simmondsia chinensis*) BİTKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Abdullah OSMANOĞLU.....139

BÖLÜM 8

SÜRDÜRÜLEBİLİR ÖRTÜ ALTI ÜRETİMDE ZARARLI BÖCEKLERLE BİYOLOJİK MÜCADELE

Doç. Dr. Evin POLAT AKKÖPRÜ

Ziraat Yük. Müh. Melek AĞIRTIŞ.....153

BÖLÜM 9

ÜZÜM YETİŞTİRİCİLİĞİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMIN YENİ YOLU; HİDROJELLERLE AKILLI SULAMA

Arş. Gör. Dr. Burcu ÇETİN1

Dr. Öğr. Üyesi Nesrin KARACA SANYÜREK.....167

BÖLÜM 10

AŞI UYUŞMAZLIĞI İLE FENOLİK BİLEŞİKLERİN İLİŞKİSİ: ASMA PERSPEKTİFİNDE BİR İNCELEME

Ziraat Yük. Müh. Tuba HENTEŞ

Doç. Dr. Mehmet İlhan ODABAŞIOĞLU.....213

BÖLÜM 11

İKLİM AKILLI KENTSEL TARIM YAKLAŞIMLARI: BALKON BAHÇECİLİĞİNDE EV KOMPOSTUNUN ROLÜ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KATKILARI

Dr. Öğr. Üyesi Meriç BALCI.....231

BÖLÜM 12

2000 SONRASI TÜRKİYE’DE KABAKGİL BİTKİLERİNDE GÖRÜLEN *Zucchini Yellow Mosaic Potyvirus* (ZYMV) ENFEKSİYONLARI: GÜNCEL BULGULAR VE LİTERATÜR DEĞERLENDİRMESİ

Ziraat Yük. Müh. Zeynelabidin KURT

Arş. Gör. Dr. Serap DEMİREL

Doç. Dr. Mustafa USTA

Doç. Dr. Abdullah GÜLLER.....259

BÖLÜM 13

CEVİZDE TOHUM ÇİMLENMESİ ÜZERİNE ETKİ EDEN ETMENLERİN İNCELENMESİ

Öğr. Gör. Dr. Saadet Sevil YÜCEL

Prof. Dr. Yeşim OKAY.....271

BÖLÜM 14

KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SEBZE YETİŞTİRİCİLİĞİ ÜZERİNE BİLİNER VE OLASI ETKİLERİ

Ziraat Yük. Müh. Sevda AÇAR TOKGÖZ.....299

BÖLÜM 1

TOPRAKSIZ KÜLTÜRDE MAVİYEMİŞ YETİŞTİRİCİLİĞİ

Prof. Dr. Ayfer ALKAN TORUN¹

Prof. Dr. Serpil TANGOLAR^{2*}

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18114256>

¹ Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Böl., Adana, Türkiye; atorun@cu.edu.tr, Orcid: 0000-0002-8493-5828

² Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Adana, Türkiye; stangolar@cu.edu.tr, Orcid: 0000-0002-5563-1972

*Sorumlu yazar: stangolar@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Maviyemiş (*Vaccinium* spp.), yüksek besin değeri ve zengin antioksidan kapasitesi (Howard ve ark., 2003; You ve ark., 2011; Wu ve ark., 2022) nedeniyle insan sağlığı açısından önemli, “fonksiyonel gıda” olarak sınıflandırılan ve Dünya üretimi, 2000’lerin başından itibaren yılda ortalama %12 oranında artmakta olan (Hadj Daoud ve ark., 2024) üzümü bir meyve türüdür (Jiang ve ark., 2019; Sultana ve ark., 2020). Maviyemiş, giderek artan küresel pazar talebi nedeniyle son yıllarda aynı zamanda birim alandan yüksek gelir de getiren, katma değeri yüksek bir meyve (Milivojevic ve ark., 2025) olma özelliğinden dolayı üretimi dünya genelinde hızla yaygınlaşan önemli bir türdür.

Güncel verilere göre dünyada 248 548 hektarlık alanda 1 860 000 ton maviyemiş üretimi yapılmış olup, Çin 525 310 tonla ilk sırada yer alırken, Peru (299 670 ton), ABD (277 630 ton), Şili (166 350 ton), Kanada (76 150 ton), Meksika (75 870 ton), İspanya (69 190 ton), Polonya (68 500 ton), Fas (47 070 ton) ve Güney Afrika (30 500 ton) ilk on ülke arasında yer almaktadır (Brazelton ve ark., 2023; Çelik, 2024).

Maviyemiş, Amerika kökenli *Ericaceae* (Fundagiller) familyasından, *Vaccinium* cinsine ait bir türdür. Kültürü yapılan çeşitlerin ıslahı 1900’lü yılların başında ABD’de başlamış, ardından farklı ekolojik koşullara uyumlu çeşitlerin geliştirilmesiyle Dünya genelinde yaygınlaşmıştır (Çelik, 2008). Günümüzde ticari üretimi yapılan maviyemişler, bitki büyüme formuna göre; yüksek çalı maviyemiş (*Vaccinium corymbosum* L.), alçak çalı maviyemiş (*Vaccinium angustifolium* Ait.) ve tavşan gözü maviyemiş (*Vaccinium ashei* L.) olmak üzere üç türe ayrılmaktadır. Yüksek çalı maviyemişlerin hem Avrupa’da hem de Türkiye’de alan ve üretim açısından daha yaygın bir yetiştirme potansiyeline sahip olduğu görülmektedir (Çelik ve Acar, 2025). Bu tür, topraklı ve topraksız sistemlerde özellikle saksı kültürü ile farklı iklim koşullarında başarıyla yetiştirilebilmektedir (Çelik ve Seydioğlu, 2019; Hız ve ark., 2019; Fang ve ark., 2020a; Çelik ve Acar, 2021). Türkiye’de maviyemiş üretimi, Karadeniz, Trakya, Marmara, Ege, Akdeniz, Orta Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerindeki 15 ilde toprakta; 18 ilde ise saksıda topraksız kültür sisteminde yapılmaktadır. Toprak koşullarının uygun olduğu illerde toprakta yetiştirilebilen maviyemiş, Akdeniz Bölgesi gibi toprak koşullarının uygun olmadığı ancak iklim koşullarının özellikle erken veya geç

meyve hasadı için avantaj sağladığı bölgelerde farklı substratlar kullanılmak suretiyle saksıda yetiştirilmektedir (Munoz ve ark., 2022; Ünal ve ark., 2023; Çelik, 2024).

Maviyemiş yetiştiriciliğinin topraksız substrat kullanılarak değişik kaplarda (yetiştirme ünitesi/saksı) yapılması, son yıllarda tüm dünyada yetiştiricilerin önemli düzeyde ilgisini çeken alternatif bir sistem olarak yaygınlık göstermektedir (Tamir ve ark., 2021a; Munoz ve ark., 2022). Topraksız tarım sistemleri, yani toprağın olmadığı, bunun yerine substratlarla dolu kaplarda bitki yetiştirme, sürdürülebilir korumalı yetiştiricilik için önemli bir teknik olarak kabul edilmektedir (Di Lonardo ve ark., 2021). Bu sistemlerde, uygun besin ve su yönetimi stratejileri ile bitki gelişimi ve meyve kalitesi kolayca kontrol edilebilir. Bitkiler topraksız substratlarda yetiştirildiğinde, bitki büyümesi ve meyve kalitesinin toprağa kıyasla önemli ölçüde iyileştiği belirlenmiştir (Claire ve ark., 2018).

Topraksız kültürde maviyemiş yetiştiriciliğinin avantajlarını şu şekilde sıralamak mümkündür: a) açıkta ve örtüaltında yetiştiricilik yapılabilmesi, (b) birim alanda daha fazla sayıda bitki yerleştirilmesi ve daha yüksek miktarda ürün elde edilebilmesi, (c) pazar isteklerine göre değişen yeni veya geleneksel çeşitlerin daha geniş bir zaman aralığında üretilmesi, (d) daha erken veya geç hasat zamanının daha iyi kontrol edilebilmesi, (e) ilaçlamanın azaltılması, (f) suyun ve gübrenin daha etkin ve verimli kullanılması, (g) kültürel uygulamaların azaltılması ve (h) toprak işleme ve hazırlığına gerek kalmadan üretimin gerçekleştirilebilmesidir. Topraksız yetiştiriciliğin belirtilen avantajlarına karşın bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar; (a) yüksek girdi maliyeti ve (b) teknik bilgi ve beceri gereksinimi olarak özetlenebilir (Gül, 2019). Topraksız kültürün yüksek kurulum maliyeti, toprak kökenli problemlerin kritik seviyeye ulaştığı, su kaynaklarının kısıtlı olduğu veya gübre atıklarının çevreye ciddi zararlar verdiği çoğu Akdeniz ülkelerinde tolere edilebilir bir harcama olarak görülmektedir.

Maviyemiş yetiştiriciliğinde en sınırlayıcı faktörlerden birisi toprak pH'sıdır. pH, topraktaki bitki besin elementinin alınabilirliğini doğrudan etkileyen bir faktör olup, bitkilerin en iyi gelişim gösterdikleri ideal pH aralığında meydana gelen sapmalara (artış ve azalışlar) besin elementi alımının sınırlandırılmasına ve verimde önemli ölçüde azalmalara yol açmaktadır (Yang ve ark., 2022). Bu nedenle, büyüme ve gelişme için uygun bir ortamın

yaratılabilmesi için maviyemiş yetiştirmeden önce de toprak pH'sının kontrol edilmesi ve uygun düzeye getirilmesi önem taşır (Wu, 2020). Maviyemiş bitkisinin yüzlek kök yapısı ve özellikle 4.2-5.5 gibi bildirilen düşük pH gereksinimi (Korcak, 1989; Darnell ve His, 2006) geleneksel topraklı üretimini zorlaştırmaktadır. Topraksız kültür sistemleri, bu zorlukların aşılması amacıyla pH sorununun çözümü için geliştirilen etkili bir alternatif sunmaktadır (Putra ve Yuliando, 2015; Muñoz ve ark., 2023). Bu sistemler ayrıca, su ile makro ve mikro besin yönetiminin (fertilizasyon) kontrol edilebilmesi yoluyla besin dengesinin sürdürülebilmesi açısından da büyük avantaj sağlamaktadır (Claussen ve Lenz, 1999; Fang ve ark., 2020b; Ferrón-Carrillo ve ark., 2021; Tamir ve ark., 2022). Türkiye topraklarının büyük bölümünün pH'sının 7'nin üzerinde olması (Eyüpoğlu ve ark., 1994; Güçdemir, 2006), yetiştiriciliği yalnızca belirli bölgelerde (özellikle Karadeniz) mümkün hale getirmektedir. Türkiye'de maviyemiş üretimi, ilk olarak Karadeniz bölgesinde asit karakterli orman topraklarında başlamış, daha sonra Ege ve Akdeniz bölgelerinde sera ve saksı sistemleri aracılığıyla topraksız yetiştiriciliğe geçilmiştir (Çelik ve İslam, 2012; Çelik, 2019). Türkiye'de Serçe ve Gündüz (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, Akdeniz Bölgesi'nde Mersin ili koşullarında yetiştirilen maviyemiş çeşitlerinde toprak pH'sının istenen düzeyde tutulamaması nedeniyle başarı sağlanamamıştır. Bu durum, Karadeniz Bölgesi dışındaki üretim için topraksız kültür ortamlarının gerekliliğini ortaya koyan bir örnek çalışma olarak görülmektedir.

Topraksız kültür sisteminde yetiştirme ortamının seçimi bitki büyümesini ve verimliliğini doğrudan veya dolaylı olarak etkilemektedir (Doaguie ve Moghadam, 2015; Gruda ve Fernández, 2022). Torf, kokopit ve odun lifi gibi materyaller, kök bölgesinde stabil pH ve oksijen dengesini sağlayarak büyüme koşullarını iyileştirmektedir (Bignami ve ark., 2022; Cesoniené ve ark., 2023).

Son yıllarda yapılan çalışmalar, topraksız sistemlerin sadece verim değil, aynı zamanda kalite (renk, sertlik, antosiyanin miktarı vb.) açısından da üstünlük sağladığını ortaya koymuştur (Pepe ve ark., 2023). Topraksız kültür, Türkiye ve Dünya genelinde maviyemiş üretiminde geleceğin temel yöntemi olarak değerlendirilmektedir (Daoud ve ark., 2024; Hirzel ve ark., 2024). Topraksız kültür ile birleştirilmiş sera sistemleri, iklimsel dalgalanmaların

kontrol edilmesini de sağlayarak, erken hasat ve daha uzun üretim sezonu olanağı sunma avantajını da sağlamaktadır (He ve ark., 2023).

Bu bölümde, maviyemişin topraksız kültürde yetiştirilme nedenleri, topraksız kültürde maviyemiş yetiştiriciliğini etkileyen iklim, örtüaltı koşulları ve yönetimi, çeşit seçimi, yetiştirme ortamı (substrat), yetiştirme kabı, sulama, bitki besleme, budama, hastalık ve zararlı yönetimi gibi dikkate alınması gereken faktörler ve etkileri hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca, Dünya’da ve Türkiye’de topraksız kültür maviyemiş yetiştiriciliği konusunda yapılmış araştırmalardan kısaca bahsedilmiştir.

2. TOPRAKSIZ KÜLTÜRDE MAVİYEMİŞ YETİŞTİRİCİLİĞİNİN NEDENLERİ

Topraksız yetiştiricilik sistemleri, maviyemiş bitkisinin fizyolojik gereksinimlerine en uygun çevreyi optimum düzeyde karşılayarak özellikle toprak kaynaklı stres faktörlerini önemli ölçüde ortadan kaldırmaktadır (Claussen ve Lenz, 1999; Tamir ve ark., 2021b). Bu sistemlerde kök bölgesindeki pH, nem ve oksijen düzeyleri kontrol edilebildiğinden, kök gelişimi hızlanmakta ve bitkinin besin elementlerini, özellikle de mikro elementleri, daha dengeli bir şekilde alması sağlanmaktadır (Cytryn ve ark., 2012; Fang ve ark., 2022). Böylece bitkinin gelişimi ve verim potansiyeli artarken, besin alımında ortaya çıkabilecek dengesizliklerin önüne geçilmektedir. Topraksız sistemler, çevresel koşullardan kaynaklanan değişkenlikleri en aza indirerek üretim sürecinin standardizasyonuna ve yıl boyunca sürdürülebilir bir üretim yapılmasına da olanak tanımaktadır. Topraksız kültür maviyemiş yetiştiriciliğinin nedenleri aşağıda alt başlıklar halinde verilmiştir.

Su ve Besin Verimliliği: Topraksız yetiştiricilik sistemleri, su ve besin elementlerinin kullanım etkinliğini artıran, çevresel açıdan sürdürülebilir üretim modelleri olarak öne çıkmaktadır. Bu sistemlerde su, damla sulama ve drenaj suyunun geri kazanımı sayesinde geleneksel topraklı üretim sistemlerine kıyasla yaklaşık %25–40 oranında daha verimli kullanılabilmektedir (Ferrón-Carrillo ve ark., 2021; He ve ark., 2023). Sulama suyunun kapalı veya yarı kapalı devrelerde sirküle edilmesi, hem su kaybını önlemekte hem de besin çözeltilisinin yeniden kullanılmasına olanak sağlayarak kaynak verimliliğini artırmaktadır.

Ayrıca, drenaj suyunun düzenli olarak izlenmesi, ortamda meydana gelebilecek tuzluluk sorunu ile besin elementlerindeki dengesizliklerin erken dönemde tespit edilmesine de olanak tanımaktadır (Muñoz ve ark., 2023). Böylece, bitki beslenmesi optimum düzeyde tutulmakta, besin fazlalıklarının bitki ve çevreye olası etkisi engellenmekte ve sürdürülebilir üretim hedeflerine katkı sağlanmaktadır. Topraksız sistemlerin bu özellikleri, özellikle su kaynaklarının kısıtlı olduğu bölgelerde, maviyemiş yetiştiriciliğinin hem ekonomik hem de ekolojik açıdan daha etkin ve verimli yürütülmesinde önemli avantajlar sunmaktadır.

Bu kapsamda, besin çözeltisinin bileşimi ve uygulama stratejilerinin doğru şekilde yönetilmesi, hem su ve besin kullanım verimliliğinin artırılmasında hem de çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında kritik rol oynamaktadır.

Substrat Esnekliği: Topraksız yetiştiricilikte kullanılan substratlar, bitkinin kök gelişimi, besin alımı ve genel fizyolojik performansı üzerinde doğrudan etkili olan temel bileşenlerdir. Torf, yüksek su tutma kapasitesi ve kimyasal kararlılığı nedeniyle uzun yıllar boyunca en yaygın kullanılan substrat olmuştur. Ancak, torfun yenilenme süresinin uzun olması ve çıkarılmasının ekosistemler üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle, çevresel sürdürülebilirlik açısından alternatif materyallerin kullanımı giderek önem kazanmıştır (Bignami ve ark., 2022; Cesoniené ve ark., 2023). Bu bağlamda, torf yerine veya birlikte kısmen odun lifi, kompost, hindistan cevizi lifi (kokopit) ve perlit gibi yenilenebilir veya çevre dostu materyallerin kullanılması da yaygınlaşmıştır.

Belirtilen materyallerle yapılan uygun karışımlar, substratın fiziksel özelliklerini iyileştirerek kök bölgesinde hava boşluğu oranını artırmakta, oksijen difüzyonunu kolaylaştırmakta ve böylece köklerin daha sağlıklı gelişimini desteklemektedir (Ochmian ve ark., 2019; Smrke ve ark., 2021). Bu karışımlar ayrıca, kök bölgesinde tuz birikimini azaltarak bitkinin tuzluluk stresine karşı toleransını artırmakta ve su-besin dengesinin daha etkin şekilde korunmasına katkı sağlamaktadır. Substrat bileşiminin bu şekilde esnek hale getirilmesi, hem bitki büyümesini optimize etmekte hem de çevresel açıdan sürdürülebilir bir üretim yaklaşımının benimsenmesine olanak tanımaktadır.

Bu doğrultuda, kullanılan substratın fiziksel ve kimyasal özellikleri, maviyemiş bitkisinin kök gelişimi, su-besin alımı ve genel fizyolojik

performansının belirlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Dolayısıyla, substrat seçiminin bitki performansı üzerindeki etkilerinin ayrıntılı olarak değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Besin Yönetimi: Topraksız yetiştiricilikte besin yönetimi, bitkinin fizyolojik gereksinimlerine uygun bir besin çözeltisi oluşturulması ve kök bölgesinde iyon dengesinin korunması açısından büyük önem taşımaktadır. Muñoz ve ark. (2023), maviyemiş yetiştiriciliğini etkileyen en önemli faktörlerin su ve besin olduğunu bildirmiştir. Topraksız kültür sisteminde bu faktörlerin kontrolü daha etkin şekilde yapılabilmekte, besin ve su kullanımı optimize edilerek yetiştirme ortamı iyileştirilebilmektedir (Putra ve Yuliando, 2015). Organik ortamların inorganik ortamlara kıyasla farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olması (örneğin turba yosunu ve çam kabuklarının tamponlama kapasitesi), besin elementi eksikliği veya toksisitesinin azaltılmasında avantaj sağlamaktadır (Gruda ve ark., 2013).

Türkiye’de yürütülen araştırmalar, maviyemiş için kök bölgesi pH’sının 4.5–5.2 aralığında tutulmasının optimum büyüme ve besin alımı açısından en uygun değerleri sağladığını ortaya koymuştur (Çelik ve Odabaş, 2020). Türkiye topraklarının büyük bölümünün pH’sı 7’nin üzerinde olup kireç içerikleri de yüksektir (Eyüpoğlu ve ark., 1994; Güçdemir, 2006). pH düzeyinin yüksek oluşu, böyle alanlarda yetiştiriciliğin yapılmasını güçleştirmektedir. Bitki, yüksek pH’lı ve kireçli topraklarda demir (Fe) ve mangan (Mn) alımında zorlanmakta, kloroz ve gelişim geriliği göstermektedir (Haynes ve Swift, 1985; Tamir ve ark., 2021a). Çeşitli organik ve inorganik materyaller kullanılarak toprak pH’sının düşürülmesi bu soruna yönelik getirilen çözümler arasındadır. Toprak pH’sının ayarlanmasında kükürt (S), demir (Fe) ve alüminyum sülfat ($Al_2(SO_4)_3$) gibi sülfat bileşikleri veya organik materyallerin kullanımı etkili olmaktadır (Güneri ve ark., 2012). Ancak, toprakta pH’nın düşürülmesine yönelik bu uygulamalar, toprağın tamponlama kapasitesi nedeniyle genelde kalıcı bir etki sağlamamakta; dolayısıyla tekrar eden uygulamalar gerektirmekte ve bunlar ekonomik olmayan çözümler olarak kalmaktadır. Damla sulama sistemiyle yetiştirmede sıvı asitlerin kullanımı da benzer biçimde geçici bir etki yaratmakta ve çoğu zaman toprak sağlığı açısından riskli de olabilmektedir. Buna karşılık, topraksız kültürde yetiştiricilik bu soruna daha kalıcı ve çevre dostu bir çözüm sunmaktadır.

Son yıllarda yapılan çalışmalarda yüksek toprak pH'sı sorununun çözümünde farklı materyallerin kullanıldığı görülmektedir. Literatürde, maviyemiş yetiştiriciliğinde maliyeti düşük, asidifikasyonu kolay, bitkiyi azot (N)'la beslerken asitliği de dengeleyen yeni yaklaşımlara ihtiyaç duyulduğu vurgulanmıştır. Bu nedenle, topraksız büyüme ortamlarında amonyum (NH_4^+) gibi besin elementi formlarının kullanılması, maviyemiş üretiminde önemli bir metodolojik yenilik sunmaktadır. Maviyemiş bitkisi, düşük pH'lı ortamlarda optimum gelişim gösterdiğinden, kullanılan N formu substratın asitlik düzeyini doğrudan etkilemektedir. Amonyum formundaki N içeren gübrelerin kullanımı, substrat/ortam pH'ının düşürülmesini sağlayarak Fe, Mn ve Zn gibi mikro elementlerin bitki tarafından alınabilirliğini artırmaktadır (Claussen ve Lenz, 1999; Tamir ve ark., 2022).

Türkiye'de yapılan çalışmalarda, ayrıca, besin çözeltisinde $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ oranının yaklaşık 70/30 düzeyinde dengelenmesinin, hem kök gelişimi hem de vejetatif büyüme üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu bildirilmektedir (Çelik ve Odabaş, 2020; Fang ve ark., 2020a). Bu denge, kök bölgesinde iyon toksisitesinin önlenmesine ve pH stabilitesinin korunmasına katkıda bulunarak bitkinin genel fizyolojik performansını iyileştirmektedir. Bu bağlamda, besin çözeltisinin dinamik yönetimi, bitkinin gelişim evrelerine, çevresel koşullara ve substrat özelliklerine göre besin element konsantrasyonlarının düzenlenmesini gerektirmekte, böylece optimum büyüme koşullarının sürekliliği sağlanmaktadır.

Kalite ve Verim Avantajı: Topraksız yetiştiricilik sistemleri, bitki besin elementlerinin dengeli şekilde temini ve çevresel koşulların kontrol altına alınabilmesi sayesinde, hem verim hem de ürün kalitesi bakımından geleneksel topraklı yetiştiriciliğe göre önemli üstünlükler sunmaktadır. Özellikle sera koşullarında yürütülen üretim faaliyetlerinde, kök bölgesine optimum su ve besin sağlanması sonucu birim alandan elde edilen meyve sayısının %30–40 oranında arttığı, ayrıca meyve çapı, ağırlığı ve tat bileşenlerinde belirgin iyileşmelerin meydana geldiği bildirilmektedir (Pepe ve ark., 2023).

Topraksız sistemlerde yetiştirilen bitkiler, besin çözeltisinin doğrudan kök bölgesine iletilmesi sayesinde daha dengeli beslenme yanıtları göstermekte, bu durum meyve gelişim sürecinde karbon metabolizmasını ve şeker birikimini olumlu yönde etkilemektedir. Ayrıca, yapılan çalışmalar topraksız ortamda yetiştirilen maviyemişlerin, toprakta yetiştirilenlere kıyasla

daha yüksek antosiyanin içeriğine ve toplam fenolik bileşik miktarına sahip olduğunu ortaya koymuştur (Jiang ve ark., 2019; Han ve ark., 2022). Bu bileşikler, meyve kalitesinin yanı sıra antioksidan kapasiteyi artırarak ürünün fonksiyonel değerini de yükseltmektedir. Dolayısıyla, topraksız yetiştiricilik sistemleri hem verim artışı hem de kalite parametrelerinde sağladığı iyileşmelerle maviyemiş üretiminde önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle, topraksız sistemlerde elde edilen ürünlerin pazarlanabilir kalite özellikleri, raf ömrü ve depolama dayanıklılığı üzerine etkilerin değerlendirilmesi, bu yetiştiricilik yönteminin ticari potansiyelinin belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Ekonomik Sürdürülebilirlik ve Uygulanabilirlik: Topraksız kültür sistemleri yalnızca çevresel sürdürülebilirlik açısından değil, aynı zamanda ekonomik verimlilik bakımından da önemli avantajlar sunmaktadır. İlk kurulum maliyetleri yüksek olmakla birlikte, sistemin uzun vadede sağladığı su, gübre ve iş gücü tasarrufu toplam üretim maliyetlerini azaltmaktadır (Pepe ve ark., 2023). Daoud ve ark. (2024)'ne göre, topraksız kültür, torf kullanımını azaltan alternatif substratlar (kompost, odun lifi, bağ atıkları vb.) sayesinde çevresel etkiyi azaltmaktadır. Kontrollü drenaj ve geri dönüşüm sistemleri, aynı zamanda su ve gübre tasarrufu sağlayarak karbon ayak izini de azaltmaktadır (Miranda ve ark., 2025).

Besin çözeltisinin geri dönüşümü, girdilerin daha verimli kullanılmasını sağlayarak üreticiye ekonomik kazanç sağlamakta, aynı zamanda dışa bağımlı gübre kullanımını da azaltmaktadır. Bununla birlikte, topraksız sistemlerde üretim koşullarının yıl boyunca kontrol edilebilmesi, iklimsel sınırlamaların etkisini ortadan kaldırmakta ve ürün arzının sürekliliğini mümkün kılmaktadır. Bu durum, özellikle ihracat potansiyeli yüksek türler olan maviyemiş gibi özel ürünlerde piyasa istikrarı ve gelir sürdürülebilirliği açısından stratejik bir avantaj sağlamaktadır (Han ve ark., 2022).

Topraksız kültür sistemi maviyemişte, pH kontrolü, su ve besin dengesinin hassas yönetimi, verim artışı, kalite iyileşmesi ve çevresel sürdürülebilirlik açısından topraklı sistemlere göre daha üstün bir alternatif sunmaktadır (Tamir ve ark., 2023; Çelik, 2024).

Topraksız kültür uygulamaları, kaynak kullanımında etkinlik, çevresel yükün azaltılması ve ekonomik karlılığın artırılması açısından bütüncül bir

sürdürülebilirlik modeli sunmakta, bu yönüyle üretici ve çevre açısından uzun vadeli bir çözüm olarak öne çıkmaktadır.

3. TOPRAKSIZ KÜLTÜR MAVİYEMİŞ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN KONULAR

3.1. İklim

Maviyemiş (*Vaccinium* spp.) serin ve nemli iklim koşullarını tercih eden bir meyve türüdür. Yüksek sıcaklıklar fotosentez etkinliğini önemli ölçüde sınırlayarak bitki büyümesini ve meyve olgunlaşmasını olumsuz yönde etkilemektedir (Smrke ve ark., 2021a). Bu nedenle, subtropik ve sıcak iklim bölgelerindeki topraksız yetiştiricilik uygulamalarında çevresel kontrol stratejilerinin kullanılması önem arz etmektedir. Örneğin, yüksek tünel sistemleri, gölgeleme materyalleri ve sisleme (mist) uygulamaları, özellikle sıcak dönemlerde bitki sıcaklığını düşürerek stoma kapanmasını önlemekte ve fotosentetik verimliliği korumaktadır (He ve ark., 2023; Daoud ve ark., 2024). Gölgeleme, yaprak sıcaklığını 3-5 °C düşürerek su kullanım verimliliğini artırmaktadır (Han ve ark., 2022; Pepe ve ark., 2023). Türkiye’de Akdeniz bölgesi seralarında bu uygulamalar, meyve renginin korunmasını ve erkenciliği desteklemektedir.

Sera ortamında sıcaklık ve ışık yönetimi, meyve kalitesi ve verimi üzerinde doğrudan etkili faaliyetlerdir. Optimum sıcaklık ve nem koşullarının sağlanması, kök bölgesinde su ve besin alımının dengeli gerçekleşmesini sağlamakta ve meyve olgunlaşma süresini kısaltmaktadır. Dolayısıyla, topraksız maviyemiş yetiştiriciliğinde iklim kontrolü, yalnızca bitki sağlığını korumakla kalmayıp, verim artışının ve ürün kalitesinin sürdürülebilirliği açısından da kritik bir yönetim unsuru olarak öne çıkmaktadır. Maviyemiş seralarında fan-pet (buharlaştırmalı soğutma) sistemleri, sıcaklık ve nemin kontrol edilmesini sağlamaktadır. Maviyemiş bitkisi 20–25 °C sıcaklık aralığında optimum gelişme göstermekte ve bu aralığın üzerindeki sıcaklıklarda fotosentetik aktivite ile polen canlılığında azalmalar meydana gelmektedir (Retamales ve Hancock, 2018). Seralarda sıcaklığın 30 °C’nin üzerine çıktığı dönemlerde fan-pet sistemleri, buharlaşma yoluyla seradaki havayı soğutarak bitki üzerinde oluşabilecek ısı stresini azaltmakta, aynı zamanda bağıl nemi artırarak transpirasyon dengesini korumaktadır (Erbil ve Atılgan, 2014; Boyacı ve ark., 2020). Bu mikroklimatik düzenleme, kök ve yaprak sıcaklığının

optimum düzeyde olmasını sağlamakta, böylece çiçek dökümü, meyve yanıkları ve yaprak solgunluğu gibi sıcaklık kaynaklı fizyolojik bozuklukları azaltmaktadır (Lobos ve Hancock, 2015). Ayrıca, fan-pet sistemleri düzenli hava sirkülasyonu sağlayarak hastalık etmenlerinin gelişimini de sınırlayarak, özellikle *Botrytis* ve yaprak lekesi gibi nemle ilişkili patojenlerin görülme sıklığını azaltmaktadır (Hocagil ve Öztürk, 2004). Tüm bu olumlu etkiler, maviyemişin topraksız kültür koşullarında yüksek verim, üstün meyve kalitesi ve sürdürülebilir ürün elde edilmesine katkı sağlamaktadır.

3.2. Örtüaltı Koşulları ve Yönetimi

Akdeniz ikliminde cam veya plastik serada ve açıkta (Şekil 1) hem yerel hem de yabancı pazarlar için erkencilik amaçlı topraksız maviyemiş yetiştiriciliği, farklı renklerde ve doluya dayanıklı gölgelik materyaller de kullanılarak giderek yaygınlaşmaktadır (Ünal ve ark., 2023; Çelik, 2024). Aşırı sıcak, soğuk bölgeler ile yüksek yağış alan bölgelerde meyve üretimi, cam veya plastik seralarda gerçekleştirilen kontrollü yetiştiricilik sistemleriyle sağlanmaktadır. Cam veya plastik seralar, yağış kontrolü ve çevresel sıcaklık stabilitesi sağlayarak maviyemişte meyve kalitesini artırmakta ve üretimde sürekliliği sağlamaktadır. Turner ve ark. (2020), ılıman iklim koşullarındaki yüksek tünel sistemlerinde çiçeklenmenin yaklaşık 12 gün erken gerçekleştiğini göstermiştir. Erken çiçeklenme, hasat zamanının öne alınmasını ve pazara erken ürün sunma avantajını da beraberinde getirmektedir. Örtüaltı yetiştirme koşulları, erkencilik ve geçcilik sağlanmasının yanında meyve çatlamasını önlemede önemli avantajlar sağlamaktadır. Kullanılan yapı ve örtü malzemesindeki farklılıklar ise ışık yoğunluğu, hava sıcaklığı ve nem gibi mikroklimatik özellikleri değiştirerek bitkilerin fizyolojik performansını, bitki büyümesi ve buna bağlı olarak meyve verimi ile kalitesini etkilemektedir (Wei ve ark., 2025). Renquist (2005)'in çalışmasında, maviyemiş çeşitlerinden, 'Toro', 'Nui', 'Legacy' ve 'Misty'nin veriminin plastik tüneller altında önemli ölçüde arttığını göstermiştir. Benzer şekilde, Retamal-Salgado ve ark. (2015)'nin çalışmasında, yüksek tüneller altındaki daha yüksek sıcaklıklar ve aktif radyasyonun maviyemiş meyvelerinde erken olgunlaşmaya ve meyve veriminde artışa neden olduğu belirlenmiştir.

Matamala ve ark. (2023), değişebilen ışık ve sıcaklık koşullarına bağlı olarak örtü tipinin maviyemişin verim ve meyve kalitesini farklı şekilde

etkilediğini bildirmiştir. Bu nedenle araştırmacılar, cam veya plastik sera koşullarının yüksek çalı maviyemiş bitkisinin verimi ve meyve kalitesi üzerindeki etkilerinin yerel iklim koşulları, kullanılan örtü tipi ve örtü malzemesine ile çeşide bağlı olarak değişebileceğini belirtmiştir. Seralarda kullanılan plastik örtüler, kök bölgesinde sıcaklık artışını sağlayarak bitkilerin erken dönemde büyümesini teşvik etmektedir (Tsai ve Li, 2021). Ancak, örtüaltı ortamında aşırı ısınmanın kalsiyum ve magnezyum alımını sınırlayarak meyve kalitesini olumsuz yönde etkileyebileceği de bildirilmiştir.



Şekil 1. Maviyemiş yetiştiriciliği a) Açıkta toprakta (Safir Berry Tarım Tic. ve San. A.Ş.), b) Açıkta saksıda topraksız kültürde (Fang ve ark., 2020), c) Plastik örtüaltında (Yaltır Tarım Ürünleri A.Ş.), d) Yüksek tünelde (Fang ve ark., 2020), e) Cam serada (Ç.Ü. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü serası), f) Saksıda topraksız kültürde kullanılan bitki sabitleme kafes örneği (Fang ve ark., 2020).

Türkiye’de örtüaltı üretim uygulamaları için optimum çevresel koşullar, sıcaklık 18–24 °C ve bağıl nemin ise %80–85 aralığında tutulması önerilmektedir (Çelik ve ark., 2024). Bu koşullar, fotosentetik etkinliği ve kök bölgesinde su ve besin alımını destekleyerek hem verim hem de meyve kalitesinin sürdürülebilirliğini sağlamaktadır. Ayrıca, seralarda düzenli hava sirkülasyonu ile substrat nem yönetimi, bitki sağlığının korunması ve patojen baskısının azaltılması açısından da önemli bir yönetim stratejisi olarak öne çıkmaktadır.

3.3. Çeşit Seçimi

Topraksız ve örtüaltı maviyemiş yetiştiriciliğinde doğru çeşit seçimi, verimliliği, kaliteyi ve sürdürülebilirliği etkileyen temel bir işletme faktörü olup, üretim başarısı ve verim sürekliliği açısından da kritik öneme sahiptir. Bu sistemlerde çeşit seçiminde, soğuklama ihtiyacı, ısı ve ışık gereksinimi, erkencilik/geççilik özellikleri, bitkinin büyüme gücü, meyve verimi ve kalitesi ile biyotik ve abiyotik stres koşullarına tolerans durumları belirleyici rol oynamaktadır.

Örtüaltı sistemlerinde sıcaklık değerleri genellikle dış ortama göre daha yüksek olduğundan, düşük veya çok az soğuklama gereksinimi gösteren çeşitlerin tercih edilmesi fizyolojik denge ve generatif gelişim açısından önem taşımaktadır. Örtüaltı koşullarında, özellikle Akdeniz iklim kuşağında, çeşide bağlı olarak bitkilerin ihtiyaç duyduğu 400–1200 saatlik soğuklama süresi çoğu zaman doğal olarak karşılanamamaktadır (Lobos ve Hancock, 2015). Örtüaltı yetiştiricilik sistemleri erken olgunlaşma ve geç hasat amaçlı kullanılabilen sistemlerdir. Pazar koşulları dikkate alınarak çeşitlerde olgunlaşma zamanına göre tercihin yapılması daha yüksek gelir elde edilmesi açısından önem taşımaktadır. Soğuklama ihtiyacı olmayan veya çok düşük olan erkenci çeşitlere ‘Misty’, ‘Sharpblue’, ‘O’neal’, ‘Star’ ve ‘Jewel’; soğuklama ihtiyacı yüksek geçici çeşitlere ise ‘Elliot’, ‘Legacy’, ‘Jersey’ ve ‘Liberty’ örnek verilebilmektedir.

Örtüaltı topraksız kültür koşullarında ısı ve ışık gereksinimi açısından, yüksek sıcaklıklara toleranslı çeşitlerin tercih edilmesi uygun olmaktadır. Ayrıca, fotosentez etkinliğinin yüksek olması için düşük ışık koşullarına da uyum sağlayabilen çeşitlerin örtüaltında daha avantajlı olabileceği düşünülmelidir (Lobos ve Hancock, 2015).

Seçilecek çeşidin büyüme gücü, kullanılacak sera tipi, yükseklik ve genişliği ile kullanılacak saksı veya torba sistemi seçimini de etkilemektedir. Kompakt gelişen, dik habituslu, kök sistemi yüzlek olan çeşitlerin topraksız sistemlere daha uygun olduğu bildirilmiştir. Bu özellikler, bitkinin substrat hacminden optimum şekilde yararlanmasını sağlamaktadır (Fang ve ark., 2020a).

Örtüaltı koşulları için seçilen çeşitlerin, yüksek meyve tutumuna sahip, iri ve sert meyveli, tat, aroma ve renk açısından pazar standartlarını karşılayabilecek özellikte olması gerekmektedir. Ayrıca, taşımaya dayanıklılık ve uzun raf ömrü özelliklerinin de pazarlama açısından dikkate alınmasında oldukça önemlidir (Pepe ve ark., 2023). Buna ek olarak, topraksız kültürde yüksek pH koşullarına tolerans gösterebilen türlerarası melezlerin geliştirilmesine yönelik araştırmalar da devam etmektedir (Muñoz ve ark., 2023). Bu melezlerin, özellikle alkali veya nötr pH'lı yetiştirme ortamlarında besin alımını optimize ederek, verim ve meyve kalitesi açısından avantaj sağlaması beklenmektedir.

Örtüaltı sistemlerinde nem oranının yüksek olması nedeniyle, kök çürüklüğü (*Phytophthora* spp.), yaprak hastalıkları (külleme, kurşuni küf vb.) ile unlu bit ve trips gibi zararlılara karşı dayanıklı çeşitlerin seçilmesine özen gösterilmelidir. Ayrıca, yetiştiricilikte ekonomik olarak önlenebilmesi için, gerektiğinde uygulanacak koruma ve kontrol önlemlerine hazırlıklı olunması gerektiği bilinmelidir.

3.4. Yetiştirme Ortamı (Substrat)

Topraksız maviyemiş yetiştiriciliğinde substrat seçimi, sistemin genel başarısını ve bitkisel performansı doğrudan etkileyen temel bir unsurdur. Substratın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri, kök bölgesindeki havalanma, su tutma kapasitesi, drenaj ve besin elementlerinin alınabilirliği üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Bitkilerin üretim potansiyelini ortaya koyan ve kök gelişimini bu ortamın özelliklerinin belirlenmesi ve etkin yönetimi önem taşımaktadır (Lemaire, 1994; Gruda, 2019; Heller ve Nunez, 2022).

Topraksız yetiştiricilikte substratlar genel olarak organik (torf, ağaç kabuğu, kokopit, pirinç kabuğu) ve inorganik (kum, perlit, vermikülit, kaya yünü, cam yünü) malzemeler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Bu

malzemeler tek başına veya karışımlar halinde kullanılabilir (Gül, 2019; Yang ve ark., 2022b). Bahçecilikte yetiştirme ortamlarının uygunluğu, ayrışma derecesi, kullanılabilir besin içeriği, pH, hacim yoğunluğu, elektriksel iletkenlik ve gözeneklilik gibi kalite parametreleri dikkate alınarak değerlendirilebilir. Maviyemiş saksı üretim sistemlerinde ise, torf, kokopit, perlit ve odun lifleri en yaygın substrat bileşenleri olarak öne çıkmaktadır (Fang ve ark., 2020a; Schreiber ve ark., 2021; Bignami ve ark., 2022; Cesoniené ve ark., 2023).

Substrat karışımlarında önemli bir bileşen olan torf, Avrupa bahçecilik endüstrisinde yıllık olarak kullanılan yetiştirme ortamlarının %77-80'ini oluşturmaktadır (Prasad ve ark., 2020). Torf, yüksek su tutma kapasitesi, gevşek dokusu ve maviyemiş üretimi için çok uygun olan kararlı asidik pH düzeyi gibi avantajlı özellikleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır (Kingston ve ark., 2017; Retamales ve Hancock, 2018). Bununla birlikte, torf kullanımının birkaç önemli çevresel ve ekonomik sürdürülebilirlik sorunu bulunmaktadır. Torfun sınırlı bulunması, yüksek maliyeti ve uzun sürede yenilenebilir bir kaynak olarak kullanılması, daha sürdürülebilir alternatif çözümlerin araştırılmasını gerekli kılmaktadır. Torf kaynaklarının korunması amacıyla topraksız sistemlerde torf yerine başka organik malzemelerin de test edildiği görülmektedir.

Kokopit, torf yerine kullanılmakla birlikte oldukça pahalı ve temini sınırlı bir kaynaktır. Gübre katıları parçalanmış odunsu budama artıkları, kentsel peyzaj bakımı faaliyetlerinden elde edilen bitki materyalleri, ağaç kabuğu gibi çeşitli hammaddelerden elde edilen farklı kökenli kompostlar, yüksek çalı maviyemiş üretiminde test edilmiş ve maviyemiş için potansiyel uygunluk gösteren materyaller olarak önerilmiştir (Fang ve ark., 2020a). Kokopitin, uygun fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle kapalı sistemlerde maviyemiş üretiminde kullanılan substratların en yaygın bileşenlerinden biri olduğu gösterilmiştir (Kingston ve ark., 2017). Çeşitli bilimsel kaynaklarda, uygun yetiştirme ortamlarını oluşturmak için karıştırılabilen ağaç lifleri, kokopit, kompost, ağaç kabukları, perlit ve diğer bileşenlerin kullanılması ile ilgili sonuçlar verilmiştir (Schmilewski, 2007). Ortiz-Delvasto ve ark. (2023) tarafından yürütülen çalışmada 'Legacy' çeşidi maviyemişin, kokopit ve torftan oluşan bir substrat karışımına kıyasla saf kokopitte daha iyi büyüme ve verim gösterdiği, ayrıca daha büyük meyve çapına sahip olduğu belirlenmiştir.

Araştırmacılar ayrıca, özel substrat üreticileri tarafından uzun ömürlülük ile kimyasal ve fiziksel stabilite gibi kriterlere göre substrat standartlarının belirlendiğini ve maviyemiş yetiştiricilerinin %40 torf, %40 kokopit ve %20 perlit oranında bir substrat karışımını başarıyla kullandıklarını belirtmişlerdir.

Perlit, yenilenemeyen önemli bir kaynak olup dünya genelinde bahçe bitkileri yetiştiriciliğinde kullanılmaktadır. Substrat bileşeni olarak perlitin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile insan sağlığı üzerindeki etkileri analiz edilmiş ve farklı çalışmalarda perlitin bitki kök bölgesinde gözenekliliği ve havalanmayı artırabileceği gösterilmiştir (Samar ve Saxena, 2016).

Yang ve Lin (2025) çalışmalarında, Tayvan'da saksıda yetiştirilen 'Biloxi' güney yüksek çalı maviyemiş (*V. corymbosum* türler arası melezleri) için alternatif ortam karışımları olarak yerel kaynaklı tarım ve orman atıklarının kullanımını araştırmışlardır. Çalışmada kullanılan ortam karışımları, ultisoller ile (kırmızı kil toprağı veya kalsiyum karbonat içermeyen toprak), pirinç kabukları, fıstık kabukları, kullanılmış mantar kompostu ile longan (*Dimocarpus longan* Lam.) ve sığla (*Liquidamber formosana* Hance) ağaçlarından elde edilen odun yongalarının kombinasyonlarından oluşmuştur. Araştırmacılar, fıstık kabuğu içeren ortam karışımlarının (fıstık kabuğu: ultisoller (v/v, 2:1) optimum pH ve EC seviyelerini etkili bir şekilde koruduğunu, torf bazlı kontrole benzer toplam kuru ağırlıklarla güçlü büyümeyi ve erken meyve üretimini desteklediğini göstermişlerdir.

Maviyemiş, ince köklerinin kötü drenajlı topraklarda kök çürümesine yatkın olması nedeniyle, yetiştirme ortamının yeterli fiziksel özellikler ve drenaj kapasitesi sağlaması gerekmektedir. Saksılı maviyemiş üretiminde substratın uygun kimyasal özellikleri de korunmalıdır. Bunlar arasında pH (4.2-5.5) ve elektriksel iletkenlik ($<2.0 \text{ mS cm}^{-1}$) öncelikli olarak değerlendirilmektedir (Kingston ve ark., 2017). Elektriksel iletkenlik değeri 1.0 dS m^{-1} den yüksek olduğunda maviyemişin büyümesi, üretimi ve kalitesi etkilenir. Topraksız kültürlerde ise $0.5\text{-}1.0 \text{ dS m}^{-1}$ arasında elektriksel iletkenliğe sahip besin çözeltileri, verim ve kaliteyi olumsuz etkilemeden kullanılabilir. Substratın bileşimi, doğal pH değerini etkileyebilir. Örneğin; pH değeri çam kabuğu içerikli substratlarda en düşük, kokopit içerikli substratlarda en yüksek ve torf içerikli substratlarda ise orta seviyededir (Ortiz-Delvasto ve ark., 2023). Ayrıca, substratın pH'ı, sulama suyu veya gübreleme çözeltisinin pH'sına ve bitkilerin besin alımına bağlı olarak hızla değişebildiği ve genel olarak

substratların pH tamponlama kapasitesi düşüktür. Bu nedenle, substratın pH'nın yönetiminde sudaki karbonat ve bikarbonat konsantrasyonları dikkate alınmalıdır (Tamir ve ark., 2021a). Substrat tipi, bitki beslenmesini, sulamayı ve N, P, Mg ve S gibi besin maddelerinin alımını doğrudan etkilemektedir (Kingston ve ark., 2020).

Maviyemiş için substrat seçimi yapılırken, kök özelliklerinin ve mikoriza-kök ilişkilerinin dikkate alınmasının da önemli olduğu vurgulanmaktadır (Retamales ve Hancock, 2018).

Tamir ve ark. (2022), pH değeri 4.5–5.2 aralığında hazırlanan torf+perlit karışımlarının maviyemişte optimum kök gelişimini sağladığını ve kök aktivitesini artırdığını bildirmiştir. Benzer şekilde, Ochmian ve ark. (2019) ile Smrke ve ark. (2021), substratın hava boşluğu oranının %20–25 aralığında olmasının köklerin yeterli oksijen alımı ile su ve iyon dengesinin sürdürülebilmesi açısından kritik öneme sahip olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca, kokopit ve kompost ilavesinin, substratın fiziksel yapısını iyileştirerek tuzluluğu azaltabileceği ve bu yolla kök bölgesindeki iyon dengesini düzenleyebileceği bildirilmiştir (Fang ve ark., 2020a; Miranda ve ark., 2025). Bu nedenle, substrat bileşiminin doğru belirlenmesi ile pH ve EC değerlerinin düzenli olarak izlenmesi, topraksız kültürde maviyemiş yetiştiriciliğinin sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır.

3.5. Yetiştirme Kabı

Maviyemişin örtüaltında saksıda veya torbada topraksız kültürde yetiştiriciliği, oldukça yeni bir teknik olup son yıllarda talebi giderek artmaktadır (Li ve Bi, 2019). Bu sistem, açık alandaki optimum olmayan toprak koşullarına kalmayı önlemenin yanı sıra substratın pH'sını, drenajını ve organik madde içeriğini kontrol etme olanağı sağlamaktadır. Sınırlı alanlarda kaplı üretim, bitkilerin taşınmasına ve bitki büyümesine göre büyüme yoğunluğunu ayarlanmasına imkan tanımaktadır. Saksı, plastik torba gibi kaplı üretim sistemleri, taşınabilirlikleri sayesinde çiftçilere geçici arazi kiralama seçeneği sunmakta ve kentsel alanlarda üretim yapma olanağını artırmaktadır. Ayrıca kaplı meyve üretimi, yıl boyunca gıda arzı sağlaması açısından da önemli avantajlar sağlamaktadır (Wilkinson ve ark., 2021).



Şekil 2. Topraksız kültür maviyemiş yetiştiriciliğinde kullanılan yetiştirme kapları; a) Siyah renkli yuvarlak saksı (Ç.Ü. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölüm Serası), b) Kahverengi yuvarlak saksı (Wei ve ark., 2025) c) Siyah renkli kare şeklinde saksı (Yaltır Tarım Ürünleri A.Ş.), d) Plastik torbalarda yetiştiricilik (Safir Berry Tarım Tic. ve San. A.Ş.)

Maviyemiş yetiştiriciliğinde yetiştirme kabı, bitkinin kök gelişimini doğrudan etkileyen önemli bir faktördür. Kaplı üretim, rizosferdeki su ve besin maddesi seviyelerinin hassas bir şekilde kontrol edilmesine imkan sağlarken, yetiştiricilerin toprak tuzluluğu, kireçlilik, verimsizlik ve kötü drenaj gibi toprak sorunları olan arazilerde maviyemiş yetiştirmesine de olanak sağlamak

gibi önemli avantajları bulunmaktadır (Fang ve ark., 2020a; Fang ve ark., 2022).

Kap boyutu, dikim yoğunluğunu etkileyebilmekte ve bitki büyüme hızı, kök gelişimi ile yetiştirme ortamının su tutma kapasitesi üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Kapta yetiştirilen bitkiler, açıkta yetiştirilenlerin aksine, genellikle kök büyümesi için sınırlı alana sahiptir, ancak maviyemiş bitkileri sığ kök sistemleriyle bilindiğinden, çoğu 2-4 yaşındaki çeşidin kökleri toprağın en üst 20 cm'sinde yoğunlaşmakta ve bu da onları saksılarda yetiştirmeye uygun hale getirmektedir (Fang ve ark., 2020a). Kapta maviyemiş yetiştiriciliğinde kap boyutu ve şekline karar vermek önemli bir aşamadır. Azaltılmış kök hacmi, kök solunumunu, besin alımını ve fotosentezi olumsuz etkileyerek çiçeklenme, biyokütle birikimi ve dağılımını sınırlayabilir, dolayısıyla bitki büyümesinde azalmaya neden olabilir (Poorter ve ark., 2012). Kap boyutunun artırılmasıyla sürgün ve kök biyokütlesi de artış göstermektedir (Fang ve ark., 2022; Nunez, ve ark., 2024).

Kök hacmi 40–50 L arasında olan saksıların, bitkilerin kök sisteminin sağlıklı gelişimini destekleyerek verim ve meyve kalitesi açısından optimum sonuçlar verdiği bildirilmiştir (Çelik ve Acar, 2025). Bu büyüklükteki saksılar, köklerin oksijen alımını artırarak sağlıklı bir kök yapısının oluşmasını sağlamakta ve besin elementlerinin verimli şekilde alınmasına olanak tanımaktadır. Ancak, aşırı drenaj nedeniyle suyun hızlı sızması, besin çözeltisi ve özellikle mikro elementlerin (B, Zn, Mn vb.) kaybına yol açarak bitki beslenmesinde sorunlara neden olabilmektedir (Tamir ve ark., 2021b). Yaklaşık 40-50 L'lik kaplar, maviyemiş yetiştiriciliğinde dikimden sonraki ilk 2 yıl boyunca kök büyümesi ve bitki parametreleri açısından yeterli bulunmuştur (Fang ve ark., 2022). Otuzsekiz litreden daha küçük kaplar, özellikle olumsuz hava koşullarında verim üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir, örneğin; güçlü rüzgarların varlığında, küçük saksılardaki bitkiler devrilebilir ve bazı sabitleme mekanizmalarının kullanılması gerekebilir (Şekil 1f). Saksı özellikleri, sulama ve gübreleme dahil olmak üzere yetiştiriciliğin yönetimini de etkiler. Saksıların yüksekliği ve genişliği, suyun kabın yüzeyi ile tabanı arasındaki dağılımını belirler (Owen ve ark., 2008), kap içinde eşit olmayan su dağılımı, hem su tutma kapasitesini hem de substrat içinde havalanmayı etkileyerek dengesiz kök gelişimine yol açabilir (Poorter ve ark., 2012). Genellikle, maviyemiş yetiştiricileri daha uzun kaplar yerine daha geniş kapları

tercih edilmektedir. Kök hastalıklarını önlemede yeterli drenaj sağlayan, çok sayıda delik veya ızgaraya sahip kaplar önerilmektedir. Topraksız kültür maviyemiş yetiştiriciliğinde, yuvarlak veya kare şekilli, siyah veya kahve renkli plastik saksılar ya da beyaz renkli plastik torbalar kullanılmaktadır (Şekil 2).

3.6. Sulama

Yetiştirme kaplarından sızan su miktarına dayalı sulama, maviyemiş yetiştiriciliğinde yaygın bir uygulamadır. Sızıntı oranı, sızıntı suyu hacminin uygulanan sulama/fertigasyon çözeltisi hacmine oranı ile belirlenmektedir. Önceki araştırmalar, yeterli sulama miktarı için %15 ila %25 arasında olmasını dikkate almış, ancak %25'in üzerindeki oranlar aşırı besin kaybına yol açabileceği ve doymuş koşullar bitki gelişimini olumsuz yönde etkileyebileceği bildirilmiştir. Kaplardan sızan çözeltinin, substratın kimyasal özelliklerini iyi bir şekilde yansıttığı göz önünde bulundurulduğunda, substratın pH değeri ve elektriksel iletkenliğinin izlenmesi için sızıntı suyunun periyodik olarak toplanıp analiz edilmesi gerekmektedir. Suyun tuzluluğunun yüksek olduğu veya yoğun bir fertigasyon programı uygulandığında, substratta tuzluluk birikmesi bir sorun oluşturabilir. Bu nedenle, gerektiğinde kaplardaki tuzların yıkanmasını sağlamak için sulama ile fertigasyon işlemleri arasındaki döngünün dikkatlice yönetilmesi önemlidir. Maviyemiş yetiştirme alanlarının çoğunda sulama suyu, karbonatlar ve bikarbonatlar içerebileceğinden, alkalinitenin nötralize edilmesi için sülfirik asit enjeksiyonu veya kükürtdioksit jeneratörleri ile asitleştirme yapılması önerilmektedir (Tamir ve ark., 2021b).

Maviyemişin su durumu, kültür sistemi sırasında izlenmelidir. Maviyemişteki doku dehidrasyon seviyesi, bağıl su içeriğinin ölçülmesiyle doğrudan tahmin edilebilir. Bağıl su içeriği genel olarak %98 (turgorlu yapraklar) ile %40 (ciddi şekilde susuz yapraklar) arasında değişmektedir (Balboa ve ark., 2020). Maviyemiş, abiyotik stres koşullarında yaprak terlemesiyle kaybedilen suyu karşılayamayan yüzlek ve lifli bir kök sistemine sahiptir. Bu durum, diğer türlere kıyasla daha yüksek bir solma noktasına (çeşitlere bağlı olarak %70'e kadar) yol açmaktadır (Ortiz-Delvasto ve ark., 2023).

Topraksız yetiştiricilikte kullanılan damla sulama sistemlerinde, kısa aralıklarla ve sık periyotlarla yapılan sulama, kök bölgesindeki nem ve iyon dengesini koruyarak drenaj suyunun pH değerinin ani dalgalanmalara karşı

stabil kalmasını sağlamaktadır. Bu uygulama, besin çözeltilisinin substrat içerisinde daha homojen dağılmasına, tuz birikiminin önlenmesine ve kök ortamı pH'sının optimum sınırlar içinde tutulmasına katkı sağlamaktadır. Dolayısıyla, kısa süreli sık sulama periyotları, hem besin elementlerinin alım etkinliğini artırmakta hem de sistemin uzun dönemde pH dengesini korumada önemli bir yönetim stratejisi olarak değerlendirilmektedir (Ferrón-Carrillo ve ark., 2021).

3.7. Bitki Besleme

Maviyemiş yetiştiriciliğinde besin ve su yönetimi, bitkilerin büyümesini etkileyen en önemli faktörler arasında başta gelmektedir. Bu iki faktör arasındaki etkileşim, türün fizyolojik özellikleri üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir (Guo ve ark., 2021). Topraksız kültür sistemlerinde, su ve besin maddeleri daha hassas bir şekilde kontrol edilebilmekte ve böylece girdilerin kullanımının optimize edilmesiyle yetiştirme ortamı iyileştirilebilmektedir (Putra ve Yuliando, 2015).

Substratta yetiştirilen maviyemişlerde yetiştirme ortamı temel besin elementlerini içermediğinden ve yalnızca pozitif yüklü iyonları tutabildiğinden, tüm makro ve mikro besin maddelerinin ((N, P, K, Ca, Mg, S (toprak pH'ını düşürmek için kullanılır), Fe, B, Cu ve Zn)) besin çözeltilisiyle sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle, saksıda maviyemiş yetiştiriciliğinin başarılı bir şekilde yürütülebilmesi, bitkinin farklı fenolojik dönemlerinde ihtiyaç duyduğu uygun besin miktarının verilmesini sağlayacak besin yönetimi stratejilerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Sızıntı suyu analizleri, hem besin noksanlığının izlenmesinde hem de besin kayıplarının kontrol edilmesinde kritik bir role sahiptir. Bu nedenle, besin kayıplarının azaltılması bu ürün için önemli bir konudur (Voogt ve ark., 2012). Aşırı su ve besin uygulanması durumunda sızıntı suyu miktarı önemli ölçüde artmakta ve bitkilerin çözeltiliden daha fazla su alması, kök bölgesinde tuzluluk birikimine yol açabilmektedir. Böyle durumlarda, biriken tuzlar gidermek için substratın asitlendirilmiş suyla yıkanması gerekmektedir. Gübre uygulamalarının zamanlaması ve yönetimi, üreticilerin kök bölgesinin besin dinamiklerini düzenleyebilmesine ve sağlıklı bitki büyümesini/gelişimini destekleyecek uygun pH seviyelerini koruyabilmesine olanak tanımaktadır. Kaplı sistem maviyemiş yetiştiriciliğinde EC ve pH değerlerinin düzenli olarak izlenmesi büyük önem

taşımaktadır. Bu izleme sayesinde, substrat verimliliğinin sürdürülebilir biçimde yönetilmesi ve sağlıklı büyüme ve yüksek meyve verimi ve kalitesi için uygun besin çözeltisi seviyelerinin doğru zamanda uygulanması/sağlanması mümkün olmaktadır.

Maviyemiş, birçok kültür bitkisine kıyasla daha düşük besin gereksinimlerine sahip olup nitrat azotu ($\text{NO}_3 - \text{N}$), P, K, Ca ve Mg gibi temel besin elementlerinin sınırlı düzeyde bulunabildiği asidik topraklarda gelişebilmektedir (Valentinuzzi ve ark., 2018).

Substratta yapılan maviyemiş yetiştiriciliğinde, yetiştirme ortamı besin elementi içermediğinden tüm makro ve mikro besin maddelerinin bitkiye fertigasyon yoluyla verilmesi gerekir. Bu uygulama, besinlerin kök bölgesine homojen ve kontrollü bir şekilde ulaştırılmasını sağlayarak dengeli bir beslenme ortamı oluşturur. Maviyemiş yetiştiriciliğinde kullanılan besin çözeltisi örnekleri Çizelge 1’de sunulmuştur.

Azot, maviyemiş yetiştiriciliğinde birincil besin elementi olup her yıl düzenli uygulanması gerekmektedir. Azot, maviyemiş yapraklarının kuru ağırlığının %1.5-2.1’ini oluşturan, bitkinin metabolik süreçlerinde kritik öneme sahip bir elementtir (Alt ve ark., 2017). Toprak pH’sı ve uygulanan N formu, maviyemiş N alımını ve kullanım verimliliğini (Prinsi ve Espen, 2018), amino asit sentezini, fotosentezi, kök gelişimini, meyve kalitesini ve genel büyüme performansını önemli ölçüde etkilemektedir (Bassi ve ark., 2018). Maviyemiş bitkileri, kök ve yapraklarda düşük nitrat redüktaz aktivitesine sahip oldukları için birçok kültür bitkisinin aksine $\text{NO}_3\text{-N}$ yerine öncelikle $\text{NH}_4^+\text{-N}$ formundaki N’u absorbe ederler (Frias-Moreno ve ark., 2021). Maviyemişin NH_4^+ seven bir tür olduğu ve $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ’unu tercih ettiği uzun yıllardır kabul edilmekle birlikte (Darnell ve ark., 2015), Xu ve ark. (2021) maviyemiş bitkisinin tek bir N formunu (NH_4^+ veya NO_3^-) alma ve kullanma konusunda yetersiz kaldığını ve her iki N formunun birlikte bulunmasını tercih ettiğini bildirmiştir. Araştırmacılar, pH 5.0 koşullarında $\text{NH}_4^+\text{-N}:\text{NO}_3^-\text{-N}$ oranını 2:1 olarak uygulanmasının en iyi büyüme performansını sağladığını belirlemişlerdir.

Bitki beslenmesinde NH_4^+ ve $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ’u arasındaki oran, kök bölgesi pH’sının düzenlenmesi ve besin elementlerinin alımı üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Yapılan araştırmalar, yaklaşık %70 NH_4^+ ve %30 NO_3^- -oranının, kök ortamı pH’sının istenen düzeyde tutulması ve özellikle Fe, Mn ve Zn mikro besin elementlerinin alımının optimize edilmesi açısından en uygun dengeyi

sağladığını göstermektedir. Bu oran, kök bölgesinde hafif asidik bir ortam oluşturarak besin elementlerinin bitki tarafından alınabilirliğini artırmakta ve aynı zamanda büyüme ve gelişmeyi destekleyen fizyolojik süreçlerin dengelemesinde katkıda bulunmaktadır (Claussen ve Lenz, 1999; Tamir ve ark., 2022; Fang ve ark., 2022).

Çizelge 1. Topraksız Kültür Maviyemiş Yetiştiriciliğinde Kullanılan Bazı Besin Çözeltilerinin Bileşimi (mg L⁻¹).

Element	Hoagland ve Arnon (1950)	Tamir ve ark. (2023)	Glonek ve Komosa, (2013)			Kaynaklar
N	210	30	100	150	200	Ca(NO ₃) ₂ ; KNO ₃ ; (NH ₄) ₂ SO ₄ ; (NH ₄) ₂ HPO ₄
P	31	10	30	45	60	H ₃ PO ₄ ; KH ₂ PO ₄
K	234	30	60	90	120	K ₂ SO ₄ ; KH ₂ PO ₄
Mg	48	10	30	45	60	MgSO ₄ .7H ₂ O
S	64	53	48	48	48	CaSO ₄ .H ₂ O
Fe	2.5	1	1.6	1.6	1.6	Fe-EDTA
Mn	0.5	1	0.54	0.54	0.54	MnSO ₄ . H ₂ O
B	0.5	-	0.30	0.30	0.3	H ₃ BO ₃
Cu	0.02	0.045	0.01	0.01	0.01	CuSO ₄ 5H ₂ O
Zn	0.05	0.25	0.41	0.41	0.41	ZnSO ₄ 7H ₂ O
Mo	0.01	0.013	0.03	0.03	0.02	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4 H ₂ O

Bitkiler için temel besin elementleri arasında yer alan P, enerji transferi süreçlerinde ve kök gelişiminde kritik bir role sahipken, K fotosentez etkinliği ve bitkinin su dengesinin düzenlenmesi ile yakından ilişkilidir (Nath ve Tuteja, 2016). Guo ve ark. (2021), yeterli düzeyde besin ve sulama yönetiminin fotosentez verimliliğini artırabileceğini ve maviyemiş bitkilerinin büyüme performansını önemli ölçüde iyileştirebileceğini bildirmiştir.

3.8. Budama

Örtüaltı üretim, birim alanda daha fazla sayıda bitki yerleştirmeye olanak sağlayan daha yüksek dikim yoğunluğuna (417–550 bitki da⁻¹) yol açmaktadır (Çelik ve Seydioğlu, 2019; Fang ve ark., 2020a). Artan bitki yoğunluğu, budama gibi bazı kültürel uygulamaların da değişen yetiştirme koşullarına uyarlanmasını gerekli kılmaktadır (Retamales ve ark., 2021). Budama, maviyemiş bitkilerinde yeni ve yaşlı sürgün sayısı ile genel bitki büyüklüğü

arasındaki denge kurulması açısından kritik öneme sahip bir kültürel uygulamadır. Maviyemiş bitkisinde budama aynı zamanda; bitki tacı içerisine ışık girmesini artırmak, çiçek tomurcuğu sayısının, meyve verimi ve kalitesinin artırılması ve bu işlemler için gereken iş gücünün azaltılması ve böylece sürdürülebilir verimliliğe katkı sağlanması amacıyla yapılan bir işlemdir (Strick ve ark., 2003). Yakın aralıklarla yerleştirilmiş saksılı maviyemiş bitkilerinde budama, çeşide ve saksı hacmine bağlı olarak 10-15 sürgünün bırakılması önerilmektedir (Milivojević ve ark., 2025). Uygun budama uygulamaları, daha soğuk ve nemli iklimlere adapte olmuş kuzey yüksek maviyemişlerinde, yeni sürgün gelişimi ve meyve tutumunu olumsuz etkileyebilecek iklim koşullarına rağmen düzenli ve yüksek verim elde edilmesine katkı sağlayabilmektedir. Buna karşın, birim alan başına verimliliği artırmaya yönelik budama stratejilerini inceleyen Jorquera-Fontena ve ark. (2014), aşırı budamanın bitkilerde yaprak alanını azaltarak meyve kalitesini olumsuz etkileyebileceğini bildirmiştir.

3.9. Hastalık ve Zararlı Yönetimi

Toprakta yetiştirilen sistemlere kıyasla, topraksız kültür ve örtüaltında yetiştirilen maviyemiş bitkileri ekolojik hassasiyetleri ve doğal yaşam alanı dinamikleri nedeniyle hastalık ve zararlılara karşı daha duyarlıdır. Örtüaltı yetiştiriciliğinde nemin uzun süre yüksek seyretmesi ve havalanmanın yetersizliği, mantar sporlarının çimlenmesini ve zararlı popülasyonlarının artışı kolaylaştırırken, yanlış sulama ve yüksek bitki yoğunluğu gibi faktörlerde hastalık ve zararlı riskini artıran diğer önemli faktörlerdir. Dünya genelinde maviyemiş üretiminde toprak ve hava kökenli pek çok fungal hastalığın etkili olduğu bildirilmektedir (Polashock ve ark., 2017). Maviyemışte görülen başlıca mantari hastalıklar; mumlu tane hastalığı (*Monilia vaccinii* – *corymbosi*), yaprak pası (*Pucciniastrum vaccinia*), külleme (*Erysiphe vaccinii*) ile kök çürüklüğüne neden olan fitofthora (*Phytophthora cinnamoni*), meyve çürüklüğüne neden olan gri küf (*Botrytis* sp.), antraknoz (*Colletotrichum gloeosporioides*) ve alternaria (*Alternaria alternata*) enfeksiyonları olarak sıralanabilir (Scherm ve ark., 2008). Zararlılar açısından ise, özellikle çiçeklenme, sürgün gelişimi ve meyve oluşumu dönemlerinde aktif olan tripsler (*Frankliniella vaccinii*), yaprak ve sürgün özsuynunu emen akarlar ve beyaz sinekler ile tomurcuk akarı (*Acalitus vaccinii*) ve yaprak piresi

(*Scaphytopius magdalensis*) önemli tehditler arasında yer almaktadır (Lee ve ark., 2015; Rodriguez-Saona ve ark., 2019).

4. DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE TOPRAKSIZ KÜLTÜRDE MAVİYEMİŞ YETİŞTİRİCİLİĞİ KONUSUNDA YAPILMIŞ ARAŞTIRMALAR

Topraksız yetiştiricilik sistemleri, son yıllarda farklı iklim koşullarına sahip bölgelerde uygulanabilirliği, verim potansiyelleri ve meyve kalitesi üzerindeki etkileri açısından kapsamlı şekilde araştırılmaktadır. Avrupa, Kuzey Amerika ve Asya'da yürütülen çalışmalar, özellikle torf, kokopit, perlit ve odun lifi gibi farklı substrat kombinasyonlarının maviyemişin fizyolojik gelişimi, kök yapısı ve meyve bileşimi üzerindeki etkilerini ortaya koymuştur (Ochmian ve ark., 2019; Tamir ve ark., 2022). Bu araştırmalar, kontrollü besin çözeltisi yönetiminin ve uygun pH aralığının (4.5–5.5) bitki büyümesini, antosiyanin birikimini ve verim istikrarını önemli ölçüde artırdığını rapor etmiştir (Claussen ve Lenz, 1999; Jiang ve ark., 2019).

Avrupa'da özellikle Hollanda, İspanya ve Polonya gibi ülkelerde, ticari ölçekte yürütülen üretim denemeleri, topraksız sistemlerinin açıkta yapılan yetiştiriciliğe kıyasla %30–50 oranında daha yüksek verim sağladığını ve ürün kalitesinde istikrarlı artışlar oluşturduğunu göstermektedir (Ferrón-Carrillo ve ark., 2021). Amerika Birleşik Devletleri'nde ise substrat seçimi ile besin çözeltisi kompozisyonunun ekonomik verimlilik ve su kullanım etkinliği üzerindeki belirleyici rolü ön plana çıkmıştır (Fang ve ark., 2022).

Türkiye'de yapılan çalışmalar henüz sınırlı olmakla birlikte, Akdeniz ve Karadeniz bölgelerinde yürütülen denemeler, topraksız kültür sistemlerin maviyemişin bölgesel adaptasyonunu kolaylaştırdığını ve özellikle yüksek pH'lı topraklarda yetiştiricilik için etkili/uygun bir alternatif oluşturduğunu göstermektedir (Çelik ve Odabaş, 2020). Bu bulgular, ülkemizde topraksız kültür uygulamalarının yaygınlaştırılmasının hem verim ve kalite artışı hem de sürdürülebilir üretim hedefleri açısından önemli bir potansiyel taşıdığını ortaya koymaktadır.

Topraksız sistemlerde yürütülen araştırmalar, farklı substrat bileşimlerinin kök gelişimi, besin alımı ve su yönetimi üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır. Bignami ve ark. (2022) ve Cesoniené ve ark. (2023), torf+odun lifi+perlit karışımlarının maviyemiş yetiştiriciliğinde kök bölgesinde

optimum hava ve su dengesini sağladığını ve torfun %40'a kadar oranda yenilenebilir materyallerle karıştırılmasının verim veya kalite kaybına yol açmadığını bildirmişlerdir. Bu sonuç, üretim performansını koruyarak çevresel sürdürülebilirliği destekleyen alternatif substratların kullanımının mümkün olduğunu göstermektedir. Claussen ve Lenz (1999) de, $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ oranının kök bölgesi pH'sının düzenlenmesi ve iyon dengesinin korunmasında belirleyici bir faktör olduğunu ortaya koymuştur. Bu oranın, özellikle düşük pH gereksinimi olan maviyemişte Fe ve Mn gibi mikro besin elementlerinin alımını doğrudan etkileyerek fizyolojik gelişimi ve meyve kalitesini şekillendirebileceği gösterilmiştir. Benzer şekilde, Tamir ve ark. (2022) ve Fang ve ark. (2020b) tarafından yapılan çalışmalarda da, NH_4^+ ağırlıklı besin çözeltilerinin kullanıldığı sistemlerde kök aktivitesinin, klorofil düzeylerinin ve meyve antosiyanin içeriğinin önemli düzeyde arttığını bildirmektedir. Bu kapsamda, uluslararası literatür, topraksız kültürde uygun substrat bileşimi ile besin çözeltisi yönetiminin, maviyemişte hem verim hem de kalite performansını optimize eden temel unsurlar olduğunu bildirmektedir. Türkiye'de yürütülen sınırlı sayıdaki çalışmalar da bu bulgularla paralellik göstermekte olup, uygun pH aralıklarında (4.5–5.5) $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ oranının dengelenmesi ve sürdürülebilir substrat karışımlarının kullanımıyla yüksek kaliteli üretimin mümkün olduğunu göstermektedir (Çelik ve Odabaş, 2020).

Kuzey Amerika ve Şili'de yürütülen çalışmalarda, topraksız sistemlerin farklı iklim koşullarına uyarlanabilirliği ve üretim performansı üzerindeki etkileri kapsamlı biçimde ortaya konmuştur. Turner ve ark. (2020) ve Ferrón-Carrillo ve ark. (2021), yüksek tünel koşullarında yürüttükleri denemelerde, topraksız sistemlerin meyve kalitesi parametrelerini (şeker/organik asit oranı, renk yoğunluğu ve sertlik) belirgin ölçüde iyileştirdiğini ve hasat zamanını 10–15 gün erkene çektiğini bildirmişlerdir. Bu sonuçlar, topraksız sistemlerin mikroklima koşullarını daha etkin yönetebilmesi sayesinde fotosentetik etkinliği artırarak meyve olgunlaşma sürecini hızlandığını göstermektedir. Nunez ve ark. (2016) tarafından gerçekleştirilen araştırmada ise, doku kültürüyle çoğaltılan maviyemiş fidanlarında köklenme başarısının kullanılan substrat tipine bağlı olarak önemli farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Çalışmada, kokopit temelli karışımların su tutma kapasitesi ile havalanma dengesinin kök gelişimini teşvik ettiği ve fidanlarda adaptasyon oranlarını artırdığı rapor edilmiştir. Bulgular, erken dönem fide gelişiminde substrat

seçiminin, bitkinin sonraki büyüme performansı ve verim potansiyeli üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Genel olarak, Amerika kıtasında yürütülen çalışmalar, topraksız sistemlerin yalnızca verim ve kaliteyi artırmakla kalmayıp, üretim sezonunu da öne çekerek pazara erken ürün sunma avantajı sağladığını ortaya koymaktadır. Bu yönüyle, söz konusu sistemlerin ticari üretimde ekonomik sürdürülebilirlik açısından önemli bir potansiyel taşıdığı değerlendirilmektedir.

Asya kıtasında gerçekleştirilen araştırmalar, topraksız sistemlerde çevresel kontrolün optimizasyonunun su ve besin kullanım etkinliği üzerinde belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymuştur. He ve ark. (2023) ve Han ve ark. (2022) ve Li ve ark. (2021) tarafından sera koşullarında yürütülen çalışmalarda, sıcaklık ve ışık yönetiminin iyileştirilmesiyle su kullanım etkinliğinin geleneksel topraklı sistemlere kıyasla %30'a kadar artırılabilirdiği bildirilmiştir. Bu artışın, fotosentetik verimliliğin yükselmesi ve transpirasyon kayıplarının azalmasıyla ilişkilendirilmiştir. Ayrıca Fang ve ark. (2020a) ve Han ve ark. (2022), topraksız yetiştiricilikte pH kontrolünün meyve kalitesi açısından kritik bir faktör olduğunu vurgulamış, substrat pH'sının 4.5–5.0 aralığında tutulmasının antosiyanin sentezini maksimum düzeye çıkardığını göstermiştir. Bu aralıkta, özellikle fenilpropanoid yolaklarının daha aktif hale gelmesiyle birlikte meyve kabuğunda renk yoğunluğu ve antioksidan kapasitede anlamlı artışlar gözlenmiştir. Bu sonuçlar, Asya ülkelerinde yürütülen çalışmaların, topraksız sistemlerin yalnızca kaynak kullanım etkinliğini artırmakla kalmayıp çevresel parametrelerin hassas yönetimi yoluyla ürün kalitesini de optimize ettiğini göstermiştir. Böylece, kontrollü sera koşullarında uygulanan topraksız kültür modelleri, iklim değişikliğine karşı üretim güvenliği ve kalite sürekliliği açısından önemli bir çözüm alanı olarak değerlendirilmektedir.

Türkiye'de topraksız kültürde maviyemiş yetiştiriciliğine yönelik çalışmalar son yıllarda belirgin biçimde artış göstermiştir. Bu araştırmalarda, farklı yetiştirme sistemlerinin (açık alan, masura ve saksı) bitki gelişimi, verim ve kalite parametreleri üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çelik ve Odabaş (2020), Samsun koşullarında yürüttükleri çalışmada, açık alan ve masura sistemlerini karşılaştırmış, masura sisteminde daha yüksek suda çözünür kuru madde oranı elde edilirken, saksı sisteminde toplam verimin daha yüksek olduğu belirlemiştir. Bu sonuç, farklı yetiştirme

ortamlarının bitki fizyolojisi ve meyve bileşimi üzerinde farklı yönlerde etkiler oluşturabileceğini göstermiştir. Benzer şekilde, Çelik ve Acar (2025) tarafından, ‘Patriot’ ve ‘Bluegold’ çeşitleriyle yürüttükleri çalışmada, saksı sisteminde verimin yaklaşık %30 oranında arttığı, buna karşın masura sisteminde meyve renginin ve tat kalitesinin daha iyi düzeyde olduğu bildirilmiştir. Bu bulgu, substrat özelliklerinin ve kök ortamı koşullarının çeşit performansı üzerinde belirleyici etkileri olduğunu ortaya koymaktadır. Akdeniz iklim koşullarında gerçekleştirilen çalışmalar da topraksız sistemlerin meyve kalitesi üzerindeki olumlu etkilerini desteklemektedir. Pepe ve ark. (2023), topraksız kültürde yetiştirilen maviyemişlerde meyve sertliği, antioksidan kapasite ve fenolik bileşik içeriğinin önemli düzeyde arttığını rapor etmişlerdir. Bu sonuçlar, Türkiye’de topraksız kültür uygulamalarının yalnızca verim artışı değil, aynı zamanda kalite iyileşmesi açısından da önemli bir potansiyel taşıdığını göstermektedir.

Rizosfer mikroflorası üzerine yapılan çalışmalar, topraksız yetiştirme ortamlarında mikrobiyal dinamiklerin, özellikle besin formu ve pH değişimleriyle yakından ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Cytryn ve ark. (2012)’nın çalışmalarında, topraksız sistemlerde bakteriyel toplulukların pH değişimlerine yüksek duyarlılık gösterdiğini, özellikle düşük pH koşullarında ise asidofilik ve bitki büyümesini teşvik eden bakteri türlerinin baskın hale geldiğini bildirmiştir. Çalışmada ayrıca, NH_4^+ ağırlıklı gübreleme uygulamalarının, nitrifikasyon süreçlerini sınırlandırarak faydalı mikroorganizma popülasyonlarının sürekliliğini desteklediği belirtilmiştir. Bu bulgular, kök bölgesinde kararlı bir mikrobiyal ekosistemin korunmasının, bitki beslenme etkinliği ve stres toleransı açısından kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Topraksız sistemlerde kullanılan substratların fiziksel özellikleri ve kimyasal tamponlama kapasiteleri de mikrobiyal çeşitliliği etkileyerek rizosferin biyolojik aktivitesini şekillendirmektedir. Dolayısıyla, uygun besin formu ve pH dengesinin sağlanması yalnızca bitki beslenmesini değil, aynı zamanda kök çevresinde simbiyotik mikroorganizmaların gelişimini destekleyerek sistemin ekolojik istikrarını güçlendirdiği de anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak, uluslararası literatür, topraksız sistemlerin yalnızca üretim artışı sağlamadığını, aynı zamanda su, enerji ve besin kullanım etkinliği açısından da önemli çevresel avantajlar sunduğunu ortaya koymaktadır (Muñoz ve ark., 2023; Daoud ve ark., 2024; Miranda ve ark., 2025). Bu sistemler,

özellikle sınırlı su kaynaklarının olduğu bölgelerde, sürdürülebilir üretim açısından geleneksel topraklı yetiştiriciliğe kıyasla daha yüksek kaynak verimliliği ve çevresel dayanıklılık sergilediği bildirilmektedir. Ayrıca, kontrollü ortam koşullarında gerçekleştirilen üretim süreçleri sayesinde besin kayıpları minimize edilmekte, atık oluşumu ve çevresel kirlilik riski azaltılmaktadır. Bu bağlamda, topraksız kültür sistemleri, hem iklim değişikliğine uyum stratejileri hem de sürdürülebilir tarımsal üretim modelleri açısından geleceğin önemli üretim alternatiflerinden biri olarak değerlendirilmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye’de, topraksız sistemlerin yaygınlaşmasıyla üretimin yalnızca Karadeniz Bölgesi ile sınırlı kalmayıp farklı iklim kuşaklarında da ekonomik olarak gerçekleştirilebileceği öngörülmektedir. Bu kapsamda yapılacak bölgesel adaptasyon denemelerinin, çeşit×substrat×iklim etkileşimi bakımından uzun dönemli araştırmalarla desteklenmesinde yarar vardır. Gelecekteki çalışmaların özellikle substrat optimizasyonu, mikrobiyal simbiyoz ilişkileri, biyostimülant uygulamaları ile karbon ayak izinin azaltılmasına yönelik sistem analizlerine odaklanması önerilebilir. Ayrıca, iklim, pH, EC ve nem takibinde sensör destekli otomasyon sistemlerinin ve yapay zekâ tabanlı karar destek teknolojilerinin yaygınlaştırılmasının, üretim verimliliğini ve sürdürülebilirliği daha da artırması beklenmektedir.

Sonuç olarak, topraksız kültürde maviyemiş yetiştiriciliği, doğru çevresel yönetim, dengeli besleme stratejisi, uygun substrat bileşimi ve teknolojik yeniliklerle birleştirildiğinde, Türkiye’nin farklı iklim kuşaklarında uygulanabilir ve ülkenin bu alandaki rekabet gücünü artıracak yüksek potansiyele sahip bir üretim modeli olabileceği değerlendirilmiştir.

KAYNAKLAR

- Alt, D.S., Doyle, J.W. & Malladi, A. (2017). Nitrogen-source preference in blueberry (*Vaccinium* sp.): Enhanced shoot nitrogen assimilation in response to direct supply of nitrate. *Journal of Plant Physiology*, 216, 79-87.
- Balboa, K., Ballesteros, G.I. & Molina-Montenegro, M.A. (2020). Integration of physiological and molecular traits would help to improve the insights of drought resistance in highbush blueberry cultivars. *Plants*, 9(11), 1457.
- Bassi, D., Menossi, M. & Mattiello, L. (2018). Nitrogen supply influences photosynthesis establishment along the sugarcane leaf. *Scientific Reports*, 8(1), 2327.
- Bignami, C., Melegari, F., Zaccardelli, M., Pane, C. & Ronga, D. (2022). Composted solid digestate and vineyard winter prunings partially replace peat in growing substrates for micropropagated highbush blueberry in the nursery. *Agronomy*, 12(2), 337.
- Boyacı, S., Akyüz, A. & Eren, M. (2020). Seralarda soğutma pedi olarak yerel malzemelerin kullanımı olanaklarının araştırılması. *Uluslararası Biyosistem Mühendisliği Dergisi*, 1(2), 87-98.
- Brazelton, C., Fain, C., Ogg, M., Riquelme, C., Rodriguez, V. & Ilyas, S. (2023). Global state of the blueberry industry report. *International Blueberry Organization*.
- Česonienė, L., Krikštolaitis, R., Daubaras, R. & Mažeika, R. (2023). Effects of mixes of peat with different rates of spruce, pine fibers, or perlite on the growth of blueberry saplings. *Horticulturae*, 9(2), 151.
- Claire, D., Watters, N., Gendron, L., Boily, C., Pépin, S. & Caron, J. (2018). High productivity of soilless strawberry cultivation under rain shelters. *Scientia Horticulturae*, 232, 127-138.
- Claussen, W. & Lenz, F. (1999). Effect of ammonium or nitrate nutrition on net photosynthesis, growth, and activity of the enzymes nitrate reductase and glutamine synthetase in blueberry, raspberry and strawberry. *Plant and Soil*, 208(1), 95-102.
- Cytryn, E., Levkovitch, I., Negreanu, Y., Dowd, S., Frenk, S. & Silber, A. (2012). Impact of short-term acidification on nitrification and nitrifying

- bacterial community dynamics in soilless cultivation media. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(18), 6576-6582.
- Çelik, H. (2008). Maviyemiş (Yaban Mersini, Likapa) Yetiştiriciliği El Kitabı. Artvin’de Yaban Mersini (Likapa) Yetiştiriciliği Eğitimi Projesi, AÇÜ Orman Fakültesi Dekanlığı, DOKAP LDI-172, Artvin, 67.
- Çelik, H. (2019). Maviyemişin Türkiye’deki serüveni. *Bahçe*, 48(Özel Sayı 1) 6. Ulusal Üzümsü Meyveler Sempozyumu), 17-29.
- Çelik, H. (2024). Maviyemiş üretim ve ekonomisi. *Harman Time Dergisi*, Nisan-2024, 12(135), 60-66.
- Çelik, H. & Acar, E. (2021). Determination of phenological stages and the change of yield potential according to harvest in blueberries grown in outdoors in pots and raised bed. III. Balkan Agriculture Congress Proceedings Book, 803-819.
- Çelik, H. & Acar, E. (2025). Determination of Yield and Quality Characteristics of Blueberries Grown in Pot and Raised-Bed in Soilless Culture. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 40(2), 293-310.
- Çelik, H. & Islam, A. (2012). Blueberry Species Introduction, Selection and Cultivation Practice in Northeastern Part of Anatolia. In: *X International Symposium on Vaccinium and Other Superfruits 1017* (pp. 441-446).
- Çelik, H. & Odabas, M.S. (2020). Modeling the Effect of Different Medium on Rooting of Northern Highbush Blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) Softwood Cuttings. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 30(2), 280-288.
- Çelik, H. & Seydioğlu, Y. (2019). Saksıda Yetişen Yüksek Boylu Maviyemiş Çeşitlerinin Fenolojik Safhaları İle Kalite Özellikleri. *Bahçe*, 48(Özel Sayı 1) 6. Ulusal Üzümsü Meyveler Sempozyumu), 141-148.
- Daoud, H.B.H., Butera, M.R. & Duarte, J.P.R. (2024). Perspective Chapter: Growing Berries in Substrate. *Hydroponic Farming – A modern Agriculture Technique*. DOI:10.5772/intechopen.1008343.
- Darnell, R.L. & Hiss, S.A. (2006). Uptake and assimilation of nitrate and iron in two *Vaccinium* species as affected by external nitrate concentration. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 131(1), 5-10.
- Darnell, R.L., Casamali, B. & Williamson, J.G. (2015). Nutrient assimilation in southern highbush blueberry and implications for the field. *Horttechnology*, 25(4), 460-463.

- Di Lonardo, S., Cacini, S., Becucci, L., Lenzi, A., Orsenigo, S., Zubani, L., ... & Massa, D. (2021). Testing new peat-free substrate mixtures for the cultivation of perennial herbaceous species: A case study on *Leucanthemum vulgare* Lam. *Scientia Horticulturae*, 289, 110472.
- Doaguie, A.R. & Moghadam, A.G. (2015). The application of date palm fibers as growth medium and optimization of moisture content and holding capacity by response surface methodology. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 5(4), 1–14.
- Erbil, F.G. & Atılğan, A. (2014). Sıcak Bölgelerdeki seralarda fan-ped sisteminin etkinliğinin belirlenmesi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(1), 34–41.
- Eyupoglu, F., Kurucu, N. & Sanisa, U. (1994). Status of plant available micronutrients in Turkish soils. Soil and Fertilizer Research Institute Annual Report. Report No, 25-32.
- Fang, Y., Nunez, G. H., Silva, M.N.D., Phillips, D.A. & Munoz, P.R. (2020 a). A review for southern highbush blueberry alternative production systems. *Agronomy*, 10(10), 1531.
- Fang, Y., Nunez, G., Fisher, P. & Munoz, P.R. (2022). Effect of container size, substrate composition, and genotype on growth and fruit quality of young southern highbush blueberry in a container-based intensive production system. *Scientia Horticulturae*, 302, 111149.
- Fang, Y., Williamson, J., Darnell, R., Li, Y. & Liu, G. (2020 b). Optimizing nitrogen fertigation rates for young southern highbush blueberry. *Agronomy*, 10(3), 389.
- Ferrón-Carrillo, F., Cunha-Chiamolera, T.P.L.D. & Urrestarazu, M. (2021). Effect of ammonium nitrogen on pepper grown under soilless culture. *Journal of Plant Nutrition*, 45(1), 113-122.
- Frías-Moreno, M.N., Parra-Quezada, R.A., González-Aguilar, G., Ruíz-Canizales, J., Molina-Corral, F.J., Sepulveda, D.R., ... & Olivas, G.I. (2021). Quality, bioactive compounds, antioxidant capacity, and enzymes of raspberries at different maturity stages, effects of organic vs. Conventional fertilization. *Foods*, 10(5), 953.
- Glonek, J. & Komosa, A. (2013). Fertigation of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). Part II. The effect on soil nutrient contents. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 12(3), 59-68.

- Gruda, N.S. (2019). Increasing sustainability of growing media constituents and stand-alone substrates in soilless culture systems. *Agronomy*, 9(6), 298.
- Gruda, N.S. & Fernández, J.A. (2022). Optimising soilless culture systems and alternative growing media to current used materials. *Horticulturae*, 8(4), 292.
- Gruda, N., Qaryouti, M.M. & Leonardi, C. (2013). Growing media. *Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops—principles for Mediterranean climate areas* (Baudoin W. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy. 271–302.
- Guo, X., Li, S., Wang, D., Huang, Z., Sarwar, N., Mubeen, K., ... & Hussain, M. (2021). Effects of water and fertilizer coupling on the physiological characteristics and growth of rabbiteye blueberry. *PloS one*, 16(7), e0254013.
- Güçdemir, İ. (2006). Türkiye gübre ve gübreleme rehberi. Güncelleştirilmiş ve genişletilmiş 5. Baskı. *Toprak Gübre ve Su Kaynakları merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü. Genel yayın*, (213).
- Gül, A. (2019). Topraksız Tarım. Hasad Yayıncılık. 146 s.
- Güneri, M., Mısırlı, A., Yokaş, İ. & Yağmur, B. (2012). Valensiya portakal çeşidinde kükürt, jips, amonyum sülfat ve sitrik asit uygulamalarının bitki besin elementleri içeriklerine etkileri. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*, 49(1), 83-92.
- Han, G.D., Jung, D.H., Heo, S. & Chung, Y.S. (2022). SPAD value difference between blueberry cultivar ‘STAR’by planted ground and pot. *Phyton*, 91(11), 2583.
- Haynes, R.J. & Swift, R.S. (1985). Effects of liming on the extractability of Fe, Mn, Zn and Cu from a peat medium and the growth and micronutrient uptake of highbush blueberry plants. *Plant and soil*, 84(2), 213-223.
- He, L., Jing, G., Zhao, N., Lu, Q., Zhang, Z., Chen, Z., ... & Ding, X. (2023). Soil nutrients and the responses of microbial community structure to pine bark and vinegar residues in blueberry cultivation. *Applied Soil Ecology*, 189, 104907.
- Heller, C.R. & Nunez, G.H. (2022). Preplant fertilization increases substrate microbial respiration but does not affect southern highbush blueberry

- establishment in a coconut coir-based substrate. *HortScience*, 57(1), 17-21.
- Hız, A., Gözlekçi, Ş., Ünal, N. & Oymak, H. (2019). Antalya ilinde saksıda yetiştiriciliği yapılan bazı maviyemiş çeşitlerinde döllenme biyolojisi üzerine bir araştırma. VI. Ulusal Üzümsü Meyveler Semp. Özet Kitapçığı, 55p.
- Hirzel, J., Muñoz, V., Moya-Elizondo, E., Lagos, O., Balbontín, C. & Uribe, H. (2024). Use of increasing rates of ammonia nitrogen in pot-grown blueberries and its effect on fruit yield and macronutrient concentration in leaves. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 84(3), 454-466.
- Hoagland, D.R. & Arnon, D.I. (1950). The water-culture method for growing plants without soil. (Circular (California Agricultural Experiment Station); 347. Ed.). Berkeley, California. University of California, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station.
- Hocagil, M.M., & Öztürk, H.H. (2004). Seralarda sıcaklık ve bağıl nem kontrolü üzerine bir araştırma. *Alatarım Dergisi*, 3(2), 43-50.
- Howard, L.R., Clark, J.R. & Brownmiller, C. (2003). Antioxidant capacity and phenolic content in blueberries as affected by genotype and growing season. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(12), 1238-1247.
- Jiang, Y., Zeng, Q., Wei, J., Jiang, J., Li, Y., Chen, J. & Yu, H. (2019). Growth, fruit yield, photosynthetic characteristics, and leaf microelement concentration of two blueberry cultivars under different long-term soil pH treatments. *Agronomy*, 9(7), 357.
- Jorquera-Fontena, E., Alberdi, M. & Franck, N. (2014). Pruning severity affects yield, fruit load and fruit and leaf traits of 'Brigitta' blueberry. *Journal of soil science and plant nutrition*, 14(4), 855-868.
- Kingston, P.H., Scagel, C.F., Bryla, D.R. & Strik, B. (2017). Suitability of sphagnum moss, coir, and douglas fir bark as soilless substrates for container production of highbush blueberry. *HortScience*, 52(12), 1692-1699.
- Kingston, P.H., Scagel, C.F., Bryla, D.R. & Strik, B.C. (2020). Influence of perlite in peat-and coir-based media on vegetative growth and mineral nutrition of highbush blueberry. *HortScience*, 55(5), 658-663.

- Korcak, R.F. (1988, August). Aluminum relationships of highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). In: *IV International Symposium on Vaccinium Culture 241* (pp. 162-166).
- Lee, J., Mulder, P. & Smith, D. (2015). Commercial blackberry, strawberry, and blueberry insect and disease control-2015.
- Lemaire, F. (1994). Physical, chemical and biological properties of growing medium. *Hydroponics and Transplant Production*, 396, 273-284.
- Li, P., Kong, D., Zhang, H., Xu, L., Li, C., Wu, M., ... & Hu, F. (2021). Different regulation of soil structure and resource chemistry under animal-and plant-derived organic fertilizers changed soil bacterial communities. *Applied Soil Ecology*, 165, 104020.
- Li, T. & Bi, G. (2019). Container production of southern highbush blueberries using high tunnels. *HortScience*, 54(2), 267-274.
- Lobos, G.A. & Hancock, J.F. (2015). Breeding blueberries for a changing global environment: a review. *Frontiers in Plant Science*, 6, 782.
- Matamala, M.F., Bastías, R.M., Urrea, I., Calderón-Orellana, A., Campos, J. & Alborno, K. (2023). Rain cover and netting materials differentially affect fruit yield and quality traits in two highbush blueberry cultivars via changes in sunlight and temperature conditions. *Plants*, 12(20), 3556.
- Milivojevic, J., Radivojevic, D., Boskov, D., Veberic, R., Gacnik, S. & Petkovsek, M.M. (2025). Effect of a New Pruning Method on Field Performance and Fruit Quality of Highbush Blueberries Grown as a Soilless Culture—Does Cultivar Has Influence?. *Applied Fruit Science*, 67(3), 120.
- Miranda, G.S., de Lima, F.N., Yamanishi, O.K., Peixoto, J.R. & Pires, M.D. C. (2025). Pruning type and timing affect agronomic performance of blueberry plants grown in central Brazil. *Comunicata Scientiae*, 16, e4240-e4240.
- Muñoz, V., France, A., Uribe, H. & Hirzel, J. (2022). Effect of nitrogen rate and water replacement level on leaf biomass production and leaf nitrogen concentration of ten pot-grown blueberry cultivars. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 82(2), 294-308.
- Muñoz, V., France, A., Uribe, H. & Hirzel, J. (2023). Nitrogen and irrigation rates affected leaf phosphorus and potassium concentrations in different

- cultivars of pot-grown blueberry. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(1), 965-973.
- Nath, M. & Tuteja, N. (2016). NPKS uptake, sensing, and signaling and miRNAs in plant nutrient stress. *Protoplasma*, 253(3), 767-786.
- Nunez, G.H., Harmon, C.L., Olmstead, J.W. & Darnell, R.L. (2016). Root-level inoculation with iron-reducing microorganisms does not enhance iron uptake by southern highbush blueberry plants. *Rhizosphere*, 2, 24-33.
- Nunez, G.H., Zapien, M. & Phillips, D. (2024). Introduction to Southern Highbush Blueberry Cultivation in Containers: HS1476, 2/2024. *EDIS*, 2024(1).
- Ochmian, I., Malinowski, R., Kubus, M., Malinowska, K., Sotek, Z. & Racek, M. (2019). The feasibility of growing highbush blueberry (*V. corymbosum* L.) on loamy calcic soil with the use of organic substrates. *Scientia Horticulturae*, 257, 108690.
- Ortiz-Delvasto, N., Garcia-Ibañez, P., Olmos-Ruiz, R., Bárzana, G. & Carvajal, M. (2023). Substrate composition affects growth and physiological parameters of blueberry. *Scientia Horticulturae*, 308, 111528.
- Owen Jr, J.S. & Altland, J.E. (2008). Container height and douglas fir bark texture affect substrate physical properties. *HortScience*, 43(2), 505-508.
- Pepe, A.V., Yildirim, F., Yildirim, A. & Çelik, C. (2023). Determination of fruit quality and antioxidant properties of some blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) cultivars cultivated in soilless culture. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 38(3), 513-521.
- Polashock, J.J., Caruso, F.L., Averill, A.L. & Schilder, A.C. (2017). Compendium of blueberry, cranberry, and lingonberry diseases and pests. (No. Ed. 2, pp. 231-pp).
- Poorter, H., Bühler, J., van Dusschoten, D., Climent, J. & Postma, J.A. (2012). Pot size matters: a meta-analysis of the effects of rooting volume on plant growth. *Functional Plant Biology*, 39(11), 839-850.
- Prasad, M., Chrysargyris, A., McDaniel, N., Kavanagh, A., Gruda, N.S. & Tzortzakis, N. (2020). Plant nutrient availability and pH of biochars and their fractions, with the possible use as a component in a growing media. *Agronomy*, 10(1), 10.

- Prinsi, B. & Espen, L. (2018). Time-course of metabolic and proteomic responses to different nitrate/ammonium availabilities in roots and leaves of maize. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(8), 2202.
- Putra, P.A. & Yuliando, H. (2015). Soilless culture system to support water use efficiency and product quality: A review. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 3, 283-288.
- Renquist, S. (2005). An evaluation of blueberry cultivars grown in plastic tunnels in Douglas County, Oregon. *International Journal of Fruit Science*, 5(4), 31-38.
- Retamales, J.B. & Hancock, J.F. (2018). *Blueberries* (Vol. 27). CABI Nosworthy Wallingford Oxfordshire OX10 8DE UK.
- Retamales, J.B., Palma, M.J., Araya, C.M., Espíndola, G.A. & Bastías, R.M. (2021, August). Effect of sectorial pruning on yield and fruit quality of highbush blueberries. In *XII International Vaccinium Symposium 1357* (pp. 13-18).
- Retamal-Salgado, J., Bastías, R.M., Wilckens, R. & Paulino, L. (2015). Influence of microclimatic conditions under high tunnels on the physiological and productive responses in blueberry 'O'Neal'. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 75(3), 291-297.
- Rodriguez-Saona, C., Vincent, C. & Isaacs, R. (2019). Blueberry IPM: past successes and future challenges. *Annual Review of Entomology*, 64(1), 95-114.
- Samar, M. & Saxena, S. (2016). Study of chemical and physical properties of perlite and its application in India. *International Journal of Science Technology and Management*, 5(4), 70-80.
- Scherm, H., Savelle, A.T., Brannen, P.M. & Krewer, G. (2008). Occurrence and prevalence of foliar diseases on blueberry in Georgia. *Plant Health Progress*, 9(1), 18.
- Schmilewski, G. (2007, September). Growing medium constituents used in the EU. In *International Symposium on Growing Media 2007* 819 (pp. 33-46).
- Schreiber, M.J. & Nunez, G.H. (2021). Calcium carbonate can be used to manage soilless substrate pH for blueberry production. *Horticulturae*, 7(4), 74.

