



TÜRKİYE'DE AGROEKOLOJİ: BİLİM, UYGULAMA VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

EDİTÖRLER

Prof. Dr. Zeliha GÖKBAYRAK

Doç. Dr. Nurhan KESKİN

Doç. Dr. Burçak İŞÇİ



İKSAD
Publishing House

TÜRKİYE'DE AGROEKOLOJİ: BİLİM, UYGULAMA VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

EDİTÖRLER

Prof. Dr. Zeliha GÖKBAYRAK

Doç. Dr. Nurhan KESKİN

Doç. Dr. Burçak İŞÇİ

YAZARLAR

Prof. Dr. Birhan KUNTER

Prof. Dr. Hakan ENGİN

Prof. Dr. Köksal DEMİR

Prof. Dr. Ramazan ÇAKMAKÇI

Prof. Dr. Sıddık KESKİN

Prof. Dr. Zeliha GÖKBAYRAK

Doç. Dr. Ayşe KALAYCI ÖNAÇ

Doç. Dr. Burçak İŞÇİ

Doç. Dr. Canan ÖZTOKAT KUZUCU

Doç. Dr. Çiğdem GÖZEL

Doç. Dr. Hakan BAŞAK

Doç. Dr. Nurhan KESKİN

Doç. Dr. Nusret ÖZBAY

Doç. Dr. Onur HOCAOĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Aygül KARACA

Dr. Öğr. Üyesi Fatih Cem KUZUCU

Dr. Öğr. Üyesi Seçkin KAYA

Dr. Öğr. Üyesi Sibel BOYSAN CANAL

Arş. Gör. Dr. Tolga SARIYER

Dr. Müge ŞAHİN

Arş. Gör. Gamze ÇAKIRER SEYREK

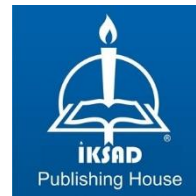
Arş. Gör. H. Nihan ÇİFTÇİ

Zir. Yük. Müh. Salih GÖKKÜR

Gökçe GÖNÜLLÜ SÜTÇÜOĞLU

Neslihan ÖZSOY

Okan ALPTÜRK



Copyright © 2023 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 – 2023©
ISBN: 978-625-367-432-8
Cover Design: İbrahim KAYA
November / 2023
Ankara / Türkiye
Size = 16 x 24 cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....1

BİYOĞRAFİLER.....2

BÖLÜM 1

SÜRDÜRÜLEBİLİR MEYVECİLİK İÇİN AGROEKOLOJİ

Zir. Yük. Müh. Salih GÖKKÜR

Dr. Müge ŞAHİN.....5

BÖLÜM 2

SÜRDÜRÜLEBİLİR PLANLAMA ÇERÇEVESİNDE MAHALLE BOSTANLARI İÇİN AHP VE CBS TABANLI ÇOK KRİTERLİ YER UYGUNLUĞU YAKLAŞIMI – ÇİĞLİ İZMİR ÖRNEĞİ