- Serçe, S. & Gündüz, K. (2016). Yüksek Boylu Maviyemişin Akdeniz Bölgesine Adaptasyonu. TAGEM Araştırma - Geliştirme Destekleri Proje Sonuç Raporu. TAGEM/ 13 / AR-GE / 25.
- Smrke, T., Veberic, R., Hudina, M., Stamic, D. & Jakopic, J. (2021). Comparison of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) under ridge and pot production. *Agriculture*, 11(10), 929.
- Strick, B., Buller, G. & Hellman, E. (2003). Pruning severity affects yield, berry weight and hand harvest efficiency of highbush blueberry. *HortScience*, 38, 196-199.
- Sultana, N., Pascual-Díaz, J.P., Gers, A., Ilga, K., Serçe, S., Vitales, D. & Garcia, S. (2020). Contribution to the knowledge of genome size evolution in edible blueberries (genus *Vaccinium*). *Journal of Berry Research*, 10(2), 243-257.
- Tamir, G., Afik, G., Zilkah, S., Dai, N. & Bar-Tal, A. (2021a). The use of increasing proportions of $N-NH_4^+$ among the total applied inorganic N to improve acidification and the nutritional status and performance of blueberry plants in soilless culture. *Scientia Horticulturae*, 276, 109754.
- Tamir, G., Eli, D., Zilkah, S., Bar-Tal, A. & Dai, N. (2022). Improving rabbiteye blueberry performance in a calcareous soil by growing plants in pits filled with low- $CaCO_3$ growth media. *Agronomy*, 12(3), 574.
- Tamir, G., Zeng, Q., Eli, D., Zilkah, S., Bar-Tal, A. & Dai, N. (2023). Combined effects of alkaline pH and high Ca concentration on root morphology, cell-wall polysaccharide concentrations and blueberry plant performance. *Frontiers in Agronomy*, 5, 1121448.
- Tamir, G., Zilkah, S., Dai, N., Shawahna, R., Cohen, S. & Bar-Tal, A. (2021b). Combined effects of $CaCO_3$ and the proportion of $N-NH_4^+$ among the total applied inorganic N on the growth and mineral uptake of rabbiteye blueberry. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(1), 35-48.
- Tsai, M.H. & Li, K.T. (2021). Leaf color as a morpho-physiological index for screening heat tolerance and improved water use efficiency in rabbiteye blueberry (*Vaccinium virgatum* Aiton). *Scientia Horticulturae*, 278, 109864.
- Turner, A.J., Arzola, C.I. & Nunez, G.H. (2020). High pH stress affects root morphology and nutritional status of hydroponically grown rhododendron (*Rhododendron* spp.). *Plants*, 9(8), 1019.

- Ünal, N., Okatan, V. & Kalkan, P. (2023, September). Phenological developmental stages and fruit quality properties of different blueberry cultivars grown under soilless conditions. In *Agribalkan 2023 V. Balkan Agricultural Congress* (p. 458).
- Valentinuzzi, F., Pii, Y., Mimmo, T., Savini, G., Curzel, S. & Cesco, S. (2018). Fertilization strategies as a tool to modify the organoleptic properties of raspberry (*Rubus idaeus* L.) fruits. *Scientia Horticulturae*, 240, 205-212.
- Voogt, W., Van Dijk, P., Douven, F. & Van Der Maas, R. (2012, June). Development of a soilless growing system for blueberries (*Vaccinium corymbosum*): Nutrient demand and nutrient solution. In: *X International Symposium on Vaccinium and Other Superfruits 1017* (pp. 215-221).
- Wei, J., Jiang, J., Tian, L., Jiang, Y., Ge, C., Yu, H. & Zeng, Q. (2025). Effect of Rain-Shelter Cultivation on Yield and Fruit Quality of Container-Grown Rabbiteye Blueberry in Central-Eastern China. *Plants*, 14(8), 1167.
- Wilkinson, A., Gerlach, C., Karlsson, M. & Penn, H. (2021). Controlled environment agriculture and containerized food production in northern North America. *Journal of Agriculture, Food Systems, and Community Development*, 10(4), 127-142.
- Wu, F.Z. (2020). Comprehensive valuation and indicators of the tolerance to higher soil pH stress of 11 northern highbush blueberry varieties. *Journal of Fruit Science*, 37(11), 1711-1722.
- Wu, Y., Yang, H., Huang, Z., Zhang, C., Lyu, L., Li, W. & Wu, W. (2022). Metabolite profiling and classification of highbush blueberry leaves under different shade treatments. *Metabolites*, 12(1), 79.
- Xu, J., Fang, Y., Tavakkoli, E., Pan, X., Liao, F., Chen, W. & Guo, W. (2021). Preferential ammonium: nitrate ratio of blueberry is regulated by nitrogen transport and reduction systems. *Scientia Horticulturae*, 288, 110345.
- Yang, H., Duan, Y., Wei, Z., Wu, Y., Zhang, C., Wu, W., ... & Li, W. (2022b). Integrated physiological and metabolomic analyses reveal the differences in the fruit quality of the blueberry cultivated in three soilless substrates. *Foods*, 11(24), 3965.
- Yang, H., Wu, Y., Duan, Y., Zhang, C., Huang, Z., Wu, W., ... & Li, W. (2022a). Metabolomics combined with physiological and transcriptomic

analyses reveal regulatory features associated with blueberry growth in different soilless substrates. *Scientia Horticulturae*, 302, 111145.

Yang, J.L. & Lin, S.Y. (2025). Evaluating sustainable media mixes using local agricultural and forestry wastes for enhancing the early establishment of container-grown southern highbush blueberry in subtropical climates. *Scientia Horticulturae*, 339, 113845.

You, Q., Wang, B., Chen, F., Huang, Z., Wang, X. & Luo, P.G. (2011). Comparison of anthocyanins and phenolics in organically and conventionally grown blueberries in selected cultivars. *Food Chemistry*, 125(1), 201-208.

BÖLÜM 2

KONTROLLÜ ATMOSFER DEPOLAMADA İLERİ TEKNİKLER

Prof. Dr. Muharrem ERGUN^{1*}
Ziraat Yük. Müh. Nazan ERGUN²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18114325>

¹ Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Bingöl, Türkiye;
mergun@bingol.edu.tr ; Orcid: 0000-0002-0213-1245

² Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Erzurum, Türkiye;
nergun@bingol.edu.tr ; Orcid: 0000-0001-9338-2770

*Sorumlu yazar: mergun@bingol.edu.tr

1. GİRİŞ

Yaş meyve ve sebzeler, diğer tarımsal ürünlere kıyasla hasat sonrası dönemde çok daha yüksek oranda kayıplara uğramakta ve bu kayıplar bazı durumlarda %50'ye kadar çıkabilmektedir. Bu kayıplar çoğunlukla ürünün solunumu sürdürmesi, su içeriğinin azalması, etilen üretimi, çeşitli fizyolojik bozuklukların ortaya çıkması ve mikrobiyal gelişim gibi etmenlerden kaynaklanmaktadır. Ürünler solunum sırasında yalnızca su kaybetmekle kalmaz; canlılığını sürdürmek için bünyelerindeki karbondhidrat, yağ, protein gibi temel besin maddelerini ve vitaminler başta olmak üzere değerli fitokimyasal bileşenleri de tüketirler.

Bu nedenle hasat sonrası kayıpları azaltmak, raf ve depo ömrünü uzatmak ve besin değerini korumak için en yaygın kullanılan yöntem geleneksel soğukta muhafaza şeklidir. Ancak tek başına soğukta depolama, özellikle klimakterik meyvelerde görülen yüksek solunum hızı ve yoğun etilen üretimi gibi metabolik süreçleri tam olarak kontrol altına alamamaktadır. Bu noktada kontrollü atmosfer (KA) depolama, doğal havadan farklı olarak depo atmosferindeki oksijen (O_2) ve karbondioksit (CO_2) seviyelerinin ayarlandığı ve sürekli takip edildiği ileri bir depolama tekniği olarak öne çıkar. Genellikle düşük O_2 (%1–5) ve yüksek CO_2 (%1–10) uygulamaları, ürünlerin solunum hızını düşürerek olgunlaşmayı yavaşlatır, etilen üretimini ve duyarlılığını azaltır ve patojen gelişimini sınırlandırarak önemli avantajlar sağlar (Kader, 2003; Imahori, 2024).

Geleneksel KA depolama sistemlerinde ürünlerin muhafaza edildiği atmosfer koşulları genellikle önceki araştırmalara ve uygulama deneyimlerine dayanarak belirlenmekte, bu nedenle çoğu zaman belirli ürünler için önerilen statik O_2 ve CO_2 değerleri kullanılmaktadır (Delele ve ark., 2019). Ancak farklı türlerin, hatta aynı türün farklı çeşitlerinin optimum depolama gereksinimleri önemli ölçüde değişebilmektedir. Bunun yanında, depolama süreci boyunca ürünün fizyolojik durumu, olgunluk seviyesi ve çevresel koşullar sürekli olarak değiştiği için sabit atmosfer değerleri her zaman ideal sonuç vermemektedir. Bu değişkenlikler, KA teknolojisinde daha hassas, esnek ve ürünün gerçek zamanlı ihtiyaçlarına odaklanan yöntemlerin geliştirilmesini zorunlu hâle getirmiştir. Statik atmosfer koşulları bazı durumlarda ürünün tolerans sınırlarının altında veya üstünde kalabilmekte; özellikle çok düşük O_2 seviyeleri dokularda yumuşamaya, aroma ve tat bozulmalarına ve diğer fizyolojik zarar

belirtilerine yol açabilmektedir (Bessemans ve ark., 2016; Thewes ve ark., 2022). Benzer şekilde CO₂'nin aşırı yükselmesi de fizyolojik bozuklukları tetikleyerek uzun süreli depolamada kalite kayıplarını artırabilmektedir (Delele ve ark., 2019).

Bu nedenle KA depolamanın, bilimsel verilere dayalı, ürünün fizyolojik gereksinimlerini dikkate alan ve dinamik şekilde düzenlenen bir yaklaşımla yürütülmesi; kalite kayıplarının azaltılması ve depolama verimliliğinin artırılması açısından büyük önem taşımaktadır. Depolama sırasında fizyolojik bozuklukları azaltmak amacıyla uzun yıllar kimyasal uygulamalara başvurulmuştur. Örneğin elmalarda difenilamin veya 1-metilsiklopropan (1-MCP) gibi maddeler, etilen sentezini baskılayarak bozuklukları azaltmak amacıyla yaygın şekilde kullanılmıştır (Mditshwa ve ark., 2018). Ancak bu maddelerin sentetik yapıda olmaları, çevre açısından istenmeyen etkiler ve pek çok ülkede kullanım kısıtlamaları nedeniyle kimyasal olmayan alternatif yöntemlere olan ilgi artmıştır (Prange ve ark., 2011; Mditshwa ve ark., 2018).

Bu çerçevede, düşük oksijen atmosferlerinin son derece hassas bir şekilde yönetilmesinin fizyolojik bozuklukları azalttığı ve güvenli bir yöntem olduğu birçok çalışmada gösterilmiştir (Mditshwa ve ark., 2018). Günümüzde ultra düşük oksijen, dinamik kontrollü atmosfer ve sensör tabanlı yeni nesil KA teknolojileri, ürünlerin tolerans sınırları içinde depolanmasına olanak tanıyarak kalite kayıplarını minimuma indirmeyi hedeflemektedir. Bu yaklaşımlar hem ürünün doğal fizyolojisini korumakta hem de depolama süresince optimum kaliteyi sürdürmek için esnek ve duyarlı bir kontrol sağlamaktadır.

Son yıllarda, sensör teknolojileri, biyolojik izleme yöntemleri, veri analitiği ve otomasyon alanlarındaki gelişmeler, KA'da bir dizi ileri teknolojinin ortaya çıkmasına olanak tanımıştır. Dinamik kontrollü atmosfer, düşük ve ultra düşük oksijen ile depolama en yaygın ileri KA uygulamalarını oluşturmakta olup her geçen gün bu sayı çoğalmaktadır. Bu gelişmeler, yalnızca depolama süresinin uzatılmasını sağlamakla kalmamakta; aynı zamanda tekstür, aroma, fenolik bileşikler, antioksidan profili, raf ömrü ve pazarlama kalitesinin korunmasına daha etkin şekilde katkıda bulunmaktadır. Dünya genelinde özellikle elma, armut, kiraz, üzüm, çilek, kivi ve sert kabuklu meyvelerde ileri KA uygulamaları yaygınlaşmaktadır (Yahia, 2019; Thewes ve ark., 2021; Imahori, 2024).

Türkiye’de KA tesislerinin sayısı artmakla birlikte, modern sensör temelli ve dinamik KA sistemlerine geçiş henüz sınırlıdır. Bu nedenle güncel bilimsel bilgilerin derlenmesi ve yeni nesil KA teknolojilerinin sektör ve akademi tarafından anlaşılması önem taşımaktadır. Bu çalışma, kontrollü atmosfer depolamada kullanılan ileri teknikleri kapsamlı şekilde inceleyerek, mevcut bilimsel verileri değerlendirmeyi ve uygulayıcılara yol göstermeyi amaçlamıştır.

2. KONTROLLÜ ATMOSFER DEPOLAMANIN TEMEL PRENSİPLERİ

KA depolamanın temel prensibi, ürünlerin fizyolojik faaliyetlerini en asgariye düzeye indirerek yaşlanma (sensens) süreçlerini yavaşlatmaktır. Bu amaç, aşağıdaki mekanizmalar üzerinden sağlanır:

Solunum hızının bastırılması: Ürünün bulunduğu ortamdaki O_2 seviyesinin düşürülmesi, Krebs döngüsünde enerji üretimini yavaşlatır ve metabolik faaliyetleri sınırlar (Brizzolara ve ark., 2020).

Etilen sentezinin ve duyarlılığının azaltılması: Ürünün bulunduğu ortamdaki CO_2 ’nin yükseltilmesi ve O_2 ’nin azaltılması, ACC oksidaz aktivitesini baskılayarak etilen üretimini azaltır (Gorny ve Kader, 1997).

Fungal ve bakteriyel gelişimin sınırlandırılması: Yüksek CO_2 seviyeleri birçok patojen mikroorganizmanın büyümesini engeller (Zhao ve ark., 2022).

Fizyolojik bozulmaların geciktirilmesi ve engellenmesi: Yüksek CO_2 ve düşük O_2 konsantrasyonlarında meyve etinde yumuşama, renk değişimi, klorofil kaybı, fenolik oksidasyonu gibi süreçler fiziksel ve biyokimyasal değişimler ya baskılanır ya da engellenir (Kader, 1994).

Geleneksel KA sistemlerinde atmosfer bileşimi genellikle %1–5 O_2 ve %1–10 CO_2 aralığında sabitlenir; ancak bu değerler ürün türüne göre farklılık gösterebilmektedir. Bu sistemlerde atmosfer, depolama süresi boyunca değiştirilemez ve yalnızca operatör müdahalesi ile ayarlanabilir (Dilley, 2010). Günümüzde ise gelişmiş sensör teknolojileri sayesinde atmosfer bileşimi gerçek zamanlı olarak izlenebilmekte ve ürünün fizyolojik tepkilerine göre dinamik bir şekilde ayarlanabilmektedir (Arshad ve ark., 2022).

3. KONTROLLÜ ATMOSFER DEPOLAMADA İLERİ TEKNİKLER

Geleneksel KA depolama sistemlerinde atmosfer koşulları sabit tutulurken, modern KA teknolojileri ürünün fizyolojik durumunu anlık olarak izleyerek, atmosferi buna göre ayarlamakta ve böylece bozulmayı en aza indirmeyi hedeflemektedir. Son 20 yılda geliştirilen ileri KA uygulamaları arasında hızlı kontrollü atmosfer, gecikmeli kontrollü atmosfer, ultra düşük oksijen seviyeleri, başlangıç düşük oksijen stresi, tekrarlanan düşük oksijen stresi, dinamik kontrollü atmosfer, böcek öldürücü kontrollü atmosfer, hibrit MAP-KA sistemleri ve yapay zekâ destekli atmosfer yönetimi gibi teknikler yer almaktadır. Bu bölümde söz konusu modern KA yöntemleri ayrıntılı olarak ele alınmıştır (Fang ve Wakiasaka, 2021; Thewes ve ark., 2021; Arshad ve ark., 2022; Imahori, 2024).

3.1.1. Hızlı Kontrollü Atmosfer

Hızlı KA sistemi, depolama odasının kapatılmasından hemen sonra hedef atmosfer koşullarının kısa sürede oluşturulmasını amaçlayan bir tekniktir. Bu yöntemde O₂ seviyesi, depoya yüksek saflıkta N₂ verilerek çok hızlı bir şekilde düşürülür ve devamında ürün solunumu sayesinde 5 kPa'ın altına kadar indirilebilir (Wright ve ark., 2015; Bodbodak ve Moshfeghifar, 2016). Hızlı KA, özellikle armut, elma ve lahana gibi solunumu yüksek ürünlerde etkili olup, meyve eti sertliği, titre edilebilir asitlik ve genel kalite kaybını önemli ölçüde azaltabilmektedir. Ayrıca depolama başlangıcında hızlı atmosfer kurulumu sayesinde ürünlerin stres düzeyi düşmekte ve depolama süresince daha stabil bir fizyolojik yapı korunmaktadır (Imahori, 2024).

3.2. Gecikmeli Kontrollü Atmosfer

Gecikmeli KA, hızlı KA'nın aksine, depolama odasında oksijen seviyesinin aniden değil, kademeli veya gecikmeli olarak düşürüldüğü bir atmosfer yönetim tekniğidir (Wright ve ark., 2015). Hızlı KA uygulamalarının özellikle 'Fuji', 'Elstar', 'Pink Lady' ve 'Braeburn' elma çeşitlerinde ve 'Conference' armutlarında iç kararmaya neden olduğu bilinmektedir. Bu nedenle KA koşullarının oluşturulmasının birkaç hafta ertelenmesi veya CO₂ birikiminin geciktirilmesi, meyvelerde daha yüksek adenosin trifosfat (ATP) seviyelerinin korunmasını sağlayarak yüksek CO₂ kaynaklı iç kararma bozukluklarını önemli ölçüde azaltabilmektedir (Saquet ve ark., 2003;

Bodbodak ve Moshfeghifar, 2016; Imahori, 2024). Gecikmeli KA, özellikle depolamanın başında meyvenin stres toleransının artmasına ve gaz değişimlerine daha kontrollü bir adaptasyon göstermesine yardımcı olmaktadır.

3.3. Ultra Düşük Oksijen Seviyesi (UDO)

Geleneksel KA depolamada kullanılan en düşük oksijen seviyesi yaklaşık 2 kPa civarındadır. Buna karşılık ultra düşük oksijen (UDO) depolamada, O₂ seviyesinin 1 kPa'ın altına düşürüldüğü daha ileri bir yaklaşımı ifade eder (Bodbodak ve Moshfeghifar, 2016; Yahia ve ark., 2019). UDO'nun temel amacı, kontrollü atmosfer depolamanın olumlu etkilerini en üst düzeye çıkarmak ve ürünün metabolik faaliyetlerini mümkün olan en düşük seviyeye indirerek kalite kayıplarını minimuma düşürmektir (Mditshwa ve ark., 2018).

UDO sistemi, hızlı KA yöntemine benzer şekilde çalışır; hasat sonrası oksijen seviyesi kısa sürede 1–1,3 kPa düzeyine indirilirken, CO₂ seviyesinin 2–2,5 kPa'ın altında kalması gerekmektedir (Yahia ve ark., 2019). Bu nedenle UDO uygulaması için, geleneksel KA odalarına kıyasla daha üstün gaz yalıtımına sahip, sızdırmazlığı yüksek ve atmosfer bileşiminin çok daha sık ayarlanmasına izin veren depolama odaları gereklidir (Bodbodak ve Moshfeghifar, 2016).

Yapılan araştırmalar, UDO koşullarında depolanan 'Granny Smith' ve 'Golden Reinders' elmalarının, geleneksel KA depolamaya göre sertlik, renk, aroma ve genel kaliteyi daha yüksek düzeyde koruduğunu göstermiştir (Mditshwa ve ark., 2018). Bununla birlikte UDO uygulamasının başarısı, ürünün hasat olgunluğu gibi başlangıç özelliklerinden etkilenebilmektedir. ODO teknolojisi yalnızca elmalarda değil; armut, kivi, nektarin, greyfurt, marul, soğan ve çeşitli diğer bahçe ürünlerinde de başarılı sonuçlar vermiştir (Ekman ve ark., 2005; Bodbodak ve Moshfeghifar, 2016; Imahori, 2024).

3.4. Başlangıç Düşük Oksijen Stresi

Bu KA teknolojisinin çalışma prensibi, odanın O₂ seviyesini 0,5 kPa'nın altına düşürülerek iki haftayı geçmeyecek şekilde depolanmasına dayanmaktadır (Bodbodak ve Moshfeghifar, 2016; Mditshwa ve ark., 2018). Uygulamanın başlangıcında ürüne kontrollü ve kısa süreli bir oksijen stresi verilerek meyvede hafif bir fermantatif metabolizma tepkisi oluşturulur. Bu süreçte oluşan düşük miktardaki etanol, ilerleyen depolama aşamalarında ürünün oksijen duyarlılığını düzenleyen biyolojik bir geri besleme sinyali gibi

davranır ve tolerans seviyesinin belirlenmesine katkı sağlar (Wright ve ark., 2015; Mditshwa ve ark., 2018). Bu ön uygulamadan sonra ürünlerin ultra düşük oksijen koşullarında depolanması, kalite kayıplarını azaltmak ve metabolik stabiliteyi sürdürmek açısından, bir zorunluluktur (Yahia ve ark., 2019; Imahori, 2024).

3.5. Tekrarlanan Düşük Oksijen Stresi

Bu sistemde ürün, depolama süresi boyunca belirli aralıklarla tekrarlanan düşük oksijen stresine maruz bırakılır ve uygulama genellikle 2–3 döngü halinde gerçekleştirilir (Mditshwa ve ark., 2018). Her döngünün amacı, fizyolojik bozukluk oluşturmada güvenli düzeyde etanol birikimini sağlayarak ürünün düşük O₂ toleransını belirlemektir. Etanol güvenli eşik değere ulaştığında O₂ yeniden yükseltilerek atmosfer dengelenir (Wright ve ark., 2015). Bu yöntem, hızlı KA'nın aksine oksijenin kademeli düşürülmesiyle çalışır ve özellikle 'Fuji', 'Elstar', 'Pink Lady' ve 'Braeburn' elmalarında görülen iç kararma bozukluklarını azaltmada etkilidir. CO₂ birikiminin geciktirilmesi, meyve dokularında daha yüksek ATP düzeylerinin korunmasını sağlayarak fizyolojik bozuklukların oluşumunu önemli ölçüde azaltır (Saquet ve ark., 2003; Bodbodak ve Moshfeghifar, 2016; Imahori, 2024).

3.6. Dinamik Kontrollü Atmosfer (DKA)

Dinamik kontrollü atmosfer (DKA), depolama sırasında oksijen seviyesini ürünün fizyolojik toleransına göre hassas bir şekilde ayarlayan gelişmiş bir teknoloji olarak tanımlanabilir. Bu sistem, oksijen seviyesini başlangıçta ve depolama süresince en düşük güvenli düzeye indirip gerektiğinde artırarak, ürünün fermantatif metabolizmasını tetiklemeden kaliteyi korumayı sağlar (Beaudry, 2010; Yahia ve ark., 2019; Thewes ve ark., 2021).

DKA'da depolama odasındaki O₂, CO₂ ve diğer gazların konsantrasyonları sürekli olarak sensörler tarafından izlenir. Elde edilen veriler, otomatik kontrol yazılımı tarafından anlık olarak değerlendirilir ve atmosfer bileşimi bu verilere göre sürekli ayarlanır (Bodbodak ve Moshfeghifar, 2016). Sistem; ürün fizyolojisinin gerçek zamanlı izlenebilmesi, kimyasal uygulama gerektirmemesi, tahribatsız analiz imkânı sunması ve ölçümlerin çok sık yapılabilmesi gibi önemli avantajlara sahiptir (Tran ve ark., 2015).

Bu teknoloji, otomasyon sistemleri ile ürünlerin fizyolojik tepkileri arasında doğrudan bir bağlantı kurar. Başka bir ifadeyle, depolama atmosferi ürünün verdiği gerçek zamanlı metabolik sinyaller temel alınarak ayarlanır ve böylece ürünün düşük oksijen stresine verdiği yanıt dinamik olarak yönetilir (Yahia ve ark., 2019; Imahori, 2024).

3.6.1. DKA Sistemlerinde Sensör Teknolojileri

DKA sistemlerinde depolama atmosferinin hassas biçimde yönetilebilmesi, gaz bileşimindeki değişimlerin çok noktalı sensör ağları ile sürekli izlenmesine bağlıdır. Depo içinde yerleştirilen bu sensörler; O₂ ve CO₂ konsantrasyonları, etilen düzeyi, sıcaklık ve nem gibi temel fiziksel parametrelerin yanı sıra, ürünün fizyolojik durumunu yansıtan klorofil floresansı, etanol birikimi, solunum katsayısı (RQ) ve CO₂ üretim hızı gibi biyolojik göstergeleri de takip eder (Bodbodak ve Moshfeghifar, 2016; Mditshwa ve ark., 2018; Imahori, 2024). Gelişmiş optik ve elektrokimyasal sensörler, hipoksiye verilen metabolik tepkileri gerçek zamanlı olarak kaydederek düşük oksijen limitinin güvenle belirlenmesini sağlar (Delele ve ark., 2019). Bu sayede DKA sistemi, ürünün oksijen toleransına göre atmosferi dinamik olarak ayarlayarak kalite kaybı riskini en aza indirir.

3.6.2. Klorofil Floresansına Dayalı DKA

Düşük O₂, yüksek sıcaklık, yoğun ışık radyasyonu ve kuraklık gibi stres koşulları, meyve ve sebzelerin klorofil floresansında belirgin değişikliklere yol açabilmektedir. Bu değişimler, fotosistemlerdeki reaksiyon merkezlerine enerji aktarımının azalmasıyla ilişkilidir (Thewes ve ark., 2021). Bu nedenle klorofil floresansı, depolama süresince ürünün maruz kaldığı stres düzeyini ve potansiyel fizyolojik bozuklukları öngörmeye oldukça etkili bir biyobelirteç olarak kullanılmaktadır (Tran ve ark., 2015; Imahori, 2024).

O₂ konsantrasyonu kritik seviyelerin altına düştüğünde, fotosentez sürecinde “minimum floresans” (F₀) olarak adlandırılan değer yükselir. F₀’daki bu artış, fotosistem II’deki elektron taşıma zincirinin baskılanmasına işaret eder (Wright ve ark., 2015; Mditshwa ve ark., 2018; Beaudry, 2010; Yahia ve ark., 2019). Bu prensip doğrultusunda geliştirilen HarvestWatch™ ve FruitObserver® gibi ticari izleme sistemleri, ürünün oksijen stresine verdiği yanıtı gerçek zamanlı ölçerek düşük oksijen limitinin güvenle belirlenmesine olanak tanır (Beaudry, 2010; Mditshwa ve ark., 2018; Thewes ve ark., 2021).

Bu sistemler sayesinde meyve ve sebzeler, düşük oksijen eşiğinin hemen üzerinde, yani kalitenin en iyi korunduğu aralıkta güvenli bir şekilde depolanabilmektedir (Wright ve ark., 2015; Thewes ve ark., 2021). Klorofil floresansı tabanlı DKA uygulamalarının, ‘Greenstar’, ‘Royal Gala’ ve ‘Galaxy’ elma çeşitlerinde uzun süreli depolama boyunca sertlik, renk ve genel kaliteyi başarılı şekilde koruduğu bildirilmiştir (Tran ve ark., 2015; Thewes ve ark., 2015).

3.6.3. Etanol Ölçümüne Dayalı DKA

Etanol, meyvelerde anaerobik solunumun tipik bir yan ürünü olduğundan, düşük oksijen koşullarının tespit edilmesinde önemli bir biyolojik göstergedir (Wright ve ark., 2015). Bu nedenle etanol düzeylerinin izlenmesi, DKA sistemlerinde meyvelerin düşük O₂’ye verdiği fizyolojik tepkileri takip etmek amacıyla geliştirilen ilk yöntemlerden biridir (Thewes ve ark., 2021; Imahori, 2024). Depolama atmosferinde etanol tespit edildiğinde sistem, ürünün fermentasyona geçmesini engellemek için O₂ seviyesini otomatik olarak yükseltir. Bu prensiple çalışan ticari sistemlerden biri dinamik kontrol sistemi (DCS™) olarak bilinmektedir (Wright ve ark., 2015; Mditshwa ve ark., 2018). Etanol sensörlerinin kullanıldığı DKA uygulamalarının, özellikle ‘Elstar’ elmalarında kabuk lekelerini azalttığı ve ürünün en düşük güvenli O₂ seviyelerinde bile daha yüksek meyve eti sertliğini koruduğu belirlenmiştir (Veltman ve ark., 2003).

3.6.4. CO₂ Üretimine Dayalı DKA

CO₂ üretimi, meyve ve sebzelerde metabolizmanın doğrudan ve güvenilir bir göstergesidir. Aerobik koşullarda, solunum hızı ile doğru orantılı olan CO₂ üretimi, O₂ kısmi basıncı aerobik kritik noktaya yaklaştıkça azalma eğilimi gösterir (Imahori, 2024). Ancak, bu kritik sınırın altına düşüldüğünde, dokular anaerobik solunuma geçer ve fermentatif metabolizma sonucu CO₂ üretiminde ani bir artış meydana gelir (Thewes ve ark., 2020). Bu fizyolojik tepki, CO₂ çıkışındaki artışın tespit edilerek O₂ seviyesinin hemen yükseltilmesine olanak tanır. Bu sayede CO₂ tabanlı dinamik kontrollü atmosfer, düşük oksijen limitini gerçek zamanlı ve son derece hassas bir şekilde belirleyebilmektedir. Araştırmalar, bu yöntemin ‘Imperial Gala’ ve ‘Golden Delicious’ elma çeşitlerinde, geleneksel KA’ya kıyasla daha düşük O₂ seviyelerini güvenle uygulayabildiğini ve buna bağlı olarak kararın yüzeyel

yanıklık ve doku yumuşaması gibi bozulmaları belirgin ölçüde azalttığını ortaya koymuştur (Thewes ve ark., 2020). Bu yaklaşım, ürünün solunum kinetiğini sürekli izleyerek depolama atmosferini dinamik bir şekilde optimize eder ve böylece hem kalite korumasını en üst düzeye çıkarır hem de ürün ömrünü uzatır (Both ve ark., 2017).

3.6.5. RQ (Solunum katsayısı) Tabanlı DKA

Solunum katsayısı (RQ), bir meyvenin veya sebzenin metabolik durumunu ortaya koyan temel bir fizyolojik parametredir. Basitçe, ürünün tükettiği O₂ başına ürettiği CO₂ miktarının oranı olarak tanımlanır ($RQ = \text{CO}_2 \text{ üretimi} / \text{O}_2 \text{ tüketimi}$) (Mditshwa ve ark., 2018). Bu değer, depolanan ürünün hangi metabolik yolları kullandığının güvenilir bir göstergesidir (Imahori, 2024).

Aerobik (oksijenli) solunum sırasında RQ değeri genellikle 1,0 civarındadır. Ancak, depo atmosferindeki O₂ seviyesi, ürünün ihtiyaç duyduğu minimum seviyenin altına (düşük oksijen limiti - DOL) düştüğünde, dokular oksijensiz solunuma geçer. Bu metabolik değişim, etanol üretimi ile sonuçlanan fermentatif süreçleri başlatır ve bu süreçte CO₂ üretimi, tüketilen O₂'ye kıyasla daha fazla olduğu için RQ değeri birdenbire yükselir (Thewes ve ark., 2020).

RQ tabanlı DKA sistemlerinin çalışma prensibi bu kritik artışı tespit etmeye dayanır. Sistem, depodaki O₂ ve CO₂ seviyelerini sürekli ölçerek gerçek zamanlı RQ hesaplaması yapar. RQ değeri, önceden belirlenmiş bir güvenlik eşiğini (örneğin, 1,3 veya 1,5) aştığında, bu durum ürünün oksijen stresi yaşamaya başladığının ve anaerobik koşullara girdiğinin kesin bir işaretidir. Sistem bu sinyali aldığı anda, otomatik olarak depoya küçük bir miktar O₂ vererek atmosferi güvenli seviyeye çeker ve ürünü stresten kurtarır. Ardından, O₂ seviyesi tekrar kademeli olarak düşürülür ve bu döngüsel optimizasyon işlemi depolama boyunca devam eder (Imahori, 2024).

Bu tekniğin gücü, ürün metabolizmasını doğrudan ve dinamik olarak izlemesinden gelir. Araştırmalar, RQ değerinin yaklaşık 1,3 seviyesinde kontrol edildiği DKA koşullarında depolanan elmalarda, meyve eti sertliğinin çok daha iyi korunduğunu, çürüme oranlarının ve kabuk yanıklığı gibi fizyolojik bozuklukların ise belirgin şekilde azaldığını göstermiştir (Thewes ve ark., 2021; Weber ve ark., 2023). Bu yöntem, klorofil floresansı gibi diğer dolaylı izleme tekniklerine kıyasla, metabolik değişimi daha temel ve doğrudan

ölçtüğü için önemli bir avantaj sağlar. Ticari olarak, ACR (Advanced Controlled Respiration) ve RQ-StoreFresh gibi sistemler bu prensiple çalışarak, özellikle uzun süreli depolamada üstün kalite koruması sunmaktadır (Wendt ve ark., 2022).

3.7. Böcek Öldürücü Kontrollü Atmosfer

Kontrollü atmosferin bir diğer önemli uygulama alanı, depolanmış ürün zararlılarına karşı kimyasal fumigantlara (gaz halinde böcek öldürücü) bir alternatif olarak kullanılmasıdır (Imahori, 2024). Bu yöntemde, ürünün kalitesini korumak için kullanılan standart KA konsantrasyonlarından (ör. %2-5 O₂) çok daha ekstrem koşullar uygulanır.

Böcek öldürücü etki için, atmosferdeki O₂ seviyesi %1'in altına (genellikle %0,1-0,5) düşürülür ve/veya CO₂ seviyesi %50'nin üzerine (genellikle %50-80) çıkarılır. Bu gibi ekstrem düşük O₂ veya yüksek CO₂ koşulları, zararlı böcekler, larvaları ve yumurtaları için zehirli bir ortam oluşturur. Uygulama süresi, sıcaklığa ve hedef zararlının türüne bağlı olarak birkaç saatten birkaç güne kadar değişebilir (Yahia, 2019; Imahori, 2024).

Bu tekniğin temel mekanizması, zararlıların normal solunum ve osmoregülasyon (su dengesi) süreçlerini bozmaktır. Yüksek CO₂ konsantrasyonu, böceklerin solunum açıklıklarının (spiraküller) uzun süre açık kalmasına neden olur. Bu durum, böceğin aşırı su kaybetmesine ve sonuçta ölümüne yol açar. Aşırı düşük O₂ ise doğrudan oksijensiz kalma (anoksi) stresi yaratarak öldürücü etki gösterir (Navarro, 2012; Imahori, 2024).

Ancak, bu tekniğin uygulanmasındaki en büyük zorluk, böcekleri öldüren bu ekstrem koşulların aynı zamanda ürüne de zarar verebilme riskidir. Bu seviyelerdeki düşük O₂, üründe anaerobik fermentasyonu tetikleyerek istenmeyen aroma, tat (örneğin, alkol tadı) ve dokusal bozulmalara neden olabilir (Prange ve ark., 2005). Bu nedenle, böcek öldürücü KA uygulamaları, ürün toleransının çok iyi bilindiği durumlarda ve çoğunlukla tahıllar, baklagiller veya kurutulmuş meyveler gibi düşük solunum hızına sahip ürünlerde daha başarılıdır. Taze meyve ve sebzelerde ise çok dikkatli bir şekilde, sıcaklık ve uygulama süresi titizlikle kontrol edilerek ve genellikle kısa süreli fumigasyon tedavisi olarak uygulanır. Bu yöntem, kimyasal kalıntı bırakmaması ve zararlılarda direnç gelişimine yol açmaması açısından önemli avantajlar sunar.

4. İLERİ KA TEKNOLOJİLERİN UYGULANDIĞI BAŞLICA ÜRÜNLER

İleri KA teknikleri solunum hızı yüksek ve hasat sonrası kayıplara hassas meyve ve sebzelerin kalitesini korumada devrim niteliğinde avantajlar sunmaktadır. Bu tekniklerin başarısı, ürünün fizyolojik özelliklerine göre özelleştirilmiş protokollerin geliştirilmesine dayanır.

Elma ve armut, ileri KA uygulamalarının en olgun ve yaygın örnekleridir. Özellikle ‘Granny Smith’, ‘Gala’ ve ‘Fuji’ gibi elma çeşitleri, UDO ve DKA koşullarında 9-12 ay gibi uzun sürelerle depolanabilmektedir. Bu teknikler, etilen sentezini ve solunumu baskılayarak, meyve eti sertliğinde ve titre edilebilir asitlikteki kayıpları azaltabilmektedir, ayrıca kabuk yanıklığı gibi fizyolojik bozuklukları önemli ölçüde geriletebilmektedir (Zanella ve Stürz, 2019; Both ve ark., 2017). Klorofil floresansı veya solunum katsayısı (RQ) temelli DKA sistemleri, her partinin toleransına göre O₂ seviyesini optimize ederek güvenliği artırabilmektedir.

Klimakterik tropikal meyvelerden avokado ve mangoda, olgunlaşma sürecinin kontrolü kritiktir. Bu ürünlerde, hasattan hemen sonra optimum koşulların sağlandığı hızlı KA ve olgunlaşmanın geciktirildiği gecikmeli KA stratejileri, yumuşamayı kontrol altına alır ve sap çürüklüğü gibi fungal hastalıkların önlenmesine yardımcı olabilmektedir (Thompson ve ark., 2018). Başlangıç düşük oksijen stresi uygulamaları, bu ürünlerde antioksidan kapasiteyi bile artırabilmektedir.

Kiraz, yumuşak çekirdekli meyveler için model bir üründür. Düşük O₂ KA uygulaması ile sapların yeşil kalması, meyve sertliğinin korunması ve olgunlaşmanın geciktirilebilmesi mümkün olmaktadır (Goliáš ve ark., 2007). Benzer şekilde, brokoli, kuşkonmaz ve ıspanak gibi solunumu çok hızlı sebzelerde, hibrit MAP-KA sistemleri, tedarik zinciri boyunca renk, klorofil içeriği ve besin değerinin korunmasını sağlayabilmektedir (Powrie ve ark., 1991).

Üzüm ve çilek gibi hassas meyveler, fungal bozulmalara karşı oldukça duyarlıdır. Bu tür ürünlerde, tekrarlanan düşük oksijen uygulamaları veya depolama başında kısa süreli yüksek CO₂ uygulamaları (%15-30 CO₂), *Botrytis cinerea* gibi patojenlerin gelişimini etkili bir şekilde engelleyebilmektedir (Teles ve ark., 2014; Li ve ark., 2022). Öte yandan, böcek öldürücü KA yöntemi, kuru kayısı, incir, fındık ve tahıllarda depo güveleri ve diğer

zararlılara karşı kimyasal kalıntı riski yaratmadan uygulanabilen fiziksel bir fumigasyon yöntemi olarak kullanılmaktadır (Yahia ve ark., 2019). Tüm bu ileri KA uygulamalarının yönetiminde ise yapay zekâ destekli atmosfer kontrol sistemleri kritik rol oynamaktadır; sensörlerden gelen verileri ve tahmin modellerini analiz ederek, farklı ürünler için riski en aza indirirken kaliteyi maksimum düzeyde koruyan otomatik karar mekanizmalarını mümkün kılmaktadır.

5. GELECEK PERSPEKTİF

KA depolamanın yönü hem teknolojik gelişmeler hem de sürdürülebilirlik gereksinimleri doğrultusunda çok daha akıllı, entegre ve hassas çalışan bir yapıya dönüşmektedir. Önümüzdeki yıllarda depolama odalarında yalnızca atmosfer koşullarını sabit tutan klasik sistemlerin değil, yüksek sensör yoğunluğuna sahip, çevresel değişimlere anında tepki veren ve enerji verimliliği yüksek ünitelerin yaygınlaşması beklenmektedir (Afreen ve Bajwa, 2021; Singha ve ark., 2023). Bu yeni nesil depolama sistemleri, sıcaklık, bağıl nem, O₂, CO₂ ve etilen seviyelerini saniyelik hassasiyetle ölçerek ürünün ihtiyacına göre otomatik ayarlamalar yapabilecek kapasitede olacaktır.

Yapay zekâ destekli kontrol algoritmalarının depolama süreçlerine entegre edilmesiyle birlikte, sistemler yalnızca ölçüm yapan değil, aynı zamanda öğrenen ve kendi kendini optimize eden bir yapıya kavuşacaktır. Bu sayede farklı tür ve çeşitlerin fizyolojik tepkilerine göre çeşide özgü atmosfer reçetelerinin oluşturulması mümkün olacak, depolama kayıpları minimuma inecektir (Singha ve ark., 2023).

Gelecekte metabolomik analizlerin daha yaygın kullanılmasıyla ürünlerin olgunluk seviyesi, stres durumu ve bozulma potansiyeli hakkında çok daha derinlemesine bilgiler elde edilecek ve depolama stratejileri bu metabolomik temelli eşik değerler üzerinden belirlenecektir (Kader, 2013). Bu yaklaşım, özellikle çabuk bozulabilir meyve ve sebzeler için depolama güvenilirliğini artıracaktır.

Ayrıca KA depolamanın MAP ile birleştirildiği hibrit KA-MAP sistemleri hem uzun raf ömrü hem de yüksek kalite hedefleyen üreticiler tarafından daha fazla tercih edilecektir (Afreen ve Bajwa, 2021). Bu hibrit modeller, tedarik zincirinin farklı aşamalarında atmosfer kompozisyonunun korunmasını sağlayarak kalite kayıplarını daha da azaltacaktır.

Önümüzdeki dönemde karbon ayak izi düşük, çevre dostu soğutma altyapıları ve enerji verimli depolama tesislerinin yaygınlaşması da kaçınılmaz görünmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu, akıllı izolasyon malzemeleri ve ısı geri kazanım sistemleri, KA depolamayı daha sürdürülebilir bir teknoloji hâline getirecektir (Afreen ve Bajwa, 2021). Tüm bu yenilikler değerlendirildiğinde, KA depolamanın yalnızca bugün değil, gelecekte de en güvenilir, en sürdürülebilir ve en etkili muhafaza yöntemi olmaya aday olduğu açıktır (Singha ve ark., 2023).

6. SONUÇ

KA depolama, meyve ve sebzelerde hasat sonrası kayıpları azaltan, depo ve raf ömrünü uzatan en etkili hasat sonu uygulama tekniklerinden birisidir. Geleneksel sabit gaz kompozisyonlu sistemlerden, DKA, UDO ve yüksek CO₂ uygulamaları gibi ileri tekniklere doğru yaşanan değişim, bu alandaki en önemli ilerlemeyi temsil etmektedir. Bu teknikler, ürünün fizyolojik durumunu klorofil floresansı, solunum katsayısı veya etanol üretimi gibi biyobelirteçlerle gerçek zamanlı izleyerek, depo atmosferini ürünün tolerans sınırlarında dinamik olarak optimize etmeyi mümkün kılmaktadır. Böylece, güvenli bir şekilde daha düşük O₂ seviyeleri kullanılarak solunum hızı ve etilen aktivitesi maksimum düzeyde baskılanmakta, meyve eti sertliği, besin içeriği ve genel kalite uzun süre korunabilmektedir.

Özellikle elma, armut, kiraz ve avokado gibi yüksek değerli ürünlerde etkili olan bu ileri teknikler, aynı zamanda kimyasal fumigantlara alternatif oluşturan böcek öldürücü KA uygulamaları ile ürün güvenliğine de katkı sağlamaktadır. Gelecekte, yapay zekâ destekli kontrol sistemleri, metabolomik veriler ve hibrit KA-MAP uygulamaları ile daha da kişiselleştirilmiş ve verimli bir yapıya kavuşacak olan KA teknolojisi, gıda kayıp ve israfını azaltmada, tedarik zincirini uzatmada ve tüketicilere yıl boyu kaliteli ürün sunmada kilit role sahip olacaktır. Türkiye gibi önemli bir tarım üreticisi için, bu ileri tekniklerin benimsenmesi ve yaygınlaştırılması, sektörün rekabet gücünü artırmak açısından stratejik bir önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Afreen, H. & Bajwa, I.S. (2021). An IoT-based real-time intelligent monitoring and notification system of cold storage. *IEEE Access*, 9, 38236-38253.
- Arshad, M.O., Chauhan, Y., Singh, P., Srivastav, P., Gupta, M. & Patwa, N. (2022). Advancements in Controlled Atmosphere Storage Technology - A Review. In *Proceedings of Second International Conference in Mechanical and Energy Technology (ICMET)*, P. 399-410. India. Springer Nature Singapore.
- Beaudry, R.M. (2010). Future trends and innovation in controlled atmosphere storage and modified atmosphere packaging technologies. *Acta Horticulturae*, 876, 21-28.
- Bessemans, N., Verboven, P., Verlinden, B.E. & Nicolai, B.M. (2016). A novel type of dynamic controlled atmosphere storage based on the respiratory quotient (RQ-DKA). *Postharvest Biology and Technology*, 115: 91-102.
- Bodbodak, S. & Moshfeghifar, M. (2016). Advances in Controlled Atmosphere Storage of Fruits and Vegetables. In *Eco-Friendly Technology for Postharvest Produce Quality*, Siddiqui, M.W., ed. P. 39-76. Elsevier, Amsterdam, Holland.
- Both, V., Thewes, F.R., Brackmann, A., de Oliveira Anese, R., de Freitas Ferreira, D. & Wagner, R. (2017). Effects of dynamic controlled atmosphere by respiratory quotient on some quality parameters and volatile profile of 'Royal Gala' apple after long-term storage. *Food Chemistry*, 215, 483-492.
- Brizzolara, S., Manganaris, G.A., Fotopoulos, V., Watkins, C.B. & Tonutti, P. (2020). Primary metabolism in fresh fruits during storage. *Frontiers in Plant Science*, 11, 80.
- Delele, M.A., Bessemans, N., Gruyters, W., Rogge, S., Janssen, S., Verlinden, B.E., Smeets, B., Ramon, H., Verboven, P. & Nicolai, B.M. (2019). Spatial distribution of gas concentrations and RQ in a controlled atmosphere storage container with pear fruit in very low oxygen conditions. *Postharvest Biology and Technology*, 156, 110903.
- Dilley, D.R. (2010). Controlled atmosphere storage - chronology and technology. *Acta Horticulturae*, 857, 493-502.

- Ekman, J.H., Golding, J.B. & McGlasson, W.B. (2005). Innovation in cold storage technologies. *Stewart Postharvest Review*, 3, 1-14.
- Fang, Y. & Wakiasaka, M. (2021). A review on the modified atmosphere preservation of fruits and vegetables with cutting-edge technologies. *Agriculture*, 11(10), 992.
- Goliáš, J., Němcová, A., Čaněk, A. & Kolenčíková, D. (2007). Storage of sweet cherries in low oxygen and high carbon dioxide atmospheres. *Horticultural Science*, 34(1), 26-34.
- Gorny, J.R. & Kader, A.A. (1997). Low oxygen and elevated carbon dioxide atmospheres inhibit ethylene biosynthesis in preclimacteric and climacteric apple fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 122(4), 542-546.
- Imahori, Y. (2024). Controlled atmosphere storage for fruits and vegetables. In *Sustainable Postharvest Technologies for Fruits and Vegetables*, Ali, S., Mir, S.A., Shaghef, B.N.D. eds. P. 65-85. CRC Press, Boca Raton, FL, USA
- Kader, A.A. (1994). Regulation of fruit physiology by controlled/modified atmospheres. *Acta Horticulturae*, 398, 59-70.
- Kader, A.A. (2003). A summary of CA requirements and recommendations for fruits other than apples and pears. *Acta Horticulturae*, 600, 737-740.
- Kader, A.A. (2013). Postharvest technology of horticultural crops-An overview from farm to fork. *Ethiopian Journal of Applied Science and Technology*, (1), 1-8.
- Li, H., Yin, Y., Affandi, F.Y., Zhong, C., Schouten, R.E. & Woltering, E.J. (2022). High CO₂ reduces spoilage caused by *Botrytis cinerea* in strawberry without impairing fruit quality. *Frontiers in Plant Science*, 13, 842317.
- Mditshwa, A., Fawole, O.A. & Opara, U.L. (2018). Recent developments on dynamic controlled atmosphere storage of apples - A review. *Food Packaging and Shelf Life*, 16, 59-68.
- Navarro, S. (2012). The use of modified and controlled atmospheres for the disinfestation of stored products. *Journal of Pest Science*, 85(3), 301-322.

- Powrie, W.D. & Skura, B.J. (1991). Modified Atmosphere Packaging of Fruits and Vegetables. In *Modified Atmosphere Packaging of Food*, Oraikul, B., Stiles, M.E. eds. P. 169-245. Springer, Boston, MA, USA.
- Prange, R.K., DeLong, J.M., Daniels-Lake, B.J. & Harrison, P.A. (2005). Innovation in controlled atmosphere technology. *Stewart Postharvest Review*, 3, 9.
- Prange, R.K., DeLong, J.M. & Wright, A.H. (2011). Storage of pears using dynamic controlled-atmosphere (DCA), a non-chemical method. *Acta Horticulturae*, 909, 707-717
- Saquet, A.A., Streif, J. & Bangerth, F. (2003). Reducing internal browning disorders in “Braeburn” apples by delayed controlled atmosphere storage and some related physiological and biochemical changes. *Acta Horticulturae*, 682, 453-458.
- Singha, S., Saha, D., Brahma, M. & Singh, P.K. (2023). IntelliStore: IoT And AI-based intelligent storage monitoring for perishable food. *Internet Technology Letters*, 6(3), e402.
- Teles, C.S., Benedetti, B.C., Gubler, W.D. & Crisosto, C.H. (2014). Prestorage application of high carbon dioxide combined with controlled atmosphere storage as a dual approach to control Botrytis cinerea in organic ‘Flame Seedless’ and ‘Crimson Seedless’ table grapes. *Postharvest Biology and Technology*, 89, 32-39.
- Thewes, F.R., Both, V., Brackmann, A., Weber, A. & Anese, R.Q. (2015). Dynamic controlled atmosphere and ultralow oxygen storage on ‘Gala’ mutants quality maintenance. *Food Chemistry*, 188, 62-70.
- Thewes, F.R., Brackmann, A., Both, V., de Oliveira Anese, R., Schultz, E.E., Ludwig, V., Wendt, L.M., Berghetti, M.R.P. & Thewes, F.R. (2020). Dynamic controlled atmosphere based on carbon dioxide production (DCA-CD): Lower oxygen limit establishment, metabolism and overall quality of apples after long-term storage. *Postharvest Biology and Technology*, 168, 111285.
- Thewes, F.R., Wood, R.M., Both, V., Keshri, N., Geyer, M., Pansera-Espíndola, B., Hagemann, M.H., Brackman, A., Wünsche, J.N. & Neuwald, D.A. (2021). Dynamic controlled atmosphere: A review of methods for monitoring fruit responses to low oxygen. *Comunicata Scientiae*, 12, e3782-e3782.

- Thompson, A.K., Prange, R.K., Bancroft, R. & Puttongsiri, T. (2018). *Controlled Atmosphere Storage of Fruits and Vegetables* (3rd ed.). CABI. Boston, MA, USA:
- Tran, D.T., Verlinden, B.E., Hertog, M. & Nicolai, B.M. (2015). Monitoring of extremely low oxygen control atmosphere storage of ‘Greenstar’ apples using chlorophyll fluorescence. *Scientia Horticulturae*, 184, 18-22.
- Veltman, R.H., Verschoor, J.A., Ruijsch, J.H. & van Dugteren, R. (2003). Dynamic control system (DCS) for apples (*Malus domestica* Borkh. cv ‘Elstar’): optimal quality through storage based on product response. *Postharvest Biology and Technology*, 27, 79-86.
- Weber, A. Soldateli, F.J., Thewes, F.R., Both, V. & Brackmann, A. (2023). Dynamic controlled atmosphere isolated or associated with 1-MCP and elevated storage temperature affect the overall quality and anaerobic metabolism of ‘Royal Gala’ apples. *Erwerbs-Obstbau*, 65, 1239-1251.
- Wendt, L.M., Ludwig, V. & Rossato, F.P. (2022). Combined effects of storage temperature variation and dynamic controlled atmosphere after long-term storage of ‘Maxi Gala’ apples. *Food Packaging and Shelf Life*, 31, 100770.
- Wright, A.H., De Long, J.M., Arul, J. & Prange, R.K. (2015). The trend toward lower oxygen levels during apple (*Malus domestica* Borkh) storage – A review. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 90, 1-13.
- Yahia, E.M. (2019). Introduction. In *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*, Yahia, E.N., ed. P. 117. Elsevier, Duxdord, UK.
- Yahia, E.M., Fadanelli, L., Mattè, P. & Brecht, J.K. (2019). Controlled Atmosphere Storage. In *Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities*, Yahia, E.M. ed. P. 439-479. Elsevier, Duxdord, UK.
- Zanella, A. & Stürz, S. (2012). Replacing DPA postharvest treatment by strategical application of novel storage technologies controls scald in 1/10th of EU's apples producing. *Acta Horticulturea*, 1012, 419-426.
- Zhao, P., Ndayambaje, J.P., Liu, X. & Xia, X. (2022). Microbial spoilage of fruits: A review on causes and prevention methods. *Food Reviews International*, 38(sup1), 225-246.

BÖLÜM 3

ELMALARDA RENKLENMENİN FİZYOLOJİK VE YÖNETİMSEL TEMELLERİ: ANTOSİYANİN BİYOSENTEZİNDEN YETİŞTİRİCİLİK STRATEJİLERİNE

Prof. Dr. Nurdan TUNA GÜNEŞ^{1*}

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18114346>

¹ Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Ankara, Türkiye;
tuna@agri.ankara.edu.tr Orcid: 0000-0002-8529-2211

*Sorumlu yazar: tuna@agri.ankara.edu.tr

1. GİRİŞ

Elma, yumuşak çekirdekli meyve türleri içinde dünyada en fazla üretilen ve tüketilen, ekonomik değeri en yüksek türdür. Dünyada 2015-2023 yılları arasında elma üretim alanlarında %60,6'lık düşüş olmasına rağmen üretim yaklaşık %18, verim ise %32 oranında artmıştır. Dünyada en fazla elma üretimi yaklaşık olarak 49 milyon ile global üretimin %50,96'sından sorumlu olan Çin Halk Cumhuriyeti'nde gerçekleşmektedir. Bu ülkeyi sırası ile Amerika Birleşik Devletleri (%5,29), Türkiye (%4,73), Polonya (%4,00) ve Hindistan (%2,95) izlemektedir. Dünya elma pazarı yaklaşık 7 milyon ton ve 8 milyar Dolar'lık işlem hacmine sahiptir. Ürün miktarı bakımından en büyük ihracatçı ülkeler sırasıyla İtalya (%11,0), Polonya (%10,3) ve Çin Halk Cumhuriyeti (%10,2) olup Türkiye %4,74'lük pay ile dünyada 8. büyük ihracatçı ülkedir. Önemli ithalatçı ülkeler ise Rusya Federasyonu (%8,5), Almanya (%6,5) ve Hindistan (%6,0)'dır (FAO, 2025).

Yüksek besin değeri, sindirim sistemi üzerindeki olumlu etkileri, kendine has aroması ve özellikle kışlık çeşitlerin sahip olduğu uzun depolama ve raf ömrü süresi nedeni ile elma kış aylarında tüketiciler tarafından market raflarında en fazla aranan meyve türüdür. Son yıllarda özellikle kırmızı renkli yaş meyve ve sebzelerin sahip olduğu yüksek fenolik madde içeriğinin insan sağlığı üzerindeki olumlu etkilerinin ortaya konulmasından sonra tüketicilerin renkli meyve ve sebzelere olan ilgisinde de artış ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda elma meyvesinin kabuk rengi tüketici tercihinin etkileyen en önemli unsurlardan biri haline gelmiştir (Saure, 1990) ve pazarda kırmızı elma çeşitleri daha fazla talep edilmeye başlamıştır (Dar ve ark., 2019). Nitekim Taze elma pazarında meyve kabuk rengi, tüketici tarafından kalite, tat ve besin değeriyle doğrudan ilişkilendirilmektedir. Özellikle kırmızı kabuklu elma çeşitlerinde renk yoğunluğu ve homojenliği, pazarlama başarısını belirleyen en kritik parametrelerden biridir. Yetersiz renklenme, verim kaybı olmaksızın ciddi ekonomik kayıplara yol açabilmektedir (Lancaster ve ark., 1994; Iglesias ve Alegre, 2009)

Elmalarda meyve kabuk rengi, antosiyanin, karotenoid ve klorofil pigmentlerinin çevresel uyaranlarla sentezlenmesi ve bu bileşiklerin dağılımı, meyve kabuğundaki oranı ile oluşmaktadır. Meyvelerde renklenme iklim koşulları, ışık şiddeti, sıcaklık, bitkinin beslenme ve fotosentez düzeyi ile hormonal düzenlemeler gibi çok sayıda faktör tarafından kontrol edilmektedir.

Kırmızı renkli elma çeşitlerinde meyve büyüme ve gelişme sürecinde karşılaşılan gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farklılıkları meyvenin strese girmesi ile antosiyanin biyosentezinde artışa ve dolayısıyla renklenmenin iyileşmesine yol açmaktadır.

Son yıllarda iklim değişikliği, artan sıcaklıklar ve pazarda yüksek renk standardı beklentisi hem derim öncesi hem de derim sonrası dönemde özellikle kırmızı renkli elma çeşitlerinde renk yönetimini daha kritik hâle getirmiştir. Elma yetiştirilen alanlarda gece sıcaklıklarında yaşanan artış kırmızı renkli çeşitlerde meyvelerin renklenmesini olumsuz etkilemektedir.

Bu bölümde özellikle kırmızı kabuk rengine sahip olan elma çeşitlerinde meyve büyüme ve gelişme sürecinde renklenmeyi fizyolojik olarak etkileyen faktörler açıklanarak söz konusu faktörlerin renklenme üzerinde olumlu etkisini artırmak adına yetiştiricilik aşamasında yapılabilecek uygulamalar ve alınabilecek önlemler son yıllarda yapılan araştırmalar ışığında bütüncül bir çerçevede değerlendirilmiştir.

2. ELMALARDA RENK PİGMENTLERİ, DAĞILIMI VE BİYOSENTEZİ

Elma çeşitlerinde meyve kabuğunda büyüme ve gelişme sürecinde ortaya çıkan renklenme klorofil olarak isimlendirilen yeşil renk pigmentlerinin parçalanarak yerini antosiyanin olarak isimlendirilen ve kırmızıdan mora kadar farklı renklerin oluşumuna yol açan pigmentler ya da sarı turuncu tonlardaki renk pigmentleri olan karotenoid biyosentezindeki artıştan kaynaklanmaktadır. Elma meyvelerinde kabuk ve et rengi antosiyaninler (Saure, 1990), karotenoidler (Delgado-Pelayo ve ark., 2014) ve klorofillerin (Delgado-Pelayo ve ark., 2014) bulunuşundan kaynaklanmaktadır. Kırmızı renkli çeşitlerde antosiyaninler en yoğun bulunan renk pigmentleridir. Bugün için doğada 600'den fazla antosiyanin molekülü tanımlanmış (Smeriglio ve ark., 2016) ise de elmalarda en yaygın bulunan antosiyanin molekülleri (siyanidin-3-arabinozid, siyanidin-3-galaktozid, siyanidin-3-glukozid, siyanidin-3-ksilozid ve siyanidin-3-rutinozid) oldukça sınırlıdır (Ben-Yehudah ve ark., 2005). Bu moleküllerin farklı çeşitlere ait elmalarda farklı düzeylerde bulunuşu meyvelere açık pembeden, kırmızı ya da koyu mora kadar çok geniş bir renk spektrumu sağlamaktadır (Lancaster ve ark., 1994). Esas olarak kırmızı elma çeşitlerinin

meyvelerindeki kabuk ve et renginden en yüksek düzeyde sorumlu olan pigmentler antosiyaninlerdir.

Elmalarda antosiyaninler büyük ölçüde meyve kabuğunda yoğunlaşmaktadır. Ancak son yıllarda antosiyaninlerin bazı kronik hastalıkların engellenmesindeki rolü (Dong ve ark., 2025; Liu ve ark., 2025; Noman ve ark., 2025) belirlendikten sonra tüketici talebindeki kırmızı renkli çeşitlere olan artışa bağlı olarak (O'Rourke, 2021) ıslah çalışmaları ile meyve eti kırmızı renkli elma çeşitleri de geliştirilmeye başlanmıştır (Bars-Cortina ve ark., 2017; Wang ve ark., 2018a).

Elmalarda kırmızı renklenmenin biyokimyasal temeli antosiyanin birikimine dayanır. Antosiyanin biyosentezi, fenilpropanoid yolağı üzerinden gerçekleşen çok basamaklı bir süreçtir ve bu süreç meyvenin maruz kaldığı ışıklandırma düzeyi, meyveyi çevreleyen havanın sıcaklık koşulları, bitki ve meyvedeki karbonhidrat durumu ve hormon dengesi tarafından düzenlenmektedir.

Flavonoid metabolizmasının bir parçası olan antosiyanin biyosentezi fenilalanin ile başlar ve bir seri enzimatik reaksiyon sonunda yapısal olarak stabil olan antosiyaninlerin üretimi ile sonuçlanır. Antosiyanin biyosentezinde anahtar enzimler fenilalanin amonya-liyaz, sinnamat-4-hidroksilaz, 4-kumaril-CoA ligaz, kalkon sentaz, kalkon izomeraz, flavanon 3-hidroksilaz, flavonoid 3'-hidroksilaz, flavonoid 3'5'-hidroksilaz, dihidroflavonol redüktaz, antosiyanidin sentaz, and flavonoid glikoziltransferaz'dır (Chaves-Silva ve ark., 2018). Antosiyanin birikimi, enzimlerin yanı sıra protein yapısında olan MYB, bHLH, and WD40 olarak isimlendirilen transkripsiyon faktörleri ile düzenlenir. MYB transkripsiyon faktörleri, bitkilerdeki en büyük transkripsiyon faktör ailelerinden birini oluşturur ve antosiyanin biyosentezinin düzenlenmesinde kritik bir rol oynar (Muhammad ve ark., 2025). Elmalarda ise MdMYB1 ve MdMYB meyve kabuğunda (Tako ve ark., 2006), MdMYB10 ve MdMYB110a ise meyve etinde (Hamada ve ark., 2015) meyvelerin büyüme ve gelişme sürecinde antosiyanin birikimini düzenleyen transkripsiyon faktörleri olarak tanımlanmıştır. MdMYB110a transkripsiyon faktörünün ekspresyonu kırmızı meyve etine sahip olan 'JPP35' çeşidinde derimden 40 gün önce (Umemura ve ark., 2013), 'Nakano Shinku' ve 'Nakano no Kirameki' çeşitlerinde ise derimden 30 gün önce (Sato ve ark., 2017) en yüksek düzeye ulaşmıştır. Ayrıca son yıllarda MdWRKY10, MdNAC33, MdbHLH162 gibi

diğer bazı transkripsiyon faktörlerinin elmalarda farklı hormonlara bağlanarak antosiyanin biyosentezinde işlev gördüğü belirlenmiştir (An ve ark., 2024; Wang ve ark., 2024a; Zhang ve ark., 2024).

2. RENKLENMEYİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

2.1. Genetik Özellikler

Elma meyvelerinde renklenme, yukarıdaki bölümde de değinildiği gibi öncelikle genetik yapı ve transkripsiyon faktörleri ile kontrol edilebilen genetik bir özelliktir. Aynı çevresel koşullarda yetiştirilen çeşitlerde meyve kabuk ve meyve etinde antosiyanin sentezleyebilme yetkinliği farklılık göstermektedir. ‘Red Delicious’ çok yüksek düzeyde (Miah ve Faruh, 2024a), ‘Fuji’ (Duan ve Eom, 2023) ile ‘Evercrisp’ (Miah ve Faruh, 2024a) yüksek düzeyde, ‘Braeburn’ (Büchele ve ark., 2023) ve ‘Gala’ (Iglesias ve Alegre, 2009) orta düzeyde antosiyanin üretme kapasitesine sahiptir. Ayrıca elmalarda meyve etinde ve meyve kabuğunda antosiyanin biyosentezinden sorumlu olan mekanizmalar farklılık göstermektedir (Honda ve Moriya, 2018). Meyvelerde antosiyanin sentez yeteneği çevresel faktörlerin etkisi ile şekillenmektedir.

2.2. Çevresel Faktörler

Sıcaklık, büyük ölçüde antosiyanin biyosentezinden sorumlu genlerin (özellikle MdMYB1/MdMYB10) çeşitlere özgü ekspresyon potansiyelini etkileyerek çeşitlerde farklı renklenme düzeyine yol açmaktadır (Wang ve ark., 2018a). Honda ve Moriya (2018), kırmızı et ve kabuk rengine sahip olan çeşitlerde yüksek sıcaklığın antosiyanin biyosentezini inhibe ettiğine değinmiş ve bu durumu ilgili genlerin ekspresyon düzeyleri ile ilişkilendirmiştir. ‘Fuji’ ve ‘Gala’ çeşitlerinde 15-20 °C’lik düşük sıcaklıklar MdMYB10 ve yapısal genlerin ekspresyonunu artırarak renklenmeyi ve meyve kabuğundaki antosiyanin birikimini olumlu etkilerken, yaklaşık 30 °C’lik yüksek sıcaklıklar ise gen ekspresyonunu ve dolayısıyla kabuktaki antosiyanin birikimini baskılamaktadır (Lin-Wang ve ark., 2011; Honda ve Moriya, 2018). Yine ‘Fuji’ çeşidi meyvelerinde serin geceler ile birlikte ılık gündüz sıcaklığının antosiyanin birikimini maksimum düzeye taşıdığı belirlenmiştir (Xue ve ark., 2021).

‘Red Delicious’, genetik olarak yüksek antosiyanin potansiyeline sahip bir çeşittir. Bu tip kırmızı çeşitlerde olgunlaşma döneminde antosiyanin birikimi için uygun sıcaklıklar 16–24 °C aralığındadır ve 30 °C üzerindeki

sıcaklıkları ise antosiyanin birikimini baskılamaktadır (Faragher, 1983). Diğer yandan ‘Honeycrisp’ çeşidi için antosiyanin birikiminde meyve yüzeyi sıcaklığı, hava sıcaklığından daha belirleyicidir (Miah ve Faruh, 2024b). ‘Red Chief’ çeşidi meyvelerinde ortalama 25 °C’lik sıcaklıklar ile güneşli günün ardından 2-5 °C’lik gece sıcaklığı daha yüksek antosiyaninin birikimine yol açmaktadır. Bu özellik, sıcaklık düşüşlerine yanıt olarak flavonoid sentezi için önemli bir enzim olan fenilalanin amonya-liyazın artışıyla daha da açıklanabilir (Faragher, 1983; Curry, 1997).

Son yıllarda karşı karşıya kalınan iklim değişikliğinin beraberinde getirdiği ve sıcaklığın 20 °C ve üzerinde gerçekleştiği tropikal geceler ile elmaların büyüme, gelişme ve olgunlaşma periyodunda daha sık karşılaşılmalıdır (Anonim, 2025). Bu durum elma üretilen alanlarda renklenmeyi olumsuz etkilemektedir. Elma bahçelerinin daha yüksek rakımlara taşınması (Lee ve ark., 2023) ya da mikroyağmurlama sulama yönteminin günde 2 saat uygulanması ile bahçe sıcaklığının düşürülmesi (Iglesias ve ark., 2002) ile önerilen çözüm yöntemleri arasındadır.

Işık bütün bitkilerde optimum büyüme ve gelişme için olmazsa olmaz bir faktördür ancak yüksek enerjili UV radyasyonu hücrelere zarar verebilmektedir. Bu durumda bitkide ortaya çıkan antosiyanin biyosentezi aslında bitkinin UV stresine karşı dayanıklılığını sağlayarak bitki için yararlı bir mekanizmadır (Merzlyak ve Chivkunova, 2000). Bitkilerin yapısında farklı ışık dalga boylarını algılayan protein yapısındaki ışık alıcıları (fotoreseptörler), genlerin ekspresiyonunu sağlayarak ışığa gösterilen tepkinin ortaya çıkmasına yol açmaktadır (Paik ve Huq, 2019).

Işık, elmalarda antosiyanin biyosentezini tetikleyen en önemli çevresel faktörlerden biridir. Meyve yüzeyine ulaşan fotosentetik aktif radyasyon (PAR) miktarı, renklenmenin yoğunluk ve homojenliğini belirlemektedir. Güneş ışığına doğrudan maruz kalan meyvelerde, gölgede kalan meyvelere kıyasla antosiyanin konsantrasyonu anlamlı derecede daha yüksektir. Bu durum antosiyanin sentezinin belirli bir minimum ışık eşiğinin üzerinde aktive olmasından ve yetersiz ışıklandırma koşullarında fenilalanin amonya-liyaz ve kalkon izomeraz gibi kilit enzimlerin aktivitesinin baskılanmasından kaynaklanmaktadır (Saure, 1990).

Işıklandırma dolaylı olarak meyve yüzeyi sıcaklığını artırarak da antosiyanin biyosentezini etkilemektedir. Xue ve ark. (2021) ‘Fuji’ çeşidi

meyvelerinde gece sıcaklığı ile gün içi ışıklanma şiddetinin birlikte antosiyanin birikimi ve kabuk stres yanıtlarını etkileyebildiğini; düşük gece sıcaklıklarında belirli ışık koşullarının antosiyanin birikimini farklı yönlerde değiştirebildiğini belirtmiştir. Benzer şekilde Ban ve ark. (2007), açık kırmızı renkli ‘Tsugaru’, koyu kırmızı renkli ‘Jonathan’ ve kırmızı olmayan ‘Orin’ çeşitlerinde (a non-red cultivar) gündüz yeterli ışıklanma ile geceleri 10–15 °C aralığında seyreden serin sıcaklıkların antosiyanin birikimini maksimize ettiğini bildirmiştir.

Son yıllarda yapılan çalışmalar, elmalarda antosiyanin biyosentezinin düzenlenmesinde yalnızca ışık miktarının değil, ışık spektrumunun (ışığın dalga boyu) da önemli olduğunu göstermiştir. Özellikle mavi ışık (400–500 nm) ve UV-B spektrumu, MdHY5 ve MdMYB genlerinin ekspresyonunu artırarak antosiyanin biyosentezini doğrudan uyarırken uzun dalga boylu kırmızı ışık antosiyanin biyosentezi üzerinde engelleyici etki yapmaktadır (Ma ve ark., 2021) UV-B ışınları, kırmızı renkli elma çeşitlerinde stres sinyali olarak algılanmakta ve bu stres ile başa çıkabilmek için fenolik bileşiklerin sentezini antosiyanin biyosentezini teşvik eden genlerin ekspresyonunu artırarak antosiyanin birikimine olanak sağlamaktadır (Ubi ve ark., 2006). Doğal olarak bu teşvik karanlık koşullarda baskılanırken, elmalarda orta ve düşük ışıklanma koşullarında daha az, yüksek ışık yoğunluğu koşullarında çok daha yüksek düzeylerde antosiyanin sentezlenmektedir. Yeşil kabuk rengine sahip elmalarda UV-B ve UV-C ışınlarının birlikte kullanımı kabukta renklenmeyi sağlamaktadır (Liu ve ark., 2021).

2.3. İçsel Faktörler

Hormonlar, bitki büyüme ve gelişmesi yanı sıra biyotik ve abiyotik stres koşullarına dayanıklılık işlevlerinde kapsanmakta ve bitki bünyesinde doğal olarak iz miktarda sentezlenmektedir (Davies, 1987). Bazı hormonların elmalarda antosiyanin biyosentezinde etkili olduğu konusunda çalışmalar mevcuttur.

In vitro koşullarda kırmızı meyve etli elma çeşidinde yapılan çalışmada oksinler ile antosiyanin birikimi arasında negatif bir ilişki belirlenmiş ve bu ilişkinin oksinin antosiyanin biyosentezindeki yapısal gen olan MdDFR’e bağlanarak antosiyanin biyosentezindeki etkinliğini yok etmesinden kaynaklandığı ve yüksek naftalen asetik asit dozlarının antosiyanin biyosentezinde engelleyici etkide bulunduğu belirlenmiştir (Wang ve ark.,

2018b). Ji ve ark. (2015)'na göre, kırmızı meyve et rengine sahip elma çeşitlerinde yüksek konsantrasyondaki oksin antosiyanin biyosentezinde görevli genlerin yanı sıra diğer bazı yapısal genlerde bozulmaya yol açarak antosiyanin biyosentezini baskılamaktadır. Bu çalışmada ayrıca oksin ve sitokininler arasındaki interaksiyonların azot eksikliği koşullarında antosiyanin biyosentezini kontrol ettiğini de ortaya konmuştur. Diğer yandan oksin uygulama zamanının antosiyanin biyosentezi üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir. Örneğin tam çiçeklenmeden sonra 60. günde yapılan 2,4-diklorofenoksi propiyonik asit (2,4-D) 'Cripp's Pink' çeşidi meyvelerinde derim zamanında renklenmeyi artırmıştır (Stern ve ark. 2010).

Elma, büyüme, gelişme ve olgunlaşma süreçlerinde sergilediği solunum hızındaki değişimlere bağlı olarak klimakterik meyve türleri grubunda incelenen bir meyvedir. Olgunlaşma ile birlikte elmada etilen üretiminde artış ortaya çıkar (Kader, 2002). Elmalarda antosiyanin biyosentezinin optimum düzeyde işleyebilmesi ve renklenmenin sağlanması için meyvede bir miktar etilen biyosentezine gereksinim duyulduğunu gösteren çalışmalar etilenin antosiyanin biyosentezini olumlu yönde etkilediği hipotezini de desteklemektedir. Bu durumun, etilen tepki reseptörlerinin antosiyanin biyosentezini sağlayan genlerdeki ekspresyonu arttırmasından kaynaklandığı belirlenmiştir (An ve ark., 2018a; Zhang ve ark., 2018). 'Pink Landy' elma çeşidi meyvelerinde büyüme, gelişme ve olgunlaşma sürecinde meyve kabuğundaki antosiyanin birikimi etilen üretimindeki artış ile birlikte başlamaktadır (Whale ve Singh, 2007).

Etilene benzer şekilde jasmonik asit de antosiyanin sentez yolağında ilgili genlerin ekspresyonunu artırarak ve dokudaki poliamin birikimini teşvik ederek elmalarda renklenmeyi pozitif etkileyen bir hormon olarak karşımıza çıkmaktadır (Wang ve ark. 2019).

Bitkilerde absizik asit pek çok olayda görev alan bir hormondur. Özellikle dinlenme dönemlerinde artış gözlenen bu hormon, stres koşullarında da stomaların kapanmasına yol açarak bitkinin abiyotik stres koşullarına adaptasyonunda rol oynamaktadır (Davies, 1987). Absizik asit elmalarda antosiyanin biyosentezinde görev alan bazı genlerin ekspresyonunu artırarak meyvelerde antosiyanin birikimini olumlu etkilemektedir (An ve ark., 2018b).

Elmalarda dokusundaki azot ve karbonhidrat düzeyleri, meyve kabuğundaki antosiyanin birikimini etkilemektedir. İyi bir renklenme için

meyveye yeteri kadar karbonhidrat desteği ve bunun için de yeteri kadar fotosentez gereklidir. Bu bağlamda meyve kabuğundaki antosiyanin birikimi fotosentezi etkileyen bütün koşullar ile dolaylı olarak şekillendirilmektedir. Meyve dokusundaki yüksek karbonhidrat düzeyleri daha iyi bir renklenme ile sonuçlanmaktadır. Elmalarda antosiyanin biyosentezinin düzenlenmesinde şekerlerin sinyal molekülü olarak görev aldığı ve sakaroz ve glikozun antosiyanin biyosentezinde işlev gören genlerin transkripsiyonunu artırdığı belirlenmiştir (Zhao ve ark., 2025).

3. ELMALARDA RENKLENMEYİ ARTIRAN UYGULAMALAR

Kırmızı renkli meyve kabuğuna sahip olan elmalarda renklenme önemli bir kalite bileşeni olup meyvenin pazarda sessiz satıcısı konumundadır. Önceki bölümlerde değinilen genetik özellikler dışında kalan antosiyanin biyosentezini etkileyen faktörler iyi düzenlenip yönetildiği takdirde meyvelerde optimum düzeyde renklenme mümkün olabilecektir.

Özellikle son yıllarda elmalarda renklenmeyi olumsuz etkileyen en önemli çevresel etmen büyüme, gelişme ve olgunlaşma süreçlerinde tropikal gecelerin sayısında olan artıştır. Bu sıcaklık yükselişi ile baş edebilmek adına geceleri elma bahçelerinde uygulanabilecek yağmurlama sulama yöntemi renklenmede artışa olanak sağlayabilecek gibi görünmektedir. Diğer yandan su kısıtının söz konusu olduğu alanlarda daha farklı çözüm önerilerinin ortaya konması gerekecektir. Elmalarda olumsuz abiyotik çevre koşullarında renklenmeyi artırmak için büyümeyi düzenleyici maddeler çözüm sağlayabilmektedir. Bitkilerde bünyeye alındıktan sonra etilen dönüşen bir büyümeyi düzenleyici madde olan etephon (2-kloroetilfosfonik asit) elmalarda renklenmeyi artırmak amacıyla ticari olarak kullanılmaktadır (Saure, 1990). ‘Starking Delicious’ çeşidi meyvelerine ticari derim zamanından önce yapılan etephon uygulaması meyve kabuğundaki antosiyanin miktarını artırmıştır (Larriguadiere ve ark., 1996; Atay ve ark., 2012). Jasmonik asit ve jasmonik asit türevleri de renklenmeyi olumlu etkileyen büyümeyi düzenleyici maddelerdir. ‘Fuji’ elmalarında derimden önce yapılan metil jasmonik asit uygulaması antosiyanin biyosentezini teşvik etmektedir (Rudell ve ark., 2005). ‘Gala’ çeşidi meyvelerinde renklenmeyi artırmak için derimden 20 gün önce prohidrojasmonik asit (400 mg/L9, etephon (300 mg/L), absizik asit (400 mg/L) önerilmektedir (Brighenti ve ark., 2017).

Düşük ışık yoğunluğuna sahip olan alanlarda tesis edilen elma bahçelerinde yansıtıcı örtüler renklenmeye katkı sağlayabilmektedir. ‘Fuji Fubrax’ çeşidi meyvelerinde, sıra aralarına serilen güneş ışığını yansıtıcı örtülerin ağaçlarda daha yüksek fotosentez oranlarına, meyvelerde ise daha yüksek karbonhidrat kapsamı yanı sıra daha iyi bir renklenme sağlamaktadır (Sousa ve Sánchez, 2020). Benzer sonuçlar ‘Evercrisp’, ‘Honeycrisp’, ‘NY1’, ‘NY2’ elma çeşitleri için de bildirilmiştir (Gonzalez ve Robinson, 2023). Iglesias ve Alegre (2009), elma bahçelerinde yansıtıcı örtü kullanımının meyvelerdeki kırmızı renk oranını %20-40 arasında artırabildiğine dikkat çekmiştir. UV-seçici ve spektral olarak optimize edilmiş yeni nesil yansıtıcı örtülerin klasik materyallere kıyasla daha etkili olduğu bildirilmiştir (Glenn ve Puterka, 2007). Ancak yanlış zamanlama veya aşırı ışık yükü, güneş yanıklığı riskini artırabileceğinden dikkatli yönetim gereklidir.

Elma ağaçlarında iyi bir ışık yönetimi yansıtıcıların yanı sıra uygun budama şekillerinin kullanımı ile de yakından ilişkilidir. Düşük ışık yoğunluğuna sahip olan alanlarda meyvelerin daha iyi ışıklanmasını sağlamak amacıyla ışıklanmayı artıran terbiye sistemlerinin (tall spindle, bi-axis ve 2D fruit wall vb.) uygulanması renklenmeyi de olumlu etkileyecektir. Böylelikle meyve yüzeyine ulaşan fotosentetik aktif radyasyon (PAR) miktarı, renklenmenin hem yoğunluğunu hem de homojenliğini artıracaktır (Mallikarjuna, 2021).

Gübreleme, çok yıllık meyve ağaçlarında sadece yaşamsal faaliyetlerin devamı için değil aynı zamanda elmalarda renklenmeyi etkileyen önemli bir kültürel işlemdir. Yapılan çalışmalarda kırmızı renkli elma çeşitlerinde yüksek azot düzeylerinin renklenmeyi engellediği vurgulanmaktadır (Wang ve Cheng, 2011). Diğer yandan fulvik asit uygulamalarının ‘Yanfu3’ elma çeşidi meyvelerinde yüksek azot düzeylerinin etkilerini ortadan kaldırarak renklenmeyi olumlu etkilediği bildirilmiştir (Wang ve ark, 2024b). Çalışmalarda potasyum gübrelemesinin elmalarda antosiyanin birikimini artırdığı ve kırmızı renklenmeyi teşvik ettiği belirtilmektedir. Buna göre potasyum uygulamaları, yüksek nitrojenin olumsuz etkilerini bir miktar telafi ederek meyve kabuk rengini iyileştirip antosiyanin birikimini destekleyebilmektedir. Bu etkiler, gübreleme programlarının doz, zamanlama ve türlere göre optimize edilmesini gerekli kılmaktadır. Bu ilişkiyi güçlü şekilde anlamak için, gübreleme programlarını ışık, sıcaklık, su yönetimi ve

çeşide bağlı tepkilerle birlikte değerlendirmenin en iyi yaklaşım olacağı düşünülmektedir.

4. SONUÇ

Elma meyvelerinde renklenme, başta antosiyanin birikimi olmak üzere, genetik altyapı ile çevresel koşullar yanı sıra kültürel işlemlerin çok katmanlı etkileşimi ile şekillenen karmaşık bir fizyolojik süreçtir. Bu çalışmada ele alınan bulgular, elmalarda meyve kabuk renginin yalnızca tek bir faktör tarafından değil; sıcaklık, ışık, beslenme durumu, karbonhidrat dengesi ve hormonal düzenlemelerin eş zamanlı etkisiyle belirlendiğini açıkça ortaya koymaktadır.

Kırmızı kabuk rengine sahip elma çeşitlerinde antosiyanin biyosentezinin temelini oluşturan fenilpropanoid yolağı, MYB-bHLH-WD40 transkripsiyon faktör kompleksleri tarafından sıkı bir biçimde kontrol edilmekte ve bu genetik kontrol mekanizması çevresel uyaranlara duyarlı şekilde çalışmaktadır (Tako ve ark., 2006; Lin-Wang ve ark., 2011). Özellikle yüksek sıcaklıkların, bu düzenleyici kompleksin ekspresyonunu baskılayarak antosiyanin birikimini sınırlandırdığı; buna karşılık serin gece sıcaklıkları ile yeterli gündüz ışıklanmasının renklenmeyi belirgin biçimde iyileştirdiği çok sayıda çalışmada ortaya konmuştur (Faragher, 1983; Ryu ve ark., 2017; Xue ve ark., 2021).

Bu bağlamda, iklim değişikliğiyle birlikte artan gece sıcaklıkları, kırmızı elma çeşitlerinde renklenme sorunlarını derinleştirmekte ve yetiştiricilik bölgelerinde yeni adaptasyon stratejilerine başvurulmasını gerektirmektedir. Bahçe rakımının artırılması, mikroyağmurlama ile bahçe sıcaklığının düşürülmesi ve ışıklanmayı iyileştiren terbiye sistemlerinin kullanımı gibi uygulamalar son yıllarda öne çıkan çözüme dayalı yaklaşımlardır (Iglesias ve ark., 2002; Lee ve ark., 2023).

Elmalarda renklemenin yalnızca çevresel faktörlerle değil, bitkinin içsel fizyolojik durumu ile de yakından ilişkilidir. Özellikle meyve dokusundaki karbonhidrat düzeyi, antosiyanin biyosentezi için hem enerji ve karbon kaynağı hem de sinyal molekülü olarak kritik bir rol üstlenmektedir. Yüksek fotosentetik aktivite ve uygun karbonhidrat dengesi, meyve kabuğunda daha yüksek antosiyanin birikimiyle sonuçlanmaktadır. Bu durum, budama, meyve

seyreltmesi ve ışıklanmayı artırıcı uygulamaların renklenme üzerindeki dolaylı fakat güçlü etkisini açıklamaktadır.

Dengeli gübreleme, özellikle azot ve potasyum gübrelemesi, elmalarda renklenme üzerinde belirleyici kültürel faktörlerden biridir. Yüksek azot düzeylerinin vejetatif büyümeyi artırarak ışıklanmayı sınırladığını ve meyve kabuğunda klorofil baskınlığını sürdürerek antosiyanin birikimini olumsuz etkilemektedir (Wang ve Cheng, 2011). Buna karşılık potasyum uygulamaları, karbonhidrat taşınımını ve meyve kalitesini destekleyerek kırmızı renklenmeyi teşvik edebilmektedir. Bu nedenle, elma yetiştiriciliğinde gübreleme programlarının yalnızca verim değil, renk ve kalite hedefleri doğrultusunda da optimize edilmesi gerekmektedir.

Hormonal düzenleme de renklenme sürecinin önemli bir bileşenidir. Etilen, jasmonik asit ve absizik asit gibi hormonların antosiyanin biyosentez genlerinin ekspresyonunu artırarak renklenmeyi desteklediği; oksinlerin ise çoğu durumda bu süreci baskıladığı ortaya konmuştur (Whale ve Singh, 2007; An ve ark., 2018a; Wang ve ark., 2019). Bu bilgiler ışığında, büyümeyi düzenleyici maddelerin elmalarda renk yönetimi amacıyla uygun zaman ve dozlarda kullanılması, özellikle olumsuz iklim koşullarında etkili bir tamamlayıcı strateji olarak değerlendirilebilir.

Sonuç olarak, elmalarda meyve renginin iyileştirilmesi; tek yönlü müdahaleler yerine, genetik potansiyelin çevresel ve fizyolojik faktörlerle uyumlu biçimde yönetildiği birleştirici bir yaklaşımı zorunlu kılmaktadır. İklim değişikliğinin giderek belirginleştiği günümüzde, renklenmeye duyarlı kırmızı elma çeşitlerinde üretimin sürdürülebilirliği ışık, sıcaklık, beslenme ve büyümeyi düzenleyici madde kullanımını entegre eden uygulamaların yaygınlaştırılmasına bağlıdır. Gelecekte yapılacak çalışmaların, farklı ekolojik koşullarda bu faktörlerin etkileşimini nicel olarak ortaya koyması ve çeşide özel yönetim stratejileri geliştirmesi, elma sektörünün kalite ve rekabet gücünü koruması açısından büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- An, J.P., Wang, X.F., Li, Y.Y., Song, L.Q., Zhao, L.L., You, C.X. & Hao, Y.J. (2018a). EIN3-LIKE1, MYB1, and ethylene response factor3 act in a regulatory loop that synergistically modulates ethylene biosynthesis and anthocyanin accumulation, *Plant Physiology*, 178, 808-823.
- An, J.P., Yao, J.F., Xu, R.R., You, C.X., Wang, X.F. & Hao, Y.J. (2018b). Apple bZIP transcription factor MdbZIP44 regulates abscisic acid-promoted anthocyanin accumulation, *Plant Cell & Environment*, 41, 2678-2692.
- An, J., Xu, R., Wang, X., Zhang, X., You, C. & Han, Y. (2024). MdbHLH162 connects the gibberellin and jasmonic acid signals to regulate anthocyanin biosynthesis in apple. *Journal of Integrative Plant Biology*, 66, 265-284.
- Anonim, 2025. Web Sitesi. European Commission, Climate Change Service. <https://climate.copernicus.eu/what-tropical-night#:~:text=A%20tropical%20night%20is%20defined,over%20the%20last%2030%20years.> (Erişim tarihi: 11.12.2025).
- Atay, N.A., Koyuncu, F., Atay, E. & Koyuncu, M.A. (2012). Hasat öncesi etefon uygulamasının Starking Delicious elmasında renklenme ve meyve kalitesi üzerine etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 49(1), 107-112.
- Ban, Y., Honda, C., Bessho, H., Pang, X. & Moriguchi, T. 2007. Suppression subtractive hybridization identifies genes induced in response to UV-B irradiation in apple skin: isolation of a putative *UDP-glucose 4-epimerase*. *Journal of Experimental Botany*, 58(7), 1825-1834.
- Bars-Cortina, D., Macià, A., Iglesias, I., Romero, M.P. & Motilva, M.J. (2017). Phytochemical profiles of new red-fleshed apple varieties compared with traditional and new white-fleshed varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65, 1684-1696.
- Ben-Yehudah, G., Korchinsky, R., Redel, G., Ovadya, R. & Cohen, Y. (2005). Colour accumulation patterns and the anthocyanin biosynthetic pathway in 'Red Delicious' apple variants. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 80, 187-192.

- Brighenti, A.F., Würz, D.A., Pasa, M.S. & Rufato, L. (2017). Plant growth regulators to enhance fruit color of ‘Gala’ apples. *Brasilia*, 52, 1118-1122.
- Büchele, F., Thewes, F.R., Khera, K., Voegelé, R.T. & Neuwald, D.A. (2023). Impacts of dynamic controlled atmosphere and temperature on physiological disorder incidences, fruit quality and the volatile profile of ‘Braeburn’ apples. *Scientia Horticulturae*, 317, 112072.
- Chaves-Silva, S., dos Santos, A.L., Chalfun-Júnior, A., Zhao, J., Peres, L.E.P. & Benedito, V.A. (2018). Understanding the genetic regulation of anthocyanin biosynthesis in plants – Tools for breeding purple varieties of fruits and vegetables. *Phytochemistry*, 153, 11–27.
- Curry, E.A. (1997). Temperatures for optimum anthocyanin accumulation in apple tissue. *Journal of Horticultural Science*, 72(5), 723-729.
- Dar, A.J., Wani, A.A., Ahmed, M., Nazir, R., Zargar, S.M. & Javaid, K. (2019). Peel colour in apple (*Malus × domestica* Borkh.): An economic quality parameter in fruit market. *Scientia Horticulturae*, 244, 50-60.
- Davies, P.J. 1987. The Plant Hormones: Their Nature, Occurrence, and Functions. In: Davies, P.J. (ed) *Plant Hormones and Their Role in Plant Growth and Development*. Martinus Nijhoff Publishers, The Netherlands. (1–12).
- Delgado-Pelayo, R., Gallardo-Guerrero, L. & Hornero-Méndez, D. (2014). Chlorophyll and carotenoid pigments in the peel and flesh of commercial apple fruit varieties. *Food Research International*, 65, Part B, 272–281.
- Dong, W., Wang, T., Wang, Z., Wen, X., Huang, Q. & Xiong, Z. (2025). Research progress on the effects of anthocyanins on cognitive function and their underlying mechanisms. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, XX, 1–14
- Duan, S. & Eom, S.H. (2023). Regulation of anthocyanin and lignin contents in postharvest ‘Fuji’ apple irradiated with UV-B. *Scientia Horticulturae*, 322, 112428.
- FAO. (2025). Food and Agricultural Organization of the United Nations. Web sitesi. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (Erişim Tarihi 5.12.2025).
- Faragher, J.D. (1983). Temperature regulation of anthocyanin accumulation in apple skin. *Journal of Experimental Botany*, 34(10), 1291-1298.

- Glenn, D. & Puterka, G.J. (2007). The use of plastic films and sprayable reflective particle films to increase light penetration in apple canopies and improve apple color and weight. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 42(1), 91-96.
- Gonzalez, L. & Robinson, T.L. (2023). Effect of different reflective ground covers on light reflection and on the coloring of apples at harvest. *Acta Horticulturae*, 1366, 385-392
- Hamada, Y., Sato, H., Otagaki, S., Okada, K., Abe, K. & Matsumoto, S. (2015). Breeding depression of red flesh apple progeny containing both functional MdMYB10 and MYB110a_JP genes. *Plant Breeding*, 134, 239-246.
- Honda, C. & Moriya, S. (2018). Anthocyanin biosynthesis in apple fruit. *The Horticulture Journal*, 87(3), 305-314.
- Iglesias, I. & Alegre, S. (2009). The effects of reflective film on fruit color, quality, canopy light distribution and Profitability of ‘Mondial Gala’ apples. *HortTechnology*, 19(3), 488-498.
- Iglesias, I., Salvia, J., Torguet, L. & Cabús, C. (2002). Orchard cooling with overtree microsprinkler irrigation to improve fruit colour and quality of ‘Topred Delicious’ apples. *Scientia Horticulturae*, 93(1), 39-51.
- Ji, X.H., Wang, Y.T., Zhang, R., Wu, S.J., An, M.M., Li, M., Wang, C.Z., Chen, X.L., Zhang, Y.M. & Chen, X.S. (2015). Effect of auxin, cytokinin and nitrogen on anthocyanin biosynthesis in callus cultures of red-fleshed apple (*Malus sieversii* f. *niedzwetzkyana*). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 120, 325-337.
- Kader, A.A. (2002). *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. 3rd Ed. University of California Agriculture & Natural Resources, 535p.
- Lancaster, J.E., Grant, J.E., Lister, C.E. & Taylor, M.C. (1994). Skin Color in apples—Influence of copigmentation and plastid pigments on shade and darkness of red color in five genotypes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 119, 63-69.
- Larrigaudiere, C., Pinto E. & Vendrell. M. (1996). Differential effects of ethephon and seniphos on color development of ‘Starking Delicious’ apple. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 94, 193-199.

- Lee, J., Park, Y., Jeong, H., Kim, J. & Heo, J. (2023). Temperature changes affected spring phenology and fruit quality of apples grown in high-latitude region of South Korea. *Horticulturae*, 9(7), 794.
- Lin-Wang, K., Micheletti, D., Palmer, J., Volz, R., Lozano, L., Espley, R., Hellens, R.P., Chagnè, D., Rowan, D.D., Troglio, M., Iglesias, I. & Allan, A. (2011). High temperature reduces apple fruit colour via modulation of the anthocyanin regulatory complex. *Plant, Cell & Environment*, 34(7), 1176-1190.
- Liu, H., Liu, Z., Wu, Y., Zheng, L. & Zhang, G. (2021). Regulatory mechanisms of anthocyanin biosynthesis in apple and pear. *International Journal of Molecular Sciences*, 22, 8441.
- Liu, X., Ge, K., Shi, H., Yao, Z. & Zhang, Z. (2025). Effects of anthocyanins on human health: An umbrella review of systematic reviews and meta-analyses. *Food & Function*, 16, 7531-7544.
- Ma, Y., Ma, X., Gao, X., Wu, W., & Zhou, B. (2021). Light induced regulation pathway of anthocyanin biosynthesis in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 22, 11116.
- Mallikarjuna, K. (2021). Studies on the effect of training systems and planting densities on growth, yield and fruit quality of apple (*Malus domestica* Borkh.). Ph.D thesis, Parmar University.
- Merzlyak, M.N. & Chivkunova, O.B. (2000). Light-stress-induced pigment changes and evidence for anthocyanin photoprotection in apples. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 55(2-3), 155-163.
- Miah, M.S. & Faruq, M. (2024a). Reflective groundcovers promote anthocyanin content and advance fruit maturity of 'Evercrisp' apples grown in the Mid-Atlantic US. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1478498.
- Miah, M.S. & Faruq, M. (2024b). The expression of key ethylene and anthocyanin biosynthetic genes of 'Honeycrisp' apples subjected to the combined use of reflective groundcovers and Aminoethoxyvinylglycine in the Mid-Atlantic US. *Plants*, 13(8), 1141.
- Muhammad, N., Luo, Z., Liu, Z. & Liu, M. (2025). The collaborative role of the regulatory (MYB-bHLH-WD40) and structural genes results in fruit coloration in plants some do this under the influence of external stimuli. *Journal of Plant Growth Regulation*, 44, 1087-1103.

- Noman, A.M., Sultan, M.T., Maaz, M., Mazhar, A., Tariq, N., İmran, M., Hussain, M., Mujtaba, A., Abdelgawad, M.A., Mostafa, E.M., Ghoneim, M.M., Selim, S. & Jbawi, E.A. (2025). Effects of anthocyanins on human health: an umbrella review of systematic reviews and meta-analyses. *Food Science & Nutrition*, 13(5), e70164.
- O'Rourke, D. (2021). Economic Importance of the World Apple Industry. In: Korban, S.S. (ed) *The Apple Genome. Compendium of Plant Genomes*. Springer, Cham. (pp. 1–18).
- Paik, I. & Huq, E. (2019). Plant photoreceptors: Multi-functional sensory proteins and their signaling networks. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 92, 114-121.
- Rudell, D.R., Fellman, J.K. & Mattheis, J.P. (2005). Preharvest application of methyl jasmonate to 'Fuji' apples enhances red coloration and affects fruit size, splitting, and bitter pit incidence. *HortScience*, 40, 1760-1762.
- Ryu, S., Han, H., Jeong, J.H., Kwon, Y., Han, J.H., Do, G.R., Choi, I.M. & Lee, H.H. (2017). Night temperatures affect fruit coloration and expressions of anthocyanin biosynthetic genes in 'Hongro' apple fruit skins. *European Journal of Horticultural Science*, 82(5), 232-238.
- Sato, H., Otagaki, S., Saelai, P., Kondo, S., Shiratake, K. & Matsumoto, S. (2017). Varietal differences in phenolic compounds metabolism of type 2 red-fleshed apples. *Scientia Horticulturae*, 219, 1-9.
- Saure, M.C. (1990). External control of anthocyanin formation in apple. *Scientia Horticulturae*, 42(3), 181-218.
- Smeriglio, A., Barreca, D., Bellocco, E. & Trombetta, D. (2016). Chemistry, pharmacology and health benefits of anthocyanins. *Phytotherapy Research*, 30, 1265-1286.
- Sousa, M.L. & Sánchez, C. (2020). Effects of covering inter-row orchard floor with reflective films on light distribution, photosynthesis, coloration and quality of 'Fuji' apples. *Acta Horticulturae*, 1268, 257-264.
- Stern, R., Korchinsky, R., Ben-Aries, R. & Cohen, Y. (2010). Early application of the synthetic auxin 2,4-DP enhances the red colouration of 'Cripp's Pink' apple. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 85(1), 35-41.

- Takos, A.M., Jaffé, F.W., Jacob, S.R., Bogs, J., Robinson, S.P. & Walker, A.R. (2006). Light-induced expression of a MYB gene regulates anthocyanin biosynthesis in red apples. *Plant Physiology*, 142, 1216-1232.
- Ubi, B.E., Honda, C., Bessho, H., Kondo, S., Wada, M., Kobayshi, S. & Moriguchi, T. (2006). Expression analysis of anthocyanin biosynthetic genes in apple skin: Effect of UV-B and temperature. *Plant Science*, 170(3), 571-578.
- Umemura, H., Otagaki, S., Wada, M., Kondo, S. & Matsumoto, S. (2013). Expression and functional analysis of a novel MYB gene, MdMYB110a_JP, responsible for red flesh, not skin color in apple fruit. *Planta*, 238, 65-76.
- Wang, H. & Cheng, L. (2011). Differential effects of nitrogen supply on skin pigmentation and flesh starch breakdown of 'Gala' apple. *HortScience*, 46(8), 1116-1120.
- Wang, N., Qu, C., Jiang, S., Chen, Z., Xu, H., Fang, H., Su, M., Zhang, J., Wang, Y. & Liu, W. (2018a). The proanthocyanidin-specific transcription factor *MdMYBPA 1* initiates anthocyanin synthesis under low-temperature conditions in red-fleshed apples. *The Plant Journal*, 96, 39-55.
- Wang, Y., Wang, N., Xu, H., Jiang, S., Fang, H., Su, M., Zhang, Z., Zhang, T. & Chen, X. (2018b). Auxin regulates anthocyanin biosynthesis through the Aux/IAA-ARF signaling pathway in apple. *Horticulture Research*, 5, 59.
- Wang, Y., Liu, W., Jiang, H., Mao, Z., Wang, N., Jiang, S., Xu, H., Yang, G., Zhang, Z. & Chen, X. (2019). The R2R3-MYB transcription factor MdMYB24-like is involved in methyl jasmonate-induced anthocyanin biosynthesis in apple. *Plant Physiology and Biochemistry*, 139, 273-282.
- Wang, N., Liu, W., Mei, Z., Zhang, S., Zou, Q., Yu, L., Jiang, S., Fang, H. Zhang, Z. & Chen, Z. (2024a). A functional InDel in the WRKY10 promoter controls the degree of flesh red pigmentation in apple. *Advanced Science*, 11, 2400998.
- Wang, L., Chen, R., Jiang, Z., Li, H. & Xue, X. (2024b). The combined application of urea and fulvic acid regulates apple tree carbon and nitrogen metabolism and improves anthocyanin biosynthesis. *Agronomy*, 14, 2062.

- Whale, S.K. & Z. Singh. 2007. Endogenous ethylene and colour development in the skin of 'Pink Lady' apple. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 132, 20-28.
- Xue, X., Duan, Y., Wang, J., Ma, F. & Li, P. (2021). Nighttime temperatures and sunlight intensities interact to influence anthocyanin biosynthesis and photooxidative sunburn in 'Fuji' Apple. *Frontiers in Plant Science*, 12, 694954.
- Zhang, J., Xu, H., Wang, N., Jiang, S., Fang, H., Zhang, Z., Yang, G., Wang, Y., Su, M., Xu, L. & Chen, X. (2018). The ethylene response factor MdERF1B regulates anthocyanin and proanthocyanidin biosynthesis in apple. *Plant Molecular Biology*, 98, 205-218.
- Zhang, L., Zhang, J., Wei, B., Li, Y., Fang, X., Zhong, Y. & Wang, L. (2024). Transcription factor MdNAC33 is involved in ALA-induced anthocyanin accumulation in apples. *Plant Science*, 339, 111949.
- Zhao, K., Zhang, Q., Wang, Y., Wei, Q. & Wang, Y. (2025). Advances in the biosynthesis and regulatory mechanisms of anthocyanins in horticultural plants: A comprehensive review. *Tropical Plants*, 4, e010.

BÖLÜM 4

YARI-KURAK KOŞULLARDA ROKA YETİŞTİRİCİLİĞİNDE BİÇİM ZAMANLARININ VERİM VE C VİTAMİNİ ÜZERİNE ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Muzaffer KIRPIK¹,
Dr. Öğr. Üyesi Ceren Ayşe BAYRAM^{2*},
Prof. Dr. Memet İNAN³

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18114351>

¹ Adıyaman Üniversitesi, Kahta MYO, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Böl., Adıyaman, Türkiye; mkipik@adiyaman.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-8089-2533

² Adıyaman Üniversitesi, Kahta MYO, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Böl., Adıyaman, Türkiye; cerenaysenazik@gmail.com, Orcid ID: 0000-0002-1570-273X

³ Adıyaman Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Adıyaman, Türkiye. minan@adiyaman.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-8870-5029

*Sorumlu yazar: cerenaysenazik@gmail.com

1. GİRİŞ

İnsanoğlu, besin kaynağı olarak bitkileri tarih boyunca önce toplayıp sonra kültüre almıştır. Tahıl, baklagiller ve bazı sebzeler ilk kültüre alınan bitkiler arasında yer alır. Bahçe bitkileri ise meyve, sebze, asma ve süs bitkileri olarak sınıflandırılır. Sebzeler genellikle tek yıllık otsu bitkiler olup farklı organları (kök, yaprak, gövde, çiçek, tohum vb.) tüketilen bitki grubudur (Kasım, 2022).

Yarı kurak bölgelerde sebze yetiştiriciliği; gıda güvenliği, ekonomik kalkınma ve çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bölgelerde su kaynakları sınırlı olduğundan su verimliliği yüksek sebze türlerinin yetiştirilmesi, gıda temini için kritik bir strateji oluşturmaktadır. Özellikle düşük su tüketimine sahip ve kuraklık toleransı yüksek olan sebze türleri, bu koşullarda verimli üretim imkânı sunar (İpekşen ve ark., 2025). Sebze üretimi bu bölgelerde küçük ölçekli çiftçiler için ek gelir kaynağı sağlamakta ve yerel ekonomilerin güçlenmesine katkıda bulunmaktadır. Yarı-kurak bölgelerde yetiştirilen sebzeler vitamin ve mi Yarı-kurak bölgelerde yetiştirilen sebzeler, özellikle kontrollü koşullarda vitamin ve mineral içerikleri açısından zengindir; bunlar arasında C vitamini seviyeleri de yüksektir (Pakdemirli ve ark., 2021). Ancak aşırı sıcaklık ve kuraklık gibi stres koşulları, özellikle rokanın C vitamini içeriğinin azalmasına neden olabilir. Yarı-kurak koşullarda yetiştirilen sebzelerin besin değerlerindeki üstün nitelikler, halk sağlığının iyileştirilmesine de yardımcı olur.

İklim değişikliği ve su kaynaklarındaki azalma gibi çevresel stres faktörleri, tarımsal üretimi doğrudan etkileyerek, üreticilerin verim ve kalite kayıpları yaşamasına neden olmaktadır (Sharma, 2024). Bu olumsuz etkileri azaltmak ve tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla, kuraklık ve yüksek sıcaklık gibi stres koşullarına dayanıklı sebze türlerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır (Park ve ark., 2025). Bu türler, çevresel stres koşullarına karşı direnç göstererek üretim sürekliliğini sağlar (Mareri ve ark., 2022). Özellikle, yeni bitki ıslahı teknolojileri ve genetik mühendislik yöntemleri kullanılarak, su verimliliği ve kuraklık toleransı yüksek sebze çeşitleri geliştirilmiştir (He ve ark., 2024). Bu gelişmeler, gıda güvenliğini artırmak ve tarımsal üretimi sürdürülebilir kılmak için kritik bir strateji oluşturmaktadır (FAO, 2022). Böylece, yarı kurak bölgelerde sebze

yetiştiriciliği, gıda güvenliğini sağlamak, ekonomik kalkınmayı desteklemek ve çevresel sürdürülebilirliği artırmak açısından stratejik bir öneme sahiptir.

Roka (*Eruca sativa*), Brassicaceae (turpgiller) familyasına ait tek yıllık otsu bir bitkidir (Oturgan, 2007). Botanik olarak *Eruca* cinsine dahil olan bu tür, özellikle yapraklarının rozet şeklinde olması ve derin dişli yapısıyla tanınır. Yaprakları aromatik bir kokuya sahip olup, çiçekleri sarı renkte ve siliqueae tipi meyve verir. Morfolojik özellikleri, rokanın besin ve aromatik değerleriyle birlikte hem taze tüketim hem de mikro yeşil üretim için uygun bir sebze olmasını sağlamaktadır.

Besin değeri yüksek ve kuraklığa toleranslı roka, yarı-kurak bölgelerde sürdürülebilir tarım için önemli bir potansiyele sahiptir. Özellikle C vitamini içeriğiyle öne çıkan bu bitkinin mikro yeşil formları, uygulanan askorbik asit konsantrasyonuna bağlı olarak %20 ila %840 arasında değişen oranlarda C vitamini artışı gösterebilmektedir (Kathi ve ark., 2022). Rokanın verimi ve besin içeriği ise ekim zamanı, sulama yöntemleri ve iklim koşullarından etkilenmektedir. Erken ekim tarihleri bitkinin gelişim süresini uzatarak daha yüksek verim ve besin değeri sağlarken, geç ekimler sıcaklık ve su stresine karşı duyarlılığı artırabilir (Açıkgöz, 2011). Erken biçimler yaprakların genç ve taze olmasını sağlayarak yüksek C vitamini ve antioksidan kapasite sunarken, geç biçimler toplam yaprak verimini artırabilmekte ancak bazı durumlarda C vitamini ve fenolik bileşik konsantrasyonunda düşüş gözlemlenebilmektedir. Bu nedenle, yarı-kurak bölgelerde roka yetiştiriciliğinde optimal biçim zamanının belirlenmesi hem yüksek verim hem de üstün besin değeri sağlamak açısından kritik öneme sahiptir.

Bu çalışmanın amacı, yarı kurak koşullarda roka (*Eruca sativa*) bitkisinde farklı biçim zamanlamalarının yaprak verimi ve özellikle C vitamini içeriği üzerindeki etkilerini belirlemek ve optimal hasat zamanını saptayarak sürdürülebilir üretim için öneriler geliştirmektir.

2. YARI-KURAK KOŞULLAR VE ROKA YETİŞTİRİCİLİĞİ

TÜİK verilerine göre Türkiye’de toplam sebze üretimi 2023 yılında 31.787.928 ton iken, 2024’te 33.572.402 tona yükselmiştir. Bu durum, toplam sebze üretiminde %5.6’lık bir artış olduğunu göstermektedir. 2023 yılında Türkiye’de 39.415 ton roka üretilmişken, 2024 yılında bu miktar 44.492 tona ulaşmıştır. Roka üretimindeki yaklaşık %12.9’luk artış, üreticilerin roka

üretimine artan ilgileri ile ilişkilidir. Ancak roka üretiminin, toplam sebze üretimi içindeki payının (%0.1) hâlen çok düşük olması nedeniyle rokanın nispeten niş bir ürün olarak kaldığı söylenebilir (TÜİK, 2025). Adıyaman ve benzeri, yarı-kurak iklim koşullarına sahip yörelerde roka üretiminin artırılması için; iklim koşullarına uygun çeşitlerin seçimi, mevcut su kaynaklarının etkin kullanımı ve modern tarım tekniklerinin uygulanması gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca, roka gibi sebzelerin organik tarım yöntemleriyle üretimi hem çevresel sürdürülebilirlik hem de ekonomik kazanç açısından avantaj sağlayabilir.

3. EKOLOJİK İSTEKLERİ

3.1. İklim Faktörleri

Roka, iklim isteklerine göre serin iklim sebzesi olarak sınıflandırılmakta olup, optimum büyüme sıcaklığı 15-20 °C aralığındadır. Bu sıcaklık aralığında yaprak gelişimi hızlanır ve besin kalitesi artar. Ancak, sıcaklık 25 °C'nin üzerine çıktığında, roka bitkisinde stres gözlenebilir; bu durum yapraklarda acılık (pungency) artışına ve büyüme hızının azalmasına yol açar. Yapılan bir çalışmada, yüksek büyüme sıcaklıklarının glukozinolat birikimini artırdığı, ancak genel büyüme ve verimi belirgin şekilde azalttığı bilimsel olarak gözlemlenmiştir (Jasper ve ark., 2020). Roka, %50–70 bağıl nem aralığında optimum büyüme gösterir. Bu nem aralığı, stomaların açkmasını ve dolayısıyla fotosentez etkinliğini destekler. Ancak, nem oranı %30'un altına düştüğünde, roka bitkisi su stresine girer ve bu durum yapraklarda kuruma ve verim kaybına neden olabilir. Ayrıca, düşük nem koşullarında nitrat birikimi artabilir, bu durumun da besin kalitesini olumsuz etkilediği gözlenmiştir (Lee ve ark., 2024).

3.2. Toprak Faktörleri

Roka, toprak istekleri bakımından seçici bir sebze türüdür. Yapraklarının tüketilmesi nedeniyle, ağır bünyeli ve killi topraklarda yetiştiriciliği önerilmez (IFAS, 2023). Organik maddece zengin ve kumlu-tınlı topraklar, roka yetiştiriciliği için en uygun toprak özelliklerini sunar. Bu tür topraklar, iyi su drenajı sağlayarak köklerin oksijen almasını ve besin maddelerini etkin bir şekilde almasını destekler. Roka bitkisi için ideal toprak pH değeri 6.0 ile 7.0 arasında olup, nötr pH aralığında en iyi gelişimi gösterir. Bu pH aralığı, rokanın besin maddelerini etkin bir şekilde almasını ve büyüme performansını artırır.

Ayrıca, pH'nın 6.0 ile 7.0 arasında olması, rokanın besin maddelerini etkin bir şekilde almasını ve büyüme performansını artırır (Torun, 2018). Toprakta organik madde oranının yüksek olması, rokanın besin maddelerini etkin bir şekilde almasını ve büyüme performansını artırır (OSU, 2016). Sonuç olarak, roka yetiştiriciliğinde toprak seçimi büyük önem taşır. Organik maddece zengin, iyi drene olan ve pH değeri 6.0 ile 7.0 arasında olan topraklar, roka bitkisinin sağlıklı gelişimi ve yüksek verim için en uygun koşulları sağlar.

3.3. Yağış ve Sulama

Roka, yıllık 400–600 mm yağış alan bölgelerde iyi gelişir. Yaz aylarında yağışın yetersiz olduğu durumlarda, düzenli sulama gereklidir. Sulama sırasında toprak suyu hacimsel içeriğinin $0.30 \text{ m}^3/\text{m}^3$ seviyesinde tutulması, roka bitkisinin büyüme ve kalite parametrelerini olumlu etkiler. Ancak, toprak suyu hacimsel içeriğinin $0.20 \text{ m}^3/\text{m}^3$ seviyesine düşmesi durumunda, roka bitkisinin büyümesinin ve kalitesinin olumsuz etkilenebileceği bildirilmiştir (Lee ve ark., 2024).

4. YARI KURAK BÖLGELERDE ROKA ÜRETİMİNDE KARŞILAŞILAN STRES FAKTÖRLERİ

Yarı kurak bölgelerde roka üretimi, çevresel stres faktörlerinin etkisiyle verim ve kalite kayıpları yaşayabilir. Bu stres faktörleri, bitkinin büyüme, besin kalitesi ve hastalık direnci üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir. Aşağıda, bu stres faktörlerinin roka üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

4.1. Yüksek Sıcaklık Stresi

Roka, serin iklim sebzesi olup, yüksek sıcaklık koşullarında gelişiminde zorluklar yaşar. Yüksek sıcaklıklar, rokanın glukozinolat (bitterlik bileşenleri) ve C vitamini gibi besin maddelerinin birikimini azaltabilir. Örneğin, bir çalışmada yüksek sıcaklıkların glukozinolat birikimini artırdığı ancak bitkinin genel büyümesini olumsuz etkilediği bulunmuştur (Köse, 2010). Ayrıca, yüksek sıcaklıklar, su kaybını artırarak bitkinin su stresine girmesine neden olabilir.

4.2. Kuraklık Stresi

Kuraklık, roka bitkisinin su dengesini bozarak yaprak gelişimini yavaşlatır ve biyokimyasal bileşiklerin birikimini etkiler. Bir çalışmada, kuraklık stresinin rokanın prolin içeriğini artırdığı, ancak klorofil ve

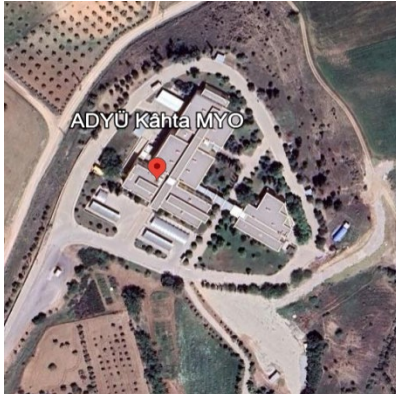
fotosentetik pigmentlerin içeriğini azalttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca su eksikliği, stoma iletkenliğini ve fotosentetik verimliliği düşürerek bitkinin genel sağlığını olumsuz etkileyebilir (Nikzad ve ark., 2023).

4.3. Aşırı Nem ve Hastalık Riski

Aşırı nem, roka bitkisinde fungal hastalıkların gelişimini teşvik eder. Özellikle yüksek bağıl nem ve ıslak koşullar, *Alternaria brassicicola* (Anonim, 2025) gibi mantarların enfeksiyon riskini artırır. Bu hastalıklar yaprak lekelerine ve çürüklere neden olabilir, bu da kalite kaybına yol açar. Ayrıca yüksek nem koşulları, fotosentetik aktivitenin düşmesine neden olabilir (Jain ve ark., 2019).

5. DENEME ALANI BİLGİLERİ

Deneme alanı (37.79456° N, 38.64389° E) toprak özelliklerini belirlemek amacıyla 0-30 cm derinlikten alınan örneklerde, toprağın kil-tın (CL) yapısında, pH 7.78 ve 801 $\mu\text{S}/\text{cm}$ tuz içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 1). Öte yandan deneme sahası toprağının kireç oranı %22.0 ve organik madde içeriği %2.56'dır. Alınabilir fosfor (P) miktarı 5.5 kg da^{-1} , potasyum (K_2O) miktarı 200.8 kg da^{-1} , alınabilir demir (Fe) 190.2 mg/kg , çinko (Zn) 0.59 mg/kg , bakır (Cu) 2.60 mg/kg ve mangan (Mn) 12.77 mg/kg olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Deneme alanının görüntüsü

Çalışmanın yürütüldüğü 2024 Ekim–2025 Mart döneminde Kahta bölgesinde ortalama sıcaklıklar Ekim ayında 16°C, Kasım'da 8°C, Aralık'ta 1°C, Ocak'ta 0°C, Şubat'ta 1°C ve Mart'ta 6°C olarak ölçülmüştür. Aynı

dönemde yağışlı gün sayısı Ekim ve Kasım aylarında 8, Aralık, Ocak ve Şubat aylarında 10 ve Mart ayında 13 gün olarak gerçekleşmiştir. Güneşli gün sayısı ise Ekim ayında 17, Kasım'da 15, Aralık'ta 10, Ocak'ta 11, Şubat'ta 10 ve Mart'ta 9 gün olarak kaydedilmiştir.

6. BİTKİ MATERYALI

Standart roka, özellikle salata ve garnitürlerde yaygın olarak kullanılan hızlı büyüyen ve aromatik bir yaprak sebzesidir. Yaprığı yenen bu sebze, yüksek oranda C vitamini içermektedir. Taze yapraklarının salatalarda kullanılması ile beraber garnitür olarak da tüketilirken ve besin değeri ile lezzeti sayesinde hem tarımsal verim hem de tüketici talebi açısından önem taşıyan ve yarı kurak bölgelerde de yetiştiriciliği önemli olan bir yeşil yapraklı sebzedir. Yaprakları daldırılmış, derin yan loblu ve büyük terminal loblu olup, koyu yeşil renkte ve hafif dişli bir yapıya sahiptir. Çiçekleri 2-4 cm çapında, beyazımsı krem rengindedir. Yetiştirme süresi soğuk iklimde 30-35 gün, sıcak iklimde ise 40-50 gün arasında değişmektedir. Bir gramda yaklaşık 500 tohum bulunmakta ve tohumlar 4-5 yıl çimlenme potansiyelini korumaktadır. Çalışma kapsamında roka tohumları deneme alanına 10 Ekim 2024 tarihinde dekara 1.5 kg olacak şekilde, 2 m²'lik alt parsellere ekilmiştir.



Şekil 2. Tohum ekimi (10 Ekim 2024) ve tohumların sürme (21 Ekim 2025)

6.1. Deneme Alanında Yapılan Bakım İşleri

Deneme süresince bitkilerin sağlıklı gelişimini sağlamak amacıyla gerekli bakım işlemleri düzenli olarak uygulanmıştır. Sulama işlemleri, bitkinin su ihtiyacını karşılamak üzere yağmurlama sulama yöntemiyle yapılmıştır. Yetiştirme süresince gelişmeyi engelleyebilecek yabancı otlar elle temizlenmiş,

ayrıca toprağın havalanmasını ve suyun daha iyi nüfuz etmesini sağlamak amacıyla ara çapa işlemleri gerçekleştirilmiştir. Böylece bitkilerin hem kök gelişimi hem de genel vejetatif gelişimi desteklenmiştir. Bitkilerin azotu NO_3^- anyonu ve NH_4^+ katyonu şeklinde alması, diğer besin maddelerinin inorganik azot bağlantıları üzerindeki karşılıklı etkisine bağlıdır (Nurzyńska-Wierdak, 2009). Deneme alanına 4 kg üre uygulanmıştır bu değer önceki çalışmalar referans alınarak belirlenmiştir (Okur ve ark., 2009; Eşiyok ve ark., 2013).

7. BİÇİM ZAMANININ VERİM VE KALİTE ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Roka yetiştiriciliğinde biçim zamanı, bitki verimi ve kalite parametreleri üzerinde önemli etkiler oluşturmaktadır. Biçim zamanı özellikle yaprak verimi ve bitki biyokütlesi ile doğrudan ilişkilidir. Bu amaçla deneme 3 tekrarlı ve 3 biçim zamanı planlamasıyla toplam 9 alt parsel (2m^2) olarak planlanmıştır.

7.1. Biçim Tarihleri ve Hasat Sıklığı

Rokada hasat sıklığı ve biçim tarihleri, toplam verimi belirleyen temel faktörler arasında yer alır (Taherlou, 2011). Erken biçim tarihleri, genç ve taze yaprakların toplanmasını sağlarken, daha geç biçimler bitkinin biyokütle olarak daha fazla gelişmesini mümkün kılar (Fu, 2008; Bantis ve ark., 2021). Ayrıca, sık aralıklarla yapılan biçimler, bitkinin tekrar büyümesini teşvik ederek toplam verimi artırabilir. Bununla birlikte, çok sık biçim uygulamaları bitkide stresi artırarak kalitenin düşmesine neden olabilir. Bu çalışmada biçim tarihleri; 19 Aralık 2024, 21 Şubat ve 11 Mart 2025 olarak belirlenmiştir.

7.2. Yaprak Verimi ve Biyokütle Değişimi

Biçim zamanı, yaprak verimi ve toplam biyokütle üzerinde belirgin farklılıklara yol açar. Erken dönemde biçilen rokanın, taze yaprak verimi yüksek olsa da toplam biyokütlesi daha sınırlıdır. Geç biçimlerde ise bitki daha fazla yaprak ve sap üretir; ancak bu dönemde yapraklar daha sert ve lifli olabilmektedir. Dolayısıyla, biçim zamanı seçimi hem piyasa taleplerine hem de kalite kriterlerine göre optimize edilmelidir.

7.3. Bitki Büyüme Hızı ve Gelişim Evreleri

Bitkinin büyüme hızı ve gelişim evreleri, biçim zamanının etkisini belirleyen diğer önemli parametrelerdir. Roka, hızlı büyüyen bir yapıya sahip olduğundan, hasat zamanı ile bitkinin fenolojik evreleri arasında doğru bir

denge kurulması gerekir. Örneğin, roka rozet evresinde biçildiğinde, yapraklar daha yumuşak ve lezzetli olur ancak olgunlaşma evresinde biçim yapıldığında yapraklar daha geniş ve lifli bir yapıya sahip olur. Bu durum hem yaprak verimi hem de toplam biyokütle için kritik öneme sahiptir.

7.4. C Vitamini İçeriği

Rokada C vitamini içeriği, bitkinin olgunluk durumu ve biçim zamanı ile yakından ilişkilidir. Erken biçim tarihleri, rokanın genç ve taze yapraklarının toplanmasını sağlar. Bu dönemlerde yapraklardaki C vitamini içeriği genellikle daha yüksektir. Bitki ilerleyen gelişim evrelerine ulaştıkça, C vitamini konsantrasyonu yapraklarda kademeli olarak düşebilir. Bunun başlıca nedeni; bitkinin yaşlanması ve metabolik süreçlerin değişmesidir. Düzenli ve sık biçim, bitkide stres yaratmadan genç yaprak üretimini teşvik ederek toplam C vitamini verimini artırabilir. Öte yandan, geç hasat edilen yapraklar daha yüksek biyokütle sağlasa da besin değeri açısından ve özellikle C vitamini açısından genç yapraklar kadar zengin olmayabilir. Bu nedenle biçim zamanı, sadece verim değil aynı zamanda besin kalitesi açısından da stratejik bir faktör olarak değerlendirilmelidir.

Yarı-kurak koşullarda farklı biçim zamanlarında roka yetiştiriciliğinde ölçülen taze herba verimi ($\text{kg}/2\text{m}^2$), toplam verim (kg/da), bağ sayısı (adet), C vitamini ölçümleri ve nem kaybı (%) Çizelge 1’de gösterilmiştir. Taze herba verimi için her parseldeki bitkiler toprak üstünden biçilerek toplu bir şekilde gölge bir yere alındı ve dijital terazide tartılarak kayıt edildi. Daha sonra her parseldeki bağ sayısının belirlenmesi amacıyla da 100’er gramlık bağlar deste oluşturularak bağ sayısı hesaplandı (Şekil 3). Her biçimdeki taze yapraklarda C vitamini analizi Adıyaman Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında ölçüldü. Bir saatte kaybolan nemi hesaplamak için destelenen bağlar biçimi takiben tartıldı ve bir saat bekletme süresi sonunda tekrar tartılarak ağırlık farkına dayalı olarak belirlendi.



Şekil 3. Biçimi yapılan rokalardan 100'er gramlık bağ oluşturulması

Çizelge 1. Farklı biçim zamanlarında rokada ölçülen taze herba verimi (kg/2m²), toplam verim (kg/da), bağ sayısı (adet) ve C vitamini ölçümleri

B biçimler	Taze Herba Verimi (kg/2m ²)	Toplam Verim (kg/da)	Bağ Sayısı (adet)	C Vitamini (mg/100g FW)	Nem Kaybı (%)
1. Biçim	1.074	537	6.6	11.48	7.1
	1.160	580	7.2	12.51	7.8
	0.992	496	6.1	10.06	7.3
Ortalama	1.075	538	7	11.35	7.4
2. Biçim	3.190	1595	23.0	27.78	8.9
	4.320	2160	31.4	28.12	8.2
	3.700	1850	26.7	29.59	8.4
Ortalama	3.737	1868	27	28.50	8.5
3. Biçim	2.820	1410	21.6	24.80	10.1
	2.580	1290	19.8	25.17	10.5
	3.000	1500	23.0	26.41	10.0
Ortalama	2.800	1400	21.5	25.46	10.2

Yapılan analizler, üç farklı biçim zamanı (Şekil 4) arasında; verim, bağ sayısı, C vitamini içeriği ve nem kaybı açısından belirgin farklılıklar olduğunu göstermiştir. Taze herba verimi açısından en düşük değerler 1. biçimde (ortalama 1.075 kg/2 m²), en yüksek değerler ise 2. biçimde (ortalama 3.737 kg/2 m²) gözlenmiştir. Bu durum, 1. biçime göre 2. biçimde yaklaşık %247'lik bir artışa karşılık gelmektedir. Toplam verimde de benzer bir trend görülmüş olup, 1. biçimin 538 kg/da'lık ortalamasına kıyasla 2. biçim 1.868 kg/da ile %247 daha yüksek toplam verim sağlamıştır. 3. biçim ise 1400 kg/da ile orta düzeyde performans göstermiş ve 1. biçime göre %160, 2. biçime göre ise yaklaşık %25 daha düşük verim sunmuştur.

Bağ sayısı açısından da farklılıklar belirgindir. 1. biçimde ortalama 7 adet bağ ile en düşük, 2. biçimde 27 adet ile en yüksek bağ sayısı elde edilmiştir. 3. biçim ortalama 21.5 bağ ile ikinci sırada yer almış ve 1. biçime göre yaklaşık %207, 2. biçime göre ise %20 daha düşük bağ sayısı sunmuştur. C vitamini içeriği bakımından da 1. biçim en düşük değer olan 11.35 mg/100 g FW ile dikkat çekerken, 2. biçim 28.50 mg/100 g FW ile en yüksek C vitamini içeriğini sağlamış, 3. biçim ise 25.46 mg/100 g FW ile ikinci sırada yer almıştır. Bu bağlamda 2. biçim hem verim hem de besin değeri açısından açık bir üstünlük göstermektedir.



1. BİÇİM



2. BİÇİM



3. BİÇİM

Şekil 4. Farklı biçim zamanlarındaki bağ yapıları

Nem kaybı ise 1. biçimde %7.4, 2. biçimde %8.5 ve 3. biçimde %10.2 olarak ölçülmüş, verim ve bağ sayısının artmasıyla nem kaybında da belirli bir yükseliş trendi gözlenmiştir. Genel olarak, 2. biçim yüksek verim, yoğun bağ sayısı ve yüksek C vitamini içeriği ile üretim ve besin değeri açısından en uygun biçim olarak öne çıkarken, 1. biçim düşük verim ve C vitamini içeriği ile sınırlı performans göstermektedir. 3. biçim ise hem verim hem de besin değeri açısından orta düzeyde bir performans sunmaktadır. Bu sonuçlar, biçim ve hasat yöntemlerinin roka üretiminde hem ürün miktarı hem de kalite üzerinde belirleyici rol oynadığını göstermektedir.

8. UYGULAMALI YETİŞTİRİCİLİK ÖNERİLERİ

Rokada hasat zamanı, ürünün kullanım amacına bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada ana hedef bebek yaprak (baby leaf) üretimi olmasa da bebek yaprak üretimi de Türkiye’de ilkbahar ekimi için oldukça önemli olup çıkıştan itibaren yaklaşık 21. günde yaprak boyu 5-7 cm olduğunda

ilk biçim yapılabilirdiği bildirilmiştir (Buitrago-Villanueva ve ark., 2023). Demetlik üretim için ise biçim genellikle 30-45. günler arasında değişmektedir. Bu çalışmada birinci biçim 56. güne denk gelmiştir. Bu durumun bölge ekolojisi ve yıllık sıcaklık ortalamasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Roka üretiminde hasat, bitki tepesinden 1-2 cm yukarıdan yapılmalı (Şekil 5) ve düzenli aralıklarla tekrarlanmalıdır. Yaz aylarında sıcak hava dalgaları nedeniyle bitkinin erken çiçeklenmeye yönelmesi (bolting) ve yapraklarda acılaşma gözlemlenmektedir. Bu nedenle kalite kayıplarını önlemek için çiçek sapı görülmeden biçim aralıklarının sıklaştırılması önerilmektedir. Seçilen bölgede sonbahar ekiminin uygun olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5. Bitki biçim şekli

9. SULAMA VE GÜBRELEME İLE KALİTE YÖNETİMİ

Roka üretiminde sulama ve gübreleme programları ürün kalitesi üzerinde doğrudan etkilidir. Yüksek oranda kullanılabilir suyun sağlanması, özellikle serada yapılan üretimlerde taze ağırlık, yaprak alanı ve bitki boyunun artmasına katkı sağlamaktadır (Cemek ve ark., 2005). Sulama yetersizliği ise verimde düşüşe ve yapraklarda klorofil miktarının azalmasına yol açmaktadır (Hancıoğlu, 2012). Bununla birlikte sulama rejimi, yapraklarda nitrat birikimini de doğrudan etkilemektedir (Abd-Elrahman ve ark., 2022).

10. VERİM VE BESİN DEĞERİNİ ARTIRICI STRATEJİLER

Roka yetiştiriciliğinde verimi artırmak ve besin değerini iyileştirmek için farklı yetiştiricilik stratejileri uygulanmaktadır. Dikim sıklığı ve sıra aralığı bu stratejilerin başında gelmektedir. Baby leaf üretiminde sık ekim tercih edilirken, demetlik üretimde sıra arası 15-20 cm ve sıra üzeri 4-5 cm olacak şekilde daha geniş dikim aralıkları önerilmektedir. Araştırmalar, uygun azot-fosfor-potasyum gübrelmesi ile sıra aralığının birlikte planlanmasının yaprak verimini artırdığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, topraksız üretim sistemleri (yüzer yatak, NFT veya akuaponik sistemler) rokanın daha kısa sürede pazara sunulmasına olanak tanırken aynı zamanda yapraklarda glukozinolat ve flavonol gibi fitokimyasal içerikleri de değiştirebilmektedir. Orta düzeyde kuraklık stresi uygulamaları antioksidan bileşiklerin artışına katkı sağlasa da verimde önemli düşümlere neden olduğundan ticari üretimde önerilmemektedir. Organik üretim yaklaşımlarında ise biyoçar gibi toprak düzenleyicilerin özellikle tuzluluk sorunlarının görüldüğü topraklarda azot alımını artırarak büyümeyi desteklediği bildirilmektedir. Bununla birlikte rokanın fitokimyasal içeriği hasat zamanına bağlı olarak da değişmektedir. Baby leaf hasatlarında daha farklı bir glukozinolat profili gözlenirken, 30-45. günlerde yapılan klasik hasatlarda flavonol bileşiklerinin daha yoğun bulunduğu belirlenmiştir. Türkiye’de yürütülen çalışmalarda ise orta düzey azot dozlarının ve hasat öncesi yapılan suyla yıkama uygulamalarının hem verimi koruduğu hem de yaprak nitrat birikimini azalttığı ortaya konmuştur.

11. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yarı kurak koşullarda roka (*Eruca sativa*) yetiştiriciliğinde farklı biçim zamanlarının verim ve C vitamini içeriği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen bulgular, biçim zamanının hem yaprak verimi hem de besin değerini belirlemede kritik rol oynadığını göstermektedir. Özellikle ikinci biçimde elde edilen yapraklar, yüksek taze herba verimi, yoğun bağ sayısı ve C vitamini içeriği ile verim ve kalite açısından diğer biçimlerden üstün performans sergilemiştir. Bu sonuçlar, üreticilerin biçim zamanlarını dikkatle planlamasının önemini ortaya koymaktadır. Gelecekte yapılacak araştırmalarda, farklı iklim koşullarıyla ekim zamanlarında optimum biçim

aralıklarının belirlenmesi ve verim–kalite dengesini optimize etmesi önerilmektedir.

Sulama ve gübreleme uygulamaları, roka üretiminde verim ve kaliteyi doğrudan etkileyen temel faktörler olarak ön plana çıkmaktadır. Düzenli sulama, yaprak verimi ve fotosentetik pigmentlerin korunmasına katkı sağlarken, yetersiz sulama kalite kayıplarına ve nitrat birikimine yol açabilmektedir. Azotlu gübrelerin doz ve formu, bitkide verim artışı sağlarken yaprak nitrat seviyelerini de belirlemektedir. Potasyum uygulamaları ve kontrollü sulama stratejileri ise kaliteyi desteklemektedir. Bu kapsamda, gelecekte yapılacak çalışmaların, farklı sulama rejimleri ve alternatif gübre kaynaklarının roka verimi, besin kalitesi ve nitrat birikimi üzerindeki uzun dönemli etkilerini araştırması önemlidir.

Organik gübre ve biyostimülant uygulamaları, yarı kurak koşullarda rokanın stres toleransını artırmakta ve C vitamini gibi besin bileşenlerinin içeriklerini olumlu yönde etkilemektedir. Bu bulgular, sürdürülebilir tarım uygulamaları açısından büyük önem taşımaktadır. Gelecekte yapılacak araştırmaların, farklı biyostimülant türlerinin ve uygulama dozlarının rokanın stres koşullarına dayanıklılığı, fitokimyasal içerikleri ve verim üzerindeki etkilerini incelemesi önerilmektedir.

İklim koşulları, roka üretiminde verim ve kaliteyi belirleyen diğer önemli bir faktördür. Erken ilkbahar ekimleri, uygun sulama ve dengeli gübreleme ile desteklendiğinde daha yüksek verim ve kalite sağlanmaktadır. Yüksek sıcaklık ve kuraklık gibi stres faktörleri, C vitamini ve glukozinolat içeriklerini olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle, iklim değişikliğinin roka üretimine etkilerini ve üretim stratejilerinin adaptasyon potansiyelini araştıran yeni çalışmaların yürütülmesi üreticilere ışık tutması açısından önem arz etmektedir.

Düzenli bakımın yapılması, biçimin uygun zamanda gerçekleştirilmesi ile doğru sulama ve gübreleme programlarının uygulanması, üretici koşullarında roka verimi ve kalitesini önemli ölçüde artırmaktadır. Pazara yönelik üretimde, yaprakların raf ömrü ve tüketici talepleri de dikkate alınmalıdır. Gelecekteki araştırmaların, tüketici beklentilerini karşılayan kalite kriterlerini ve hasat sonrası teknolojilerin etkilerini incelemesi, roka üretiminin sürdürülebilirliği ve ekonomik verimliliği açısından faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Abd-Elrahman, S.H., Saady, H.S., El-Fattah, D.A.A. & Hashem, F.A. E. (2022). Effect of irrigation water and organic fertilizer on reducing nitrate accumulation and boosting lettuce productivity. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(2), 2144-2155.
- Açıkgöz, F. (2011). İlkbahar ve Sonbahar Ekim Zamanlarında Yetiştirilen Mibuna (*Brassica rapa* var. *Nipposinica*) ve Mizuna (*Brassica rapa* var. *Japonica*)’da Verim ve Bazı Bitki Özellikleri ile C Vitamini, Protein ve Mineral Madde İçeriklerinin Belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8(1), 1–10.
- Anonim. (2025). *Arugula (Eruca sativa) – Alternaria leaf spot*. PNW Plant Disease Management Handbook. <https://pnwhandbooks.org/plantdisease/host-disease/arugula-eruca-sativa-alternaria-leaf-spot>
- Bantis, F., Kaponas, C., Charalambous, C. & Koukounaras, A. (2021). Strategic successive harvesting of rocket and spinach baby leaves enhanced their quality and production efficiency. *Agriculture*, 11(5), 465.
- Buitrago-Villanueva, I., Barbosa-Cornelio, R. & Coy-Barrera, E. (2023). Influence of the culture system and harvest time on the specialized metabolite composition of rocket salad (*Eruca sativa*) leaves. *Horticulturae*, 9(2), 235.
- Cemek, B., Apan, M., Demir, Y. & Kara, T. (2005). Sera Koşullarında Farklı Sulama Suyu Miktarlarının Hıyar Bitkisinin Büyüme, Gelişme ve Verimi Üzerine Etkisi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 20(3), 27-33.
- Eşiyok, D., Bozokalfa, M. K., Kavak, S. & Uğur, A. (2013). Seed yield, quality and plant characteristics changes of rocket salad (*Eruca sativa* Mill.) under different nitrogen sources and vegetation periods.
- FAO. (2022). *FAO Strategy on Climate Change 2022–2031*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/f6270800-eec7-498f-9887-6d937c4f575a/content>.
- Fu, J. (2008). *Effects of different harvest start times on leafy vegetables (lettuce, pak choi and rocket) in a reaping and regrowth system*. MSc Thesis, Lincoln University.

- Hancıoğlu, N.E. (2012). *Farklı sulama suyu kalitesi ve sulama düzeneklerinin kekik bitkisinde (Organum onites L.) verim ve kalite parametrelerine etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- He, Z., Zhang, P., Jia, H., Zhang, S., Nishawy, E., Sun, X. & Dai, M. (2024). Regulatory mechanisms and breeding strategies for crop drought resistance. *New Crops*, 1, 100029.
- İpekşen, S., Kaya, M., Acay, Ü. & Biçer, B.T. (2025). Dijital gözlerle kuraklık: Meteorolojik kuraklığın tarımsal yansımalarının ileri teknolojilerle haritalanması ve değerlendirilmesi. N. Baran & E. Akalp (Ed.), *Genç Araştırmacıların Tarıma Bakışı* (1. Baskı) (s.94-129) içinde. Bidge Yayınları. ISBN: 978-625-372-653-9
- Jain, A., Sarsaiya, S., Wu, Q., Lu, Y. & Shi, J. (2019). A review of plant leaf fungal diseases and its environment speciation. *Bioengineered*, 10(1), 409-424.
- Jasper, J., Wagstaff, C. & Bell, L. (2020). Growth temperature influences postharvest glucosinolate concentrations and hydrolysis product formation in first and second cuts of rocket salad. *Postharvest Biology and Technology*, 163, 111157.
- Kasım, M.U. (2022). Sebze kavramı, sebzelerin orijin merkezleri, ekonomik önemi ve değerlendirme şekilleri. R. Kasım & M.U. Kasım (Ed.), *Sebze Yetiştirme Teknikleri* (s.1-39) içinde. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Kathi, S., Laza, H., Singh, S., Thompson, L., Li, W. & Simpson, C. (2022). Increasing vitamin C through agronomic biofortification of arugula microgreens. *Scientific Reports*, 12(1), 13093.
- Köse, H. (2010). *Polifenol oksidaz enziminin farklı maddelerle immobilizasyonu ve bazı özelliklerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Lee, K., An, S. K., Ku, K.-M. & Kim, J. (2024). The Optimum Substrate Moisture Level to Enhance the Growth and Quality of Arugula (*Eruca sativa*). *Horticulturae*, 10(5), 483.
- Mareri, L., Parrotta, L. & Cai, G. (2022). Environmental stress and plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(10), 5416.
- Nikzad, S., Mirmohammady Maibody, S.A.M., Ehtemam, M.H., Golkar, P. & Mohammadi, S.A. (2023). Response of seed yield and biochemical traits

- of *Eruca sativa* Mill. to drought stress in a collection study. *Scientific Reports*, 13(1), 11157.
- Nurzyńska-Wierdak, R. (2009). Growth and yield of garden rocket (*Eruca sativa*. Mill.) affected by nitrogen and potassium fertilization. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 8(4), 23-33.
- Okur, N., hüsnü Kayıkçioğlu, H., Tunç, G., & Tüzel, Y. (2007). Organik tarımda kullanılan bazı organik gübrelerin topraktaki mikrobiyal aktivite üzerine etkisi. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*, 44(2), 65-80.
- Oregon State University. (2016). *Arugula (Eruca vesicaria ssp. sativa)*. Oregon State University Extension Service. Retrieved from <https://horticulture.oregonstate.edu/oregon-vegetables/arugula-0>
- Oturgan, M.H. (2007). *Cruciferae familyasına ait bazı türlerde biyolojik aktivite çalışmaları* (Master's thesis, Marmara Üniversitesi (Turkey)).
- Pakdemirli, B., Sivritepe, H. Ö., Bayraktar, Z. & Takmaz, S. (2021). *Pandemi Sonrası Yeni Nesil Tarım* (1. baskı). Sonçağ Yayınları, Ankara. ISBN: 978-625-7333-72-6
- Park, J., Lee, S.H., Lee, J., Wi, S.H., Seo, T.C., Moon, J.H. & Jang, S. (2025). Growing vegetables in a warming world-a review of crop response to drought stress, and strategies to mitigate adverse effects in vegetable production. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1561100.
- Sharma, A., Dheer, P., Rautela, I., Thapliyal, P., Thapliyal, P., Bajpai, A. B. & Sharma, M.D. (2024). A review on strategies for crop improvement against drought stress through molecular insights. *3 Biotech*, 14(7), 173.
- Taherlou, A. (2011). *Salata grubu sebze türleri ile karışık salata yetiştiriciliği için uygun karışımların belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Torun, S. (2018). Farklı karakteristiğe sahip zeytin pirinası uygulamalarının bazı toprak verimlilik parametreleri üzerine etkileri.
- TÜİK, (2025). Türkiye Tarım İstatistikleri. <https://www.tuik.gov.tr> (Erişim Tarihi: 15:12.2025)
- University of Florida, IFAS Extension. (2023). *Arugula planting and care*. University of Florida Blogs. Retrieved from <https://blogs.ifas.ufl.edu/leonco/2023/11/09/arugula-planting-and-care/>

BÖLÜM 5

MEYVE VE SEBZELERİN HASAT SONRASI YÖNETİMİNDE YAPAY ZEKA UYGULAMALARI

Dr. Öğr. Üyesi Özge HORZUM^{1*}
Prof. Dr. Nurdan TUNA GÜNEŞ²
Arş. Gör. Ömer Can Devrim DEMİRCİOĞLU³

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18114378>

¹ Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Ankara, Türkiye; ozupek@agri.ankara.edu.tr, Orcid: 0000-0003-2030-5613

² Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Ankara, Türkiye; tuna@agri.ankara.edu.tr, Orcid: 0000-0002-8529-2211

³ Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Ankara, Türkiye; o.d.demircioglu@gmail.com, Orcid: 0000-0002-0292-2100

*Sorumlu yazar: ozupek@agri.ankara.edu.tr

1. GİRİŞ

Günümüzde küresel taze ürün ticareti hızla büyümekte ve meyve sebze tedarik zincirinin her aşamasında kalite kayıplarını minimize etmeye yönelik yenilikçi teknolojilere olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Hasat sonrası süreçlerde meydana gelen kayıplar, dünya genelinde toplam üretimin %30-50'sine ulaşmakta ve ekonomik değeri yaklaşık 750 milyar Amerikan doları olarak tahmin edilmektedir (Opara ve ark., 2021; Ueda ve ark., 2022). Bu kayıplar yalnızca gıda arzını olumsuz etkilemekle kalmayıp, fiyat artışlarına neden olmakta ve su, gübre gibi üretim girdilerinin israfı yoluyla çevresel sürdürülebilirliği tehdit etmektedir (Tonini ve ark., 2018). Bu durum, verimlilik ve sürdürülebilirlik odaklı teknolojik çözümleri zorunlu kılmaktadır.

Bu bağlamda yapay zeka, veri odaklı, ölçeklenebilir ve dönüştürülebilir çözümler sunarak hasat sonrası aşamalarda yürütülen kalite değerlendirme, depolama, lojistik ve paketleme süreçlerini dönüştüren kritik bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır (Manning ve ark., 2022). Yapay zeka, makine öğrenmesi, derin öğrenme, bilgisayarlı görme ve bulanık mantık gibi teknolojileri kapsamakta olup (Chang ve ark., 2025), özellikle görüntü işleme ve veri analizi yoluyla kalite değerlendirmesi, bozulma tahmini, raf ömrü modellemeleri, depolama koşullarının optimizasyonu ve tedarik zinciri yönetimi gibi alanlarda devrim niteliğinde gelişmeler sağlamaktadır (Pandey ve ark., 2023).

Yapay zeka ayrıca malzeme optimizasyonu, dinamik atmosfer kontrolü ve akıllı etiket entegrasyonu gibi özelliklerle ambalajların koruma ve izlenebilirlik işlevlerini artırmakta, robotik hassas kavrama ve uyarlanabilir kontrol sistemleri sayesinde ürünlerin verimli ve doğru bir şekilde paketlenmesini sağlamaktadır. Böylelikle işçi güvenliği riskleri azalmakta, manuel operasyonlardan kaynaklanan belirsizlikler en aza indirgenmekte ve kalite ile operasyon hızı artmaktadır (Bousquet-Jette ve ark., 2017; He ve ark., 2023).

Geleneksel kalite kontrol yöntemleri genellikle subjektif ve zaman alıcı olup insan hatasına açıktır. Buna karşılık yapay zeka sistemleri büyük hacimli verileri yüksek doğrulukla işleyebilmekte, karmaşık ilişkileri ortaya çıkarabilmekte ve sürekli öğrenme becerisi sayesinde koşullara göre kendini güncelleyebilmektedir (Valle-Lituma ve ark., 2025). Ayrıca sensör teknolojileri, IoT (Internet of Things-Nesnelerin İnterneti) tabanlı izleme

sistemleri ve robotik çözümlerle entegre çalışarak tedarik zincirinin her aşamasında gerçek zamanlı karar destek mekanizmaları oluşturabilmektedir (Sharma ve Shivandu, 2024).

Meyve ve sebzelerde renk, sertlik, kuru madde, ağırlık kaybı, çürüme, mikrobiyal kontaminasyon ve fizyolojik bozulmalar gibi kalite parametreleri hasat sonrasında dinamik olarak değiştiğinden, bu parametreleri analiz edebilen yapay zeka tabanlı tahmin modelleri riskleri öngören, müdahale zamanını belirleyen ve kayıpları minimize eden güçlü araçlar haline gelmiştir (Bhargava ve Bansal, 2020). Yapay zeka destekli teknolojik müdahalelerin, depolama tesislerinde hasat sonrası kayıpları %1-2 seviyelerine düşürme potansiyeline sahip olduğu öngörülmektedir (Kumar ve Kalita, 2017).

Bu bölümde, yapay zekanın hasat sonrası uygulama alanları, kalite değerlendirme yöntemleri, raf ömrü tahminleri, tedarik zinciri yönetimi ve akıllı paketlenme çözümleri çerçevesinde kapsamlı olarak ele alınmaktadır.

2. YAPAY ZEKA İLE KALİTE DEĞERLENDİRME, RAF ÖMRÜ TAHMİNLERİ VE BOZULMA MODELLERİ

Meyve ve sebzelerde hasat sonrası süreçlerde fizyolojik, biyokimyasal ve yapısal değişimler hızla ilerlediği için kalite özelliklerinin doğru değerlendirilmesi, raf ömrünün güvenilir biçimde tahmin edilmesi ve bozulma risklerinin erken saptanması büyük önem taşımaktadır. Geleneksel kalite kontrol yöntemleri genellikle zaman alıcı, maliyetli ve insan hatasına açık olduğundan, yapay zeka tabanlı analizler bu alanda önemli bir dönüşüm sağlamaktadır. Yapay zeka çözümleri, görüntü işleme, hiperspektral görüntü analizi, sensör füzyonu, makine öğrenmesi ve derin öğrenme tekniklerini bir araya getirerek hem dışsal hem de içsel kalite göstergelerini yüksek doğrulukla belirleyebilmekte ve bozulma süreçlerini gerçek zamanlı izleyebilmektedir.

Özellikle CNN (Convolutional Neural Network-Evrışimsel Sinir Ağları) tabanlı modeller, renk değişimleri, berelenme, çürüme başlangıcı, şekil bozuklukları ve yüzey hastalıklarını otomatik olarak tespit edebilmektedir. Bu sayede elmalarda acı benek, armutlarda fungal bozulmalar, domates ve biberde kütikula parçalanması, çilekte *Botrytis cinerea* 'ya dayalı çürüme gibi sorunlar erken dönemde saptanabilmekte ve depolama koşullarının ayarlanmasına olanak sağlamaktadır (Koirala ve ark., 2019; Ehret ve ark., 2008; Jarolmasjed ve ark., 2018; Chun ve ark., 2024; Petrus ve ark., 2025).

Hiperspektral ve multispektral görüntüleme sistemleri ile X-ray bilgisayarlı tomografi (CT) ve manyetik rezonans görüntüleme (MRI) gibi ileri teknolojiler, ürünlerin iç dokusundaki fiziksel ve kimyasal değişimleri ortaya koyarak bozulmanın spektral ve morfolojik izlerini yüksek doğrulukla belirleme olanağı sunmaktadır. Hiperspektral görüntüleme, çıplak gözle tespit edilemeyen oksidatif kararmalar, doku yumuşamaları ve erken içsel bozulmalar gibi kalite kayıplarını algılayabilme kapasitesiyle raf ömrünün öngörülmesinde kritik bir araç haline gelmiştir (Tempelaere ve ark., 2023). X-ray CT ve MRI teknikleri ise doku yoğunluğu, boşluk oluşumu, su içeriği ve pektin yapısındaki değişimleri nicel olarak değerlendirebilmekte; meyvelerde iç kararmanın ve soğuk zararının tespitinde başarılı sonuçlar vererek tahribatsız kalite analizi için güçlü bir altyapı sağlamaktadır (Patel ve ark., 2019; Yuan ve ark., 2021).

Hiperspektral görüntüleme ile ANN (Artificial Neural Network-Yapay Sinir Ağları) entegrasyonu, tahribatsız kalite değerlendirmesinin doğruluğunu önemli ölçüde artırmaktadır. Nitekim elmalarda üşüme zararı, iç kararma ve sertlik değişimlerinin ANN modelleri ile yüksek doğrulukla belirlenebildiği, avokadoda ise depolama süresince meydana gelen kalite değişimlerinin tahmininde geleneksel istatistiksel modellere kıyasla daha hassas sonuçlar sağladığı bildirilmiştir (ElMasry ve ark., 2009; Maftoonazad ve ark., 2010). Bununla birlikte, bu sistemlerin sahada etkin bir şekilde uygulanabilmesi için geniş ölçekli ve güvenilir biçimde etiketlenmiş veri setlerine ihtiyaç duyulmakta, maliyetleri azaltmak ve veri toplama sürecini hızlandırmak amacıyla yarı denetimli öğrenme, insan-makine iş birliğine dayalı etiketleme yaklaşımları, anomali tespit algoritmaları ve aktif öğrenme stratejileri giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Tempelaere ve ark., 2023).

Hiperspektral görüntü işlemede derin öğrenme yaklaşımları, özellikle CNN ham veriyi çok katmanlı bir yapı içerisinde soyutlayarak en ayırt edici özellikleri otomatik biçimde öğrenme kapasitesi sayesinde, tahribatsız analiz yöntemlerinde önemli bir sıçrama yaratmıştır. Literatürde, hiperspektral görüntüleme ve yapay zeka entegrasyonunun meyve ve sebzelerin kalite değerlendirmesinde su içeriği, pH, suda çözünür kuru madde ve sertlik gibi temel kalite parametrelerinin tahmini ile ürün sınıflandırmasında yüksek performans sergilediği gösterilmektedir (Huang ve ark., 2025; Wang ve ark., 2025; Xiang ve ark., 2022). Bu teknolojilerin sağladığı avantajlarla hem yüzey kusurları (lekeler, çürük başlangıçları) hem de belirli iç kalite unsurları (nişasta

dağılımı, iç kararma) ürüne zarar vermeden, hızlı ve hassas bir şekilde tespit edilebilmektedir (Tian ve Xu, 2022).

Makine öğrenmesi algoritmaları, sıcaklık, bağıl nem, gaz bileşimi, mikrobiyal yük ve fizyolojik süreçler arasındaki karmaşık ilişkileri analiz ederek raf ömrü tahmin modelleri geliştirmektedir. Random Forest, XGBoost ve yapay sinir ağları çilek, üzüm, domates, marul ve tropikal meyveler gibi hassas ürünlerde raf ömrü tahmini için yaygın olarak kullanılmaktadır (Li ve ark., 2024). Bu modeller, sıcaklık dalgalanmalarının ürün üzerindeki etkilerini zaman serisi yaklaşımıyla analiz ederek özellikle soğuk zincir kırılmalarının kalite üzerindeki etkilerini yüksek doğrulukla tahmin edebilmekte ve üretici ile lojistik operatörleri için erken uyarı sağlayabilmektedir (Sonwani ve ark., 2022).

Derin öğrenme modelleri, özellikle CNN ve R-CNN gibi yöntemler, elmalarda, domateslerde ve çileklerde bozulma başlangıç zamanını tahmin etmede yüksek doğruluk göstermektedir (Stasenko ve ark., 2023). Bu tür erken uyarı sistemleri, depolama yönetiminin optimize edilmesine ve pazarlama stratejilerinin planlanmasına önemli katkı sağlar. Ayrıca yapay zeka tabanlı sistemler, ağır metal ve pestisit kalıntılarının tespitinde de etkili araçlar olarak öne çıkmaktadır. Marulda kadmiyum ve kurşun gibi ağır metallerin derin öğrenme modelleri ile yüksek doğrulukla belirlenmesi (Zhou ve ark., 2020) ve elmalarda çürüklük, pas, acı benek ve güneş yanıklığı gibi kusurların hızlı sınıflandırılması (Kavdır ve Guyer, 2008) yapay zekanın güvenilir ve hızlı bir kalite kontrol aracı olarak işlevini pekiştirmektedir. Yapay zeka modelleri yalnızca kalite tahmini yapmakla kalmaz, aynı zamanda bozulma hızının arttığı dönemlerde erken uyarı sağlayarak operatörlerin zamanında müdahale etmesini mümkün kılar. Bu sayede hem kayıplar azalır hem de ürün güvenliği artar ve üretici ile lojistik operatörleri veri temelli karar destek sistemlerinden yararlanabilir.

3. TEDARİK ZİNCİRİNDE YAPAY ZEKA: DEPOLAMA, SOĞUK ZİNCİR VE LOJİSTİK UYGULAMALARI

Yapay zeka, taze meyve ve sebzelerin tedarik zinciri boyunca kalite kayıplarını azaltmak, verimliliği artırmak ve izlenebilirliği geliştirmek amacıyla son yıllarda önemli bir dönüşüm sağlamaktadır. Ürünlerin hasat sonrası fizyolojisi çevresel koşullara yüksek derecede duyarlı olduğundan,

depolama ve taşıma süreçlerinin hassas biçimde yönetilmesi büyük önem taşır. Bu noktada yapay zeka destekli sistemler, klasik kontrol ve izleme yöntemlerine kıyasla daha hızlı, daha doğru ve öngörüselsel kararlar üreterek soğuk zincirin her aşamasında kritik avantajlar sunmaktadır.

Hasat sonrası tedarik zincirinin tüm aşamalarında süreçlerin iyileştirilmesi, ürün hareketlerinin doğrulukla kaydedilmesi ve izlenebilirliğin artırılması amacıyla IoT, yapay zeka ve blockchain teknolojilerinin bütünlüklü kullanımı giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Çığır açıcı bir teknoloji olarak kabul edilen blockchain, işlemleri kaydetmek ve doğrulamak için merkezi bir otoriteye ihtiyaç duymayan, güvenli ve değiştirilemez bir dağıtık defter yapısına (Distributed Ledger Technology, DLT) dayanmaktadır (Morchid ve ark., 2025). Bu yapı, verilerin kronolojik olarak eklendiği merkezsiz ve dağıtık bir dijital kayıt sistemi oluşturarak hasat sonrası aşamalarda kritik öneme sahip kalıcı, manipüle edilemez ve yüksek bütünlüklü veri setlerinin oluşturulmasına katkı sağlar (Mukherjee ve ark., 2021).

Bu teknolojilerin entegre biçimde kullanımında IoT depolama, soğutma, taşıma ve işleme süreçlerinde ürünün sıcaklık, nem, gaz kompozisyonu, titreşim ve konum gibi çevresel koşullarını gerçek zamanlı olarak izleyen temel veri katmanını oluşturmaktadır. Hasat sonrası kayıpların önemli bir bölümünün çevresel stresler, uygun olmayan sıcaklık yönetimi veya gecikmiş müdahalelerden kaynaklandığı göz önüne alındığında, IoT tabanlı sensör ağları tedarik zinciri boyunca sürekli ve güvenilir veri akışı sağlayarak erken uyarı ve hızlı müdahale mekanizmaları için kritik rol oynamaktadır (da Costa ve ark., 2022). Blockchain teknolojisi ise IoT tarafından üretilen bu yüksek hacimli verilerin güvenliğini, bütünlüğünü ve doğruluğunu garanti altına alarak tedarik zincirinde uçtan uca izlenebilirlik sağlar. Özellikle hasat sonrası süreçlerde sıklıkla karşılaşılan sahtecilik, kalite standardı ihlalleri, kayıt manipülasyonları ve soğuk zincir kopmalarının tespit edilememesi gibi sorunlar, blockchain'in değiştirilemez kayıt yapısı ile büyük ölçüde azaltılabilmektedir. Ürün hareketlerinin her aşamasının güvenilir biçimde belgelenmesi, sertifikasyon süreçlerini kolaylaştırmakta ve üretici-tüketici arasındaki güveni güçlendirmektedir (Aggarwal ve ark., 2024).

Bu sistemin tamamlayıcı bileşeni olan yapay zeka ise blockchain tarafından doğrulanmış ve güvenliği sağlanmış veri akışını analiz ederek tahmine dayalı karar destek mekanizmaları üretir. Yapay zeka algoritmaları,

bozulma riskini öngörme, optimum soğutma stratejileri geliştirme, raf ömrü tahminleme, rotalama optimizasyonu ve ürün sınıflandırma gibi hasat sonrası süreçlerde kritik işlevler üstlenmektedir. Böylece karmaşık tedarik zinciri dinamiklerinde insan müdahalesine duyulan gereksinim azalarak daha verimli, şeffaf ve sürdürülebilir bir hasat sonrası yönetim sistemi oluşturulmaktadır (Rustemi ve Dalipi, 2025).

Yapay zeka destekli sensör sistemleri, depolama odalarındaki sıcaklık, oransal nem, CO₂, O₂ ve etilen konsantrasyonlarının gerçek zamanlı olarak izlenmesine olanak tanır. Bu sistemler, geleneksel sensörlerin ötesine geçerek veriyi yalnızca okumakla kalmayıp, sürekli analiz ederek optimum koşulların korunmasına aktif şekilde katkı sağlar. Örneğin IoT tabanlı yapay zeka modelleri, anlık çevresel verileri işleyerek riskli eğilimleri belirler ve operatörleri olası bozulma veya fizyolojik stres riskleri konusunda önceden uyarabilir (Olayinka ve ark., 2022). Bu yaklaşım, özellikle bozulmaya duyarlı taze ürünlerde kalite kayıplarının önemli ölçüde azaltılmasını sağlar.

Soğutma sistemlerinde enerji verimliliğini artırmaya yönelik çalışmalarda da yapay zeka tabanlı kontrolörlerin etkinliği kanıtlanmıştır. Belman-Flores ve ark. (2022) ve Wang ve Du (2025), FL (Fuzzy Logic-Bulanık Mantık) ve IoT temelli yapay zeka kontrolörleri geliştirerek soğutma sistemlerinin çalışma sürelerini kısaltmayı ve enerji tüketimini azaltmayı başarmışlardır. Bu çalışmalar, yapay zeka algoritmalarının istenen depolama sıcaklığını minimum aşım ile hızlı yanıt süresi ve yüksek kararlılıkla takip edebildiğini göstermekte olup, özellikle büyük kapasiteli soğuk hava depolarında enerji tasarrufu sağlaması açısından önem taşımaktadır.

Soğuk zincir lojistiğinde yapay zekanın en kritik uygulamalarından biri, sıcaklık dalgalanmalarının analizine dayalı kalite tahmin modelleridir. Bu modeller, ürünün maruz kaldığı geçmiş sıcaklık değişimlerini değerlendirerek bozulma riski, su kaybı, mikrobiyal gelişim potansiyeli ve kalan raf ömrü gibi parametreleri tahmin edebilir. Bai ve ark. (2023), uzun mesafe taşımacılığında yapay zeka tabanlı kalite tahmin sistemlerinin taze ürün güvenliğini artırdığını ve raf ömrünün uzatılmasına katkı sağladığını bildirmiştir. Böylece üreticiler ve lojistik operatörleri, taşınan ürünün gerçek zamanlı kalite dinamikleri hakkında bilgi sahibi olarak daha doğru kararlar verebilir.

Lojistik zincirinin planlama aşamasında ise yapay zeka destekli rota optimizasyonu modelleri giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bu modeller,

trafik yoğunluğu, yol durumu, hava koşulları, araç kapasitesi ve teslimat zaman pencereleri gibi çok boyutlu değişkenleri eşzamanlı şekilde değerlendirir. Rainer Jr. ve ark. (2025), yapay zeka tabanlı rota optimizasyonunun yakıt tüketimini azalttığını, teslimat sürelerini kısalttığını ve tedarik zincirinin bütünsel verimliliğini yükselttiğini ortaya koymuştur. Özellikle meyve ve sebzelerin taşımacılığında her dakika kritik olduğundan, bu optimizasyon doğrudan kalite ve ekonomik kayıp azaltımıyla ilişkilidir.

Makine öğrenmesi, soğuk zincir ekipmanlarının çalışma verilerini analiz ederek anomalileri tespit etmede de önemli bir rol oynamaktadır. Kompresör titreşimleri, evaporatör verim kayıpları, kapı açılma sıklığı, soğutucu akışkan basıncı ve hava sirkülasyonu gibi çok sayıda parametre eşzamanlı değerlendirildiğinde, olası ekipman arızaları veya depolama riski oluşturan durumlar önceden tahmin edilebilir. Kumar ve Rahman (2025), bu tür erken uyarı sistemlerinin bozulma oranlarını belirgin şekilde düşürdüğünü ve ekonomik kayıpların minimize edildiğini bildirmiştir. Bu özellik, özellikle yüksek hacimli depolarda bakım maliyetlerini düşürerek işletme verimliliğine önemli katkı sağlar.

Buna ek olarak, yapay zeka teknolojilerinin uygulanması, hasat sonrası yönetim zincirinde paketleme ve sınıflandırma süreçlerini de geliştirebilir (Upadhyay ve Bhargava, 2025). Özellikle gelişmiş görüntüleme teknolojileri, optik sensörler ve yapay zekanın hibrit uygulamaları, meyve sebzelerin sınıflandırılmasında doğruluk ve verimliliği artırır (Zhou ve ark., 2023). Bu yöntemler, üretim hattı boyunca ürün paketlerini doğru konumlandırmanın yanı sıra boyut, şekil, renk, doku ve kusurlara göre akıllıca sıralama ve sınıflandırma imkanı sunar. Böylelikle kusurlu ürünler paketleme aşamasına ulaşmadan ayıklanır ve daha kaliteli nihai ürünler üretim hattında bir sonraki aşamaya geçer. Ayrıca, bu yapay zeka destekli ayıklama, kusurlu ürünlerin diğer çabuk bozulan ürünleri bozmasını önleyerek tazelik ve kaliteyi korur (Shao ve Marwa, 2025).

Sonuç olarak yapay zeka, meyve ve sebzelerin tedarik zincirinde yalnızca bir kontrol aracı değil, karar destek sistemi, kalite tahmin mekanizması ve lojistik optimizasyon platformu olarak entegre bir rol üstlenmektedir. Depolama, taşımacılık ve dağıtım süreçlerinde yapay zekanın sağladığı hız, doğruluk ve öngörü kapasitesi, taze ürünlerin hasat sonrası döngüsünü daha sürdürülebilir, güvenli ve ekonomik hale getirmektedir. Bu nedenle yapay zeka

tabanlı çözümler, geleceğin dijital tarım ve gıda lojistiği uygulamalarının merkezinde yer almaya devam edecektir.

4. AKILLI AMBALAJ VE PAKETLEME SİSTEMLERİNDE YAPAY ZEKA

Akıllı ambalaj ve paketleme sistemleri, taze meyve ve sebzelerin hasat sonrası kalite kayıplarını azaltmada önemli bir rol oynamaktadır. Bu sistemler, paket içi gaz göstergeleri, tazelik sensörleri, renk değiştirici indikatörler, RFID (Radio Frequency Identification) etiketleri ve biyosensörler gibi teknolojilerle ürünün durumunu gerçek zamanlı olarak izleyebilmekte ve tedarik zinciri boyunca kritik veriler sağlamaktadır (Thakur ve ark., 2022). Ambalaj içindeki nem, CO₂, O₂ ve etilen seviyelerinin izlenmesi, ürünlerin solunum hızını ve bozulma eğilimlerini değerlendirmek açısından büyük önem taşımaktadır. Yapay zeka, bu sensörlerden gelen verileri analiz ederek ürün bazında bozulma risklerini öngörebilmekte, modifiye atmosfer ayarlarını optimize edebilmekte ve sensör sinyallerini sınıflandırarak karar destek mekanizmaları oluşturabilmektedir (Shehzad, 2025; Li ve ark., 2023; Fernandez ve ark., 2023; He ve ark., 2023).

Yapay zeka tabanlı analizler, yalnızca ürünlerin bulunduğu paket içi gaz değişimlerini değerlendirmekle kalmaz, aynı zamanda ambalaj materyallerinin ürünle etkileşimini ve biyobozunur ambalaj malzemelerindeki değişimleri de modelleyebilir. Bu sayede nem kaybı, oksidatif bozulma ve mikrobiyal gelişme gibi kalite kaybı mekanizmalarına karşı daha güçlü bariyer özellikleri sağlanabilmektedir (Kumar ve ark., 2025). Örneğin de Brito ve ark. (2023) tarafından geliştirilen TiO₂ (titanyum dioksit) nanopartikülleri ve propolis özü içeren jelatin-karboksimetil selüloz bazlı filmde, çevreci aktif ambalaj tasarımı için yapay zeka algoritmaları kullanılarak optimizasyon süreci başarıyla gerçekleştirilmiş ve hem ambalaj materyalinin koruyucu etkisi hem de ürünün raf ömrü artırılmıştır. Bu tür akıllı ve optimize edilmiş biyobozunur ambalajlar, özellikle taze ve hassas ürünlerde depolama sırasında oluşabilecek kalite kayıplarını önemli ölçüde azaltmaktadır.

CO₂ ve O₂ sensörleri ile donatılmış akıllı paketler, yapay zeka modelleri sayesinde solunum hızındaki değişimleri takip ederek ürünün kalan raf ömrünü yüksek doğrulukla hesaplayabilmektedir (Alam ve ark., 2021). RFID (Radio Frequency Identification-Radyo Frekansı ile Tanımlama) teknolojileri ile

tedarik zincirindeki sıcaklık geçmişi ve taşıma koşullarının entegre edilmesi, ürün bazında ‘dinamik raf ömrü etiketlemesi’ yapılmasına olanak sağlamaktadır (Corradini, 2018). Bu yaklaşım, özellikle taze meyve ve sebzelerde depolama ve lojistik süreçlerindeki kayıpların azaltılmasını mümkün kılmakta, üretici ve perakendeciler için zamanında müdahale ve veri odaklı karar alma süreçlerini desteklemektedir (Grunow ve Piramuthu, 2013). Böylelikle, akıllı paketleme sistemleri yalnızca ürünlerin tazeliğini korumakla kalmaz, aynı zamanda sürdürülebilir gıda üretimi ve lojistiği açısından kritik bir araç olarak öne çıkmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapay zeka tabanlı teknolojiler, hasat sonrası yönetimde önemli fırsatlar sunmakla birlikte, uygulamada çeşitli teknik, ekonomik ve yapısal zorluklarla karşılaşmaktadır. Meyve ve sebzelerin geniş morfolojik, biyokimyasal ve fizyolojik çeşitliliği, güçlü genelleme kapasitesine sahip modellerin geliştirilmesi için yüksek hacimli ve temsil gücü yüksek veri setlerine duyulan ihtiyacı artırmaktadır (Afsharpour ve ark., 2024; Li ve ark., 2024). Ayrıca doğal biyolojik değişkenlik, farklı yetiştirme koşulları, ekolojik etkiler ve tedarik zinciri boyunca değişen işleme operasyonları, veri heterojenliğini artırarak model doğruluğunu ve güvenilirliğini sınırlandırmaktadır (Chang ve ark., 2025). Bu durum, özellikle küçük ve orta ölçekli işletmeler için yapay zeka sistemlerinin benimsenmesini güçleştiren temel bir engel teşkil etmektedir. Sensör donanımlarının yüksek maliyeti, ileri görüntüleme sistemlerinin karmaşıklığı ve bilgi işlem gücü gereksinimleri, teknolojiye erişimi sınırlandıran diğer kritik faktörler arasında yer almaktadır (Malik ve ark., 2023). Ayrıca güç kaynaklarının ve internet altyapısının yetersizliği, IoT tabanlı izleme ve veri toplama sistemlerinin yaygın kullanımını engellemektedir (Adli ve ark., 2023).

Yapay zeka sistemlerinin yorumlanabilirlik ve açıklanabilirlik eksikliği de benimsenme sürecini etkileyen önemli bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Karar verme süreçlerinin “kara kutu” niteliğinde olması, kalite derecelendirme ve sınıflandırma gibi kritik işlemlerde insan doğrulamasını zorunlu kılmakta, bu durum hem gıda güvenliği hem de ticari süreçlerde şeffaflık ihtiyacını artırmaktadır (Das ve ark., 2025). Ayrıca model eğitiminde kullanılan verilerdeki önyargılar, karar alma sonuçlarını etkileyerek adil pazar koşullarını zedeleyebilmekte ve etik-hukuki tartışmalara yol açmaktadır. Yapay zeka

kaynaklı hataların sorumluluğunun hangi aşamadaki kişiye ait olduğuna dair düzenlemelerin eksikliği, endüstride önemli bir belirsizlik yaratmaktadır (Chang ve ark., 2025; Rezaei ve ark., 2024).

Teknoloji hazırlık seviyesi açısından değerlendirildiğinde, hiperspektral görüntüleme ve derin öğrenme entegrasyonu, yapay zeka tabanlı akıllı ambalaj tasarımları ve gaz sensörlü kalite izleme sistemleri gibi yenilikçi uygulamaların büyük bölümü halen laboratuvar doğrulama aşamasında bulunmaktadır. Endüstriyel ölçekte uygulanabilirlik, hız-maliyet optimizasyonu ve donanımsal dayanıklılık gibi konular ise bu teknolojilerin yaygınlaşmasını sınırlandıran önemli engellerdir (Bunian ve ark., 2024; Chang ve ark., 2025).

Gelecek araştırma yönelimleri, daha esnek, uyarlanabilir ve endüstri ölçeğinde güvenilir biçimde çalışabilen yapay zeka modelleri geliştirmeye odaklanmaktadır. Az veriyle öğrenme, meta öğrenme ve transfer öğrenme gibi yaklaşımlar, depolama süreçlerinde ortaya çıkan hastalık ve zararlı, olgunluk aşaması ve fizyolojik bozuklukları hızla tanımlayabilen modellerin oluşturulmasını sağlayacaktır. Bu modeller, tarımsal değişkenliğe adapte olurken farklı tür, çeşit ve bölgelerdeki farklılıklara da uyum gösterecek şekilde tasarlanmalıdır (Chang ve ark., 2025; Upadhyay ve Bhargava, 2025).

Gelecekte daha düşük maliyetli sensörlerin yaygınlaşması, otonom depolama yönetim platformlarının gelişmesi, dinamik raf ömrü etiketleme sistemlerinin ticarileşmesi, blockchain ile entegre tam izlenebilirlik çözümleri ve kuantum bilişim destekli yapay zeka modellerinin ortaya çıkmasıyla, hasat sonrası yönetimde doğruluk, verimlilik ve sürdürülebilirlik açısından önemli ilerlemeler kaydedilmesi beklenmektedir (Chang ve ark., 2025; Das ve ark., 2025). Bu gelişmeler, hem üretici hem de tedarik zinciri paydaşları için daha güvenilir, hızlı ve veri odaklı karar alma süreçlerini mümkün kılacak, aynı zamanda gıda kayıplarını azaltarak ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliğe doğrudan katkıda bulunacaktır.

KAYNAKLAR

- Adli, H.K., Remli, M.A., Wan Salihin Wong, K.N.S., Ismail, N.A., González-Briones, A., Corchado, J.M. & Mohamad, M.S. (2023). Recent advancements and challenges of AIoT application in smart agriculture: A review. *Sensors*, 23(7), 3752.
- Afsharpour, P., Zoughi, T., Deypir, M. & Zoqi, M.J. (2024). Robust deep learning method for fruit decay detection and plant identification: enhancing food security and quality control. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1366395.
- Aggarwal, M., Rani, P., Rani, P. & Sharma, P. (2024). Revolutionizing agri-food supply chain management with blockchain-based traceability and navigation integration. *Cluster Computing*, 27(9), 12919-12942.
- Alam, A.U., Rath, P., Beshai, H., Sarabha, G.K. & Deen, M.J. (2021). Fruit quality monitoring with smart packaging. *Sensors*, 21(4), 1509.
- Bai, L., Liu, M. & Sun, Y. (2023). Overview of food preservation and traceability technology in the smart cold chain system. *Foods*, 12(15), 2881.
- Belman-Flores, J.M., Rodríguez-Valderrama, D.A., Ledesma, S., García-Pabón, J.J., Hernández, D. & Pardo-Cely, D.M. (2022). A review on applications of fuzzy logic control for refrigeration systems. *Applied Sciences*, 12(3), 1302.
- Bhargava, A. & Bansal, A. (2020). Automatic detection and grading of multiple fruits by machine learning. *Food Analytical Methods*, 13(3), 751-761.
- Bousquet-Jette, C., Achiche, S., Beaini, D., Cio, Y.L.K., Leblond-Ménard, C. & Raison, M. (2017). Fast scene analysis using vision and artificial intelligence for object prehension by an assistive robot. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 63, 33-44.
- Bunian, S., Al-Ebrahim, M.A. & Nour, A.A. (2024). Role and applications of artificial intelligence and machine learning in manufacturing engineering: a review. *Engineered Science*, 29, 1088.
- Chang, S., Zhang, M., Kong, D. & Mujumdar, A.S. (2025). Artificial intelligence-driven postharvest quality control of fruit and vegetable products: Intelligent detection, optimization strategies and application prospects. *Food Bioscience*, 74, 108004.

- Chun, S.W., Song, D.J., Lee, K.H., Kim, M.J., Kim, M.S., Kim, K.S. & Mo, C. (2024). Deep learning algorithm development for early detection of *Botrytis cinerea* infected strawberry fruit using hyperspectral fluorescence imaging. *Postharvest Biology and Technology*, 214, 112918.
- Corradini, M.G. (2018). Shelf life of food products: from open labeling to real-time measurements. *Annual Review of Food Science and Technology*, 9, 251-269.
- da Costa, T.P., Gillespie, J., Cama-Moncunill, X., Ward, S., Condell, J., Ramanathan, R. & Murphy, F. (2022). A systematic review of real-time monitoring technologies and its potential application to reduce food loss and waste: Key elements of food supply chains and IoT technologies. *Sustainability*, 15(1), 614.
- Das, B., Hoque, A., Roy, S., Kumar, K., Laskar, A.A. & Mazumder, A.S. (2025). Post-Harvest Technologies and Automation: AI-Driven Innovations in Food Processing and Supply Chains. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 12(1), 183-205.
- de Brito, R.S., Costa, M.J.A., Barbosa, J.R., Santos Filho, A.F., de Souza Farias, F. & Lourenço, L.D.F.H. (2023). K-Nearest Neighbor algorithm for selection of new gelatin-carboxymethylcellulose films with TiO₂ nanoparticles and propolis extract with antioxidant and light barrier activity. *Food Packaging and Shelf Life*, 38, 101119.
- Ehret, D.L., Hill, B.D., Raworth, D.A. & Estergaard, B. (2008). Artificial neural network modelling to predict cuticle cracking in greenhouse peppers and tomatoes. *Computers and Electronics in Agriculture*, 61, 108-116.
- ElMasry, G., Wang, N. & Vigneault, C. (2009). Detecting chilling injury in Red Delicious apple using hyperspectral imaging and neural networks. *Postharvest Biology and Technology*, 52(1), 1-8.
- Fernandez, C.M., Alves, J., Gaspar, P.D., Lima, T.M. & Silva, P.D. (2023). Innovative processes in smart packaging. A systematic review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(3), 986-1003.

- Grunow, M. & Piramuthu, S. (2013). RFID in highly perishable food supply chains – remaining shelf life to supplant expiry date? *International Journal of Production Economics*, 146, 717-727.
- He, X., Pu, Y., Chen, L., Jiang, H., Xu, Y., Cao, J. & Jiang, W. (2023). A comprehensive review of intelligent packaging for fruits and vegetables: target responders, classification, applications, and future challenges. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22, 842-881.
- Huang, Y., Li, Z., Bian, Z., Jin, H., Zheng, G., Hu, D., Sun, Y., Fan, C., Xie, W. & Fang, H. (2025). Overview of deep learning and nondestructive detection technology for quality assessment of tomatoes. *Foods*, 14(2), 286.
- Jarolmasjed, S., Khot, L.R. & Sankaran, S. (2018). Hyperspectral imaging and spectrometry-derived spectral features for bitter pit detection in storage apples. *Sensors*, 18(5), 1561.
- Kavdir, I. & Guyer, D.E. (2008). Evaluation of different pattern recognition techniques for apple sorting. *Biosystems Engineering*, 99(2), 211-219.
- Koirala, A., Walsh, K.B., Wang, Z. & McCarthy, C. (2019). Deep learning – method overview and review of use for fruit detection and yield estimation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 219-234.
- Kumar, D. & Rahman, F. (2025). Anomaly detection in cold storage systems: a machine learning approach for fault diagnosis. *Journal of Advances in Engineering and Technology*, 2(3), 1-8.
- Kumar, D. & Kalita, P. (2017). Reducing postharvest losses during storage of grain crops to strengthen food security in developing countries. *Foods*, 6(1), 8.
- Kumar, L., Dutt, R. & Gaikwad, K. K. (2025). Packaging 4.0: Artificial Intelligence and Machine Learning Applications in the Food Packaging Industry. *Current Food Science and Technology Reports*, 3(1), 19.
- Li, D., Bai, L., Wang, R. & Ying, S. (2024). Research progress of machine learning in extending and regulating the shelf life of fruits and vegetables. *Foods*, 13(19), 3025.
- Li, X., Liu, D., Pu, Y. & Zhong, Y. (2023). Recent advance of intelligent packaging aided by artificial intelligence for monitoring food freshness. *Foods*, 12(15), 2976.

- Maftoonazad, N., Karimi, Y., Ramaswamy, H.S. & Prasher, S.O. (2011). Artificial neural network modeling of hyperspectral radiometric data for quality changes associated with avocados during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35(4), 432-446.
- Malik, M., Gahlawat, V.K., Mor, R., Rahul, K., Singh, B.P. & Agnihotri, S. (2023). Industry 4.0 Technologies in Postharvest Operations: Current Trends and Implications. In: Singh, B.P., Agnihotri, S., Singh, G. ve Gupta, V.K. (eds), *Postharvest Management of Fresh Produce*. Academic Press, 347-368.
- Manning, L., Brewer, S., Craigon, P.J., Frey, J., Gutierrez, A., Jacobs, N. & Pearson, S. (2022). Artificial intelligence and ethics within the food sector: Developing a common language for technology adoption across the supply chain. *Trends in Food Science & Technology*, 125, 33-42.
- Morchid, A., Ismail, A., Khalid, H.M., Qjidaa, H. & El Alami, R. (2025). Blockchain and IoT technologies in smart farming to enhance the efficiency of the agri-food supply chain: A review of applications, benefits, and challenges. *Internet of Things*, 33, 101733.
- Mukherjee, A.A., Singh, R.K., Mishra, R. & Bag, S. (2022). Application of blockchain technology for sustainability development in agricultural supply chain: Justification framework. *Operations Management Research*, 15, 46-61.
- Olayinka, A.S., Adetunji, C.O., Nwankwo, W., Olugbemi, O.T. & Olayinka, T.C. (2022). A Study on the Application of Bayesian Learning and Decision Trees Iot-Enabled System In Postharvest Storage. In *Artificial Intelligence-based Internet of Things Systems*. In: Pal, S., De, D. and Buyya, R. (eds) *Artificial Intelligence-based Internet of Things Systems*. Springer International Publishing, 467-491).
- Opara, I.K., Fawole, O.A., Kelly, C. & Opara, U.L. (2021). Quantification of on-farm pomegranate fruit postharvest losses and waste, and implications on sustainability indicators: South African case study. *Sustainability*, 13(9), 5168.
- Pandey, V.K., Srivastava, S., Dash, K. K., Singh, R., Mukarram, S.A., Kovács, B. & Harsányi, E. (2023). Machine learning algorithms and fundamentals as emerging safety tools in preservation of fruits and vegetables: a review. *Processes*, 11(6), 1720.

- Patel, K.K., Kar, A. & Khan, M.A. (2019). Potential of reflected UV imaging technique for detection of defects on the surface area of mango. *Journal of Food Science and Technology*, 56(3), 1295-1301.
- Petrus, M., Popa, C., Bratu, A.M., Bercu, V., Gebac, L., Mihai, D.M. & Gogot, R. (2025). A synergistic approach using photoacoustic spectroscopy and AI-based image analysis for post-harvest quality assessment of Conference pears. *Molecules*, 30(11), 2431.
- Rainer Jr, R.K., Richey Jr, R.G. & Chowdhury, S. (2025). How robotics is shaping digital logistics and supply chain management: An ongoing call for research. *Journal of Business Logistics*, 46(1), e70005.
- Rezaei, M., Pironti, M. & Quaglia, R. (2024). AI in knowledge sharing, which ethical challenges are raised in decision-making processes for organisations?. *Management Decision*.
- Rustemi, A. & Dalipi, F. (2025). Synergizing IoT, AI, and blockchain for smart agriculture: Challenges, opportunities, and future directions. *Internet of Things*, 34, 101778.
- Shao, D. & Marwa, N. (2025). Examining the role of artificial intelligence in post-harvest management for enhanced food security: A critical review. *Sustainable Futures*, 10, 101286.
- Sharma, K. & Shivandu, S.K. (2024). Integrating artificial intelligence and internet of things (IoT) for enhanced crop monitoring and management in precision agriculture. *Sensors International*, 5, 100292.
- Shehzad, K. (2025). Predictive AI models for food spoilage and shelf-life estimation. *Global Trends in Science and Technology*, 1(1), 75-94.
- Sonwani, E., Bansal, U., Alroobaea, R., Baqasah, A.M. & Hedabou, M. (2022). An artificial intelligence approach toward food spoilage detection and analysis. *Frontiers in Public Health*, 9, 816226.
- Stasenکو, N., Shadrin, D., Katrutsa, A. & Somov, A. (2023). Dynamic mode decomposition and deep learning for postharvest decay prediction in apples. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 72, 1-11.
- Tempelaere, A., De Ketelaere, B., He, J., Kalfas, I., Pieters, M., Saeys, W. & Nicolai, B.M. (2023). An introduction to artificial intelligence in machine vision for postharvest detection of disorders in horticultural products. *Postharvest Biology and Technology*, 206, 112576.

- Thakur, M., Majid, I. & Nanda, V. (2022). Smart Packaging for Managing and Monitoring Shelf Life and Food Safety. In: Dar, B.N., Shah, M.A. ve Mir, S.A. (eds) *Shelf Life and Food Safety*, CRC Press, 285-306.
- Tian, S. & Xu, H. (2022). Nondestructive methods for the quality assessment of fruits and vegetables considering their physical and biological variability. *Food Engineering Reviews*, 14, 380–407.
- Tonini, D., Albizzati, P.F. & Astrup, T.F. (2018). Environmental impacts of food waste: Learnings and challenges from a case study on UK. *Waste Management*, 76, 744-766.
- Ueda, J.M., Pedrosa, M.C., Heleno, S.A., Caroch, M., Ferreira, I.C. & Barros, L. (2022). Food additives from fruit and vegetable by-products and bio-residues: A comprehensive review focused on sustainability. *Sustainability*, 14(9), 5212.
- Upadhyay, N. & Bhargava, A. (2025). Artificial intelligence in agriculture: applications, approaches, and adversities across pre-harvesting, harvesting, and post-harvesting phases. *Iran Journal of Computer Science*, 1-24.
- Valle-Lituma, C., Aguirre-Munizaga, M., Salous, A.E. & Cardenas-Rodriguez, M. (2025). Systematic Review of Artificial Intelligence Tools Applied to the Classification, Quality Control, and Shelf Life Prediction of Post-harvest Agricultural Products (2000–2025). In: Valencia-Garcia, R., Alvarez-Muñoz, P., Calderon, J.T., Vergara-Lozano, V., Ortega-Ponce, L., Pico-Aguilar, A.L. ve Vásquez-García, B.M. *International Conference on Technologies and Innovation*, Springer Nature Switzerland, 34-50.
- Wang, C., Li, X., Zhang, Z., Luo, X., Cai, J. & Wang, A. (2025). Nondestructive quality detection of characteristic fruits based on Vis/NIR spectroscopy: Principles, systems, and applications. *Agriculture*, 15(10), 2167.
- Wang, K. & Du, N. (2025). Real-time monitoring and energy consumption management strategy of cold chain logistics based on the internet of things. *Energy Informatics*, 8(1), 34.
- Xiang, Y., Chen, Q., Su, Z., Zhang, L., Chen, Z., Zhou, G., Yao, Z., Xuan, Q. & Cheng, Y. (2022). Deep learning and hyperspectral images based

tomato soluble solids content and firmness estimation. *Frontiers in Plant Science*, 13, 860656.

Yuan, R., Liu, G., He, J., Wan, G., Fan, N., Li, Y. & Sun, Y. (2021). Classification of Lingwu long jujube internal bruise over time based on visible near-infrared hyperspectral imaging combined with partial least squares-discriminant analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 182, 106043.

Zhou, X., Sun, J., Tian, Y., Lu, B., Hang, Y. & Chen, Q. (2020). Hyperspectral technique combined with deep learning algorithm for detection of compound heavy metals in lettuce. *Food Chemistry*, 321, 126503.

Zhou, Z., Zahid, U., Majeed, Y., Nisha, Mustafa, S., Sajjad, M. M., Butt, H.D. & Fu, L. (2023). Advancement in artificial intelligence for on-farm fruit sorting and transportation. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1082860.

BÖLÜM 6

BİTKİ VİRÜSLERİNİN YAPRAK BİTLERİ İLE İLİŞKİLERİ VE TAŞINMA MODELLERİ

Doç. Dr. Ali KARANFİL¹
Doç. Dr. Filiz RANDA-ZELYÜT²
Prof. Dr. Savaş KORKMAZ^{3*}

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18114439>

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakt., Bitki Koruma Böl., Çanakkale, Türkiye; ali.karanfil@hotmail.com, Orcid: 0000-0002-4503-6344

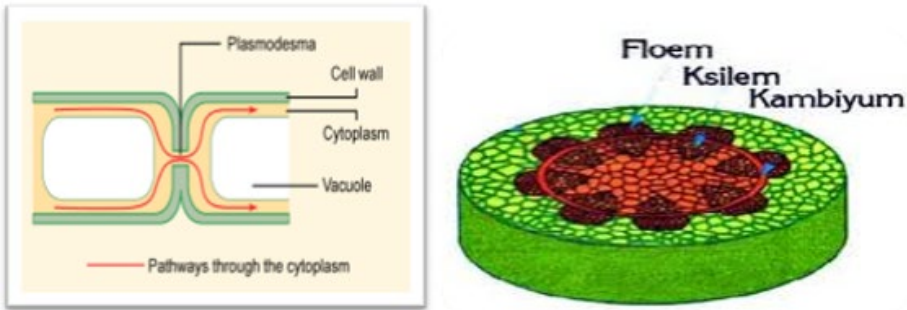
² Bilecik Şeyh Edebali Üniv. Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakt., Bitki Koruma Böl., Çanakkale, Türkiye; filiz.randazelyut@bilecik.edu.tr, Orcid: 0000-0002-1366-4389

³ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakt., Bitki Koruma Böl., Çanakkale, Türkiye. skorkmaz@comu.edu.tr, Orcid: 0000-0001-8227-3800

*Sorumlu Yazar: skorkmaz@comu.edu.tr

1. GİRİŞ

Virüsler; bir protein kılıf ile tek tip nükleik asit (DNA ya da RNA) içeren obligat parazit etmelidir. Protein kılıf nükleik asidi dıştan çevrelemektedir. Virüsler, ultra mikroskopik partiküller olarak tanımlanabilir; çapları genellikle 200 nm'den büyük değildir ve yalnızca tek tip nükleik asit (DNA veya RNA) içerirler. Patojenik suşlar oluşturabilme yeteneğine sahip olan bu partiküller, hücresel organizasyona sahip değildir, ancak konukçu hücre içinde biyokimyasal süreçler aracılığıyla çoğalabilirler ve bu yönüyle obligat parazit özellik taşırlar. Bitki virüsleri, konukçu hücrelerinin işlevsel düzenini ele geçirerek çoğalmalarını sürdürmek zorundadır. Ayrıca enfeksiyonun başladığı bölgede tutunabilmek için komşu hücrelere ilerlemeleri ve vasküler iletim dokusuna ulaşarak farklı doku ve organlara taşınmaları gerekmektedir. Bitki virüsleri hücreden hücreye geçerken hücrelerde bulunan plasmodesmata adı verilen doğal boşlukları kullanırlar. Bitki içerisindeki daha uzun taşınmalarında ise bitkinin vasküler sistemlerini kullanmaktadırlar. Yeni konukçulara yayılmak için hücrelere giriş sırasında hücresel bariyerleri geçmek zorundadırlar. Bu hücresel bariyerler bitkinin kutikulası, epidermis ve epidermal hücre vb. yapılardır. Bu hücresel bariyerleri geçme işlemi vektör organizmalar tarafından yönetilmektedir.



Şekil 1. Virüslerin bitki içindeki taşınım yolları

Bitki virüs hastalıkları dünya genelinde birçok bitki türünü hastalandırmak sureti ile kalite ve kantite yönünden önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Örneğin tüm dünyada süs bitkileri ve sebzelerde domates lekeli solgunluk virüsünün (TSWV) meydana getirdiği kayıp 1 milyar doların üzerindedir (Parrella ve ark., 2003). Aynı şekilde turuncgil tristeza virüsü de (CTV) Güney Amerika ülkelerinde milyonlarca ağacın ölmesine neden

olmuştur. Bu ekonomik kayıpların oluşumunda, virüsün bitkiden bitkiye aktarımı ve bu taşınma mekanizması kritik bir rol oynamaktadır.



Şekil 2. Tomato spotted wilt virus (TSWV) ve citrus tristeza virus (CTV)'nin meydana getirdiği zarar şekli

Virüsler ile vektörler arasındaki etkileşim son derece karmaşık olup; bu süreç, vektörün biyolojik özellikleri, virüsün yapısal ve işlevsel nitelikleri, konukçu bitkinin fizyolojisi ve çevresel koşullar gibi birçok faktöre bağlıdır. Bir taşınma döngüsünün gerçekleşebilmesi için vektörün enfekteli bitkiden virüsü alması, bünyesinde belirli bir süre tutması ve daha sonra sağlıklı bitkilere inokule etmesi gerekmektedir. Çeşitli organizma grupları farklı virüs türlerinin vektörlüğünü üstlenmektedir (Ng ve Falk, 2006). Güncel bilgiler, bitki virüslerinin yaklaşık %80'inin böcekler, nematodlar ve funguslar gibi vektörler aracılığıyla yayıldığını göstermektedir (Hohn, 2007).



Şekil 3. Bazı vektör organizmalar

Bunların yanında bitki virüsleri mekanik olarak budama aletleri ve ekipmanları, her türlü bitkisel üretim materyali, küsküt ve akar gibi organizmalar ile de taşınabilmektedir. Virüslerin taşınmasında rol oynayan

vektörlerin başında gelen yaprak bitlerinin, 550 bitki virüsünün %55'ini taşıdıkları bildirilmiştir (Harris, 2018).

Yaprak bitleri, genellikle 1–5 mm uzunluğunda yumuşak vücutları, oldukça uzun anten ve bacakları ile abdomenin sonunda bulunan belirgin bir çift tüp borucuğu ile ayırt edilirler. Türkiye’de günümüze kadar 484 yaprak biti türü tanımlanmıştır (Akyıldırım, 2011). Bu türlerin çoğu, açık alanda yetişen meyve, sebze, orman ve özellikle süs bitkilerinin başlıca zararlısıdır; bazıları ise salon bitkileri ve seralarda ekonomik zarara neden olmaktadır. Türlerin büyük bir kısmı belirli birkaç konukçu bitki üzerinde zarar verirken, bazıları polifaj özelliktedir.

Yaprak bitleri bitkilerin özsuyunu emerek bitkinin sağlık durumunun bozulmasına, verim kaybına ve sonunda ölümüne yol açar. Yapraklar, yaprak bitlerinin emgi faaliyetleri nedeniyle bükülür veya kıvrılır ve böylece fonksiyonlarını yerine getiremez hâle gelirler. Ayrıca, beslenme sırasında salgıladıkları toksik bileşikler yaprak, dal ve gövdelerde şekil bozukluklarına ve yalancı gallere sebep olur. Yaprak bitlerinin anüslerinden salgıladıkları tatlı maddeler bitki yüzeyini kaplar ve bu yüzeyde gelişen saprofitik funguslar fotosentezi engelleyerek, fumajin olarak bilinen zarar biçimini ortaya çıkarır.



Şekil 4. Yaprak bitlerinin bitkilerde oluşturduğu gal ve fumajin zararları

2. BİTKİ VİRÜSLERİNİN YAPRAK BİTLERİ İLE TAŞINMA ŞEKİLLERİ

Vektörler aracılığıyla gerçekleşen virüs taşınımı; virüsün enfekteli bitkiden alınma biçimi, vektör içinde inaktive olmadan ne kadar süreyle korunabildiği, vektörün dolaşım sistemine geçip geçmediği ve vektör bünyesinde replike olma kapasitesi gibi ölçütlere bağlı olarak temel olarak iki kategoriye ayrılmaktadır: sirkulatif ve non-sirkulatif taşınma (Ng ve Zhou, 2015; Fereres ve ark., 2016).

Böceğin dolaşım sistemine giren virüslere sirkülatif virüsler denmektedir. Sirkülatif virüsler vektörleriyle persistent propagatif (böcek bünyesinde çoğalan) ve persistent non-propagatif (böcek bünyesinde çoğalmayan) olmak üzere 2 şekilde taşınır. Bazı virüsler ise böceğin beslenme kanalına tutunurlar yani böceğin bünyesine giriş yapmazlar, böyle virüslerde non-sirkülatif virüsler olarak adlandırılır. Non-sirkülatif virüsler böcek vektörleriyle non-persistent ve semi persistent olarak taşınırlar.

2.1. Non-sirkülatif Virüsler

2.1.1. Non-Persistent Taşınma

Non-persistent taşınma terimi 1939 yılında Watson ve Roberts tarafından literatüre kazandırılmıştır. Yaprak bitleri tarafından non-persistent olarak taşınan virüsler semipersistent ve persistent olarak taşınan virüslerden hem sayıca hem de ekonomik olarak daha önemlidir. Bu taşınma şekli virüslerin evrimleşmesinde de önemli bir role sahiptir (Walkey, 1991; Perry ve ark., 1998; Escribe ve ark., 2000). Yani ilk olarak virüslerin non-persistent bir şekilde taşınmaya başladığı ve evrimsel süreçte farklı mekanizmalar geliştirerek diğer şekillerde de taşındığı düşünülmektedir. Non-persistent taşınma tipinde, virüslerin enfekteli bitki dokularından vektör tarafından alınması ve sağlıklı bitkilere aktarılması oldukça kısa sürede, genellikle birkaç saniye ile birkaç dakika arasında gerçekleşir. Bu taşınma biçiminde virüsün vektör içerisinde belirli bir süre beklemesini gerektiren bir latent dönem bulunmamaktadır. Virüsün alınımı ve taşınımı yaprak bitinin stiletini epidermal hücrelere batırma hızı ile doğru orantılıdır.

2.1.2. Semi-Persistent Taşınma

Bu taşınma tipi, non-persistent ve persistent mekanizmalar arasında yer alan ara bir modeldir. Virüsün enfekteli bitkiden alınabilmesi ve sağlıklı bitkiye aktarılabilmesi için genellikle birkaç saatlik bir süre gerekmektedir. Bu süreçte virüsün vektörün dolaşım sistemine geçişi söz konusu değildir. Alınma ve iletim için gerekli bu süre, bir tür ara latent dönem olarak değerlendirilebilir ve virüs alındıktan sonra vektörün aktarım kapasitesi birkaç gün boyunca devam edebilmektedir. Kısaca non-persistent virüslerin temel özellikleri:

- Nakil süresinin kısa olması
- Virüsün böceğin hemolimfinden elde edilememesi

- Saflaştırılmış virüs, vektörün hemofiline de inokule edildiğinde de aktif hale gelmemesi olarak söylenebilmektedir.

Ayrıca virüslerin vektörler ile non-persistent olarak taşınımında 2 ana strateji tanımlanmıştır. Bunlar protein kılıf (CP) ve yardımcı bileşenler (HC) stratejisidir.