Doç. Dr. Ayşe KALAYCI ÖNAÇ

Gökçe GÖNÜLLÜ SÜTÇÜOĞLU

Okan ALPTÜRK.....23

BÖLÜM 3

KENTSEL TARIMDA LED AYDINLATMANIN EKOLOJİK KARBON AYAK İZİNE ETKİLERİ

Arş. Gör. Gamze ÇAKIRER SEYREK

Doç. Dr. Hakan BAŞAK

Prof. Dr. Köksal DEMİR.....41

BÖLÜM 4

İKLİMSEL DEĞİŞİMLERİN MEYVE AĞAÇLARINDAKİ BOZULMALARA ETKİSİ

Prof. Dr. Hakan ENGİN.....77

BÖLÜM 5

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE BAĞCILIĞA ETKİLERİ

Doç. Dr. Burçak İŞÇİ.....99

BÖLÜM 6

OLAĞANDIŞI İKLİMSEL KOŞULLARIN EĞRİ UYDURMA YÖNTEMİ İLE YAPILAN BİTKİ BÜYÜME MODELLEMESİNE ETKİLERİ

Doç. Dr. Onur HOCAOĞLU.....119

BÖLÜM 7

NARİNCE ÜZÜM ÇEŞİDİNDE SICAKLIK VE NİSBİ NEM İLE VERİM ARASINDAKİ İLİŞKİNİN MODELLENMESİ

Prof. Dr. Sıddık KESKİN

Doç. Dr. Nurhan KESKİN

Prof. Dr. Birhan KUNTER.....137

BÖLÜM 8

MİKROORGANİZMALARIN BİTKİ GELİŞMESİNİ TEŞVİK MEKANİZMALARI VE TARIMDA BİYOGÜBRE OLARAK UYGULAMALARI

Prof. Dr. Ramazan ÇAKMAKÇI.....161

BÖLÜM 9

DOMATESDE TRICHODERMA HARZIANUM UYGULAMASININ VERİM VE BAZI KALİTE PARAMETRELERİNE ETKİLERİ

Doç. Dr. Canan ÖZTOKAT KUZUCU

Dr. Öğr. Üyesi Fatih Cem KUZUCU

Arş. Gör. H. Nihan ÇİFTÇİ

Arş. Gör. Dr. Tolga SARIYER201

BÖLÜM 10

BİTKİ-NEMATOD ETKİLEŞİMİ: MELATONİN UYGULAMASININ KÖK-URU NEMATODU İLE BULAŞIK DOMATESİN STRES TEPKİSİ ÜZERİNE ETKİSİNİN ZAMANA BAĞLI DEĞİŞİMİ

Prof. Dr. Zeliha GÖKBAYRAK

Doç. Dr. Çiğdem GÖZEL.....215

BÖLÜM 11

KURAKLIK STRESİNİN BİBERİN MORFOLOJİSİ, FİZYOLOJİSİ, BÜYÜMESİ, BİYOKÜTLE VE VERİM KOMPONENTLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Arş. Gör. Dr. Tolga SARIYER

Doç. Dr. Nusret ÖZBAY

Dr. Öğr. Üyesi Aygül KARACA.....233

BÖLÜM 12

SEBZE YETİŞTİRİCİLİĞİNDE YEREL GENOTİPLERİN ANAÇ OLARAK KULLANILMASI

Dr. Öğr. Üyesi Seçkin KAYA.....261

BÖLÜM 13

FİTOREMEDİASYON

Dr. Öğr. Üyesi Sibel BOYSAN CANAL.....279

BÖLÜM 14

TÜRKİYE'DE ARI VE ARI ÜRÜNLERİNDEKİ KALINTI ÇALIŞMALARI, KALINTILARIN ARI VE İNSAN SAĞLIĞI AÇISINDAN RİSKLERİ

Neslihan ÖZSOY.....293

ÖNSÖZ

İnsanlık tarihinde medeniyetlerin yükselişine yol açan en büyük gelişmelerden biri olan tarım, ekosistemlerle uyumlu bir şekilde sürdürülebilirliği sağlamak adına önemli bir dönüşüm geçirmektedir. Gıdadan tekstile birçok endüstriyel ürün için hammadde sağlayan tarımda yaşanan önemli bilimsel ve teknolojik ilerlemelerin sağlamış olduğu verim artışı yadsınamaz. Ancak, geleceğin tarım sistemleri, giderek karmaşıklaşan bir dizi ekonomik, çevresel ve sosyal zorluklarla karşı karşıyadır. Bu zorlukların üstesinden gelebilmek ve gelecek nesillere sürdürülebilir bir tarım mirası bırakabilmek için geleneksel tarım paradigmasını sorgulamak ve daha sürdürülebilir bir yaklaşım benimsemek gerekmektedir.

Agroekoloji, tarımın ekosistem tabanlı ve doğal kaynakları sürdürülebilir bir şekilde kullanmayı amaçlayan bir disiplindir. Bu bilim dalı, geleneksel tarım uygulamalarının yoğun girdi kullanımına (kimyasal gübreler, pestisitler) ve monokültür tarımına (tek bir bitki türünün ağırlıklı olarak yetiştirilmesi) karşı çıkarak, ekosistem hizmetlerini ve biyolojik çeşitliliği vurgular. Türkiye'nin zengin tarım geleneği ve biyolojik çeşitliliği, agroekoloji biliminin ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının bu topraklarda nasıl kök saldığını anlamak için bir zemin sunmaktadır. "Türkiye'de Agroekoloji: Bilim, Uygulama ve Sürdürülebilirlik" adlı bu kitapta, bu önemli konulara odaklanarak, tarımın geleceğini şekillendirecek olan teorik bilgi ve uygulamalar bir araya getirilmiştir. Bu bağlamda kitabın oluşmasına katkı sağlayan tüm yazarlara ve kitabın basım sürecinde emeği geçen İksad Yayınevi çalışanlarına teşekkür ederiz.

Kitabın okuyuculara, doğal kaynakları koruyarak ve ekosistem sağlığını destekleyerek uzun vadeli tarımsal üretim sağlamak için stratejiler geliştirmelerinde yardımcı olabileceğini ümit ederiz.