2.1.2.1. Protein Kılıf

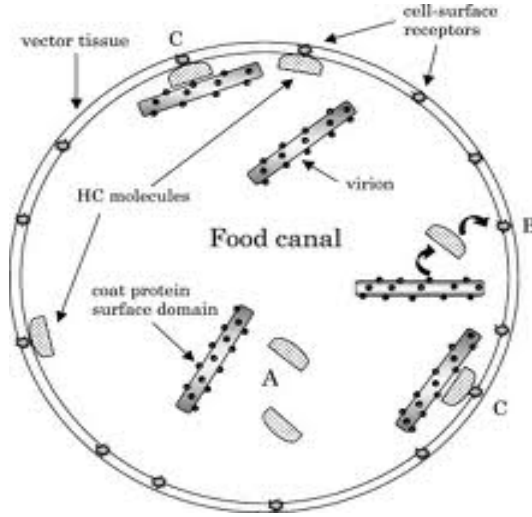
Virüslerin kılıf proteini kodlayan gen bölgeleri, vektörün ağız parçalarında bulunan bilinmeyen tutunma bölgelerini tanımaktadır. Bu doğrudan tanıma sayesinde farklı virüs ve streynleri farklı yaprak biti türleri ile taşınabilmektedir. Yapılan çalışmalar sonucu protein kılıf üzerinde 2 farklı gen bölgesi tanımlanmıştır. Bunlardan birisi simptomatolojide rol oynarken, diğeri ise vektörler ile taşınmada rol oynamaktadır. Taşınmada rol oynayan gen bölgesindeki aminoasitlerin farklı dizilim motifleri aynı virüsün farklı yaprak biti türü ile taşınmasından sorumludur (Matthews, 1992).

Örneğin aminoasit dizilimindeki tek bir nükleotiddeki değişim taşınımın gerçekleşmesini engelleyebilir. Benzer şekilde aynı aminoasidi kodlayan farklı kodonlardaki nükleotid dizilişlerindeki farklılıklardan dolayı vektörler ile taşınım gerçekleşmemektedir.

2.1.2.2. Yardımcı Faktörler

Bazı virüsler, vektörler aracılığıyla taşınmalarında diğer virüsler veya viral yapılara bağımlılık gösterebilir. Doğada bitkiler aynı anda birden fazla virüsle enfekte olabileceğinden, aynı konukçuda birden fazla virüs arasında tam veya kısmi, tek veya çok taraflı sinerjik ya da antagonistik etkileşimler ortaya çıkabilir. Bu etkileşimlerden biri, diğer virüsün vektörler tarafından taşınabilme kapasitesini ve virülansını doğrudan etkileyebilir.

Örneğin patates iğ yumru viroidi ile patates yaprak kıvrıcıklığı virüsü bitki dokusunda birlikte bulunduklarında yeşil şeftali yaprak biti tarafından; patates yaprak kıvrıcıklığı virüsü %83-88, patates iğ yumru viroidi ise %30-39 alınabilirken; patates yaprak kıvrıcıklığının olmadığı durumlarda patates iğ yumru viroidi %5 oranında alınmaktadır.



Şekil 5. Yardımcı faktörlerin şematik gösterimi

2.1.5. Virüslerin Alınması ve Taşınması

Yaprak bitleri non-sirkulatif virüsleri maksimum 10 mikrometre derinlikte yaptıkları sondalama sonucunda epidermal hücrelerden alırlar. Virüsler, çok az veya hiç tükürük salgılanmadığı durumlarda epidermal hücrelerin kısa süreli sokulup emilmesi ile alınmaktadır (Van der Want, 1954). Tükürük salgılarının artması ve yaprağın derin dokularının emme sırasında tükürük kınının şekillenmesi ile hiçbir virüs alınamamaktadır. Örneğin *M. persicae*'nin epidermal hücrelerden az veya hiç tükürük salgılanmadan yaptığı kısa emgiler sonucu virüsün alındığını, devam eden beslenme esnasında stiletler stilet kını ile sarıldığı zaman kazandığı bu virüsün de kaybedildiğini bildirmişlerdir.

Virüsler HC veya CP'lerin yardımı ile yaprak bitinin besin kanalında tutunurlar. Non-persistent şekilde taşınan virüslerin stilette asılı olarak taşınması ile ilgili olarak, bitki ile biyolojik ilişkisi olmayan fakat bitkiyi tesadüfen ziyaret eden bir yaprak biti türü ile de kolaylıkla taşınabildiği bildirilmiştir. Virüsün, vektör konumundaki yaprak bitleri tarafından bitki üzerinde beslenme ya da doku sondalama sırasında alınması nedeniyle, konukçu bitkide kolonize olma yeteneği bulunmayan çok sayıda yaprak biti türü de bu taşınma türünde vektör olarak işlev görebilmektedir (Walkey, 1991; Nault, 1997). Bu şekilde taşınan virüsler genellikle daha stabil olup, bitkilerin epidermal ve subepidermal hücre tabakalarında daha yüksek yoğunluklarda

bulunmaktadır (Pollard, 1973). Aşağıdaki tabloda bazı virüslerin hangi şekilde hangi vektör ile taşındığı verilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Bazı virüslerin taşınma şekilleri ve vektörleri

Virüs	Taşınma Şekli	Vektör
Potato virus Y	Non-persistent	<i>Myzus persicae</i>
Lettuce mosaic virus	Non-persistent	<i>M. persicae</i>
Cucumber mosaic virus	Non-persistent	<i>Aphis gossypii</i>
Parsnip yellow fleck virus	Semi-persistent	<i>Cavariella aegopodii</i>
Citrus tristeza virus	Semi-persistent	<i>Toxoptera citricida</i>
Cauliflower mosaic virus	Semi-persistent	<i>Brevicoryne brassicae</i>

2.2. Sirkulatif Virüsler

2.2.1. Persistent Taşınma

Bu taşınma biçiminde, virüsün vektör tarafından enfekteli bitki dokularından alınabilmesi için en azından yarım saatlik bir beslenme süresine ihtiyaç duyulmakta, kimi durumlarda bu süre birkaç güne kadar uzayabilmektedir. Virüs alındıktan sonra vektör tarafından hemen iletilemez; aktarımın gerçekleşebilmesi için virüsün vektörün dolaşım sistemine ve ardından tükürük bezlerine ulaşması gereklidir. Bu süreçte geçen zamana latent periyot adı verilir. Persistent taşınma tipinde virüs, vektör bünyesinde uzun süre, hatta bazı durumlarda vektörün yaşamı boyunca korunabilmektedir. Virüs vektör bünyesinde çoğalma yeteneğine sahip ise bu taşıma persistent propagatif taşınma olarak, virüs vektör bünyesinde çoğalma yeteneğine sahip değil ise persistent non-propagatif taşınma olarak isimlendirilir (Hogenhout ve ark., 2008).

Sirkulatif virüslerin taşınma döngüsü;

- Virüsün enfekteli bitkilerden beslenme yoluyla vektörün ağız boşluğu ve arka veya orta bağırsaklara alınımı
- Virüsün vektörün midesine geçişi
- Virüsün vücut boşluğunda ve diğer dokularda birikmesi
- Virüsün tükürük bezlerine geçişi
- Konukçu bitkilerin iç dokularına maksiller stiletlerdeki tükürük kanalları vasıtasıyla geçmesi olarak 5 aşamada gerçekleşmektedir.

2.2.2. Virüsün Alınması ve Taşınması

Sokucu-emici ağız yapısına sahip yaprak bitlerinin stiletleri, floeme ulaşmak için bitki hücreleri arasından geçer ve bitki özsuynunun emilmesi sırasında virüslerin alınmasını sağlar. Virüs alındıktan sonra, mide duvarındaki boşluktan vücut boşluğuna geçer. Virüsün mideye doğru aktif taşınması, viral partiküllerin epitel hücreler tarafından tanındığını göstermektedir. Alınan virüs partikülleri hemolimfe içinde birkaç hafta boyunca korunabilir. Tablo 2, bazı virüslerin taşınım şekilleri ve bunların vektörlerini göstermektedir.

Tablo 2. Bazı virüslerin taşınma şekilleri ve vektörleri

Virüs	Taşınma Şekli	Vektör
Beet western yellow virus	Persistent Non-propagatif	<i>M. persicae</i>
Barley yellow dwarf virus	Persistent Non-propagatif	<i>Sitobion avenae</i>
Maize mosaic virus	Persistent Propagatif	<i>Peregrinus maidis</i>
Norwalk-like viruses	Persistent Propagatif	<i>Nilaparvata lugens</i>

3. MÜCADELE YÖNTEMLERİ

Bitkilerde görülen diğer patojenlere kıyasla virüslerin bitki metabolizmasıyla son derece sıkı bir etkileşim içinde olması nedeniyle, viral hastalıkların kontrolünde doğrudan etkili kimyasal mücadele yöntemleri bulunmamaktadır. Bunun yanı sıra, virüs hastalıklarının yönetiminde uygulanan önlemlerin büyük bölümü tedavi etmeye yönelik değil, enfeksiyonun ortaya çıkmasını engellemeye odaklanan koruyucu yaklaşımlardan oluşmaktadır.

3.1. Kültürel Önlemler

3.1.1. Sanitasyon

Her türlü budama alet ve ekipmanları, toprak işleme aletleri gibi tarımsal üretimde kullanılan alet ve makinelerin dezenfeksiyonunu içermektedir.

3.1.2. Sertifikalı Üretim Materyali Kullanılması

Virüs hastalıkları bitkisel üretim materyalleri ile yıldan yıla ve yıl içerisinde mekanik olarak veya vektörler ile taşınarak hızlı bir şekilde yayılabilmektedir. Bu nedenle virüs hastalıklarından kaynaklanan verim

kayıplarının önlenmesinde en etkili rol sertifikalı virüsten arı üretim materyali kullanmaktır.

3.1.3. Dayanıklı Çeşit Kullanmak

Dayanıklı çeşit kullanımı virüs hastalıklarının kontrolünde kullanılabilecek en uygun ve en ucuz yöntemdir. Eğer yetiştiriciliğini yaptığımız kültür bitkisinde sorun olan önemli bir virüs hastalığı varsa, bu hastalığa karşı tolerant veya dayanıklı çeşit mevcut ise bu çeşitler kullanılarak hastalığın meydana getirebileceği ekonomik kayıplar belli bir ölçüde önenebilir.

3.1.4. Bariyer ve Tuzak Bitkilerin Kullanımı

Bariyer niteliğindeki çit bitkileri ya da yaprak bitlerinin tercih ettiği alternatif cezbedici bitkiler kullanılarak, vektör popülasyonlarının bu bitkiler üzerinde toplanması sağlanabilmektedir. Örneğin, yem bitkisi olarak kullanılan *Sorghum bicolor* (L.) (Moench), yazlık buğday veya soya fasulyesinin bariyer bitkisi olarak ekilmesinin, yaprak bitlerinin kanatlı formlarının patates bitkileri üzerinde yoğunlaşmasını engellediği ve PVY'nin yayılışını azalttığı bildirilmiştir (Difonzo ve ark., 1996). Bu tür bitkiler özellikle non-persistent taşınan virüslerin yayılımını sınırlamak amacıyla etkili olabilmektedir. Ancak bu amaçla seçilecek bitkilerin, yaprak bitleri için uygun bir konukçu olmasına karşın, söz konusu virüsler için konukçu oluşturmaması gerekmektedir.

3.1.5. Ara Konukçuların Eradikasyonu

Virüslerin ve vektör yaprak bitlerinin alternatif konukçuları belirlenmeli ve bu bitkilerin üretim alanlarından temizlenmesi gerekmektedir.

3.2. Kimyasal Mücadele

Fungal ve bakteriyel patojenlerin aksine, virüsler bitki metabolizmasıyla çok sıkı bir ilişki içinde olduğundan, viral hastalıkların doğrudan kimyasal yöntemlerle kontrolü mümkün değildir; bu nedenle kontrol stratejilerinde vektör yönetimi büyük önem taşımaktadır. Pestisit uygulamaları yapılırken yaprak biti popülasyonu, yaprak bitlerinde virüs bulunma oranı, yaprak bitlerinin doğal düşmanlarının durumu ve pestisitlerin çevresel etkileri gibi faktörler dikkate alınmalıdır.

3.3. Genetik ve Biyolojik Mücadele

Bazı virüslerin virü lent olmayan suşlarından yararlanılarak, virü lent suşların neden oldu ğu zarar azaltılabilmektedir. Virü lent olmayan suş önceden bitkilere bulaştırıldığında, daha sonra bitkiyi enfekte edebilecek virü lent suşlara karşı bitkinin daha az zarar görmesi hedeflenmektedir; bu yaklaşım çapraz koruma (cross protection) olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca, bu amaç doğrultusunda geneti ği de ğiştirilmiş organizmalar (GDO'lar) da kullanılabilmektedir.

4. SONUÇ

Bitki virüslerinin ekosistemler, tarımsal üretim süreçleri ve ekonomik sürdürülebilirlik üzerindeki etkileri dikkate alındığında, yaprak bitleri ile virüsler arasındaki ilişkinin anlaşılması büyük önem taşımaktadır. Yaprak bitleri, geniş konukçu yelpazeleri, yüksek üreme potansiyelleri ve kısa sürede koloniler oluşturabilme özellikleri nedeniyle bitki virüslerinin taşınmasında en etkili vektör gruplarından birini oluşturmaktadır. Virüslerin bitki dokularına girişten sistemik yayılışa kadar izledi ği yollar ile bu süreçte vektörlerin oynadı ğı rollerin ayrıntılı biçimde açıklanması hem epidemiyolojinin anlaşılmasını hem de etkili mücadele stratejilerinin geliştirilmesini mümkün kılmaktadır.

Virüslerin taşınma şekilleri, onların biyolojisini ve yayılış dinamiklerini doğrudan belirlemekte; bu yönüyle non-sirkulatif ve sirkulatif taşınma kategorileri, vektör-virüs etkileşiminin temel sınıflandırmasını oluşturmaktadır. Non-persistent, semi-persistent ve persistent taşınma tipleri arasındaki süre, tutunma bölgesi ve vektör bünyesinde ço ğalma gibi farklar; hastalığın tarla içi yayılma hızından epidemilerin oluşum biçimine kadar pek çok parametreyi etkilemektedir

Özellikle non-persistent virüslerin birkaç saniye içinde alınabilmesi ve çok sayıda vektör türü tarafından taşınabilmesi, bu virüslerin kontrolünü güçleştirirken; persistent virüslerde vektör dokularına giriş ve latent periyot gereklili ği, taşınmanın daha karmaşık fakat daha öngörülebilir bir süreç olduğunu göstermektedir. Moleküler düzeyde de ğerlendirildi ğinde, kılıf proteini ve yardımcı bileşenlerin vektörle etkileşimdeki belirleyici rolleri, virüslerin evrimsel olarak taşıyıcılarına uyum sağladığını ortaya koymaktadır. Tek bir nükleotid de ğişiminin dahi taşınımı engelleyebilmesi, virüs-vektör

ilişkilerinin yüksek düzeyde spesifik ve ko-evrimsel bir yapıya sahip olduğunu kanıtlamaktadır. Aynı zamanda virüslerin sinerjik ya da antagonistik etkileşimlerle birbirinin taşınabilirliğini etkileyebilmesi, bitkilerde eş zamanlı enfeksiyonların epidemiyolojik önemini artırmaktadır.

Bu bilgiler ışığında, virüs hastalıklarının doğrudan tedavisinin mümkün olmaması nedeniyle mücadele stratejilerinin büyük ölçüde koruyucu önlemlere dayanması gerektiği açıktır. Sertifikalı üretim materyali kullanımı, sanitasyon önlemleri, dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi ve vektör popülasyonlarının izlenerek gerektiğinde müdahale edilmesi; hastalığın yayılmasını engellemede kritik bileşenler olarak öne çıkmaktadır. Bunun yanında, non-persistent virüslerin yayılışını sınırlamak için bariyer bitkiler veya tuzak bitkilerin kullanılması gibi kültürel yöntemler, özellikle yoğun vektör hareketinin görüldüğü alanlarda etkili bir savunma mekanizması oluşturabilmektedir.

Sonuç olarak, yaprak bitleri ile taşınan virüsler, hem biyolojik karmaşıklıkları hem de tarımsal üretim üzerindeki geniş etkileri nedeniyle bütüncül bir yaklaşım gerektirmektedir. Virüs ve vektör biyolojisinin daha derinlemesine anlaşılması, gelecekte daha etkin dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesine, hedefe yönelik vektör yönetim stratejilerinin oluşturulmasına ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının desteklenmesine olanak sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Akyıldırım, H. (2011). *İstanbul ili Büyükada ilçesi afit (Hemiptera: Aphidoidea) faunasının belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Niğde, Türkiye.
- Difonzo, C.D., Ragsdale, D.W., Radcliffe, E.B., Gudmestad, N.C. & Secor, G. A. (1996). Crop borders reduce potato virus Y incidence in seed potato. *Annals of Applied Biology*, 129(2), 289–302. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1996.tb05752.x>
- Escriu, F., Perry, K.L. & García-Arenal, F. (2000). Transmissibility of Cucumber mosaic virus by *Aphis gossypii* correlates with viral accumulation and is affected by the presence of its satellite RNA. *Phytopathology*, 90(10), 1068–1072. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2000.90.10.1068>
- Fereres, A., Peñaflor, M.F.G.V., Favaro, C.F., Azevedo, K.E., Landi, C.H., Maluta, N.K., ... Lopes, J.R.S. (2016). Tomato infection by whitefly-transmitted circulative and non-circulative viruses induce contrasting changes in plant volatiles and vector behaviour. *Viruses*, 8(8), Article 225. <https://doi.org/10.3390/v8080225>
- Harris, K.F. (2018). Aphid transmission of plant viruses. In: G.P. Martelli & M.J. Adams (Eds.), *Plant viruses* (pp. 177–204). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203754321>
- Hogenhout, S.A., Ammar, E.D., Whitfield, A.E. & Redinbaugh, M.G. (2008). Insect vector interactions with persistently transmitted viruses. *Annual Review of Phytopathology*, 46, 327–359. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.46.120407.110100>
- Hohn, T. (2007). Plant virus transmission from the insect point of view. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(46), 17905–17906. <https://doi.org/10.1073/pnas.0709469104>
- Matthews, R.E.F. (1992). *Fundamentals of plant virology*. Academic Press. ISBN 978-0124800363

- Nault, L.R. (1997). Arthropod transmission of plant viruses: A new synthesis. *Annals of the Entomological Society of America*, 90(5), 521–541. <https://doi.org/10.1093/aesa/90.5.521>
- Ng, J.C.K. & Falk, B.W. (2006). Virus–vector interactions mediating nonpersistent and semipersistent transmission of plant viruses. *Annual Review of Phytopathology*, 44, 183–212. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.44.070505.143325>
- Ng, J.C.K. & Zhou, J.S. (2015). Insect vector–plant virus interactions associated with non-circulative, semi-persistent transmission: Current perspectives and future challenges. *Current Opinion in Virology*, 15, 48–55. <https://doi.org/10.1016/j.coviro.2015.08.003>
- Parrella, G., Gognalons, P., Gebre-Selassie, W.K., Vovlas, G. & Marchoux, G. (2003). An update of the host range of Tomato spotted wilt virus. *Journal of Plant Pathology*, 85(4, Special Issue), 227–264.
- Perry, K.L., Zhang, L. & Palukaitis, P. (1998). Amino acid changes in the coat protein of Cucumber mosaic virus differentially affect transmission by the aphids *Myzus persicae* and *Aphis gossypii*. *Virology*, 242(2), 204–210. <https://doi.org/10.1006/viro.1997.9015>
- Pollard, D.G. (1973). Plant penetration by feeding aphids (Hemiptera: Aphidoidea): A review. *Bulletin of Entomological Research*, 62(4), 631–714. <https://doi.org/10.1017/S0007485300005414>
- Van der Want, J.P.H. (1954). Onderzoekingen over virusziekten van de boon (*Phaseolus vulgaris* L.). H. Veenman & Zonen.
- Walkey, D.G.A. (1991). Applied plant virology. St. Edmundsbury Press. ISBN 978-0853477854

BÖLÜM 7

JOJOBA (*Simmondsia chinensis*) BİTKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Abdullah OSMANOĞLU^{1*}

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18114461>

¹Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Bingöl, Türkiye.
aosmanoglu@bingol.edu.tr, Orcid: 0000-0003-0429-4328

*Sorumlu yazar: aosmanoglu@bingol.edu.tr

1. GİRİŞ

Anavatanı Amerika'nın Kaliforniya ile Arizona eyaleti ve Meksika yüzölçümünün büyük bir kısmında yer alan 25-31° kuzey enlemleri arasında bulunan Sonara Çölü'dür. Çalı formu bir bitkidir. İlk 1789 yılında İtalyalı rahip Francisco J. Clavijero tarafından tanıtılmıştır (Palzkill ve Dennis, 1981).

Sonara Çölü ve Kaliforniya yerlileri tarafından cilt kanseri ve yaraların iyileştirilmesinde kullandıkları, tohumundan elde edilen yağın diğer bitkilerden elde edilen yağlardan değişik olduğu ve bu yağın balinadan elde edilen yağlara benzer özelliğe sahip olduğunu bildirmiştir (Verbanic, 1986).

Sanayide kullanım alanları da bilindikten sonra üretilmesi uygun iklimleri bulunan Amerika, Arjantin, Brezilya Avustralya, Avrupa ülkeleri, Paraguay, Mısır, Kenya, Kuveyt, Nijerya, Sudan, Hindistan, Japonya, Libya'da ticari amaçla yetiştirmeye başlanmıştır.

Türkiye'de ise Adana ve Antalya'dan olumlu sonuçlar alınmasıyla birlikte; Afyon, Ağrı, Ankara, Aksaray, İzmir, Denizli, Konya, Kayseri, Elazığ, Malatya, Mersin, Adıyaman, Yalova ve Nevşehir'de jojoba bitkisi dikimi başlatılmış ve yapılan çalışmalar sonucunda jojoba yetiştiriciliğinin yaygınlaşmasıyla birlikte ekonomiye olumlu etkisinin olacağı ifade edilmiştir. Bitkisinden elde edilen yağa özellikle Amerikalı ve İsrailli firmalardan talep gelmesiyle, geleceğin en karlı yatırımları arasında yer alacağı ifade edilmiştir (Erçek, 2022).

2. BİTKİSEL ÖZELLİKLERİ

Simmondsiaceae familyasının, *Simmondsia* cinsine giren, *S. chinensis* (jojoba) (Şekil 1) çok yıllık, her dem yeşil, zehirsiz, uzun ömürlü, derin köklü, kurağa ve yangına karşı dayanıklı olduğundan hem peyzaj amaçlı hem de, erozyona karşı mücadelede kullanılan bir bitki türüdür (Yermanos, 1979).

Çiçekli, dioik karakterde olup, dişi çiçekleri tekli veya birkaçı birlikte, erkek çiçekleri ise salkım şeklinde bulunabilir. Her iki cinsten de çiçekler yaprak koltuğundan çıkmaktadır. Dişi çiçekleri yeşil renkli, erkek çiçekleri sarı, olup, üç pistil ve her pistilde bir tohum taslağından oluşan üç karpelli yumurtalığı vardır. Dişi çiçekleri (Şekil 2) böceği cezbedecek renkli petalleri ve nektarı bulunmadığından rüzgar ile tozlanmak durumundadır. Çiçek tomurcukları, yaz sonu ve sonbahar başında, o yılın süren sürgünleri üzerinde oluşmakta ve kış sonu başlarında açılmaktadır (Gentry, 1958; Anonim, 1985).



Şekil 1. Jojoba bitkisi (*Simmondsia chinensis*) (Anonim, 2025a)

Her dem yeşil oluşu, boyu 60 cm ile 4.5 m arası uzunluğunda olabilen gri yeşil renkte takriben 5 cm boyunda, oval yapraklara sahip bir çalı bitkisidir. Diğer çöl bitkilerinde görüldüğü gibi derin kök sistemine sahip bir çalı formu bitkidir.

Meyveleri meşe palamudu (Şekil 3) boyutlarında olup, başta yeşilimsi iken olgunlaştıkça kahverengiye dönmektedir. Genelde bir tohum içerir veya bazen de iki ya da üç tohum içerdikleri de görülür.

Jojoba tohumlarında %50 oranlarında yağ bulunmaktadır (Şekil 4) ve yağı sperm yağı ile benzerlik gösterir. Tohumdan elde edilen bitkiler ikinci veya üçüncü yılından itibaren meyve vermeye başladıkları, çelikle üretilen bitkileri ise aynı yıl içerisinde meyve verebilmektedir (Low ve Hackett, 1981). Verim çağına ulaşmış bulunan bir bitkiden yaklaşık 2,5 kg tohum elde edilmektedir. Dekara, 1,5x3 m aralıklı dikildiğinde 175-200 adet fidanla yaklaşık 430-500 kg tohum alınmaktadır.



Şekil 2. Jojoba dişi çiçeği (Anonim, 2025a).

Jojoba bitkisi %100 yabancı tozlandığı için çok farklı genotipler ortaya çıkması pek tabiidir. Bitkilerin genotipinde görülen bu farklılıklar, morfolojik ve fizyolojik karakterleri de doğrudan etkilemektedir (Gentry, 1958).



Şekil 3. Jojoba meyvesi (Anonim, 2025a)

Jojoba rüzgarla tozlandığından bitkinin bol rüzgâr olan arazilerde yetiştirilmesi ve bitki sıralarının hakim rüzgarlar yönünde olması şarttır. Dişi bitkilerden verim alınabilmesi için sıralara 6:1 oranında bol polen yayan ve dişilerle aynı zamanda çiçeklenen tozlayıcı erkek bitkiler bulundurulması gerekmektedir.



Şekil 4. Jojoba tohumu (Anonim, 2025b)

3. Ekolojik İstekleri

3.1. Sıcaklık İsteği

Doğal yetiştirme ortamında hava ve toprak sıcaklığının yaz aylarında gölgede bile 35-48 °C olmasına karşın, jojoba, yüksek sıcaklıklara dayanıklı olan bir bitkidir (Anonymous, 1985). Bu sıcaklığa rağmen vejetatif gelişim için uygun optimum sıcaklık 28-33 °C'dir (Dunestone ve ark., 1983). 19-25 °C arasındaki sıcaklıklarda ise jojoba için optimum fotosentez sıcaklığı olarak ifade edilmiştir. Bir başka araştırmacılar, jojoba bitkisinin fotosentez yapabildiği sıcaklık aralığını 10-40 °C olduğunu bildirmişlerdir (Wardlaw ve ark., 1983).

Jojoba, hava sıcaklığının uzun süre -5 °C nin altında kaldığı yerlerde asla yetiştirilmemelidir. Soğuğa dayanıklılık gösteren bazı türleri -9 °C ye kadar zarar görmeden yetiştirilebilirlerse de, küçük meyveleri ve çiçek tomurcukları -2 °C de zararlanırlar. Şayet, -6 °C olur ise yaşama şansları kalmamaktadır (Anonim, 1985).

3.2. Toprak İsteği

Doğal jojoba popülasyonunun bulunduğu topraklar; su geçirgenliği ve drenajı iyi olan, genelde hafif veya orta hafif yapılı ve toprakları sever. Yani jojoba bitkileri iyi drene edilmiş orta bünyeli topraklarda çok iyi gelişme göstermektedir (Dunstone, 1986). Buna rağmen kültüre alınan jojoba bitkileri

farklı yapılara sahip topraklarda da başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Yapılan araştırmalarda bazı jojoba bitkilerinin kumlu topraklarda bazılarının killi tınlı topraklarda başarı gösterdikleri yine bazı yerlerde ağır killi topraklarda iyi drene edilmeleri şartı ile uyum sağlayabildikleri görülmüştür. Ancak bitki zayıf gözenekli toprakları sevmez (Anonim, 1985). Ağır karakterli topraklarda yapılan denemelerdeki bitkiler, hafif karakterli topraklarda yetiştirilenlere nazaran geç çiçeklendiği ve daha yavaş büyüme gösterdiği ortaya konulmuştur (Yermanos, 1979).

Jojoba yetiştiriciliğinde yetiştiriciliği sınırlandıran önemli bir faktör, toprak asitliği ve özellikle toprak alkaliliğidir. Bununla birlikte pH 6'nın altına düştüğü asitli karakterli topraklar jojoba yetiştiriciliği için uygun değildir. Jojoba alkaliliğe daha dayanıklı olduğundan pH'nın 8.5'e çıktığı topraklarda bile rahatlıkla yetiştirilebilmektedir. Meksika ve Amerika'da ki jojoba popülasyonun bulunduğu yerlerde yapılan ölçümlerde pH'nın 5 ile 8 arasında olduğu belirlenmiştir.

4. ÇOĞALTILMASI

Jojoba, tohumla ya da yarı odun çelikleri ile çoğaltılırlar. Vejetatif olarak çoğaltılan bitkinin tohumla çoğaltılan bitkilerine oranla daha erken verime yattığı ve daha fazla miktarda tohum verdiği bilinmektedir.

4.1. Tohumla Üretimi

25-30 cm'lik fidan poşetleri içine, (1/3 yanmış çiftlik gübresi, 1/3 kum 1/3 toprak) oranında hazırlanmış olan karışım doldurularak, her birine boyunun iki katı derinliğe olmak üzere 4'er tohum bırakılır. Bölgelere göre değişmekle birlikte bu iş açık arazide yapılacak ise Mart-Nisan ayları en uygun aylardır.

Tohumları sulama havanın sıcaklık durumuna göre değişmekle birlikte haftada en az 1 kere olmak üzere ve mümkünse damla sulama yöntemiyle yapılmalıdır. Ekimden takriben bir ay kadar sonra çimlenme başlar. 18-24 ay sonra gelişimi iyi olan bitkilerinde çiçekler açmaya başlar. Erkek ve dişi bitkiler ayrılarak tekleme yapılmalıdır. Araziye dikileceği zamana kadar iyi gelişmiş dişi bitkileri çimlendiği fidan torbasında bırakmak şaşkırtma kayıplarının en aza indirmede önemli bir uygulamadır (Erçek, 2022).

4.2. Çelikle Üretimi

Yarı odunsu uç çelikleri 4 boğumlu, 10-15 cm boyunda olacak şekilde alınır. Çeliklerinde üst yapraklar bırakılarak alt boğumlarındaki tüm yapraklar koparılır. En uygun çelik alma zamanı olan temmuz ayında alınan çelikleri 5 sn süreyle 2000 ppm IBA çözeltisine daldırıp (1/2 torf: 1/2 kum) olarak hazırlanmış köklendirme tavalara dikimi yapılır. Köklendirme ortamına sisleme yapılarak hava neminin %90'nın altına düşmesi engellenmelidir. Çelikleri yaklaşık sekiz hafta köklenir. Daha sonra, 1/3 çiftlik gübresi (yanmış), 1/3 kum, 1/3 toprak olacak şekilde hazırlanan karışımla doldurulmuş plastik torbalara şaşırtılmalıdır. Köklendikten sonra çelikler erkek ve dişi olarak ayrılıp etiketlenmelidir. Büyütme ortamının nemini mümkün oldukça yüksek tutarak şaşırtmadan kaynaklanan kayıplar en aza indirilir. Ayrıca fazla güneşli olarak geçen yaz günlerinde mutlaka gölgelendirme yapılmalıdır. Fidan torbalarına damla sulama veya sisleme yöntemi kullanılmalıdır.

Jojoba fidanlarının araziye dikim aralığı 2x3m ya da 3x4m'dir. Kaliforniya'da dikim aralığı 1.5x3m'dir. Bu ölçülerde hazırlanan fidan çukurlarına beş ya da yedi dişi fidana bir olacak şekilde erkek bitki tozlayıcı bitki yeterlidir. Dikilen fidanlara can suyu verilmesi unutulmamalıdır (Erçek, 2022).

Jojoba bitkisinin yetiştirilmeye başlandığı ilk yıllarda tohumdan çoğaltılan bitkilerle bahçede kurulmuştur. Tohumla çoğaltıldığında çok sayıda tohum direkt araziye ekilmiş ve bitkilerin cinsiyeti belli olduğunda tozlanmaya yetecek kadar erkek bitki bırakıldıktan sonra dişi bitkiler sıra arası 3.5m ve sıra üzeri 1.5m olacak şekilde seyreltilmiştir. İlerleyen yıllarda dünyanın birçok ülkesin yapılan ıslah çalışmalarıyla üstün nitelikli klonlar elde edilmiştir. Yeni bahçelerin tesisinde ise vejetatif yolla çoğaltılan üstün nitelikli klonlar kullanılmıştır. Vejetatif çoğaltımda ilk önce çelikle çoğaltım yöntemi daha sonra aşıyla ve doku kültürüyle çoğaltılmıştır (Palzkill ve Dennis, 1981).

Vejetatif olarak çoğaltılan bitkiler sıra arası 4m, sıra üzeri 1.5m olacak şekilde dönüme 175 bitki dikilmektedir. Dişi bitkilerin yeterli miktarda tozlanabilmesi için 6:1 oranında erkek bitki olması gerekmektedir. Bitkiler büyüdükçe tacı genişlediğinden sıra üzerlerindeki mesafe kapanarak çit şeklinde görünüm oluşturmaktadır. Bitki sıralarının çit şeklinde olması kültürel işlemlerinin daha etkin yapılmasını sağlamaktadır (Coates ve Lorenzen, 1988; Carnegie ve Purcell, 1988).

5. SULAMA

Jojoba bitkisi kurak koşullarda uyum sağladığından az miktarda suya ihtiyaç duymaktadır. Toplam yıllık yağışın 200 mm ye düştüğü zamanlarda bile bitki hayatta kalabilmektedir. Buna karşın tatminkâr bir verim alınabilmesi için yıllık 500-600 mm'lik yağışa ihtiyaç göstermektedir (Thomson, 1982).

Düşük sıcaklık açısından risk taşımayan Akdeniz, Güneydoğu ve Ege bölgelerinde yıllık toplam yağış jojobanın yetişmesi ve tatminkâr bir ürün verebilmesi için yeterli görülmektedir. Sadece yağışın az olduğu extrem yıllarda bitkinin veriminde bir azalma olmaması için sulama yapılması zorunludur.

6. HASAT İŞLERİ

Bazı kapsüllerde tohum iki veya üç adete çıkarken, genelde her kapsülde bir tane tohum bulunur. Yaz aylarının kuru ve sıcak havası yeşil renkli kapsülleri çatlatarak tohumları yere döker. Bu sebeple olgunluğa erişen meyveleri tiplere göre değişmekle birlikte temmuz ayının ortasından eylül ayına kadar olan zamanda döküme uğramadan hasat edilmelidir (Thomson, 1982).

Ticari işletmelerin büyüklüğüne göre hasatta, emişli makineler kullanılacağı gibi nispeten küçük işletmelerde bitki altına sergi serilerek silkeleme yöntemiyle de toplanabilir. Şayet hasatta özel makineler kullanılacaksa bahçeyi tesis ederken hem arazi yüzeyinin tesviye edilmesi hem de bitkileri hasat makinesine göre uygun olacak şekilde dikimi yapılması önemlidir (Carnegie ve Purcell, 1988; Coates ve Lorenzen, 1988). Başta yapılacak bu tür düzenlemeler bahçe yapılacak teknik ve kültürel işlemlere de ayrıca kolaylık sağlayacaktır.

7. ÖNEMLİ HASTALIK VE ZARARLILARI

Verticillium, *Phymatotrichum* ve *Macrophomina* spp. gibi etmenlerinin sebep olduğu kök çürüklükleri aşırı sulanmış ve taban suyuna maruz kalmış jojoba bitkilerinde görülebilir. Ekonomik anlamda zarar yapmamalarına karşın bitkileri üzerinde afit ve bazı yaprak yiyen zararlılara rastlanmaktadır (Dunstone ve Begg, 1983).

8. JOJOBA YAĞININ KULLANIM ALANLARI

%45-60 oranında yağ içeren jojoba tohumlarından soğuk pres veya çözücü gibi değişik uygulama yöntemleri ile elde edilen yağı, basit bir rafine işlemiyle saflaştırılabilmektedir. Yapısı bozulmadan yıllarca saklanabilen yağı, renksiz ve kokusuz olup doğal antioksidanlar içermektedir (Duke, 1983).

Jojoba yağı hızla çalışan makinelerde ısıya ve yüksek basınca dayanıklı olma özelliğinden ötürü kullanımı oldukça uygun olmasının yanında, köpüklenmeyi önlediğinden cila, mum, antibiyotik üretimi, boya ve kaplama materyali üretiminde de önemle kullanılmaktadır (Duke, 1983). Deriye kolayca nüfuz etmesi ve besleyici özelliğinden dolayı cilt ve saç bakımında kullanılan kozmetik ürünler için de tercih edilmektedir (Verbanic, 1986).

Deterjanlar, dezenfektanlar, kurutucular, kayganlaştırıcılar, koruyucu kaplayıcılar, reçineler, emülsiyon yapıcılar, güneş kremleri ve sürtünmeyi önleyiciler gibi birçok ürünlerin hazırlanmasında kullanılan mono doymamış alkoller ve asitlerin düz zincirli kaynağı olan jojoba yağı; hidrojenize edilerek ayrıca, zemin, mobilya, otomobil, kundura ve cilalarında kullanılan beyaz-sert mumların üretiminde de kullanılmaktadır. Ayrıca, günümüzde kozmetik sanayisinin ürettiği şampuan, losyon ve kremlerin büyük bir çoğunluğunun içeriğinde jojoba yağı bulunmaktadır.

Kokusuz ve akmayan mumlar, deri, oto ve yer cilalarında, makine parçalarının yağlanmasında da kullanılan jojoba yağından; otomatik transmisyon, kâğıt kaplama, elektrik izolasyonunda, karbon kağıdı, vernik, tekstil, boyalar, lastikler, yer muşambası imali olmak üzere çok değişik alanlarda yararlanılmaktadır (Verbanic, 1986). Jojoba yağı içerdiği %20-30 protein ile yüksek nitrojen gübresi ve hayvan yemi olarak da kullanımının yanında; farmakolojide tetrasilin ile penisilin imalatında köpüklenmeyi engelleyici madde olarak da kullanılmaktadır. Antibiyotik biyosentezini artıran jojoba yağının balina yağında olduğu gibi yüksek verimli penisilin elde edilmesine imkân verdiğini yapılan çalışmalar göstermiştir. Aynı durum tetrasilin üretiminde de söz konusudur. Jojoba yağı ile kaplanmış penisilinler veya hidrojenize edilmiş jojoba yağı mide özsuyunda inaktiv olmaktan korunup sistem içinde asimile edildiğinden penisilin absorpsiyonunu kolaylaştırmaktadır.

Myristik asit ihtiva eden pek çok bitki, eklem romatizması ve yaralanmalar sonucunda oluşan şişkinlik ve iltihaplanmanın tedavisinde

kullanılmaktadır. Jojoba da myristik asit içerdiğinden bu amaçla kullanılan bir bitkidir. Jojoba yağının yiyecek olarak kullanılması insan sindirim sisteminde mumsu maddelerinin kullanılamamasından ötürü uygun görülmemiştir (Duke, 1983).

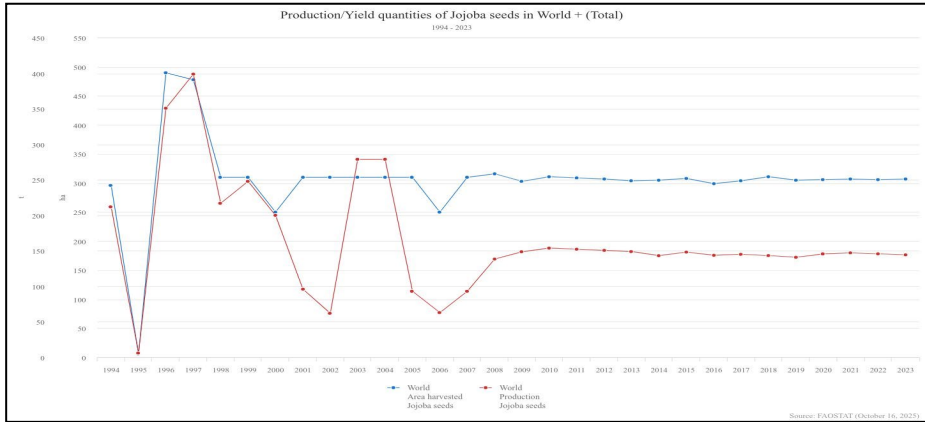
9. JOJOBA YAĞININ ÖZELLİKLERİ

Renksiz ve kokusuz, sıvı mum şeklinde olan jojoba yağının üstün fiziksel ve kimyasal özellikleri vardır (Ayanoğlu, 2001). Uzun düz zincirli yağ asitleri ve alkollerden ve yüksek sayıda karbon içerdiğinden diğer bitkilerindeki trigliserit içeren yağların aksine bir durum oluşturur. Jojoba yağının sperm balinası yağına benzer özellik göstermesi de bu kimyasal yapısından dolayıdır (Naqvi ve Ting, 1990).

10. DÜNYA JOJOBA ÜRETİMİ

Günümüz dünyasında kullanım alanlarının fazla oluşundan ötürü Amerika, Japonya, Avrupa ülkeleri ve İsrail jojoba yetiştiriciliğinde ilk sıralarda yer olmaktadır.

Jojoba yetiştiricileri Kaliforniya’da, 1972 yılında, jojoba yetiştiricileri derneği adında bir dernek kurarak, Meksika’da ve Japonya tarım arazi satın alıp burada üretimden elde ettikleri ürünleri ülkelerine göndermektedirler. Günümüzde jojoba tohumu üretimi FAO istatistiklerine göre (Şekil 5); 307 ha alanda 144.3 ton olarak gerçekleştirmekte ve bu da yaklaşık 471 kg/ha’lık verime denk gelmektedir (Anonim, 2025c).



Şekil 5. Dünyada jojoba tohumu üretiminin yıllara göre değişimi

11. ÜLKEMİZDE JOJOBA ÇALIŞMALARI

Ülkemizde jojoba ile ilgili çalışmalar çok yenidir. 1981 yılında Adana’da bir jojoba bahçesine sahip olan ve jojobanın ülkemizde yaygınlaşması için uzun yıllar çalışan Dinkçioğlu’dur ve aynı zamanda derneğin üretici bazlı ilk üyesidir (İştar, 1984). İlk bilimsel çalışma TÜBİTAK desteği ile Çukurova Üniversitesi tarafından 1993 tarafından yapılmış ve Adana, Birecik ve Antalya şartlarında jojoba yetiştirme olanakları ve adaptasyonu ile başlanmıştır (Ergenoğlu ve ark., 1993).

Adana ve Antalya yapılan denemelerden olumlu sonuçlar alınmasıyla birlikte Adıyaman, Yalova, Denizli, İzmir ve Mersin’de jojoba ekimine başlanmıştır. Tohumundan elde edilen yağa, özellikle Amerikalı ve İsrailli firmalar ilgi göstermektedir (Ayanoğlu, 2001).

Türkiye’de yapılacak çalışmalar sonucunda jojoba ekiminin yaygınlaştırılması ile birlikte ekonomiye büyük katkı sağlayacağı beklenmelidir (Ülger ve ark., 2002).

Jojoba yağı halen ithal edildiğinden yetiştiriciliğinin yapılarak yağ sıkım fabrikalarında yağının üretilmesi ile ve ülkemiz ihtiyacı karşılanabilir (Akdeşir ve Ülger, 2002). Böylelikle hem dış ticaret açığının azaltılmasına bir nebze katkı sunacağı hem de yetiştiricilerimiz için bir gelir kapısı olabileceği değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

- Akdeşir, Ö. & Ülger, S. (2002). Türkiye’de jojoba yetiştiriciliğinin bugünkü durumu ve geliştirme olanaklarının araştırılması. *Derim*, 19(2), 9-15.
- Anonim, (1985). Jojoba new-crop for arid lands new material for Industry. National Academy Press, Washington D.C., pp: 102.
- Anonim, (2025a). Wikipedia. Jojoba1343.JPG (3072×2304), (Erişim Tarihi: 20.10.2025)
- Anonim, (2025b). comptoirdeshuiles.com/en/blogs/le-blog-comptoir-des-huiles/zoomsur-la-plante-exceptionnelle-de-l-huile-de-jojoba, (Erişim Tarihi: 20.10.2025).
- Anonim, (2025c). FAO. FAOSTAT (Erişim tarihi: 11.10.2025)
- Ayanoğlu, F. (2001). Jojoba ve Türkiye’de yetiştirilebilme olanakları jojoba yağı kullanım alanları ve ekonomik önemi. *Anadolu J. of AARI*, 11(1), 103-112.
- Carnegie, E.J. & Purcell, M. (1988). Evaluation of jojoba harvesting systems. VII. International Conferance on Jojoba and Its Uses. American Oil Chemist Society, Chanpaing IL. (1988), pp:123-132.
- Coates, W. & Lorenzen, B. (1988). Ground Harvesting Of Jojoba. Proc. 7th. Seventh Int. Conf On Jojoba Its Uses (Ed, A. R. Baldwin), 117-122.
- Duke, J.A. (1983). Jojoba. A Handbook For Energy Crops. (Unpublished).
- Dunstone, R.L. (1986). Jojoba a crop for semi-arid zones. Span, pp:102-104.
- Dunstone, R.L. & Begg, J.E. (1983). Jojoba. A Potential Crop For Australia. The Aust. Inst. Agric. Sci., 51-59.
- Erçek, K. (2022). Jojoba Yetiştiriciliği. P.K. 27 Erdemli-Mersin. www.alata.gov.tr.
- Ergenoğlu, F., Tangolar, S., Oruçoğlu, H. & Kara, N. (1993). *Güney Anadolu bölgesinde jojoba bitkisinin yetiştirilme olanaklarının araştırılması*. TÜBİTAK, TOAG:-619
- Gentry, H.S. (1958). The Natural History of Jojoba (*Simmondsia chinensis* L.) And Its Oultural Aspects. *Economic Botany*, 12(3), 261-295.
- İştar, A. (1984). Harika bitki Jojoba. Bilim ve Teknik, Ekim,1984, s:30-33. Ankara.
- Low, B.C. & Hackett, P.W. (1981). Vegetative Propagation Of Jojoba. *California Agriculture*, 35(3-4), 12-13.

- Naqvi, H.H. & Ting, I.P. (1990). Jojoba: A liquid wax producer from American Desert. *Advences İn New Crops*. (Editors: J. Janick & J. E. Simon) Timber Press, Portland, 247-251.
- Palzkill, D.A. & Dennis, R.E. (1981). Production Of Jojoba in Arizona. Agricultural Experiment Station Cooperative Extension Service Source No: 81132, October, Tucson, Arizona, 12 Pp.
- Thomson, P.H. (1982). Jojoba Horticulture. Jojoba Handbook, No: 82-85667, 162 Pp.
- Ülger, S., Akdeşir, Ö. & Baktır, İ. (2002). Selection of promising jojoba (*simmondsia chinensis* Link Schneider) types in term of yield and oil content. *Turk J. Agric. For.*, 26(2002), 319-322.
- Wardlaw, I.F., Begg, J.E., Bagnall, D. & Dunstone, R.L. (1983). Jojoba temperature adaptation in relation to growth and leaf function. *Australion J. of P.Physiology* 10 pp:299-312.
- Verbanic, C.J. (1986). Jojoba: Answer to sperm whale. *Chemical Business*, August, 30-32.
- Yermanos, D.M. (1979). Jojoba: a crop where time has come. *California Agriculture*, 33(7-8), 4-8.

BÖLÜM 8

SÜRDÜRÜLEBİLİR ÖRTÜ ALTI ÜRETİMDE ZARARLI BÖCEKLERLE BİYOLOJİK MÜCADELE

Doç. Dr. Evin POLAT AKKÖPRÜ^{1*}
Ziraat Yük. Müh. Melek AĞIRTMİŞ²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18114477>

¹ Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Van, Türkiye.
evinpolat@yyu.edu.tr Orcid: 0000-0002-6471-6652

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Van, Türkiye.
mr.agirtmis@gmail.com Orcid: 0000-0002-6786-1724

*Sorumlu yazar: evinpolat@yyu.edu.tr

1. GİRİŞ

Tarımsal üretim, insanlığın yerleşik hayata geçişinden itibaren sadece gıda arzını değil, ekonomik kalkınma, toplumsal refah ve çevresel sürdürülebilirliği de doğrudan etkileyen çok boyutlu bir sistem hâline gelmiştir. Son yüzyılda artan dünya nüfusu, iklim değişikliği, tarım alanlarının daralması ve doğal kaynakların giderek azalması; tarımsal üretimde verim artışının ekosistem bütünlüğü korunarak sağlanması zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır (Kılınçer ve ark., 2010; IPBES, 2019; FAO, 2023). Bu süreçte yoğun kimyasal girdilere dayalı üretim modeli kısa vadede ürün artışı sağlasa da uzun vadede toprak sağlığının bozulması, su kaynaklarının kirlenmesi ve tarımsal biyolojik çeşitliliğin azalması gibi ciddi çevresel sorunlara yol açmıştır (Tilman ve ark., 2017; Pretty ve ark., 2018).

Tarımsal üretimde zararlı organizmalar; verim ve kalite kayıplarının en önemli nedenlerinden biri olup, küresel ölçekte ürün kayıplarının %30'dan fazlasından sorumlu tutulmaktadır (Savary ve ark., 2019). Özellikle örtü altı üretim sistemlerinde uygun mikroklimatik koşullar, zararlı popülasyonlarının yıl boyu aktif kalmasına ve hızlı çoğalmasına olanak sağlamaktadır. Bu durum, kimyasal pestisitlere olan bağımlılığı artırmış; ancak bilinçsiz ve yoğun insektisit kullanımı sonucunda zararlı türlerde yaygın direnç gelişimi tetiklenmiş hedef dışı organizmalar baskılanmış ve gıda ürünlerinde kalıntı sorunu derinleşmiştir (Kılınçer ve ark., 2010; Sparks ve Nauen, 2015; Bass ve ark., 2014).

Kimyasal mücadeleye dayalı zararlı yönetimi anlayışının sürdürülebilir olmadığı artık bilimsel olarak netlik kazanmış olup, küresel ölçekte entegre, çevre dostu ve biyolojik temelli mücadele stratejilerine yönelim hız kazanmıştır. Biyolojik mücadele, zararlı organizmaların doğal düşmanları aracılığıyla baskı altına alınmasını esas alan ekolojik temelli bir yöntem olarak, entegre zararlı yönetiminin (IPM) merkezinde yer almaktadır (van Lenteren ve ark., 2018). Doğal düşmanların kullanımı yoluyla zararlı popülasyonlarının düzenlenmesi hem direnç gelişimini yavaşlatmakta hem de agro-ekosistemlerin kendi kendini düzenleme kapasitesini güçlendirmektedir (Hajek ve Eilenberg, 2018).

Günümüzde biyolojik mücadele yalnızca alternatif bir yöntem olarak değil, sürdürülebilir tarım sistemlerinin vazgeçilmez bir bileşeni olarak değerlendirilmektedir. Özellikle sera üretiminde biyolojik mücadele

uygulamaları, kimyasal kalıntı riskinin azaltılması, ihracat pazarlarına erişimin kolaylaştırılması ve tüketici sağlığının korunması açısından stratejik bir önem kazanmıştır (Bale ve ark., 2008). Türkiye’de biyolojik mücadele uygulamalarına yönelik artan politik destekler, yerli üretim kapasitesindeki gelişmeler ve üretici farkındalığındaki yükseliş, bu yöntemin örtü altı tarımda yaygınlaşmasını hızlandırmaktadır. Bu bölümde biyolojik mücadelenin kuramsal temelleri, örtü altı üretim sistemlerindeki uygulama biçimleri, Türkiye’deki gelişim süreci ve karşılaşılan sorunlar ele alınmakta; güncel literatür ışığında biyolojik mücadelenin sürdürülebilir tarımsal üretimde neden vazgeçilmez bir strateji olduğu tartışılmaktadır.

2. BİYOLOJİK MÜCADELE

Biyolojik mücadele, tarımsal üretimde ekonomik kayıplara neden olan zararlı organizmaların, doğal düşmanları aracılığıyla baskı altında tutulmasını esas alan ekolojik temelli bir mücadele yöntemidir. Bu yaklaşım; predatörler, parazitoitler ve entomopatojen mikroorganizmalar gibi doğal kontrol ajanlarının hedef zararlı popülasyonları üzerinde düzenleyici rol üstlenmesine dayanır (Hajek ve Eilenberg, 2018; van Lenteren ve ark., 2018). Agroekosistemlerde türler arası etkileşimler sayesinde doğal denge mekanizmaları işlerlik kazanmakta; besin ağları içerisinde yer alan yararlı organizmalar zararlı popülasyonlarının aşırı artışı sınırlayan temel unsurlar olarak öne çıkmaktadır (Altieri ve Nicholls, 2004). Biyolojik mücadele, doğal süreçlere dayansa da tarımsal uygulamalarda “doğal biyolojik mücadele” ve “uygulamalı biyolojik mücadele” olmak üzere iki temel kavram çerçevesinde ele alınmaktadır. Doğal biyolojik mücadele, insan müdahalesi olmaksızın ekosistem içerisinde yer alan doğal düşman–zararlı etkileşimleri sonucu ortaya çıkan sınırlandırma mekanizmalarını ifade ederken; uygulamalı biyolojik mücadele, doğal düşmanların planlı üretimi, salımı ve desteklenmesi yoluyla zararlıların ekonomik zarar eşiğinin altında tutulmasını hedefleyen kontrollü uygulamaları kapsamaktadır (Van den Bosch ve ark., 1982; Gurr ve ark., 2017).

Biyolojik mücadelenin tarihsel kökenleri insanlık tarihi kadar eskidir. Antik Çin’de turuncgil bahçelerinde zararlılara karşı karınca kolonilerinin kullanıldığı; Eski Mısır’da depolardaki kemirgenlere karşı kedilerin bilinçli olarak teşvik edildiği bilinmektedir. Ancak modern anlamda biyolojik mücadelenin bilimsel bir disiplin hâline gelmesi, 19. yüzyılın sonlarına dayanır.

Bu bağlamda turunçgil unlu bitine karşı *Rodolia cardinalis*'in Kaliforniya'ya getirilerek başarıyla uygulanması, biyolojik mücadelenin kontrollü tarımsal yönetim aracı olarak kabul edilmesinde tarihsel bir dönüm noktası olmuştur (DeBach ve Rosen, 1991). Günümüzde biyolojik mücadele, entegre zararlı yönetimi (IPM) yaklaşımının temel bileşenlerinden biri olarak değerlendirilmekte olup, yalnızca çevre dostu bir alternatif değil; aynı zamanda uzun vadeli verimlilik, direnç yönetimi ve gıda güvenliği açısından vazgeçilmez bir strateji olarak kabul edilmektedir (Bale ve ark., 2008). Kimyasal mücadeleye dayalı sistemlerden biyolojik temelli yaklaşımlara yönelim; pestisit kalıntılarının azaltılması, hedef dışı organizmaların korunması ve agro-ekosistem direncinin artırılması açısından stratejik önem taşımaktadır.

2.1. Türkiye’de Biyolojik Mücadele Politikalarının Gelişimi

Türkiye’de gıda güvenirliliği, temel bir yaşam ve beslenme hakkı olarak kabul edilmekte olup, güvenilir gıdaya erişimi sağlamak amacıyla Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından son yirmi yılda önemli düzenlemeler hayata geçirilmiştir. Bu yenilikçi politikalar, özellikle pestisit kalıntılarının azaltılması, sürdürülebilir mücadele yöntemlerinin yaygınlaştırılması ve biyolojik mücadelenin kurumsallaştırılmasına yönelik önemli ilerlemeler sağlamıştır (Anonim, 2022). 2002 yılında taze meyve ve sebzelerde kalıntı durumunu izlemek amacıyla Pestisit Kalıntı İzleme Programı başlatılmış ve aynı yıl örtü altı alanlarda ilk biyolojik mücadele denemeleri uygulanmıştır (Anonim, 2002). 2005 yılında Bitki Sağlığında Entegre Mücadele Projesi yürürlüğe girmiş ve Avrupa Birliği uyum süreci kapsamında tarım alanındaki müzakerelere başlanmıştır. Aynı yıl, turunçgil zararlılarına karşı biyolojik mücadele ajanlarının özel sektörce üretimi teşvik edilmiştir (Anonim, 2005). 2006 yılında Hasat Sonrası Kalıntı Denetimi uygulamasına geçilmiş, zeytin sineği mücadelesi hariç uçakla mücadele kaldırılarak biyolojik yöntemlerin etkinliği artırılmıştır (Anonim, 2006). 2008 yılında biyolojik mücadele etmenlerinin ruhsatlandırılmasına ilişkin tebliğ yayımlanmış; aynı yıl Üretici Kayıt Defteri zorunluluğu ve Bitki Koruma Ürünleri (BKÜ) “Bayilik Sınavı” uygulaması başlamıştır (Anonim, 2008). 2009 yılında Reçeteli BKÜ Satışı Yönetmeliği yürürlüğe girmiş ve 10 biyolojik mücadele etmenine ilk ithal ruhsatları verilmiştir (Anonim, 2009). 2010 yılında yayımlanan 5996 sayılı Kanun, bitki sağlığı ve gıda güvenirliliğinde yapısal bir dönüm noktası

oluşturmuş; aynı yıl biyolojik ve biyoteknik mücadele destekleri başlatılmış, Entegre ve Kontrollü Ürün Yönetimi (EKÜY) projesi hayata geçirilmiş ve uygulayıcıların sertifikalandırılması zorunlu hâle getirilmiştir. Ayrıca domates güvesine karşı kitlesel faydalı böcek üretimi için özel sektöre ilk destek sağlanmıştır (Anonim, 2010a; Anonim, 2010b). 2011 yılında Bitki Pasaportu Sistemi yürürlüğe girmiş, 2012’de Bakanlık stratejik planında biyolojik mücadeleye ilk kez yer verilmiş ve Zirai Mücadele faaliyetlerinin %25’inin biyolojik mücadele yöntemleriyle yürütülmesi hedeflenmiştir. Aynı yıl Hasat Öncesi Pestisit Denetimi programı uygulanmaya başlamış ve Ankara ile Isparta’da biyolojik mücadele merkezleri faaliyete geçmiştir (Anonim, 2011; Anonim, 2012). 2014 yılında Örtü Altı Kayıt Sistemi devreye alınmış, 2015’te özel sektör ilk kez faydalı böcek ve bioarı ihracatı gerçekleştirmiştir. 2016’dan itibaren BKÜ ithalat işlemleri dijitalleşmiş ve 2018’de BKÜ Kare Kod İzleme Sistemi ile üretimden tüketime kadar izlenebilirlik sağlanmıştır. 2008–2021 yılları arasında çevre ve insan sağlığı açısından riskli toplam 209 aktif madde yasaklanmış, 2022 itibarıyla 7 aktif maddenin daha kullanımının sonlandırılması planlanmıştır (Anonim, 2018; Anonim, 2021).

Bu gelişmeler kapsamında Türkiye’de yapılan tarım üretiminde kimyasal girdinin azaltılması ve biyolojik mücadelenin teşvik edilmesi ile ilgili politikaların ilerlediği görülmektedir. Bu bağlamda biyolojik mücadele etmenlerinin kullanımının arttırılacağı da düşünülmektedir.

3. BİYOLOJİK MÜCADELE UYGULAMALARI: ÖRTÜ ALTI SİSTEMLERDE ENTEGRASYON

Türkiye’de örtü altı sebze yetiştiriciliği ağırlıklı olarak Batı Akdeniz Bölgesi (Antalya, Mersin, Adana)’nde yoğunlaşmakta olup, zararlı yönetimi bu üretim sistemlerinin sürdürülebilirliği açısından kritik bir unsur hâline gelmiştir. Yüksek sıcaklık, düşük hava sirkülasyonu, yıl boyu üretim sürekliliği ve yoğun bitki popülasyonları; zararlı türlerin kısa sürede yüksek yoğunluklara ulaşmasına ve kimyasal mücadeleye bağımlılığın artmasına neden olmaktadır (Anonim, 2021; FAO, 2023).

Örtü altı üretimde başlıca zararlılar arasında Pamuk beyazsineği (*Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae), yaprak bitleri (*Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae), *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae)), iki noktalı kırmızı örümcek (*Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae)) ve Domates

güvesi (*Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae)) yer almaktadır. Bunlara ek olarak, özellikle virüs vektörü olan tripsler (*Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae)), yaprak galeri sinekleri (*Liriomyza* spp. (Diptera: Agromyzidae)) ve bazı unlu bit türleri (*Pseudococcus* spp. (Hemiptera: Pseudococcidae)) de örtü altı üretimde yüksek ekonomik öneme sahip hedeflerdir (Kahya ve Yayla, 2023). Türkiye'nin Akdeniz ve Ege bölgelerindeki örtü altı alanlarında yapılan surveylerde, bu zararlı türlerin ve ilişkili doğal düşman faunasının varlığı ile popülasyon yoğunlukları geçmişten günümüze detaylı olarak ortaya konulmuştur (Ulubilir ve Yabaş, 1996; Yaşarakıncı ve Hıncal, 1996). Bu türlerin uygun koşullar altında kısa sürede ekonomik zarar eşiğinin üzerine çıkabildiği ve yoğun kimyasal uygulamalara maruz kalan popülasyonlarda insektisit direncinin hızla geliştiği bildirilmektedir (Bass ve ark., 2014; Sparks ve Nauen, 2015). Özellikle *B. tabaci* MED biyotipinin Batı Akdeniz seralarında yaygınlaşmasıyla birlikte neonicotinoidler, piretroidler ve IGR grubundaki etken maddelere karşı yüksek düzeyde direnç saptanmış; bu durum biyolojik mücadelenin entegre zararlı yönetiminde zorunlu bir bileşen hâline geldiğini açıkça ortaya koymuştur (Horowitz ve ark., 2020).

Türkiye'de örtü altı koşullarında yaygın olarak kullanılan biyolojik mücadele ajanları arasında parazitoitler (*Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae), *Eretmocerus eremicus* (Hymenoptera: Aphelinidae) *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Braconidae) *Aphidius matricariae* – Hymenoptera: Braconidae), predatör böcekler (Coccinellidae – Coleoptera: Coccinellidae; Chrysopidae – Neuroptera: Chrysopidae; Syrphidae – Diptera: Syrphidae) ve predatör akarlar (*Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae), *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae), *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae)) yer almaktadır (Topakcı ve Keçeci, 2017). Özellikle *P. persimilis*, kırmızı örümceklere karşı yüksek predasyon kapasitesi ve hızlı çoğalma potansiyeli nedeniyle seralarda en yaygın kullanılan türlerden biridir. *A. swirskii* ise beyazsinek, trips ve bazı afid türlerine karşı gösterdiği geniş spektrumlu etkinlik ile son yıllarda stratejik bir biyolojik ajan olarak öne çıkmaktadır (Bale ve ark., 2008; Topakcı ve Keçeci, 2017; van Lenteren ve ark., 2018). Domates güvesi (*T. absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae)) ile mücadelede predatör böcekler ve mikrobiyal biyopestisitler önemli rol oynamaktadır. *Nesidiocoris tenuis* (Hemiptera: Miridae) ve *Macrolophus pygmaeus* (Hemiptera: Miridae),

sera domates alanlarında zararlı populasyonlarını baskılayan temel predatör türler arasında yer almakta; ancak özellikle yüksek populasyon yoğunluklarında bitkide emgi zararına neden olabilecekleri için dikkatli yönetilmeleri gerektiği bildirilmektedir (Desneux ve ark., 2010). Yumurta parazitoiti *Trichogramma achaeae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) Avrupa ülkelerinde yaygın olarak kullanılırken, Türkiye’de de yerli izolatlara yönelik çalışmalar sürdürülmektedir.

Örtü altı üretim sistemlerinde zararlı faunasının yalnızca birkaç ana türle sınırlı olmadığı; tripsler (*Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae), *Thrips tabaci* (Thysanoptera: Thripidae), yaprak galeri sinekleri (*Liriomyza* spp. (Diptera: Agromyzidae), yaprak pireleri (*Empoasca* spp. (Hemiptera: Cicadellidae), toprak kökenli zararlılar (Sciarid sinekleri – *Sciaridae* spp., (Diptera: Sciaridae), tel kurtları ve nematodlar (*Meloidogyne* spp. (Nematoda: Meloidogynidae)) gibi çok sayıda organizmanın üretim sürecini doğrudan etkilediği bildirilmektedir (Desneux ve ark., 2010; FAO, 2023). Bu geniş zararlı spektrumuna karşı biyolojik mücadelenin etkinliği; yalnızca tek bir doğal düşmana değil, çoklu tür kombinasyonlarının entegrasyonuna dayanmaktadır. Örneğin tripslere karşı *Orius laevigatus* (Hemiptera: Anthocoridae) beyazsinek ve afitlere karşı *Delphastus catalinae* (Coleoptera: Coccinellidae) ve *Adalia bipunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) yaprak galeri sineklerine karşı *Diglyphus isaea* (Hymenoptera: Eulophidae) toprak zararlılarına karşı ise entomopatojen nematodlar (*Steinernema feltiae* (Nematoda: Steinernematidae), *Heterorhabditis bacteriophora* (Nematoda: Heterorhabditidae) yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca predatör akarlar *Stratiolaelaps scimitus* (*Hypoaspis miles*) (Acari: Laelapidae), fungus sivrisineklerinin larvalarına karşı sera ortamlarında başarılı sonuçlar vermektedir (van Lenteren ve ark., 2018; Hajek ve Eilenberg, 2018). Son yıllarda yapılan çalışmalar, tür zenginliği yüksek biyolojik ajan kombinasyonlarının zararlı baskısını daha kalıcı biçimde sınırladığını ve ekosistem dayanıklılığını artırdığını göstermektedir (Bale ve ark., 2019; Gurr ve ark., 2017). Bu nedenle modern örtü altı üretim sistemlerinde biyolojik mücadele, tek türlü uygulamalardan ziyade fonksiyonel doğal düşman topluluklarının yönetilmesi yaklaşımı çerçevesinde ele alınmaktadır.

Entomopatojen funguslar (*Beauveria bassiana*, *Isaria fumosorosea*, *Metarhizium anisopliae*) biyolojik mücadelenin mikrobiyal boyutunu

oluşturmaktadır. Türkiye’de yapılan çalışmalarda, yerli fungus izolatlarının *T. absoluta* ve afidlere karşı mücadelede yüksek potansiyele sahip olduğu ve başarılı sonuçlar verdiği bildirilmiştir (Topakcı ve Keçeci, 2017). Yerel izolatların biyolojik etkinliğinin yüksek olması; adaptasyon üstünlüğü, daha düşük çevresel risk ve sürdürülebilir kullanım açısından stratejik önem taşımaktadır (Eilenberg ve ark., 2001). Biyolojik mücadelenin Türkiye’de yaygınlaşmasını sınırlandıran başlıca faktörler arasında üretici bilgi eksikliği, uygunsuz uygulama zamanlaması, kontrolsüz kimyasal kullanımının devam etmesi ve bazı biyolojik ajanların sera koşullarına adaptasyon sorunları yer almaktadır. Buna karşın son yıllarda IPM programlarının yaygınlaştırılması, üniversite–özel sektör iş birlikleri ve devlet destekleri sayesinde biyolojik mücadele uygulamaları sistematik bir yapıya kavuşmuştur. Özellikle Antalya bölgesinde biyoteknik ve biyolojik ürün kullanımının artmasının kimyasal pestisit tüketimini %20–40 oranında azalttığı bildirilmektedir (Anonim, 2021).

Çizelge 1. Örtü altı zararlısına karşılık kullanılan doğal düşmanlar gösterilmiştir.

Örtü Altı Zararlıları	Doğal Düşmanlar
<i>Tuta absoluta</i> (Meyrick) (Lep.: Gelechiidae)	<i>Nesidiocoris tenuis</i> , <i>Trichogramma euproctidis</i> (Girault), <i>Macrolophus costalis</i> (Fieber)
<i>Bemisia tabaci</i> (Hemiptera: Aleyrodidae) (Genn.), <i>Trialeurodes vaporariorum</i> (Westw.) (Hem.: Aleyrodidae)	<i>Deraecoris pallens</i> (Reut.), <i>Encarsia formosa</i> (Gahan.), <i>Eretmocerus mundus</i> (Mercet)
<i>Liriomyza trifolii</i> (Burgess) (Dip.: Agromyzidae)	<i>Diglyphus isaea</i> (Walker), <i>Chrysonomyia formosa</i> (Westw.), <i>Hemiptarsenus varicornis</i> (Girault)
<i>Myzus persicae</i> (Hemiptera: Aphididae) (Sulz.), <i>Aphis gossypii</i> (Glov.), <i>A. fabae</i> (Scop.) (Hem.: Aphididae)	<i>Coccinella septempunctata</i> L., <i>Chrysoperla carnea</i> (Steph.), <i>Aphelinus mali</i> (Halt.), <i>Erynia neoaphidis</i> (Remaud et Hennb.)
<i>Tetranychus urticae</i> Koch. (Acarina: Tetranychidae)	<i>Phytoseiulus persimilis</i> , <i>Therodiplosis persicae</i> (Kieffer), <i>Deraeocoris serenus</i> (D.Sc.)
<i>Thrips tabaci</i> Lind., <i>Frankliniella occidentalis</i> Pergande. (Thys: Thripidae)	<i>Orius laevigatus</i> (Fieber), <i>Orius niger</i> (Wolff), <i>Aeolothrips collaris</i> (Priesner), <i>Amblyseius messor</i> (Wains-tein)
<i>Meloidogyne</i> spp. (Goeldi)	<i>Trichoderma harzianum</i> (Rifai), <i>Arthrobotrys conoides</i> (Drechsler), <i>Pasteuria penetrans</i> (Thorne)

Tüm bu bulgular ışığında Türkiye’de örtü altı sebze yetiştiriciliğinde biyolojik mücadele; kimyasal girdilerin azaltılması, direnç gelişiminin

yavaşlatılması, ürün güvenliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından vazgeçilmez bir araçtır. Gelecek dönemde yerli biyolojik ajan üretiminin artırılması, direnç haritalarının oluşturulması, IPM eğitimlerinin yaygınlaştırılması ve biyolojik–biyoteknik yöntemlerin birlikte kullanıldığı stratejilerin desteklenmesi önerilmektedir.

4. SONUÇ

Korumalı tarım sistemlerinde biyolojik mücadele, sürdürülebilir bitki korumanın temel bileşenlerinden biri hâline gelmiştir ve gelecekte öneminin daha da artacağı öngörülmektedir. Kimyasal pestisit kullanımının çevresel riskleri, kalıntı sorunları ve zararlı popülasyonlarında direnç gelişimine yol açması, biyolojik mücadeleyi ekolojik açıdan daha güvenilir bir alternatif olarak öne çıkarmaktadır. Doğal düşmanların kullanılması, zararlı organizmaların baskılanmasında direnç gelişimi riskini azaltarak uzun vadeli sürdürülebilirlik sağlar.

Gıda güvenliği açısından değerlendirildiğinde, biyolojik mücadele uygulamaları ürünlerde kimyasal kalıntıların azaltılmasına katkı sunmakta; bu durum hem tüketici sağlığını korumakta hem de ürün kalitesini yükseltmektedir. Toplumda artan çevre bilinci ve organik üretime yönelik talep, biyolojik mücadele yöntemlerinin kabulünü ve uygulama alanlarını genişletmektedir.

Ayrıca, entomopatojenler, yararlı böcekler ve diğer biyolojik ajanlara yönelik araştırmalar ile yeni teknolojik geliştirmeler, biyolojik mücadelenin etkinliğini artırarak bu yöntemlerin daha geniş ölçekte uygulanmasını mümkün kılmaktadır. Bu ilerlemeler, korumalı tarım alanlarında entegre ve çevre dostu zararlı yönetimi yaklaşımlarının yaygınlaşmasında önemli bir potansiyele sahiptir.

Sonuç olarak, biyolojik mücadele uygulamalarının yaygınlaştırılması; çevresel risklerin azaltılması, doğal dengenin korunması, tüketici sağlığının güvence altına alınması ve tarımsal üretimde sürdürülebilirliğin sağlanması açısından kritik önem taşımaktadır. Korumalı tarımda biyolojik mücadelenin daha geniş ölçekte benimsenmesi, hem ekosistem temelli yönetim stratejilerinin güçlenmesine hem de tarıma duyulan güvenin artmasına önemli katkılar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Altieri, M.A. & Nicholls, C.I. (2004). *Biodiversity and pest management in agroecosystems*. Routledge.
- Anonim. (2002). *Taze meyve ve sebzelerde pestisit kalıntı izleme programı ve uygulama talimatı*. T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Koruma ve Kontrol Genel Müdürlüğü.
- Anonim. (2005). *Bitki sağlığında entegre mücadele projesi uygulama genelgesi*. T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Koruma ve Kontrol Genel Müdürlüğü.
- Anonim. (2006). *Hasat sonrası pestisit denetim programı ve kalıntı izleme planı*. T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Koruma ve Kontrol Genel Müdürlüğü.
- Anonim. (2008). *Biyolojik mücadele etmenlerinin ruhsatlandırılması, ithali, üretimi ve kullanımı hakkında tebliğ* (No: 2008/28). *T.C. Resmî Gazete* (11 Ekim 2008, Sayı: 27021).
- Anonim. (2009). *Bitki koruma ürünlerinin reçeteli satış usul ve esasları hakkında yönetmelik*. *T.C. Resmî Gazete* (12 Şubat 2009, Sayı: 27139).
- Anonim. (2010a). *Veteriner hizmetleri, bitki sağlığı, gıda ve yem kanunu* (Kanun No: 5996). *T.C. Resmî Gazete* (13 Haziran 2010, Sayı: 27610).
- Anonim. (2010b). *Bitkisel üretimde biyolojik ve/veya biyoteknik mücadele destekleme ödemesi uygulama tebliği* (No: 2010/58). *T.C. Resmî Gazete* (8 Aralık 2010, Sayı: 27779).
- Anonim. (2011). *Bitki pasaportu sistemi ve operatörlerin kayıt altına alınması hakkında yönetmelik*. *T.C. Resmî Gazete* (12 Ocak 2011, Sayı: 27813).
- Anonim. (2012). *T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı 2013–2017 stratejik planı*. Strateji Geliştirme Başkanlığı Yayınları.
- Anonim. (2021). *Bitki sağlığı ve karantina daire başkanlığı 2021 yılı faaliyet raporu ve değerlendirme toplantısı sonuçları*. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü.
- Anonim. (2022). *Örtüaltı Sebze Entegre Mücadele Teknik Talimatı*. Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü <https://www.tarimorman.gov.tr> (Erişim Tarihi: 5 Aralık 2023)
- Bale, J.S., van Lenteren, J.C. & Bigler, F. (2008). Biological control and sustainable food production. *Philosophical Transactions of the Royal*

- Society B: Biological Sciences*, 363(1492), 761–776.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2182>
- Bass, C., Denholm, I., Williamson, M.S. & Nauen, R. (2015). The global status of insect resistance to neonicotinoid insecticides. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 121, 78–87.
<https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2015.04.004>
- DeBach, P. & Rosen, D. (1991). *Biological control by natural enemies* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Desneux, N., Wajnberg, E., Wyckhuys, K.A.G., Burgio, G., Arpaia, S., Narváez-Vasquez, C.A., ... & Urbaneja, A. (2010). Biological invasion of European tomato crops by *Tuta absoluta*: Ecology, geographic expansion and prospects for biological control. *Journal of Pest Science*, 83(3), 197–215.
- Eilenberg, J., Hajek, A. & Lomer, C. (2001). Suggestions for unifying the terminology in biological control. *BioControl*, 46(4), 387–400.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). *The state of food and agriculture 2023: Revealing the true cost of food to transform agrifood systems*. FAO.
- Gurr, G. M., Lu, Z., Zheng, X., Xu, H., Zhu, P., Chen, G., Yao, X., Cheng, J., Zhu, Z., Catindig, J.L.A., Villareal, S., Van Chien, H., Cuong, L.Q., Channoo, C., Chengwattana, N., Lan, L.P., Hai, L.H., Chai, T.C. & Heong, K.L. (2017). Multi-country evidence that crop diversification promotes ecological intensification of agriculture. *Nature Plants*, 3, Article 17013.
- Hajek, A.E. & Eilenberg, J. (2018). *Natural enemies: An introduction to biological control* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Horowitz, A.R., Ghanim, M., Roditakis, E., Nauen, R. & Ishaaya, I. (2020). Insecticide resistance and its management in *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) species. *Journal of Pest Science*, 93(3), 893–910.
- IPBES. (2019). *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. IPBES Secretariat.
- Kahya, D. & Yayla, M. (2023). Dünya ve Türkiye’de biyolojik mücadelede faydalı böcek kullanımının tarihi ve gelişimi. In *Böcek ve nematodlarda*

- davranış şekilleri ve mücadele olanakları* (p. 390). Paradigma Akademi Yayınları.
- Kılınçer, N., Yiğit, A., Kazak, C., Er, M.K., Kurtuluş, A. & Uygun, N. (2010). Teoriden pratiğe zararlılarla biyolojik mücadele. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi*, 1(1), 15–60.
- Pretty, J., Benton, T.G., Bharucha, Z.P., Dicks, L.V., Flora, C.B., Godfray, H. C.J., Goulson, D., Hartley, S., Lampkin, N., Morris, C., Pierzynski, G., Prasad, P.V.V., Reganold, J.P., Rockström, J., Smith, P., Thorne, P. & Wratten, S. (2018). Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. *Nature Sustainability*, 1(8), 441–446.
- Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S.J., Esker, P., McRoberts, N. & Nelson, A. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology & Evolution*, 3(3), 430–439.
- Sparks, T.C. & Nauen, R. (2015). IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 121, 122–128.
- Tilman, D., Clark, M., Williams, D.R., Kimmel, K., Polasky, S. & Packer, C. (2017). Future threats to biodiversity and pathways to their prevention. *Nature*, 546(7656), 73–81.
- Topakcı, N. & Keçeci, M. (2017). Türkiye’de örtüaltında zararlılara karşı biyolojik mücadele uygulamalarının gelişimi: Araştırmadan pratiğe Antalya örneği. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi*, 8(2), 161–174.
- Ulubilir, A. & Yabaş, C. (1996). Akdeniz Bölgesi’nde örtü altında yetiştirilen sebzelerde görülen zararlı ve faydalı faunanın tespiti. *Türkiye Entomoloji Dergisi*, 20(3), 217–228.
- Van den Bosch, R., Messenger, P.S. & Gutierrez, A.P. (1982). *An introduction to biological control*. Springer.
- Van Lenteren, J.C., Bolckmans, K., Köhl, J., Ravensberg, W.J. & Urbaneja, A. (2018). Biological control using invertebrates and microorganisms: Plenty of new opportunities. *BioControl*, 63(1), 39–59.
- Yaşarakıncı, N. & Hıncal, P. (1996). İzmir’de örtüaltında yetiştirilen domateslerde bulunan ana zararlıların (*Trialeurodes vaporariorum* (Westw.), *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) Genn. ve *Liriomyza* spp.) populasyon gelişmesi üzerinde araştırmalar. In *Türkiye III. Entomoloji Kongresi Bildirileri* (pp. 24–28).

BÖLÜM 9

ÜZÜM YETİŞTİRİCİLİĞİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMIN YENİ YOLU; HİDROJELLERLE AKILLI SULAMA

Arş. Gör. Dr. Burcu ÇETİN¹

Dr. Öğr. Üyesi Nesrin KARACA SANYÜREK^{2*}

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18114509>

¹ Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Böl., Tunceli, Türkiye.
burcuaydogdu@munzur.edu.tr Orcid: 0000-0002-3309-1995

² Munzur Üniversitesi, Tunceli MYO, Kimya ve Kimyasal İşleme Tekno. Böl., Tunceli, Türkiye.
nkaraca@munzur.edu.tr Orcid: 0000-0003-3362-1973

*Sorumlu yazar: nkaraca@munzur.edu.tr

1. GİRİŞ

Küresel nüfus artışı, iklim değişikliği ve sürdürülebilir olmayan tarım uygulamaları nedeniyle su kaynakları üzerindeki baskı her geçen yıl artmaktadır. Tarım sektörü küresel ölçekteki tatlı suyun %70'inden fazlasını kullanmaktadır. Artan nüfusun gıda talebini karşılayabilmek için 2050 yılına kadar tarımsal üretimin %50, tarımsal su ihtiyacının ise %15 oranında artacağı öngörülmektedir; bu artış mevcut su kaynakları üzerindeki baskıyı daha da artırmaktadır (Foley ve ark., 2011). Dolayısıyla suyun etkin kullanımı, küresel gıda güvenliği açısından kritik bir öncelik hâline gelmiştir. Ancak artan sıcaklıklar, azalan yağışlar ve sıklaşan kuraklıklar gibi abiyotik stres faktörleri, tarımsal verimliliği azaltmakta ve günümüz tarım alanlarında çölleşmeyi hızlandırmaktadır (Chang ve ark., 2021; Ingrao ve ark., 2023).

Geleneksel sulama yöntemleri (damla sulama, mikro yayıcı sistemler), her ne kadar verimliliği artırsa da yüksek maliyetleri ve teknik bilgi gereksinimleri nedeniyle özellikle küçük ölçekli çiftçiler için uygulanabilirliği sınırlıdır (Abdelghafar ve ark., 2024). Ayrıca aşırı gübre ve pestisit kullanımı toprak sağlığını bozmakta, yeraltı ve yüzey sularında kirlenmeye yol açarak ekosistemleri tehdit etmektedir (Chang ve ark., 2021). Dolayısıyla çevresel etkileri en aza indiren sürdürülebilir tarım uygulamalarına öncelikli olarak ihtiyaç vardır.

Bu noktada, hidrojeller (özellikle süper emici polimerler, SAP), kuru ağırlıklarının yüzlerce katına kadar su emme ve kademeli olarak salma kapasiteleri sayesinde tarımda yenilikçi bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır.

Hidrojellerin toprak nemini artırma, sulama sıklığını azaltma, besin kaybını önleme ve ürün verimini iyileştirme potansiyelleri, onları hem geleneksel tarımda hem de akıllı sulama sistemlerinde değerli bir araç hâline getirmiştir (Elshafie ve Camele, 2021). Ayrıca, hidrojeller gübre ve pestisitlerin kontrollü salınımında taşıyıcı olarak işlev görerek hem kaynak kullanımını optimize etmekte hem de çevresel kirliliği azaltmaktadır (Wan Anuar ve ark., 2025).

Sonuç olarak hidrojeller modern tarımda yalnızca su tutma kapasitesiyle değil, aynı zamanda akıllı sulama, kontrollü besin salınımı ve hassas tarım uygulamalarına entegrasyonu ile ön plana çıkmaktadır. Bu derleme, hidrojellerin yapısı, sınıflandırılması, özellikleri ve tarımsal uygulamalarını

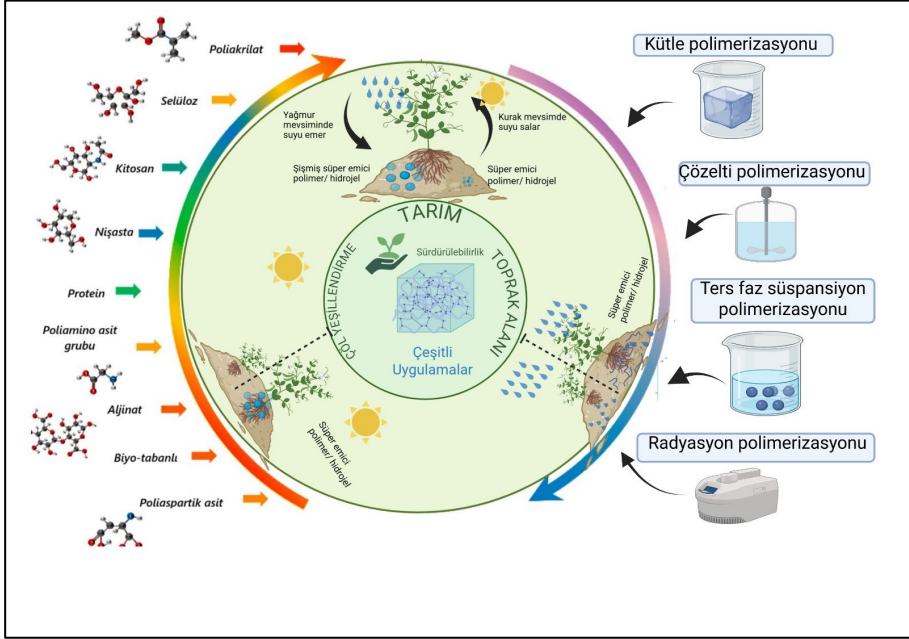
inceleyerek özellikle bağcılık açısından kullanım potansiyelini vurgulamayı amaçlamaktadır.

İklim değişikliği, hızlı nüfus artışı ve sürdürülebilir olmayan tarımsal uygulamalar küresel ölçekte kuraklık stresini artırmakta ve bu durum gıda güvenliği için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır (Ingrao ve ark., 2023). Kuraklık stresi, mevcut suyun talebi karşılayamaması ya da düşük su kalitesi nedeniyle kullanılamaması durumunda ortaya çıkmakta ve özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde tarımsal üretimi olumsuz etkilemektedir (Ahmadi ve ark., 2025). Kuraklık; bitkilerde stomaların kapanması, fotosentezin azalması ve oksidatif stres gibi fizyolojik değişikliklere yol açar. Aynı zamanda antioksidan savunma sistemleri ve strese yanıt veren genlerin etkinleşmesi gibi biyokimyasal ve moleküler adaptasyonları tetikler.

Bu sorunlara çözüm arayışında su kullanım verimliliğini artıran ve bitkilerin su kısıtlı koşullara dayanıklılığını geliştiren yöntemler önem taşımaktadır (Ali ve ark., 2020). Hidrojeller suyu ağırlıklarının yüzlerce katına kadar tutabilen ve kontrollü şekilde serbest bırakabilen üç boyutlu polimer ağ yapıları sayesinde toprak nemini artırma ve buharlaşma ile derin sızıntı kaynaklı su kayıplarını azaltma potansiyeli taşımaktadır (Abdallah, 2019) (Şekil 1). Bu özellikleri özellikle su tutma kapasitesi düşük olan kumlu topraklarda fayda sağlamaktadır (Banedjschafie ve Durner, 2015).

Yapılan çalışmalar, hidrojel katkılı topraklarda yetiştirilen bitkilerin daha yüksek biyokütle, iyileşmiş verime ve daha iyi kök gelişimine sahip olduğunu ortaya koymuştur (Saha ve ark., 2020). Bununla birlikte, hidrojellerin yüksek maliyeti ve çoğunun biyolojik olarak parçalanamayan sentetik polimerlerden üretilmiş olması, çevresel riskler açısından sınırlayıcı olmaktadır (Skrzypczak ve ark., 2020). Bu nedenle selüloz, kitosan ve nişasta gibi doğal polimerlerden biyobozunur hidrojellerin geliştirilmesine yönelik araştırmalar hız kazanmıştır (Chang ve Zhang, 2011).

Üzüm yetiştiriciliğinde suyun kritik rolü, yeni sulama teknolojileri ve polimer hidrojellere yönelik ilgiyi artırmış ve bu araçları ön plana çıkarmıştır. Bu bölümde, hidrojellerin üzüm tarımında kullanım potansiyeli ve sürdürülebilir tarıma katkıları incelenecektir.



Şekil 1. Süper emici polimer/hidrojellerin sınıflandırılması, hazırlanması ve uygulamaları (Orijinal).

Hidrojeller yalnızca su yönetiminde değil, aynı zamanda gübre ve pestisitlerin kontrollü salınımında da kullanılabilir (Tariq ve ark., 2023). Ayrıca sensörler ve otomatik sulama sistemleri gibi hassas tarım teknolojileriyle birleştirildiğinde, su ve besin yönetiminin daha etkin yapılmasına olanak sağlamaktadır (Agbna ve Zaidi, 2025). Küresel ölçekte artan su kıtlığı dikkate alındığında, hidrojellerin tarımsal sulamada önemli bir araç olduğu görülmekte; ancak yaygın kullanımı için teknik, ekonomik ve çevresel sorunların aşılması gerekmektedir (Becerra-Encinales ve ark., 2024).

2. BAHÇE BİTKİLERİNDE SULAMA YÖNETİMİ

Su bahçe bitkilerinin büyüme ve gelişiminde temel bir unsurdur. Fotosentez, solunum, mineral taşınımı ve metabolik reaksiyonların tamamı suyun varlığına bağlıdır. Özellikle meyve ve sebze gibi yüksek oranda su içeren ürünlerde, yeterli sulama ürün kalitesini doğrudan belirler. Ayrıca toprakta suyun varlığı, besin elementlerinin çözünürlüğünü ve kökler tarafından alınabilirliğini artırarak bitkinin beslenmesini destekler. Bu nedenle, bahçe bitkilerinde verimli bir üretim için suyun doğru yönetimi büyük önem taşır.

Günümüzde küresel iklim değişikliği, tarımsal üretimde başlıca kısıtlayıcı faktörlerden biri hâline gelmiştir. Artan sıcaklıklar, değişen yağış rejimleri ve sıklaşan kuraklık dönemleri, bahçe bitkilerinin suya erişimini zorlaştırmaktadır (FAO, 2020; Özdemir ve ark., 2024). Türkiye gibi yarı kurak iklim kuşağında yer alan bölgelerde, su kaynaklarının azalması sulama yönetimini daha kritik hâle getirmiştir (FAO, 2020). Bu koşullarda yanlış sulama uygulamaları, yalnızca verim kayıplarına değil, aynı zamanda toprak tuzluluğu ve organik madde kaybı gibi uzun vadeli çevresel sorunlara da yol açmaktadır (Mohanavelu ve ark., 2021).

Sulama yönetimi yalnızca bitki verimini değil, aynı zamanda ürün kalitesini ve sürdürülebilirliği de şekillendirmektedir (FAO, 2020; Pereira ve ark., 2012). Örneğin üzüm yetiştiriciliğinde, kontrollü kuraklık stresi uygulamaları fenolik bileşiklerin artışına ve şarap kalitesinin iyileşmesine katkı sağlamaktadır (Chaves ve ark., 2010). Sebzelerde düzenli ve dengeli sulama, ürün kalitesinin korunmasına ve besin değerinin iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır (Kapoor ve ark., 2022). Ayrıca, modern sulama tekniklerinin uygulanması, su kullanım etkinliğini artırarak doğal kaynakların korunmasına ve çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır (FAO, 2020). Dolayısıyla sulama yönetimi, verimlilik ile ekolojik denge arasında köprü kuran stratejik bir tarımsal uygulama olarak değerlendirilmektedir.

2.1. Sulama Stratejileri

Bahçe bitkilerinde sürdürülebilir üretim için en kritik konulardan biri sulama stratejileridir. Sulama, yalnızca bitkilerin büyüme ve gelişmesini desteklemekle kalmaz; aynı zamanda verim, kalite ve çevresel sürdürülebilirlik üzerinde doğrudan belirleyici bir etkidir. İklim değişikliği, su kaynaklarının giderek azalması ve tarımsal üretimin yoğunlaşması, üreticileri daha verimli ve yenilikçi sulama yöntemlerine yöneltmiştir (Lakhia ve ark., 2024).

Yüzey sulama ve yağmurlama sulama, uzun yıllardır bahçe bitkilerinde kullanılan geleneksel yöntemlerdir. Yüzey sulamada suyun doğrudan toprak yüzeyinden verilmesi, yüksek buharlaşma ve yüzey akışına yol açarak su kullanım etkinliğini azaltmaktadır (Marek ve ark., 2023; Muneer, 2022). Yağmurlama sulama ise homojen dağılım sağlasa da özellikle sıcak ve rüzgârlı bölgelerde yüksek su kayıpları ve enerji maliyetleri nedeniyle sınırlı verimliliğe sahiptir (Playán ve Mateos, 2006). Bu yöntemler, suyun bol olduğu dönemlerde

tercih edilse de günümüzün kıt su kaynakları bağlamında sürdürülebilir bulunmamaktadır.

Damla sulama, suyun doğrudan bitki kök bölgesine küçük damlalar halinde verilmesiyle yüzey akışını ve buharlaşmayı minimize eden, modern bir mikro sulama yöntemidir. Bu sistem, geleneksel yöntemlere göre %30–50 daha az su kullanımı sağlayarak su kullanım etkinliğini önemli ölçüde artırmaktadır (Lakhia ve ark., 2024; Yang ve ark., 2023). Ayrıca damla sulama, gübrelere doğrudan kök bölgesine verilmesine de olanak tanıdığı için “fertigasyon” uygulamalarıyla birleştiğinde hem su hem de besin kullanımını optimize eder. Yeraltı damla sulama (subsurface drip irrigation) teknikleri ise toprak yüzeyindeki buharlaşma kayıplarını neredeyse tamamen ortadan kaldırarak verimliliği daha da artırmaktadır (Yang ve ark., 2024).

Gelişen teknolojiyle birlikte, sulama stratejileri artık sadece mekanik sistemlerle sınırlı kalmamaktadır. IoT tabanlı akıllı sulama sistemleri, toprak nemi, hava durumu ve bitki fizyolojisi gibi parametreleri eşzamanlı olarak değerlendirerek sulama kararlarını otomatik hâle getirmektedir. Bu sistemler sayesinde su tüketiminde %30–50’ye varan tasarruf sağlanırken, bitki verimi ve kalite parametreleri korunabilmektedir. Yapay zekâ algoritmaları ve karar destek sistemleri, optimum sulama zamanlamasını belirleyerek üreticilerin iş yükünü azaltmakta ve doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımına katkı sağlamaktadır (Ali ve ark., 2025; Liu ve ark., 2025).

Sulama stratejilerinin seçimi yalnızca verim açısından değil, çevresel etkiler bakımından da önemlidir. Yetersiz tasarlanmış sulama sistemleri, yeraltı su seviyelerinin yükselmesine, tuz birikimine ve toprak bozulmasına neden olabilir. Buna karşılık yüksek dağılım homojenliğine sahip sistemler, hem bitki su ihtiyacını dengeli karşılamakta hem de çevresel riskleri azaltmaktadır. Dolayısıyla, modern tarımsal üretimde sulama stratejileri, yalnızca verimlilik değil aynı zamanda sürdürülebilirlik ekseninde değerlendirilmelidir (FAO, 2020; Mohanavelu ve ark., 2021).

2.2. Su Kullanım Etkinliği

Su kullanım etkinliği (Water Use Efficiency, WUE) tarımsal üretimde birim su tüketimi başına elde edilen biyokütle ya da ürün miktarı olarak tanımlanmaktadır. Başka bir ifadeyle WUE, hem verimliliği hem de sürdürülebilirliği aynı anda ifade eden bir göstergedir (Hatfield ve Dold, 2019).

Küresel iklim değişikliği, su kaynaklarının azalması ve artan gıda talebi tarımsal üretimde WUE'nin artırılmasını zorunlu hâle getirmiştir (Fereres ve Soriano, 2006).

WUE yalnızca fiziksel verimlilik değil, aynı zamanda ekonomik boyutu da içerir. Yani, daha az su kullanarak daha yüksek ekonomik getiri elde etmek, sürdürülebilir sulama yönetiminin en önemli hedeflerinden biridir.

Bahçe bitkileri (meyve, sebze ve süs bitkileri) genellikle yüksek ekonomik değere sahip olup, kuraklık stresine karşı duyarlılık gösterirler. Özellikle meyve ağaçlarında ve bağcılıkta, fenolojik dönemlere göre su kullanımı büyük farklılık göstermektedir. Bu nedenle, bahçe bitkilerinde WUE'nin optimize edilmesi hem kalite hem de verim açısından kritik öneme sahiptir (Costa ve ark., 2007). Örneğin, domates, biber, kavun ve üzüm gibi türlerde yapılan araştırmalar, orta düzeyde uygulanan su kısıtlamasının (deficit irrigation) ürün kalitesini artırabildiğini, aşırı kısıtlamanın ise verimde ciddi kayıplara yol açtığını göstermektedir (Chaves ve ark., 2010). Bu durum, WUE'nin yalnızca su miktarına değil, aynı zamanda uygulama zamanlamasına da bağlı olduğunu ortaya koymaktadır.

WUE, farklı ölçeklerde değerlendirilebilir: fizyolojik ölçekte: Bitkinin fotosentez oranı ile su kaybı arasındaki ilişki stomatal iletkenlik ölçümleriyle belirlenebilir (Medrano, 2002). Alan ölçeğinde: Toplam verim ile toplam sulama suyu miktarı karşılaştırılarak hesaplanır (Zwart ve Bastiaanssen, 2004). Bölgesel ölçekte: Uzaktan algılama teknikleri (örn. uydu verileri) ile tarımsal su kullanım haritaları çıkarılabilir (Bastiaanssen ve ark., 2000). Bu yöntemler, üreticilere ve araştırmacılara hem su kaynaklarının yönetimi hem de ürün kalitesi açısından önemli veriler sunmaktadır.

Son yıllarda, IoT tabanlı sensörler, yapay zekâ destekli sulama karar sistemleri ve uzaktan algılama teknolojileri, WUE'nin artırılmasında devrim niteliğinde uygulamalar sunmaktadır. Toprak nem sensörleri, tansiyometreler ve yaprak sensörleri sayesinde sulama gereksinimleri doğru şekilde belirlenebilir (Nsoh ve ark., 2024).

WUE'nin artırılması yalnızca su kaynaklarının korunması açısından değil, aynı zamanda tarımsal üretimin karbon ayak izinin azaltılması açısından da büyük önem taşır. Daha az suyun pompalanması, daha düşük enerji tüketimi ve daha az sera gazı salımı anlamına gelir (Popp ve ark., 2011; Rothausen ve Conway, 2011).

Günümüzde bu doğrultuda geliştirilen yenilikçi yaklaşımlar arasında hidrojel kullanımı öne çıkmaktadır. Hidrojeller, toprakta suyu emip tutabilme yetenekleri sayesinde buharlaşmayı ve derin akışı azaltır. Bu sayede sulama sıklığı düşer, su kayıpları azalır ve WUE artar (Agbna ve Zaidi, 2025; Ali ve ark., 2024). Ayrıca hidrojeller, gübre ve besin maddelerinin kontrollü salımını sağlayarak hem su hem de besin kullanım verimliliğini destekler (Kaur ve ark., 2023).

Bu teknolojiler, özellikle sınırlı su kaynakları bulunan bölgelerde daha verimli, çevresel etkileri düşük tarım sistemlerine geçişte önemli bir rol oynayabilir.

2.3. Modern Teknolojiler

2.3.1. Teknolojik gelişmelerin sulama yönetimine etkisi

Son yıllarda bahçe bitkilerinde sulama yönetimi, yalnızca geleneksel yöntemlerle değil, dijitalleşme, sensör teknolojileri ve yapay zekâ tabanlı uygulamalarla yeniden şekillenmektedir. Bu teknolojiler, suyun doğru zamanda ve doğru miktarda uygulanmasını sağlayarak hem su kullanım etkinliğini (WUE) artırmakta hem de üretim maliyetlerini düşürmektedir (Evans ve Sadler, 2008; Evett ve ark., 2006; Jones, 2004).

2.3.2. Toprak nem sensörleri ve IoT tabanlı sistemler

Toprak nem sensörleri sulama kararlarının verilmesinde en yaygın kullanılan teknolojilerden biridir. Kapasitif, tansiyometrik ve termal iletkenlik sensörleri, topraktaki nem düzeyini hassas biçimde ölçmekte ve üreticiye anlık bilgi sağlamaktadır. IoT (Internet of Things) ile entegre edildiğinde bu sensörler, sulama sistemlerini otomatik olarak çalıştırabilmektedir (Jones, 2004).

Gelişmiş sensör sistemlerinde, FDR (Frequency Domain Reflectometry) ve TDR (Time Domain Reflectometry) prensipleri ile çalışan sensörler, dielektrik sabitini ölçerek toprak su içeriğini yüksek hassasiyetle belirlemektedir. Bu sensörlerin doğru çalışabilmesi için kalibrasyonun önemi büyüktür; ayrıca toprak tuzluluğu ve sıcaklığı ölçüm doğruluğunu etkileyen temel faktörlerdendir (Evett ve ark., 2006). Bu parametrelerin izlenmesi, özellikle sera ve bağ gibi kontrollü ortamlarda WUE'nin artırılmasına önemli katkı sağlar.

IoT tabanlı sulama sistemleri, sensör verilerini kablosuz ağlar ve bulut tabanlı platformlar üzerinden toplayarak üreticilere mobil cihazlar aracılığıyla erişim imkânı sunar. Yapay zekâ tabanlı karar destek yazılımları, toprak nemi, hava durumu tahminleri ve bitki büyüme modellerini bir araya getirerek su uygulama zamanını ve miktarını optimize eder. Çeşitli saha denemelerinde bu tür sistemler, geleneksel sulamaya kıyasla %25–40’a varan su tasarrufu sağlamış ve verimde kayıp yaşanmadan WUE’nin belirgin şekilde iyileştiği rapor edilmiştir (Ali ve ark., 2025; Evans ve Sadler, 2008).

2.3.3. Yapay zekâ ve karar destek sistemleri

Yapay zekâ (YZ) algoritmaları, sulama zamanlamasının ve miktarının belirlenmesinde giderek daha fazla kullanılmaktadır. Yapay sinir ağları (ANN), bulanık mantık (fuzzy logic) ve makine öğrenmesi (machine learning) teknikleri, çoklu sensör verilerini (toprak nemi, hava durumu, evapotranspirasyon, fenolojik gelişim vb.) analiz ederek optimum sulama programlarını oluşturabilmektedir (Del-Coco ve ark., 2024 Prasad ve ark., 2024; Saggi ve Jain, 2022).

Son yıllarda makine öğrenmesi ve derin öğrenme yaklaşımları, uzaktan algılama verilerini (örn. NDVI, yüzey sıcaklığı) sensör ölçümleriyle birleştirerek bitkilerin gerçek zamanlı kuraklık stresi tahmini için kullanılmaktadır. Bu sayede sulama yalnızca nem eşiğine göre değil, bitkinin fizyolojik tepkisine dayalı olarak planlanmakta ve önemli ölçüde su tasarrufu sağlanmaktadır (Del-Coco ve ark., 2024). Bulanık mantık tabanlı kontrolörler, belirsiz çevre koşullarına rağmen sistemin hassas ayar yapmasına olanak tanımakta ve özellikle sera yetiştiriciliğinde öne çıkmaktadır (Prasad ve ark., 2024).

Ayrıca, bulut tabanlı karar destek sistemleri (Decision Support Systems, DSS), çiftçilerin sahadan topladığı sensör verilerini bir araya getirerek hava tahminleri ve toprak su dengesi modelleri ile entegre eder (Ali ve ark., 2025; Saggi ve Jain, 2022; Zhai ve ark., 2020). Bu gelişmeler, bahçe bitkilerinde su kullanım etkinliği (WUE) ve enerji tasarrufu açısından YZ destekli sulama yönetiminin önemini ortaya koymaktadır.

2.3.4. Uzaktan algılama ve dronlar

Uzaktan algılama teknolojileri (uydu görüntüleme, multispektral kameralar, termal sensörler) bahçe bitkilerinde kuraklık stresinin erken

teşhisine olanak tanır. Özellikle dronlarla yapılan taramalarda, bitki yaprak sıcaklığı, yaprak alan indeksi (LAI) ve normalize edilmiş fark bitki indeksi (NDVI) gibi parametreler izlenerek sulama ihtiyacı haritaları oluşturulabilmektedir (Araújo-Paredes ve ark., 2022; Hassan-Esfahani ve ark., 2015; Sivakumar ve ark., 2025).

Bu yöntem, özellikle geniş bahçe alanlarında bölgesel sulama yönetimini kolaylaştırmakta ve su kaynaklarının hedefe yönelik kullanılmasına katkı sağlamaktadır.

2.3.5. Yenilikçi yaklaşımlar: yaprak sensörleri ve akıllı cihazlar

Son yıllarda bitki bazlı sulama yönetimi su kullanım etkinliğini (WUE) artırmak için önemli bir yenilikçi yaklaşım olarak öne çıkmıştır. Yaprak sensörleri, bitkinin su durumunu doğrudan ölçerek sulama gereksiniminin en doğru biçimde belirlenmesine olanak tanır. Bu sensörler, yaprak su potansiyeli ve yaprak sıcaklığı gibi fizyolojik parametreleri anlık olarak izleyerek, sulamanın yalnızca toprak nemine değil, bitkinin gerçek su ihtiyacına göre planlanmasını sağlar (Jones, 2004; Thalheimer, 2022).

Ticari olarak geliştirilen AgriHouse Leaf Sensor® gibi cihazlar, sulama suyunun daha verimli kullanılmasına yardımcı olmakta ve ürün kalitesinin korunmasına katkı sağlamaktadır (AgriHouse, 2024).

Buna ek olarak, akıllı mobil tabanlı cihazlar da çiftçilerin sulama sistemlerini uzaktan kontrol etmesine imkân tanımaktadır. Örneğin Nano Ganesh adlı mobil uygulama, Hindistan'daki üreticilere sulama pompalarını cep telefonları üzerinden açıp kapatma olanağı sunmakta ve kırsal sulama altyapısında yaygın biçimde kullanılmaktadır (Nano Ganesh, 2024).

Bu yenilikçi yaklaşımlar, özellikle su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde verimli ve sürdürülebilir sulama stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

2.3.6. Sürdürülebilirlik boyutu

Bahçe bitkilerinde sulama yönetimi, yalnızca bitkisel verim ve kaliteyi değil; aynı zamanda su kaynaklarının korunması, enerji verimliliği ve karbon salımlarının azaltılmasını da doğrudan etkilemektedir. Geleneksel sulama yöntemlerinden damla ve yer altı damla sulama, IoT tabanlı sensörler, yapay zekâ destekli karar destek sistemleri, yaprak sensörleri, uzaktan algılama ve dron uygulamaları gibi yenilikçi teknolojilere geçiş, WUE'yi artırarak

üreticilere ekonomik avantaj sağlamanın yanı sıra, çevresel sürdürülebilirliğe katkı sunmaktadır.

Bu teknolojiler, özellikle su kaynakları sınırlı ve iklim değişikliğinden en fazla etkilenen bölgelerde, modern tarımsal üretimin geleceği için kritik bir rol oynamaktadır. Su-enerji-gıda güvenliği arasındaki hassas dengeyi korumak için suyun doğru zamanda, doğru yerde ve doğru miktarda uygulanması artık bir tercih değil, zorunluluk hâline gelmiştir.

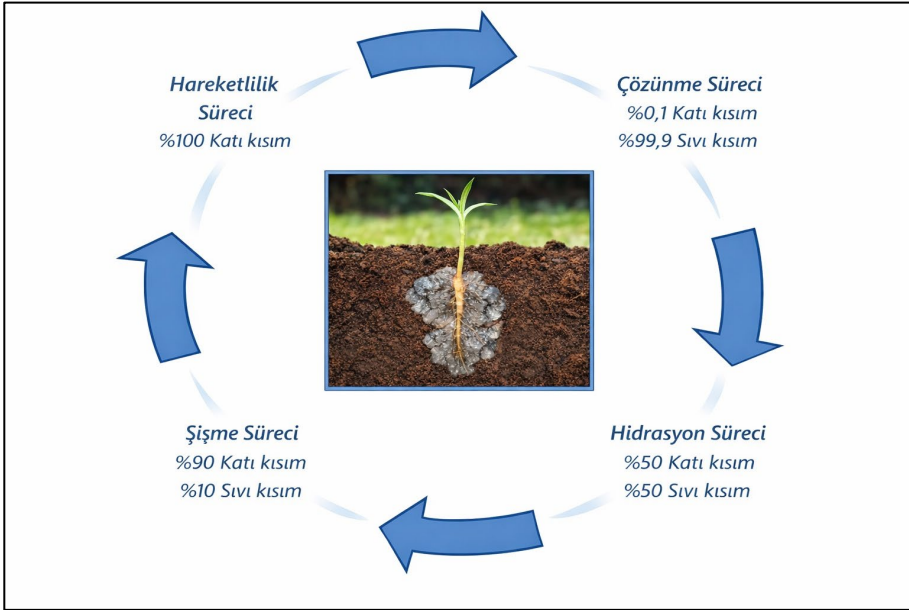
Dolayısıyla, bahçe bitkilerinde modern sulama stratejileri ve dijital çözümler, yalnızca verim artışı değil, doğal kaynakların korunması ve iklim değişikliğiyle mücadelede de güçlü bir araç olarak görülmelidir.

Günümüzde bu doğrultuda geliştirilen yenilikçi yaklaşımlar arasında hidrojel kullanımı öne çıkmaktadır. Hidrojeller, toprakta suyu emip tutabilme yetenekleri sayesinde buharlaşmayı ve derin akışı azaltır. Bu sayede sulama sıklığı düşer, su kayıpları azalır ve WUE artar (Agbna ve Zaidi, 2025; Ali ve ark., 2024). Ayrıca hidrojeller, gübre ve besin maddelerinin kontrollü salımını sağlayarak hem su hem de besin kullanım verimliliğini destekler (Kaur ve ark., 2023).

Bu teknolojiler, özellikle sınırlı su kaynakları bulunan bölgelerde daha verimli, çevresel etkileri düşük tarım sistemlerine geçişte önemli bir rol oynayabilir.

2.3.7. Hidrojellerin tarımda gerekliliği

Hidrojellerin tarımda kullanılmasının en önemli gerekçelerinden biri sulama ihtiyacını azaltmaları ve su kullanım verimliliğini artırmalarıdır. Kuraklık ve sınırlı su mevcudiyeti bitkilerde oksidatif stres, yaprak alanı kaybı, boy kısılması ve verim düşüşü gibi olumsuz etkiler yaratmaktadır. Hidrojeller, toprakta suyu absorbe ederek yavaş yavaş serbest bırakabilme özellikleri sayesinde bu olumsuz etkileri en aza indirir (Şekil 2). Böylece hem su kayıpları azalır hem de bitkiler, uzun süreli susuzluk dönemlerinde bile suya erişebilir. Bu durum, bitkilerin fizyolojik performansını iyileştirerek yaprak su içeriğini korur, hücre zar bütünlüğünü artırır ve transpirasyon sırasında oluşabilecek hidrolik iletim bozukluklarını azaltır (Mohamady Ghobashy, 2020). Özellikle domates gibi suya duyarlı bitkiler üzerinde yapılan çalışmalarda, hidrojel uygulamalarının sulama miktarını düşürürken verimi artırdığı doğrulanmıştır (El-Aziz ve ark., 2022).



Şekil 2. Hidrojel şişme süreci (Botany with Parul. 2025).

Bunun yanında, hidrojeller yalnızca bitkilere su sağlamakla kalmaz, aynı zamanda toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini de olumlu yönde değiştirir. Toprağın yoğunluğunu, geçirgenliğini ve su infiltrasyon oranlarını etkileyerek daha verimli bir sulama sistemi oluşturur. Araştırmalar, hektara 5 kg hidrojel uygulamasının toprak su tutma kapasitesinde %50’den fazla artış sağladığını ve sulama ihtiyacını ciddi ölçüde azalttığını ortaya koymuştur (Mansingh ve ark., 2023). Ayrıca, şişmiş hidrojel partiküllerinin gözenek boyutlarını değiştirerek su tutma gözeneklerini artırması, drenaj gözeneklerini azaltması sayesinde toprakta su rezervuarları oluşur ve bu da yağmur suyunun daha etkin kullanılmasına olanak verir (Singh ve ark., 2021). Böylece hem su tasarrufu sağlanır hem de tarımsal üretimde istikrar korunur.

Son yıllarda geliştirilen süper emici polimer hidrojeller, sulama verimliliği açısından devrim niteliğinde çözümler sunmaktadır. Örneğin Hindistan’da geliştirilen ‘Pusa Hydrogel’, orijinal ağırlığının 400 katına kadar su tutabilme kapasitesiyle kurak ve yarı kurak bölgelerde tarımın sürdürülebilirliğini sağlamada büyük başarı göstermiştir (Singh ve ark., 2018). Bu tür uygulamalar sayesinde sulama sıklığı azalmakta, fide gelişimi ve kök genişlemesi desteklenmekte, aynı zamanda gübre ve herbisit kaybı da en aza indirilmektedir. Doğal polimerlerden üretilen çevre dostu hidrojellerin düşük

maliyetli olması da bu teknolojinin yaygınlaşmasını kolaylaştırmaktadır. Dolayısıyla, hidrojeller tarımsal sulamada yalnızca su tasarrufu değil, aynı zamanda toprak kalitesini iyileştirme ve verim artışı sağlama yönüyle modern tarımın vazgeçilmez bileşenlerinden biri hâline gelmiştir.

3. HİDROJELLER VE SÜPER EMİCİ POLİMERLER (SAP)

Hidrojeller ve süper emici polimerler (SAP), üç boyutlu çapraz bağlı polimer ağ yapıları sayesinde çevresel koşullara bağlı olarak olağanüstü derecede yüksek su absorpsiyon ve kontrollü salım yeteneğine sahip malzemelerdir. Su kıtlığının giderek artan bir sorun hâline geldiği günümüz tarımında, bu polimer sistemler toprak-su-bitki etkileşimlerini düzenleyerek sulama verimliliğini (Water Use Efficiency, WUE) artırma potansiyeli taşımaktadır. Literatürde çok sayıda çalışma, SAP'lerin toprak nemini koruyarak buharlaşma ve sızıntı yoluyla meydana gelen su kayıplarını sınırladığını ve böylece daha sürdürülebilir su yönetimine katkıda bulunduğunu göstermektedir (Palanivelu ve ark., 2022; Singh ve ark., 2021).

Elde edilen bulgular ayrıca SAP'lerin yalnızca su değil, aynı zamanda besin elementlerinin kontrollü salımını da sağladığını ortaya koymaktadır. Böylece bitki fizyolojisinde turgor basıncı korunmakta, oksidatif stres düzeyleri azalmakta ve fotosentetik verimlilik desteklenmektedir (Mohamady Ghobashy, 2020; Snoeck ve ark., 2015).

Bilimsel literatürde 'hidrojel' terimi, sulu ortamda şişebilen ve yüksek miktarda suyu bünyesinde tutabilen çapraz bağlı polimer zincirlerinden oluşan üç boyutlu ağ yapıları için kullanılmaktadır. Bu yapıların yarı katı-yarı sıvı özellik göstermesi, klasik polimer sistemlerden ayrılımlarına neden olur. Hidrofilik fonksiyonel gruplar (ör. -COOH, -OH, -NH₂, -SO₃H) sayesinde suyla güçlü etkileşim kuran hidrojeller, gözenekli yapılarında büyük hacimlerde suyu depolayabilir. Bu durum hem tarımsal uygulamalarda hem de biyomedikal ve çevresel alanlarda geniş bir kullanım yelpazesi sunar (Nascimento ve ark., 2021).

Hidrojellerin su tutma ve salım mekanizması; çapraz bağ yoğunluğu, ağ yapısındaki gözenek boyutu, polimer zincirlerinin kimyasal bileşimi ve çevresel koşullar gibi faktörlere bağlıdır. Örneğin pH, sıcaklık, iyonik güç veya ışık gibi çevresel uyaranlar, jel-sol geçişlerine ya da şişme-büzülme döngülerine neden olabilir. Bu tepkiler, malzemenin mekanik dayanıklılığı,

geçirgenliği ve opaklık gibi fiziksel özelliklerini doğrudan etkiler (Nascimento ve ark., 2021; Sennakesavan ve ark., 2020). Böylece hidrojel­ler yalnızca su depolama araçları değil, aynı zamanda ‘akıllı malzemeler’ olarak değerlendirilmektedir.

3.1. Hidrojellerin Sınıflandırılması

Hidrojeller farklı kriterlere göre sınıflandırılmaktadır. Kaynağına göre doğal (selüloz, nişasta, kitosan, jelatin, aljinat gibi biyopolimerlerden türetilen) ve sentetik (poliakrilik asit [PAA], polivinil alkol [PVA], polietilen glikol [PEG], polivinil pirolidon [PVP] vb.) hidrojel­ler bulunmaktadır (Nascimento ve ark., 2021). Ayrıca polimerik bileşime göre homopolimer, kopolimer veya IPN (Interpenetrating Polymer Network) yapıları ayırt edilmektedir. Ağ yapısının düzenine bağlı olarak kristal, yarı kristal ya da amorf yapılar da literatürde yer bulmuştur (Maijan ve Chantarak, 2020).

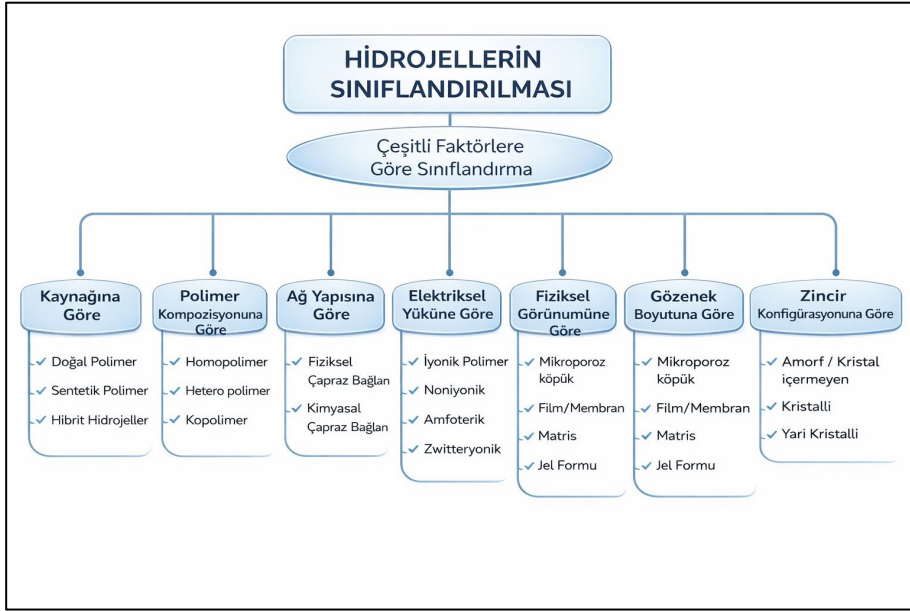
Çapraz bağlanma yöntemleri de önemli bir sınıflandırma ölçütüdür. Fiziksel hidrojel­ler, ikincil etkileşimlere dayalı, geri dönüşümlü yapılar sergilerken, kimyasal hidrojel­ler, kovalent bağlarla daha kararlı ve kalıcı ağlar oluşturur (Grzybek ve ark., 2022). Elektriksel yüklerine göre ise noniyonik, iyonik, amfoterik ve zwitteriyonik hidrojel­ler tanımlanır. Fiziksel biçimleri film, membran, boncuk, mikroküre veya üç boyutlu matrisler halinde olabilir.

Doğal hidrojel­ler biyoyouyumlu ve biyobozunur olmaları nedeniyle çevre dostu çözümler sunarken; sentetik türevler yüksek mekanik dayanıklılık ve ölçeklenebilirlik özellikleriyle endüstriyel uygulamalarda öne çıkmaktadır (McNeill ve Sadeghi, 1990; Zohuriaan-Mehr ve ark., 2009) (Şekil 3).

Sentetik hidrojel­ler; polikaprolakton, polivinil alkol ve polivinil pirolidon gibi polimerler ile polietilen glikol akrilamid türü çapraz bağlayıcıların kullanıldığı sentetik hidrojel­ler, mekanik dayanım ve su tutma kapasitesi bakımından güçlü performans sergiler. Bununla birlikte, sınırlı biyobozunurlukları ve olası atık yönetimi sorunları çevresel açıdan kaygı yaratabilmektedir.

Amid tabanlı hidrojel­ler (örn. akrilamid ağları) saydamlıklarıyla öne çıksa da hidrolitik kararlılık ve mekanik direnç açısından kimi eksiklikler taşırlar. Çözeltide serbest-radikal polimerizasyon, radyasyonla başlatma ya da poliakrilonitrilin kontrollü hidrolizi gibi yöntemlerle hazırlanabilen bu ağlar; sıcaklık, pH/iyon şiddeti, elektrik alan, çözücü kompozisyonu, basınç ve ışık

gibi uyarılara karşı faz geçişleri ve şişme-daralma davranışı göstererek çevresel duyarlılık sergiler.



Şekil 3. Hidrojellerin çeşitli faktörlere göre sınıflandırılması (Orijinal).

Doğal kökenli hidrojeller; biyopolimer temelli hidrojeller (selüloz, nişasta, kitosan, jelatin; agaroz, aljinat, ksantan vb.) biyoyuymululuk ve biyobozunurlukları sayesinde sürdürülebilir tarımsal uygulamalar için uygundur. Düşük maliyet ve yüksek hidrofilisite gibi özellikler, bu malzemeleri hem su depolama hem de tarım kimyasallarının kontrollü salımı için cazip kılar.

Hidrojeller, yapısal bileşimlerine göre farklı gruplara ayrılır. Eğer tek bir monomerden oluşuyorsa buna homopolimerik hidrojel denir (Zohuriaan-Mehr ve ark., 2009). Örneğin selülozdan elde edilen bazı hidrojeller bu kategoriye girer. Bu tür hidrojeller genellikle basit bir polimerizasyon işlemiyle hazırlanır ve görünüş olarak yarı saydam jel yapıdadır. Eğer iki farklı monomer birlikte kullanılıyorsa bu yapılar kopolimerik hidrojeller olarak adlandırılır (Dau ve ark., 2022). Bu tür sistemler ilaç taşıma teknolojilerinde sıklıkla tercih edilir çünkü istenen kimyasal ve fiziksel özellikler kontrollü şekilde ayarlanabilir. Bazı hidrojellerde ise polimerlerden biri ağ oluştururken diğeri bu ağın içine dağılır, ancak kimyasal bağ yapmaz.

Bu yapıya yarı interpenetran ağ (semi-IPN) denir (Zhang ve ark., 2024). Bu sistemlerde polimerler birbirinin içine fiziksel olarak girer fakat kimyasal olarak bağlanmazlar. Bu sayede yapı gerektiğinde ayrıştırılabilir.

Bir diğer gelişmiş yapı olan tam IPN (interpenetran ağ) hidrojellerde ise iki polimer ağı birbirinin içinde kilitlenmüş halde bulunur. Bu tür hidrojellerde en az bir polimer, diğerinin varlığında çapraz bağlanarak daha sağlam ve stabil bir yapı oluşturur. Bu mekanik kilitlenme hem yüzey hem de gövde yapısını güçlendirir. Bu yüzden IPN hidrojeller klasik hidrojellere göre daha dayanıklı olup ilaç kontrolü gibi uygulamalarda daha verimli sonuç verir (Mukherjee ve ark., 2024).

Hidrojeller, polimer zincirlerinde taşıdıkları elektriksel yük tipine göre sınıflandırılabilir (Ahirwar ve Jain, 2025):

- Eğer yük taşımıyorsa → Nötr hidrojel
- Negatif yüklü gruplar içeriyorsa → Anyonik hidrojel
- Pozitif yük taşıyorsa → Katyonik hidrojel
- Hem artı hem eksi yük içeren karışık yapıda ise → Amfoterik hidrojel
- Aynı molekül içinde karşıt yük grupları varsa → Zwitteriyonik hidrojel

Çapraz bağlanma tipine göre hidrojeller; fiziksel hidrojeller, moleküller arasında güçlü kimyasal bağlar olmadan, hidrojen bağı, iyonik etkileşim veya zincir dolaşıklığı gibi geçici bağlarla oluşturulur. Bu yapılar genellikle yumuşak, esnek ve geri dönüşümlüdür. Üretimleri için sert kimyasal reaksiyonlar gerekmez, bu nedenle biyolojik uygulamalarda daha güvenli seçenekler olarak öne çıkarlar (Rebers ve ark., 2021; Sapula ve ark., 2023).

Kitosan tabanlı hidrojeller; kabuklu deniz canlılarından elde edilen kitinin deasetilasyonu ile oluşan kitosan; katyonik yapısı, kimyasal işlevselleştirilebilirliği, düşük toksisite ve biyobozunurluğu nedeniyle tarımda çok yönlü bir taşıyıcı fazdır. Kitosan ağları; su tutma kapasitesini artırma, toprakta amonyum ve toplam azotun kademeli salımı ve kayıpların sınırlandırılması gibi etkilerle dikkat çeker (Michalik ve Wandzik, 2020).

Aljinat tabanlı hidrojeller; kahverengi alglerden türeyen aljinat (D-mannuronik ve L-guluronik asit bloklarından oluşan doğrusal bir polisakkarit), güvenli ve biyobozunur bir biyopolimerdir. Karboksilik fonksiyonları sayesinde çok çeşitli çapraz bağlayıcılarla jel haline getirilebilir; tarımda besin

taşıyıcı, film/jel oluşturuvcu ve çevre dostu kaplama materyali olarak geniş kullanım alanı bulur (Ismaeilimoghadam ve ark., 2023).

Lignin tabanlı hidrojel; bitki hücre duvarlarının karakteristik bileşeni olan lignin; fenilpropanoid yapı taşlarından türeyen, çok işlevli bir biyopolimerdir. Lignin içeriği, elde edilen hidrojin şişme davranışı ve aktif madde salım profili üzerinde belirleyicidir. Uygun çapraz bağlayıcılarla alkali ortamda oluşturulan lignin ağları; tarımsal toprak düzenlemede biyobozunur, yüksek su alma özellikli sistemlere örnek teşkil eder (Kaur ve ark., 2021).

Jelatin tabanlı hidrojel; kolajenden türetilen jelatin, ayarlanabilir jelleşme davranışıyla gıda, ilaç ve kozmetikte yaygın kullanılır. Akrilik asit ve kaolin gibi bileşenlerle aşı polimerizasyonu sonucunda geliştirilen jelatin bazlı süper emiciler, özellikle sebze yetiştiriciliğinde (ör. salatalık) su tutma ve gübre salımının yönetiminde umut verici sonuçlar verir. Jelatin/alginate çift ağlarının kalsiyumla çapraz bağlanması, üre gibi besinlerin kademeli salımı için işlevsel bir yol sunar (López-Velázquez ve ark., 2019).

Nişasta türevli hidrojel; doğal nişasta zincirlerinin akrilik asit veya akrilamid gibi monomerlerle aşılması ve fosfat kayası gibi inorganik fazların matrise gömülmesiyle elde edilen kompozit süper emicilerdir. Bu materyaller hem su rezervuarı hem de yavaş salımlı gübre taşıyıcısı olarak kullanılabilir. Kaplanmış üre formülasyonlarının onlarca hatta yüzlerce gün boyunca kademeli azot salımı sağladığı ve aynı zamanda yüksek su tutma kapasitesi gösterdiği bildirilmiştir. Aşı polimerizasyonu genellikle serbest radikal başlatıcılarıyla yürütülür (Wang ve ark., 2020).

Selüloz türevli hidrojel; biyokütlenin en yaygın polimeri olan selüloz ve türevleri, yeşil kimya ilkeleriyle uyumlu, biyoyumlu taşıyıcı materyallerdir. Selüloz eter ve esterleri (ör. metil selüloz, sodyum karboksimetil selüloz) şeffaf film oluşturabilme, kimyasal direnç ve işlenebilirlik gibi özellikleri sayesinde tarımsal hidrojellerin matrisi olarak sıkça tercih edilir (Hao ve ark., 2023).

SAP'ler, kuru ağırlıklarının yüzlerce katına erişebilen su absorpsiyon kapasiteleri sayesinde tarımda su kıtlığına karşı etkili bir müdahale sağlar. Toprağa karıştırılan SAP'ler, yağış ve sulama sonrasında suyu hızla çekerek rizosferde depolar; kök bölgesi kurudukça suyu geri salarak sulama aralıklarını uzatır ve toplam su tüketimini düşürür. Bu mekanizma, buharlaşma ve sızıntı kayıplarını azaltır ve bitki fizyolojisinde stres göstergelerini hafifletir (Palanivelu ve ark., 2022).

Hidrojel katkısı toprağın hacim yoğunluğunu düşürür, toplam gözenekliliği ve tarla kapasitesindeki su içeriğini artırır; infiltrasyon ve doymun hidrolik iletkenliği düzenler. Böylelikle kök infiltrasyonu kolaylaşır, solma noktasına ulaşma gecikir ve bitki kök–hava–su dengesi optimize edilir (Mansingh ve ark., 2023).

Kimyasal boyutta, pH ve kation değişim kapasitesi (CEC) besin bulunabilirliğini belirler. Hidrojel takviyesi, NH_4^+ ve toplam N kayıplarını sınırlayarak nitrifikasyon/denitrifikasyon süreçlerinin hızını azaltabilir; bu durum besin kullanım verimliliğini destekler ve kontrollü salım formülasyonlarıyla birleştiğinde gübre/pestisit etkinliğini uzatır. Etkinlik, toprak tipine ve hedeflenen sulama stratejisine uygun doz optimizasyonu gerektirir (Thakur ve Arotiba, 2018).

Çevreye duyarlı hidrojeller (akıllı hidrojeller), sıcaklık, pH, iyonik güç, ışık ve elektrik/manyetik alan gibi uyaranlara geri dönüşümlü hacim değişimleriyle karşılık verir. Fiziksel ağlarda sol–jel dönüşümleri ikincil etkileşimlere dayalı olarak genellikle tersinirken, kimyasal ağlar kalıcı kovalent bağlarıyla daha kararlı ve yüksek mekanik dayanım sağlar (Park ve ark., 2025).

Tarım bağlamında bu duyarlılık, yağış–kuraklık döngüleriyle uyumlu su depolama/salım profilleri tasarlanmasına olanak verir. Hidrofilik grup yoğunluğu ve çapraz bağlanma derecesi, şişme kinetiğini ve rezervuar davranışını belirleyen ana parametrelerdir; böylelikle sulama programlarıyla entegre, kontrol edilebilir nem rejimleri oluşturulabilir (Nascimento ve ark., 2021).

4. HİDROJELLERİN TARIMDAKİ UYGULAMALARI

Tarımsal üretimde hidrojeller ve süper emici polimerler (SAP), su kullanımını azaltma, pestisit ve gübre ihtiyacını düşürme ve sürdürülebilir verimi destekleme açısından stratejik önem taşır (Pirzada ve ark., 2020). En dikkat çekici özellikleri, besin ve aktif maddelerin kontrollü salımını mümkün kılmalarıdır; kademeli su salımı ve yüksek şişme kapasiteleri sayesinde toprak verimliliğini artırır. Brezilya, Çin, Mısır, Hindistan, İran ve İtalya gibi ülkelerde farklı toprak koşulları ve ürünler üzerinde geniş kapsamlı araştırmalar yürütülmektedir (Ali ve ark., 2024).

Hidrojeller, özellikle azotlu gübrelerin yol açtığı çevresel sorunları azaltma potansiyeliyle öne çıkmaktadır: geleneksel gübrelerin verimsiz

kullanımı kayıplara ve sızıntıya neden olurken, kontrollü salım sağlayan hidrojel sistemleri uygulama sıklığını azaltır, maliyetleri düşürür ve çevreye sızıntıyı sınırlar (Kaur ve ark., 2023).

Tarımsal uygulamalarda hidrojel parçacıkları toprak gözenek yapısını düzenleyerek suyun tutulmasını ve bitki kök bölgesine yönlendirilmesini sağlar. Bu durum, evapotranspirasyon kaynaklı su kayıplarının kısmen geri kazanılmasını ve stres dönemlerinde bitkiye su erişiminin sürdürülmesini mümkün kılar (Tomášková ve ark., 2020).

4.1. Hidrojellerin Sulamada Kullanımı

Sulama suyu yönetiminde hidrojellerin rolü su kullanım verimliliğini artıran ve toplam sulama ihtiyacını azaltan bir tampon-rezervuar işlevine dayanır. Sera ve tarla denemeleri, farklı toprak tiplerinde hidrojel katkısının evapotranspirasyonu azalttığını, suyun bitkiye erişimini kolaylaştırdığını ve fidanların yaşama oranını yükselttiğini göstermiştir (Tomášková ve ark., 2020). Ticari formülasyon suyun kök bölgesinde depolanmasını ve fotosentetik performansın korunmasını desteklemiştir (Saha ve ark., 2020).

Damla sulama sistemleriyle entegrasyon hidrojel etkinliğini daha da artırmaktadır. Kırmızı lahana yetiştiriciliğinde yürütülen bir çalışmada, özellikle kök daldırma yöntemiyle uygulanan süper emici polimerik hidrojellerin toprak nemini %5–6 oranında artırdığı; sınırlı sulama koşullarında ürün su verimliliği ve sulama suyu verimliliğini sırasıyla %12–14 ve %11–12 artırdığı bildirilmiştir. Ekonomik analiz, verim ve fayda-maliyet oranında yaklaşık %8 düzeyinde iyileşmeye işaret etmektedir. Bu bulgular, hidrojellerin damla sulama ile birlikte kullanımının sulama sıklığını ve toplam su tüketimini azaltırken verimliliği artırdığını göstermektedir (Nsoh ve ark., 2024).

4.2. Gübre ve Pestisit Yönetimi: Kontrollü Salım Sistemleri

Azot temelli gübrelerin verimsiz kullanımı sızıntı ve sera gazı emisyonları gibi çevresel sorunları tetiklemektedir. Kontrollü salım sağlayan hidrojel bazlı formülasyonlar, besinlerin yavaş ve dengeli verilmesini sağlayarak uygulama sıklığını düşürmekte, maliyetleri azaltmakta ve çevreye sızıntıyı önlemektedir (Čechmáňková ve ark., 2023; Mellelo ve ark., 2019). Arap zambaki ve selüloz bazlı kompozit hidrojeller bu amaçla geliştirilmiştir (De Souza ve ark., 2019). Bununla birlikte, akıllı biyobozunur gübrelerin görece yüksek maliyeti yaygın uygulamanın önünde bir engel oluşturmaktadır.

Nanoyapısal ve akıllı salımlı gübrelerde hidrojeller mezogözenekli silika, hidroksiapatit nanoparçacıkları, nanokiller ve karbon/metal oksit temelli nanomalzemelerle birlikte besin taşıyıcısı olarak kullanılmaktadır. Kitosan nanoparçacıkları, küçük boyutları sayesinde gübre salımının kontrolünde öne çıkan yenilikçi malzemelerdendir. Kapsülleme ve uyarana duyarlı salım sayesinde besin maddeleri toprak ve kök bölgesine hedefli biçimde iletilir aşırı kullanımın olası toksik etkilerinden kaçınmak için düşük doz stratejileri önerilmektedir (Su ve ark., 2021).

4.3. Tohum Kaplama, Çimlenme ve Fide Sağlığı

Tohum kaplamada hidrojeller gübre ve biyopestisitlerle birleştirilerek çimlenme oranını ve fide sağlığını artırır. Aktif bileşenlerin doğrudan ve düzenli ulaştırılması, uygulamanın etkinliğini güçlendirir (Mikhailidi ve ark., 2024; Pedrini ve ark., 2017). Hidrojeller nemi korur, oksijen geçirgenliği sağlar ve tohumların iklim stresine dayanıklılığını artırır. Biyopolimerler (jelatin, nişasta, bitkisel zamlar) kaplama materyali olarak yaygın kullanılmaktadır (Pathak ve Ambrose, 2020).

Hidrojel bazlı kaplamaların doğal antibakteriyel/esansiyel yağ bileşenleriyle zenginleştirilmesi, tohum-fide hastalıklarının kontrolünde etkili sonuçlar vermektedir. Kekik yağı ile zenginleştirilmiş hidrojel kaplamaların bakteri ve mantar patojenlerine karşı etkinliği bildirilmiştir. Ayrıca, kitosan ve aljinat gibi polisakkaritler hem taşıyıcı hem de bağlayıcı faz olarak yaygın biçimde tercih edilmektedir (Skrzypczak ve ark., 2021).

4.4. Kuraklık Stresi, Fizyolojik Yanıtlar ve Ekolojik Restorasyon

Kuraklık; serbest radikal oluşumu, lipid peroksidasyonu ve hücre zar hasarına yol açarak yaprak alanında azalma, boy kısalığı ve doku bütünlüğünde bozulmalara yol açar. Hidrojeller suyun kontrollü depolanması ve salımı sayesinde kuraklık stresine karşı bitkinin su erişimini sürdürmesine, evapotranspirasyon kaynaklı su kayıplarının azaltılmasına ve fotosentetik performansın korunmasına yardımcı olur (Oladosu ve ark., 2022).

Pektin ve nişasta bazlı doğal hidrojellerin domateste verim ve meyve kalitesini iyileştirdiği; ağaç türlerinde yaşama oranlarını %37'den %81'e yükselttiği rapor edilmiştir (Sayed ve ark., 2022). Poliaspartik asit (PASP) gibi hidrojel, ekolojik restorasyon uygulamalarında umut vadetmektedir

(Danilova, 2022). Bu veriler, hidrojellerin hem tarımsal üretimde hem de peyzaj/rehabilitasyon uygulamalarında stratejik bir araç olduğunu göstermektedir.

4.5. Toprak Özellikleri, Doz Optimizasyonu ve Uygulama Yöntemleri

Hidrojeller; toprak dokusu, geçirgenlik, yoğunluk, buharlaşma ve su infiltrasyon oranlarını etkileyerek su tutma kapasitesini artırır. Doğru dozlarda kullanıldığında %50'yi aşan iyileşmeler bildirilmiştir. Şişmiş hidrojel partikülleri, gözenek boyutlarını değiştirerek su tutma gözeneklerini artırır, drenaj gözeneklerini azaltır, bu da toprak doygunluğunu ve hidrolik iletkenliğin düşmesine katkı sağlar. Sonuç olarak, toprak erozyonu ve yüzey akışı azalır (Qin ve ark., 2024).

Uygulama yöntemleri; yeni tesis edilen alanlarda toprakla karıştırma, meyve bahçelerinde kök bölgesi çevresine yerleştirme, tarla hazırlığında ekim çizgilerine uygulama ve bazı durumlarda yüzeye püskürtme olarak çeşitlenir. Uygulamada; kuru toprağa polimer eklenmemesi, ekimden hemen sonra sulama, yaprak döken ağaçlarda dinlenme döneminin tercih edilmesi ve polimerin toprakla kapatılması gibi güvenlik ve etkinlik önlemleri önerilmektedir (Palanivelu ve ark., 2022).

4.6. Ürün Performansı, Verim ve Kalite Parametreleri

Hidrojellerin bitki büyümesi üzerindeki etkileri tür, toprak ve dozaja bağlı olarak değişir. Turfgrass ve Baron Kentucky bluegrass üzerinde 0–50 kg/100 m² dozlarında olumsuz etki görülmediği; farklı çalışmalarda fide boyu, gövde çapı ve biyokütlede artışlar rapor edildiği belirtilmiştir (Patra ve ark., 2022).

Bununla birlikte etkinlik; ürün türü, polimer tipi, uygulama zamanı ve toprak yapısına bağlıdır ve bazı çalışmalarda verim veya nem tutma üzerine sınırlı etki rapor edilmiştir. Su sertliği (özellikle Ca²⁺ ve Mg²⁺) hidrojin su emme kapasitesini azaltabilir; düzenli yağış alan bölgelerde fayda sınırlı kalabilir. Maliyetlerin yüksekliği geniş ölçekli uygulamayı kısıtlayabilmektedir (Bhatnagar ve ark., 2016).

4.7. Bitki Hastalık Yönetimi ve Polisakkarit Hidrojeller

Tohum ve fide hastalıklarının kontrolü gıda güvenliği için kritik önemdedir. Geleneksel pestisit uygulamalarının sızma, bozunma ve buharlaşma nedeniyle hedefe ulaşmaması çevre ve sağlık risklerini artırabilir. Hidrojel tabanlı kontrollü salım formülasyonları, aktif bileşenlerin etkin iletimini sağlayarak toksisiteyi, buharlaşmayı ve sızıntıyı azaltma potansiyeline sahiptir (Chevillard ve ark., 2012).

Polisakkarit kökenli uyarıcılar (kitosan, laminarin, karragenan vb.) bitkilerin savunma tepkilerini aktive ederek fitopatojenlere karşı dayanıklılığı iyileştirebilir. Kitosanın viral ve bakteriyofaj kaynaklı enfeksiyonları baskıladığı; Cu-kitosan nanoparçacıklarının mısırdaki büyüme ve savunma tepkilerini artırdığı bildirilmiştir (Lemke ve ark., 2022).

4.8. Biyobozunurluk ve Çevresel Etkiler

Poliakrilat temelli hidrojellerin UV ışığına maruz kaldığında parçalanma hızının arttığı ve toprak mikroorganizmaları tarafından aerobik/anaerobik koşullarda su (H_2O), karbondioksit (CO_2) ve azot (N_2) bileşiklerine ayrıştırılabildiği bildirilmiştir. Hidrojeller kırılabilir olabilmekle birlikte bitki dokularına kolayca entegre olabilir (Lenka ve ark., 2017).

Gelecek eğilimlerinde biyobozunur ve çevre dostu formülasyonlar, hassas tarım uygulamalarıyla kontrollü salım stratejileri ve maliyet-etkin doz optimizasyonu öne çıkmaktadır. Kurak ve yarı kurak bölgelerde toprak özelliklerini ve verimi artırmaya yönelik çözümler, hidrojellerin stratejik kullanımını desteklemektedir (Sulser ve ark., 2010).

5. ÜZÜM YETİŞTİRİCİLİĞİNDE SULAMA

5.1. Asmanın Su İhtiyacı ve Fenolojik Dönemler

Asma (*Vitis vinifera* L.), ılıman ve yarı kurak iklim kuşağına uyum göstermiş, kışları soğuk fakat yazları sıcak ve kurak bölgelerde optimum gelişim gösteren bir türdür. Sağlıklı bir yıllık döngü için kışın en az 1000-1500 saatlik soğuklama, vejetatif büyüme ile çiçeklenme-olgunlaşma dönemlerinde 15–35 °C arasındaki sıcaklıklar idealdir (Keller, 2014).

Fotosentetik etkinlik ve sürgün büyümesi 20–30 °C aralığında en yüksek düzeye ulaşırken, 35 °C' nin üzerindeki sıcaklıklar fotosentezi baskılar ve tanelerde asit kaybı ile fenolik sentezde düşüşe yol açabilir (Cataldo ve ark., 2023; Ramos ve ark., 2024).

Ayrıca bağcılık açısından yıllık 500-700 mm toplam su, özellikle kurak bölgelerde optimum gelişim için kritik olup, yağışın büyük kısmının kış ve erken ilkbaharda gerçekleşmesi tercih edilir (Williams ve ark., 2010). Asma, çiçeklenme ve tane tutumu evrelerinde kuraklık stresine duyarlıdır, buna karşın olgunlaşma döneminde ılımlı su kısıtlaması, şeker birikimi ve fenolik kalite açısından yararlı olabilir (Chaves ve ark., 2010). İklim değişikliğine bağlı olarak artan sıcaklıklar, erken fenolojik kaymalar ve kuraklık, bağcılığın geleneksel bölgelerinde kaliteyi tehdit etmekte ve sulama yönetimi ile adaptasyon stratejilerini giderek daha önemli hâle getirmektedir (Fraga ve ark., 2013; van Leeuwen ve ark., 2019).

Bununla birlikte, ticari bağcılıkta hedeflenen yüksek verim ve kalite düzeyine ulaşılabilmesi, bitkinin su gereksiniminin fenolojik evrelere bağlı olarak değiştiği gerçeğinin göz önünde bulundurulmasını ve uygun zamanlamada sulama yapılmasını zorunlu kılar. Asmanın su gereksinimi, tomurcuk patlaması ve sürgün gelişimi gibi erken dönemlerden başlayarak çiçeklenme ve tane tutumu, tane büyümesi ve olgunlaşma (ben düşme–hasat) evrelerine kadar farklı fizyolojik süreçler tarafından belirlenir; bu nedenle sulama stratejileri fenolojik döngüyle uyumlu tasarlanmadığında hem verim kayıpları hem de kalite düşüşü kaçınılmaz olmaktadır (Garofalo ve ark., 2023; Manzoor ve ark., 2023; Martínez-Lüscher ve ark., 2016).

Asmanın su ihtiyacı fenolojik evrelere göre değişmektedir: Tomurcuk patlaması ve sürgün gelişimi: yeterli su, hızlı sürgün büyümesini destekler. Çiçeklenme ve tane tutumu: bu dönemde şiddetli kuraklık stresi veya aşırı su eksikliği, tane dökülmesine yol açarak verimde önemli kayıplara neden olabilir; buna karşılık bazı çalışmalarda, kontrollü düzeyde tutulan su kısıtlamasının kalite parametrelerini olumsuz etkilemeden uygulanabildiği bildirilmiştir. Tane büyümesi: su eksikliği tanelerin küçülmesine, su fazlalığı ise tanelerin aşırı irileşmesine neden olur. Olgunlaşma (ben düşme–hasat): kontrollü su kısıtlaması şeker birikimini, antosiyanin ve fenolik bileşik sentezini artırarak kaliteyi yükseltir (Acevedo-Opazo ve ark., 2010; Damásio ve ark., 2025; Garofalo ve ark., 2023; Martínez-Lüscher ve ark., 2016; Scholasch ve Rienth, 2019).

5.2. Kuraklık Stresinin Fizyolojik ve Morfolojik Etkileri

Asmalarda kuraklık stresi fizyolojik süreçleri doğrudan etkilemektedir. Fotosentez ve stomatal iletkenlik: Kuraklık stresi stomatal kapanmaya neden olur; bu durum fotosentez hızını azaltır (Schultz, 2003). Yaprak gelişimi: aşırı kuraklık stresi yaprak alanını küçültür, bitki daha az buharlaşma yüzeyine sahip olur (Hochberg ve ark., 2023). Kök gelişimi: hafif kuraklık stresi, köklerin daha derine yönelmesini teşvik edebilir; bu da kurak koşullara dayanıklılığı artırır (Gambetta ve ark., 2020). Kabuk/öz oranı: orta düzeyde kuraklık stresi kabuk kalınlığını artırarak fenolik bileşiklerin konsantrasyonunu yükseltebilir (Chacón-Vozmediano ve ark., 2021). Şaraplık üzümelerde bu durum özellikle arzu edilirken, sofralık üzüm üretiminde iri ve sulu taneler tercih edildiğinden farklı bir sulama stratejisi uygulanır.

5.3. Kontrollü Kısıtlı Sulama (Deficit Irrigation)

Kontrollü kısıtlı sulama modern bağcılığın en önemli su yönetim stratejilerinden biridir. Amaç, asmanın kritik dönemleri dışında suyu kısıtlayarak hem su tasarrufu sağlamak hem de kaliteyi artırmaktır (Feres ve Soriano, 2006; Losciale ve ark., 2024).

Regüle Kısıtlı Sulama (RDI) çiçeklenme sonrası ve tane büyümesi döneminde suyun sınırlandırılması, olgunlaşma döneminde ise yeterli su sağlanması esasına dayanır. Bu uygulama, asma büyümesini kontrol altında tutarken şaraplık üzümelerde fenolik madde yoğunluğunu artırır (Losciale ve ark., 2024; Pérez-Álvarez ve ark., 2021a,b).

Kısmi Kök Kurutma (PRD) PRD yönteminde bağın bir tarafındaki kökler sulanırken diğer tarafı kurutulur. Bu, köklerin ‘kimyasal sinyal’ göndererek stomaların kapanmasına yol açar. Böylece bitki suyu daha etkin kullanır (Du Toit ve ark., 2003; Sonawane ve Shrivastava, 2022; Odabaşoğlu, 2024).

5.4. Sulamanın Üzüm Kalitesine Etkileri

Sulama rejimi, üzümün şeker birikimi, titrasyon asitliği, fenolik bileşiklerin yoğunluğu ve aroma profili gibi birçok kalite parametresini etkilemektedir. Kontrollü sulama uygulamalarının şeker birikimini hızlandırdığı, titrasyon asitliğini koruduğu ve olgunlaşma dengesini iyileştirdiği bildirilmiştir (Pérez-Álvarez ve ark., 2021a; Uriarte ve ark., 2025). Fenolik bileşikler: Kuraklık stresi, antosiyanin ve tanen sentezini artırır; bu da

şaraplarda renk yoğunluğu ve gövdeyi güçlendirir (Koundouras ve ark., 2006). Yapılan çalışmalar, üzüm ve şaraplarda antioksidan kapasite ile fenolik bileşik profillerinin kaliteyi belirlemede kritik rol oynadığını ve bu özelliklerin çeşit ile çevre koşullarına bağlı olarak önemli ölçüde değiştiğini göstermiştir (Karaca Sanyürek ve ark., 2018; Karaca Sanyürek ve ark., 2021). Aroma profili: hafif kuraklık stresi terpenoidlerin ve metoksipirazinlerin seviyesini etkiler. Bu, özellikle aromatik çeşitlerde (Muscat, Sauvignon blanc) önemlidir (Brillante ve ark., 2018). Sofralık üzümde ise tüketici tercihleri iri ve sulu tanelerden yana olduğu için kuraklık stresi genellikle kaliteyi olumsuz etkiler. Bu nedenle sofralık ve şaraplık çeşitlerde sulama stratejileri farklılık göstermektedir.

5.5. İklim Değişikliği ve Sürdürülebilir Bağcılıkta Sulama

İklim değişikliğiyle artan kuraklık stresi riski yalnızca su tasarrufunu değil aynı zamanda entegratif sulama yönetimi yaklaşımlarını da zorunlu kılmaktadır. Toprak nemi sensörleri, bitki bazlı ölçümler (örneğin sap akışı, yaprak su potansiyeli) ve uzaktan algılama ile elde edilen verilerin birleştirilmesi, bağların gerçek zamanlı su ihtiyacına göre sulanmasına olanak tanır. Bu sayede hem su kaynaklarının verimli kullanılması hem de kaliteyi etkileyen su fazlalığı veya eksikliğinin önüne geçilir. Ayrıca regüle kısıtlı sulama (RDI) ve kısmi kök kurutma (PRD) gibi stratejiler, kritik fenolojik evrelerde suyun hedefe yönelik verilmesini sağlayarak hem verim hem de kalite üzerinde olumlu etkiler yaratmaktadır.

Gelecekte bağcılıkta sürdürülebilirliği sağlamak için yalnızca teknolojik yenilikler değil, aynı zamanda iklim dostu tarım politikaları, üretici eğitim programları ve bölgesel su yönetim planları da büyük önem taşımaktadır. Su kaynaklarının azalması karşısında yağmur suyu hasadı, damla sulama sistemlerinin iyileştirilmesi ve toprakta su tutma kapasitesini artıracak organik madde uygulamaları gibi yöntemlerin yaygınlaştırılması kritik olacaktır. Ayrıca bağcılık sektöründe karbon ayak izi azaltımı, enerji verimli sulama pompaları ve yenilenebilir enerji entegrasyonu gibi sürdürülebilirlik hedeflerinin de ön plana çıkması beklenmektedir.

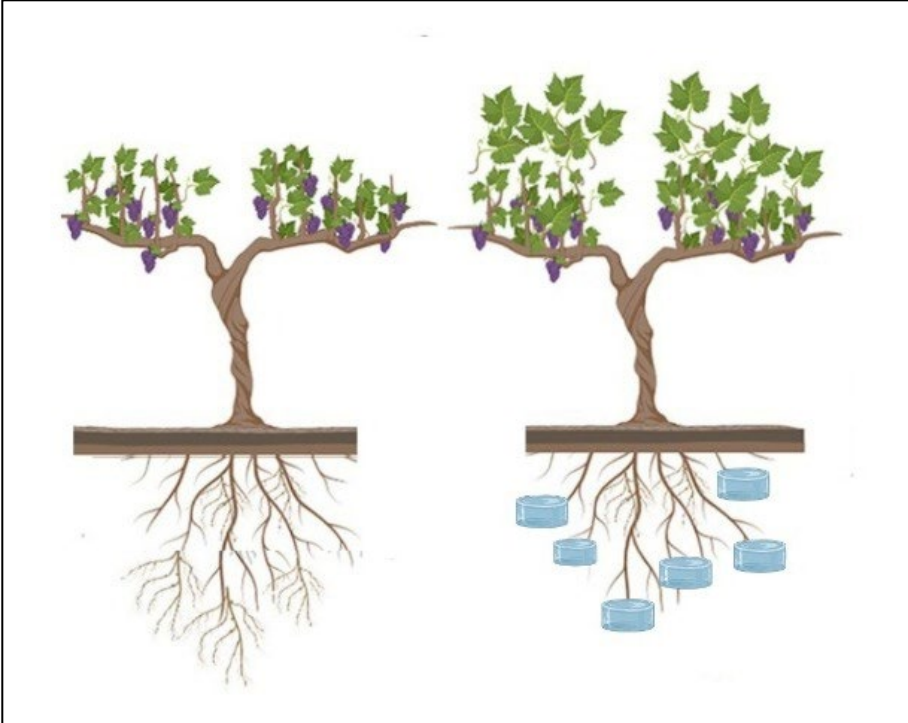
İklim değişikliği, üzüm yetiştiriciliğinde su yönetimini daha da önemli hâle getirmiştir. Artan sıcaklıklar ve düzensiz yağış rejimleri, bağların kuraklık stresine daha sık maruz kalmasına yol açmaktadır (Romero ve ark., 2022). Bu nedenle gelecekte: Akıllı sulama teknolojileri (IoT tabanlı sensörler, uzaktan

algılama, drone görüntüleme), Hidrojeller ve su tutucu polimerler, Kuraklığa dayanıklı çeşitler bağcılığın sürdürülebilirliği için kritik rol oynayacaktır.

6. ÜZÜM YETİŞTİRİCİLİĞİNDE HİDROJEL KULLANIMI

Bağcılıkta hidrojellerin kullanımı, fidanların tutunma oranlarını yükseltmek, kök gelişimini desteklemek ve kurak dönemlerde kuraklık stresini azaltmak açısından umut vadetmektedir (Abdullahi ve ark., 2024).

Rusya’da yürütülen bir çalışmada, ‘Aquasin’ adlı çapraz bağlı polimer hidrojel, bağ fidanlarının topraksız koşullardan açık alana aktarım sürecinde kullanılmıştır. Hidrojel uygulaması, sürgün kalınlığını artırmış ve bitki gelişimini hızlandırmıştır. Ayrıca, hidrojellerin mineral gübre veya biyostimülanlarla önceden doyurularak kullanılması, genç asmaların hayatta kalma oranını belirgin şekilde artırmıştır (Lopatkina ve Rebrov, 2021).



Şekil 4. Hidrojel uygulamasının kök bölgesi su tutma kapasitesi ve fidan gelişimine etkisi (Orijinal).

İtalya’da yürütülen biyobozunur selüloz bazlı hidrojel denemelerinde, kumlu toprak ve perlit gibi düşük su tutma kapasitesine sahip ortamların su

depolama özellikleri %400'e kadar artmıştır. Bağcılık açısından bu sonuç suyun daha uzun süre kök bölgesinde tutulmasını sağlayarak sulama sıklığını azaltma potansiyeli taşımaktadır (Frioni ve ark., 2024).

Hidrojellerin doğrudan meyve veren bağlarda kullanıldığı denemelerde, salkım ağırlığında %6-13 oranında artış rapor edilmiştir. Bu da dekara 400-1200 kg ek ürün elde edilmesini sağlamıştır. Ayrıca, su temininin iyileştirilmesi azotlu gübrelerin etkinliğini artırmış ve besin kullanım verimliliğini yükseltmiştir (Prakash ve ark., 2021).

Akdeniz bağcılığında (örneğin İtalya ve İspanya) yapılan saha çalışmalarında, üzüm veriminde %15'e varan artış ve sulama ihtiyacında %25'e kadar azalma sağlanarak hidrojellerin pratik faydaları doğrulanmıştır (Montesano ve ark., 2015).

Literatür karşılaştırmaları göstermektedir ki Rusya'da yapılan çalışmalar, hidrojellerin özellikle fidan yetiştiriciliği ve dikim sonrası adaptasyonda etkili olduğunu ortaya koymuştur. İtalya merkezli araştırmalar ise biyobozunur hidrojel formlarının tarla koşullarında su yönetimini iyileştirdiğini ve bitki gelişimini desteklediğini göstermektedir. Akdeniz bağcılığında yapılan saha çalışmaları ise hidrojellerin verim artışı ve su tasarrufu açısından güçlü bir alternatif sunduğunu ortaya koymaktadır (Frioni ve ark., 2024; Lopatkina ve Rebrov, 2021; Montesano ve ark., 2015).

Yapılan bir çalışmada, 2020–2021 yıllarında kumlu toprakta 'Early Sweet' üzüm çeşidine ait asmalarda yapılan iki alan denemesi, süper emici polimerin ve üç sulama etkilerini ortaya koymuştur: SAP dozu arttıkça toprak tarla kapasitesi ve kullanılabilir su anlamlı biçimde yükselmiş ve tam sulamaya göre yaklaşık beşte bir daha az suyla verim ve kalite korunup artırılmıştır (Ali ve ark., 2023).

Hidrojeller, bağcılıkta sulama yönetimini iyileştirmek ve su tasarrufu sağlamak için umut verici bir teknolojidir. Fidan adaptasyonu, kök gelişimi ve verim artışı üzerindeki olumlu etkileri bilimsel olarak kanıtlanmıştır. Özellikle biyobozunur hidrojeller hem çevresel sürdürülebilirlik hem de tarımsal verimlilik açısından ön plana çıkmaktadır. Ancak, geniş çaplı uygulamalar için maliyet etkinliği, toprak-tipine özgü dozajlar ve uzun vadeli etkiler üzerine daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

- Abdallah, A.M. (2019). The effect of hydrogel particle size on water retention properties and availability under water stress. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(3), 275-285. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.05.001>
- Abdelghafar, R., Abdelfattah, A. & Mostafa, H. (2024). Effect of super absorbent hydrogel on hydro-physical properties of soil under deficit irrigation. *Scientific Reports*, 14(1), 7655. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57786-5>
- Abdullahi, A., Hussain, B., Karadere, C., Samancı, E., Avcı, M., Baş, T., Allahverdiyev, M., Türeli, S., Bağcı, F. & Sabır, A. (2024). Water retention polymers to cope with drought driven by climate change for a sustainable viticulture. *International Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 17(2), 228–240. <https://doi.org/10.5281/zenodo.11408472>
- Acevedo-Opazo, C., Ortega-Farias, S. & Fuentes, S. (2010). Effects of grapevine (*Vitis vinifera* L.) water status on water consumption, vegetative growth and grape quality: An irrigation scheduling application to achieve regulated deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 97(7), 956–964. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.01.025>
- Agbna, G.H.D., & Zaidi, S.J. (2025). Hydrogel performance in boosting plant resilience to water stress—A review. *Gels*, 11(4), 276. <https://doi.org/10.3390/gels11040276>
- AgriHouse. (2024). *AgriHouse Leaf Sensor®*. Retrieved December 15, 2025, from <https://www.agrihouse.com/>
- Ahirwar, V. & Jain, D. (2025). Hydrogels innovation: A review on recent development, characterization and applications. *Drug Delivery Letters*, 15(2), 95-109. <https://doi.org/10.2174/0122103031318362241015062649>
- Ahmadi, A., Keshavarz, M. & Ejlali, F. (2025). Resilience to climate change in agricultural water-scarce areas: The major obstacles and adaptive strategies. *Water Resources Management*, 39(3), 1195–1214. <https://doi.org/10.1007/s11269-024-04019-z>
- Ali, A., Hussain, T. & Zahid, A. (2025). Smart irrigation technologies and prospects for enhancing water use efficiency for sustainable agriculture.

- AgriEngineering*, 7(4), 106.
<https://doi.org/10.3390/agriengineering7040106>
- Ali, A.B., Elshaikh, N.A., Hussien, G., Abdallah, F.E. & Hassan, S. (2020). Biochar addition for enhanced cucumber fruit quality under deficit irrigation. *Bioscience Journal*, 36(6), 1930–1937.
<https://doi.org/10.14393/BJ-v36n6a2020-47814>
- Ali, K., Asad, Z., Agbna, G.H.D., Saud, A., Khan, A. & Zaidi, S.J. (2024). Progress and innovations in hydrogels for sustainable agriculture. *Agronomy*, 14(12), 2815. <https://doi.org/10.3390/agronomy14122815>
- Ali, M.A., Mohamed, M.N., Eid, M.S.M. & Omar, A.S.M. (2023). Effect of superabsorbent polymer application on soil hydraulic properties, growth, yield, and water use efficiency of ‘Early Sweet’ grapevine (*Vitis vinifera*) under different irrigation levels. *Egyptian Journal of Horticulture*, 50(2), 209–229. <https://doi.org/10.21608/ejoh.2023.196613.1232>
- Araújo-Paredes, C., Portela, F., Mendes, S. & Valín, M.I. (2022). Using aerial thermal imagery to evaluate water status in *Vitis vinifera* cv. Loureiro. *Sensors*, 22(20), 8056. <https://doi.org/10.3390/s22208056>
- Banedjschafie, S. & Durner, W. (2015). Water retention properties of a sandy soil with superabsorbent polymers as affected by aging and water quality. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 178(5), 798–806.
<https://doi.org/10.1002/jpln.201500128>
- Bastiaanssen, W.G.M., Molden, D.J. & Makin, I.W. (2000). Remote sensing for irrigated agriculture: Examples from research and possible applications. *Agricultural Water Management*, 46(2), 137–155.
[https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(00\)00080-9](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(00)00080-9)
- Becerra-Encinales, J.F., Bernal-Hernandez, P., Beltrán-Giraldo, J.A., Cooman, A.P., Reyes, L.H. & Cruz, J.C. (2024). Agricultural extension for adopting technological practices in developing countries: A scoping review of barriers and dimensions. *Sustainability*, 16(9), 3555.
<https://doi.org/10.3390/su16093555>
- Bhatnagar, A., Kumar, R., Singh, V.P. & Pandey, D.S. (2016). Hydrogels: A boon for increasing agricultural productivity in a water-stressed environment. *Current Science*, 111(11), 1773.
<https://doi.org/10.18520/cs/v111/i11/1773-1779>

- Botany with Parul. (2025). *Hydrogels: Revolutionizing water conservation in farming*. Retrieved from <https://botanywithparul.com/hydrogels-revolutionizing-water-conservation-in-farming/>
- Brillante, L., Martínez-Lüscher, J. & Kurtural, S.K. (2018). Applied water and mechanical canopy management affect berry and wine phenolic and aroma composition of grapevine (*Vitis vinifera* L., cv. Syrah) in Central California. *Scientia Horticulturae*, 227, 261–271. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.09.048>
- Cataldo, E., Eichmeier, A. & Mattii, G.B. (2023). Effects of global warming on grapevine berries' phenolic compounds—A review. *Agronomy*, 13(9), 2192. <https://doi.org/10.3390/agronomy13092192>
- Čechmánková, J., Sedlařík, V., Duřpekova, S., Drbohlav, J., Šalaková, A. & Vácha, R. (2023). Assessing the effects of whey hydrogel on nutrient stability in soil and yield of *Leucosinapis alba* and *Hordeum vulgare*. *Sustainability*, 16(1), 45. <https://doi.org/10.3390/su16010045>
- Chacón-Vozmediano, J.L., Martínez-Gascueña, J., García-Romero, E., Gómez-Alonso, S., García-Navarro, F.J. & Jiménez-Ballesta, R. (2021). Effects of water stress on the phenolic compounds of ‘Merlot’ grapes in a semi-arid Mediterranean climate. *Horticulturae*, 7(7), 161. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7070161>
- Chang, C. & Zhang, L. (2011). Cellulose-based hydrogels: Present status and application prospects. *Carbohydrate Polymers*, 84(1), 40–53. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.12.023>
- Chang, L., Xu, L., Liu, Y. & Qiu, D. (2021). Superabsorbent polymers used for agricultural water retention. *Polymer Testing*, 94, 107021. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.107021>
- Chaves, M.M., Zarrouk, O., Francisco, R., Costa, J.M., Santos, T., Regalado, A.P., Rodrigues, M.L. & Lopes, C.M. (2010). Grapevine under deficit irrigation: Hints from physiological and molecular data. *Annals of Botany*, 105(5), 661–676. <https://doi.org/10.1093/aob/mcq030>
- Chevillard, A., Angellier-Coussy, H., Guillard, V., Gontard, N. & Gastaldi, E. (2012). Controlling pesticide release via structuring agropolymer and nanoclays-based materials. *Journal of Hazardous Materials*, 205–206, 32–39. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.11.093>

- Costa, J.M., Ortuño, M.F. & Chaves, M.M. (2007). Deficit irrigation as a strategy to save water: Physiology and potential application to horticulture. *Journal of Integrative Plant Biology*, 49(10), 1421–1434. <https://doi.org/10.1111/j.1672-9072.2007.00556.x>
- Damásio, M., Pinto, C., Salguero, J., Alarcón, M.V., de Deus, J., David, T.S., Silvestre, J., Carvalho, L.C. & Zarrouk, O. (2025). Molecular and hydraulic responses of grapevine to water status and phenology under long-term differential irrigation treatments. *Agricultural Water Management*, 318, 109708. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109708>
- Danilova, T.N. (2022). The formation of productivity of grain crops with introducing hydrogels under model soil drought and in field conditions. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya*, 57(3), 460–475. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.3.460eng>
- Dau, H., Jones, G. R., Tsogtgerel, E., Nguyen, D., Keyes, A., Liu, Y.-S., Rauf, H., Ordonez, E., Puchelle, V., Basbug Alhan, H., Zhao, C. & Harth, E. (2022). Linear block copolymer synthesis. *Chemical Reviews*, 122(18), 14471–14553. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.2c00189>
- De Souza, A.G., Cesco, C.T., de Lima, G.F., Artifon, S.E.S., Rosa, D. dos S. & Paulino, A.T. (2019). Arabic gum-based composite hydrogels reinforced with eucalyptus and pinus residues for controlled phosphorus release. *International Journal of Biological Macromolecules*, 140, 33–42. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.106>
- Del-Coco, M., Leo, M. & Carcagni, P. (2024). Machine learning for smart irrigation in agriculture: How far along are we? *Information*, 15(6), 306. <https://doi.org/10.3390/info15060306>
- Du Toit, P.G., Dry, P.R. & Loveys, B.R. (2003). A preliminary investigation on partial rootzone drying (PRD) effects on grapevine performance, nitrogen assimilation and berry composition. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 24(2), 43–54. <https://doi.org/10.21548/24-2-2637>
- El-Aziz, G.H.A., Ibrahim, A.S. & Fahmy, A.H. (2022). Using environmentally friendly hydrogels to alleviate the negative impact of drought on plant. *Open Journal of Applied Sciences*, 12(1), 111–133. <https://doi.org/10.4236/ojapps.2022.121009>

- Elshafie, H.S. & Camele, I. (2021). Applications of absorbent polymers for sustainable plant protection and crop yield. *Sustainability*, 13(6), 3253. <https://doi.org/10.3390/su13063253>
- Evans, R.G. & Sadler, E.J. (2008). Methods and technologies to improve efficiency of water use. *Water Resources Research*, 44(7), W00E04. <https://doi.org/10.1029/2007WR006200>
- Evelt, S.R., Tolk, J.A. & Howell, T.A. (2006). Soil profile water content determination: Sensor accuracy, axial response, calibration, temperature dependence, and precision. *Vadose Zone Journal*, 5(3), 894–907. <https://doi.org/10.2136/vzj2005.0149>
- FAO. (2020). *State of food and agriculture: Overcoming water challenges in agriculture*.
- Fereres, E. & Soriano, M.A. (2006). Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, 58(2), 147–159. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl165>
- Foley, J.A., Ramankutty, N., Brauman, K.A., Cassidy, E.S., Gerber, J.S., Johnston, M., ... & Zaks, D.P.M. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337–342. <https://doi.org/10.1038/nature10452>
- Fraga, H., Malheiro, A.C., Moutinho-Pereira, J. & Santos, J.A. (2013). Future scenarios for viticultural zoning in Europe: Ensemble projections and uncertainties. *International Journal of Biometeorology*, 57(6), 909–925. <https://doi.org/10.1007/s00484-012-0617-8>
- Frioni, T., Bonicelli, P.G., Ripa, C., Tombesi, S. & Poni, S. (2024). Superabsorbent hydrogels: A new tool for vineyard water management? *Agricultural Water Management*, 306, 109145. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.109145>
- Gambetta, G.A., Herrera, J.C., Dayer, S., Feng, Q., Hochberg, U. & Castellarin, S.D. (2020). The physiology of drought stress in grapevine: Towards an integrative definition of drought tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 71(16), 4658–4676. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa245>
- Garofalo, S.P., Intrigliolo, D.S., Camposeo, S., Alhajj Ali, S., Tedone, L., Lopriore, G., De Mastro, G. & Vivaldi, G.A. (2023). Agronomic responses of grapevines to an irrigation scheduling approach based on continuous monitoring of soil water content. *Agronomy*, 13(11), 2821. <https://doi.org/10.3390/agronomy13112821>

- Grzybek, P., Jakubski, Ł. & Dudek, G. (2022). Neat chitosan porous materials: A review of preparation, structure characterization and application. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(17), 9932. <https://doi.org/10.3390/ijms23179932>
- Hao, Y., Qu, J., Tan, L., Liu, Z., Wang, Y., Lin, T., Yang, H., Peng, J. & Zhai, M. (2023). Synthesis and property of superabsorbent polymer based on cellulose grafted 2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 233, 123643. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123643>
- Hassan-Esfahani, L., Torres-Rua, A., Jensen, A. & McKee, M. (2015). Assessment of surface soil moisture using high-resolution multi-spectral imagery and artificial neural networks. *Remote Sensing*, 7(3), 2627–2646. <https://doi.org/10.3390/rs70302627>
- Hatfield, J.L. & Dold, C. (2019). Water-use efficiency: Advances and challenges in a changing climate. *Frontiers in Plant Science*, 10, 103. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00103>
- Hochberg, U., Perry, A., Rachmilevitch, S., Ben-Gal, A. & Sperling, O. (2023). Instantaneous and lasting effects of drought on grapevine water use. *Agricultural and Forest Meteorology*, 338, 109521. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109521>
- Ingrao, C., Strippoli, R., Lagioia, G. & Huisingh, D. (2023). Water scarcity in agriculture: An overview of causes, impacts and approaches for reducing the risks. *Heliyon*, 9(8), e18507. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18507>
- Ismaeilimoghadam, S., Jonoobi, M., Ashori, A., Shahraki, A., Azimi, B. & Danti, S. (2023). Interpenetrating and semi-interpenetrating network superabsorbent hydrogels based on sodium alginate and cellulose nanocrystals: A biodegradable and high-performance solution for adult incontinence pads. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253, 127118. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127118>
- Jones, H.G. (2004). Irrigation scheduling: Advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of Experimental Botany*, 55(407), 2427–2436. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh213>
- Kapoor, R., Kumar, A., Sandal, S.K., Sharma, A., Raina, R. & Thakur, K.S. (2022). Water and nutrient economy in vegetable crops through drip

- fertigation and mulching techniques: A review. *Journal of Plant Nutrition*, 45(15), 2389–2403. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2063742>
- Karaca Sanyürek, N., İnce, O.K., Aydogdu, B. & İnce, M. (2021). Determination of antioxidant capacity, phenolic and elemental composition in Syriac (Mardin) wines by using chromatographic and spectrophotometric methods. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(1), 55–72. <https://doi.org/10.1080/22297928.2021.1878930>
- Karaca Sanyürek, N., Tahmaz, H., Çakır, A. & Söylemezoğlu, G. (2018). Tunceli ilinde yetiştirilen bazı şaraplık üzüm çeşitlerinde antioksidan aktivitenin ve fenolik bileşiklerin belirlenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 5(4), 551–555. <https://doi.org/10.30910/turkjans.471340>
- Kaur, P., Agrawal, R., Pfeffer, F.M., Williams, R. & Bohidar, H.B. (2023). Hydrogels in agriculture: Prospects and challenges. *Journal of Polymers and the Environment*, 31(9), 3701–3718. <https://doi.org/10.1007/s10924-023-02859-1>
- Kaur, R., Sharma, R. & Chahal, G.K. (2021). Synthesis of lignin-based hydrogels and their applications in agriculture: A review. *Chemical Papers*, 75(9), 4465–4478. <https://doi.org/10.1007/s11696-021-01712-w>
- Keller, M. (2014). *The science of grapevines: Anatomy and physiology*. Elsevier.
- Koundouras, S., Marinos, V., Gkoulioti, A., Kotseridis, Y., & van Leeuwen, C. (2006). Influence of vineyard location and vine water status on fruit maturation of nonirrigated cv. Agiorgitiko (*Vitis vinifera* L.): Effects on wine phenolic and aroma components. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(14), 5077–5086. <https://doi.org/10.1021/jf0605446>
- Lemke, P., Jünemann, L. & Moerschbacher, B.M. (2022). Synergistic antimicrobial activities of chitosan mixtures and chitosan–copper combinations. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(6), 3345. <https://doi.org/10.3390/ijms23063345>
- Lenka, S., Lenka, N.K., Singh, A.B., Singh, B. & Raghuwanshi, J. (2017). Global warming potential and greenhouse gas emission under different soil nutrient management practices in soybean–wheat system of central

- India. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(5), 4603–4612. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8189-5>
- Liu, X., Zhao, Z. & Rezaeipannah, A. (2025). Intelligent and automatic irrigation system based on internet of things using fuzzy control technology. *Scientific Reports*, 15(1), 14577. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-98137-2>
- Lopatkina, E. & Rebrov, A. (2021). The use of polymer super absorbent in the adaptation of revitalized grape plants to non-sterile conditions. *BIO Web of Conferences*, 39, 04002. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213904002>
- López-Velázquez, J.C., Rodríguez-Rodríguez, R., Espinosa-Andrews, H., Qui-Zapata, J.A., García-Morales, S., Navarro-López, D.E., Luna-Bárcenas, G., Vassallo-Brigneti, E.C. & García-Carvajal, Z.Y. (2019). Gelatin–chitosan–PVA hydrogels and their application in agriculture. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 94(11), 3495–3504. <https://doi.org/10.1002/jctb.5961>
- Losciale, P., Conti, L., Seripierri, S., Alba, V., Mazzone, F., Rustioni, L., di Leo, G., Tarricone, F. & Tarricone, L. (2024). Effect of different deficit irrigation regimes on vine performance, grape composition and wine quality of the “Primitivo” variety under Mediterranean conditions. *Irrigation Science*, 42(5), 877–890. <https://doi.org/10.1007/s00271-024-00956-0>
- Maijan, P. & Chantarak, S. (2020). Synthesis and characterization of highly durable and reusable superabsorbent core–shell particles. *Polymer Engineering & Science*, 60(2), 306–313. <https://doi.org/10.1002/pen.25284>
- Mansingh, B., Prasad, R. & Choudhury, P.P. (2023). Hydrogel—An upcoming storyline of agriculture. *AgriAllis*. Retrieved from <https://www.agriallis.com>
- Manzoor, I., Sultan, R.M.S., Kumar, P., Abidi, I.A., Nisa, B.U., Bhat, K.M., Mir, M.A., Lone, S.A., Lesa, M.A.M., Tarique, M., Nazim, N., Dar, S. A. & Youssef, R. (2023). Phenological stages of growth in grapevine (*Vitis vinifera* L.) via codes and details as per BBCH scale. *Research Square* preprint. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3187930/v1>

- Marek, G.W., Evett, S.R., Thorp, K.R., DeJonge, K.C., Marek, T.H. & Brauer, D.K. (2023). Characterizing evaporative losses from sprinkler irrigation using large weighing lysimeters. *Journal of the ASABE*, 66(2), 353–365. <https://doi.org/10.13031/ja.15300>
- Martínez-Lüscher, J., Kizildeniz, T., Vučetić, V., Dai, Z., Luedeling, E., van Leeuwen, C., Gomès, E., Pascual, I., Irigoyen, J.J., Morales, F. & Delrot, S. (2016). Sensitivity of grapevine phenology to water availability, temperature and CO₂ concentration. *Frontiers in Environmental Science*, 4, 48. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00048>
- McNeill, I.C., & Sadeghi, S.M.T. (1990). Thermal stability and degradation mechanisms of poly(acrylic acid) and its salts: Part 1—Poly(acrylic acid). *Polymer Degradation and Stability*, 29(2), 233–246. [https://doi.org/10.1016/0141-3910\(90\)90034-5](https://doi.org/10.1016/0141-3910(90)90034-5)
- Medrano, H. (2002). Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: Stomatal conductance as a reference parameter. *Annals of Botany*, 89(7), 895–905. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf079>
- Mellelo, E., Samuilova, E.O., Denisov, T.S., Martynova, D.M. & Olekhovich, R. O. (2019). Influence of the bentonite-containing acrylic humectant composite on the soil microflora. *Agronomy Research*, 17(5), 1960–1968. <https://doi.org/10.15159/AR.19.156>
- Michalik, R. & Wandzik, I. (2020). A mini-review on chitosan-based hydrogels with potential for sustainable agricultural applications. *Polymers*, 12(10), 2425. <https://doi.org/10.3390/polym12102425>
- Mikhailidi, A., Ungureanu, E., Tofanica, B.-M., Ungureanu, O.C., Fortună, M. E., Belosinschi, D. & Volf, I. (2024). Agriculture 4.0: Polymer hydrogels as delivery agents of active ingredients. *Gels*, 10(6), 368. <https://doi.org/10.3390/gels10060368>
- Mohamady Ghobashy, M. (2020). The application of natural polymer-based hydrogels for agriculture. In Y. Chen (Ed.), *Hydrogels based on natural polymers* (pp. 329–356). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816421-1.00013-6>
- Mohanavelu, A., Naganna, S.R. & Al-Ansari, N. (2021). Irrigation induced salinity and sodicity hazards on soil and groundwater: An overview of its causes, impacts and mitigation strategies. *Agriculture*, 11(10), 983. <https://doi.org/10.3390/agriculture11100983>

- Montesano, F.F., Parente, A., Santamaria, P., Sannino, A. & Serio, F. (2015). Biodegradable superabsorbent hydrogel increases water retention properties of growing media and plant growth. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4, 451–458. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.03.052>
- Mukherjee, K., Dutta, P., Saha, A., Dey, S., Sahu, V., Badwaik, H. & Giri, T. K. (2024). Alginate-based semi-IPN and IPN hydrogel for drug delivery and regenerative medicine. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 92, 105402. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2024.105402>
- Muneer, M.A. (2022). Efficacy of subsurface and surface drip irrigation regarding water productivity and yield of maize. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 59(1), 125–134. <https://doi.org/10.21162/PAKJAS/22.239>
- Kishor, N., Khanna, M., Rajanna, G.A., Singh, M., Singh, A., Singh, S., Banerjee, T., Patanjali, N., Rajput, J. & Kiruthiga, B. (2024). Soil water distribution and water productivity in red cabbage crop using superabsorbent polymeric hydrogels under different drip irrigation regimes. *Agricultural Water Management*, 295, 108759. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108759>
- Nano Ganesh. (2024). *Nano Ganesh mobile irrigation controller*. Retrieved December 15, 2025, from <https://www.nanoganesh.com/>
- Nascimento, C.D.V., Simmons, R.W., de Andrade Feitosa, J.P., dos Santos Dias, C.T. & Costa, M.C.G. (2021). Potential of superabsorbent hydrogels to improve agriculture under abiotic stresses. *Journal of Arid Environments*, 189, 104496. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104496>
- Nsoh, B., Katimbo, A., Guo, H., Heeren, D.M., Nakabuye, H.N., Qiao, X., Ge, Y., Rudnick, D.R., Wanyama, J., Bwambale, E. & Kiraga, S. (2024). Internet of Things-based automated solutions utilizing machine learning for smart and real-time irrigation management: A review. *Sensors*, 24(23), 7480. <https://doi.org/10.3390/s24237480>
- Odabaşıoğlu, M.İ. (2024). Different irrigation strategies affect proximate composition and fatty acid profiles of grape seeds under semi-arid conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 48(6), 927-946.

- Oladosu, Y., Rafii, M.Y., Arolu, F., Chukwu, S.C., Salisu, M.A., Fagbohun, I.K., Muftaudeen, T.K., Swaray, S. & Haliru, B.S. (2022). Superabsorbent polymer hydrogels for sustainable agriculture: A review. *Horticulturae*, 8(7), 605. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070605>
- Özdemir, A., Volk, M., Strauch, M. & Witing, F. (2024). The effects of climate change on streamflow, nitrogen loads, and crop yields in the Gordes Dam Basin, Turkey. *Water*, 16(10), 1371. <https://doi.org/10.3390/w16101371>
- Palanivelu, S.D., Armir, N.A.Z., Zulkifli, A., Hair, A.H.A., Salleh, K.M., Lindsey, K., Che-Othman, M.H. & Zakaria, S. (2022). Hydrogel application in urban farming: Potentials and limitations—A review. *Polymers*, 14(13), 2590. <https://doi.org/10.3390/polym14132590>
- Park, J., Guan, W. & Yu, G. (2025). Smart hydrogels for sustainable agriculture. *EcoMat*, 7(4), e70011. <https://doi.org/10.1002/eom2.70011>
- Pathak, V. & Ambrose, R.P.K. (2020). Starch-based biodegradable hydrogel as seed coating for corn to improve early growth under water shortage. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(14), 48523. <https://doi.org/10.1002/app.48523>
- Patra, S.K., Poddar, R., Brestic, M., Acharjee, P.U., Bhattacharya, P., Sengupta, S., Pal, P., Bam, N., Biswas, B., Barek, V., Ondrisik, P., Skalicky, M. & Hossain, A. (2022). Prospects of hydrogels in agriculture for enhancing crop and water productivity under water deficit condition. *International Journal of Polymer Science*, 2022, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2022/4914836>
- Pedrini, S., Merritt, D.J., Stevens, J. & Dixon, K. (2017). Seed coating: Science or marketing spin? *Trends in Plant Science*, 22(2), 106–116. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.11.002>
- Pérez-Álvarez, E.P., Intrigliolo, D.S., Almajano, M.P., Rubio-Bretón, P. & Garde-Cerdán, T. (2021a). Effects of water deficit irrigation on phenolic composition and antioxidant activity of Monastrell grapes under semiarid conditions. *Antioxidants*, 10(8), 1301. <https://doi.org/10.3390/antiox10081301>
- Pérez-Álvarez, E.P., Intrigliolo Molina, D.S., Vivaldi, G.A., García-Esparza, M.J., Lizama, V. & Álvarez, I. (2021b). Effects of the irrigation regimes on grapevine cv. Bobal in a Mediterranean climate: I. Water relations, vine performance and grape composition. *Agricultural Water*

- Management*, 248, 106772.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106772>
- Pirzada, T., de Farias, B.V., Mathew, R., Guenther, R.H., Byrd, M.V., Sit, T.L., Pal, L., Opperman, C.H. & Khan, S.A. (2020). Recent advances in biodegradable matrices for active ingredient release in crop protection: Towards attaining sustainability in agriculture. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 48, 121–136.
<https://doi.org/10.1016/j.cocis.2020.05.002>
- Playán, E. & Mateos, L. (2006). Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. *Agricultural Water Management*, 80(1–3), 100–116. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.007>
- Popp, A., Dietrich, J.P., Lotze-Campen, H., Klein, D., Bauer, N., Krause, M., Beringer, T., Gerten, D. & Edenhofer, O. (2011). The economic potential of bioenergy for climate change mitigation with special attention given to implications for the land system. *Environmental Research Letters*, 6(3), 034017. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/6/3/034017>
- Prakash, S., Vasudevan, S., Banerjee, A., Joe, A.C., Geetha, K.N. & Mani, S. K. (2021). Sustainable irrigation through application of hydrogel: A review. *Alinteri Journal of Agriculture Sciences*, 36(2), 38–52. <https://doi.org/10.47059/alinteri/v36i2/ajas21113>
- Prasad, R., Srivastava, A.K. & Tiwari, R. (2024). Fuzzy logic-based sprinkler controller for a precision irrigation system: A case study of semi-arid regions in India. *Engineering Proceedings*, 82(1), 103. <https://doi.org/10.3390/ecsa-11-20504>
- Qin, C., Wang, H., Zhao, Y., Qi, Y., Wu, N., Zhang, S. & Xu, W. (2024). Recent advances of hydrogel in agriculture: Synthesis, mechanism, properties and applications. *European Polymer Journal*, 219, 113376. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2024.113376>
- Ramos, M.C., Ibáñez Jara, M.Á., Rosillo, L. & Salinas, M.R. (2024). Effect of temperature and water availability on grape phenolic compounds and their extractability in Merlot grown in a warm area. *Scientia Horticulturae*, 337, 113475. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113475>
- Rebers, L., Reichsöllner, R., Regett, S., Tovar, G.E.M., Borchers, K., Baudis, S. & Southan, A. (2021). Differentiation of physical and chemical cross-

- linking in gelatin methacryloyl hydrogels. *Scientific Reports*, 11(1), 3256. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82393-z>
- Romero, P., Navarro, J.M. & Ordaz, P.B. (2022). Towards a sustainable viticulture: The combination of deficit irrigation strategies and agroecological practices in Mediterranean vineyards: A review and update. *Agricultural Water Management*, 259, 107216. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107216>
- Rothausen, S.G.S.A., & Conway, D. (2011). Greenhouse-gas emissions from energy use in the water sector. *Nature Climate Change*, 1(4), 210–219. <https://doi.org/10.1038/nclimate1147>
- Saggi, M.K. & Jain, S. (2022). A survey towards decision support system on smart irrigation scheduling using machine learning approaches. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 29(6), 4455–4478. <https://doi.org/10.1007/s11831-022-09746-3>
- Saha, A., Sekharan, S. & Manna, U. (2020). Superabsorbent hydrogel (SAH) as a soil amendment for drought management: A review. *Soil and Tillage Research*, 204, 104736. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104736>
- Sapula, P., Bialik-Was, K. & Malarz, K. (2023). Are natural compounds a promising alternative to synthetic cross-linking agents in the preparation of hydrogels? *Pharmaceutics*, 15(1), 253. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15010253>
- Sayed, A., Mohamed, M.M., Abdel-raouf, M.E.S. & Mahmoud, G.A. (2022). Radiation synthesis of green nanoarchitectonics of guar gum-pectin/polyacrylamide/zinc oxide superabsorbent hydrogel for sustainable agriculture. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 32(12), 4589–4600. <https://doi.org/10.1007/s10904-022-02465-z>
- Scholasch, T. & Rienth, M. (2019). Review of water deficit mediated changes in vine and berry physiology; consequences for the optimization of irrigation strategies. *OENO One*, 53(3), 423–444. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2019.53.3.2407>
- Schultz, H.R. (2003). Differences in hydraulic architecture account for near-isohydric and anisohydric behaviour of two field-grown *Vitis vinifera* L. cultivars during drought. *Plant, Cell & Environment*, 26(8), 1393–1405. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2003.01064.x>

- Sennakesavan, G., Mostakhdemin, M., Dkhar, L.K., Seyfoddin, A. & Fatihhi, S.J. (2020). Acrylic acid/acrylamide-based hydrogels and its properties: A review. *Polymer Degradation and Stability*, 180, 109308. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2020.109308>
- Singh, I., Verma, R.R. & Srivastava, T.K. (2018). Growth, yield, irrigation water use efficiency, juice quality and economics of sugarcane in Pusa hydrogel application under different irrigation scheduling. *Sugar Tech*, 20(1), 29–35. <https://doi.org/10.1007/s12355-017-0515-9>
- Singh, N., Agarwal, S., Jain, A. & Khan, S. (2021). 3-dimensional cross linked hydrophilic polymeric network “hydrogels”: An agriculture boom. *Agricultural Water Management*, 253, 106939. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106939>
- Sivakumar, P., Muthumanickam, D., Pazhanivelan, S., Jagadeeswaran, R. & Kannappan, G. (2025). Applications of thermal infrared remote sensing in agriculture. *Plant Science Today*, 12(3), 1–13. <https://doi.org/10.14719/pst.9186>
- Skrzypczak, D., Jarzembowski, Ł., Izydorczyk, G., Mikula, K., Hoppe, V., Mielko, K. A., Pudelko-Malik, N., Młynarz, P., Chojnacka, K. & Witek-Krowiak, A. (2021). Hydrogel alginate seed coating as an innovative method for delivering nutrients at the early stages of plant growth. *Polymers*, 13(23), 4233. <https://doi.org/10.3390/polym13234233>
- Skrzypczak, D., Mikula, K., Kosińska, N., Widera, B., Warchoń, J., Moustakas, K., Chojnacka, K. & Witek-Krowiak, A. (2020). Biodegradable hydrogel materials for water storage in agriculture: Review of recent research. *Desalination and Water Treatment*, 194, 324–332. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.25436>
- Snoeck, D., Velasco, L.F., Mignon, A., Van Vlierberghe, S., Dubruel, P., Lodewyckx, P. & De Belie, N. (2015). The effects of superabsorbent polymers on the microstructure of cementitious materials studied by means of sorption experiments. *Cement and Concrete Research*, 77, 26–35. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.06.013>
- Sonawane, A.V. & Shrivastava, P.K. (2022). Partial root zone drying method of irrigation: A review. *Irrigation and Drainage*, 71(3), 574–588. <https://doi.org/10.1002/ird.2686>

- Su, Z., Sun, D., Zhang, L., He, M., Jiang, Y., Millar, B., Douglas, P., Mariotti, D., Maguire, P. & Sun, D. (2021). Chitosan/silver nanoparticle/graphene oxide nanocomposites with multi-drug release, antimicrobial, and photothermal conversion functions. *Materials*, 14(9), 2351. <https://doi.org/10.3390/ma14092351>
- Sulser, T.B., Ringler, C., Zhu, T., Msangi, S., Bryan, E. & Rosegrant, M.W. (2010). Green and blue water accounting in the Ganges and Nile basins: Implications for food and agricultural policy. *Journal of Hydrology*, 384(3–4), 276–291. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.10.003>
- Tariq, Z., Iqbal, D. N., Rizwan, M., Ahmad, M., Faheem, M. & Ahmed, M. (2023). Significance of biopolymer-based hydrogels and their applications in agriculture: A review in perspective of synthesis and their degree of swelling for water holding. *RSC Advances*, 13(35), 24731–24754. <https://doi.org/10.1039/D3RA03472K>
- Thakur, S. & Arotiba, O.A. (2018). Synthesis, swelling and adsorption studies of a pH-responsive sodium alginate–poly(acrylic acid) superabsorbent hydrogel. *Polymer Bulletin*, 75(10), 4587–4606. <https://doi.org/10.1007/s00289-018-2287-0>
- Thalheimer, M. (2022). A leaf-mounted capacitance sensor for continuous monitoring of foliar transpiration and solar irradiance as an indicator of plant water status. *Journal of Agricultural Engineering*, 54(1). <https://doi.org/10.4081/jae.2022.1477>
- Tomášková, I., Svatoš, M., Macků, J., Vanická, H., Resnerová, K., Čepl, J., Holuša, J., Hosseini, S.M. & Dohrenbusch, A. (2020). Effect of different soil treatments with hydrogel on the performance of drought-sensitive and tolerant tree species in a semi-arid region. *Forests*, 11(2), 211. <https://doi.org/10.3390/f11020211>
- Uriarte, D., Santesteban, L.G., Mirás-Avalos, J.M., Buesa, I., Cancela, J.J., Chacón, J.L., Escalona, J.M., Intrigliolo, D.S., Lampreave, M., Montoro, A., Rivacoba, L., Visconti, F., Yuste, J. & Miranda, C. (2025). Quantifying the effects of water status on grapevine vegetative growth, yield, and grape composition through a collaborative analysis. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 2025(1), 1588228. <https://doi.org/10.1155/ajgw/1588228>

- Van Leeuwen, C., Destrac-Irvine, A., Dubernet, M., Duchêne, E., Gowdy, M., Marguerit, E., Pieri, P., Parker, A., de Rességuier, L. & Ollat, N. (2019). An update on the impact of climate change in viticulture and potential adaptations. *Agronomy*, 9(9), 514. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090514>
- Wan Anuar, W.A.N., Ramli, R.A., El-Sayed, M.M. & Warkar, S.G. (2025). Recent study on biodegradable hydrogels for agriculture application: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 13(2), 115679. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.115679>
- Wang, X., Huang, L., Zhang, C., Deng, Y., Xie, P., Liu, L. & Cheng, J. (2020). Research advances in chemical modifications of starch for hydrophobicity and its applications: A review. *Carbohydrate Polymers*, 240, 116292. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116292>
- Williams, L.E., Grimes, D.W. & Phene, C.J. (2010). The effects of applied water at various fractions of measured evapotranspiration on reproductive growth and water productivity of Thompson Seedless grapevines. *Irrigation Science*, 28(3), 233–243. <https://doi.org/10.1007/s00271-009-0173-0>
- Yang, P., Wu, L., Cheng, M., Fan, J., Li, S., Wang, H. & Qian, L. (2023). Review on drip irrigation: Impact on crop yield, quality, and water productivity in China. *Water*, 15(9), 1733. <https://doi.org/10.3390/w15091733>
- Yang, X., Zhang, L. & Liu, X. (2024). Optimizing water-fertilizer integration with drip irrigation management to improve crop yield, water, and nitrogen use efficiency: A meta-analysis study. *Scientia Horticulturae*, 338, 113653. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113653>
- Zhai, Z., Martínez, J.F., Beltran, V. & Martínez, N.L. (2020). Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, 105256. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105256>
- Zhang, Y., Wei, H., Hua, B., Hu, C. & Zhang, W. (2024). Preparation and application of the thermo-/pH-/ion-sensitive semi-IPN hydrogel based on chitosan. *International Journal of Biological Macromolecules*, 258, 128968. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128968>
- Zohuriaan-Mehr, M.J., Pourjavadi, A., Salimi, H. & Kurdtabar, M. (2009). Protein- and homo poly(amino acid)-based hydrogels with super-

swelling properties. *Polymers for Advanced Technologies*, 20(8), 655–671. <https://doi.org/10.1002/pat.1395>

Zwart, S.J. & Bastiaanssen, W.G.M. (2004). Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management*, 69(2), 115–133. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.04.007>

BÖLÜM 10

AŞI UYUŞMAZLIĞI İLE FENOLİK BİLEŞİKLERİN İLİŞKİSİ: ASMA PERSPEKTİFİNDE BİR İNCELEME

Ziraat Yük. Müh. Tuba HENTEŞ^{1*},
Doç. Dr. Mehmet İlhan ODABAŞIOĞLU²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18114540>

¹ Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri ABD., Kilis, Türkiye
tctubacelik@gmail.com, Orcid: 0000-0002-8541-5103

² Adıyaman Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Adıyaman, Türkiye
modabasioglu@adiyaman.edu.tr, Orcid: 0000-0001-8060-3407

*Sorumlu yazar: tctubacelik@gmail.com

1. GİRİŞ

Aşılama, özellikle 19. yüzyılın sonlarındaki filoksera krizinden bu yana dünya çapında bağcılıkta hayati önem taşıyan teknik bir uygulamadır. Bu şekilde yetiştirilen asmaların çoğu, Kuzey Amerika *Vitis* spp. ve bunların melezlerinden türetilen anaçlara aşılanmış *Vitis vinifera* kalemleridir (Çelik ve ark., 1998). Bağcılıkta birçok farklı aşılama teknikleri olmasına rağmen yeni kurulan bağlarda özellikle masabaşı aşılama ile üretilen aşılı asma fidanları tercih edilmektedir (Ağaoğlu ve ark., 2010).

Masabaşı aşılı asma fidanı üretimi, aşılanacak bitki materyallerinin kış budaması ile başlayan, fidanlıktaki aşı partnerlerinin seçimi, aşılanması ve bunların bağa dikilmesiyle biten karmaşık ve zaman alıcı bir süreçtir (Çelik, 2011). Bu yöntemle elde edilen aşılı bitkiler arasında başarılı bir aşı birliğinin kurulması ve uzun vadeli büyümesi, öncelikle iki genotip arasındaki uyumluluğa ve aşı birliğinin oluşumu sırasında fonksiyonel damar bağlantıları oluşturma yeteneklerine bağlıdır (Rasool ve ark., 2020). Çünkü bu durum bitkinin tüm ömrü boyunca minerallerin, suyun, asimilatların ve hormonların alımı ve translokasyonu için uygun bir sistem sağlayarak bitkinin hayatta kalmasını sağlamaktadır (Mosse, 1962). Buna karşılık, aşı birliği süresince damar bağlantılarının fonksiyonel olmaması durumunda ise "aşı uyumsuzluğu", yaygın bilinen adıyla "aşı uyuşmazlığı", görülür ve sonucunda aşı birleşim yerinde kırılmalar, bazen sağlıklı bitkiler ve bazen de erken bitki ölümleri meydana gelebilmektedir (Zarrouk ve ark., 2006).

Bitkilerde üç tür uyuşmazlık vardır. Bunlar taşınır aşı uyuşmazlığı, lokalize aşı uyuşmazlığı ve patojenler tarafından uyarılan aşı uyuşmazlığıdır (Herrero, 1951; Mosse, 1962). Bunlardan ilki genellikle aşılamadan sonraki ilk yıl içinde büyümenin durması, yaprak dökülmesi ve yaprak renginin değişmesi gibi semptomlarla ilişkilendirilirken (Herrero, 1951; Mosse, 1962), ikinci tip uyumsuzluğun semptomları gelişimin daha sonraki aşamalarında ortaya çıkar ve aşı birleşimindeki biyokimyasal değişiklikler ile ilişkilendirilir (Herrero, 1951; Mosse, 1962). Üçüncü tip uyuşmazlık ise virüslerin neden olduğu uyuşmazlık tipidir ve diğerlerine benzer semptomlar göstermektedir. Her üç durumda da büyük ekonomik kayıplar meydana gelmektedir (Habibi ve ark., 2020). Anaç ile kalem arasındaki uyuşmazlığın; ekonomik, teknik ve sürdürülebilir üretim bakımından önemine rağmen, bu durumun altında yatan mekanizmalar halen netlik kazanmamıştır. Bununla birlikte uyuşmazlığın

ikincil metabolitler ile ilişkili bir durum olabileceği yahut uyumsuzluk sonucunda bu metabolitlerde değişimlerin görülebileceği kimi araştırmacılarca ileri sürülmüşse de literatürde bu konuya odaklanan oldukça az sayıda çalışma vardır (Zarrouk ve ark., 2006). Özellikle odunsu bitkilerde fenolik bileşenler ile uyumsuzluk mekanizması arasındaki ilişkiler hakkında literatürde yer alan çalışmalar sınırlıdır (Errea, 1998; Pina ve Errea, 2008; Arghavan ve ark., 2022).

Bu bölümde, gelecekte yürütülecek olan ıslah çalışmalarında kullanılacak metabolik belirteçlerin ortaya çıkarılması çabalarına ışık tutması amacıyla; asmada aşılama, aşı uyumsuzluğu, uyumlu/uyumsuz aşı kombinasyonlarını tahmin etme yöntemleri ve aşının oluşumu ve kurulması sırasındaki fenolik tepki mekanizmaları hakkında literatürde yer alan mevcut olan bilgiler özetlenerek sunulmuştur.

2. ASMA AŞILAMA

Aşılama; bir bitkinin kök segmentinin, başka bir bitkinin sürgün segmentiyle birleştiren, eşeysiz bitki çoğaltım için kullanılan eski bir bahçecilik tekniğidir (Mudge ve ark., 2009). Ayrıca, üstün meyve özelliklerine sahip türlerin bazen zayıf köklenme sistemleri veya nematodlara, hastalıklara karşı duyarlılığı sebebiyle kendi kökleri üzerine yetiştirilmesi zordur (Goldschmidt, 2014). Bu nedenle aşılama işlemi yapılmakta ve aşı kaleminin birçok özelliği iyileştirilebilmektedir. Bununla birlikte aşılanmış materyaller bitkinin vejetatif gelişimine ve verimliliğine etki edebilmektedir (Çelik, 2011).