Editörler

BİYOĞRAFİLER

Prof. Dr. Zeliha GÖKBAYRAK

Dr. Zeliha Gökbayrak Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümünde profesör olarak çalışmaktadır. Lisans eğitimini 1993 yılında Ankara Üniversitesi'nde, yüksek lisans eğitimini ise 1998 yılında Kaliforniya Üniversitesi (Davis) Bağcılık ve Şarapçılık Bölümü'nde tamamlamıştır. 2005 yılında Ankara Üniversitesi'nde tamamladığı doktora eğitiminden sonra halen çalışmakta olduğu üniversitede eğitim ve araştırma çalışmalarını sürdürmektedir. Bitkilerin büyümeyi düzenleyicilere gösterdiği tepkilerine yoğunlaştırdığı çalışmalarının dışında biyokimyasalların stres tepkilerinin düzenlenmesindeki rolleri üzerine de araştırmalar yürütmektedir.

Doç. Dr. Nurhan KESKİN

Ankara'da 26.10.1975 tarihinde doğdu. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü'nden 1996 yılında mezun oldu. Yüksek Lisans eğitimini 2000 yılında Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı'nda tamamladı. Aynı yıl Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı.

İtalya Katolik Üniversitesi'nde 2006 yılında 1 ay süre ile BİYEP (Bilim İnsanı Yetiştirme Projesi) kapsamında bir çalışma yürüttü. Doktora eğitimini 2547 sayılı Yükseköğretim Kanunu'nun 35'inci maddesi kapsamında Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı'nda 2007 yılında tamamladı. Aynı yıl Dr. Araştırma Görevlisi olarak göreve başladığı Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü'nde 2009 yılında Yardımcı Doçent unvanını aldı. Kanada Toronto Üniversitesi'nde 2010-2011 yılları arasında 15 ay süreyle, Hücre ve Sistem Biyolojisi Bölümü'nde ziyaretçi bilim insanı olarak araştırmalar yaptı. Erasmus Öğretim Üyesi Ders Verme Hareketliliği kapsamında 2013 yılında Macaristan Pannonia Üniversitesi'nde 5 gün süre ile Bağcılık dersleri verdi.

Doçent unvanını 25.09.2018 tarihinde alan KESKİN, birçok ulusal projelerde yönetici ve yardımcı araştırmacı olarak görev almış olup, 26 adet SCI indekste yayımlanan eser, 48 adet ulusal ve uluslararası dergilerde yayımlanan araştırma makalesi, 1 kitap çevirisi, 7 kitap editörlüğü, 9 kitap bölüm yazarlığı yapmış ve 200' ün üzerinde atfı mevcuttur.

Alanı ile ilgili yurtiçi ve yurtdışı kongrelere 50'nin üzerinde bildiri ile katıldı. Birçok kongre ve sempozyumun düzenleme ve bilim kurullarında yer alan KESKİN, 21-23 Haziran 2019 tarihleri arasında Ankara'da düzenlenmiş olan 'Hasat Uluslararası Tarım ve Orman Kongresi'nde düzenleme kurulu başkanı olarak görev aldı.

Çalışma alanları, Bağ Yetiştirme ve Islahı, bitki doku kültürü, asma fizyolojisi, resveratrol özelinde asma stilbenleri ve üzüm fitokimyasallarıdır.

Halen, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü Bağ Yetiştiriciliği ve Islahı Anabilim Dalı başkanı olarak görev yapmaktadır. Bahçe Bitkileri Derneği üyesidir.

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tıp Fakültesi Temel Tıp Bilimleri Bölüm Başkanı ve Biyoistatistik Anabilim Dalı başkanı Prof. Dr. Sıddık KESKİN ile 21 yıllık mutlu bir evliliği olup Reyyan ve Eymen isimlerinde 2 kız çocuk annesidir.

Doç. Dr. BURÇAK İŞÇİ

İzmir'de 1975 yılında doğdu. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü'nden 1997 yılında mezun oldu. Yüksek Lisans eğitimini 2000 yılında Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı'nda tamamladı.

2000 yılında Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı'nda doktora eğitimine başladı, 2001 yılında aynı bölümde Araştırma Görevlisi kadrosuna atandı, 2007 yılında doktora eğitimini tamamladı.

CİHEAM bursu kazanarak International Center for Advanced Mediterranean Agronomic Studies, İtalya/Bari'de "Pilot Training Project

for Distance Learning Tutor on Sustainable Agriculture” eğitimine 13.01.2003 - 13.06.2003 tarihlerinde katıldı.

01.07.2005 - 30.09.2005 tarihlerinde CİHEAM bursu kazanarak The Mediterranean Agronomic Institute of Chania’da Dr. Panagiotis Kalailzis’in supervisörlüğünde Bitki Biyoteknolojisi teknikleri laboratuvar uygulamaları yaptı.