Başarılı olarak kabul edilen bir aşılama, aşı birleşme oluşumu için anaç ve aşı kaleminin uyumuna bağlıdır (Rasool ve ark., 2020). Uyumlu aşı birleşme oluşumundaki başlıca olaylar; anaç ve aşı kaleminin yapışması, kallus hücrelerinin veya kallus köprüsünün çoğalması ve aşı arayüzü boyunca vasküler gelişen farklılaşma şeklindedir (Wang ve ark., 2024). Aşılanmış bitkilerin hayatta kalabilmesi için aşı kalemi ile anaç arasındaki vasküler bağlantı şarttır, aksi takdirde aşı kalemi başarılı bir şekilde büyümeye devam edememektedir.

Bağcılıkta aşılama, filokseranın (*Daktulosphaira vitifoliae*) Kuzey Amerika'dan Avrupa'ya girmesinden sonra 19. yüzyılın sonlarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Canas ve ark., 2015). *Vitis vinifera* L. aşı kalemlerinin, *Vitis* sp. üzerine aşılama; bu zararlıdan etkilenen bölgelerde *V. vinifera*'nın yetiştirilmeye devam edilmesini sağlamıştır (Ollat ve ark., 2024).

Başlangıçta asma aşılama da manuel birçok durgun aşılama yöntemleri kullanılmış olsa da artan bitki talebini karşılamak için omega aşısı açan mekanizmalar geliştirilmiş ve zaman içerisinde bunlar daha çok rağbet görmüştür (Hartmann ve ark., 1997). Omega-aşısı güçlü bir aşısı birliği oluşturma, aşılama verimini artırma ve üretim maliyetlerini düşürmedeki etkinliği nedeniyle günümüzde de fidanlıklarda tercih edilen en yaygın yöntemdir (Mudge ve ark., 2009). Tek gözlü aşısı kaleminin bir yıllık anaç bitkisine birleştirilmesini içeren omega aşılama yöntemi ile elde edilen fidanlar aynı zamanda yeni kurulan bağlarda etkili bir dikim materyali olarak da karşımıza çıkmaktadır (Şekil 1.).



Şekil 1. Omega aşısı kesiti açan tam otomatik mekanizma, aşılı bitkiler (Orijinal)

Öte yandan *Vitis vinifera* L. aşısı kalemlerinin *Vitis* sp. üzerine omega aşısı kesiti açan mekanizmalarla aşılması ile her iki aşısı partnerinin yapıları büyük ölçekte deforme olmaktadır (Andreini ve ark., 2015). Dolayısıyla deforme olan bu anatomik ve fonksiyonel yapılarının kısa sürede onarılması gerekmektedir. Bu da zamanla partnerlerin aşısı birliği noktasında bir kallus köprüsü oluşturmaları, yeni fonksiyonel damar bağlantılarının kurulması ve tek bir bitki gibi hayati fonksiyonlarını yerine getirmesiyle mümkündür (Battiston ve ark., 2022). Omega aşısı kesiti açan mekanizmalar ile fidan üretimi fidanlıklarda en çok tercih edilen yöntem olmasına rağmen, yetiştiriciler özellikle omega aşısı ile elde edilen bitkilerin sağlıklı büyüdüğü, erken bitki ölümlerine sebebiyet verdiğini bildirmiştir (Mary ve ark., 2017). Buradan hareketle aşılama

yönteminin bitki performansı üzerindeki açık etkilerinin olduğunu söylemek mümkündür. Dolayısıyla masabaşı aşılama konusunu aşılama dönemi, farklı aşı partnerleriyle oluşturulan kombinasyonları, farklı aşı tiplerini konu alan çalışmaları birlikte değerlendirerek yorum yapmak daha doğru olacaktır. Bu eğilimlerin devam edip etmediğini doğrulamak ve sağlıklı gelişen asma fidanlarının altında yatan nedenleri daha iyi anlamak için daha uzun vadeli ve kapsamlı çalışmalara ihtiyaç vardır.

3. AŞI UYUŞMAZLIĞI VE SEMPTOMLARI

Aşı uyumsuzluğu en genel tanımıyla anaç ile kalem arasındaki başarısız birleşme olarak kabul edilmektedir. Bu durum bazen anaç ile kalem arasındaki genetik uzaklıktan, bazen anatomik anormalliklerden ve bazen de aşı yeri ile kalem ve anaç arasındaki olumsuz fizyolojik tepkiler veya virüs/fitoplazma bulaşmasından kaynaklanmaktadır. Bitki uyumsuzluk semptomları ise aşı yerinde şişme, aşı birleşim yerinde kırılma, erken bitki ölümüne ve anormal büyüyen bitki oluşumuna yol açmaktadır (Pina ve ark., 2012). Diğer durumlarda; uyumsuz aşı kombinasyonlarının semptomları sarı ve kırmızı renkli yapraklar, yaprak kıvrılması, sürgünlerin kızarması, yavaş vejetatif büyüme ve büyüme mevsiminin sonunda erken yaprak dökülmesi, aşılı ağaçların erken ölümü, vejetatif büyümenin sağlanamaması, sürgünlerin ölmesi ve aşı birleşim yerinin üstünde veya altında orantısız aşırı büyümeye neden olan kalem ve anaç iç büyüme hızlarındaki farklılıklar gelişebilmektedir. Literatürde genel olarak 3 tip aşı uyumsuzluğu vardır. Bunlar; taşınır aşı uyumsuzluğu, lokalize aşı uyumsuzluğu ve patojenler (virüs ve fitoplazma) tarafından uyarılan aşı uyumsuzluğudur (Habibi ve ark., 2022).

3.1. Taşınır (Translocated) Aşı Uyumsuzluğu

Taşınır (translocated) uyumsuzluk; aşı partnerlerinin birinden diğerine bazı toksinlerin geçerek uyumsuzluğa neden olduğu uyumsuzluk tipidir. Büyümenin erken dönemlerinde bazı tepkilerle kendini göstermektedir. Bunlardan bazıları şöyledir; kalem kısmında anormal büyüme görülürken, aşı bölgesinde normal vasküler bağlantı görülmektedir (Zarrouk ve ark., 2010) Kalem kısmında yoğun bir nişasta birikimi varken, aşı noktasının altında neredeyse hiç nişasta bulunmamaktadır. Ve en büyük belirtisi olarak yoğun floem dejenerasyonu görülmektedir ve bazen nadiren aşı bölgesinde kırılmalar meydana gelmektedir (Rasool ve ark., 2020).

3.2. Lokalize Aşı Uyuşmazlığı

Lokalize aşı uyuşmazlığı; vasküler sürekliliğin bozulması nedeniyle aşı birleşme noktasında kırılmaların ve kopmaların meydana geldiği, erken ölümlere ve anormal ağaçların oluşmasına neden olan uyuşmazlık tipidir. Bu yapısal anormallikler birleşmenin mekanik zayıflığına neden olmakta ve bu da birkaç yıl sonra veya şiddetli rüzgârlardan sonra kırılmaya neden olmaktadır. Dolayısıyla bu durum bağlarda, fidanlıklarda büyük ekonomik kayıplara yol açabilmektedir (Zarrouk ve ark., 2010). Lokalize uyumsuzlukla ilişkili bazı değişiklikler arasında; vasküler sürekliliğin bozulması nedeniyle düşük lignifikasyon, doku farklılaşması ve vasküler kambiyumun kesintiye uğraması yer almaktadır (Zarrouk ve ark., 2010; Rasool ve ark., 2020).

3.3. Patojenler (Virüs ve Fitoplazma) Tarafından Uyarılan Aşı Uyuşmazlığı

Patojenler tarafından uyarılan uyuşmazlık tipi aşı uyuşmazlığı ise, esas olarak virüslerin varlığından kaynaklanan uyuşmazlık tipidir. Bu durumda, lokalize ve taşınır aşı uyuşmazlığına benzer semptomlar gösterebilmektedir. Fizyolojik ve morfolojik değişiklikler aşılardan yıllar sonra belirgin hale gelir ve zamanla aşı birleşim yerindeki şekil bozukluklarına yol açabilmektedir (Hartmann ve ark., 1997).

4. UYUMLU/UYUMSUZ AŞI KOMBİNASYONLARINI TAHMİN ETME YÖNTEMLERİ

Aşı uyumluluğu/uyumsuzluğu özellikle yeni bir bağ tesis etmeye çalıştığımızda derinlemesine düşünmemiz gereken konulardan biridir. Özellikle hakkında yeterli bilgi sahibi olmadığımız kombinasyonlarla bağ kurmak istenildiğinde geri dönülmez ekonomik kayıplarla karşılaşmak olasıdır (Herrero, 1951). Uyumsuzluk belirtileri bazen erken bazen ise daha geç bir vadede gözlemlenebilmektedir (Assuncao ve ark., 2016). Bu nedenle, bağcılıkta uyumluluk veya uyumsuzluğu erken tahmin etme yöntemleri son derece değerli bilgiler olarak karşımıza çıkmaktadır (Zarrouk ve ark., 2010). Güncel çalışmalara baktığımızda sayı bakımından az olsa da üzüm asmasında ve diğer odunsu meyve ağaçlarında uyumluluk farklı testlerle kapsamlı bir şekilde verilmeye çalışılmıştır. Örneğin bazı çalışmalara baktığımızda aşı gelişiminin ilk aşamalarının X-ışını tomografisi yoluyla görselleştirilmesi için histolojik teknikler kullanılırken, diğer taraftan manyetik rezonans

görüntüleme (MRI), ayrıca aşı birleşme gelişimindeki anatomik ve histolojik değişiklikleri belirleyebilmek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır (Hartmann ve ark. 1997; Pina ve ark., 2017; Loupit ve Cookson, 2020; Irisarri ve ark., 2021).

Genetik çalışmalarda, uyumlulukla ilişkili moleküler belirteçlerin geliştirilmesi; proteomik, moleküler belirteçler ve belirli metabolitlerle ilişkili gen ekspresyonu, oksidatif stres ve gen ekspresyonunun son ürünü olarak savunma tepkileriyle ilişkili genler aşı uyumsuzluğunu tahmin etmek için ortaya çıkan yöntemlerdendir (Jensen ve ark., 2003; Xu ve ark., 2010; Irisarri ve ark., 2021; Feng ve ark., 2024).

Bir diğer yöntem düşük SPAD indeks değerleri, uyumsuzluk nedeniyle karbonhidrat taşınmasındaki kusurları gösterebilmektedir (Pina ve ark., 2017; Rasool ve ark., 2020; Loupit ve Cookson, 2020; Wang ve ark., 2022). Yaprak klorofil içeriği, hormon ve fenolik içeriğinin analizi, aşı uyumsuzluğunu tahmin etmek için etkili bir erken yöntem olarak son zamanlarda kullanılmaktadır (Karadeniz ve ark., 1997; Azimi ve ark., 2016; Nanda ve Melnyk, 2018). İzoenzim varyantlarının incelenmesi, peroksidaz izoenzim varyantları ve aktivitesi uyumlulukla iyi eşleşir ve uzun vadeli uyumsuzluğu tahmin edebilmek için bağcılıkta ve meyvecilikte uygulanmaktadır (Schmid ve Feucht, 1985; Zarrouk ve ark., 2010; Baron ve ark., 2018; Adhikari ve ark., 2022). Ayrıca *in vitro* sürgün ucu aşılama (mikro aşılama) ve kallus aşılama dahil olmak üzere doku kültürü teknikleri, aşı uyumsuzluğunu belirlemek için etkin yöntemlerdendir (De Cooman ve ark., 1996; Errea ve ark., 2001; Bao ve ark., 2020).

5. FENOLLERİN ASMA AŞILAMADAKİ ROLÜ VE GÜNCEL ÇALIŞMALAR

Aşılama, bitkiler için oldukça şiddetli bir abiyotik stres faktörüdür dolayısıyla aşı sonrası dokularda yara kaynaklı bazı tepki mekanizması görülmektedir (Cookson ve ark., 2014; Chitarrini ve ark., 2017). Bunlar; reaktif oksijen türlerinin üretimi, savunma ile ilgili genlerin ifadesi, antioksidan enzimlerin birikimi, fenolik bileşiklerin birikimi gibi yara tepkileridir (Errea, 1998; Musacchi ve ark., 2000; Fernandez-Garcia ve ark., 2004; Usenik ve ark., 2006; Cookson ve ark., 2013; Cookson ve ark., 2014; Irisarri ve ark., 2015; Gainza ve ark., 2015). Konuyla ilişkili araştırmacılar, çalışmalarında özellikle

fenolik bileşikler üzerine yoğunlaşmış ve fenolik bileşiklerin aşı birleşiminde hücre bölünmesini, gelişimini ve farklılaşmasını etkilediğini bildirmişlerdir. Fenol konsantrasyonunun aşılamaadan kısa bir süre sonra arttığını ve iyileşme tepkisi sırasında oluşan stresin bir sonucu olarak vakuol membranı bozulmasından dolayı fenollerin vakuolden sitoplazmik matrikse kaçmasına neden olduğunu ve bunun sonucunda da belirli dokuların (ksilem ve floem) işlev bozukluklarına, lignin sentezinin bozulmasına ve hormonal dengesizliklere yol açtığını tespit etmişlerdir (Aloni ve ark., 2010). Tüm bu anormallikler, aşılamaadan sonraki ilk yılda veya birkaç yıl sonra ortaya çıkabilen ve büyük ekonomik kayıplara yol açan olumsuz bir durumdur. Dolayısıyla aşı uyumsuzluğunu mümkün olan en kısa sürede tanımlamak gerekmektedir.

Tablo 1. incelendiğinde, özellikle aşı birleşimi noktasında bazı sekonder metabolitlerin birikiminin uyumsuzlukla ilişkilendirildiği görülmektedir. Bununla birlikte kateşin, ferulik asit, gallik asit ve sinapik asitin uyumsuz kombinasyonları erken bir zamanda tespit etme olanağı sağladığını da söylemek mümkündür.

Tablo 1. Literatürde uyumsuz asma kalem/anaç kombinasyonlarının aşı arayüzünde biriken sekonder metabolitler

İçerik	Aşılamaadan Sonraki Süre	Referanslar
Kateşin	1 ay	Canas ve ark., 2015
Kateşin	Döngü sonu	Assuncao ve ark., 2019
Ferulik asit	3 ay sonra	Assuncao ve ark., 2016
Gallik asit	1 ay sonra	Canas ve ark., 2015
Gallik asit	Döngü sonu	Assuncao ve ark., 2019
Sinapik asit	1 ay	Canas ve ark., 2015
Sinapik asit	Döngü sonu	Assuncao ve ark., 2019
Viniferin	33 gün sonra	Loupit ve ark., 2022

Yapılan bu sınırlı çalışmalarda, hetero aşı kombinasyonları oluşturularak ve bitkinin sadece floem, kambiyum ve kabuk gibi farklı doku örneklerinden alınarak bir sonuca varılmaya çalışılmıştır. Dolayısıyla bu çalışmalara bakarak aşılamaaya verilen metabolit tepki hakkında genel bir çıkarım yapmak oldukça zordur. Dolayısıyla bu bölümde diğer odunsu meyve ağaçlarıyla birlikte bir değerlendirme yapmak daha doğru olacaktır.

Diğer odunsu meyve ağaçlarında yapılan çalışmalar incelendiğinde; uyumsuz kestane aşılarında aşılama sonrası aşı birleşimi noktasında yüksek fenol konsantrasyonu tespit edilmiş ve spesifik olarak benzoik asitler, kateşinler ve tanenlerde önemli miktarda artışlar gözlemlenmiştir (Gamba ve ark., 2025). Yaman ve ark. (2025), Gemlik anacına aşılanan bazı zeytin çeşitlerinde aşı uyumsuzluğu ile fenolik bileşiklerin ilişkisini incelemiş ve çalışma sonucunda ferulik asit ve p-kumarik asitin aşı kaleminde yüksek oranda bulunmasının uyumsuzlukla sonuçlandığı saptamıştır. Moghadam ve ark. (2022), Myrobalan ve kayısı anaçlarına aşılanmış 10 ticari erik çeşidinde uyumsuzluğu araştırmayı ve ardından fenollerin aşı uyumsuzluğundaki rolünü belirlemeyi amaçlamış ve çalışma sonucunda eriklerdeki fenolik bileşiklerin aşı uyumsuzluğunda biyokimyasal belirteç olarak kullanılabileceğini bildirmiştir. Gamba ve ark. (2022), uyumsuz kestane aşılarında aşı birleşimi yerinde yüksek gallik asit tespit etmiştir. Baron ve ark. (2018), Atemoya (*Annona x atemoya* Mabb.) bitkilerinde aşılama ilişkilerini peroksidad ve fenolik bileşikler aracılığıyla incelemiş ve araştırma sonucunda uyumsuzluğun fenolik bileşen birikimiyle ilişkili olduğunu saptamışlardır. Flores-Espinosa ve ark. (2018), Guayabo (*Psidium guajava* L.) ağacı aşılarında yüksek fenol konsantrasyonunun uyumsuzlukla ilişkili olduğunu saptamıştır. Usenik ve ark. (2006), uyumsuz kayısı aşılarında fenollerin rolünü araştırmış ve çalışma sonucunda floroglukinol, kateşin, p-kumarik asitin uyumsuz kombinasyonlarda daha yüksek düzeyde olduğu saptanmıştır. Fenolik bileşiklerin kayısılarda aşı uyumsuzluğunda oynadıkları rollerin açıklanması için yapılan başka bir çalışmada ise homogenetik ve heterogenetik aşı kombinasyonları arasında fenolik bileşik içerikleri bakımından fark görülmüştür (Usenik ve ark., 2006). Errea ve ark. (2001) de benzer şekilde kayısılarda aşı uyumsuzluğunun erken tespitine yönelik yaptıkları çalışmada, uyumsuz kombinasyonlarda oldukça yüksek düzeyde fenol birikimi tespit etmiştir. Usenik ve Stampar (2000), ‘Lapins’ çeşidinin homogenetik ve heterogenetik kombinasyonlarında aşı noktasının altında ve üstünde fenolik madde içeriklerini incelemiş ve çalışma sonucunda p-kumarik asit, genistein ve pruninin yoğun birikimini gözlemlemişlerdir. *Prunus persica*/*Prunus tomentosa* ile homogenetik *Prunus persica*/*Prunus persica* aşı kombinasyonlarının fenolik bileşiklerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada ise aşı bölgesinde fenolik bileşenlerin birikimi

gözlemlenmiş ve bunların kateşin, prunin ve naringenin olduğu bildirilmiştir (Angelica ve ark., 1999).

6. SONUÇ

Farklı bitki türlerinde aşılamanın uzun bir tarihi geçmişi vardır. Aşılamanın bitki üzerine olumlu potansiyel faydalarından dolayı hemen hemen tüm bitki türlerinde kullanıldığı bilinmektedir. Bağcılıkta aşılama çalışmaları ise başlangıçta çeşit değiştirmek için kullanılmış fakat 19. yüzyılın sonlarında Avrupa'daki filoksera krizi nedeniyle zorunlu hale gelmiştir. Bugün Avrupa'da ve hatta dünyada bağlar aşılı asma fidanlarıyla kurulmaktadır. Başlangıçta aşılamanın saha koşullarında elle yapıldığı ancak zaman, emek ve ustalık gerektirdiği için bir süre sonra makinalarla masabaşında yapılmaya başlandığı bilinmektedir. Fidanlıklarda masabaşında özellikle omega tipi aşılama, en yaygın kullanılan aşılama tekniği haline gelmiştir. Bu teknik, yüksek verimliliği, nispeten düşük beceri gereksinimi ve yarı-mekanizasyon kolaylığı nedeniyle diğer aşılama yöntemlerinin yerini almıştır. Fakat bu yöntemle aşılı fidan üretimi yaparken materyal seçiminden, sahadaki bakımına kadar dikkat edilmesi gereken çok fazla husus vardır. Aksi takdirde uyuşmaz bitkiler, erken bitki ölümleri, zayıf bitkiler veya kısa ömürlü bağlar görülmesi kaçınılmaz olur. Aşı başarısı, her iki aşı partneri arasında işlevsel bir damar bağlantısının kurulmasıyla oluşur. Damar bağlantısı gelişiminin ise anaç ile kalem arasındaki etkileşime bağlı olduğunu söylemek mümkündür. Diğer taraftan aşılamanın ve aşı başarısının biyokimyasal temelleri üzerine yapılan güncel çalışmalar aşılama başarısını ve uyuşmazlığı farklı açılardan ele almış ve konuya yeni bir güncel bakış getirmiştir.

Yapılan çalışmalara göre aşılama, bitkiler için önemli bir stres faktörüdür ve çeşitli ikincil metabolitler aşı uyumsuzluğu ile ilişkilidir. Ancak bağcılıkta ve diğer meyve ağacı türlerinde aşılama başarısı üzerindeki ikincil metabolitleri inceleyen araştırmalar nadirdir. Bu sınırlı çalışmalarda fenolik bileşiklere odaklanılmış ve aşılama sonrası mekanik yaralanmaya tepki olarak fenollerin indüklenebilecekleri bildirilmiştir. Çalışmalar, aşılama işlemi sonrası aşı birliğinin oluşumu ve kurulması süresince fenol kompozisyonunu nicel ve nitel olarak ölçerek hem yaralanma sonrası metabolik tepki hakkında detaylı bir inceleme yapmayı hem aşılama başarısının potansiyel metabolit belirteçlerini belirlemeyi hem de uyuşmazlığı erken bir zamanda tanımlamayı amaçlamış ve

literatüre değerli bilgiler katmıştır. Araştırma bulgularının yorumlanmasıyla asmada ve diğer meyve ağaçlarında aşı biyolojisi ilgili derin bilgiler edinilmiş ve dolayısıyla konuyla ilgili araştırmalara öncülük ederek fidancılık sektörü ve ıslahçılar için oldukça faydalı bilgiler sağlamıştır.

KAYNAKLAR

- Adhikari, P.B., Xu, Q. & Notaguchi, M. (2022). Compatible graft establishment in fruit trees and its potential markers. *Agronomy*, 12(8), 1981.
- Ağaoğlu, Y.S., Çelik, H., Çelik, M., Fidan, Y., Gülşen, Y., Günay, A., Halloran, N., Köksal, İ. & Yanmaz, R. (2010). Genel Bahçe Bitkileri (3. Baskı). Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Eğitim Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları No:4 Ankara, 369s.
- Aloni, B., Cohen, R., Karni, L., Aktas, H. & Edelstein, M. (2010) Hormonal signaling in rootstock–scion interactions. *Sci Hortic-Amsterdam*, 127(2), 119-126.
- Andreini, L., Cardelli, R., Bartolini, S., Scalabrelli, G. & Viti, R., (2015). Esca symptoms appearance in *Vitis vinifera* L.: influence of climate, pedo-climatic conditions and rootstock/cultivar combination. *Vitis*, 53(1), 33-38.
- Angelica, S.G.M., Gemma, H., Iwahori, S. (1999). Histochemical observation and HPLC analysis of phenolic compounds at the graft union of dwarf peach trees grafted onto *Prunus tomentosa*. *Journal of Japan Society Horticulturae Science*, 68(4), 724-733.
- Arghavan, S., Ganji-Moghadam, E., Fahadan, A. & Zamanipour M. (2022). Possibility of early detection of graft incompatibility in some commercial plum cultivars by phenolic compounds analysis. *J. Hort. Sci.*, 17(2), 488-495.
- Assuncao, M., Canas, S., Cruz, S., Brazao, J., Zanol, G.C. & Eiras-Dias, J. (2016). Graft compatibility of vitis spp, the role of phenolic acids and flavanols. *J. Scientia Horticulturae*, 207, 140-145.
- Assuncao, M., Pinheiro, J., Cruz, S., Brazão, J., Queiroz, J., Eiras Dias, J.E. & Canas, S. (2019). Gallic acid, sinapic acid and catechin as potential chemical markers of Vitis graft success. *Sci. Hortic.*, 246, 129-135.
- Azimi, M., Ozkaya, M.T., Colgecen, H. & Buyukkartal, H.N. (2016). Analysis of phenolic compounds for determination of cambium differentiation and tracheal elements in olive graft combinations. *J Exp Biol Agric Sci*, 4(VIS), 714-20.
- Baron, D., Amaro, A.C.E., Macedo, A.C., Dalanhöl, J., Boaro, C.S.F., Ferreira, G. (2018). Grafting relations in atemoya ('Annona' x 'atemoya' Mabb.)

- plants: peroxidase and phenolic compounds. *Australian Journal of Crop Science*, 12(9), 1447-1453.
- Bao, W.W., Zhang, X.C., Zhang, A.L., Zhao, L., Wang, Q.C. & Liu, Z.D. (2020). Validation of micrografting to analyze compatibility, shoot growth, and root formation in micrografts of kiwifruit (*Actinidia* spp.). *Plant cell, tissue and organ culture* (PCTOC), 140(1), 209-214.
- Battiston, E., Falsini, S., Giovannelli, A., Schiff, S., Tani, C., Panaiia, R., Papini, A., Di Marco, S. & Mugnai, L. (2022). Xylem anatomy and hydraulic traits in *Vitis* grafted cuttings in view of their impact on the young grapevine decline. *Front. Plant Sci.*, 13, 1006835.
- Canas, S., Assunção, M., Brazão, J., Zanol, G. & Eiras-Dias, J.E. (2015). Phenolic compounds involved in grafting incompatibility of *Vitis* spp: development and validation of an analytical method for their quantification. *Phytochemical Analysis*, 26(1), 1-7.
- Chitarrini, G., Zulini, L., Masuero, D. & Vrhovsek, U. (2017). Lipid, phenol and carotenoid changes in 'Bianca' grapevine leaves after mechanical wounding: a case study. *Protoplasma*, 254(6), 2095-2106.
- Cookson, S.J., Clemente Moreno, M.J., Hevin, C., Nyamba Mendome, L.Z., Delrot, S., Magnin, N., ... & Ollat, N. (2014). Heterografting with nonself rootstocks induces genes involved in stress responses at the graft interface when compared with autografted controls. *Journal of Experimental Botany*, 65(9), 2473-2481.
- Cookson, S.J., Clemente Moreno, M.J., Hevin, C., Nyamba Mendome, L.Z., Delrot, S., Trossat-Magnin, C. & Ollat, N. (2013). Graft union formation in grapevine induces transcriptional changes related to cell wall modification, wounding, hormone signalling, and secondary metabolism. *Journal of Experimental Botany*, 64(10), 2997-3008.
- Çelik, H., Ağaoğlu, Y.S., Fidan, Y., Marasali, B. & Söylemezoğlu, G. (1998). Genel Bağcılık. Sunfidan A.Ş. Mesleki Kitaplar Serisi, Ankara, 253s.
- Çelik, S. (2011). Bağcılık (Ampeloloji) Cilt-1 (3. Baskı). Anadolu Matbaa San. ve Tic. Ltd. Şti., Tekirdağ, 428s.
- De Cooman, L., Everaert, E., Curir, P. & Dolci, M. (1996). The possible role of phenolics in incompatibility expression in (*Eucalyptus gunnii*) micrografts. *Phytochemical Analysis*, 7(2), 92-96.

- Errea, P. (1998). Implications of phenolic compounds in graft incompatibility in fruit tree species. *Scientia Horticulturae*, 74(3), 195-205.
- Errea, P., Felipe, A., Treutter, D. & Feucht, W. (1994). Flavanol accumulation in apricot grafts as a response to incompatibility stress *Acta Hort.*, 381, 498-501.
- Errea, P., Garay, L. & Marín, J.A. (2001). Early detection of graft incompatibility in apricot (*Prunus armeniaca*) using in vitro techniques. *Physiologia Plantarum*, 112(1), 135-141.
- Feng, M., Augstein, F., Kareem, A. & Melnyk, C.W. (2024) Plant grafting:molecular mechanisms and applications. *Molecular Plant*, 17, 75-91.
- Fernández-García, N., Martínez, V. & Carvajal, M. (2004). Effect of salinity on growth, mineral composition, and water relations of grafted tomato plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 167(5), 616-622.
- Flores-Espinosa, B.B., Delgado-Alvarado, A., Domínguez-Álvarez, J.L., Arellano-Ostoa, G., García-Villanueva, E., Gutiérrez-Espinosa, M.A. & Domínguez-Perales, L.A. (2018). Detección temprana de compatibilidad de injertos de guayabo (*Psidium guajava* L.) mediante análisis bioquímico. *Agro Productividad*, 11(10), 75-80.
- Gainza, F., Opazo, I. & Muñoz, C. (2015). Graft incompatibility in plants: Metabolic changes during formation and establishment of the rootstock/scion union with emphasis on *Prunus* species. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 75, 28-34.
- Gamba, G., Donno, D., Akyüz, B., Cuenca Valera, B. & Beccaro, G.L. (2025). Insights into chestnut (*Castanea* spp.) graft incompatibility through the monitoring of chemical and physiological parameters. *Planta*, 261(3), 60.
- Gamba, G., Cisse, V., Donno, D., Razafindrakoto, Z.R. & Beccaro, G.L. (2021). Quali-quantitative study on phenol compounds as early predictive markers of graft incompatibility: a case study on chestnut (*Castanea* spp.). *Horticulturae*, 8(1), 32.
- Goldschmidt, E.E. (2014). Plant grafting: new mechanisms, evolutionary implications. *Frontiers in Plant Science*, 5, 727.

- Habibi, F., Liu, T., Folta, K. & Sarkhosh, A. (2022). Physiological, biochemical, and molecular aspects of grafting in fruit trees. *Horticulture Research*, 9, uhac032.
- Hartmann, H.T., Kester, D.E., Davies, F.T. & Geneve, R.L. (1997). Plant Propagation. Principles and Practices (6th Edn.), Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 757-765.
- Herrero, J. (1951). Studies of compatible and incompatible graft combinations with special reference to hardy fruit trees. *J. Hortic. Sci.*, 26, 186-237.
- Irisarri, P., Binczycki, P., Errea, P., Martens, H. J. & Pina, A. (2015). Oxidative stress associated with rootstock–scion interactions in pear/quince combinations during early stages of graft development. *Journal of plant physiology*, 176, 25-35.
- Irisarri, P., Errea, P. & Pina, A. (2021). Physiological and molecular characterization of new apricot cultivars grafted on different Prunus rootstocks. *Agronomy*, 11(8), 1464.
- Jensen, P.J., Rytter, J., Detwiler, E.A., Travis, J.W. & McNellis, T.W. (2003). Rootstock effects on gene expression patterns in apple tree scions. *Plant Molecular Biology*, 53(4), 493-511.
- Karadeniz, T., Kazankaya, A., Balta, F. & Şen, M. (1997). Relations between phenolic compounds and graftsuccess in walnut (*Juglans regia* L.). III. International Walnut Congress, *Acta Horticulturae*, (442), 193-196.
- Loupit, G., Brocard, L., Ollat, N. & Cookson, S.J. (2023). Grafting in plants: recent discoveries and new applications. *Journal of Experimental Botany*, 74(8), 2433-2447.
- Loupit, G. & Cookson, S.J. (2020). Identifying molecular markers of successful graft union formation and compatibility. *Frontiers in Plant Science*, 11, 610352.
- Loupit, G., Valls Fonayet, J., Prigent, S., Prodhomme, D., Spilmont, A.S., Hilbert, G., ... & Cookson, S.J. (2022). Identifying early metabolite markers of successful graft union formation in grapevine. *Horticulture Research*, 9, uhab070.
- Mary, S., Laveau, C., Lecomte, P., Birebent, M. & Roby, J.P. (2017). Impact of grafting type on Esca foliar symptoms. *Oeno One*, 51(2-3), 221-230.

- Mudge, K., Janick, J., Scofield, S. & Goldschmidt, E.E. (2009). A history of grafting. In: *Horticultural Reviews*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2009; pp.437-493.
- Musacchi, S., Masia, A. & Fachinello, J. (2000). Variation of some enzymatic activities in relationship to scion/stock compatibility in pear/quince combinations. In *VIII International Symposium on Pear*, 596, pp.389-392.
- Moghadam, E.G., Arghavan, S., Fahadan, A. & Zamanipour, M. (2022). Possibility of early detection of graft incompatibility in some commercial plum cultivars by phenolic compounds analysis. *Journal of Horticultural Sciences*, 17(2), 488-495.
- Mosse, B. (1962). Graft incompatibility in fruit trees. E. Mallng.
- Nanda, A.K. & Melnyk, C.W. (2018). The role of plant hormones during grafting. *Journal of Plant Research*, 131(1), 49-58.
- Ollat, N., Yobrégat, O., Lacombe, T., Rienth, M., Julliard, S., Lafargue, M.D. D., ... & Marguerit, E. (2024). Grafting, the most sustainable way to control phylloxera over 150 years. In *Proceedings of the 45th OIV Congress, IVES Conference Series*, 14-18 October, Dijon, France.
- Pina, A., Cookson, S. J., Calatayud, A., Trinchera, A. & Errea, P. (2017). Physiological and molecular mechanisms underlying graft compatibility. In *Vegetable grafting: principles and practices* (pp. 132-154). Wallingford UK: CABI.
- Pina, A. & Errea, P. (2008). Differential induction of phenylalanine ammonia-lyase gene expression in response to in vitro callus unions of *Prunus* spp. *Journal of Plant Physiology*, 165(7), 705-714.
- Pina, A. & Errea, P. (2005). Cellular viability and pectin localisation in apricot (*P. armeniaca*)/plum combinations related to graft response. In *XIII International Symposium on Apricot Breeding and Culture*, 717, pp.185-188.
- Pina, A., Errea, P. & Martens, H.J. (2012). Graft union formation and cell-to-cell communication via plasmodesmata in compatible and incompatible stem unions of *Prunus* spp. *Scientia Horticulturae*, 143, 144-150.
- Rasool, A., Mansoor, S., Bhat, K.M., Hassan, G.I., Baba, T.R., Alyemeni, M. N., ... & Ahmad, P. (2020). Mechanisms underlying graft union

- formation and rootstock scion interaction in horticultural plants. *Frontiers in plant science*, 11, 590847.
- Schmid, P.P.S. & Feucht, W. (1985). Compatibility in *Prunus avium*/*Prunus cerasus* graftings during the initial phase. III. Isoelectrofocusing of proteins, peroxidases and acid phosphatases during union formation. *Journal of Horticultural Science*, 60(3), 311-318.
- Usenik, V., Krška, B., Vičan, M. & Štampar, F. (2006). Early detection of graft incompatibility in apricot (*Prunus armeniaca* L.) using phenol analyses. *Scientia Horticulturae*, 109(4), 332-338.
- Usenik, V. & Štampar, F. (2000). Influence of various rootstocks for cherries on p-coumaric acid, genistein and prunin content and their involvement in the incompatibility process. *European Journal of Horticultural Science*, 65(6), 245-250.
- Wang, F., Zhao, F., Qiao, K., Xu, X., Liu, J. (2024). Progress on the Molecular Mechanism of Scion-Rootstock Interactions in Vegetable Grafting. *Biotechnol. Bull.*, 40, 149-159.
- Wang, T., Deng, L., Huang, S., Xiong, B., Ihtisham, M., Zheng, Z., ... & Wang, Z. (2022). Genetic relationship, SPAD Reading, and Soluble Sugar Content as Indices for evaluating the graft compatibility of Citrus Interstocks. *Biology*, 11(11), 1639.
- Xu, H., Zhang, W., Li, M., Harada, T., Han, Z. & Li, T. (2010). Gibberellic acid insensitive mRNA transport in both directions between stock and scion in *Malus*. *Tree genetics & genomes*, 6(6), 1013-1019.
- Yaman, İ., Toplu, C. & Yıldız, S.N. (2025). Gemlik Anacına Aşıl原因 Bazı Zeytin Çeşitlerinde Aşı Uyuşmazlığı ile Fenolik Bileşiklerin İlişkisi. *Muş Alparslan Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 5(1), 14-20.
- Zarrouk, O., Gogorcena, Y., Moreno, M.A. & Pinochet, J. (2006). Graft compatibility between peach cultivars and *Prunus* rootstocks. *HortScience*, 41(6), 1389-1394.
- Zarrouk, O., Testillano, P.S., Risueño, M. C., Moreno, M.Á. & Gogorcena, Y. (2010). Changes in cell/tissue organization and peroxidase activity as markers for early detection of graft incompatibility in peach/plum combinations. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 135(1), 9-17.

BÖLÜM 11

İKLİM AKILLI KENTSEL TARIM YAKLAŞIMLARI: BALKON BAHÇECİLİĞİNDE EV KOMPOSTUNUN ROLÜ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KATKILARI

Dr. Öğr. Üyesi Meriç BALCI^{1*}

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18114559>

¹ Akdeniz Üniversitesi, Manavgat Meslek Yüksek Okulu, Gıda İşleme Bölümü, Antalya, Türkiye
mericbalci@akdeniz.edu.tr, Orcid: 0000-0001-8916-0702

*Sorumlu yazar: mericbalci@akdeniz.edu.tr

1. GİRİŞ

Hızla artan kentleşme, sınırlı yeşil alanlar ve yükselen gıda fiyatları, bireylerin küçük ölçekli üretim yapabilecekleri alternatif yöntemlere yönelmesine neden olmuştur. Balkon bahçeciliği, hem kendi sebzesini yetiştirmek isteyen haneler hem de şehir yaşamında doğayla temas kurmak isteyen bireyler için giderek yaygınlaşan bir kentsel tarım biçimi hâline gelmiştir. Bu sistemlerde bitkiler, küçük hacimli kaplarda ve sınırlı besin kaynağına sahip yapay substratlarda yetiştirildiği için toprak kalitesi, organik madde düzeyi ve su tutma kapasitesi kritik önem taşır (Xu ve ark., 2024).

Bu noktada ev kompostu, kolay elde edilebilir, düşük maliyetli ve çevresel açıdan sürdürülebilir bir organik düzenleyici olarak öne çıkmaktadır (Oued Lhaj ve ark., 2024). Evsel organik atıkların komposta dönüştürülmesi, hem atık miktarını azaltmakta hem de bitki yetiştiriciliği için değerli bir kaynak oluşturmaktadır. Kompost, içerdiği organik madde, besin elementleri ve mikrobiyal aktivite sayesinde balkon tarımında verimliliği artırabilmekte; su yönetimini iyileştirebilmekte ve bitkilerin stres koşullarına karşı dayanıklılığını güçlendirebilmektedir (Nocentini ve ark., 2024).

İklim Akıllı Tarım (Climate-Smart Agriculture, CSA) yaklaşımı; üretkenliğin artırılması, iklim değişikliğine uyum ve sera gazı emisyonlarının azaltılması hedeflerini bir arada ele alır (Lou ve ark., 2024). Balkon bahçeciliğinde ev kompostunun kullanımı, bu üç amaca da doğrudan katkı sağlayan bir uygulamadır. Kompostun yerel ölçekte üretilmesi, dış girdileri azaltırken karbon döngüsünü kapatır; olgun kompostun substrata eklenmesi ise daha yüksek bitki gelişimi ve daha dengeli su yönetimi sağlayarak küçük ölçekli üretim sistemlerinde dayanıklılığı artırır (de Jesus Duarte ve ark., 2022; Lončarić ve ark., 2024).

Bu bölümde, iklim akıllı kentsel tarımın temel ilkeleri çerçevesinde balkon bahçeciliğinde ev kompostunun rolü analiz edilmekte; kompostun fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkileri, bitki gelişimine katkıları ve sürdürülebilirlik açısından sağladığı faydalar kapsamlı şekilde değerlendirilmektedir.

2. İKLİM AKILLI KENTSEL TARIMIN KAVRAMSAL TEMELLERİ

2.1. CSA'nın Üç Temel Bileşeni (Üretkenlik – Uyum – Azaltım)

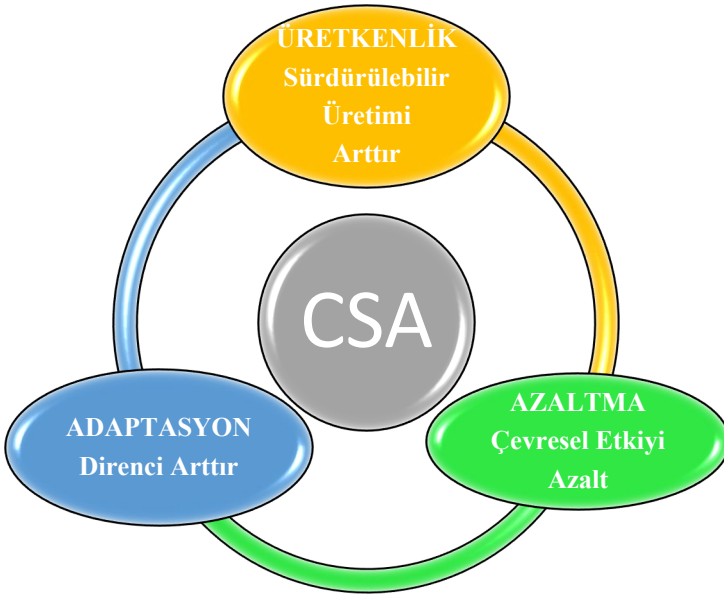
İklim Akıllı Tarım (Climate-Smart Agriculture, CSA); **üretkenliği artırmak, iklim değişikliğine uyumu güçlendirmek ve sera gazı emisyonlarını azaltmak** olmak üzere üç temel hedef üzerine kuruludur (FAO, 2017). Bu yaklaşım çoğunlukla kırsal üretim için geliştirilmiş olsa da, son yıllarda **kentsel tarım ve balkon bahçeciliği** gibi mikro-ölçekli sistemlere de uyarlanabilirliği artmıştır. Aşağıda bu üç yaklaşımın açıklamaları mevcuttur (FAO, 2017; Manyike ve ark., 2025).

(1) Üretkenlik: Balkon ortamında yetiştirilen sebze ve aromatik bitkilerin verimi, substrat kalitesi, su yönetimi ve besin mevcudiyeti ile doğrudan ilişkilidir. Ev kompostu uygulaması, küçük hacimli kaplarda düşük organik madde ve sınırlı mineral besin sorunlarını azaltarak daha güçlü bitki gelişimi ve daha yüksek ürün kalitesi sağlar. Substratın su tutma kapasitesini artırması ve yavaş salınımlı besin sağlaması, balkon koşullarında üretkenliği belirgin biçimde destekler.

(2) Uyum (Adaptasyon): Kentsel alanlarda kaplar rüzgâr, yüksek sıcaklık farkları ve hızlı su kaybı gibi çevresel streslere açıktır. Ev kompostunun toprağın tamponlama kapasitesini artırması, sıcaklık dalgalanmalarını hafifletmesi ve kök bölgesini daha stabil hâle getirmesi; bitkilerin **kuraklık, ısı stresi ve düzensiz sulama** gibi koşullara uyumunu güçlendirir. Kompost ayrıca faydalı mikroorganizmalar barındırarak rizosferde daha dirençli bir ekosistem oluşturur.

(3) Azaltım (Mitigation): Ev kompostu, karbon açısından zengin organik maddeleri toprağa kazandırarak **karbonun kısa döngüden uzun döngüye taşınmasını** destekler. Ayrıca kimyasal gübre ihtiyacını düşürerek üretim süreçlerine bağlı **dolaylı sera gazı emisyonlarını** azaltır. Evsel organik atıkların çöpe gitmesi hâlinde oluşacak metan salımlarının da önüne geçilmiş olur. Böylece balkon bahçeciliği, küçük ölçekte dahi olsa iklim açısından olumlu bir iz bırakır.

CSA'nın bahsedilen üç bileşeninin mantıksal şeması ve prensiplerinin anahtar kelimeleri Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. CSA'nın üç bileşeninin mantıksal şeması ve prensipleri

2.2. Kentsel Tarım Sistemlerinin Özellikleri

Kentsel tarım, klasik tarım sistemlerinden önemli ölçüde farklıdır ve bu farklılıklar balkon bahçeciliğinde teknik kısıtların belirleyicisi hâline gelir (Ohm ve ark., 2024). Bu kısıtların başında **sınırlı alan ve düşük hacimli kaplar** bulunur. Balkon tarımı genellikle 3-20 L hacimli kaplarda yapıldığından (Hawash ve ark., 2024) kök gelişimi, besin kapasitesi ve su tutma miktarı doğal toprak koşullarına göre oldukça sınırlıdır. Organik madde ve gözeneklilik düşük olduğunda bitkiler hızla strese girer ve kap hacmi küçüldükçe bu etki daha belirgin hâle gelir (Dallahi ve ark., 2024).

Bunun yanında **yapay substratların değişkenliği** de kentsel tarım sistemlerinin karakteristik bir özelliğidir. Balkonlarda kullanılan karışımlar çoğunlukla bahçe toprağı, torf, kokopit, ponza, perlit ve ev kompostu gibi materyallerden oluşur (Garcia ve ark., 2023). Bu karışımlar doğal tarım toprağındaki mineral ve organik dengenin aynısını sağlamaz (Terrile vd., 2024); bu nedenle organik madde takviyesi, özellikle kompost formunda, substrat kalitesinin artırılmasında kritik rol oynar (van der Kolk ve ark., 2023).

Balkon sistemlerinde karşılaşılan temel başka bir sorun **su yönetimi zorluklarıdır**. Küçük hacimli kaplar hızlı su kaybeder, yüzey sıcaklıkları daha çabuk yükselir ve düzensiz sulama tuzluluk artışı ile besin dengesizliğine neden

olabilir (Ferreira ve ark., 2024). **Kompostun su tutma kapasitesini artırması ve substratın nemi daha uzun süre koruması** bu yapısal sorunu önemli ölçüde hafifletir (de Jesus Duarte ve ark., 2022).

Kentsel çevrede **mikroiklim etkileri** de belirleyici olur. Beton yüzeylerin ısıyı emmesi, güneş yansımaları ve rüzgâr koridorları balkon bitkilerinde ısı stresi oluşmasına yol açabilir (Adıgüzel, 2023). Organik madde içeriği yüksek substratlar ise suyu daha uzun süre depolayarak ve kök bölgesini yalıtarak bu mikroiklim kaynaklı stresleri azaltır (Kazemi ve ark., 2023).

Son olarak, kentsel tarımda **kirlilik ve gıda güvenliği kaygıları** dikkate alınması gereken bir faktördür. Kent içi toz, egzoz kaynaklı partiküller ve ağır metal birikimleri zaman zaman risk oluşturabilecek düzeylere ulaşabilir (de Rezende ve ark., 2024). Ev kompostunun temiz ve kirleticili içermeyen kaynaklardan hazırlanması, olgunlaştırma sürecinin doğru yürütülmesi ve bitkilerin kapalı sistem substratlarında yetiştirilmesi bu riskleri azaltarak güvenli üretimi destekler (Ahogle ve ark., 2023).

Kentsel tarımın bahsedilen karakteristik sorunları ve kompostun çözümleri Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Kentsel tarımın karakteristik sorunları ve kompostun çözümleri

Kentsel Tarım Sorunu	Açıklama	Kompostun Sağladığı Çözüm
Küçük kap hacmi	Kök kısıtı	Organik madde + havalandırma
Hızlı su kaybı	Sıcak balkon etkisi	Su tutma kapasitesi ↑
Besin dalgalanması	Düşük tamponlama	Yavaş salınımlı besin
Mikroiklim stresleri	Isı & rüzgâr	Isı tamponu

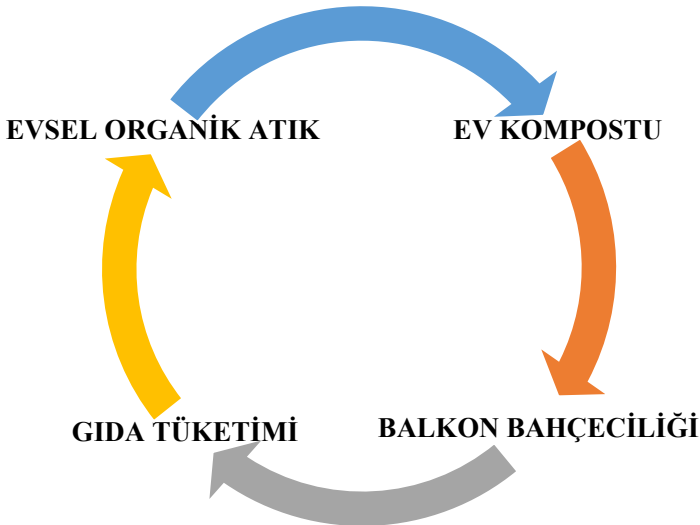
2.3. Mikro-Ölçekli Tarımsal Döngüler (Evsel Organik Atıklar → Kompost → Üretim → Tüketim Döngüsü)

Mikro-ölçekli tarımsal döngüler, evsel organik atıkların verimli şekilde değerlendirilmesiyle kent yaşamında sürdürülebilir bir üretim modeli oluşturur. Modern kentlerde evsel organik atıkların çöpe gitmesi ve depolama alanlarında metan oluşumuna neden olması önemli bir çevresel sorundur (Manea ve ark., 2024). Balkon bahçeciliği, bu atıkların değerlendirilmesine olanak tanıyarak hane içinde küçük ölçekli ama etkili bir döngü kurulmasını sağlar (Arcas-Pilz ve ark., 2023) (Şekil 2).

Bu döngünün ilk aşamasını **evsel organik atıkların toplanması** oluşturur. Mutfakta oluşan sebze-meyve kabukları, kahve posası, çay atıkları ve küçük bitkisel kırpıntılar uygun biçimde bir araya getirildiğinde kompostlamanın başlangıç materyalini sağlar. Bu materyaller, karbon ve azot dengesinin sağlanması ve düzenli havalandırmanın yapılmasıyla **kompostlama sürecinde** kontrollü şekilde ayrıştır ve yaklaşık 6–12 hafta içinde kararlı organik madde formu olan olgun kompost haline gelir (Gaspar ve ark., 2022; Zhou ve ark., 2020).

Elde edilen kompost daha sonra **üretim aşamasında** balkon saksı karışımlarına hacmen %10–30 oranında eklenerek bitkilerin organik madde ve besin gereksinimlerinin karşılanmasına katkı sağlar. Böylece hane içi atıklar doğrudan bitkisel üretimi destekleyen bir girdiye dönüşür (Garcia ve ark., 2023; Mu ve ark., 2020).

Son aşamada tüketim ve döngünün kapanması gerçekleşir. Evde yetiştirilen sebze ve aromatik bitkiler tüketildikten sonra ortaya çıkan yeni organik atıkların yeniden kompostlanmasıyla atık–üretim–tüketim döngüsü kapalı bir sistem hâline gelir (Dsouza ve ark., 2021). Bu bütüncül yaklaşım, çevresel sürdürülebilirliği desteklerken aynı zamanda bireylerin gıda okuryazarlığını ve ekolojik farkındalığını güçlendirmektedir (Pradhan ve ark., 2024).



Şekil 2. Mikro döngü: Evsel Atık → Kompost → Bitki → Gıda → Evsel Atık

3. BALKON BAHÇECİLİĞİNDE SUBSTRAT YÖNETİMİ

Konteyner sistemlerinde topraklaşma sorunları, balkon bahçeciliğinin verimliliğini belirleyen en kritik faktörlerden biridir (Aurdal, 2025). Küçük hacimli kaplarda yetiştiricilik, doğal tarım toprağına kıyasla daha hızlı besin tükenmesine ve organik madde kaybına neden olur (Hawash ve ark., 2024). Özellikle torf veya mineral toprak içermeyen karışımlarda azot ve mikro element eksiklikleri erken dönemde ortaya çıkar (Atzori ve ark., 2021; Sradnick ve Körner, 2025). Substratın zamanla sıkışması, havalanmanın azalması ve drenajın bozulması kök gelişimini sınırlar (Kormanek ve ark. 2023); bu süreç, sıcak yaz aylarında tuzluluğun yükselmesi ile birleştiğinde bitkilerde su stresi ve yaprak yanıklıkları görülmesine yol açabilir (Mndi ve ark., 2023; Wang ve ark., 2025). Kap hacmi küçüldükçe bu sorunların şiddeti artar ve düzenli organik madde takviyesi kritik hâle gelir (Dallahi ve ark., 2024).

Bu noktada **ev kompostunun substrat içindeki fonksiyonu**, balkon sistemlerinin zayıf yönlerini dengeleyen temel bir bileşen olarak öne çıkar (Lanno ve ark., 2022). Ev kompostu, organik madde içeriğı sayesinde substratın yapısını iyileştirir; toprağın parçalanabilirliğini artırarak havalanma ve kök penetrasyonunu kolaylaştırır. İçerdiği humik maddeler, su tutma kapasitesini yükseltirken aşırı drenajı azaltır ve sulama sıklığını düşürür (Rahim ve ark., 2024). Ayrıca kompost, yavaş salımlı azot, fosfor ve potasyum sağlayarak küçük hacimli yetiştirme ortamlarında besin dalgalanmalarını dengeler. Mikrobiyal aktivitenin artması, rizosferde daha dinamik bir besin döngüsü oluşturur ve substratın zamanla “ölü” bir ortam hâline gelmesini önler (Phillips ve ark., 2022). Tüm bu özellikler kompostu hem fiziksel hem kimyasal hem de biyolojik açıdan vazgeçilmez bir düzenleyici hâline getirir.

Balkon yetiştiriciliğinde yaygın olarak kullanılan **kompost + kokopit + bahçe toprağı kombinasyonları**, ideal substrat dokusunu elde etmeyi amaçlayan pratik karışımlardır (Poudel ve ark., 2023). Kokopit, hafifliği ve su tutma kapasitesiyle kompostun besin zenginliğiyle uyum sağlar; bahçe toprağı ise mineral yapı, tamponlama kapasitesi ve doğal mikroflora kazandırır (Atzori ve ark., 2021). En yaygın karışımlar hacimce yaklaşık %20–40 kompost (Martins ve ark., 2023), %30–50 kokopit (Kim ve Yoo, 2024) ve %20–40 bahçe toprağı şeklindedir (Machado ve Bui, 2021). Bu oranlar bitki türüne, kap hacmine ve iklim koşullarına göre ayarlanabilir. Son yıllarda balkon tarım topluluklarında “balcon-farm” olarak adlandırılan uygulamalarda, bu üçlü

karişımına ponza veya perlit eklenerek daha hafif ama stabil yapıda substratlar oluşturulmakta; özellikle domates, biber ve marul gibi besin talebi yüksek türlerde kompost oranının artırılmasıyla daha güçlü fide gelişimi ve erken hasat başarılmaktadır (Erdal ve Aktaş, 2025; Martins ve ark., 2023). Kompostun doğru oranlarda kullanımı, hem sürdürülebilirlik hem de üretkenlik açısından balkon bahçeciliğinde en etkin stratejilerden biri olarak değerlendirilmektedir (Atzori ve ark. 2021; Poudel ve ark., 2023).

4. EV KOMPOSTUNUN FİZİKSEL, KİMYASAL VE BİYOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Ev kompostu, balkon bahçeciliğinde hem substrat yapısını iyileştiren hem de bitki gelişimini destekleyen çok yönlü bir düzenleyici olarak değerlidir (Iraji ve ark., 2025). Kompostun yetiştirme ortamında nasıl bir etki göstereceği, sahip olduğu fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerle doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle kompostun olgunluk düzeyi, besin dinamikleri, mikrobiyal aktivitesi ve potansiyel kirlетici içerikleri, kentsel tarım açısından dikkatle değerlendirilmelidir (Kong ve ark., 2024).

Bunların başında **organik maddenin stabilizasyonu ve olgunluk kriterleri** gelir. Kompostun olgunlaşma süreci boyunca organik maddeler mikroorganizmalar tarafından parçalanır, sıcaklık mezofilik ve termofilik evrelerden geçer ve zamanla daha kararlı bir yapı kazanır (Kong ve ark., 2024). Olgun kompostların C/N oranı genellikle 10–20 aralığına düşer ve bu değer, hızlı azot bağlama veya fitotoksite riskinin azaldığını gösterir (Iraji ve ark., 2025). Sıcaklık seyrinin düşerek ortam sıcaklığına yaklaşması, amonyak kokusunun kaybolması ve kök yanığına neden olabilecek fenolik bileşiklerin azalması, kompostun fitotoksik etkilerden arındığını gösteren diğer önemli işaretlerdir (Kong ve ark., 2024). Bu kriterlerin sağlanması, balkonda yetiştirilen sebzelerin hassas kök sistemleri için büyük önem taşır.

Kompostun kimyasal yapısını belirleyen temel unsur **besin elementi dinamikleridir**. Ev kompostu, özellikle yavaş salınımlı azot kaynağı olarak değerlidir; organik azotun mineralizasyonu kontrollü ilerlediği için bitkilerde ani besin artışına bağlı stres oluşmaz (Suvendran ve ark., 2025). Fosfor, kompostta çoğunlukla organik forma bağlıdır ve çözünürlüğü mineral topraklara kıyasla daha yavaştır; bu özellik balkon bitkilerinde uzun süreli besin desteği sağlar (Bohórquez-Sandoval ve ark., 2024). Potasyum ise daha hareketli

bir element olduğundan kompostta kolay çözünebilir formda bulunur ve erken dönem gelişimini destekler (Hakimi ve ark., 2024). Ayrıca kompost, kalsiyum, magnezyum ve demir gibi mikro elementleri de sağlayarak saksı bitkilerinde görülen yaygın besin eksikliği problemlerinin önlenmesine katkıda bulunur (Suvendran ve ark., 2025).

Kompostun biyolojik niteliğini belirleyen en önemli unsur **mikrobiyal aktivite ve bitki sağlığına etkileridir** (Xu ve ark., 2023). Olgun bir kompost, yararlı mikroorganizmalar açısından zengindir; bunlar arasında nitrifikasyon ve mineralizasyonu destekleyen bakteriler, organik maddeyi parçalayan aktinomisetler ve bazı yararlı mantarlar bulunur (Nemet ve ark., 2021). Bu mikroorganizmalar rizosferde daha aktif bir besin döngüsü oluşturur, kök gelişimini teşvik eder ve bitkilerin stres koşullarına karşı dayanıklılığını artırır (Gil-Martínez ve ark., 2025). Ayrıca kompostun doğal mikrobiyal çeşitliliği, bazı bitki patojenlerinin baskılanmasına yardımcı olur (Xu ve ark., 2023). “Antagonistik etki” olarak bilinen bu mekanizma, özellikle küçük saksı hacmine sahip balkon sistemlerinde kök çürüklüğü ve fungal hastalıkların yayılmasını azaltır (Nemet ve ark., 2021).

Tüm bu olumlu özelliklerin yanında, ev kompostunun değerlendirilmesinde **kirletici riskleri** de göz önünde bulundurulmalıdır. Evsel organik atıklardan hazırlanan kompostlarda ağır metaller genellikle düşük düzeylerde bulunur; ancak metal içeren mutfak atıkları, boyalı kağıtlar, piller veya metal kaplı ambalajların yanlışlıkla kompostlama sürecine dahil edilmesi, istenmeyen elementlerin birikmesine yol açabilir (Porterfield ve ark., 2023). Benzer şekilde plastik parçacıklar, ambalaj kırıntıları ve çeşitli yabancı materyaller kompostun fiziksel kalitesini düşürür ve gıda güvenliği açısından potansiyel risk oluşturabilir. Bu nedenle kompostun kaynağının temiz olması ve atık ayrıştırmanın doğru yapılması, özellikle yemeklik ürünlerin yetiştirildiği balkon sistemleri için kritik önemdedir.

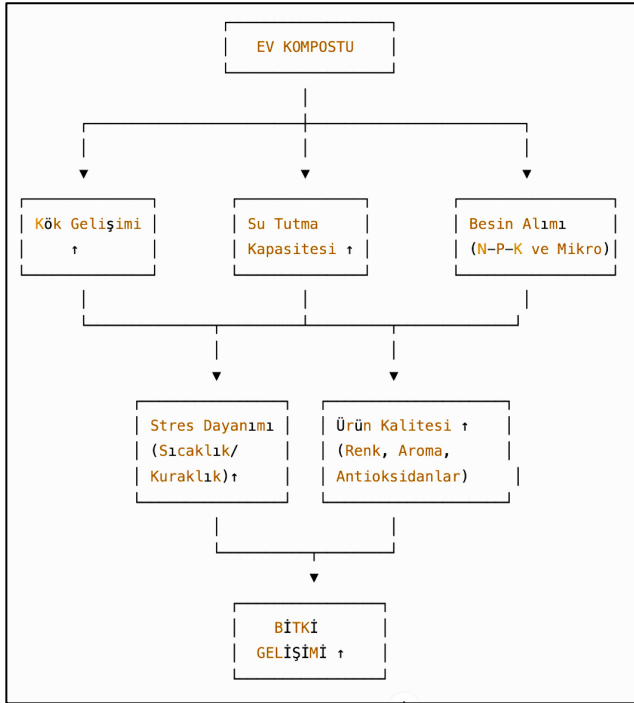
Ev kompostunun bahsedilen fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkilerinin özeti Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Ev kompostunun fiziksel–kimyasal–biyolojik etkileri

Etki Türü	Temel Özellik	Balkon Tarımındaki Sonuç
Fiziksel	Su tutma ↑, gözeneklilik ↑	Daha az sulama, daha iyi kök gelişimi
Kimyasal	N–P–K + mikro element	Dengeli büyüme
Biyolojik	Mikrobiyal aktivite ↑	Sağlıklı rizosfer

5. BALKON SEBZELERİNDE KOMPOST KULLANIMI: ETKİ MEKANİZMALARI

Ev kompostu, balkon ortamında yetiştirilen marul, fesleğen, domates ve biber gibi yaygın türlerde bitki gelişimini pek çok açıdan etkileyen güçlü bir yetiştirme girdisidir (Martins ve ark., 2023). Küçük hacimli yetiştirme sistemlerinde besin ve su sürekliliğini sağlamak, kök bölgesini aktif tutmak ve stres koşullarını azaltmak için kompostun fiziksel, kimyasal ve biyolojik katkıları belirleyicidir (Xu ve ark., 2023). Bu katkılar özellikle vejetatif büyüme, besin alımı, su yönetimi ve ürün kalitesi üzerinde doğrudan etki gösterir (Şekil 3).

**Şekil 3.** Kompostun bitki gelişimine etkileri

Kompostun bitki gelişimine katkısının temelini **vejetatif büyüme ve verim** üzerindeki etkileri oluşturur. Organik maddenin artırdığı substrat yapısı sayesinde kökler daha iyi havalandırılmış bir ortamda gelişir ve bu durum hem erken dönem fide büyümesini hem de toplam biyokütleli olumlu yönde etkiler. Marul ve fesleğen gibi yaprak verimine dayalı türlerde kompost, daha geniş yaprak yüzeyi, daha yüksek klorofil içeriği ve daha canlı bir bitki morfolojisi ile sonuçlanır. Domates ve biber gibi meyve veren türlerde ise kompost uygulaması güçlü çiçeklenme, daha iyi meyve tutumu ve toplam verimde artışla ilişkilidir. Bu etkilerin büyük bölümü, kompostun su ve besin sürekliliğini iyileştirmesine bağlıdır.

Kompostun sağladığı bu olumlu etkilerin bir diğer boyutu **besin alımı ve köksel gelişim** üzerindedir. Kompost, rizosferde mikroorganizma yoğunluğunu artırarak besinlerin mineralizasyonunu hızlandırır ve bitkilerin özellikle azot, fosfor, potasyum ve mikro elementlere erişimini kolaylaştırır. Organik maddeden salınan humik maddeler kök uyarıcı (root-promoting) etki göstererek daha fazla yan kök oluşumuna ve ince kök yoğunluğunun artmasına yol açar (Wei ve ark., 2024). Bu durum, balkon gibi sınırlı hacimli ortamlarda bitkilerin besin kullanım verimliliğini belirgin şekilde yükseltir. Daha gelişmiş bir kök sistemi, hem bitki dayanıklılığını hem de üst aksam büyümesini destekleyen önemli bir mekanizmadır.

Balkon tarımında en önemli kısıtlayıcı faktörlerden biri olan su sürekliliği, kompostun sağladığı **su yönetimi ve kuraklık toleransı** avantajlarıyla büyük ölçüde iyileştirilebilir. Kompost, yüksek organik madde ve gözeneklilik sayesinde substratın su tutma kapasitesini artırır; bu durum sulama sıklığının azalmasına ve bitkinin daha uzun süre nemli bir ortamda kalmasına olanak tanır. Su dalgalanmasının azaldığı bu koşullarda bitki kökleri stres yaşamadan gelişebilir (Rivier ve ark., 2022). Domates ve biber gibi daha fazla su isteyen türlerde kompost kullanımı, yaprak solgunluğunun azalması ve sıcak günlerde su stresi belirtilerinin daha az görülmesi ile sonuçlanır. Bu etki, özellikle yaz döneminde güneşe açık balkonlarda belirgin avantaj sağlar (Tüzel ve ark., 2025).

Kompostun bitkisel üretimdeki bir diğer önemli katkısı **bitki kalitesi ve besin içeriği** üzerinde ortaya çıkar. Organik maddece zengin ortamlarda yetiştirilen marul ve fesleğen gibi yeşil yapraklı ürünlerde C vitamini, klorofil ve antioksidan bileşiklerde artış görülebilir. Domates ve biber gibi meyve veren

türlerde ise fenolik bileşiklerin, likopen veya kapsaisin gibi kalite parametrelerinin yükseldiği çalışmalar bildirilmektedir (Xu ve ark., 2023; Cozzolino ve ark., 2023). Kompostun sağladığı mikro element desteği (örneğin magnezyum, demir, çinko) bitki metabolizmasının daha dengeli işlemlerini sağlarken, yavaş salımlı azot yaprak kalınlığı, renk ve tazelik gibi görsel kalite kriterlerini olumlu yönde etkiler (Hakimi ve ark., 2024). Tüm bu özellikler balkon ortamında yetiştirilen ürünlerin hem besin değeri hem de tüketim kalitesi açısından avantaj yaratır.

6. KENTSEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK PERSPEKTİFİNDEN EV KOMPOSTU

Ev kompostu, kentsel sürdürülebilirlik hedefleriyle doğrudan bağlantılı çok boyutlu bir uygulamadır. Hane kaynaklı atıkların azaltılmasından karbon ayak izinin düşürülmesine, gıda okuryazarlığının gelişmesinden kentsel ekolojik farkındalığın artmasına kadar geniş bir çerçevede olumlu etkiler üretir. Bu nedenle balkon bahçeciliğinde kompostun kullanımı yalnızca bitki yetiştiriciliğini değil, aynı zamanda sürdürülebilir kent yaşamının temel bileşenlerini de destekler (Pradhan ve ark., 2024).

Kentsel sürdürülebilirliğin önemli bileşenlerinden biri olan **evsel organik atıkların geri kazanımı**, kompostlamanın en temel katkısını oluşturur. Kentlerde hanelerden çıkan atığın yaklaşık %30–50’si organik niteliktedir ve bu atıkların çöpe gitmesi, hem depolama alanlarının yükünü artırmakta hem de metan oluşumu nedeniyle iklim üzerindeki baskıyı büyütmektedir. Ev içi kompostlama sayesinde bu atıklar doğrudan döngüsel bir üretim sürecine dahil olur; böylece hane bazında atık miktarı azalırken döngüsel ekonomiye mikro ölçekte katkı sağlanır. Organik atıkların tekrar toprağa kazandırılması, kaynak verimliliğini artıran en etkili yöntemlerden biridir (Win ve ark., 2024).

Ev kompostunun kentsel sürdürülebilirliğe ikinci büyük katkısı **karbon ayak izinin azaltılması** üzerinden gerçekleşir. Organik atıkların çöpe gönderilmesi durumunda gerçekleşen toplama, taşıma ve depolama süreçleri fosil yakıt kullanımını artırır; ayrıca düzenli depolama sahalarında anaerobik ayrışma sonucu yüksek küresel ısınma potansiyeline sahip metan gazı oluşur. Evde kompost yapıldığında bu emisyon yolları ortadan kalkar. Bunun yanı sıra olgun kompostun kullanılması, saksı yetiştiriciliğinde kimyasal gübre

ihtiyacını düşürür; üretimi sırasında yüksek enerji gerektiren yapay gübrelerin kullanımının azalması, dolaylı karbon emisyonlarında önemli bir düşüş yaratır. Bu iki mekanizma birlikte değerlendirildiğinde ev kompostu, kentsel tarımın iklim dostu bir bileşeni hâline gelir (Manea ve ark., 2024; Jalalipour ve ark., 2025).

Sürdürülebilirlik açısından üçüncü önemli boyut **toplumsal fayda, gıda okuryazarlığı ve ekolojik farkındalık** alanında ortaya çıkar. Balkon bahçeciliği uygulayan bireyler, kompost üretimi sayesinde gıda atığının kaynağını, toprağa dönüşme sürecini ve bitki yetiştiriciliği üzerindeki etkisini doğrudan gözlemleyebilir. Bu durum, kentsel yaşamda kopuk hâle gelen üretici-tüketici ilişkisinin yeniden kurulmasına katkı sağlar. Kişiler gıdanın üretim süreçlerini deneyimleyerek tüketim alışkanlıklarını daha bilinçli hâle getirir; aynı zamanda sürdürülebilir yaşam pratiklerine yönelik motivasyonları artar. Ev kompostu bu yönüyle, bireylerin kent içinde “üretici-tüketici” (prosumer) rolünü güçlendiren ve toplumsal ekolojik farkındalığı yaygınlaştıran bir araç olarak değerlendirilebilir (Trębska ve Biernat-Jarka, 2025).

7. BALKON BAHÇECİLİĞİNDE EV KOMPOSTU KULLANIMINDA KARŞILAŞILAN SORUNLAR

Ev kompostu, balkon yetiştiriciliğinde önemli avantajlar sunmasına rağmen yanlış üretim veya hatalı kullanım durumlarında bazı sorunlara yol açabilir. Bu sorunlar genellikle kompostun olgunlaşma seviyesi, besin dengesi, fiziksel yapısı ve mikroorganizmaların kontrolsüz aktivitesinden kaynaklanır (Lončarić ve ark., 2024). Balkon alanlarının sınırlı olması, bu hataların etkisini daha görünür ve hızlı hâle getirir. Dolayısıyla ev kompostunu güvenli, dengeli ve etkili bir şekilde kullanabilmek için olası risklerin mekanizmasını iyi anlamak önemlidir.

Bu risklerin başında **olgunlaşmamış kompostun neden olabileceği problemler** yer alır. Tam olarak ayrışmamış organik materyaller, yüksek mikrobiyal aktivite nedeniyle sıcaklığın yükselmesine yol açabilir; bu durum kök bölgesinde ısı stresi yaratarak genç fidelerde yanıklık ve büyüme geriliğine neden olabilir. Olgunlaşmamış kompost ayrıca fazla amonyak içerebilir ve bu kimyasal fitotoksiteye, yani kök ve yaprak dokusunda toksik etkilere yol açabilir. Ayrışmanın tam gerçekleşmediği durumlarda tuzluluk seviyesi de

yüksek kalabilir ve bu da özellikle küçük hacimli kaplarda bitki köklerinin zarar görmesine neden olur (Lončarić ve ark., 2024).

Kompost üretim sürecinde karşılaşılan bir diğer yaygın sorun **haşere ve koku problemleridir**. Ayırışmanın anaerobik koşullarda ilerlemesi, kötü koku oluşumuna ve istenmeyen sinek veya larva gelişimine zemin hazırlar. Bu durum genellikle komposttaki “yeşil” (azotça zengin) ve “kahverengi” (karbonca zengin) materyaller arasındaki dengenin bozulmasından veya düzenli karıştırma yapılmamasından kaynaklanır. Bu sorunların çözümü, karbon/azot dengesinin korunması ve kompost yığınının düzenli aerasyonla havalandırılmasıdır. Denge doğru sağlandığında kompost kokusuz, stabil ve haşere çekmeyen bir yapı kazanır (Andraskar ve ark., 2021).

Ev kompostu ile ilgili teknik güçlüklerden biri de **besin dengesizliğidir**. Evsel atıklardan elde edilen kompostlar, karışım içeriğine bağlı olarak potasyum bakımından zengin olabilir; bu durum özellikle domates ve biber gibi türlerde besin dengesini bozarak kalsiyum veya magnezyum noksanlığına bağlı sorunları tetikleyebilir (Manea ve ark., 2024; Yan ve ark., 2020; Yang ve ark., 2024). Azot salınımının düzensiz olması ise büyüme döneminde besin dalgalanmalarına yol açabilir. Bu nedenle kompostun uygun oranlarda kullanılması, gerekirse mineral takviyelerle dengelenmesi ve karışımın gözlemlenerek ayarlanması önem taşır (Manea ve ark., 2024).

Son olarak, balkon yetiştiriciliğinde sık karşılaşılan sorunlardan biri **hafif substratlarda çökme ve sıkışma** problemidir. Kompost, kokopit ve torf gibi hafif materyallerle karıştırıldığında zamanla hacim kaybına uğrayabilir; bu durum saksıdaki substrat seviyesinin düşmesine ve köklerin hava almasının zorlaşmasına neden olur (Kormanek ve ark., 2023). Sıkışma, özellikle küçük hacimli kaplarda köklerin yayılmasını sınırlar ve suyun yüzeyde birikmesine yol açabilir. Bu tür fiziksel yapı sorunları, karışıma belirli oranda mineral toprak veya ponza eklenerek ve kompostun hacme göre dengeli kullanılmasıyla azaltılabilir.

Ev kompostu kullanımında karşılaşılan bahsedilen sorunlar ve çözüm önerileri Tablo 3’de özetlenmiştir.

Tablo 3. Ev kompostu kullanımında karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri

Sorun	Neden	Çözüm
Olgunlaşmamış kompost	Amonyak, ısı	6–12 hafta bekletme
Koku – sinek	Anaerobik ayrışma	C/N dengesi, karıştırma
Besin dengesizliği	K yüksek	Karışım oranı %20–30
Substrat çökmesi	Hafif karışımlar	Ponza / bahçe toprağı ekleme

8. POLİTİKA, PLANLAMA VE YAYGINLAŞTIRMA ÖNERİLERİ

Kentsel tarımın sürdürülebilir biçimde yaygınlaştırılması, yalnızca bireysel çabalara değil, yerel yönetimlerin, akademik kurumların ve toplumun ortak hareketine dayanır. Balkon bahçeciliğinde ev kompostunun kullanımı, mikro ölçekte tarımsal döngülerin kurulmasını sağladığı için kentlerde çevresel, ekonomik ve sosyal faydalar oluşturabilir. Bu potansiyelin etkili şekilde hayata geçirilebilmesi, stratejik planlama ve hedefe yönelik politika uygulamalarını gerektirir (Barbour ve ark., 2022; Marini ve ark., 2023).

Kentsel yönetimlerin rolünü tanımlayan en önemli başlık **kentsel belediyeler için stratejilerdir** (Escolhas Institute, 2021). Belediyelerin balkon tarımını destekleyen starter kitler (küçük saksılar, tohumlar, temel eğitim materyalleri) sağlaması, kentlerde üretim kültürünün yaygınlaşmasına katkı sunabilir (Oshinusi, 2024). Ayrıca yerel kompost merkezlerinin kurulması, hanelerin organik atıklarını ücretsiz olarak bırakabileceği ve kompost temin edebileceği döngüsel altyapılar yaratır. Bazı kentlerde uygulanan mahalle kompost noktaları, hem atık yönetimini iyileştirmekte hem de kompost kullanımını daha geniş bir topluluk için erişilebilir hâle getirmektedir. Bu tür hizmetler, bireylerin kendi kompostunu üretme motivasyonunu da artırır.

Kentsel tarımın başarılı şekilde yaygınlaştırılması için bir diğer temel başlık **eğitim ve uygulama rehberlerinin önemidir**. Ev kompostunun nasıl hazırlanacağı, hangi materyallerin kompostlanabilir olduğu, C/N dengesinin nasıl sağlanacağı, balkon substratlarında kullanılacak karışım oranlarının ne olması gerektiği gibi bilgiler, basit ve anlaşılır rehberlerle halka sunulduğunda yanlış üretim riskleri azalır. Hijyen, koku kontrolü ve haşere yönetimi gibi pratik konuların da yer aldığı bu rehberler, hem güvenli hem de verimli kompost üretimini destekler. Belediyelerin ya da sivil toplum kuruluşlarının

düzenlediği kısa eğitimler, uygulamalı atölyeler ve dijital eğitim içerikleri bu süreci daha etkili hâle getirir (SLU ve Makerere University, 2023).

Sürdürülebilir kentsel tarım ekosisteminin gelişimi açısından üçüncü önemli unsur **akademi–yerel yönetim–toplum işbirliği modelleridir**. Üniversiteler tarafından yürütülen projeler, bilimsel bilgi ile uygulamayı bir araya getirerek topluluk bahçelerinin planlanmasını ve yönetilmesini kolaylaştırır. Mikro topluluk bahçeleri, mahalle ölçeğinde üretim alanları oluşturarak ev kompostunun toplu şekilde kullanılabilceği pratik öğrenme ortamları sunar. Balkon tarım atölyeleri ise katılımcıların hem yetiştiricilik hem de kompostlama deneyimini paylaşmasına imkân verir. Bu tür işbirliği modelleri, bilgi aktarımını hızlandırır, katılımcı sayısını artırır ve sürdürülebilirlik temelli kentsel tarım kültürünün kalıcı olmasını sağlar.

9. SONUÇ

Ev kompostu, kentsel tarımın iklim akıllı bir yaklaşımla yeniden tanımlanmasında kritik bir bileşen olarak değerlendirilebilir. Kompost, organik maddece zengin yapısıyla balkon tarımında sınırlı alan, düşük substrat hacmi, besin yetersizliği ve düzensiz su yönetimi gibi temel kısıtların aşılmasına katkı sağlar. Bu çok yönlü faydalar, kompostu yalnızca bir yetiştirme girdisi olmaktan çıkarak **CSA çerçevesindeki bütüncül rolüyle** üretkenliği artıran, iklim stresine uyumu güçlendiren ve sera gazı emisyonlarını azaltan bir çözüm hâline getirir. Özellikle evsel atıkların komposta dönüştürülmesi, hane ölçeğinde döngüsel ekonomi prensiplerinin uygulanmasını sağlayarak karbon döngüsünün küçük ölçeklerde kapatılmasına katkıda bulunur.

Balkon bahçeciliği gibi küçük ölçekli üretim modelleri, kentlerde giderek artan çevresel stres ve gıda güvensizliği sorunlarına karşı önemli bir yerel adaptasyon aracı sunar. Bu açıdan bakıldığında, **balkon tarımının iklim uyum stratejilerindeki yeri**, kentsel mikroiklim koşullarına dayanıklı yetiştirme sistemlerinin geliştirilmesi, su kullanımının optimize edilmesi ve bitkilerin ısı, kuraklık ve besin dalgalanmalarına karşı direnç kazanması üzerinden anlam kazanmaktadır. Kompost kullanımının sağladığı yapısal ve biyolojik avantajlar, balkon sistemlerini hem çevresel değişimlere daha dayanıklı hem de bakım açısından daha sürdürülebilir hâle getirir.

Tüm bu bulgular, ev kompostunun ve balkon tarımının **kentsel gıda sistemlerinde sürdürülebilirliğe katkıları** açısından stratejik bir rol

oynadığını gösterir. Kompost temelli üretim modelleri; organik atıkların geri kazanımı, kimyasal girdilerin azalması, yerel gıda üretiminin artması ve bireylerin üretici-tüketici bilincinin gelişmesi gibi çok boyutlu faydalar yaratır. Böylece ev kompostu, kentsel tarım politikalarında, eğitim programlarında ve yerel yönetim uygulamalarında desteklenmesi gereken temel bir araç olarak öne çıkar. Kentsel yaşamın giderek yoğunlaştığı günümüzde, balkon tarımı ve ev kompostu birlikte değerlendirildiğinde hem ekolojik hem ekonomik hem de toplumsal sürdürülebilirliği güçlendiren bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır (Säger ve Petrosino, 2024).

KAYNAKLAR

- Adıgüzel, F. (2023). Effects of green spaces on microclimate in sustainable urban planning. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 10(3), 124–131. <https://doi.org/10.30897/ijegeo.1342287>
- Ahogle, A.M.A., Letema, S., Schaab, G., Ngure, V., Mwesigye, A.R. & Korir, N.K. (2023). Heavy metals and trace elements contamination risks in peri-urban agricultural soils in Nairobi city catchment, Kenya. *Frontiers in Soil Science*, 2, 1048057. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2022.1048057>
- Andraskar, J., Yadav, S. & Kapley, A. (2021). Challenges and control strategies of odor emission from composting operation. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 193(7), 2331–2356. <https://doi.org/10.1007/s12010-021-03490-3>
- Arcas-Pilz, V., Gabarrell, X., Orsini, F. & Villalba, G. (2023). Literature review on the potential of urban waste for the fertilization of urban agriculture: A closer look at the metropolitan area of Barcelona. *Science of the Total Environment*, 905, 167193. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167193>
- Atzori, G., Pane, C., Zaccardelli, M., Cacini, S. & Massa, D. (2021). The role of peat-free organic substrates in the sustainable management of soilless cultivations. *Agronomy*, 11(6), 1236. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061236>
- Aurdal, S.M. (2025). The persistent challenge of sustainable alternatives to peat in container-based horticulture: A historical review of the scientific field of growing media. *Frontiers in Horticulture*, 4, 1657037. <https://doi.org/10.3389/fhort.2025.1657037>
- Barbour, L., Lindberg, R., Woods, J., Charlton, K. & Brimblecombe, J. (2022). Local urban government policies to facilitate healthy and environmentally sustainable diet-related practices: A scoping review. *Public Health Nutrition*, 25(2), 471–487. <https://doi.org/10.1017/S1368980021004432>
- Bohórquez-Sandoval, L.J., García-Molano, J.F., Pascual-Valero, J.A. & Ros-Muñoz, M. (2024). A comprehensive review on organic waste compost as an effective phosphorus source for sustainable agriculture.

- International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 13(4). <https://doi.org/10.57647/ijrowa-ybbx-kp03>
- Cozzolino, E., Salluzzo, A., Piano, L.D., Tallarita, A.V., Cenvinzo, V., Cuciniello, A., ... & Caruso, G. (2023). Effects of the application of a plant-based compost on yield and quality of industrial tomato (*Solanum lycopersicum* L.) grown in different soils. *Applied Sciences*, 13(14), 8401. <https://doi.org/10.3390/app13148401>
- Dallahi, Y., Boujraf, A., Smouni, A., Fahr, M., El Aboudi, A., Orlando, C.A., Laabou, K., Ferradous, A. & Abidine, M.M.O. (2024). Effects of container size and growing media on growth of argan (*Argania spinosa*) seedlings in Morocco. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 54. <https://doi.org/10.33494/nzjfs542024x285x>
- de Jesus Duarte, S., Hubach, A. & Glaser, B. (2022). Soil water balance and wettability methods in soil treated with biochar and/or compost. *Carbon Research*, 1(1), 31. <https://doi.org/10.1007/s44246-022-00032-2>
- de Rezende, L.P., Barbosa, J. & Teixeira, P. (2024). Food safety in urban agriculture: A comprehensive review. In *2024 IAFP European Symposium*. <http://hdl.handle.net/10400.14/48347>
- Dsouza, A., Price, G.W., Dixon, M. & Graham, T. (2021). A conceptual framework for incorporation of composting in closed-loop urban controlled environment agriculture. *Sustainability*, 13(5), 2471. <https://doi.org/10.3390/su13052471>
- Erdal, İ. & Aktaş, H. (2025). Comparison of the perlite, leonardite, vermicompost and peat moss and their combinations with cocopeat as tomato growing media. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s42729-025-02294-2>
- Escolhas Institute. (2021). *Urban agriculture's potential to advance multiple Sustainable Development Goals*. Escolhas Institute. https://escolhas.org/wp-content/uploads/urban_agriculture.pdf
- Ferreira, C.S., Soares, P.R., Guilherme, R., Vitali, G., Boulet, A., Harrison, M. T., ... & Ferreira, A.J. (2024). Sustainable water management in horticulture: Problems, premises, and promises. *Horticulturae*, 10(9), 951. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10090951>

- FAO. (2017). *Climate-smart agriculture: Sourcebook summary* (2nd ed.). <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/2b0458ed-6aba-41a3-bdb0-169f16ad5077/content>
- Garcia, J., Bray, N., Son, Y., Butler-Jones, A., Egendorf, S.P. & Kao-Kniffin, J. (2023). Plant growth and microbial responses from urban agriculture soils amended with excavated local sediments and municipal composts. *Journal of Urban Ecology*, 9(1), juad016. <https://doi.org/10.1093/jue/juad016>
- Gaspar, S.S., Assis, L.L., Carvalho, C.A., Buttrós, V.H., Ferreira, G.M.D.R., Schwan, R.F., ... & Dória, J. (2022). Dynamics of microbiota and physicochemical characterization of food waste in a new type of composter. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 960196. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.960196>
- Gil-Martínez, M., Madejón, P., Madejón, E. & de Sosa, L.L. (2025). Compost and vegetation cover drive soil fertility, microbial activity, and community in organic farming soils. *Plant and Soil*, 1–23. <https://doi.org/10.1007/s11104-025-07720-z>
(✓ “de Sosa” küçük harfle doğru yazıldı)
- Hakimi, F., Sebbar, A., Bouamri, R., Sidikou, A.A.H., El Janati, M. & Bouaziz, A. (2024). Effects of compost and compost tea on soil properties and nutrient uptake of the Moroccan date palm cultivar “Mejhouli” under organic cultivation. *Journal of Ecological Engineering*, 25(7), 224–240. <https://doi.org/10.12911/22998993/188334>
- Hawash, A., Abul-Soud, M., Emam, M.S.A., Maharik, Z.Y., Mohammed, M. H. & Ahmed, S.H. (2024). Effect of pot substrate volume and nitrogen concentration of the nutrient solution on lettuce production under urban conditions. *Scientific Journal of Agricultural Sciences*, 6(2), 21–35. <https://doi.org/10.21608/sjas.2024.284802.1413>
- Iraji, F., Jiménez-Ballesta, R., Mongil-Manso, J., Pellejero, G., Miguélez, D., Najafi, P. & González, J.M.T. (2025). The effects of compost application on soil properties: Agricultural and environmental benefits. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. <https://doi.org/10.57647/ijrowa-2025-8144>
- Jalalipour, H., Binaee Haghighi, A., Ferronato, N., Bottausci, S., Bonoli, A., & Nelles, M. (2025). Social, economic and environmental benefits of

- organic waste home composting in Iran. *Waste Management & Research*, 43(1), 97–111. <https://doi.org/10.1177/0734242X241227377>
- Kazemi, M., Courard, L. & Attia, S. (2023). Water permeability, water retention capacity, and thermal resistance of green roof layers made with recycled and artificial aggregates. *Building and Environment*, 227, 109776. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109776>
- Kim, S.K. & Yoo, Y.K. (2024). Mixing ratio of peat moss, coco peat, and perlite affects the physicochemical properties of media and growth of *Tetragonia tetragonoides*. *Horticultural Science and Technology*, 42(1), 15–27. <https://doi.org/10.7235/HORT.20240002>
- Kong, Y., Zhang, J., Zhang, X., Gao, X., Yin, J., Wang, G., ... & Yuan, J. (2024). Applicability and limitation of compost maturity evaluation indicators: A review. *Chemical Engineering Journal*, 489, 151386. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.151386>
- Kormanek, M., Małek, S., Banach, J. & Durło, G. (2023). Effect of changing substrate density and water application method on substrate physical properties and container-grown seedling growth. *Forests*, 14(7), 1490. <https://doi.org/10.3390/f14071490>
- Lanno, M., Klavins, M., Purmalis, O., Shanskiy, M., Kisand, A. & Kriipsalu, M. (2022). Properties of humic substances in composts comprised of different organic source material. *Agriculture*, 12(11), 1797. <https://doi.org/10.3390/agriculture12111797>
- Lončarić, Z., Galić, V., Nemet, F., Perić, K., Galić, L., Ragályi, P., ... & Rékási, M. (2024). The evaluation of compost maturity and ammonium toxicity using different plant species in a germination test. *Agronomy*, 14(11), 2636. <https://doi.org/10.3390/agronomy14112636>
- Lou, Y., Feng, L., Xing, W., Hu, N., Noellemeyer, E., Le Cadre, E., ... & Mei, X. (2024). Climate-smart agriculture: Insights and challenges. *Climate Smart Agriculture*, 1(1), 100003. <https://doi.org/10.1016/j.csag.2024.100003>
- Machado, R.M.A. & Bui, H.H. (2021, September). Physicochemical characteristics of substrates of the mixture of coir with municipal solid waste compost and with biochar. In *VIII South-Eastern Europe Symposium on Vegetables and Potatoes*, 1320, pp.399-404. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1320.53>

- Manea, E.E., Bumbac, C., Dinu, L.R., Bumbac, M. & Nicolescu, C.M. (2024). Composting as a sustainable solution for organic solid waste management: Current practices and potential improvements. *Sustainability*, 16(15), 6329. <https://doi.org/10.3390/su16156329>
- Manyike, J.Z., Ningi, T., Mokhaukhau, J.P. & Maka, L. (2025). Performance and conceptual structure of climate-smart agriculture research: A bibliometric analysis (2010–2023). *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9, 1499982. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1499982>
- Marini, M., Caro, D. & Thomsen, M. (2023). Investigating local policy instruments for different types of urban agriculture in four European cities: A case study analysis on the use and effectiveness of the applied policy instruments. *Land Use Policy*, 131, 106695. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106695>
- Martins, T.C., Machado, R.M., Alves-Pereira, I., Ferreira, R. & Gruda, N.S. (2023). Coir-based growing media with municipal compost and biochar and their impacts on growth and some quality parameters in lettuce seedlings. *Horticulturae*, 9(1), 105. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9010105>
- Mndi, O., Sogoni, A., Jimoh, M.O., Wilmot, C.M., Rautenbach, F. & Laubscher, C.P. (2023). Interactive effects of salinity stress and irrigation intervals on plant growth, nutritional value, and phytochemical content in *Mesembryanthemum crystallinum* L. *Agriculture*, 13(5), 1026. <https://doi.org/10.3390/agriculture13051026>
- Mu, D., Hawks, J. & Diaz, A. (2020). Impacts on vegetable yields, nutrient contents and soil fertility in a community garden with different compost amendments. *AIMS Environmental Science*, 7(4), 350–365. <https://doi.org/10.3934/environsci.2020023>
- Nemet, F., Perić, K. & Lončarić, Z. (2021). Microbiological activities in the composting process – A review. *COLUMELLA – Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 8(2), 41–53. <https://doi.org/10.18380/SZIE.COLUM.2021.8.2.41>
- Nocentini, M., Mastrolonardo, G., Michelozzi, M., Cencetti, G., Lenzi, A., Panettieri, M., ... & Certini, G. (2024). Effects of biochar and compost addition in potting substrates on growth and volatile compounds profile

- of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104(3), 1609–1620. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13045>
- Ohm, H.M., DeSutter, T.M., Hargiss, C.L., Anderson, K.A., Derby, N.E. & Alvarez-Torres, B. (2024). Soils information for urban customers: A perspective. *Urban Agriculture & Regional Food Systems*, 9(1), e20054. <https://doi.org/10.1002/uar2.20054>
- Oshinusi, K. (2024). Integrating organic waste management with urban food systems: A municipal approach to compost hubs and household waste valorization (Master's thesis). University of Toronto. <https://utoronto.scholaris.ca/bitstreams/e7010102-18c9-452e-8a2a-ddb98d16e9c2/download>
- Oueld Lhaj, M., Moussadek, R., Zouahri, A., Sanad, H., Saafadi, L., Mdarhri Alaoui, M. & Mouhir, L. (2024). Sustainable agriculture through agricultural waste management: A comprehensive review of composting's impact on soil health in Moroccan agricultural ecosystems. *Agriculture*, 14(12), 2356. <https://doi.org/10.3390/agriculture14122356>
- Phillips, I., Paungfoo-Lonhienne, C., Tahmasbian, I., Hunter, B., Smith, B., Mayer, D. & Redding, M. (2022). Combination of inorganic nitrogen and organic soil amendment improves nitrogen use efficiency while reducing nitrogen runoff. *Nitrogen*, 3(1), 4. <https://doi.org/10.3390/nitrogen3010004>
- Porterfield, K.K., Hobson, S.A., Neher, D.A., Niles, M.T. & Roy, E.D. (2023). Microplastics in composts, digestates, and food wastes: A review. *Journal of Environmental Quality*, 52(2), 225–240. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20450>
- Poudel, P., Duenas, A.E. & Di Gioia, F. (2023). Organic waste compost and spent mushroom compost as potential growing media components for the sustainable production of microgreens. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1229157. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1229157>
- Pradhan, P., Subedi, D.R., Dahal, K., Hu, Y., Gurung, P., Pokharel, S., ... & Joshi, A. (2024). Urban agriculture matters for sustainable development. *Cell Reports Sustainability*, 1(9). <https://doi.org/10.1016/j.crsus.2024.100217>
- Rahim, H.U., Allevato, E., Vaccari, F.P. & Stazi, S.R. (2024). Biochar aged or combined with humic substances: Fabrication and implications for

- sustainable agriculture and environment – a review. *Journal of Soils and Sediments*, 24(1), 139–162. <https://doi.org/10.1007/s11368-023-03644-2>
- Rivier, P.A., Jamniczky, D., Nemes, A., Makó, A., Barna, G., Uzinger, N., ... & Farkas, C. (2022). Short-term effects of compost amendments to soil on soil structure, hydraulic properties, and water regime. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 70(1), 74–88. <https://doi.org/10.2478/johh-2022-0004>
- Säger, M.T. & Petrosino, A.J. (2024). “They just forget about the students”: Growing resilient urban farmers with a research practice partnership. *Discover Education*, 3(1), 96. <https://doi.org/10.1007/s44327-025-00141-8>
- SLU & Makerere University. (2023). Climate smart and resilient urban farming: Training manual. Swedish University of Agricultural Sciences. <https://www.slu.se/globalassets/slu.se/samverkan/slu-global/agrifose2030/pdf/climate-smart-and-relient-urban-farming-manual---final-draft-rufs-project.pdf>
- Sradnick, A. & Körner, O. (2025). Efficiently evaluating peat-free growing media for press pot substrates: The role of mixture combinations. *Frontiers in Horticulture*, 4, 1620375. <https://doi.org/10.3389/fhort.2025.1620375>
- Suvendran, S., Acevedo, M.F., Smithers, B., Walker, S.J. & Xu, P. (2025). Soil fertility and plant growth enhancement through compost treatments under varied irrigation conditions. *Agriculture*, 15(7). <https://doi.org/10.3390/agriculture15070734>
- Terrile, R., Martinez, N., Paz, N., Brunotto, F., Costa, M., Budai, N., ... & Tornaghi, C. (2024). Urban food waste for soil amendment? Analysis and characterisation of waste-based compost for soil fertility management in agroecological horticultural production systems in the city of Rosario, Argentina. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1338451. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1338451>
- Trębska, P. & Biernat-Jarka, A. (2025). Food waste and food presumption—A case study for sustainable households in Poland. *Sustainability*, 17(8), 3616. <https://doi.org/10.3390/su17083616>

- Tüzel, Y., Kayıkçıoğlu, H.H., Durdu, T., Harouna, O.S., Tunalı, U., Öztekin, G.B., ... & Gruda, N.S. (2025). Enhancing tomato drought resilience with organic amendments and local landraces. *Scientific Reports*, 15(1), 26172. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-12098-0>
- van der Kolk, H.J., van den Berg, P., van Veen, T. & Bezemer, M. (2023). Substrate composition impacts long-term vegetation development on blue-green roofs: Insights from an experimental roof and greenhouse study. *Ecological Engineering*, 186, 106847. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106847>
- Wang, Z., Poudyal, S., Kopp, K. & Zhang, Y. (2025). Response of ornamental plants to salinity: Impact on species-specific growth, visual quality, photosynthetic parameters, and ion uptake. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1611767. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1611767>
- Wei, T.J., Li, G., Cui, Y.R., Xie, J., Teng, X., Wang, Y.J., ... & Liang, Z.W. (2024). Compost mediates the recruitment of core bacterial communities in alfalfa roots to enhance their productivity potential in saline-sodic soils. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1502536. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1502536>
- Win, K.Z., Yabar, H. & Mizunoya, T. (2024, November). Analysis of household waste generation and composition in Mandalay: Urban–rural comparison and implications for optimizing waste management facilities. In *Waste* (Vol. 2, No. 4, pp. 490–509). MDPI. <https://doi.org/10.3390/waste2040026>
- Xu, D., Yu, X., Chen, J., Li, X., Chen, J. & Li, J. (2023). Effects of compost as a soil amendment on bacterial community diversity in saline–alkali soil. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1253415. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1253415>
- Xu, J., Lin, T., Wang, Y., Jiang, W., Li, Q., Lu, T., ... & Yu, H. (2024). Home food gardening in modern cities: Advances, issues, and future perspectives. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1391732. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1391732>
- Yan, B., Sun, Y.Y. & Wei, Y. (2020). Potassium–calcium antagonistic interaction under tomato magnesium deficiency and magnesium fertiliser regulation in solar greenhouse. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 12(3), 76–86. <https://doi.org/10.15586/qas.v12i3.723>

- Yang, M., Zhou, D., Hang, H., Chen, S., Liu, H., Su, J., ... & Zhao, G. (2024). Effects of balancing exchangeable cations Ca, Mg, and K on the growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.) based on increased soil cation exchange capacity. *Agronomy*, 14(3), 629. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030629>
- Zhou, X., Yang, J., Xu, S., Wang, J., Zhou, Q., Li, Y. & Tong, X. (2020). Rapid in-situ composting of household food waste. *Process Safety and Environmental Protection*, 141, 259–266. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.05.039>

BÖLÜM 12

2000 SONRASI TÜRKİYE’DE KABAKGİL BİTKİLERİNDE GÖRÜLEN *Zucchini Yellow Mosaic Potyvirus* (ZYMV) ENFEKSİYONLARI: GÜNCEL BULGULAR VE LİTERATÜR DEĞERLENDİRMESİ

Ziraat Yük. Müh. Zeynelabidin KURT¹
Arş. Gör. Dr. Serap DEMİREL²
Doç. Dr. Mustafa USTA³
Doç. Dr. Abdullah GÜLLER^{4*}

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18114697>

¹ Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Van, Türkiye
abidinkurt21@icloud.com Orcid: 0000-0003-1164-9326

² Van Yüzüncü Yıl Üniv., Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Böl., Van, Türkiye,
serapdemirel@yyu.edu.tr Orcid: 0000-0002-1877-0797

³ Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Van, Türkiye,
mustafausta@yyu.edu.tr Orcid: 0000-0002-3940-2774

⁴ Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Bingöl, Türkiye,
aguller@bingol.edu.tr Orcid: 0000-0003-3887-4208

*Sorumlu yazar: aguller@bingol.edu.tr

1. GİRİŞ

1.1. *Zucchini Yellow Mosaic Potyvirus* (ZYMV): Tanım ve Önemi

Zucchini Yellow Mosaic Potyvirus (ZYMV), ilk kez 1973 yılında İtalya'da tanımlanmış ve 1980'lerin başlarında Avrupa'da yaygın olarak rapor edilmiştir. Bu potyvirüs, kabakgiller (Cucurbitaceae) ailesine ait bitkilerde önemli ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Virüs, yapraklarda mozaiklenme, sararma ve deformasyon; meyvelerde ise ciddi şekil bozuklukları ve renk değişiklikleri gibi belirgin semptomlara neden olmaktadır. Bu etkiler, ürün veriminde ve pazar değerinde önemli düşüslere yol açmaktadır (Desbiez ve Lecoq, 1997).

1.2. ZYMV'nin Ekonomik Önemi

ZYMV, hem geleneksel hem de yoğun tarım sistemlerinde yaygın olarak görülmektedir. Virüsün bulaşıcılığının hızlı olması, çoğu zaman epidemilere neden olmaktadır. Özellikle erken enfeksiyonlar, pazar değeri olmayan ürünlerin ortaya çıkmasına ve verim kaybına yol açmaktadır. Blua ve Perring (1989), erken dönemdeki ZYMV enfeksiyonlarının kavunlarda %94 oranında pazar kaybına neden olabileceğini göstermiştir. Benzer şekilde, sera ortamında yetiştirilen salatalıklarda enfekte meyvelerin %95'inin pazar değerini kaybettiği rapor edilmiştir (Al-Shahwan ve ark., 1995).

1.3. Viral Dağılım ve Yayılım

ZYMV, afidler aracılığıyla verimli bir şekilde taşınmakta ve yayılmaktadır. Virüsün bu hızlı yayılımı, non-persistent bir şekilde taşınmasıyla ilişkilidir. Aphid vektörlerinden *Myzus persicae* ve *Aphis gossypii*, ZYMV'yi %70-90 oranında bulaştırma etkinliğine sahiptir (Desbiez & Lecoq, 1997). Bunun yanı sıra, ZYMV'nin tohum yoluyla da bulaştığı bilinmektedir, ancak bu oran oldukça düşüktür ve genellikle %0.05'in altında kalmaktadır (Davis ve Mizuki, 1986).

1.4. Tespit ve Belirlenmesi

ZYMV'nin tespiti için birçok yöntem kullanılmaktadır. En yaygın yöntemlerden biri, serolojik tekniklerdir. Enzim-bağlı immünosorbent analiz (ELISA) yüksek hassasiyetle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun yanında, ters transkriptaz-polimeraz zincir reaksiyonu (RT-PCR) gibi moleküler

teknikler de ZYMV'nin hızlı ve kesin tespiti için etkili bir araç sunmaktadır. İndikatör bitkiler kullanılarak, lokal lezyonların gözlemlenmesi de virüsün varlığını doğrulamak için kullanılmaktadır (Lisa ve Lecoq, 1984).

1.5. Belirtiler

ZYMV enfeksiyonunun belirtileri, bitkiden bitkiye ve şartlara bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Yaygın belirtiler arasında yapraklarda mozaik desenler, sararma, deformasyon ve bitki boyunda kısılma bulunur. Meyvelerde ise şekil bozuklukları, renk değişiklikleri ve bazen sertleşme görülmektedir. Özellikle erken enfeksiyonlarda, bitki büyümeyi durdurabilir ve meyve verimi ciddi oranda azalabilir. Bazı durumlarda, ZYMV enfeksiyonları başka virüslerle karışık enfeksiyonlara neden olabilir ve belirtileri daha da şiddetlendirebilir (Zeng ve ark., 2007).

1.6. Kontrol ve Direnç Stratejileri

ZYMV'ye karşı etkili kontrol stratejileri, vektörlerin azaltılması, dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi ve çapraz koruma yöntemlerini kapsamaktadır. Hafif bir ZYMV suşuyla (örneğin, ZYMV-WK) yapılan çapraz koruma çalışmaları, şiddetli suşlara karşı etkili bir koruma sağlamış ve verimi artırmıştır (Wang ve ark., 2002). Bununla birlikte, dayanıklı genlerin kullanımı, virüsün biyolojik çeşitliliği nedeniyle dikkatli bir şekilde planlanmalıdır. ZYMV'nin ekonomik önemi ve yayılım dinamikleri, bu virüsün kontrolü için entegre yaklaşımların benimsenmesini gerekli kılmaktadır. Dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi ve etkin tarımsal uygulamalar, uzun vadeli çözümler sunabilir.

Bu çalışma, Türkiye'deki ZYMV enfeksiyonlarının iller bazında yayılımını, etkilenen konak bitkileri ve virüsün neden olduğu belirtileri incelemeyi amaçlamaktadır. Özellikle, farklı bölgelerdeki enfeksiyon oranlarının karşılaştırılması, ZYMV'nin coğrafi dağılımını ve etkisini daha iyi anlamamıza olanak tanıyacaktır. Ayrıca, bu veriler, virüsün yayılmasının önlenmesi için etkin kontrol stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlayarak, tarımsal üretimdeki kayıpların en aza indirilmesine yardımcı olacaktır.

2. TÜRKİYE' DE *Zucchini Yellow Mosaic Potyvirus* (ZYMV) İZOLATLARI İLE İLİŞKİLİ BİLGİLER

Türkiye, kabakgiller (Cucurbitaceae) familyasındaki bitkiler için oldukça elverişli bir ortam sunmakta ve bu durum, çeşitli virüs hastalıklarının

yayılmasına zemin hazırlamaktadır. *Zucchini Yellow Mosaic Potyvirus* (ZYMV), bu hastalıklar arasında en yaygın olanlardan biri olup, özellikle ticari tarımda ciddi verim kayıplarına yol açmaktadır. Ülke genelinde ZYMV enfeksiyonları farklı illerde tespit edilmiş ve her bir bölgedeki virüsün etkileri, kullanılan tespit yöntemleri ile belirlenmiştir. Bu çalışmada, Türkiye'nin farklı bölgelerinde tespit edilen ZYMV izolatlarının konak bitkileri üzerindeki etkileri ve semptomları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Literatürde yer alan bilgiler ışığında, ZYMV'nin çeşitli illerdeki dağılımı ve virüs kaynaklı hastalıkların belirtileri aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 1. Türkiye’de ZYMV izolatlarının dağılımı

İl	Yöntem	Konak	Simptom	Referans
Bingöl	RT-PCR	Kabak	Kabarıklık, mozaik ve buruşukluk	Güller ve Usta, 2019
Diyarbakır Mardin	DAS-ELISA	Kavun Karpuz Hıyar Kabak	Mozaik, rozetleşme, iplikleşme, şekil bozukluğu	Kızmaz ve ark., 2016
Yozgat	DAS-ELISA	Kabak	Beneklenme, damar açılması, mozaik, sararma, ayak kabı bağı veya bodurlaşma ve meyve renginin bozulması ve deformasyonu	Yeşil, 2019
Konya, Aksaray, Karaman	DAS-ELISA	Bal kabağı, Çerezlik kabak Hıyar Kavun Karpuz Topalak Sirken Horoz ibiği	Mozaik, iplik yapraklılık, simetrisinin bozulması, meyvelerde kabarıklıklar, şekil bozuklukları ve lekelenmeler	Yeşil, 2013
Burdur	DAS-ELISA	Kabak Kavun Karpuz Salatalık (bitki bazı oran belirtilmemiş)	Sararma, açık ve koyu yeşil mozaik deseni, yapraklarda malformasyon	Çulal Kılıç ve ark., 2016
Adana Mersin	DAS-ELISA	Kabak Salatalık Kavun Karpuz	-	Kameroğlu ve ark., 2016
Erzurum Erzincan Artvin	Serolojik ve biyolojik	Kabak	-	Bostan ve ark., 2002

Tablo 1. Türkiye’de ZYMV izolatlarının dağılımı (Devamı)

İl	Yöntem	Konak	Simptom	Referans
Gaziantep	DAS - ELISA	Kabakgil bitkiler	Yapraklarda kıvrılma, buruşma, leke mozaikleri, sararma, şekil bozukluğu, normalden daha küçük yapraklar	Ozaslan ve ark., 2006
Balıkesir	DAS-ELISA	Balkabağı	Mozaik, beneklenme, sararma, kıvrılma, şekil bozukluğu, bodurlaşma ve yeşil aksam ölümü	Kaya ve Erkan, 2011
İzmir Manisa	DAS-ELISA	Kavun	Mozaik, beneklenme, sararma, kıvrılma, şekil bozukluğu, bodurlaşma ve yeşil aksam ölümü	Kaya ve Erkan, 2011
Bitlis	RT-PCR	Kavun	-	Özer ve ark., 2012
Samsun	DAS-ELISA	Kavun Karpuz Salatalık Kabak Büyük balkabağı	Virüs simptomlu	Sevik ve Arli-Sokmen, 2003.
Bolu Sinop	DAS-ELISA	Balkabağı tohumları	-	Şevik ve Balkaya, 2015
Antalya	DAS-ELISA	Kabak Hıyar	Şüpheli yaprak ve meyve	Çat ve ark., 2016
Tekirdağ Edirne Kırklareli	DAS-ELISA	Karpuz Kavun	Sararma, bodurlaşma, yaprak çizgilenmesi ve mozaik benzeri belirtiler	Köklü ve Yılmaz, 2006
Tokat	DAS-ELISA	Kavun Karpuz Hıyar Kabak	Virüs benzeri simptomlar	Korkmaz ve ark., 2018
Ankara Antalya	RT-PCR	Kabakgil bitkiler	Meyve ve yapraklarında şiddetli sistemik mozaik, damar bantlanması, bodurluk, Kabuklanma ve deformasyonlar	Topkaya ve ark., 2019

Tablo 1. Türkiye’de ZYMV izolatlarının dağılımı (Devamı)

Kastamonu	DAS-ELISA	Hıyar Kavun Karpuz Sakız kabağı Bal kabağı	Mozaik, sararma, iplikleşme, lekelenme, bodurlaşma ve meyve deformasyonu	Topkaya, 2020
Eskişehir	DAS-ELISA	Çerezlik Kabak Karpuz Horoz ibiği	Tipik virüs hastalıkları belirtileri	Karabiyik ve Yeşil, 2021
Çanakkale	RT-PCR	Hıyar	Sarı mozaik desenleri, yaprak deformasyonu, kabarcıklanma, aşırı büyüme veya bodurlaşma, meyve deformasyonu ve renk bozulması	Sarı ve ark., 2024
Nevşehir	DAS-ELISA	Kabak	Mozaik, kıvrılma, kabarma, beneklenme, bozulma, ayakkabı bağı, bodurlaşma	Yeşil, 2020
İzmir Manisa	DAS-ELISA	Kavun	Mozaik, beneklenme, sararma, kıvrılma, şekil bozukluğu, bodurlaşma ve yeşil aksam ölümü	Kaya ve Erkan, 2011
Balıkesir	DAS-ELISA	Kavun Bal kabağı	Mozaik, beneklenme, sararma, kıvrılma, şekil bozukluğu, bodurlaşma ve yeşil aksam ölümü	Kaya ve Erkan, 2011
Malatya	RT-PCR	Kabak	Sarı mozaik, yaprak ayasında küçülme, nekroz, şekil bozukluğu, bodurluk, yaprakta kabarcıklar	Örs ve ark., 2020

NOT 1: Tabloda son 25 yılın verileri dikkate alınmıştır.

NOT 2: Kaynağına ulaşılamayan makaleler ve bildiriler dahil edilmemiştir.

3. SONUÇ

Zucchini Yellow Mosaic Potyvirus (ZYMV), kabakgiller (Cucurbitaceae) familyasında önemli ekonomik kayıplara yol açan bir potyvirus türü olarak bilinir. Virüs, yapraklarda mozaik desenleri, sararma ve deformasyon; meyvelerde ise ciddi şekil bozuklukları ve renk değişiklikleri gibi semptomlara neden olur, bu da ürün veriminde ve pazar değerinde

düşüşlere yol açarak tarımsal üretimi olumsuz etkiler. Bu çalışma, Türkiye'nin farklı bölgelerindeki ZYMV izolatlarını ve bunların konak bitkiler üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır. 26 ilde yapılan araştırmalar sonucunda ZYMV'nin yaygın olduğu ve kabak, kavun, karpuz, hıyar ve balkabağı gibi önemli tarımsal ürünlerin enfekte olduğu tespit edilmiştir. Yayılımın tespiti için çeşitli serolojik ve moleküler yöntemler, özellikle ELISA ve RT-PCR teknikleri kullanılmıştır. Çalışma, ZYMV'nin yayılım dinamiklerini ve ekonomik kayıpların boyutunu ortaya koyarken, etkin kontrol stratejilerine yönelik önerilerde de bulunmaktadır.

Bulgular, ürün kayıplarını azaltmak için entegre bir yaklaşımın gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmanın sonuçları, ZYMV enfeksiyonlarının coğrafi dağılımını ve etkilerini anlamaya katkı sağlayarak, tarımsal kayıpların en aza indirilmesine yönelik stratejik planlamaları desteklemektedir. Bu kapsamlı çalışmanın sonuçları, Türkiye'deki kabakgil bitkileri üzerinde ZYMV'nin etkisinin azaltılmasında zamanında tanı ve etkili yönetim uygulamalarının kritik rolünü vurgulamaktadır. Birçok ilde yaygın ve temel bitkiler üzerindeki şiddetli etkisiyle, ZYMV tarımsal süreklilik için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Serolojik ve moleküler tanı yöntemlerinin bir kombinasyonunu kullanarak, çalışma virüsün erken tespiti ve kontrol altına alınması için sağlam bir çerçeve sunmaktadır. Ayrıca bulgular, dayanıklı bitki çeşitlerinin yetiştirilmesi ve vektör popülasyonlarının azaltılması gibi entegre zararlı yönetim stratejilerinin benimsenmesini önermektedir. Bu önlemler, ZYMV'nin yayılımını azaltmada ve kabakgil üretiminin ekonomik geçerliliğini korumada çok önemlidir. Bu araştırma, ZYMV'nin epidemiyolojisini daha iyi anlamamızı sağlamanın yanı sıra, bu yaygın bitki patojenine karşı hedefe yönelik müdahalelerin geliştirilmesi için zemin hazırlamaktadır.

KAYNAKLAR

- Al-Shahwan, I.M., Abdalla, O.A. & Al-Saleh, M.A. (1995). Response of Greenhouse-Grown Cucumber Cultivars to an Isolate of *Zucchini Yellow Mosaic Virus* (ZYMV). *Plant Disease*, 79(9), 898-901.
- Blua, M.J. & Perring, T.M. (1989). Effect of *Zucchini Yellow Mosaic Virus* on development and yield of cantaloupe (*Cucumis melo*). *Plant Disease*, 73(4), 317-320.
- Bostan, H., Kaymak, H.Ç. & Haliloğlu, K. (2002). Detection of *Cucumber mosaic virus* (CMV) and *Zucchini yellow mosaic virus* (ZYMV) in squash in Erzurum, Erzincan and Artvin provinces by serological and biological methods. *Journal of Turkish Phytopathology*, 31(1), 9-14.
- Çat, A., Yardımcı, N. & Kılıç, H.Ç. (2016). Antalya ili ve ilçelerindeki örtüaltı hıyar (*Cucumis sativus* L.) ve kabak (*Cucurbita pepo* L.) üretim alanlarında viral etmenlerin saptanması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(1), 129-132.
- Çulal Kılıç, H., Doğan, K., Yardımcı, N. & Isparta, L. (2016). Detection of *Zucchini Yellow mosaic virus* from cucurbits in Burdur Province, Turkey. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology*, 3(4), 4510-4512.
- Davis, R.F. & Mizuki, M.K. (1986). *Seed transmission of zucchini yellow mosaic virus in squash* [Conference abstract]. *Phytopathology*, 76(10), 1073.
- Desbiez, C. & Lecoq, H. (1997). *Zucchini yellow mosaic virus*: Review of its biology and control strategies. *Plant Pathology*, 46(6), 809-829.
- Güller, A. & Usta, M. (2019). Occurrence and characterization of coat protein gene of *Zucchini yellow mosaic virus* (ZYMV) isolate infecting pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) in Bingol Province (Turkey). *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(4), 798-807.
- Kameroğlu, M.A., Çalışkan, A.F. & Desbiez, C. (2016). Current status of some cucurbit viruses in Çukurova Region (Adana and Mersin Provinces) of Turkey and molecular characterization of *Zucchini yellow mosaic virus* isolates. *Romanian Biotechnological Letters*, 21(4), 11709-11719.

- Karabiyik, M. & Yeşil, S. (2021). Detection of virus diseases in cucurbit growing areas in Eskişehir province. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*, 58(4), 591-600.
- Kaya, A. & Erkan, S. (2011). Detection and incidence of viruses in cucurbits grown in İzmir, Aydın, Manisa and Balıkesir provinces. *Bitki Koruma Bülteni*, 51(4), 387-405.
- Kızmaz, M.Z., Sağır, A. & Baloğlu, S. (2016). Diyarbakır ve Mardin illeri kabakgil üretim alanlarında görülen viral hastalıkların yaygınlıklarının ve etmenlerinin belirlenmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 53(4), 397-406.
- Korkmaz, F., Topkaya, Ş. & Yanar, Y. (2018). Tokat ili kabakgil üretim alanlarında enfeksiyon oluşturan virüslerin belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Journal of Scientific Research*, 7(2), 46-56.
- Köklü, G. & Yılmaz, Ö. (2006). Occurrence of cucurbit viruses on field-grown melon and watermelon in the Thrace region of Turkey. *Phytoprotection*, 87(3), 123-130.
- Lisa, C. & Lecoq, H. (1984). Serological and host range studies of *Zucchini yellow mosaic virus*. *Annals of Applied Biology*, 104, 251-259.
- Ozaslan, M., Aytekin, T., Bas, B., Kılıç, I. H., Afacan, I.D. & Dağ, D.S. (2006). Virus diseases of cucurbits in Gaziantep, Turkey. *Plant Pathology Journal*, 5(1), 24-27.
- Örs, F., Oksal, H.D. & Sipahioğlu, H.M. (2021). Occurrence and molecular characterization of some economically relevant cucurbit viruses in Malatya, Turkey. *Alinteri Journal of Agriculture Sciences*, 36(1), 14-20. <https://doi.org/10.47059/alinteri/V36I1/AJAS21003>
- Özer, M., Sipahioğlu, H.M., Usta, M. & Fidan, H. (2012). Cloning and sequencing of coat protein gene of *Zucchini yellow mosaic virus* isolated from squash and muskmelon in Turkey. *Turkish Journal of Biology*, 36, 423-429.
- Sarı, M., Karanfil, A. & Korkmaz, S. (2024). Determination of *Zucchini yellow mosaic virus* and *Watermelon mosaic virus* infections in cucurbit production areas of Çanakkale Province, Türkiye. *Turkish Journal of Agriculture–Food Science and Technology*, 12(s1), 2097–2103.
- Sevik, M.A. & Arlı-Sokmen, M. (2003). Viruses infecting cucurbits in Samsun, Turkey. *Plant Disease*, 87, 341-344.

- Şevik, M.A. & Balkaya, A. (2015). Samsun, Sinop ve Bolu illerindeki bal kabağı (*Cucurbita moschata* Duch.) popülasyonlarına ait tohum örneklerinde virüslerin tanınması ve bulunma durumlarının belirlenmesi. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University*, 32(3), 70-77.
- Topkaya, S., Desbiez, C. & Ertunc, F. (2019). Presence of cucurbit viruses in Ankara and Antalya province and molecular characterization of coat protein gene of zucchini yellow mosaic virus Turkish isolates. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(4), 2442-2449.
- Topkaya, Ş. (2020). Kastamonu ili ve çevresinde kabakgil yetiştirilen alanlarda enfeksiyon oluşturan viral etmenlerin saptanması. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 9(1), 65-72.
- Wang, Y., Gaba, V., Yang, J., Palukaitis, P. & Gal-On, A. (2002). *Characterization of Synergy Between Cucumber mosaic virus and Potyviruses in Cucurbit Hosts*. *Phytopathology*, 92(1), 51-58.
- Yeşil, S. (2013). *Konya, Karaman ve Aksaray illeri kabakgil ekim alanlarında görülen virüs hastalıklarının serolojik ve moleküler yöntemlerle tespiti ve enfeksiyon kaynaklarının belirlenmesi*. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi.
- Yeşil, S. (2019). Detection of viruses on edible seed squash (*Cucurbita pepo* L.) in Yozgat Province, Turkey. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(3), 1212-1219.
- Yeşil, S. (2020). Detection of some virus diseases of edible seed squash (*Cucurbita pepo* L.) in Nevşehir Province, Turkey. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 34(1), 49-56.
- Zeng, R., Liao, Q., Feng, J., Li, D. & Chen, J. (2007). Synergy between cucumber mosaic virus and zucchini yellow mosaic virus on Cucurbitaceae hosts tested by real-time reverse transcription-polymerase chain reaction. *Acta Biochimica et Biophysica Sinica*, 39(6), 431-437.

BÖLÜM 13

CEVİZDE TOHUM ÇİMLENMESİ ÜZERİNE ETKİ EDEN ETMENLERİN İNCELENMESİ

Öğr. Gör. Dr. Saadet Sevil YÜCEL¹
Prof. Dr. Yeşim OKAY^{2*}

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18114731>

¹ Zonguldak Bülent Ecevit Üniv., Çaycuma Gıda ve Tarım MYO, Zonguldak, Türkiye, saadetsevilyucel@gmail.com, Orcid: 0000-0002-6806-8429

² Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, Ankara, Türkiye, okay@agri.ankara.edu.tr, Orcid: 0000-0003-1491-2564

*Sorumlu yazar: okay@agri.ankara.edu.tr

1. GİRİŞ

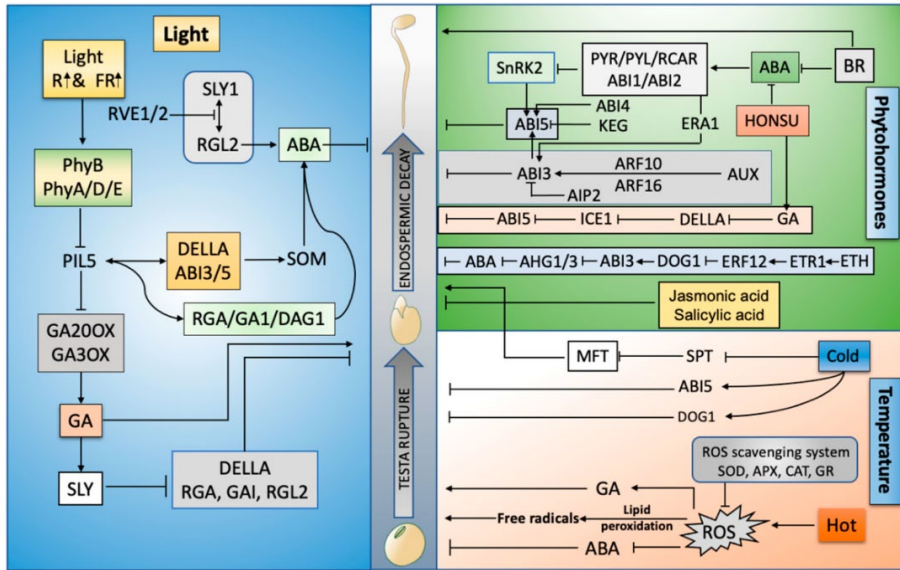
Ceviz insan sağlığına sunduğu faydaları ve geniş kullanım alanı nedeniyle değerli bir meyve türüdür. Meyvesinin; içerdiği vitaminler, yağ asitleri, beyin fonksiyonları üzerine olumlu etkisi olan gümüş iyonunu içeren tek meyve türü olması, selenyum başta olmak üzere demir, çinko, magnezyum, fosfor ve potasyum gibi element içeriği, vücudumuz için iyi bir enerji ve protein kaynağı olması; yaprak ve yeşil kabuğunun ilaç ve kozmetik sektöründe kullanımı; odununun masif mobilya ve kaplama, spor aletleri ve silah endüstrisinde kullanımı gibi çok fazla kullanım alanı sunması yetiştiriciliğini her geçen gün artıran nedenlerdendir (Kantay ve Ünsal, 2005; Şahin, 2005; Taha ve Al-wadaan, 2011; Akça 2016; Şimşek ve Gülsoy, 2016; Yılmaz ve Hurma, 2016; Fatima ve ark., 2018; Singh ve Omre, 2018; Yücel ve Okay, 2022). Ceviz gen merkezleri ve anavatanları arasında yer alan ülkemiz 2023 yılı verilerine göre dünyada 360 bin ton ceviz üretim değeri ile dünyada 4. sırada yer almaktadır (Anonim, 2025a).

Meyve türlerinin yetiştiriciliğinde üretim materyali olarak tohum kullanılarak generatif üretim veya aşı, daldırma, doku kültürü gibi yöntemler kullanılarak da vejetatif üretim yapılmaktadır. Apomiksiz olayını hariç tutarsak meyve türlerinde tohumla çoğaltma, sadece çöğür anacı yetiştiriciliğinde kullanılmaktadır. Çünkü bahçe bitkilerinin çoğu heterezigot yapıda olup yabancı tozlanma yaygın olmasından dolayı genetik yönden değişim olasılığı çok yüksektir (Özbek, 1977; Barut, 2008; Ağaoğlu ve ark., 2015; Akça, 2016). Bu nedenle tohumla çoğaltım çöğür ve yoz anaçların üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Heterezigot yapılarından dolayı tohumla çoğaltımda genetik açılma-yabaniye kaçma eğilimi olması genetik çeşitlilik sunmaktadır. Bu çeşitlilik ıslah çalışmalarında büyük avantaj sağlamaktadır (Ölez, 2005; Akça ve Yılmaz, 2017; Dalda Şekerci, 2017; Yücel ve Okay, 2022). Meyvecilikte tohumla çoğaltım ıslah çalışmalarında yeni çeşitler elde etmenin yanı sıra, yol kenarlarında ağaçlandırma ve aşı ile çoğaltımda çöğür anacı yetiştirme amaçları için kullanılmaktadır (Akça, 2016).

Ceviz yetiştiriciliğinde, yetiştirilecek çeşidin çoğaltma yöntemi olarak vejetatif üretim yöntemlerinden aşı tekniğinin kullanımı halen en yaygın olanıdır. Aşı uygulamalarında anaç olarak ülkemizde doğal yayılış göstermesi, birçok hastalık ve zararlıya duyarlı olması, siyah çizgi hastalığına karşı performansı bulunması, klonal anaç bulunmaması nedenleriyle çoğunlukla

Juglans regia L. tohumları kullanılmaktadır. *J. regia* tohumlarının çimlendirilmesiyle aşı uygulamalarında kullanılacak olan anaç bitkiler elde edilmektedir (Akça, 2016).

Tohumun çimlenmesi; tohumda fizyolojik faaliyetlerin başlaması, büyümenin başlaması ve yedek besin maddelerinin embriyo büyümesinde kullanılmak üzere harekete geçerek embriyonun tohum kabuğundan çıkması olayıdır. Çimlenme olayının meydana gelebilmesi için tohum ve çevreden kaynaklı bazı engelleyicilerin ortadan kaldırılması gerekmektedir; çimlenme için gerekli şartların sağlanması istenmektedir (Ağaoğlu ve ark., 2015; Erkul ve Ülger, 2024)



Şekil 1. Tohum çimlenmesinde etkili faktörler (Farooq ve ark., 2022)

(R (Kırmızı), FR (Uzak kırmızı), Dormant (SLY), ABA (Absisik asit), GA (Gibberellinler), Reaktif oksijen türleri (ROS), (ETH), İndol-3-asetik asit (IAA), Salisilik asit (SA), Çimlenmeyi Geciktirme (DOG), Brassinosteroidler (BR'ler), ABA Hipersensitif çimlenme1 (AHG1), Süperoksidad dismutaz (SOD), Askorbat peroksidad (APX), Katalaz (CAT), Glutasyon redüktaz (GR), ABA'ya duyarısız (ABI), Fitokrom (Phy), Serin palmitoiltransferaz (SPT), oksin yanıtı faktörler (ARF), Etilen yanıtı transkripsiyon faktörü (ERF), ICE1 (CBF Ekspresyonunun İndükleyicisi 1), Diasilgliserol (DAG), Oksin (AUX), ga1-3 baskılayıcısı (RGA), ABI3 etkileşimli protein (AIP), Etilen yanıtı (ETR1), SOMNUS (SOM, 98 genlik bir küme), Resolvin E1 (RVE1).)

Çimlenme sürecinde fiziksel olarak tohum kabuğunun yırtılması ve radisilin tohum kabuğundan çıkması işlemleri gerçekleşir. Bu durum tohumun dormansiyi aşmak için optimum ışık, sıcaklık, fitohormonlar gibi faktörlerin

uygun bir dengesini gerektirir. Absizik asit (ABA) ve giberellik asit (GA_3) bu fizyolojik süreçte önemli rol oynarlar. ABA dormansiye tetiklerken GA_3 dormansinin bitmesi ve çimlenmede önemli bir rol oynamaktadır. Yüksek bir ABA: GA_3 oranı dinlenme halini korurken; dinlenmenin tamamlanmasında düşük bir oran gereklidir. Bu iki hormon ayrıca testa ve endospermin yırtılmasında antagonistik bir şekilde hareket edebilir. Çevresel olayların etkisi altında tetiklenen metabolik olaylara ek olarak radisilin tohumdan çıkması sıralı bir dizi olayın kontrolündedir. Bir çok türde radisilin tohumdan çıkışına fiziksel kısıtlama vardır fakat bu, embriyonun büyüme potansiyeli tarafından aşılmalıdır. Tohumların çimlenme zamanlamasını düzenleyen sinyaller bulunmaktadır. Işığın tohum çimlenmesi üzerindeki düzenleyici etkisi ışık spektrumuna bağlıdır. Mavi ışık ABA'yı aktive eder ve tohum çimlenmesini geciktirirken kırmızı veya uzak kırmızı ışık GA_3 biyosentezinin aktivasyonu ve ABA üretiminin kısıtlanması yoluyla tohum çimlenmesinin başlatılmasında önemli rol oynar. Tohum çimlenmesinde sıcaklık; kısıtlayıcı veya hızlandırıcı etkisi olan bir faktördür. Çimlenme sürecinde endospermin aktif hale gelmesi ROS üretimiyle doğrudan bağlantılıdır (Şekil 1). Bu sırada biyokimyasal olarak gerçekleşen olaylar Farooq ve ark., (2022) tarafından özetlenerek Şekil 1'de verilmiştir.

Tohumun çimlenmesini etkileyen çok sayıda etmen bulunmaktadır. Tohumdan elde edilen çöğür bitkilerde güçlü kök sisteminin bulunması avantajı olmasına rağmen, gençlik kısırlığı döneminin uzun olması (Sharma ve ark., 2022), meyve özelliklerinin iyi olmaması (Soleimani ve ark., 2010) yavru bitkilerde bir örnekliliğin oluşmaması gibi dezavantajlarından dolayı ceviz çeşitlerinin çoğaltılmasında en çok kullanılan yöntem aşı uygulamalarıdır (Akça, 2016). Vejetatif yöntemle çoğaltımda çeşidin özelliklerinin korunması sağlanmaktadır.

Cevizde çoğaltılmasında çeşit özelliklerini korumak için vejetatif yöntemlerden biri olan aşı kullanılırken; aşı uygulamasında kullanılacak çöğür eldesi için tohumla üretim yapılmaktadır. Meyve yetiştiriciliğinde aşıda kullanılan anacın; üzerine aşılanan çeşidin ağaç gelişimi, standart meyve üretimi, üniform meyve verimi, değişik iklim ve toprak koşullarına adaptasyon, hastalık ve zararlılara dayanıklılık üzerine etkisi önemlidir (Kömür, 2011; Şahiner Öylek ve ark., 2013).

Çöğür yetiştiriciliğinde kullanılacak tohumların içlerinin dolgun, sağlam, besin maddelerince zengin, tam olarak olgunlaşmış olması gerekir (Akça, 2016). Aşılı ceviz fidanı üretiminde önemli bir aşama olan çöğür anaç eldesini doğrudan etkileyen tohum çimlenmesi pek çok etkene bağlıdır. Bu çalışmada ceviz tohumlarının çimlenmesi üzerine etki eden etmenler irdelenmiştir.

2. CEVİZDE TOHUM ÇİMLENMESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Biyolojik olarak çimlenme; uygun koşullarda embriyodan, normal bir bitki oluşturma yeteneğine sahip bir yapının tohum kabuğunu aşarak dışarı çıkması şeklinde tanımlanmaktadır (Bewley, 1997; Kaçar, 2015; Boyraz ve ark., 2019).Ceviz tohumları hasattan hemen sonra çimlenmez, tohumun çimlenebilmesi için belli bir süre düşük sıcaklıkta bekletilmesi gerekir.

2.1. Tohum Dormansisi

Tohumlar hasattan sonra türlere göre değişmekle birlikte dinlenme dönemine girmektedirler. Tohum kabuğunun geçirimsiz olması, su alarak genişleyen embriyonun tohum kabuğundan çıkamaması, gelişimini tamamlamış embriyo veya kabukta bulunan büyümeyi engelleyiciler gibi nedenler veya bu nedenlerin birden fazlasının birarada etkili olması nedeni/nedenleriyle tohumdaki dinlenmeye neden olabilir (Ağaoğlu ve ark., 2015).

2.2. Tohumun Canlı Olmaması

Tohum canlılığı yoksa iklim, toprak koşulları uygun olsa bile çimlenme gerçekleşmez. Çöğür yetiştiriciliğine geçmeden önce uygun tohum kaynakları belirlenmeli, tohumların içleri dolgun ve sağlam, tohum tam olgunlaşmış olmalıdır. Tohum alınacak ağaç sağlıklı olmalı, hastalık ve zararlı bulunmamalı, tohumun alınacağı bölge çöğürün yetiştirileceği bölge olmalıdır (Akça, 2016).

2.3. Tohum Ekiminin Hatalı Olması

Tohum ekiminde yapılan teknik hatalar nedeniyle de çimlenme gerçekleşmeyebilmektedir (Ağaoğlu ve ark., 2015).Tohum ekiminde ekim derinliği ve ekim şekli çok önemlidir. Ceviz yağ içeriği yüksek bir tohuma sahip olduğundan bünyesinde bulunan fazla yağ, çimlenme esnasında daha

fazla oksijen ihtiyacı doğuracağından tohum ekim derinliğinin fazla olmaması gerekir. Tohumun ekim şekli çimlenen tohumdan meydana gelen kökçük ve sürgün ucunun çıkış şeklinde önemlidir. Yanakların birleştiği sütur çizgisi aşağıya denk gelecek şekilde (Şekil 2A) tohum ekimi yapılmalıdır. Bu ekim şeklinde tohum içerisinde su birikimi olmayacağından dolayı çürüme olmayacaktır. Tohum ekiminde sıra arası ve sıra üzeri mesafelerin 30x80-90 cm olmasına ve ekimden sonra kuş zararıyla karşılaşmamak için ağ, örtü gibi önlemler alınmalıdır (Akça, 2016).

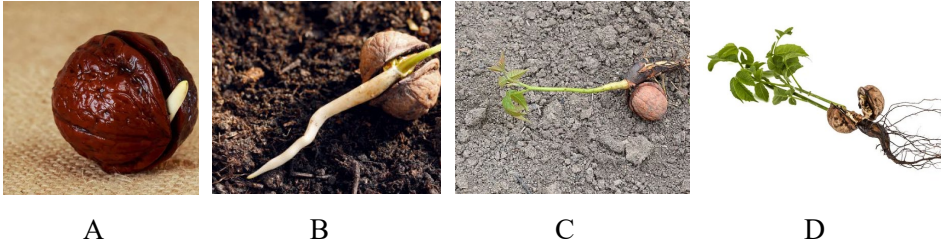
3. ÇİMLENME SÜRECİ

Çimlenmede ilk aşama olarak tohumda çeşitli dokular aracılığıyla su absorbe edilir ve tohumda şişme meydana gelir. Su içeriğinin artması kabukta oksijen ve karbondioksit geçirgenliğini artırır. Çimlenmeyi başlatan özel biyokimyasal olayların en önemlisi tohumu suyun girişiyle birlikte solunum artar, ardından hidrolitik enzimler sentezlenir. Suyun etkisiyle endosperm, periderm ve embriyoda depo halde bulunan besin maddeleri mobil hale geçer; çimlenme sırasında hücre bölünmesi yoluyla yeni hücrelerin yapımı gerçekleşir. Genç bitkinin fotosentez yapmaya başlamasına yetecek kadar klorofil oluşana kadar tohumda kuru madde kaybı yaşanır. Solunum sonucu karbon (C) karbondioksit (CO_2) dönüşür. Depo edilmiş besin maddelerinin bir kısmı da oluşturulan yeni dokuların protoplazma ve hücre duvarlarının yapımında kullanılır, dokular çoğaldıkça selüloz miktarında da artış meydana gelir. Ceviz tohumlarında çimlenme radikulanın tohum kabuğundan çıkmasıyla sona erer. Tohum kabuğunun yırtılarak radikulanın dışarı çıkması genç fidenin ihtiyaç duyduğu su ve besin maddelerinin alınmasını sağlar (Özen ve Onay, 2007; Kaçar, 2015).

Şekil 2’de A, B, C ve D şekillerinde ceviz tohumunun kabuğunda açılma (A), kökçük ve radisilin çıkmış hali (B) ve bitki gelişimi (C ve D) görülmektedir.

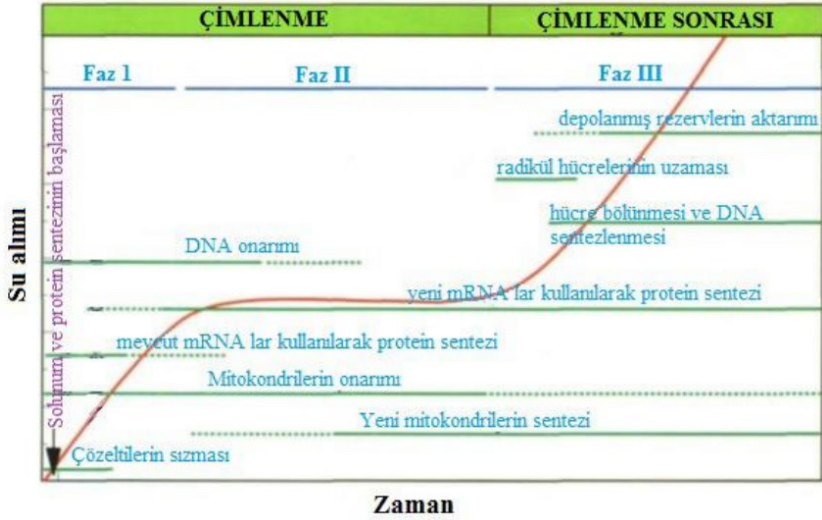
Tohumun çimlenmesiyle bitkide meydana gelen kök ve yan köklerin büyümesi, kök ucu meristem hücrelerinin faaliyetiyle ilişkilidir. Kök ucu meristemi kök şapkası ile korunmakta; kök şapkası musijel adında bir sıvı salgı olarak kök şapkasının kaygan bir yapı kazanmasını böylece kökün toprak içerisinde daha rahat gelişmesini sağlar. Kök başlığı, kök toprak içerisinde ilerlerken mekanik zararlanmasını önler. Kök ucu meristeminin bölünmesiyle

meydana gelen yeni hücreler kökte epidermis, korteks, perisikl, floem ve ksilem gibi yapıları oluşturur. Primer kökün iç tarafındaki meristematik hücreler; yani prisikldan yan köklerin gelişimi gerçekleşir. Kök tüyü bölgesinde bulunan primer floem ve primer ksilem arasında yer alan prokambiyal hücrelerden ksilem ve floem hücrelerini oluşturur ve böylece kökün enine büyümesi sağlanmış olur.(Özen ve Onay, 2007; Kaçar, 2015). Bir tohumun çimlenmesi aşamasında gerçekleşen olaylar Şekil 3'te özetlenmiştir.



Şekil 2. Ceviz tohumunda çimlenme (A. Açılan kabuktan radisil çıkışı; B. Radisil ve sürgün çıkışı; C. Kök ve sürgün gelişimi; D. Kök ve sürgün gelişimi) (Anonim 2025b)

Dinlenmenin tamamlanmasından tohumda çimlenme olayı başlar (Şekil 3). Tohum bünyesine su alırken Faz 1'de çok hızlı; Faz II'de bir önceki fazla aynı hızda; Faz 3'te (çimlenme sonrası) ise su alım hızı daha da artarak devam etmektedir. Su alımının ardından solunum faaliyetleri hızlı bir şekilde başlar, krebs döngüsü enzimleri aktif hale gelir. Tohumda bulunan mevcut mRNA'lar kullanılarak protein sentezi gerçekleşir, bu da tohumun su alımından itibaren birkaç saat yeterlidir. Çimlenmenin sona ermesiyle birlikte kökçük uzaması ve fide büyüme faaliyetleri başlar (Bewley, 1997; Joshi, 2018; Boyraz ve ark., 2019, Farooq ve ark., 2022).



Şekil 3. Çimlenme olayında metabolik süreçler (Bewley, 1997; Boyraz ve ark., 2019).

4. ÇİMLENMEYE ETKİ EDEN ETMENLER

Bitkisel üretimde yetiştiriciliğin ilk aşaması amaca veya bitki türüne göre değişmekle birlikte tohum çimlendirerek fide, fidan veya anaç elde etmektir. Tohumun çimlenerek bir bitki oluşturabilmesi için etkili olan; genotip, dormansi, içsel faktörler ve çevresel faktörler bulunmaktadır.

4.1. Genotip

Yapılan çalışmalarda ceviz çimlenme çalışmalarında kullanılan genotipler arasında çimlenme gücü ve hızı, stres faktörlerine verilen tepkiler bakımından farklılık olduğu belirlenen çalışmalar bulunmaktadır.

Özcan (2013) Maraş-18, Maraş-12, Sütyemez-1, Sütyemez-2, Kaman-1, Pedro, Howard, Fernor ve Franquette olma üzere 11 farklı çeşit ve tip tohumlarının çimlenme oranları ve çöğür gelişim durumları araştırdığı çalışmada; Franquette ve Maraş-12 çeşitlerinin çöğür gelişme yeteneklerinin diğer genotiplere göre daha iyi olduğunu; tartılı derecelendirme yöntemi ile yaptığı puanlamada genotiplerin almış oldukları toplam puanlar arasında farklılık bulunduğunu; Maraş-18 (760), Franquette (670), Maraş-12 (640), Sütyemez-1 (480), Pedro (480), Sütyemez-2 (430), Howard (400), Serr (380), Bilecik (300) Fernor (200) bildirmiştir.

Sadat-Hosseini ve ark. (2019) Chandler ceviz çeşidinde yaptıkları çalışmalarında bitki köklerinin kuraklığa tepki verdiğini ama bu çalışmanın

farklı ceviz çeşitleriyle de yapılması gerektiğini, anaç ıslah çalışmalarında kuraklık stresinde köklerin verdiği tepkilerin önemine değinerek anaç ıslah çalışmalarında bu konunun göz önünde bulundurulması gerektiğini belirtmiştir.

Bazı ceviz çeşitlerinin çimlenme yeteneklerinin belirlenmesi amacıyla Balaban, Bilecik, Chandler, Fernor, Kaman-1, Midland, Pedro, Serr, Yalova-1 ve Yalova-3 ceviz çeşitleri açık araziye dikilmiştir. En yüksek çimlenme oranı bakımından çeşitler arasında farklı sonuçlar elde edilmiş; Kaman-1 (%79.07) çeşidinde gözlenirken bunu sırasıyla Bilecik (%78.44), Pedro (%78.13), Yalova-1 (%76.25) ve Yalova-3 (%72.50) çeşitleri izlemiştir (Sesli ve Tekintaş, 2020).

Kaman-1, Kaman-5 ve Chandler çeşitlerinin tohumlarına B Musa Vita®, B Musa Green®, Arbuscular Mycorrhiza-ERS®, ve T22 (*Trichoderma harzianum* Rifai KRL-AG2®)) uygulamalarının yanı sıra 500, 750 ve 1000 ppm dozlarında GA₃ uygulanmıştır. Çeşitler arasında en iyi çimlenme yüzdesi Kaman-5 çeşidinde belirlenmiştir (Şirin ve Ertürk 2025).

Bitkinin toprak altı kısmını oluşturan kök sistemi, su ve besin elementi alımında sorumludur. Ayrıca kökün, toprak kaynaklı stres faktörlerine karşı tepkiler sunması nedeniyle, meyve türlerinin yetiştiriciliğinde kullanılan anaç çok önemlidir. Chandler çeşidiyle yapılan bir çalışmada bazı bitkiler kurak koşullarda yetiştirilmiş ve kurak ve normal koşullarda yetiştirilen bitkilerin kök sistemlerinde farklılıklar belirlenmiştir. Çalışma sonucunda Sadat-Hosseini ve ark. (2019) ceviz anaç ıslah çalışmalarında kuraklık toleransını arttırmak için köklerin tepkilerine odaklanılması gerektiğini bildirmişlerdir.

4.2. Çevre Faktörleri

Bitkisel üretimde tohum ekimi ve uygun koşullarda çimlendirilmesi yetiştiriciliğin önemli bir aşamasıdır. Bu aşamada oluşan ekolojik koşullar, yapılan teknik hatalar tohumun yapısından ileri gelen olumsuzluklar çimlenme ve topraktan bitki çıkışını olumsuz etkilemektedir (Karakurt ve ark., 2010). Ekilen tohumda çimlenmenin meydana gelebilmesi için dormansinin kalkmış olması, ebmriyonun tohum kabuğunun direncini ortadan kaldıracak kadar güçlü olması ve çevresel koşulların uygun olması gerekmektedir. Gerek dormansiye kırmak gerekse çevresel faktörleri düzenlemek için ekim öncesi ve sonrasında bazı uygulamalar yapılmaktadır.

Tohum çimlenmesini etkileyen çevresel faktörler; su, sıcaklık, oksijen ve ışıktır (Karakurt ve ark., 2010; Ağaoğlu ve ark., 2015; Erkul ve Ülger, 2024).

4.2.1. Sıcaklık

Çimlenme için ikinci koşul sıcaklıktır. Eğer uygun sıcaklık değerleri yoksa, tohum; ortamda bulunan suyu alamaz. Her tür için bu sıcaklık değeri farklıdır. 25 °C'nin üzerindeki sıcaklıklar “termo dormansi”ye neden olmaktadır (Ağaoğlu ve ark., 2015). Ceviz tohumlarında dormansiyi ortadan kaldırmak ve tohum kabuğunu yumuşatmak için yapılan katlama uygulamasında sıcaklığın 5 °C olması çimlenme yüzdesini arttırmıştır (Einali ve Sadeghipour, 2007).

4.2.2. Su

Bir tohumdan çimlenme olayının meydana gelebilmesi için bünyesine su alması zorunludur. Su; enzimlerin faaliyete geçmesi, embriyonun gelişebilmesi için gerekli olan epö maddelerinin suda eriyerek embriyoya taşınması için gereklidir. Özellikle ceviz gibi tohum kabuğu sert olan tohumlarda su; tohum kabuğunun yumuşamasını da sağlamaktadır. Bu aşamada tohumun çürümemesi için verilen su miktarına dikkat etmek gerekmektedir (Ağaoğlu ve ark., 2015; Erkul ve Ülger, 2024).

4.2.3. Oksijen

Tohum, yaşam faaliyeti en aza indirilmiş canlı bir yapıdır. Yaşamı için oksijene ihtiyacı vardır. Çimlenme sırasında tohumda solunum hızı artmakta, çok fazla miktarda oksijen kullanılmakta, ortaya çıkan ısı enerjisi büyüme amacıyla kullanılmaktadır. Çimlenme ortamında oksijen yetersizliği çimlenmeyi olumsuz etkiler (Ağaoğlu ve ark., 2015). Oksijen alımı ortamda suyun fazla olması halinde kısıtlanmaktadır (Karakurt ve ark., 2010).

4.2.4. Işık

Işık hem çimlenme hem de çöğür gelişimi için önemlidir. Bazı bitkilerde dormansiyi teşvik ederken bazı bitkilerde ortadan kaldırılmasında etkili bulunmuştur. Tohumların ışığa tepki mekanizmasının fitokromla ilgili olduğu bulunmuştur. Kırmızı, kızıl ötesi ışığın farklı tepkilere neden olduğu ve hormonların sentezini etkilediği belirlenmiştir (Karakurt ve ark., 2010).

Tohum çimlenip çöğür gelişimi için fotosentez yapacağından gereklidir (Ağaoğlu ve ark., 2015).

4.2.5. Yetiştirme ortamı

Raoufi ve ark. (2020), Chandler çeşidi ceviz tohumlarına on dört farklı uygulama yaparak çimlenme yüzdelelerini incelemişlerdir. Bu uygulamalar arasında bulunan perlit ve gübre gibi tohum ekim ortamları karşılaştırıldığında; gübreye ekim uygulamalarının hiçbirinde tohum çimlenmesi gerçekleşmezken perlit uygulamasında çimlenme gerçekleşmiştir. Katlama uygulamasında çimlendirilerek tüplere dikildikten sonra yetiştiricilik ortamı olarak cam sera, plastik sera ve açık ortamda yetiştirilen çöğürlerin gelişiminde farklılık olmadığı belirlenmiştir (Beyhan ve ark., 1999).

5. CEVİZ TOHUMUNDA ÇİMLENMEYİ UYARICI İŞLEMLER

Ceviz tohumlarının çimlenmesini sağlamak için dormansiye kırmak veya çimlenme başarısını arttırmak amacıyla fiziksel ve çevresel koşulları düzenlemek için bazı uygulamalar yapılmaktadır.

5.1. Katlama

Bütün ılıman iklim meyve türlerind olduğu gibi ceviz tohumları da belli bir süre dinlenmeye ihtiyaç duymaktadır. Tohumlarda düzenli bir çimlenmenin olabilmessi ve iyi çöğür gelişimi olması için tohum bünyesindeki engelleyicilerin uzaklaştırılması için katlama uygulaması yapılması gerekmektedir (Polat, 2003). Ceviz tohumları hasattan sonra hemen çimlenemezler, belli bir süre dinlenmede kalması gerekmektedir. Çimlenme olayının olabilmesi için dinlenmenin sona ermesi gerekir. Dinlenmenin nedeni embriyo dinlenmesi veya tohum kabuğundan kaynaklı dinlenme olabilmektedir. Katlama işleminde, taşıma kolaylığından dolayı plastik kasa kullanılabilir. Katlama öncesi ceviz tohumlarının fungusitle ilaçlanması fungal hastalıklara ve küflenmeye karşı tohumu koruyacaktır. Katlama ortamı olarak, steril olması, nem tutma kapasitesinin yüksekliği nedeniyle perlit tercih edilebilir. Tohumlar katlama işleminde en fazla 10 sıra koyulmalı; dinlenmenin ortadan kalkması için mutlaka düşük sıcaklık ve nem koşulları sağlanmalıdır. *Juglans regia* tohumlarında 4 °C'de 90-120 gün, *Juglans nigra*'da 4 °C'de 140 gün katlamaya ihtiyaç olup *J. nigra* tohumları

kurutulmadan katlamaya alınmalıdır. Katlama esnasında uygulanan nem, tohum kabuğunun yumuşamasını sağlayarak kökçük çıkışını da kolaylaştırmaktadır. Çöğürlerde kökçük uçlarının çıkmaya başladığı zaman katlamanın sona erdiği zaman olup, katlama zamanını belirlerken katlama süresinin sonunda tohumların ekileceği toprağın tavlı ve ekime hazır olması gereklidir. Eğer hazır değilse ortam sıcaklığını düşürecek uygulamalara yer verilmelidir (Akça, 2016).

Bazı bitkilerde dinlenmenin sonlandırılmasında, düşük ve yüksek sıcaklıkların birbiri ardına uygulanmasının da etkili olduğu görülmüştür (Kaçar, 2015).

Ceviz tohumlarında katlama işleminin gerekliliği konusunda Dhiman ve ark., (2025), katlama uygulamasının çimlenme yüzdesini arttırmanın bir yolu olduğunu bildirmişlerdir. Beyhan ve ark., (1999) Samsun’da farklı ceviz genotipleri ile yaptıkları çalışmada çöğür parseline doğrudan ekim ile katlama yapılan tohumların çimlenme yüzdeleri karşılaştırdıklarında çöğür parselinde çimlenme oranının % 67.1 iken katlama uygulamasında sonra çimlenme oranının % 77.8 olduğunu belirtmişlerdir.

Anağ eldesi amacıyla gerçekleştirilen çalışmada tohumların 48 saat süreyle suda bekletilmesi ve ardından en az 1224 saat süreyle katlamaya alınması çimlenme ve gelişim için yeterli olmuştur (Ebrahemporazar ve Erdoğan, 2017).

Negi ve ark. (2017) ceviz tohumlarının çimlenmesi üzerine etkili olan faktörleri inceledikleri; katlama, kabuk çatlatma, giberelek asit, sıcak su uygulamalarına yer verdikleri çalışmalarında bu uygulamaları tek, ikili ve üçlü olarak farklı kombinasyonlar şeklinde uygulamışlardır. Bu çalışmada çimlenme oranı kontrolde % 45.66; kabuk çatlatma uygulamasında % 49.89, kabuk çatlatma + 30 gün katlama uygulamasında % 52.05 olarak gerçekleşmiştir.

Ceviz yetiştiriciliğinde anağ olarak kullanılabilecek bazı *Juglans* türlerinin çimlenme ve gelişme durumlarının belirlenerek bunların *Juglans regia* L. ile karşılaştırılması amacıyla yapılan çalışmada; *J. regia* L., *J. hindsii* Japs, *J. nigra* L., *J. cinerea* L ve *J. sieboldiana* Maxim. materyal kullanılmıştır. Çimlenme performansı açısından *J. hindsii* ve *J. nigra*’nın daha üstün olduğu belirlenmiştir (Yıldız, 2001).

5.2. Büyüme Düzenleyicilerinin Kullanımı

Bitki büyüme düzenleyicileri dinlenmenin kesilmesi ve çimlenmenin iyileştirilmesinde başarıyla kullanılabilir (Kaçar, 2015).

Farklı ceviz genotiplerine uygulanan katlama uygulaması yapılan ceviz tohumlarında su ve 100 ppm GA₃ uygulaması arasında çimlenme yüzdesi bakımından önemli bir farklılık olmadığı belirlenmiştir (Beyhan ve ark., 1999).

500 ve 750 ppm GA₃ uygulamaları yapılan Kaman-1 ve Chandler çeşitleri ile Kaman-5 çöğürü ile çimlendirme çalışması yapılmıştır. En yüksek çimlenme Kaman-1 çeşidi ve Kaman-5 genotipinde olurken en az çimlenme Chandler çeşidinde gerçekleşmiştir (Şirin ve Ertürk, 2025).

Duman uygulaması tohumlarda çimlenmeyi teşvik edebilmektedir. Sadat-Hosseini ve ark. (2019) bunu tohum dormansisini kırmak için düşük sıcaklıklar kadar yüksek sıcaklıkların da etkili olduğunu belirtmektedirler .

Negi ve ark. (2017) ceviz tohumlarının çimlenmesi üzerine ekili olan faktörleri inceledikleri çalışmada tohum çimlenmesi; kontrolde % 45.66; kabuk çatlatma uygulamasında % 49.89; kabuğu çatlatılan tohumlara GA₃ (500 ppm), GA₃ (750 ppm), GA₃ (1000 ppm) uygulandığında çimlenme yüzdesi artmış ve sırasıyla; %53.54, %54.64. ve %60.99 olduğu belirlenmiştir.

Çoban (2023), Chandler, Bingöl, Fernor, Bitlis ve lice ceviz çeşitlerini kullanarak GA₃, Asetil salisilik asit ve katlama uygulamalarının etkisini araştırmıştır. 1 gün suda ıslatma+ 30 gün katlama (1), 1 gün suda ıslatma+ 60 gün katlama (2), 250 ppm GA₃+250 ppm SA +30 gün katlama (3), 500 ppm GA₃+500 ppm SA +30 gün katlama (4), 1000 ppm GA₃+1000 ppm SA +30 gün katlama (5), 250 ppm GA₃+250 ppm SA +60 gün katlama (6), 500 ppm GA₃+500 ppm SA +60 gün katlama (7), 1000 ppm GA₃+1000 ppm SA +60 gün katlama (8) olmak üzere 8 farklı uygulama yapılmıştır. En yüksek çimlenme gücü Bitlis (%60) ve Fernor (%53) çeşitlerinde; en yüksek çimlenme hızı Fernor (% 78) çeşidinde görülmüştür. Bitki büyüme düzenleyicilerin etkileri incelendiğinde ise; çimlenme yüzdesi kontrol uygulamasında % 54 iken 250-500 ppm doz uygulamalarında % 83.3'e yükselmiştir. Sonuç olarak; +4 °C'de katlanan ceviz tohumlarına yapılan GA₃ ve SA uygulamalarının çimlenme gücü ve hızı üzerine olumlu etkilerinin olduğunu bildirmiştir.

5.3. Tohum Kabuğunu Aşındırma

Sert tohum kabuğuna sahip meyve tohumlarının aşındırılarak çimlenme sürecince su ve gazlara karşı geçirgenliğini arttırarak çimlenmenin kolaylaştırılması işlemine skarifikasyon denmektedir (Gerçekçioğlu ve ark., 2008). Tohum kabuğu çatlatılabilir, kırılır, kesilebilir veya kum ile çalkalanarak aşındırılabilir (Kaçar 2015). Ceviz tohum kabuğunun da sert olmasından dolayı skarifikasyonla yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Bu uygulamanın diğer çimlendirmeyi kolaylaştırıcı uygulamalarla birlikte kullanıldığı çalışmalar da bulunmaktadır

Tohum kabuğunun aşındırıldığı bir çalışmada ceviz tohumlarında çimlenme oranı kontrolde % 45.66, kabuk aşındırmada % 49.89 olduğu; kabuğu aşındırıldığında çimlenmenin kotrole göre yüksek çıktığı görülmüştür (Negi ve ark., 2017).

Polat (2003), ceviz tohumlarına doğrudan ekim, 48 saat suda bekletme, çatlatma, katlama, çatlatma + doğrudan ekim, kabuk kırma + katlama uygulamalarını yapmış; en yüksek çimlenme oranı çatlatma + katlama uygulamasından % 96.66 elde edilmiştir.

5.4. Su ile Yıkama (Suda Bekletme)

Ceviz tohumlarını su ile yıkama ile cevizin bünyesinde bulunan engelleyicilerin uzaklaştırılmasında etkilidir.

Ceviz (*Juglans regia* L.) tohumlarına Ocak ayı ortasında; fidanlıkta doğrudan ekim (1), tohumların nemli kumda katlanması (2), 24 saat suda bekletme (3 saatte bir su değişimi) (3) ve 2 hafta suya daldırma (3 defa su değişimi) (4) uygulamaları yapılmıştır. Çimlenme oranları sırasıyla %80, %85, %88 ve %95 olarak belirlenmiştir. Kullanılan bütün yöntemlerde yüksek çimlenme oranı belirlense de ticari olarak 4. uygulamanın tercih edilmesi daha doğrudur (Vahdati ve Hoseini, 2005).

Juglans regia L. tohumlarına; 24 saat suda bekletme (1), katlama (2), katlamanın ardından çatlatma + 500 ppm GA₃ (3), katlamanın ardından çatlatma + 750 ppm GA₃ (4), 500 ppm GA₃ + katlama (5), 750 ppm GA₃ + katlama (6) olmak üzere 6 farklı uygulama yapılmış ve çimlenme yüzdeleri karşılaştırılmıştır. Deneme sonunda en yüksek çimlenme yüzdesi % 53.25 olarak 3 numaralı uygulamadan (Çatlatma+ katlama + 750 ppm) uygulamasından elde edilmiştir (Lamichhane ve ark., 2021).

Maraş-18, Maraş-12, Sütyemez-1, Sütyemez-2, Kaman-1, Pedro, Howard, Fernor ve Franquette olma üzere 11 farklı çeşit ve tip tohumlarının çimlenme oranları ve çöğür gelişim durumları araştırılmıştır. Tohumlara 7 gün boyunca hergün suyu değiştirilerek suda bekletme uygulaması ve katlama uygulaması yapılmıştır. En yüksek çimlenme oranı Maraş-18 (%89.4), en düşük çimlenme oranı Fernor (%63.0) çeşitlerinde belirlenmiştir. Suda bekletmenin amacı tohum içerisinde çimlenmeyi engelleyicilerin suyla uzaklaştırılmasıdır. Suda bekletmenin diğer yararı ise tohum suda bekletilince suyun tohum içerisine girerek depo maddelerinin suda çözünerek çimlenmeye uygun hale gelmesini sağlamasıdır (Özcan, 2013).

Soğuk su ile yıkamanın yanı sıra ceviz çimlendirme denemelerinde sıcak su uygulaması da kullanılmaktadır (Kaçar, 2015). Sıcak su uygulamasının yapıldığı denemede ceviz tohumlarında çimlenme oranı kontrolde % 45.66; sıcak su uygulamasında % 47; sıcak su+ GA₃ (500 ppm) de % 60.71; sıcak su+ GA₃ (750 ppm) de % 55.63; sıcak su+ GA₃ (1000 ppm) de % 53.72 olarak belirlenmiş ve sıcak su uygulamasını çimlenme oranını kontrole ve arttırdığı görülmüştür (Negi ve ark., 2017).

5.5. Kimyasal Madde Uygulamaları

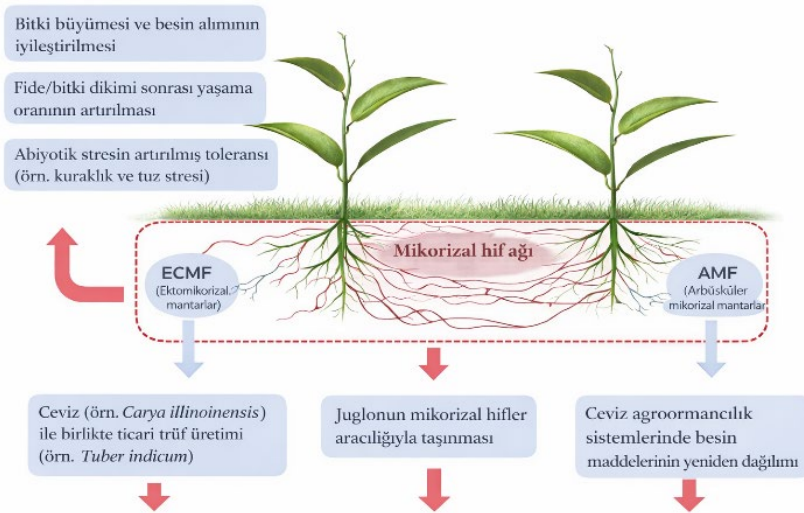
Tohum kabuğundan kaynaklanan dinlenme kimyasallar kullanılarak ortadan kaldırılabılır. Tohum sülfirik asit gibi kuvvetli asit, aseton veya alkol gibi organik çözücülere batırılabilir. Kaynar su uygulaması da benzer etkiye sahiptir (Kaçar 2015). Bu uygulamalarda embriyoya zarar verilmemesi gerekir. H₂SO₄, HCl, NaOH ve KOH (Akça, 2016).

5.6. Yararlı Mikkoorganizmalar

Kuraklık stresi ceviz bitkilerinin büyümesini (bitki boyu, kök uzunluğu, yaprak sayısı, yaş ağırlık) ve yaprakta bulunan bitki besin elementleri içeriği (N, P, Zn) önemli ölçüde azaltır. Bu stres altında ceviz yapraklarının prolin, toplam çözünür şeker, nişasta peroksidaz enzim aktivitesi ve toplam fenolik içeriğini arttırmıştır. Fungus veya bakterilerin uygulanması ve özellikle bunların eş zamanlı uygulanması kuraklık stresinin bitkiler üzerindeki etkisini hafifletmektedir. AM fungusları ve PGPB, toplam fenolik madde içeriği, prolin seviyesi, peroksidaz aktivitesi, toplam çözünür şeker ve nişasta içeriği ile peroksidaz enzim aktivitesi de dahil olmak üzere bazı metabolitlerin içeriğine önemli ölçüde katkı sağlamıştır. Bu, kuraklık stresi koşullarında

ceviz bitkisinin büyümesindeki artışa katkı sağlamıştır. AM fungusları arasında *G. etunicatum* kuraklık stresi semptomlarını azaltmada, *G. mosseae* veya *G. mix* funguslardan daha etkilidir. Sonuç olarak *G. etunicatum*'un PGPB ile mbirlikte kullanımı kuraklık stresinin ceviz çöğürleri üzerindeki etkisini azaltabilir (Behreoz ve ark., 2019).

Cevizin sahip olduğu derin kök sistemi toprakta yaşayan ektomikorizal funguslar veya arbüsküler mikorizal funguslar tarafından kolonize edilebilir. Bu mikorizal mantarlar, ceviz köklerinde faydalı simbiyozlar oluşturur. Ceviz bahçelerinden izole edilen çok sayıda ektomikorizal fungus tanımlanmıştır; *Boletus edulis*, *Calvatia uiacina* ve *Cantharellus cibarius* bitki büyümesini teşvik etmiş ve cevizde stres toleransı kapasitesi sağlamıştır. *Carya illinoensis*, özellikle *Tuber indicum* olmak üzere, trüf mantarının ticari üretimi için çok iyi bir konuk bitkisidir. Ektomikorizal funguslar bitki büyümesini hızlandırır ve cevizlerin potansiyel stres toleransını arttırmakta, *Piriformospora indica* da ceviz bitkilerinin tuz toleransını artırmaktadır (Ma ve ark., 2021).



Şekil 4. Mikorizal ağ ve bitki ilişkisi (Ma ve ark., 2021)

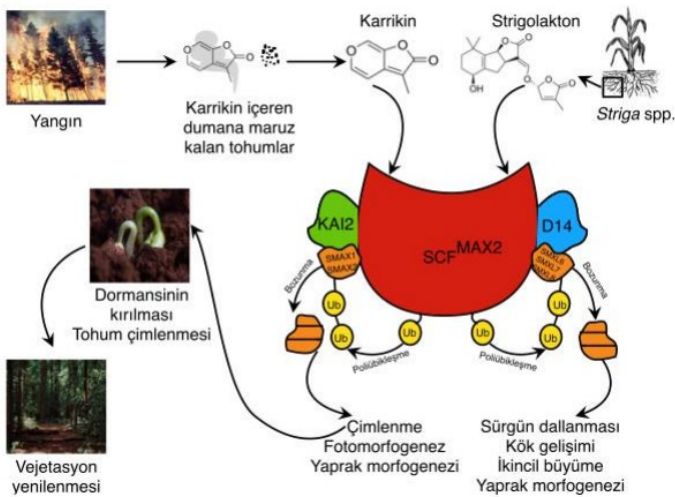
Cevizin rizofosferi hem ektomikorizal fungusları (ECMF) hem de arbüsküler mikorizal fungusları (AMF) barındırır (Şekil 4). Bu funguslar bitki büyümesi, besin alımı ve yeniden dağıtımı, abiyotik stres toleransı ve

bitkiler arasında mikorizal hif ağı yoluyla juglon iletimi üzerinde olumlu etkilere sahiptir.

Arbüsküler mikorizal fungus türlerinin ceviz çöğürlerinin büyüme ve morfolojileri üzerine etkileri ile mikorhizal birliktelik düzeylerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada Fernor, Chandler, Franquette ve Kaman-1 ceviz çeşitleri kullanılmıştır. Şirin ve Ertürk (2025) bu çalışmalarında B Musa Vita, B Musa Green, Arbuscular Mycorrhiza ve T22 (*Trichoderma harzianum* Rifai KTL-AG2 olmak üzere 4 farklı yararlı organizma ceviz tohumlarına fırça yardımıyla aşılanmış ve sulama suyuna eklenmiştir.

5.7. Duman ve Duman Bileşikleri Kullanımı: Karrikin

Karrikin (KAR)'lar orman yangınlarının ardından, yanan bitkisel materyal dumanında bulunan bir bitki büyüme düzenleyicisi gibi görev alan benzersiz bütenolitlerdir. Dumanın suda fokurdatılarak çözünmesinin sağlanması ile üretilen karmaşık bir sıvı olan sıvı duman (DS) içerisindeki tohum çimlenmesini uyaran kimyasal uyarıcı olarak belirtilmektedir. Dumanın bünyesinde bulunan KAR'lar, tohum çimlenmesi, fide oluşumu ve ekolojik çeşitliliği teşvik etmektedirler. Karrikin dumanla doyurulmuş sudan ede edilirken, strigalaktan bir bitki hormonudur (Arıkan ve Karaman, 2021; Singh ve ark., 2022) (Şekil 5).



Şekil 5. Karrikin ve strigolaktunun sinyal yolu (Kemeç Hürkan, 2023)

KAR'ların tohum çimlenmesini destekleyen ABA, IAA, GA₃ ve etilen gibi fitohormonlarla ilişkili olduğu düşünülmektedir. KAR, ABA biyosentezini baskılayarak, antioksidan mekanizmayı aktive ederek, IAA biyosentezini aşağı doğru düzenleyerek düşük ışık yoğunluğuna karşı tolerans sağlamaktadır. Şekil 2'de karrikin ve sinyal yolu olan strigolaktonun (SL) sinyal yolu gösterilmiştir. Strigolakton (SL) yeni bir bitki hormonu olarak tanımlanmakta olup sürgün ve kök gelişiminde etkili olduğu belirtilmektedir (Waters ve ark., 2017; Arıkan ve Karaman, 2021; Alvi ve ark., 2022).

Duman uygulaması tohumlarda çimlenmeyi teşvik edebilmektedir. Sadat-Hosseini ve ark. (2019) bunu tohum dormansisini kırmak için düşük sıcaklıklar kadar yüksek sıcaklıkların da etkili olduğunu belirtmektedir.

5.8. Diğer Yöntemler

Tohum çimlendirmede kullanılan kuvvetli asitlerle aşındırma, kabuğu fungal enzimlerle yumuşatma, ön kurutma gibi yöntemlerde tohum çimlendirme yöntemleri arasında yer alan uygulamalardan bazılarıdır (Ağaoğlu ve ark., 2015).

Ceviz çimlenme çalışmalarında, tohum ekimi öncesi yapılan işlemler incelendiğinde; suda bekletme, kabuk aşındırma, katlama, kimyasal veya bitki büyüme düzenleyicisi uygulama, mikroorganizma kullanımı, duman ve bileşiklerinden yararlanma gibi uygulamalar a yer verildiği görülmektedir. Yapılan çalışmalarda bu uygulamaların tek veya birarada uygulanan örnekleri de bulunmaktadır. Raoufi ve ark. (2020), Chandler tohumlarına 14 farklı uygulama yaparak bu uygulamaların tohum çimlenmesine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada yetiştirme ortamının değiştirilmesi ve tohum mekanik dormansisinin giderilmesi amaçlanmıştır.

- (1) Tohumları 48 saat boyunca bir kova suda bekletmek ve suyu her 6 saatte bir değiştirmek + tohumları perlit içine ekmek;
- (2) Tohumları 48 saat boyunca bir kova suda bekletmek ve suyu her 6 saatte bir değiştirmek + 4 hafta boyunca 4°C'de plastik bir torbada soğutmak + tohumları perlit içine ekmek;
- (3) Tohumları 10 gün boyunca bir kova suda bekletmek ve suyu her gün değiştirmek + 4 hafta boyunca 4°C'de plastik bir torbada soğutmak + tohumları perlit içine ekmek;

- (4) Tohumları 10 gün boyunca bir kova suda bekletmek ve suyu her gün değiştirmek + tohumları kırmak ve perlit içine ekmek;
- (5) Tohumları 10 gün boyunca bir kova suda bekletmek ve suyu her gün değiştirmek + tohumları kırmak ve çatlağa bir kürdan sokmak ve tohumları perlit içine ekmek;
- (6) Tohumları 10 gün boyunca bir kova suda bekletmek ve suyu her gün değiştirmek + tohumları kırmak + 4 hafta boyunca plastik bir torbada 4 °C'de soğutmak ve tohumları perlit içine ekmek;
- (7) Tohumları 10 gün boyunca bir kova suda bekletmek ve suyu her gün değiştirmek + tohumları kırmak ve çatlağa bir kürdan sokmak + 4 hafta boyunca plastik bir torbada 4 °C'de soğutmak ve tohumları perlit içine ekmek;
- (8) Tohumları 48 saat boyunca bir kova suda bekletmek ve suyu her 6 saatte bir değiştirmek + tohumları gübreye ekmek;
- (9) Tohumları 48 saat boyunca bir kova suda bekletmek ve suyu her 6 saatte bir değiştirmek + 4 hafta boyunca 4°C'de plastik bir torbada soğutmak + tohumları gübreye ekmek;
- (10) Tohumları 10 gün boyunca bekletmek ve suyu her gün değiştirmek + 4 hafta boyunca 4°C'de plastik bir torbada soğutmak + tohumları gübreye ekmek;
- (11) Tohumları 10 gün boyunca bir kova suda bekletmek ve suyu her gün değiştirmek + tohumları kırmak ve gübreye ekmek;
- (12) Tohumları 10 gün boyunca bir kova suda bekletmek ve suyu her gün değiştirmek
+ tohumları kırmak ve çatlağa bir kürdan sokup tohumları gübreye ekmek;
- (13) Tohumları 10 gün boyunca bir kova suda bekletmek ve suyu her gün değiştirmek + tohumları kırmak + 4 hafta boyunca 4°C'de plastik bir torbada soğutmak ve tohumları gübreye ekmek;
- (14) Tohumları 10 gün boyunca bir kova suda bekletmek ve suyu her gün değiştirmek + tohumları kırmak ve çatlağa bir kürdan sokmak + 4 hafta boyunca 4°C'de plastik bir torbada soğutmak ve tohumları gübreye ekmek.

Sonuçlar incelendiğinde; kabuk üzerinde veya gübreye ekimi yapılırken hiçbir işlem uygulanmayan tohumlar çimlenmemiştir. Katmanlama uygulanmadan çatlatılmış tohumların (CS) ve kürdan batırılarak çatlatılmış

tohumların (CTS) çimlenme yüzdesi sırasıyla %66,1 ve %83,7'ye ulaşmıştır. Sonuçlara dayanarak, mekanik dormansinin ceviz tohumu çimlenmesi için ana sınırlayıcı faktör olduğu öne sürülmüştür. Bu nedenle, tohum katmanlamasında mekanik dormansinin giderilmesi de dikkate alınırsa, ceviz tohumu çimlenme oranı yükseltilebileceğini savunmuşlardır.

Negi ve ark. (2017), tüm ekim öncesi uygulamaların bir arada uygulandığı bir çalışma yürütmüşlerdir. 30 gün katlama, sıcak su uygulaması, kabuk çatlatma uygulamalarının her biri ile 500, 750 ve 1000 ppm GA₃ uygulanmıştır. En yüksek çimlenme yüzdesi 30 gün katlama+500 ppm GA₃+ Kabuk çatlatma uygulamasından (%75.88) elde edilirken en düşük çimlenme yüzdesi kontrol uygulamasında (% 45) tespit edilmiştir.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Cevizde tohum çimlenmesine yönelik yapılan çalışmalardan elde edilen bulgular Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Cevizde tohum çimlenmesine yönelik çalışmalar ve elde edilen bulgular

Kaynak	Çeşit/Genotip	Uygulama	Sonuç
Beyhan ve ark., 1999	Niksar-1, Kısmık, Kargaburnu, Fındık, Kaba, Ağustos, Tıngır, Akıncı, Sulugöl, 55-M-1 ve 55-Ç-32 nolu ceviz tipleri	Su, GA ₃ (100 ppm), katlama	En yüksek çimlenme oranı Fındık (%72.0), 55-Ç-32 (%67.0), ve 55-M-1 (%65.2) ceviz tiplerinde en düşük çimlenme oranı ise Kargaburnu (%11.3) ceviz tipinde elde edilmiştir.
Yıldız, 2000	<i>J. regia</i> L., <i>J. hindsii</i> Japs, <i>J. nigra</i> L., <i>J. cinerea</i> L ve <i>J. sieboldiana</i> Maxim.	Katlama	Çimlenme oranı <i>J.hindsii</i> (%85.50), <i>J. nigra</i> (%80.16), <i>J. regia</i> (%60.02), <i>J. sieboldiana</i> (%59.00), <i>J. cinerea</i> (%40.03)
Polat, 2003	<i>J. regia</i> L.	Katlama, suda bekletme, kabuk kırma ve kombinasyonları	En yüksek çimlenme oranı kabuk kırma+katlama uygulamasından elde edilmiştir.
Vahdati ve Hosseini, 2005	<i>J. regia</i> L.	Doğrudan ekim, katlama, suda bekletme, suya daldırma	Bütün uygulamalarda çimlenme yüzdesi yüksek olmakla birlikte, en yüksek çimlenme 2 hafta suya daldırma uygulamasından elde edilmiştir.
Özcan, 2013	Maraş-18, Maraş-12, Sütyemez-1, Sütyemez-2, Bilecik, Kaman-1, Pedro, Howard, Fernor ve Franquette	Tohumların ıslatılması, tohumların katlanması	Çimlenme oranı en yüksek genotipler Maraş-18(%89.4), Franquette (%88.0) ve Sütyemez-2 (%86.0)
Ebrahemporazar ve Erdoğan, 2017	KR' (Yavuz-1), Chandler	Suda bekletme, katlama	Epikotil aşısı yapmak üzere tohum çimlenmesi ve gelişimi için uygulamalar yeterli bulunmuştur.

Tablo 1. Cevizde tohum çimlenmesine yönelik çalışmalar ve elde edilen bulgular (Devamı)

Kaynak	Çeşit/Genotip	Uygulama	Sonuç
Negi ve ark., 2017	Ceviz genotipi	Sıcak su, katlama, çatlatma, GA ₃ (500, 750, 1000 ppm) ve bunların tüm kombinasyonları	En yüksek çimlenme yüzdesi 30 gün katlama+500 ppm GA ₃ + çatlatma uygulamasından (%75.88) elde edilmiştir
Çakır Yılmaz, 2019	Fernor Chandler Franquette Kaman-1	Mikorizal fungus	Bütün ceviz çeşitlerinde benzer düzeyde kolonizasyon gözlenmiş olup, <i>Glomus iranicum</i> ve <i>Glomus mosseae</i> diğer uygulamalardan daha fazla spor çoğaltımı gerçekleştirmiştir.
Raoufi, 2020	Chandler	Suda bekletme, çatlatma, katlama, kürdan batırma ve bunların kombinasyonları	Katlamanın yanısıra tohum mekanik dormansisini kırmak da önemlidir. Kürdan batırılmış tohumların çimlenme oranının % 83.7 olduğu tespit edilmiştir.
Sesli, 2016; Sesli ve Tekintaş, 2020	Balaban, Bilecik, Chandler, Fernor, Kaman-1, Midland, Pedro, Serr, Yalova-1 ve Yalova-3	Katlama	En yüksek çimlenme oranı Kaman-1 çeşidinde görülmüştür.
Lamichhane ve ark., 2021	<i>J. regia</i> L.	Suda bekletme, katlama, çatlatma ve GA ₃	En yüksek çimlenme katlamanın ardından çatlatma + 750 ppm GA ₃ uygulamasında belirlenmiştir
Çoban 2023	Chandler, Bingöl, Fernor, Bitlis ve Lice	GA ₃ , Asetil salisilik asit, katlama	Uygulamaların tohumun çimlenme gücü, hızı ve çöğür gelişimi üzerine etkilerinin olumlu olduğu bildirilmiştir.
Şirin ve Ertürk, 2025	Kaman-1, Chandler	Yararlı mikroorganizma, GA ₃	En yüksek çimlenme yüzdesi Kaman-1 çeşidinde elde edilmiştir.

7. SONUÇ

Ceviz kullanım alanının fazlalığı ve besin değeri nedeniyle üretimi ve tüketimi her geçen gün artan değerli bir meyve türüdür. Üretim, ticaret, yetiştirilen alan ve ağaç sayısı her geçen gün artma eğilimindedir. Bir meyve türünün yetiştiriciliğinde ilk aşamalardan biri fidan teminidir. Meyve türlerinde heterezigot yapıda olmalarından dolayı tohumla çoğaltımda açılım görülmektedir ve çeşidin özelliklerini devam ettirmek için vejetatif yöntemler kullanılmak zorundadır. Bunun için tohumların çimlenme güçleri, çimlendikten sonra sergiledikleri çöğür performansları, anaçlık özellikleri büyük önem taşımaktadır. Ceviz türlerinden *Juglans regia* L. Yaygın olarak kullanılan anaçlardır. Bundan dolayı da çimlenme yüzdesini arttırmaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Çimlenme yüzdesi üzerine genetik

faktörler, çevresel faktörler, dormansi etkili olup; çimlenme başarısını arttırmak için ekim öncesi farklı uygulamalar yapılmaktadır. Özellikle dormansinin kırılmasına yönelik çalışmalar ve sert tohum kabuğundan embriyonun çıkışını kolaylaştırmaya yönelik uygulamalar çalışmalarda ve pratikte yer bulmuş kombinasyonlardandır. Absizik asit ve giberellik asit gibi bitki büyüme düzenleyicilerin ceviz tohumlarının çimlenmesinde rollerinin olduğu bilinmekte ve çalışmalarda farklı dozlarda uygulanmaktadır. Kabuğu aşındırmaya yönelik ve dormansiyi kırmaya yönelik uygulamaların birlikte kullanıldığı çalışmalarda çimlenme başarısının daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu maddelerin çimlenmedeki rolleri; genler, sıcaklık, bitki büyüme dönemi, proteinler, sinyal yolları ile açıklanmaya çalışılmaktadır. Fakat hala bitki büyüme düzenleyicileri ile aydınlatılamamış noktalar bulunmaktadır.

Yararlı mikroorganizmaların ceviz bitkisinin gelişimi ve stres koşullarına dayanımı ile ilgili sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmalarda tohum çimlenmesinin başarısı üzerine istatistiki anlamda farklılık yaratacak düzeyde artış sağlamasa da çöğür gelişimi ve bitki büyümesi dönemlerinde olumlu etkileri bulunmaktadır.

Her geçen gün etkisini daha fazla hissettiğimiz küresel ısınma; sıcaklık artışıyla beraber tarımda etkisini gösteren kuraklık maalesef yeni çözüm arayışlarını da beraberinde getirmektedir. Tohum anacı olarak tercih edilen *J. regia* 'dan başka anaçlar, farklı ceviz çeşitleri, ceviz dışında diğer türlerde başarılı olmuş yöntemlerle bu alanda çalışmalara devam edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Ağaoğlu, Y.S., Çelik, H., Çelik, M., Fidan, Y., Gülşen, Y., Günay, A., ... Yanmaz, R. (2015). Genel Bahçe Bitkileri (7. Baskı). Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No: 1630, Ders Kitabı: 581. Ankara.
- Akça, Y. (2016). Ceviz Yetiştiriciliği, 8. Baskı, Anıt Matbaa, 328s., Ankara.
- Akça, Y. & Yılmaz, S. (2017). Walnut production in Turkey from past to present. *VIII: International Scientific Agriculture Symposium*, October 5-8, Jahorina (Borna Herzegovina), p.904-910.
- Alvi, A.F., Sehar, Z., Fatma, M., Masood, A. & Khan, N.A. (2022). Strigolactone: An emerging growth regular for developing resilience in plants. *Plants*, 11, 2624.
- Anonim (2025a). Fao, <https://www.fao.org>. (Erişim Tarihi: 07.12.2025).
- Anonim (2025b). Depositphotos, <https://depositphotos.com/photos/walnut-cultivation.html> (Erişim Tarihi: 20.12.2025).
- Arıkan, S. & Karaman, Ş. (2021). Bitkisel hormonlar sınıfının yeni bir üyesi olarak strigolaktanlar. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, No:27, 735-746.
- Barut, E. (2008). Meyvecilik Tekniği. Gerçekçioğlu, R., Bilgener, Ş. & Soylu, A. (Ed.), Genel Meyvecilik (s.107-153) içinde. Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Ltd. Şti., Ankara.
- Behrooz, A., Vahdati, K., Rejali, F., Lotfi, M, Sarikhani, S. & Leslie, C. (2019). Arbuscular Mycorrhiza and plant growth-promoting bacteria alleviate drought stress in walnut. *HortScience*, 54(6), 1087-1092.
- Beyhan, N, Demir, T. & Marangoz, D. (1999). Bazı çimlenmeyi uyarıcı işlemler ve tüplü yetiştiriciliğin cevizde tohum çimlenmesi ve çöğür gelişimi üzerine etkileri. *O.M.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 14(3), 101-113.
- Bewley, J.N. (1997). Seed germination and dormancy. *The Plant Cell* Vol: 9, 1055-1066.
- Boyras, M., Korkmaz, H. & Durmaz, A. (2019). Tohum dormansisi ve çimlenme. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 2(3), 92-105.
- Çakır Yılmaz, N. (2019). *Arbüsküler Mikorizal Fungus (Glomus spp.) Türlerinin Ceviz (Juglans regia) Çöğürlerinin Büyüme ve Morfolojisi*

- Üzerine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırşehir.
- Çoban, F. (2023). *Gibberellik Asit, Asetil Salisilik Asit ve Katlama Uygulamalarının Ceviz (Juglans regia L.) Tohumlarının Çimlenmesi ile Çöğür Gelişimi Üzerine Etkileri*. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hakkari.
- Dalda Şekerci, A., Yaman, M. & Say, A. (2017). Ceviz ıslahında biyoteknolojinin kullanımı. *Bahçe*, 46(Özel Sayı:2: III. Ulusal Ceviz Sempozyumu), 123-127.
- Dhiman, N., Rohiwala, P. & Dev, I. (2025). Chip budding techniques for walnuts (*Juglans regia*): enhancing propagation efficiency. *Indian Farming*, 75(6), 8-12.
- Ebrahemporazar, A. & Erdoğan, V. (2017). Epikotil aşısının ceviz fidanı üretiminde aşı başarısı ve fidan gelişmesi üzerine etkisi. *Bahçe*, 46 (Özel Sayı:2: III. Ulusal Ceviz Sempozyumu), 33-39.
- Einali, A.R. & Sadeghipour, H.R. (2007). Alleviation of dormancy in walnut kernels by moist chilling is dependent from storage protein mobilization. *Tree Physiology*, 27, 519-527.
- Erkul, Ş.N. & Ülger, N. (2024). Tohumlarda çimlenmeye etkili faktörler ve tohum çimlendirme uygulamaları. *AgriTR Science*, 6(1), 71-86.
- Farooq, M.A., Ma, W., Shen, S. & Gu, A. (2022). Underlying biochemical and molecular mechanism for seed germination. *International Journal of Molecular Sciences*, 23, 8502.
- Fatima, T., Showkat, U. & Hussani, S.Z. (2018). Nutritional and health benefits of walnut. *Journal of Pharmacognocny and Phytochemistry*, 7 (2), 1269-1271.
- Gandev, S. (2007). Budding and grafting of the walnut (*Juglans regia* L.) and their effectiveness in Bulgaria (Review). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 13 (2007), 683-689.
- Joshi, R. (2018). Role of enzymes in seed germination. *International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT)*, 6 (2), 1481-1485.
- Kaçar, B. (2015). Genel Bitki Fizyolojisi (1. Basım). Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Ltd. Şti. Sertifika No: 20779.
- Kantay, R. & Ünsal, Ö. (2005). Ceviz odununun silah yapımında kullanılması ve ihracat olanakları. *Bahçe*, 34(1), 141-150.

- Karakurt, H., Aslantaş, R. & Eşitken, A. (2010). Tohum çimlenmesi ve bitki büyümesi üzerine etkili olan çevresel faktörler ve bazı ön uygulamalar. *U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24 (2), 115-128.
- Kemeç Hürkan, Y. (2023). Karrikin: Life from smoke. *Gazi University Journal of Science. Part C: Design and Technology*, 11(1), 184-196.
- Kömür, Y.K. (2011). *Cevizde (Juglans regia L.) Çeşit Değiştirme İçin Yarma Aşı Tekniğinin Uygulanabilirliğinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Lamichhane, S., Thapa, R., Thapa P. & Ahamad, K. (2021). Effect of different pre-sowing treatments on germination of Persian walnut (*Juglans regia* L.) in Rukum (East) District, Nepal. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 9(6), 1165-1171.
- Ma, W.-Y., Wu, Q.S., Xu, Y.-J. & Kuca, K. (2021). Exploring mycorrhizal fungi in walnut with a focus on physiological roles. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 49(2), 12363.
- Negi, P., Nautiyal, B.P., Thakur, N., Negi, M. & Meena, V.K. (2017). Effect of different pre sowing treatments on seed germination and seedling growth of walnut (*Juglans regia* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6 (7), 3844-3849.
- Ölez, H. (2005). Marmara Bölgesi'nde başlayan ceviz ıslah çalışmaları ve uluslararası işbirliği olanakları. *Bahçe*, 34(1), 9-13.
- Özbek, S. (1977). Genel Meyvecilik. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 111, Ders Kitabı:6, Ankara Üniversitesi Basımevi, 385s., Ankara.
- Özcan, A. (2013). *Bazı Ceviz (Juglans regia L.) Çeşitlerinin Çimlenme ve Çöğür (Anaçlık) Gelişme Performanslarının Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Özen, H.Ç. & Onay, A. (2007). Bitki Fizyolojisi. Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Ltd. Şti., Ankara.
- Polat, A.A. (2003). Bazı koşulların ceviz tohumlarının çimlenmeleri üzerine etkileri. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8 (1-2), 1-9.

- Raoufi, A., Vahdati, K., Karimi, S. & Roozban, M.R. (2020). Optimizing seed germination and growth of seedlings in Persian walnut. *Journal of Nuts*, 11 (3), 185-193.
- Sadat-Hosseini, M., Vahdati, K., Boroomand, N., Mehdi-Arab, M. & Asadi-Yekta, S. (2019). How walnut respond to drought stress: A morphological and anatomical study. *South Western Journal of Horticulture, Biology and Environment*, v110 (2), 51-64.
- Sesli, Y. & Tekintaş, F.E. (2020). Bazı ceviz çeşidi tohumlarında çimlenme potansiyelinin belirlenmesi. *Bahçe*, 49(Özel Sayı I: II. Uluslararası Tarım Kongresi (UTAK 2019)), 223-228.
- Sharma, C., Thapa, R., Thapaliya, K.P., Ghimire, M.S. & Adhikari, H. (2022). Exploring combinations of grafting time and scion cultivar in walnut grafting success under open field condition. *Heliyon*, 8, e12485.
- Singh, R. & Omre, P.K. (2018). Walnut: Nutritional aspects and by products – A review. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 7 (12), 10-12
- Singh, S., Uddin, M., Khan, M.M.A., Chishti, S.A., Singh, S. & Bhatt, U.H. (2022). Role of more axillary growth (Max2) protein in regulation of karrikin and strigolactone signalling pathways. *Journal of Botany*, 46(5), 417-434.
- Soleimani, A., Rabiai, V. & Hassani, D. (2010). Effect of different techniques on walnut (*J. regia* L.) grafting. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8 (1), 132-134.
- Şahin, İ. (2005). Sağlıklı beslenmede ceviz. *Bahçe*, 34(1), 157-167.
- Şahiner Öylek, H., Aslan, A., Demirtaş, M.N. & Avcı, S. (2013). Farklı çaplara sahip zerdali çöğürlerinin aşısı başarısı ve fidan gelişimine etkisi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 6 (2), 103-107.
- Şimşek, M. & Gülsoy, E. (2016). Ceviz ve içerdiği yağ asitlerinin insan sağlığı açısından önemi üzerine yapılan bazı çalışmalar. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6 (4), 9-15.
- Şirin, E. & Ertürk, Y. (2025). Effects of beneficial microorganisms and GA₃ applications on germination parameters during seed germination processes of some walnut (*Juglans regia* L.) Cultivars and Genotype. *Black Sea Journal of Agriculture*, 8 (6), 868-874.

- Taha, N.A. & Al-wadaan, M.A. (2011).Utility and importance of walnut, *Juglans regia* Linn.: A review. *African Journal of Microbiology Research*, 5(32), 5796-5805.
- Vahdati, K. & Hoseini, S.H. (2005). Introduction procedure for large commercial seed lots stratification in Persian walnut. *V. International Walnut Symposium*, 30 Mart, Sorrento (İtalya).
- Waters, M.T., Gutjahr, C., Bennett, T. & Nelson, D.C. (2017). Strigolactone signaling and evolution. *The Annual Review of Plant Biology*, 68(8), 1-31.
- Yıldız, K. (2001). Bazı ceviz türlerine ait tohumların çimlenme oranı ve çöğür gelişiminin belirlenmesi üzerine bir araştırma. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 11(1), 47-50.
- Yılmaz, F. & Hurma, H. (2016). Walnut production and future prospects in Turkey in context of agricultural policy. *Journal of Agricultural Faculty of Uludağ University*, 30, Special Issue, 113-122.
- Yücel, S.S. & Okay, Y. (2022). Cevizin Çoğaltılması. Söylemezoğlu, G. & Çakır, A. (Ed), *Bahçe Bitkileri Faaliyetlerinde Yenilikçi Yaklaşımlar* (s. 321-358) içinde, Ankara, İKSAD Yayınevi.

BÖLÜM 14

KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SEBZE YETİŞTİRİCİLİĞİ ÜZERİNE BİLİNER VE OLASI ETKİLERİ

Ziraat Yük. Müh. Sevda AÇAR TOKGÖZ^{1*}

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18114774>

¹ *Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Şanlıurfa, Türkiye. sevdaacar63@gmail.com , Orcid: 0000-0001-5664-4348

*Sorumlu yazar: sevdaacar63@gmail.com

1. GİRİŞ

İklim, “Yeryüzünün herhangi bir yerinde uzun yıllar boyunca yaşanan ya da gözlenen tüm hava koşullarının ortalama durumu” olarak tanımlanmaktadır (Türkeş, 1997). Buna göre iklim; uzun süre boyunca bir coğrafi bölgedeki sıcaklık, yağış, bağıl nem ve atmosferik gazların bileşimi gibi faktörlerin ortalamasıdır.

İklim değişikliği ise, bu farklı faktörlerin bir araya gelerek oluşturduğu değerlerin ortalamasındaki doğal veya insan faaliyeti sonucu oluşan değişiklik olarak adlandırılabilir. Birleşmiş Milletler tarafından yapılan diğer bir tanıma baktığımızda, İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’nde; “Karşılaştırılabilir bir zaman diliminde gözlenen doğal iklim değişkenliklerinin, doğrudan ya da dolaylı olarak, küresel atmosferin doğal yapısının bozması ve bazen de insan etkinlikleri sonucunda iklimde oluşan değişimlerin bütünü” olarak tanımlanmıştır (Di Giusto ve ark., 2018; Anonim, 2004).

Günümüz dünyasında her geçen gün iklimde değişiklikler meydana gelmektedir. Bu değişiklikler bütün canlıları etkilemektedir. İklim değişikliğinden etkilenen canlılar sadece insanlar ve hayvanlar olmamakla beraber, bitkilerin de bu değişime maruz kalarak birtakım gelişme ve adaptasyon sorunları yaşadığı bildirilmiştir (Demirbaş ve Aydın, 2020).

Her canlının olduğu gibi bitkilerin de yaşamaları için gerekli optimum koşullara ihtiyacı vardır. Gelişme koşulları sağlanan bitkilerin büyümeleri de normal periyotlarına göre ilerlemektedir. Ancak değişen iklim koşulları, her geçen gün birçok bitkinin yaşam alanını kısıtlamaktadır (Demirbaş, 2022).

Güneşten gelen ışınların bir kısmı yeryüzü tarafından absorbe edilmekte, bir kısmı uzaya doğrudan geri dönmekte, yansıyan diğer bir kısmı ise dünyamızın ısınmasını sağlamaktadır. Buna göre, gezegenimizin ısınmasının; ısı ve ışık kaynağımız olan güneşten gelen direkt ışınlarla değil, gelen bu ışınların bir kısmının yansması sırasında ortaya çıkan ısı ile sağlandığı bilinmektedir. Bu nedenle yansıyan ışınların atmosferde biriken sera gazlarına çarparak yeryüzüne geri dönmesi, yüzeydeki sıcaklığı artırarak küresel ısınmaya sebep olmaktadır (Deniz ve ark., 2021). Bu sera gazlarının atmosfer içerisindeki irtifalarının farklılık göstermesi (alçak ve yüksek irtifalarda sera gazlarının mevcut olması), gezegenimizdeki sıcaklığın artmasının nedenleri

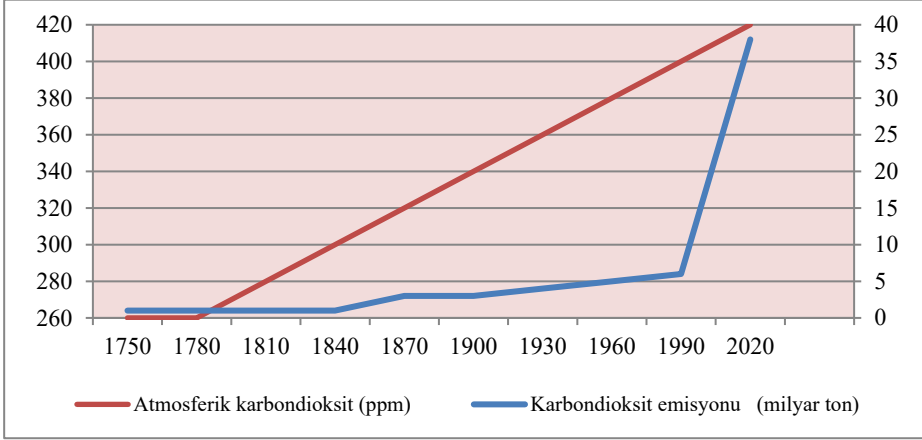
arasında yer almaktadır. Çünkü; alçak irtifalı sera gazlarından geçebilecek ışınların, yüksek irtifalı sera gazları tarafından absorbe edilip yeryüzüne tekrar yansıtılması, gezegenimizin sıcaklığını daha da artırmaktadır. Böylece oluşan sıcaklık değişimlerine ‘küresel ısınma’ denilmektedir. Öte yandan, iklim değişikliği ifadesi yalnızca sıcaklık artışına bağlı olmayıp, atmosfer gazlarının bileşimindeki değişiklikleri de kapsamaktadır.

Yapılan araştırmalara ve ölçümlere göre gezegenimizin sıcaklığının gün geçtikçe arttığı ve son yüzyıl içerisinde sıcaklık değişiminin 0.7-0.8 °C civarında olduğu (Sağlam ve ark., 2008), 2100 yılına kadar ise 0.9-3.5 °C arasında bir sıcaklık artışı gözleneceği öngörülmektedir (Chakraborty ve ark., 2000; Wong, 2021). 1990’lı yıllara göre 2000’li yıllara bakıldığında, kış sıcaklıklarının 2000’li yıllarda, önceki 10 yıla göre artmaya başladığı, sonbahar mevsiminin geç geldiği ve ilkbaharın erken geldiği belirlenmiştir (Hansen ve ark., 2012). NASA (Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi) tarafından; “Gezegenimiz için, birtakım şeyleri değiştirmeden bu şekilde yaşamaya devam etmemiz halinde, dünya sıcaklık ortalamasının her geçen yıl artmaya devam edeceği” bildirilmiştir (NASA, 2020).

Küresel iklim değişikliğinin nedenleri daha yakından incelendiğinde; sanayi devrimi ile hızla sanayileşen devletlerin, ilk zamanlarda çevreye verdikleri tahribatın farkında olmamaları nedeniyle, insan eliyle olan doğa ve çevre zararlanmalarının baş rol oynadığı görülmektedir. Nitekim sanayileşme ile bilinçsizce işletilen ve sürekli artan fabrikaların atmosferde sera gazlarının yoğunluğunu artırması, insan kaynaklı küresel ısınmanın en önemli nedenlerinden biri olarak sayılmaktadır. Sanayi devriminin tarihi önemi bir tarafa, bu sürecin başlaması; arktik buzulların erimesi, sıcak hava dalgalarının artması, aşırı ve düzensiz yağışların gerçekleşmesi, denizlerin yükselmesiyle beraber su taşkınlarının yaşanması ve benzeri birçok anomaliyi tetiklemektedir (IPCC, 2021). Sanayi devrimine kadar olan dönemde atmosferde 280 ppm seviyesinde olan CO₂ içeriği, 2009 yılında 400 ppm (Wei ve Hong, 2009) düzeyine kadar ulaşmıştır. Günümüzde ise atmosferin CO₂ içeriği 415 ppm seviyesini aşmıştır (Şekil 1).

Tarih boyunca iklim değişikliğine tanıklık eden insanlık, bu değişimlere çok da yabancı olmamasına karşın, söz konusu değişimlerin insan hayatı üzerindeki etkilerinin tahmin edilenden daha fazla olması korkusunu

yaşamaktadır. Bu sebeple insanlığın küresel iklim değişikliğine karşı mücadele etmesi kaçınılmazdır (Doğan ve Tüzer, 2011).

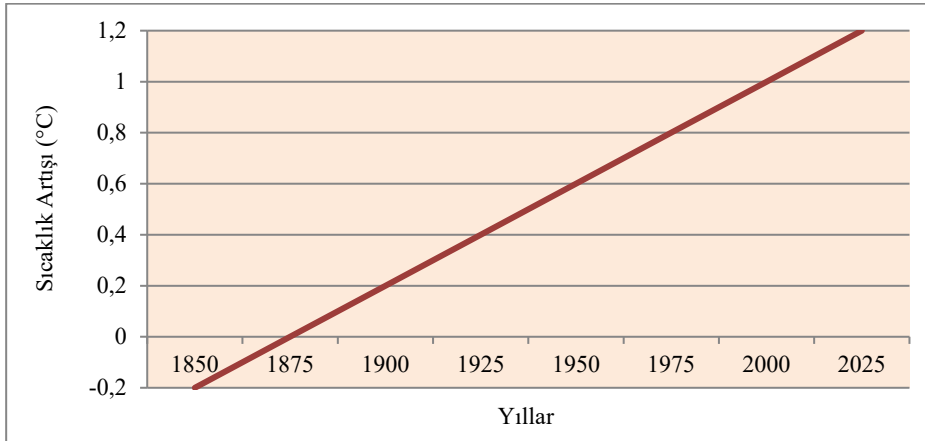


Şekil 1. 1750-2020 yılları arasında CO₂ konsantrasyonu değişimi (Anonim, 2022)

Aslında, küresel iklim değişiminin etkileri 1990'lardan önce başlamış ve bu konuda Fransız fizikçi Joseph Fourier, Paris'te 'Académie Royale des Sciences' adlı dergide yayınlanan yazısında, sera gazlarının etkisini kaleme alan ilk bilim insanı olmuştur. 1990'lı yıllara gelindiğinde ise iklim değişikliği, bilim insanlarının üzerine en çok araştırma yürüttükleri konulardan biri haline gelmiştir. Nitekim 1990'lı yıllarda, ortalama sıcaklığı en yüksek olan yılın önce 1995 olarak saptanması ve ardından (4 yıl sonra) 1999 yılının sonlarında küresel sıcaklık ortalamasının rekor tazelemesi gerek bilim çevrelerince gerekse doğa ve çevre konularında bağımsız araştırmalar ve projeler yürüten sivil toplum örgütlerince, çeşitli iklim senaryolarına daha gür bir sesle dikkat çekilmesine neden olmuştur. Öte yandan dünyanın birçok noktasında yer alan ve periyodik olarak takip edilen iklim istasyonlarından elde edilen verilere göre; 1990'lı yıllar, son bin yılın en yüksek sıcaklık ortalamasına sahip yılları (Şekil 2) olarak kayda geçmiştir (Hekimoğlu ve Altındeğer, 2008).

IPCC; yani Hükümetler arası İklim Değişikliği Panel Raporunun, 1995 yılını, insan kaynaklı küresel iklim değişikliğinin en önemli kanıtı olarak göstermesinin ardından, 1997 yılında Kyoto Protokolü ile sanayileşmiş ülkeler, sera gazı salınımlarında %5 azalmaya gitmeyi kabul etmişlerdir. Anlaşmaya taraf olan ülkelerin (gelişmekte olan ülkeler dışında), karbon salınımlarını 2008 yılına kadar 1990 yılının karbon salınımı seviyesine indirmiş olması

beklenmiştir. Ancak bu durum beklenildiği gibi olmamıştır (Anonim, 2005; Hekimoğlu ve Altındeğer, 2008). Öte yandan IPCC'nin 3. raporunda, insan kaynaklı küresel ısınmanın gittikçe arttığı vurgulanmıştır (IPCC, 2001). IPCC'nin 4. raporunda ise iklimdeki sıcaklık değişimlerinin (artış oranının) ne kadar olacağının öngörülemediği bildirilmiştir (IPCC, 2007). Bu raporda ayrıca gelecek yıllarda artacak olan karbon salınımlarına bağlı olarak sıcaklıkların artacağı, kutuplarda ise artan sıcaklıklara bağlı olarak buzulların eriyeceği ve deniz seviyelerindeki yükselmelerle (Oral ve Kaya, 2022) deniz taşkınları ve tsunamilerin dünyanın çeşitli yerlerinde gerçekleşebileceği de öngörülmüştür. 2008 yılında 250 km²'lik bir buz dağının buzullardan ayrılmasıyla birlikte bilim insanları, IPCC'nin 6. raporunda öngörülen iklim değişikliği seviyelerinden daha ileride bir değişimin, daha hızlı bir şekilde gerçekleşebileceğine dikkat çekmişlerdir (Hekimoğlu ve Altındeğer, 2008; IPCC, 2021).



Şekil 2. 1850-2025 yılları arasında giderek artan sıcaklık değerleri (°C) (Anonim, 2020)

Sürdürülebilir yaşamın temel kaynağı olan su kaynaklarının azalması, iklim değişikliğinin sebep olduğu en önemli küresel sorunların başında gelmektedir. Su kaynaklarının azalması, insan yaşamını doğrudan ve dolaylı yoldan etkilediği için iklim değişikliğine sebep olan insanoğlu, bu sonuçtan en başta yine kendisi etkilenmektedir. IPCC'nin 6. raporuna göre su kaynaklarındaki azalış dünya üzerindeki bitki örtülerini ciddi bir şekilde etkilemektedir (IPCC, 2021). Bunun yanı sıra tarım sektörü de bu kuraklıktan ciddi boyutlarda etkilenmektedir.

Hem insan yaşamının devamlılığı için hem de ekolojinin korunması ve ekolojik dengenin bozulmaması açısından, su kaynaklarının israf edilmemesi ve geri dönüşümlü bir şekilde kullanılması gerekmektedir (Karaman ve Gökalp, 2010; Kurtgil ve Beyhan, 2021).

Doğal sistemlerin korunması ve sürdürülmesi, insan yaşamındaki aktivitelerin doğal kaynaklara bağlı olması sebebiyle hayati bir öneme sahip olmaktadır. Bu değişimlerin tamamı iklim değişikliğine bağlı kalmaktadır. Küresel ortalama sıcaklığın 1.5°C artmasıyla beraber ormanların gelişimleri ve yenilenmelerinde azalmalar ve biyolojik çeşitliliğin bozulması beklenmektedir (IPCC, 2021).

Atmosferde artan CO₂ konsantrasyonuna bağlı olarak, dünya ormanlarının büyük bir kısmında vejetasyon evrelerinde farklılıklar ve alansal kaymaların yaşanacağı beklenmektedir. Sıcaklık artışlarıyla artan sıklıkta durdurulamayan orman yangınlarının gerçekleşmesi ile ekosistemin önemli ölçüde değişime uğrayarak tahrip olacağı öngörülmektedir (IPCC, 2007). Türkiye'nin de içinde bulunduğu ılıman ve subtropik iklim kuşağındaki ormanların, küresel iklim değişikliğinden önemli ölçüde etkileneceği tahmin edilmektedir. Küresel ortalama sıcaklıklarda 1.0-3.5 °C arasındaki bir artışın; orta enlem bölgelerinde bugünkü sıcak kuşakların gelecek yüzyılda kutuplara doğru kaymasıyla birlikte iklim kuşaklarının bir üst kuşağa kayması sorununu da beraberinde getirmesi beklenmektedir (Anonim, 2000).

2023 yılında rapor edilen IPCC'nin 7. İklim Değişikliği Raporu'na göre; bir önceki raporda belirtilen 1.5 °C ortalama sıcaklık artışına yaklaşma hızımızın artmaya devam ettiği görülmektedir. Bu nedenle bütün raporlarda belirtilen tedbirlere daha sıkı uyulması gerekmektedir. Yine bu raporda, şu an su tüketiminde ve suyun kullanımında tercih edilen yöntemlerin kullanılmasına devam edildiği sürece, 2030 yılına kadar su arzı ve su talebi arasında oransal olarak %40'lık bir açık oluşacağı öngörülmekte olup, bugün tatlı suyun depo edilmesinin hayati önem taşıdığı vurgulanmaktadır (IPCC, 2023).

Küresel iklim değişikliği senaryolarında; günümüzde bahçe bitkileri yetiştiriciliğine uygun olan tarım arazilerinin birçoğunun gelecekte yetiştiriciliğe elverişsiz hale geleceklerine ilişkin tahminlere sıklıkla rastlanmaktadır. Bu tahminlere göre iklim değişikliğinin bahçe bitkileri yetiştiriciliği üzerindeki en önemli etkisinin; kuşak kaymaları nedeniyle yetiştiricilik bölgelerinin yer değiştirmesi olarak görülmektedir (IPCC, 2021).

2. KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SEBZE YETİŞTİRİCİLİĞİNDE BÜYÜME-GELİŞME ÜZERİNE BİLİLEN VE OLASI ETKİLERİ

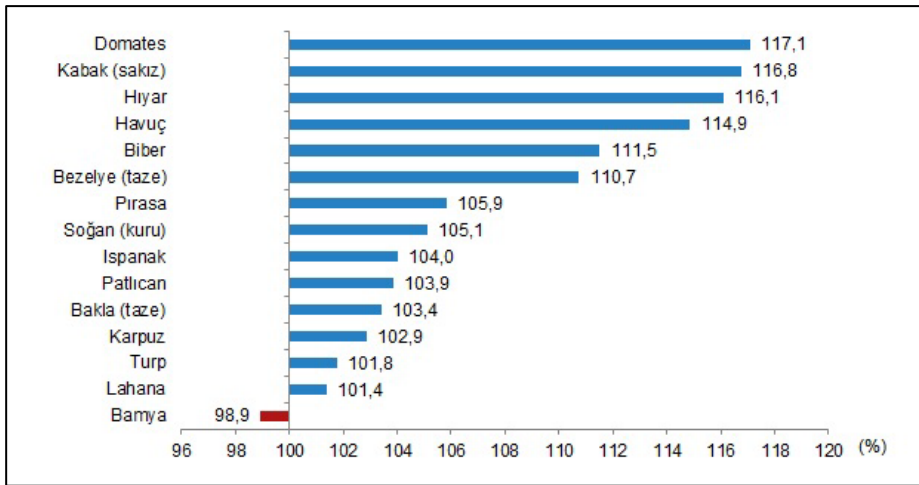
Sebzeler, temel besin kaynaklarını sağlamaları sebebiyle insan vücudu için gerekli olan vitaminler, mineraller ve mikro besinlerin eksikliklerini gidermek amacıyla en iyi gıda kaynakları arasındadır (Spaldon ve ark., 2015).

Dünya çapında sebze üretimi, son çeyrek yüzyılda iki katına çıkmış ve sebzelerdeki küresel ticaret, tahıl ticaretini aşmış durumdadır. Bu sebeple sebze yetiştiriciliği, küresel ölçüde önemli bir konumdadır (FAO, 2009; Ayyogari ve ark., 2014).

Türkiye’de sebze yetiştiriciliği için kullanılan üretim alanları 741 bin hektar alanı kaplamaktadır (TÜİK, 2025a). Günümüz olan 2025 yılından 5 yıl önceki verilere bakıldığında sebze ürünlerinin üretim miktarları 2021 yılında 2020 yılına göre % 1.8 artış göstererek 31.8 milyon tona yükselmiştir. Sebze türlerinin alt gruplarından yumrusu ve kökleri yenilen sebzelerin üretimi, % 6.9 artarken, kuru soğan üretim oranı % 9.6, kuru sarımsak üretim oranı ise % 13.5 oranında artmıştır. Meyvesi yenilen sebze türlerinin üretimi ise % 0.9 oranında artmıştır. Bu grupta bulunan kapa (salçalık) biber üretimi % 11.9 ve hıyar üretimi % 0.2 oranında artarken, domates üretim oranı % 0.8 oranında azalmıştır. Yaprığı yenilen sebze grubuna dahil olan beyaz lahana üretimi % 0.6 oranında artarken yine yaprağı yenilen sebze grubunun diğer bir türü olan ıspanak üretimi % 5.7 oranında azalmıştır (TÜİK, 2021). Türkiye’de yetiştiriciliği yapılan sebzeler, tüketilen kısımlarına göre gruplandırıldığında; en fazla üretimi yapılan sebze grubu, meyveleri tüketilen sebzelerdir (TÜİK, 2020).

Yukarıda 2020-2021 yıllarında sebze ürünleri üretim miktarını vermiştik. 2025 yılı 24 Ekim bitkisel üretim öngörülerinde ise 2025 yılında bir önceki yıla göre sebze ürünleri üretim miktarının %0.8 azalarak yaklaşık 33.3 milyon ton olacağı tahmin edilmiştir. Sebze grubu ürünlerinden karpuzda %8.3, kuru soğanda %2.6, kavunda %17.5 oranında üretim artışı; domateste %7.6, salçalık kapa biberde %6.3, taze fasulyede %8.3 oranında üretim azalışı olacağı tahmin edilmiştir (TÜİK, 2025b). Bu üretim verilerinin bilinmesi ve önceden tahmin edilmesi, ürünlerin arz-talep dengesinin kurulması oldukça önemlidir. Bu sebeple TÜİK tarafından her referans dönemi ürün denge tabloları oluşturulmaktadır.

Ürün denge tabloları, tarımsal ürünlerin arz kaynaklarını ve kullanım şekillerini belirli bir referans dönemi boyunca karşılaştırarak ayrıntılarıyla ortaya koyan tablolardır. Yeterlilik derecesi; bir bölgenin kullanılabilir üretiminin yani iç üretiminin, o bölgenin talebini veya yurt içi kullanımını (insan, hayvan ve endüstrinin bütün ihtiyaçları) hangi ölçüde karşılayacak durumda olduğunu göstermektedir. Değerin, 100'den küçük olması, üretimin yurt içi talebi tam olarak karşılayamadığı durumu temsil etmekte iken, 100'den büyük olan bir değer, iç ihtiyaçları geçen, ihraç edilebilir ve/veya stoklanabilir miktarların varlığını göstermektedir (TÜİK, 2025c). Aşağıda 2023-2024 sebze üretimi denge tablosu verilmiştir.



Şekil 3. Sebze üretimi denge tablosu, 2023-2024 (TÜİK, 2025c).

Sebze üretimi denge tablosu, 2023 yılı üretim miktarları esas alınarak 2023-2024 piyasa dönemine göre hesaplanmıştır (TÜİK, 2025c).

Tüm sebze ürünleri için 2023-2024 piyasa döneminde yurt içinde yapılan üretimin, yurt içi talebini karşılama derecesi %111.3 olmuştur. Sebze üretimlerinde en yüksek yeterlilik dereceleri; domateste %117.1, sakız kabağında %116.8, ve hıyarda %116.1 olarak gerçekleşmiştir (TÜİK, 2025c).

Genel olarak sebzelere baktığımızda; serin iklim sebzeleri (Brüksel lahanası, bezelye, pazı, lahana, kırmızı pancar, kereviz, turp, tere, marul, pancar, soğan, pırasa, havuç vb.), ortalama olarak; 15-18 °C sıcaklıkta en iyi gelişimi göstermektedir. Bu sebzelerin yetiştiriciliğinde en yüksek sıcaklık değerleri 27-30 °C aralığında iken, en düşük sıcaklık değerleri ise 2-4 °C

arasında değişmektedir. Sıcak iklim sebzeleri ise (biber, bamyaya domates, fasulye, hıyar, kavun, karpuz, kabak, patlıcan vb.), ortalama olarak; 25-30 °C sıcaklıkta en iyi gelişimi göstermektedir. Bu sebzelerin yetiştiriciliğinde en yüksek sıcaklık değerleri 35-36 °C aralığında iken, en düşük sıcaklık değerleri ise 9-10 °C arasında değişmektedir. Yetiştirme dönemi boyunca belirtilen bu sıcaklık değerlerinin sağlandığı koşullarda, yetiştiricilik başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiş olmaktadır. Çünkü; serin ve sıcak iklim sebzeleri için, ancak verilen bu sıcaklık değerleri aralığında bitki gelişimi devam edebilmektedir. Aksi durumda, sebze türlerinde strese girme eğilimi gözlenebilmektedir (Anonim, 2015).

İklim değişikliğinin sebze yetiştiriciliği üzerindeki potansiyel etkilerini sıralayan Putland ve Deuter (2011), bu etkileri; optimum yetiştirme dönemi ve mevsimlerdeki değişiklikler, sıcaklıkla ilgili sebze kalitesindeki değişiklikler, çeşit kalitesindeki değişiklikler ve bu çeşitlerin bulunabilirliği, bulunsu dahi değişen iklim şartlarında çeşit özelliklerini yansıtmadaki değişiklikler olarak gruplandırmıştır. Diğer bir çalışmada, yavaşlayan metabolizma ve azalan fotosentetik aktivitenin de sebze yetiştiriciliğinde verimin düşmesine de neden olduğu belirlenmiştir (Ayyogari ve ark., 2014).

Yetiştiriciliği bu derece hassas olan sebze türlerinin, pazar fiyatları da ekstrem iklim şartlarından önemli ölçüde etkilenmektedir (FAO, 2009). Sebze türlerinde bir dinlenme döneminin olmaması, sebzeleri iklim değişikliğine karşı daha duyarlı hale getirmektedir (Türkoğlu ve ark., 2012). Yetiştirilen sebze türünün fenolojik gelişme evresine göre değişmekle beraber, sebze yetiştiriciliğinde iklimin değişmesi; vejetatif gelişmeyi, generatif gelişmeyi, meyve tutumunu ve verimi önemli ölçüde etkilemektedir. Bu etkiden sebze türlerinin fazla derecede etkilenmesinin sebebi; bu türlerin morfolojik olarak odunsu bitkilere kıyasla çok daha hassas olmalarıdır (Ayyogari ve ark., 2014).

TÜİK (2020) verilerine göre, Türkiye'nin sebze üretim değerlerinde bir artış söz konusu olsa da, Türkiye iklim değişikliğinden en fazla etkilenecek ülkeler arasında gösterilmektedir. Bu ülkeler; ECA (Avrupa ve Orta Asya) ülkeleri olup Türkiye, Rusya ve Arnavutluk gibi ülkelerdir. Bu nedenle değişen iklim koşullarının sebze üretimi bakımından Türkiye'yi etkileyeceği düşünülmektedir (Talu, 2015).

Değişen iklim koşulları sebebiyle artan sıcaklıklar; zararlı böcek popülasyonlarındaki artışlar, verimin azalması, bitki salgın hastalıkların

yaygınlaşması gibi sorunları beraberinde getirmektedir. Bu nedenle sebze yetiştiriciliğinde ürün kayıpları meydana gelmekte ve yetiştiricilikte risk göz ardı edilememektedir (Spaldon ve ark., 2015).

2.1. Sebze Yetiştiriciliğinde Değişen İklim Parametrelerinin Etkileri

2.1.1. Sıcaklık

İklim değişikliğinin etkileri (aşırı yüksek ve düşük sıcaklıklar, sel, toprak tuzluluğu, kuraklık, düşük ve yüksek toprak nemi, düşük ve yüksek hava oransal nemi gibi); sebze yetiştiriciliğinde ürün kalitesini ve verim miktarını belirleyen önemli sorunları oluşturmaktaysa da iklim değişikliğinden büyük oranda sorumlu tutulan sıcaklık değerleri, sebze yetiştiriciliğini birincil olarak etkilemektedir (Tunç ve Demirbaş, 2022).

Sebze yetiştiriciliğinde sıcaklık değerleri yetiştiriciliğin her aşamasında oldukça önemlidir. Çünkü bitki gelişiminde rol oynayan fizyolojik ve enzimatik faaliyetlerin çoğu sıcaklık değerlerine bağlıdır (Yavaş ve ark., 2020).

İklim değişikliği sebze kalitesinde azalmalara ve ciddi ürün kayıplarına neden olmaktadır. Sebze yetiştiriciliğinde meydana gelen iklimsel dalgalanmalar, ürünün hasat sonrası rafta kalma süresini de olumsuz etkilemektedir (Spaldon ve ark., 2015). Tüm bunların yanında, iklim değişikliğine bağlı gelişen sıcaklık artışı sebebiyle, depolama sırasında aflatoksin üreten mantar popülasyonlarında da artış görülmesi muhtemeldir (Cotty ve Jamie-Garcia, 2007; Carlson ve ark., 2017).

Yüksek sıcaklık stresinin; meyvelerdeki C vitamini, nişasta, şeker, uçucu aroma bileşikleri ve antosiyanin içeriğinin yanı sıra birçok antioksidan bileşiğin de miktarını azalttığı belirlenmiştir (Cotty ve Jamie-Garcia, 2007). Kışlık bir sebze türü olan soğanda, baş oluşumu sırasında bitki gelişiminin diğer dönemlerine göre daha yüksek sıcaklıklar istense de, mevsim normallerinin üstündeki sıcaklıklarda daha küçük başların oluştuğu görülürken, aynı zamanda sıcaklık artışının verimi de azalttığı belirlenmiştir (Lawande ve ark., 2010).

Sebze yetiştiriciliğinde sıcaklığın etkisi, aslında çok daha önceden anlaşılmıştır. Küresel iklim değişikliğinin, sebze yetiştiriciliğinde üretimi en fazla etkileyen faktörü olan sıcaklığın etkisini, günümüzden yarım asır önceki bir literatür kaynağında bile görebilmek mümkündür. Söz konusu çalışmada; yüksek yaz sıcaklıkları ve düşük nem koşullarına sahip bir bölge olan Sudan'da

domates üretimindeki verimin tatmin edici olmaması nedeniyle, yüksek sıcaklığın domates verimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada, sıcaklık değerleri olarak; yüksek (35 °C gündüz ve 25 °C gece) ve düşük sıcaklıklar (22 °C gündüz ve 18 °C gece) baz alınmıştır. Çalışma sonucunda yüksek sıcaklık koşulları altında küçük ve cılız çiçekler oluşurken, çiçek dökümü de önemli ölçüde artmıştır. Yüksek sıcaklık koşulları altında yetiştirilen domates çiçeklerinden elde edilen polenlerin tüp büyümesi, düşük sıcaklık koşullarında yetiştirilenlerden daha yavaşken, dökülen çiçeklerden elde edilen polenler ise hiç çimlenmemiş ve tüp büyümesi göstermemiştir (Abdalla ve Verkerk, 1968). Bu durum şu çıkarımı yapmamıza olanak tanımaktadır; yüksek sıcaklık stresi nedeniyle dökülen çiçekler, üreme kabiliyetlerini tamamen yitirmiş olabilmektedir. Bunun yanında, üreme kabiliyetlerini yitiren çiçekler de dökülmüş olabilmektedir.

Şanlıurfa ilinde yapılan başka bir çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan bu çalışmada, Urfa yerli domates genotiplerinin, yüksek sıcaklığa tolerans düzeylerinin belirlenmesi amacıyla, bazı morfolojik ve fizyolojik özellikleri incelenmiştir. Dört farklı Şanlıurfa yerli genotipi, sıcaklığa toleranslı 10 farklı çeşitle karşılaştırılmıştır. Bitkilerin 3 farklı sıcaklık döneminde; optimum (28/21°C), orta yüksek sıcaklık (32/22°C) ve yüksek sıcaklık (37/27°C) değerlerinde yetişmeleri sağlanmıştır. Çalışma sonucunda, sıcaklık stresinin vejetatif aksamardan daha çok generatif organları olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir. Buna göre yüksek sıcaklıklar; çiçek tozu canlılığını düşürerek, meyve tutumunu azaltmaktadır. Ayrıca tohum çimlenme süresi artan sıcaklıktan etkilenmezken, çimlenme oranı düşmüştür. Çiçeklenme oranının %50'ye ulaşma zamanının ise sıcaklık artışıyla beraber azaldığı belirlenmiştir (Soylu, 2006).

Normal iklim koşulları altında sıcaklıkta meydana gelen ani bir değişime karşı, birçok bitkide olduğu gibi sebzelerde de enzimatik reaksiyonlar sonucu HSPs'ler, yani yüksek sıcaklık proteinleri oluşmaktadır. Bu proteinler bitki bünyesinde bulunan ve sadece stres koşulları altında uyarım sonucu meydana gelen proteinlerdir. Ancak, devamlı süren ve alışlagelmişin dışında olan yüksek sıcaklıklarda, biyolojik katalizör görevi gören enzimlerin yapısı bozularak denatüre olmaktadır. Bu durumda bitkiler sıcaklığa karşı savunma mekanizmalarını devreye koyamamaktadır (Biçer, 2021).

Yapılan bir çalışmada, küresel iklim değişikliğinin sıcaklık değerlerinde meydana getirdiği değişimin bitki tozlanması üzerine dolaylı etkilerinin olup olmadığı araştırılmıştır. Araştırmacılar; karpuzda 2099 yılını örnek alarak, bu yıla kadar olan zamanda sıcaklık ortalamasında 2.4 °C ile 6.4 °C'lik artışın, tozlanma oranında %14.5 azalmaya neden olacağını ve bu nedenle yabancı tozlanmanın da artacağını tahmin etmişlerdir. Yapılan bu çalışmanın sonucundan yola çıkarak araştırmacılar; küresel iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini en aza indirmek için yerli biyoçeşitliliğin korunmasının gerekli olduğunu belirtmişlerdir (Garibaldi ve ark., 2013).

Daha yüksek sıcaklıklar, yumrusu yenen patates gibi sebze türlerinde yumru oluşumunu değişime uğratarak geciktirecektir (Singh ve ark., 2009). *Solanaceae* familyasında özellikle domates türünde, yüksek sıcaklıklar nedeniyle kalite parametrelerinde önemli düşüşlerin yaşanması beklenmektedir (Ayyogari ve ark., 2014).

Küresel iklim değişikliğinin, ülkemizdeki seraların büyük çoğunluğunda yetiştiriciliği yapılan domates (*Solanum lycopersicon ssp.*) türünün çiçeklenmesi için; termoperiyodizm denilen dönüşümlü düşük ve yüksek sıcaklıklara art arda maruz bırakılarak çiçek açtırma olayını da olumsuz etkileyeceği düşünülmektedir. Çünkü sera içi sıcaklığının düşük tutulması gerektiği dönemde hava sıcaklığı oldukça yüksek olabilirken, sera içi sıcaklığının yüksek tutulması gerektiği dönemde de, mevsim normallerine kıyasla daha düşük sıcaklıklar yaşanabilmektedir. Bu durumda da sera ısıtma veya soğutma masrafları artabilmektedir. Bunun yanında sebze türlerinin vejetatif ve generatif safhalarında, farklı sıcaklık istekleri olduğu göz önünde bulundurulduğunda; her iki gelişme döneminde de aynı sıcaklıkların olması bitkinin gelişme döngüsünü bozabilmektedir.

Yapılan araştırmalar sonucunda, küresel ısınmanın sebzelerin çiçeklenme sürelerine de etki ettiği bildirilmektedir (Spaldon, 2015). Sebzelerde vernalizasyon olarak adlandırılan; çiçeklenmenin soğuklama sonucu teşvik edilmesi durumunun, küresel iklim değişikliğinin getirdiği etkilere göre değişebileceği tahmin edilmektedir. Bitkilerin gelişimleri için minimum ve maksimum sıcaklık sınırları bulunmaktadır. Ancak bitkiler en iyi gelişimlerini optimum sıcaklık derecelerinde gerçekleştirmektedir. Sıcaklığın bitki gelişimi için en düşük değerlere yaklaşması durumunda büyümede yavaşlamalar görülürken, en yüksek değerlere yaklaşması halinde ise büyüme

tümüyle durmaktadır. Seralarda sebze yetiştiriciliği; sera içi sıcaklığının 15 °C'nin altına düşürülmediği, 34 °C'nin de üzerine çıkarılmadığı durumlarda başarılı sonuç vermektedir (Uzunoğlu ve ark., 2015). Ancak küresel iklim değişikliğiyle beraber artan sıcaklıklar, sera içi sıcaklıklarını da artırarak hem bitki gelişim evrelerinde dengeyi bozmakta hem de sera içinde kırmızı örümcek gibi yüksek sıcaklık seven sera zararlıları için uygun ortamı hazırlamaktadır (Yaşar ve ark., 2021).

2.1.2. Toprak Tuzluluğu ve Fizyolojik Kuraklık

Toprağın uygun ayrışma sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda, toprak ayrışma süresinin uzaması ve ayrışmayan toprağın verimliliğinin düşmesi beklenmektedir (Özkan, 2021). Bunun yanında artan sıcaklıklarla beraber yüksek buharlaşmaya maruz kalan tarım arazilerinde, topraktan evaporasyonla su kaybının da artması beklenmektedir. Toprakta bu şekilde kaybedilen su, toprak yüzeyindeki tuz miktarını yani tuz konsantrasyonunu da artırmaktadır. Aynı zamanda sulama suyuyla tarım arazilerinde biriken tuz da tuzluluğun oluşmasında önemli bir etkidir (Flowers ve ark., 1977).

Bitkilere tuz stresinin verdiği zarar iki farklı (osmotik ve iyon stres) yolla gelişmektedir. İlki, köklerin toprak mikroorganizmalarından doğrudan etkilenen bölgesinde (rizosfer) tuz birikimi sonucu osmotik stresin oluşmasıdır. Bu stres toprakta mevcut olan suyun kullanılmasını da sınırlandırdığı için fizyolojik kuraklığa da sebep olmaktadır. Toprakta su olduğu halde bu su kullanılmadığı için hücreler genişleyememekte ve sürgün gelişimi yavaşlamaktadır. Osmotik stresin bir sonraki aşamasında meydana gelen iyon stresıyla birlikte Na ve Cl iyonlarının K^+ , Ca^{2+} ve NO_3^- gibi temel besin elementleri ile rekabete girmesiyle birlikte bitkilerde, besin eksikliği veya dengesizliği meydana gelmektedir (Tuteja, 2007). İkincisi ise; bitkilerde biriken iyonların etkisiyle bitki bünyesinde meydana gelen toksik bileşikler ve yapısal bozulmalar, iyon stresini meydana getirmektedir (Parida ve Das, 2005). NaCl tuzunun neden olduğu diğer etkiler; DNA, protein, klorofil ve zar fonksiyonuna zarar veren aktif oksijen türlerinin (AOT) sentezi, fotosentezin inhibisyonu, metabolik toksisite, K^+ alımının engellenmesi ve hücre ölümü olarak sayılabilmektedir. Tuzluluğun bitkiler üzerindeki etkisi; bitkinin türüne hatta çeşidine, tuz miktarına ve strese maruz kalma süresine göre değişmektedir. Bitkiler tuzlu topraklarda, genotipik farklılıklarına göre tuzluluk

stresine farklı tepkiler vermektedirler (Hu ve Schmidhalter, 2005). Öte yandan küresel ölçekte artan hava sıcaklığının, tarım yapılan alanlarda evaporasyonu artırmasıyla paralel olarak toprak yüzeyine taşınan yegane tuz NaCl değildir. Çeşitli kaynaklar K^+ , Ca^{++} ve Mg^{++} iyonlarının da evaporasyonun artışı ile yüzeye taşınımalarının arttığını ortaya koymuştur. Söz konusu tuzların tamamı, ticari amaçlı üretimi yapılan sebze türlerinin pek çoğu için stres etkeni olarak bildirilmiştir (Karakaş Dikilitaş, 2013).

Tuzluluğun, özellikle glikofit bitkiler üzerindeki gelişmeyi geriletici ve durdurucu etkisi olduğu bilinmektedir. Sebzeler otsu ve yarı otsu yapıda oldukları için tuz stresine odunsu bitkilerden daha duyarlıdırlar. Tuzluluğu tolere edebilen sebzelerin yanında tuzluluğa çok duyarlı sebze türleri de mevcuttur (Giordano ve ark., 2021). Buna bir örnek verecek olursak; tuzluluğa en dayanıklı sebze türü ıspanak iken, en duyarlı sebze türü ise fasulyedir. Fasulye gibi tuzluluğa duyarlı sebzelerin yetiştiriciliğinde, tuzlu yetiştirme ortamı düşünülememektedir (Ekmekçi ve ark., 2005).

Küresel iklim değişikliğinin en önemli iki sonucu olan kuraklık ve tuzluluk faktörleri; özellikle sıcak ve kurak olan, İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu gibi bölgelerimizde sebze yetiştiriciliğini sınırlandırmaktadır (Karadoğan ve Özgen, 2006). Nitekim kuraklık stresi koşullarının biber yetiştiriciliğinde %50-60 oranında verim kaybına neden olduğunu Devi ve arkadaşları (2017)'da bildirmiştir. Küresel ölçekte artan sıcaklıklar ve düzensizleşip azalan yağışlar da dikkate alındığında; yeterli ve kaliteli su sağlayan kaynaklar olmadan, gerek günümüzde gerekse gelecekte sebze yetiştiriciliğinin yapılması düşünülememektedir.

Görüldüğü üzere tuzluluk ve kuraklık stresi; dünya sebze üretiminde hali hazırda önemli kısıtlayıcı faktörler olarak karşımıza çıkmakta ve üretimde büyük sorunların yaşanmasına neden olmaktadır (Ayyogari ve ark., 2014). Küresel ölçekte artan sıcaklık ve kuraklık faktörlerinin sebze türlerinin üretimini sınırlayıcı etkilerini artırarak devam ettireceği öngörüsüne neden olmaktadır.

2.1.3. Yağış, Su Kıtlığı ve Kuraklık

İklim değişikliğinin etkilediği başlıca sebzeler, açık arazide yetiştirilen yazlık ve kışkık sebzelerdir. Bu sebzeler düzenli sulamaya ihtiyaç duyan sebzelerdir. Öte yandan bu sebzelerin, vejetasyon periyodunun belirli

bölümlerinde yağmur suyuna ihtiyaçları olduğu gibi çiçeklenme döneminde de aşırı yağmur ve rüzgâra karşı duyarlılıkları vardır (Hansen ve ark., 2012).

İklim değişikliği, yağmurla sulanan sebzeler üzerinde doğrudan etkili olmasına rağmen bu etki sadece yağmurla sulanan sebzeler için değil, diğer tüm sebze türleri için de önemlidir. Yağmurlar, toprakta su depolanmasını sağlamakta ve toprağın su ihtiyacını gidermektedir. Eğer toprakta yeteri kadar nem mevcut değilse karşılaşılabilecek ilk faktör kuraklık stresidir (Spaldon ve ark., 2015). Sadece yağışın azalması değil aynı zamanda artması ve dengeli düşmemesiyle beraber sıklaşan aşırı hava olayları; toprağın alt katmanlarına, yani su tutma kapasitesine zarar verebileceği için sebze yetiştiriciliğinde büyük öneme sahip olan toprak neminin toprakta tutulmamasına da sebep olmaktadır (Ayyogari ve ark., 2014).

Küresel iklim değişikliği çoğu zaman artan kuraklıkla ilişkilendirilse de dünyanın bazı bölgelerinde, kuraklık yerine aşırı ve normale göre daha sık yağışların görülmesi beklenmektedir. Günümüzde dahi dengeli düşmeyen ve giderek artan yağış rejimleri, tarım arazilerinde su baskınlarına sebep olarak birçok sorunu beraberinde getirmektedir. Bu sorunlardan ilki bitkilerin fiziksel olarak sel sularından etkilenip mekanik olarak zarar görmesidir. Diğer ise toprak tekstürünün %25’lik kısmını oluşturan hava kanallarının suyla dolması sebebiyle sebze köklerinin havasız kalarak zarar görmesidir. Bunun yanında aşırı nemli toprak koşullarında; fungal hastalıkların çeşitliliği ve görülme sıklıkları da artmaktadır. İklim değişikliğinin aşırı ve sık yağışlara neden olacağı öngörülen yörelerde; yukarıda sıralanan sorunlar nedeniyle sebze yetiştiriciliğinin olumsuz etkilenmesi muhtemeldir (Kocaçalışkan, 2003).

Ülkemizde de, sıcaklık artışlarının yanı sıra, yağışların zamanlamasının ve miktarlarının değişmesi ve özellikle yağışların farklı mevsimlere kayması ve aşırı yağışların görülmesi beklenmektedir. Nitekim artan sıcaklıkların, Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde 2018 yılı yazında gerçekleştiği gibi; Haziran sonlarına kadar süren ani ve aşırı yağışlara sebep olabildiği durumlar görülebilmektedir (MGM, 2018). Benzer yağışların gerçekleşmesi halinde; sebze yetiştiriciliğinde ekim-dikimden hasada kadar, yetiştiriciliğin hemen her döneminde zarara sebep olacağı tahmin edilmektedir. Diğer taraftan, aşırı yağın yağışlar nedeniyle tarım arazilerini sel şeklinde su basmasıyla da bitki kökleri oksijensiz kalarak su baskınından en temel zararı görmektedir. Su baskınına maruz kalan bitkiler kök bölgesinde bulunan suyu yüksek osmotik

basınç sebebiyle almaya devam edebilmektedir. Ancak bir noktadan sonra bitki turgor durumuna geçtiği ve kök bölgesinde aşağıdan yukarıya suyun taşınmasını sağlamaya yardımcı olan oksijenin olmaması sebebiyle bitkide, alkol türevi bazı yan ürünler üretilmekte ve transpirasyonla da su kaybedememektedir. Dışarıya terleme yoluyla sıcaklık verilememesi sebebiyle, bitki sıcaklığı da artmaktadır. Artan bitki sıcaklığıyla bitkiler sıcaklık stresine girmektedir. Diğer yandan bitki kök bölgesinde patojenlerin hızla çoğalması ve yan ürünlerin toksikliği nedeniyle bitki dokularının normal yapılarını kaybetmesi sonucu bitkiler hızlı bir ölümle karşı karşıya kalabilmektedir (Zhou ve ark., 2019; Yavaş ve ark., 2020).

2.1.4. Sera Gazları

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne taraf olan ülkeler, altı adet sera gazının salınımlarının azaltılmasından sorumlu tutulmaktadır. Bu gazlar: CO₂ – Karbondioksit, CH₄ – Metan, N₂O – Diazot Monoksit, PFCs – Perflorokarbonlar, HFCs – Hidroflorokarbonlar ve SF₆ – Kükürt Heksaflorit'dir. Kyoto Protokolü'nde yer alan sera gazları; CO₂, N₂O ve CH₄ gazlarıdır. Bu gazlara ek olarak sülfür heksaflorid (SF₆), hidroflorokarbonlar (HFC'lar) ve perflorokarbonlar (PFC'lar) da vardır.

Güneş ışınlarının dünyayı ısıtması; güneşten gelen ışınlardan daha çok, dünya üzerinden radyasyonla yayılan ışınlar tarafından sağlanmaktadır. Yansıyan bu ışınlar sera gazlarının başlıcaları olan karbondioksit, metan, azot oksit, florlu gazlar ve su buharı tarafından atmosferde tutulmakta ve dünyanın ısınmasına sebep olmaktadır. Dünya üzerinden yansıyan bu ışınların sera gazları tarafından tutulması olayına 'sera etkisi' denilmektedir. Bu olayın adlandırılmasında sera benzetmesinin yapılmasının sebebi; tarımsal seralarda içeriye giren ışının, örtü materyali ve seradaki gazlar tarafından tutularak seraya yeniden gönderilmesi ve seranın bu sebeple ısınmasına benzer olarak sera örtü materyali görevinin atmosferdeki gazlar tarafından yapılması olarak açıklanmaktadır (Özsoy ve Dinç, 2016).

Sera gazlarının atmosferde sıcaklığı tutmasıyla, atmosferdeki ve dolayısıyla dünyadaki sıcaklık artarak küresel ısınmaya ve akabinde iklim değişikliğine sebep olmaktadır. NASA 'ya göre güneşten gelen radyasyonun %30'u buzullar, bulutlar ve diğer yansıtıcı kaynaklar tarafından uzaya geri yansıtılmaktadır. Radyasyonla yayılan ısının diğer %70'lik kısmı ise topraklar,

atmosfer ve okyanuslar tarafından emilmektedir (NASA, 2020). Ozon tabakasının delinmesinin özellikle bazı gazlara bağlı olduğu, çok daha eski kaynaklara dayandığı bilinmektedir. Öyle ki, Prof. Dr. Erol Aygün'ün Tübitak Dergisi 1989 yılı Şubat sayısında; 'Ozon Tabakasındaki Deliklerin Sebepleri ve Sonuçları' adlı bilimsel yazısında sera gazlarından olan Kloroflorokarbon (CFC) gazlarının, ozon tabakasının delinmesinde en büyük rolü oynayan gazlar olduğu belirtilmiş ve aşağıdaki gibi eklenmiştir. CFC'ler uzun ömürlü bileşiklerdir. Bu bileşikler havaya salındıklarında stratosfere ulaşmaktadır. Güneşten gelen morötesi ışınlar, CFC'lerin parçalanmasına neden olarak atmosfere klor salınmasına neden olmaktadır. Ortaya çıkan bu klor iyonları ozon ile birleşerek klor monoksit bileşiğini oluşturmaktadır. Bu oluşum sırasında oksijen atomları serbest hale gelmektedir. Oksijen atomları da klor monoksit molekülleriyle çarpıştığında, iki oksijen atomu bir araya gelerek bir oksijen molekülünü oluşturmaktadır. Bu zincirleme reaksiyon devam ederek ozon moleküllerini etkilemektedir. Bu bileşiğin atmosferde uzun süre kalması, ozon yoğunluğunun azalmasına neden olarak, ozon tabakasının incelmesine ve gezegenimizin daha fazla sıcaklık etkisi altına girmesine sebep olmaktadır (Aygün, 1989). Sera gazlarının atmosferde dolaşmasına ve atmosfere daha fazla hasar vermesine neden olan su buharı, basınç ve sıcaklık değişimlerine çok hızlı tepki vererek sera gazlarının atmosferde daha uzun süre kalmasına sebep olabilmektedir (Özyol, 2022).

Tüm bunların yanında sera gazlarının tamamen ortadan kalkması bu sorunun bir çözümü değildir. Çünkü sera gazları olmasaydı güneşten dünyaya gelen ısı ve ışınların tamamına yakını uzaya geri döner ve haliyle dünyanın ısısı çok daha düşük olabilirdi. Bu durumda küresel iklim değişikliğinin önemli bir sebebi olan sera gazlarının; varlığının değil yoğunluğunun önem taşıdığı bilinmektedir. Küresel ısınmaya sebep olan sorun ise; bu sera gazlarının yoğunluğunun artması ve daha fazla ısıyı absorbe edip yeryüzüne geri göndererek sera etkisi yapmasıdır (Özyol, 2022).

Sera gazlarından CFC'ler ile etkileşime giren ozon konsantrasyonunun günlük 50 ppb'nin üzerine çıktığı durumlarda, sebze üretiminde %5-15 arasında bir düşüşe neden olacağı ön görülmektedir (Raj ve ark., 2015). Artan ozon gazının bitkilerde stoma iletkenliği mekanizmasını bozması nedeniyle bitki dokuları kararsız hale gelebilmektedir. Bu bozulmanın bitkilerin

adaptasyon yeteneklerinde de bozulmalara yol açacağı tahmin edilmektedir (Spaldon ve ark., 2015).

Ozon tabakasının yoğunluğunun, UV ışınlarını tutma görevini yapamayacak kadar azalması; tüm canlı varlıkları, doğal kaynakları ve sebze yetiştiriciliğini olumsuz yönde etkileyen UV ışınlarının yeryüzündeki yoğunluğunu artırmıştır (Onur, 2016).

Nitekim marullarda yapılan bir çalışmada, fide döneminde uygulanan farklı dozlardaki UV-B ışınının fidelerde bitki boyu, kök uzunluğu ve klorofil miktarında azalmalara neden olduğu tespit edilmiştir (Onur, 2016). Buradan yola çıkarak ozon tabakasının hasarı nedeniyle filtrelenemeyen ışınların; doğrudan veya dolaylı olarak sebze yetiştiriciliğini olumsuz etkileyebileceği söylenebilmektedir.

2.1.5. Atmosferde Artan CO₂'nin Faydaları

Atmosferde artan karbondioksit konsantrasyonları, özellikle C3 bitkilerinde fotosentezi uyarabilmektedir. Çünkü C3 bitkilerinde fotosentez, mevcut atmosferik konsantrasyonlardaki karbondioksit ile sınırlı kalmaktadır. Böylece, iklim değişikliğinin karbondioksit konsantrasyonları gibi bazı etkilerinin, sebze türlerinde daha yüksek verim alınmasına katkısı bulunabilmektedir. Seralarda 600-1000 ppm bandında karbondioksit gübrelemesi (zenginleştirilmesi) yaygın bir uygulamadır (Bisbis ve ark., 2018). Daha yüksek CO₂ seviyesi; stoma yoluyla kloroplasta yayılmakta ve burada Rubisco karboksilasyonunu kolaylaştırmaktadır. Böylece oksijenasyonu, dolayısıyla fotorespirasyonu azaltmaktadır. Nitekim bu konu ile ilgili yürütülen bir çalışmada; kereviz, Çin lahanası, yaprak ve gövde marulu türlerinde; 800-1000 ppm civarında CO₂ konsantrasyonları altında yetiştirildikleri şartlarda verimin iki kattan fazla arttığı belirlenmiştir (Jin ve ark., 2009). Bir başka çalışmada ise 700 ppm karbondioksit konsantrasyonunda yetiştirilen soğan bitkilerinin, 360 ppm'de yetiştirilenlere göre daha yüksek sürgün ve kök kuru maddesi içerdikleri belirlenmiştir (Bettoni ve ark., 2014).

Korres ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada; domates, hıyar ve marul türlerinde, havadaki CO₂ oranı iki katına çıktığında verim %44'e kadar artmıştır (Korres ve ark., 2016).

CO₂ zenginleştirilmesi üzerine yapılan çalışmaların çoğunda; sebzelerde fotosentez, biyokütle ve verim artışı görülmekteyse de, bu artış ışık, besinler

veya su gibi diğer faktörler sınırlayıcı olduğunda fayda sağlayamamaktadır (Reich ve ark., 2015). Örneğin; C4 bitkilerinde fotosentezin mevcut konsantrasyonlarında CO₂'ye doymuş olduğu düşünüldüğü için atmosferik seviyelerdeki değişikliklerden faydalanması beklenememektedir (Bisbis ve ark., 2018).

2.1.6. Rüzgârlar

Artan sıcaklıklar, rüzgârları da etkileyerek sert ve sıcak esen rüzgârlara sebep olmaktadır. Bu rüzgârlar, hızlı ve kurak estiği için rüzgârla tozlanan bitki türlerinde zarara neden olmaktadır. Düşük nemli esen rüzgârlar, özellikle tozlanma ve dölleme döneminde dişikik tepesinin kurumasına sebep olarak, gelen çiçek tozlarının dişikik tepesine tutunamamasına ve döllemenin gerçekleşmemesine sebep olmaktadır (Asar ve ark., 2008). Bu nedenle bu rüzgârlar, meyvesi yenen sebze türlerinin tozlanma ve dölleme döneminde estiğinde verim üzerinde mutlak sınırlayıcı bir etkiye sahip olmaktadır.

Örtü altı sebze yetiştiriciliğini olumsuz yönde etkileyen iklim faktörlerinden biri de, kış aylarında hızı fırtına düzeyindeki hızlara ulaşan rüzgârlardır. Örtü altı sebze yetiştiriciliğinin önemli bir kısmının plastik seralardan meydana geldiği yetiştiricilik bölgelerinde, hızlı esen rüzgârlar konstrüksiyon malzemesine zarar vermektedir. Diğer sera örtü materyallerine göre daha ucuz ve alınabilir olan plastik örtüler, böyle hava akımlarından önemli ölçüde zarar görmektedir. Türkiye’de serada sebze yetiştiriciliğinin yoğun bir şekilde yapıldığı kış aylarından aralık, ocak ve şubat ayları fırtınalı günlerin en çok yaşandığı aylar olarak bilinmektedir. Fırtınanın sera örtü materyaline ve konstrüksiyonuna zarar verdiği bu duruma karşı, özellikle yetiştirme döneminde fırtınalı günlerin yaşandığı bölgelerde, dayanıklı örtü materyalleri kullanılmalıdır (Zaman ve ark., 2007).

3. KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİYLE BİRLİKTE SEBZELERDE DEĞİŞEN KALİTE PARAMETRELERİ

Sebze türlerine ve yenilebilir kısımlarına (meyve, yaprak, kök gibi) bağlı olarak, ürünün kalitesi çeşitli özelliklerle karakterize edilebilmektedir. Bir grup sebze kalite özellikleri; şekil (örn. boyut, renk), doku (örn. sıklık, gevreklik, esneklik), lezzet (örn. tatlılık, acılık, burukluk), koku ve tüketici algısına göre niteliklerde ayırt edilebilirken, diğer bir grup sebze kalite özellikleri ise mineraller, vitaminler, antioksidanlar ve bitkilerin ikincil (sekonder)

metabolizması tarafından üretilen diğer bileşiklerin oluşturduğu kimyasal kompozisyon ile ilgili özellikleri içermektedir. Meyve ve sebzelerin hem dışsal hem de içsel kalite parametreleri, belirli bileşiklerin sentezi yoluyla metabolizması tarafından düzenlenmektedir. Böylece hem dışsal hem de içsel kalite parametrelerini etkileyen çeşitli metabolik yollar oluşturulmuştur.

Tarımsal ürünler üzerine iklim değişikliğinin etkisiyle ilgili çoğu çalışma; temel olarak ürün gelişim döngüsüne ve/veya verim üzerindeki nicel etkilere odaklanmıştır (Christopoulos ve Ouzounidou 2021). İklim değişikliğinin, sebzelerin kalite özellikleri üzerindeki etkilerine ilişkin veriler literatürde sınırlı ve yüzeysel bilgi halinde kalmıştır. İklim değişikliğinin sebze kalitesi üzerindeki etkisini azaltmak için teknolojik uygulamalar, tarımsal yönetim uygulamaları ve sosyo-ekonomik sistemde yenilikçi eylemler ve önlemler uygulanarak ilgili kalite kaybı risklerinin azaltılması gerekmektedir.

4. KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİYLE BERABER GELEN ÇÖL TOZLARININ SEBZE GELİŞİMİ ÜZERİNE BİLİNER VE OLASI ETKİLERİ

Sebze yetiştiriciliğinin önemli iki konusu olan tozlanma-döllenme ve fotosentez olaylarını etkileyen toz bulutları; tozlanma döneminde dışıca tepesine yapışarak polenin gelip yapışacağı yeri kaplamak suretiyle tozlanmayı, dolayısıyla döllenmeyi, meyve tutumunu ve verimi olumsuz etkilemektedir (Özkan, 2021). Bitki için besin fabrikası görevi gören yaprakların tozla kaplanması ise fotosentezin önüne geçebilmektedir. Böylece bitki, fotosentezle üretilmesi gereken besini bulamadığı için besin stresine girebilmektedir (Özkan, 2021).

Sebze yetiştiriciliğinde ciddi kayıplara sebep olan nematod gibi toprak zararlılarının tozlarla taşınması nedeniyle sebze yetiştiriciliği zarara uğrayabilmektedir (Sharma, 2010).

Ancak, sebze yetiştiriciliğinde bu tozların her zaman olumsuz durumlara sebep olduğunu söylemek doğru olmamaktadır. Tozlarla birlikte yer değiştiren, havaya ve toprağa karışan mantarlar, farklı maddeleri parçalayarak hayatlarını sürdürmeye çalışırken, toprak strüktüründe sıkışıp kalan besin maddelerinin serbest kalıp toprağa karışmasına olanak sağlayarak, toprağı besin maddelerince zenginleştirmektedir (Özkan, 2021). Ayrıca çöl tozları çok

zengin bir içeriğe sahip olduğu için, toprak için gübre niteliği de taşıyabilmektedir (Shinn ve ark., 2000).

5. KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SEBZE YETİŞTİRİCİLİĞİNDE PARAZİTER HASTALIKLAR ÜZERİNE BİLİNER VE OLASI ETKİLERİ

Küresel iklim değişikliği, hastalıkları taşıyan vektör böcek popülasyonlarında artışa sebep olurken, bu böceklerin yaşam coğrafyalarının genişlemesine ve vektörlük yaptıkları hastalıkları daha önce gitmedikleri alanlara ve bitkilere taşımalarına da neden olmaktadır (Ostfeld, 2009). Küresel iklim değişikliği nedeniyle farklılaşan iklim koşullarına bağlı olarak, daha önceleri bir bölgede rastlanılmayan paraziter hastalıklara rastlanabileceği belirtilmektedir (Ostfeld, 2009). Böylece gezegenimizin paraziter hastalıklar için her geçen gün daha yaşanılır bir hale geleceği ve bu hastalıkların yaygınlaşmasında optimum koşulları sağlayacağı tahmin edilmektedir. Artan sıcaklıkla beraber vektör böceklerin taşıdıkları paraziter hastalık etmenleri, vektör içerisindeki gelişim sürecini hızlandırarak konukçusunu çok daha kısa periyotlarda enfekte edebilecektir (Samways, 2005; Yaşar ve ark., 2021).

İklim değişikliği; zararlı ve hastalık yoğunluğunu, konak-patojen etkileşimlerini ve dağılımını, böceklerin yaşam döngülerini, ortaya çıkış zamanlarını, yeni yerlere göçlerini ve onların kışlama kapasitesini de etkilemektedir (Coakley ve ark., 1999; Yaşar ve ark., 2021).

Değişen iklim koşulları, sera sebze yetiştiriciliğinde ürün verimine, bitkiye, yetiştiriciliğe zarar veren hemen her hastalığa optimum koşulları sağlamakta ve bu hastalıkları olduğundan daha etkili hale getirmektedir. İklim değişikliği etkileri altında olmadan, hastalıkla kontamine olan bir bitkiye söz konusu hastalık etmeni, değişen iklim koşulları altında ve sera koşullarında normalde olduğundan daha fazla etki ederek yetiştiriciliği sekteye uğratacak, verimliliği ve dolayısıyla üretimden elde edilen geliri de azaltacaktır. Aynı zamanda konukçu bitkinin de iklim değişikliği sebebiyle fizyolojisi ve biyokimyası değişeceğinden; hastalığa daha uzun süre ev sahipliği yapması muhtemeldir. Tüm bunların yanında, hastalığın konukçusu olmayan bitkilerin de konukçu bitki konumuna girmeleri olasılıklar dahilindedir (Yaşar ve ark., 2021).

6. KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE BAĞLI GELİŞEN BİYOTİK STRES FAKTÖRLERİNİN SEBZE YETİŞTİRİCİLİĞİ ÜZERİNE BİLİLEN VE OLASI ETKİLERİ

Küresel iklim değişikliğinin bir sonucu olarak bitkilerin su stresine girmesi ve bitki biyokimyasında değişimlerin meydana gelmesi, tarımsal zararlı popülasyonlarının beslenme ve üreme davranışlarını birincil derecede etkilemektedir (Spaldon ve ark., 2015).

Artan sıcaklıklarla beraber sebze türlerinin kimyasında meydana gelen değişimler, bitkilere özelleşmiş tarımsal zararlıların başka konukçulara da gitmesine ve zararlının konukçu listesinin daha geniş bir yelpazeye sahip olmasına neden olabilmektedir. Bu durum tarımsal zararlıların beslenme davranışlarını değiştirebilmektedir. Bitkilerde artan sıcaklık nedeniyle meydana gelen su stresi, bitkilerin biyokimyasal yapısını değiştirmektedir. Artan sıcaklıklar; bitki bünyesinde sentezlenen aminoasit, şeker ve alkol yoğunluklarının artmasına sebep olarak bitkilerin zararlı istilalarına karşı daha hassas ve tercih edilir hale gelmesine neden olabilmektedir (Mattson ve Haack, 1987). Bunun yanında stres koşulları altında nişastanın parçalanıp şekere dönüşmesi nedeniyle bitki biyokimyası, böcekler için daha cezbedici hale gelebilmektedir. Su stresi durumunda oluşan primer ve özellikle sekonder metabolitler de bitki öz suyunun lezzetini artırarak bitkileri tarımsal zararlılara karşı hedef konukçu durumuna koymaktadır. Bu durumun sonucunda konukçu bitkiler, birçok tarımsal zararıya konukçuluk edecek şartları taşır hale gelebilecektir. Çekirgeler ve kelebekler gibi tarımsal zararlılar, kimyası değişmiş bu bitkilerle beslenecek ve bu zararlıların üreme potansiyelleri artabilecektir (Özgen ve Karsavuran, 2009).

Özellikle sera yetiştiriciliğinde (organik ve iyi tarım uygulamaları haricinde) yoğun bir şekilde hastalık ve zararlılara karşı ilaçlama yapılmaktadır. Bu sentetik kimyasalların etkinliğinin azalması; seralardaki ilaçlama sayısı ile dozunun artacağı ve bitkide sık ve yüksek dozda kullanılan bu ilaçlara karşı patojen ve zararlıların direnç geliştireceği anlamına gelmektedir (Sharma, 2010).

Küresel iklim değişikliğinin; eklembecaklıların çeşitliliği ve popülasyonu, tarımsal zararlı böceklerin coğrafi dağılışı, popülasyon potansiyeli, böcek biyotipleri, herbivor-bitki etkileşimleri, doğal düşmanların

aktivitesi ve sayıları, türlerin yok olması ve bitki koruma teknolojilerinin kullanım etkinliğinde büyük farklılıklara sebep olacağı tahmin edilmektedir. Artan tarımsal zararlı popülasyonu ve ürünlerdeki kayıpların, küresel iklim değişikliğinin bir sonucu olduğu tahmin edilmektedir (Ostfeld, 2009; Sharma, 2010).

İklim değişikliğinin etkisiyle zararlı böceklerin yayılım alanlarının genişlemesinin; bitkisel üretim alanlarında ürün desenlerinde de değişimlere neden olması beklenmektedir. Öte yandan, küresel iklim değişikliğinin; zararlılara konukçuluk eden bitkilerin direncini, doğal düşmanların (predatörler) popülasyonunu, pestisitlerin ve tarımsal zararlı mücadelesinde kullanılan diğer sentetik kimyasalların etkinliğini de azaltacağı tahmin edilmektedir (Sharma, 2010).

Aşırı düşük ve yüksek sıcaklıklar gibi abiyotik stres faktörleri de biyotik stresin etkisini artırarak sebze üretimine zarar verebilmektedir. Değişen çevresel faktörler; sebzelerde enzimatik aktiviteyi ve biyokimyasal süreçlerin normal şekilde ilerlemesini engellemektedir (Termorshuizen, 2014; Spaldon ve ark., 2015).

Küresel iklim değişikliğinin neden olduğu sıcaklık değişimlerine bağlı olarak; patojenler, yabancı otlar ve zararlıların artacağı öngörülmektedir (Özgen ve Karsavuran, 2009). Hatta bazı patojen ırklarının, yoğun çevresel stres etkisi altında form değiştirerek daha zararlı hale gelmesi olası görülmektedir. Yüksek sıcaklıktan hoşlanan patojenlerin; artan sıcaklık değerlerinde daha uzun süre yaşayarak, normalde olduğundan daha fazla döl verip yetiştirilen sebze türlerine daha fazla zarar verebileceği düşünülmektedir (Ostfeld, 2009). Tüm bunların yanında; hastalık etmenlerinin ve zararlıların daha uzun süre hayatta kalmaları nedeniyle hastalık ve ilaca karşı direnç gibi başka sorunları da beraberinde getirebilmektedir. Nitekim günümüzde de artan kimyasal kullanımı nedeniyle hem bitkilerin dayanıklılık sistemleri etkilenmekte hem de masrafların artması ile yetiştiriciler ekonomik olarak olumsuz etkilenebilmektedir. Benzeri durumların iklim değişikliğinin etkilerinin artması ile daha fazla görülmesi beklenmektedir. Ayrıca günümüzde yaygın olarak kullanılan bazı pestisitlerin etkinliğinin, yüksek sıcaklıklar nedeniyle azalacağı tahmin edilmektedir. (Samways, 2005; Sharma, 2010; Özgen ve Karsavuran, 2009).

Sera gazlarından olan CO₂ artışı ile bazı sebzelerde değişen hormon seviyelerinin, bitki hastalıklarının etki mekanizması üzerine etkilerinin olduğu farklı araştırmacılar tarafından yürütülen çalışmalarla ortaya konulmuştur. Bazı çalışmalarda; domates bitkilerinde, yüksek CO₂ oranlarının salisilik asit (SA) düzeylerinde bir artışa neden olurken, jasmonik asit (JA) düzeylerinde bir azalmaya neden olduğu belirlenmiştir. Bu durum tipik olarak SA'ya bağlı savunmalara duyarlı olan sarı yaprak kıvrıcıklığı virüsüne ve tütün mozaik virüsüne karşı artan direnç ve JA'ya bağlı savunmalara duyarlı olan *Botrytis cinerea*'ya karşı artan duyarlılık ile ilişkilendirilmiştir (Huang ve ark., 2012; Zhang ve ark., 2010). Başka bir çalışmada ise, yüksek CO₂ seviyelerinde domates bitkilerinin *Phytophthora parasitica* tarafından enfeksiyona uğramasına karşı toleransının arttığı belirlenmiştir (Jwa ve Walling, 2001). Marul türünde yapılan bir çalışmada ise; *Fusarium oxysporum*'un neden olduğu hastalığın, yüksek atmosferik CO₂'den etkilenmediği ve hastalık artış hızını önemli ölçüde etkilemediği bildirilmiştir (Ferrocino ve ark., 2013). Soya fasulyesinde yapılan bir çalışmada; yüksek CO₂ seviyeleri, *Fusarium virguliforme* etmeninin neden olduğu ani ölüm sendromunun şiddetini etkilememiştir (Eastburn ve ark., 2011). Sıcaklıkların daha yüksek değerlere ulaşması, hastalık ve zararlıların ortaya çıkmasına ve zararlı popülasyonunun artmasına sebep olmaktadır. Sonuç olarak küresel iklim değişikliğinin neden olduğu yüksek sıcaklık ve kuraklık faktörleri; hastalık etmenlerini daha da agresifleştirerek normal şartlar altında verecekleri zararı daha da artırmaktadır (Partigöç ve Soğancı, 2019).

7. KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SEBZE YETİŞTİRİCİLİĞİNDE BAL ARILARI ÜZERİNE BİLİLEN VE OLASI ETKİLERİ

Arılar, çiçekleri dolaşarak ve çiçek tozlarını dağıtarak birçok kültür bitkisinin tozlayıcısı olarak iş görmektedir. Sebze yetiştiriciliğinde arılar, tozlanmanın önemli bir vektörü olarak bilinmektedir. Tüm kültür bitkilerinde olduğu gibi sebze türlerinin yetiştiriciliğinde de tozlanma; üretimin ön şartı olarak tanımlanmaktadır. Özellikle kendine döllen sebze türlerinde, hem örtü altında hem de açık yetiştiricilikte tozlanma ve döllenmenin optimum düzeylerde olmasının; üründe verim artışı, kalite parametrelerinde artış ve erkencilik gibi ticari açıdan olumlu özellikleri artırdığı bilinmektedir. Bal arıları

(*Apis mellifera*) ve bombus arıları (*Bombus terrestris*), ticari hibrit tohum üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yabancı döllenen sebze türlerinde döllemenin gerçekleşmesi için dişi çiçeğe erkek çiçeklerden çiçek tozlarının taşınması gerekmektedir. Bu bitkilerde tozlanmanın tamamına yakını arıların çiçek tozlarına vektörlük etmesi ile gerçekleşmektedir. Bu sebeple yabancı döllenen bitkilerde arıların kullanılması, verimin en yüksek değerlerde tutulmasının en etkili yöntemi olarak görülmektedir (Turhan, 2013).

Nobel ödüllü ünlü fizikçi Albert Einstein'ın arıların önemi ile ilgili şu sözü her şeyi özetlemeye yetmektedir: “Arılar olmazsa insanlık ancak 4 sene yaşayabilir. Arılar tozlanmayı gerçekleştirmezse dölleme olmaz, bitki olmaz, hayvan olmaz ve son olarak insan olmaz.”.

Seralarda tozlanma için yoğun bir şekilde kullanılan bombus arılarının soğukkanlı hayvanlar olması, yani vücut sıcaklıklarını havanın ve çevrenin sıcaklığına göre değiştirmeleri; arıları iklim değişikliğinin bir sonucu olan sıcaklık değişimlerine karşı daha duyarlı hale getirmektedir (Topal ve ark., 2016; Switanek ve ark., 2017). Sebze yetiştiriciliğin en kritik noktalarından biri olan tozlanmanın, en etkin polinatör böcekleri; bal arıları olarak görülmektedir. Küresel iklim değişikliğinin etkileri sebebiyle, bal arılarının koloni gelişimindeki düzensizlikler, zayıf kolonilerin oluşmasına sebep olmaktadır. Bu zayıf kolonilerde yayılan hastalıklar ve arıların yaşam döngülerinde ihtiyaç duyduğu sıcaklıkların olmaması nedeniyle, tarımsal ürün döngüsünü sürdürmek amacıyla kovan dışı görevine çıkmış bal arıları kovanına geri dönememektedir (Garibaldi ve ark., 2013; Switanek ve ark., 2017).

Diğer yandan yüksek sıcaklık ve polinatör böcek performansı nedeniyle tam döllemeyen çiçek ve küçük meyve dökümlerinin meydana gelebileceği tahmin edilmektedir (Şahin ve ark., 2015). Değişen iklim koşullarıyla artan sıcaklıklar, bitkilerdeki çiçeklenme periyodunu kısaltmaktadır. Bu durumda arılar ve diğer polinatör böcekler besin bulmakta zorlanmakta ve popülasyonlarında azalmalar veya toplu ölümler görülebilmektedir (Switanek ve ark., 2017).

Son 100 yıl içinde, biyolojik çeşitlilikte meydana gelen kayıpların önemli bir nedeni; tür dağılımlarında farklılıklara sebep olan fenolojik ve çevreyle ilgili etkileşimler olarak öngörülmektedir. Örneğin birçok sebze, soğan ve kök bitkileri gibi ürünler polinatör böcekler tarafından tozlanmadığı için; meyve şekillerinde değişimler ve verimde düşüşlerin meydana geleceği

tahmin edilmektedir. Yabancı otların önüne geçilemez bir şekilde artması ve kültür bitkileriyle rekabete girmesi nedeniyle; kültür bitkilerinde olması gereken tozlanma istenilen performansta olamayacaktır (Ayyogari ve ark., 2014; Sağlam ve ark., 2008).

8. SONUÇ

8.1. Küresel İklim Değişikliğinin Olumlu ve Olumsuz Etkileri

Küresel iklim değişikliği ile ilgili geçmişten günümüze kadar birçok veriye ulaşmamız mümkün olmaktadır. Ancak insanlığın bu değişime bakış açısı ve bu değişimi yavaşlatmanın yollarını aramaları çok yenidir. Küresel iklim değişikliğinin her zaman için geçerli olan olumsuz yönlerinin yanında, sebze yetiştiriciliğindeki olumlu sonuçları oldukça kısıtlı kalmaktadır. Bu durumda zaten oldukça az olan bu olumlu sonuçlara odaklanmak yerine iklimdeki değişimleri nasıl yavaşlatabileceğimiz üzerinde durmamız gerekmektedir.

Özellikle sera sebze yetiştiriciliğinde CO₂ gübrelemesinin bitki gelişimi üzerindeki olumlu etkileri tartışılmazdır. Ancak bu CO₂ gübrelemeleri belirli düzeylerdeki konsantrasyonlarda olduğu zaman etkili olmaktadır. Belli seviyelerin üzerinde olduğunda, bitkide olasılıkla olumsuz etkilere yol açabilmektedir (Bárek ve ark., 2009; Ayyogari ve ark., 2014). Hali hazırda günümüzde 410 ppm'in üzerine çıkan CO₂ konsantrasyonları, sebze yetiştiriciliğinde bitki gelişimine en az bir CO₂ gübrelemesi kadar geliştirici etki etmektedir (Şekil 1). Ancak giderek artan sera gazları nedeniyle CO₂ seviyelerinde de artışlar meydana gelmektedir. IPCC raporuna göre 2099 yılında 700 ppm seviyesine gelecek olan CO₂ konsantrasyonunun, farklı iklim koşullarında, bitki gelişimi üzerinde nasıl bir etkiye sebep olacağı tahmin edilememektedir (IPCC, 2007).

İklim değişikliğinin etkileri altında daha sık görülen ekstrem hava olayları, sebzelerin depolanmasını ve dağıtılmasını olumsuz etkileyerek sebze yetiştiriciliğinin alt yapısına zarar verebilmektedir (Costello ve ark., 2009).

Bitkilerin üzerine kuru halde veya yağışlarla düşen çöl tozlarının içeriğindeki demir, alüminyum gibi minerallerin bitki gelişimini olumlu yönde etkilediği, kültür bitkilerinde verim artışını desteklediği belirtilirken; bu çöl tozlarının bitkilerde yaprak yüzeylerini kaplayarak, stomaların fotosentetik işlevlerini azaltarak veya tamamen keserek bitkilerin besinlerini üretmelerini

engelleyebilmektedir. Bu sebeple çöl tozlarının bitkiler üzerinde olumlu ve olumsuz etkileri bulunmaktadır (Bağcı ve ark., 2012).

Artan sıcaklıklarla birlikte orman yangınlarının artması beklenmektedir. Tarımsal zararlıların popülasyonlarında ve üreme hızlarında artış olacağı öngörülmektedir. Artan sıcaklıkların ilk olarak meydana getirdiği abiyotik streslerden en önemlisi kuraklığın artmasıdır ki, bugün bile etkileri dünyayı kasıp kavurmaktadır.

Sıcaklığın artması mevsiminde düşen yağışların dengesini bozmakta ve bu yağışların mevsim dışına kaymasına neden olmaktadır. Yağış dengesinin bozulmasının yanında yağış miktarı da artmakta ve şiddetli yağışlar meydana gelerek tüm tarımsal ürünlerin yetiştiriciliklerinde sorunları da beraberinde getirmektedir. Yine şiddetli yağışların bir sonucu olan ani sellerin artması da, küresel iklim değişikliğinin meydana getirdiği olumsuz etkilerdendir.

Fırtınaların sayısı ve şiddeti artarak bitkisel ve hayvansal üretim faaliyetlerini zarara uğratmaktadır. Sıtma ve benzeri hastalıkları taşıyan sivrisineklerin, mevcut floralarından daha geniş coğrafyalara yayılması beklenmektedir (Sharma, 2010).

Küresel iklim değişikliğinin neden olduğu sıcaklık değişimlerine bağlı olarak bitki patojenleri, yabancı otlar ve tarımsal zararlıların artacağı birçok iklim senaryosunda öngörülmektedir. Hatta patojen ırkların yoğun stres altında form değiştirerek daha zararlı hale geleceği düşünülmektedir (Sharma, 2010). Yüksek sıcaklıktan hoşlanan patojenler artan sıcaklık değerlerinde daha uzun süre yaşayarak daha fazla döl verip epidemilere sebep olabileceklerdir (Ostfeld, 2009).

İklim değişikliği etkilerinin en iyi gözlendiği bitkiler; kuru tarım arazilerinde sulama yapılmadan yetiştirilen bitki türleri olarak bilinmektedir. Tamamıyla iklim özelliklerine bağlı yetişen bu bitkiler üzerinde, değişen iklim etkilerinin daha iyi gözlemlendiği bildirilmiştir (Tunç ve Demirbaş, 2022). Bununla birlikte iklim değişikliğinin sonucu olarak orta ve yüksek enlemlerde bazı bitki türlerinin üretiminin artacağı, tropikal ve subtropikal bölgelerde ise üretim miktarlarının ve verimin azalacağı tahmin edilmektedir (Khasnis ve Nettleman, 2005; Odabaşıoğlu ve ark., 2021).

Küresel iklim değişikliği konusu, bu kadar güncel bir yere sahip olmasına rağmen, iklim değişikliğinin sebze yetiştiriciliği üzerindeki etkileri konusunda yeterince çalışma bulunmamaktadır (Fadairo ve ark., 2020).

Gelecekte tüm dünyada olacağı varsayıldığı gibi Türkiye’yi de daha kurak ve sıcak koşulların beklediği öngörüsüne dayanarak kurak ve sıcak şartlara dayanıklı sebze çeşitlerinin geliştirilmesi ve bu konuyla ilgili geniş kapsamlı interdisipliner araştırma projelerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

9. KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE KARŞI ALINABİLECEK ÖNLEMLER

Enerji kaynaklarının korunması ve yarınlara daha az atık bırakılması amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve enerjinin verimli kullanılması gerekmektedir.

Günümüz dünyasının en büyük tehditlerinden ve küresel iklim değişikliğinin kaçınılmaz sonucu olan kıtlığın önüne geçilmesi amacıyla gıda israfının azaltılması gerekmektedir.

Egzoz gazlarının azaltılması amacıyla kişisel araçlardan daha çok alternatif ulaşım araçlarının kullanılması ya da daha düşük karbon salımlı alternatif araçların kullanımı tercih edilmelidir.

Çevreye verilen zararın önüne geçmek veya en azından bu zararı yavaşlatmak amacıyla atıkların geri dönüştürülmesine yönelik uluslararası projeler ve iş birlikleri artırılmalıdır.

Gezegemimizin her bir ferdinin dengenin vazgeçilemez bir parçası olduğunu göz önünde bulundurarak; ekosistemleri korumak, tarımsal üretimin çevreye verdiği zararı en aza indirmek amacıyla çevre dostu tarım yöntemlerinin kullanılması gibi tedbirlerin alınması gerekmektedir.

9.1. Sebze Yetiştiriciliği Üzerine Küresel İklim Değişikliğinin Sınırlayıcı Etkilerini Azaltma Yolları

Sebze türlerinin gelecekte iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine dayanabilmeleri ve bu şartlara adaptasyon sağlamaları için genetik olarak iyileştirilmeleri, sürdürülebilir sebze yetiştiriciliğinin devamlı olması ve gıda güvenliği konusunun stratejik olarak uygulanması gerekmektedir.

Sebze türlerinin, çeşitlilik özelliklerinin korunması da karakterizasyon gibi uygulamalar ile sürdürülebilmektedir. Sebzelerde yapılan karakterizasyon; sadece mevcut yararlı özelliklerin tanımlanması değildir. Aynı zamanda var olan çeşitliliğin tanımlanıp, türlerin farklı ve üstün özelliklerinin belirlenmesinde ve bu özellikleri yansıtan genlerin tanımlanmasında da büyük

önem taşımaktadır. Böylece; genetiğin gelişmesinde, popülasyonda bulunan bitkilerin genetik çeşitliliği etkili olmaktadır. Popülasyondan elde edilen ebeveynler arasındaki çeşitlilik ne kadar fazla olursa, nesillerin ayrılmasında da üstün rekombinantların heterozisi ve kazancı da o kadar büyük olacaktır. Mevcut popülasyonlardan dirençli bitkilerin seçilmesi ve onların soyundan gelecek olan çeşitlerin geliştirilmesi, ürün verecek olan bitkilerin ıslahında kullanılan ilkel ama verimli bir yöntemdir (Koundinya ve ark., 2012).

Islahta en çok kullanılan geleneksel yöntemlerden biri de geriye melezleme yöntemidir. Bu ıslah yönteminde; elde edilen başarılı bir çeşidin, bir süre sonra iklim değişikliğinin etkisiyle bölgeye gelen yeni bir patojenin yeni bir ırkına dayanımı olmadığı görüldüğünde, bu çeşidin özelliklerinin bir anlamı kalmamaktadır. Bu anlamda bu çeşidin ticari değerini kaybetmemesi bakımından bu ırka dayanıklılık özelliğinin aktarılması gerekmektedir. Geriye melezleme yöntemi tam da burada devreye girmektedir. Bu patojen ırkına dayanıklılık genini, hibrit çeşidimizin ana veya baba hattına aktarmamız gerekmektedir. Bu durumda hangi ebeveyne aktarıldığının bir önemi bulunmamaktadır. Aktarım yapılan hat 4 veya 5 generasyon geriye melezlenip, en az iki generasyon da kendilenerek, hem bu patojenin yeni çıkan ırkına dayanım kazanmış, hem de orijinal özelliklerine % 99 geri dönmüştür. Böylece geliştirilmesi çok zahmet, emek ve zaman isteyen hibrit çeşidimizin ticari piyasada kalma ömrü de uzamıştır.

Tüm bunların yanında rekombinant DNA tekniği ile hastalık ve/veya zararlıya dayanıklılık özelliğinin genler aracılığı ile aktarılması da mümkündür. Bu yöntem çok daha kısa sürede dayanıklılığın kazandırılması konusunda büyük önem taşımaktadır (Anonim, 2021).

Genetik değişikliği bir tarafa koyduğumuz zaman, tarımın yapılmasıyla birlikte sürekli bir şekilde gelişerek kullanılan yöntemlerden biri olan aşılama, iklim değişikliğiyle ortaya çıkan zorlu çevre şartlarında biyotik ve abiyotik stres koşullarına maruz kalan sebze türlerinin ticari olarak üretimine imkân vermektedir. Aşılamada kullanılan anaçların, zorlayıcı çevresel faktörlere karşı dayanıklılığı yalnızca açıkta üretim için değil, örtü altı üretimde de verim artışını ve enerji tasarrufunu sağlamaktadır. Sebzelerde aşılama teknikleri, *Cucurbitaceae* ve *Solanaceae* gibi birçok sebze türüne ev sahipliği yapan başlıca iki familyada uygulanmaktadır. Aşılı üretimin en yoğun olarak yapıldığı türler ise; karpuz, domates ve patlıcan türleridir. Sebzelerde aşılamada temel

amaç; toprak kökenli patojenlere dayanıklılığın sağlanması, abiyotik stres faktörlerine karşı toleransın artırılması, verimin artırılması ve meyve kalitesinin geliştirilmesi olarak sıralanmaktadır (Yetişir, 2004).

Sebzelerde aşılamanın amacı; anacın üstün özelliklerinden yararlanma yoluyla, verimli ve kaliteli bir yetiştiricilik yapmaktır. Güçlü kökleri olan ve hastalık ve zararlılara dayanıklı anaçlara aşılama kalem, etkili su ve besin elementi alımını ve içsel hormonları sağlayarak daha güçlü bitkiler oluşturabilmektedir. Ayrıca, hastalık ve zararlılara ve diğer abiyotik stres faktörlerine dayanıklılığı olan anaçlar, kimyasal uygulamalara başvurmadan üretimin sürdürülebilirliğine önemli katkı sağlamaktadır (Balliu ve Sallaku, 2017).

KAYNAKLAR

- Abdalla, A.A. & Verkerk, K. (1968). Growth, Flowering and Fruit-Set of The Tokat at High Temperature. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 16(1), 71-76.
- Anonim (2000). İklim Değişikliği Özel İhtisas Komisyonu Raporu, https://www.researchgate.net/publication/294582024_SEKIZINCI_BE_S_YILLIK_KALKINMA_PLANI_IKLIM_DEGISIKLIGI_OZEL_IHTISAS_KOMISYONU_RAPORU_2000_DPT_2532_IKLIM_DEGISIKLIGI_OZEL_IHTISAS_KOMISYONU_548_Ankara_Turkiye_Rapor_tor_Murat_Turkes / (Erişim tarihi: 08.08.2024)
- Anonim (2004). <https://iklim.gov.tr/bm-iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi-i-33> .
- Anonim, (2005). https://tr.wikipedia.org/wiki/Kyoto_Protokol%C3%BC (Erişim tarihi: 04.06.2025)
- Anonim (2015). Sebze Yetiştiriciliği Ders Dökümanı https://www.ankara.bel.tr/files/5214/3893/6685/SEBZE_YETTRCL/ (Erişim tarihi: 10.10.2024)
- Anonim (2020). 1850-2025 Yılları Arasında Giderek Artan Sıcaklık Değerleri (°C), Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), <https://www.mgm.gov.tr/> (Erişim tarihi: 12.09.2025)
- Anonim, (2021). Nedim Mutlu-Antalya Tarım Online Hastalık ve Zararlılara Karşı Dayanıklılık Islahı-F1 Hibrit Sebze Islahı <https://www.youtube.com/watch?v=IjP5VNLSdIl> (Erişim tarihi: 22.07.2025)
- Anonim (2022). 1750-2020 Yılları Arasında Giderek Artan Karbondioksit Konsantrasyonu (ppm). <https://www.climate.gov/media> (Erişim tarihi: 17.09.2023)
- Asar, M., Yalçın, S., Yücel, G., Nadaroğlu, Y. & Erciyas, H. (2008). Ziraî Meteoroloji. *Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Yayınları*. Ankara sf.112
- Aygün, E. (1989). <https://services.tubitak.gov.tr/edergi/yazi.pdf;jsessionid=PTmi+dJVh2Rz6PDy01Ao114?dergiKodu=4&cilt=22&sayi=255&sayfa=46&yaziid=4938> (Erişim tarihi: 24.07.2023)

- Ayyogari, K., Sidhya, P. & Pandit, M.K. (2014). Impact of Climate Change on Vegetable Cultivation-A Review. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 7(1), 145-155.
- Bağcı, H., Bağcı, H.R. & Şengün, T. (2012). Çöl Tozlarının Beşeri Çevre ve Bitkiler Üzerindeki Etkileri. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (25), 409-433.
- Balliu, A.B. & Sallaku, G. (2017). Exogenous Auxin Improves Root Morphology and Restores Growth of Grafted Cucumber Seedlings. *Horticultural Science*, 44(2), 82-90.
- Bárek, V., Halaj, P. & Igaz, D. (2009). The influence of climate change on water demands for irrigation of special plants and vegetables in Slovakia. In *Bioclimatology and natural hazards* (pp. 271-282). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Bettoni, M.M., Mogor, Á.F., Pauletti, V. & Goicoechea, N. (2014). Growth and Metabolism of Onion Seedlings as Affected By The Application Of Humic Substances, Mycorrhizal Inoculation and Elevated CO₂. *Scientia Horticulturae*, 180,227-235.
- Biçer, T. (2021). *Yüksek Sıcaklık Stresinin Taze Fasulye Genotiplerinde Isı Şoku Proteinlerine Etkileri*. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Bisbis, M.B., Gruda, N. & Blanke, M. (2018). Potential Impacts of Climate Change on Vegetable Production and Product Quality—A Review. *Journal of Cleaner Production*, 170, 1602-1620.
- Carlson, C.J., Burgio, K.R., Dougherty, E.R., Phillips, A.J., Bueno, V.M., Clements, C.F., Getz, W.M., Castaldo, C., Dallas, T.A., Cizauskas, C.A., Cumming, G.S., Doña, J., Harris, N.C., Jovani, R., Mironov, S., Muellerklein, O.C. & Proctor, H.C. (2017). Parasite Biodiversity Faces Extinction and Redistribution In A Changing Climate. *Science advances*, 3(9),1-12.
- Chakraborty, S., Tiedemann, A.V. & Teng, P.S. (2000). Climate Change: Potential Impact on Plant Diseases. *Environmental Pollution*, 108(3), 317-326.
- Christopoulos, M. & Ouzounidou, G. (2021). Climate Change Effects on The Perceived and Nutritional Quality of Fruit and Vegetables. *Journal of Innovation Economics Management*, 34(1), 79-99.

- Coakley, S.M., Scherm, H. & Chakraborty S. (1999). Climate Change and Plant Disease Management. *Annual Review Of Phytopathology*, 37, 399-426.
- Costello, A., Abbas, M., Allen, A., Ball, S., Bell, S., Bellamy, R., ... & Patterson, C. (2009). Managing the health effects of climate change: lancet and University College London Institute for Global Health Commission. *The lancet*, 373(9676), 1693-1733.
- Cotty, P.J. & Jamie-Garcia, R. (2007). Influences of Climate on Aflatoxin Producing Fungi and Aflatoxin Contamination. *International Journal of Food Microbiology*, 119(1-2), 109-115.
- Demirbaş, M. & Aydın, R. (2020). 21. Yüzyılın En Büyük Tehdidi: Küresel İklim Değişikliği. *Ecological Life Sciences*, 15(4), 163-179.
- Demirbaş, N. (2022). İklim Değişikliği Karşısında Tarım Sektörünün Sürdürülebilirliği İçin İklim Uyumlu Tarım: Farklı Ülke Deneyimlerinden Çıkarılan Dersler. *XVII. IBANESS İktisat, İşletme ve Yönetim Bilimleri Kongreler Serisi*. 12-13 Mart, Plovdiv, (Bulgaristan), pp.487-495.
- Deniz, M., İnel, Y. & Sezer, A. (2021). Awareness Scale of University Students About Global Climate Change. *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 43, 252-264.
- Devi, A.P., Singh, M.S., Das, S.P. & Kabiraj J. (2017). Effect of Climate Change on Vegetable Production. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(10), 477-483.
- Di Giusto, B., Lavallee, J.P. & Yu, T.Y. (2018). Towards An East Asian Model of Climate Change Awareness: A Questionnaire Study Among University Students In Taiwan. *PloS One*, 13(10), 1-14.
- Doğan, S. & Tüzer, M. (2011). Küresel İklim Değişikliği ve Potansiyel Etkileri. *CÜ iktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 12(1), 21-34.
- Eastburn, D.M., McElrone, A.J. & Bilgin, D.D. (2011). Influence of atmospheric and climatic change on plant-pathogen interactions. *Plant pathology*, 60(1), 54-69.
- Ekmekçi, E., Mehmet, A. & Tekin, K. (2005). Tuzluluğun Bitki Gelişimine Etkisi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 20(3), 118-125.
- Fadairo, O., Williams, P.A. & Nalwanga, F.S. (2020). Perceived Livelihood Impacts and Adaptation of Vegetable Farmers to Climate Variability and

- Change In Selected Sites from Ghana, Uganda and Nigeria, *Environment, Development and Sustainability*, 22(7), 6831-6849.
- FAO (2009). Principles and Methods For The Risk Assessment of Chemicals in Food. *Environmental Health Criteria*, 240. <https://www.fao.org/home/en/> (Erişim tarihi: 21.06.2024)
- Ferrocino, I., Chitarra, W., Pugliese, M., Gilardi, G., Gullino, M.L. & Garibaldi, A. (2013). Effect of Elevated Atmospheric CO₂ and Temperature on Disease Severity of *Fusarium Oxysporum* F. Sp. *Lactucae* On Lettuce Plants. *Applied Soil Ecology*, (72), 1-6.
- Flowers, T.J., Troke, P.F. & Yeo, A.R. (1977). The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Annual review of Plant Physiology*, 28(1), 89-121.
- Garibaldi, L.A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., Aizen, M.A., Bommarco, R., Cunningham, S.A. & Klein, A.M. (2013). Wild Pollinators Enhance Fruit Set of Crops Regardless of Honey Bee Abundance. *Science*, 339(6127), 1608-1611.
- Giordano, M., Petropoulos, S.A. & Rouphael, Y. (2021). Response and Defence Mechanisms of Vegetable Crops Against Drought, Heat and Salinity Stress. *Agriculture*, (1185):463.
- Hansen, J., Sato, M. & Ruedy, R. (2012). Perception of climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(37), E2415-E2423.
- Hekimoğlu, B. & Altındeğer, M. (2008). Küresel Isınma ve İklim Değişikliği. Samsun Valiliği İl Tarım Müdürlüğü, E.U. *Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 25(1), 89-94.
- Hu, Y. & Schmidhalter, U. (2005). Drought and Salinity: A Comparison of Their Effects on Mineral Nutrition of Plants, *Journal of Plant Nutrient and Soil Science*, (168), 541-549.
- Huang, L., Ren, Q., Sun, Y., Ye, L., Cao, H. & Ge, F. (2012). Lower Incidence and Severity of Tomato Virus In Elevated CO₂ Is Accompanied by Modulated Plant Induced Defence In Tomato. *Plant Biology*, 14(6), 905-913.
- IPCC (2001). IPCC 3.Değerlendirme Raporu, www.ipcc.ch (Erişim tarihi: 28.02.2024)
- IPCC (2007). IPCC 4.Değerlendirme Raporu, www.ipcc.ch (Erişim tarihi: 28.02.2024)

- IPCC (2021). IPCC 6.Değerlendirme Raporu, www.ipcc.ch (Erişim tarihi: 28.02.2024)
- IPCC (2023). IPCC 7.Değerlendirme Raporu, www.ipcc.ch (Erişim tarihi: 21.09.2023)
- Jin, C., Du, S., Wang, Y., Condon, J., Lin, X. & Zhang, Y. (2009). Carbon Dioxide Enrichment by Composting In Greenhouses and Its Effect on Vegetable Production. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172(3), 418-424.
- Jwa, N.S. & Walling, L.L. (2001). Influence of Elevated CO₂ Concentration on Disease Development in Tomato. *New Phytologist*, 149(3), 509-518.
- Karadoğan, S. & Özgen, N. (2006). Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Tarımsal Üretimin Niteliği Değişimi ve Dağılışının CBS Ortamında Analizi, *4.Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri*, 1-8.
- Karakaş Dikilitaş, S. (2013). *Farklı tuz seviyelerindeki topraklarda yetiştirilen domatesin gelişimi ve bazı fizyolojik özellikleri ile toprak iyileştirilmesi üzerine arkadaş bitkilerin etkileri*. Doktora Tezi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.
- Karaman, S. & Gökalp, Z. (2010). Küresel Isınma ve İklim Değişikliğinin Su Kaynakları Üzerine Etkileri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, (1), 59-66.
- Khasnis, A.A. & Nettleman, M.D. (2005). Global Warming and Infectious Disease. *Archives of Medical Research*, 36(6), 689-696.
- Kocaçalışkan, İ. (2003). *Bitki Fizyolojisi*. DPÜ Fen-Edebiyat Fakültesi Yayını, ss.262-263.
- Korres, N.E., Norsworthy, J.K., Tehranchian, P., Gitsopoulos, T.K., Loka, D. A., Oosterhuis, D.M., ..., & Palhano, M. (2016). Cultivars to Face Climate Change Effects on Crops and Weeds: A Review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(1), 1-22.
- Koundinya, A.V.V., Hegde, V., Kedar, S.C. & Karthikreddy, P. (2012). Plant Tissue Culture In Vegetable Crop Improvement. *Agrobios Newsletter*, 10 (12): 19–21.
- Kurtgil, S. & Beyhan, Y. (2021). Yaşam Döngüsü ve Sürdürülebilir Beslenmenin Rolü. *Düzce Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(3), 425-430.

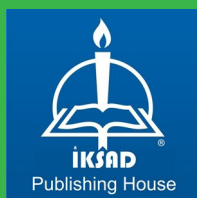
- Soylu, M.K. (2006). *Urfa yerli domates (Lycopersicon esculentum M) genotiplerinin yüksek sıcaklığa tolerans düzeylerinin bazı morfolojik ve fizyolojik özellikler yönünden incelenmesi*. Doktora Tezi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.
- Lawande, K.E. (2010). Impact of Climate Change on Onion and Garlic Production. Challenges Of Climate Change in Indian Horticulture. *Westville Publishing House*, New Delhi, 100-103.
- Mattson, W.J. & Haack, R.A. (1987). The Role of Drought Stress In Provoking-Outbreaks of Phytophagous Insect. *Forest Insect Outbreaks, Academia Press*, New York, 1-19.
- MGM (2018). Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2018 Yılı İklim Değerlendirme Raporu. <https://www.mgm.gov.tr/> (Erişim tarihi: 12. 01.2022)
- NASA (2020). Sustainability Report and Implementation Plan. <https://www.nasa.gov/> (Erişim tarihi: 13.06.2022)
- Odabaşıoğlu, M.İ., İşlek, F. & Çakır, A. (2021). Küresel iklim değişikliği ve Türkiye bağıcılığının geleceğine muhtemel etkileri. *Tarım Uygulamalarında Yenilikçi Yaklaşımlar* (Edit: Kökten, K. & İnci, H.) İksad Publishing House, 257-294.
- Onur, A. (2016). *Marullarda Fide Döneminde Yapılan UV-B Işın Uygulamalarının Bitki Gelişimi, Ürün Verimi ve Kalitesi Üzerine Etkileri*. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- Oral, E. & Kaya, Ş. (2022). The Effects of Global Climate Change on Turkish Agriculture. *10. Uluslararası Tarım, Hayvancılık ve Kırsal Kalkınma Kongresi*, 18 - 19 Temmuz 2022, Sivas, (Türkiye), 10(1).
- Ostfeld, R.S. (2009). Climate Change and The Distribution and Intensity of Infectious Diseases. *Ecology*, 90(4):903-905.
- Özgen, İ. & Karsavuran, Y. (2009). Küresel İklim Değişikliklerinin Böcekler Açısından Değerlendirilmesi. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13(1), 51-61.
- Özkan, S. (2021). Sahra ve Ortadoğu Kaynaklı Çöl Tozlarının Türkiye'deki Ekosistemlere Etkisi. *Avrasya Uluslararası Araştırmalar Dergisi*, 9(28), 413-426.
- Özsoy, C.E. & Dinç, A. (2016). Sürdürülebilir Kalkınma ve Ekolojik Ayak İzi. *Finans, Politik ve Ekonomik Yorumlar*, (619), 35-55.

- Özyol, K. (2022). Çölleşmenin Ekosisteme Etkileri ve Çölleşmeyi Tersine Çevirme Yolunda Sürdürülebilir Tarımın Önemi. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 8(1), 113-122.
- Parida, A.K. & Das, A.B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and environmental safety*, 60(3), 324-349.
- Partigöç, N.S. & Soğancı, S. (2019). Küresel İklim Değişikliğinin Kaçınılmaz Sonucu: Kuraklık. *Resilience*, 3(2), 287-299.
- Putland, D. & Deuter, P. (2011). The Effects of High Temperatures on Vegetable Production and The Rapid Assessment of Climate Risk In Agriculture. In *2011 APEC Workshop on Collaboration on The Promotion of Indigenous Vegetables For Coping With Climate Change and Food Security. Asia-Pacific Economic Cooperation*. 21-24 November, Taipei (China), pp.3-15.
- Raj, S.A., Ratnam, M.V., Rao, D.N. & Murthy, B.K. (2015). Vertical Distribution of Ozone Over A Tropical Station: Seasonal Variation and Comparison With Satellite (MLS, SABER) and ERA-Interim products. *Atmospheric Environment*, (116), 281-292.
- Reich, M., Meerakker, A.N., Parmar, S., Hawkesford, M.J. & De Kok, L.J. (2015). Temperature Determines Size and Direction of Effects of Elevated CO₂ and Nitrogen Form on Yield Quantity and Quality of Chinese Cabbage. *Plant Biology*, 18(1), 63-75.
- Sağlam, N.E., Düzgüneş, E. & Balık, İ. (2008). Küresel Isınma ve İklim Değişikliği. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 25(1), 89-94.
- Samways, M. J. (2005). Insect Diversity Conservation. *Cambridge University Press*. ISBN: 0521789478:266-315.
- Sharma, H.C. (2010). Global warming and climate change: Impact on arthropod biodiversity, pest management, and food security. *National symposium on perspectives and challenges of integrated pest management for sustainable agriculture*, November 19-21, Solan pp.1-11.
- Shinn, E.A., Smith, G.W., Prospero, J.M., Betzer, P., Hayes, M.L., Garrison, V. & Barber, R.T. (2000). African Dust and The Demise of Caribbean Coral Reefs. *Geophysical Research Letters*, 27(19), 3029-3032.
- Singh, J.P., Lal, S.S. & Pandey, S.K. (2009). Effect of climate change on potato production in India. *Central Potato Research Institute, Shimla, Newsletter*, 40, 17-18.

- Spaldon, S., Samnotra, R.K. & Chopra, S. (2015). Climate Resilient Technologies to Meet The Challenges In Vegetable Production. *International Research on Current and Academic Review*, 3(2), 28-47.
- Switanek, M., Crailsheim, K., Truhetz, H. & Brodschneider, R. (2017). Modelling seasonal effects of temperature and precipitation on honey bee winter mortality in a temperate climate. *Science of the Total Environment*, 579, 1581-1587.
- Şahin, M., Topal, E., Özsoy, N. & Altunoğlu, E. (2015). İklim Değişikliğinin Meyvecilik ve Arıcılık Üzerine Etkileri. *Anadolu Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(2), 147-154.
- Talu, N. (2015). Türkiye’de İklim Değişikliği Siyaseti. Phoenix Yayınevi, Ankara.
- Termorshuizen, A.J. (2014). Root Pathogens. In Interactions In Soil: Promoting Plant Growth *Springer, Dordrecht*, (1), 119-137.
- Topal, E., Özsoy, N. & Şahinler, N., (2016). Küresel Isınma ve Arıcılığın Geleceği. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21(1), 112-120.
- Tunç, Z.M.B. & Demirbaş, N. (2022). Gıda Güvencesi Ekseninde Küresel Bir Sorun Olarak Tarımsal Kuraklık: *Dünyada ve Türkiye’de Yapılan Çalışmalar. XVII. IBANESS İktisat, İşletme ve Yönetim Bilimleri Kongreler Serisi*. 12-13 Mart, Plovdiv, (Bulgaristan), pp.352-363.
- Turhan, A. (2013). Sebze Tohum Üretiminde Arıların Önemi. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 13(2), 88-95.
- Tuteja, N. (2007). Mechanisms of high salinity tolerance in plants. *Methods in enzymology*, 428, 419-438.
- TÜİK, (2020). Bitkisel Üretim İstatistikleri. <https://www.tuik.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 15.09.2022).
- TÜİK, (2021). Bitkisel Üretim İstatistikleri. <https://www.tuik.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 15.09.2022).
- TÜİK, (2025a). <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Tarim-111> (Erişim tarihi: 22.11.2025)
- TÜİK, (2025b). <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-2.Tahmini-2025-53938> (Erişim tarihi: 22.11.2025)

- TÜİK, (2025c). <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-%C3%9Cr%C3%BCn-Denge-Tablolar%C4%B1-2024-53941&dil=1> (Erişim tarihi: 22.11.2025)
- Türkeş, M. (1997). Hava ve iklim kavramları üzerine. *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*, (355)36-37.
- Türkoğlu, N., Çiçek, İ. & Şensoy, S. (2012). Türkiye’de İklim Değişikliğinin Meyve Ağaçları ve Tarla Bitkilerinin Fenolojik Dönemlerine Etkileri. *TÜCAUM Uluslararası Coğrafya Sempozyumu Kitabı*, Ankara, 60-71.
- Uzunoğlu, F., Bayazit, S. & Kazım, M. (2015). Küresel İklim Değişikliğinin Süs Bitkileri Yetiştiriciliğine Etkisi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(2), 66-75.
- Wei, Z. & Hong, M. (2009). System Dynamics of Future Urbanization and Energy-Related CO² Emissions in China. *World Academy of Sciences and Engineering and Society Transactions on Systems*, 10(8), 1145-1154.
- Wong, Y.W.A. (2021). İklim Değişikliğinin Buzullar Üzerine Olan Estetiği. (Baykal Gölü, İzlanda ve Grönland Örneği). *Journal of Awareness*, 6(2), 117-135.
- Yaşar, İ., Şahin, K. & Kasap, İ. (2021). Küresel Isınma ve İklim Değişikliğinin Böcekler Üzerindeki Olası Etkileri. *Lapseki Meslek Yüksekokulu Uygulamalı Araştırmalar Dergisi*, 2(4), 67-75.
- Yavaş, İ., Çınar, V.M. & Aydın, Ü. (2020). Bitkilerde Abiyotik Stres Koşullarında Selenyum Metabolizması ve Fizyolojik Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 840-849.
- Yetişir, H., Yarşi, G. & Sarı, N. (2004). Sebzelerde aşılama. *Bahçe*, 33(1), 27-37.
- Zaman, S., Özdemir, Ü. & Sever, R. (2007). Coğrafi Yönleriyle Antalya’da Örtü Altı Süs Bitkileri Yetiştiriciliği. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 12(18), 301-326.
- Zhang, Y., Xu, S., Ding, P., Wang, D., Cheng, Y.T., He, J., ... & Zhang, Y. (2010). Control of salicylic acid synthesis and systemic acquired resistance by two members of a plant-specific family of transcription factors. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(42), 18220-18225.

Zhou, Y., Van Leeuwen, S.K., Pieterse, C.M., Bakker, P.A. & Van Wees, S. (2019). Effect of Atmospheric CO₂ on Plant Defense Against Leaf and Root Pathogens of Arabidopsis. *European Journal of Plant Pathology*, 154(1), 31-42.



ISBN: 978-625-378-521-5