2008 yılında İZMİR BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ 'URLA-ÇEŞME-KARABURUN YARIMADASI ULUSAL FİKİR YARIŞMASI' 3.'lük ödülünü kazandı.

Bilim İnsanı Destek Programı Başkanlığı'nın Yurt Dışı Doktora Sonrası Araştırma Burs Programı (2219) kapsamında, 15/10/2013 - 15/10/2014 tarihleri arasında Almanya, JULIUS KUHN INSTITUT (JKI)'da "Genetic Mapping and Localization of QTL Affecting Fungal Disease in Grapevine (*Vitis vinifera* L)." başlıklı araştırma konusuyla ilgili bilimsel çalışmalar yaptı.

Doçent unvanını 18.11.2020 tarihinde alan İŞÇİ, Bahçe Bitkileri Derneği Yönetim Kurulu Üyesi olup, aynı zamanda Biyoteknoloji Derneği, Ege Bölgesi Bağcılık Danışma Kurulu ve Ekolojik Tarım Organizasyon Derneği üyesidir.

Halen Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Anabilim dalında, Bağ Yetiştiriciliği ve Islahı bilim dalında akademik çalışmalarına devam etmektedir.

BÖLÜM 1

SÜRDÜRÜLEBİLİR MEYVECİLİK İÇİN AGROEKOLOJİ

Zir. Yük. Müh. Salih GÖKKÜR^{1*}

Dr. Müge ŞAHİN²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10207934>

¹Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Meyvecilik Şubesi, 35660, Menemen, İzmir-Türkiye, <https://orcid.org/0000-0002-0217-0420>

²Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Meyvecilik Şubesi, 35660, Menemen, İzmir-Türkiye, <https://orcid.org/0000-0002-5570-9143>

*sorumlu yazar: salih.gokkur@tarimorman.gov.tr.

GİRİŞ

Sürdürülebilir tarım toprağın, biyoçeşitliliğin ve su kaynaklarının korunması temelinde, enerji, gıda ve ekosistem hizmetlerine yönelik mevcut ve gelecekteki ihtiyaçları karşılamak üzere tasarlanmış, kârlı, çevreye duyarlı, enerji açısından verimli, hem çiftçilerin hem de halkın yaşam kalitesini artıran tarımsal uygulamaları, üretim ve gıda sistemlerini içerir. Sürdürülebilir tarıma geçiş bir dizi adım gerektiren bir süreçtir. Tarımsal ekosistemler toprak, su, hava, yaban hayatı, böcekler, patojenler, bitkiler ve insanların etkileşim içinde olduğu ekolojik açıdan karmaşık birimlerdir. Çiftçilerin yönetim kararlarını; ürünler, hayvanlar, faydalı organizmalar, zararlılar ve fiziksel çevre arasındaki etkileşimleri etkilerler. Bu kararlarda biyolojik ve ekolojik, ekonomik, sosyal ve hukuki hususlar rol oynamaktadır (Menalled vd., 2008). Ekolojik ağları, sürdürülebilir tarım yaklaşımlarını ve toplumsal hareketleri değişim odaklı, araştırma ve eylem yoluyla birbirine bağlayan dönüştürücü agroekolojidir (Cheng vd., 2022; Karadağ, 2022).

Agroekoloji doğal kaynakların korunarak biyoçeşitliliğin korunmasına, bitki ve hayvan artıklarının toprağın iyileşmesi için kullanılmasına, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin azalmasına katkı sağlayan, tedarik zincirinin sürdürülebilirliğinin sigortasıdır. Agroekoloji terimi canlı ve cansız olan her şeyin yaşam döngüsünü barındırır. Tarımda agroekolojinin iyi bir biçimde yönetilmesi, gıda güvenliğinin sağlanması, çiftçilerin refahının artırılması ekolojinin ve ekonominin yararına yararlıdır. Agroekolojik meyve yetiştiriciliğinde, ürün veriminin belirlenmesinde sulama suyunun kalitesi, toprağın yapısı, meyve türlerine ait çeşitlerin yaşam döngüleri, hastalıkların ve zararlıların döngüleri, iklim değişikliğinin meyve türüne ve tüm yaşam döngülerine etkileri, toprak ve su kaynaklarını koruyarak gübreleme, ilaçlama gibi kültürel faaliyetlerin yapılması önemi rol oynamaktadır.

Bu bölümde meyve yetiştiriciliğinin sürdürülebilir olmasında agroekolojinin önemi değerlendirilerek, meyve yetiştiriciliğinde agroekolojik üretim sistemlerinin içermesi gereken süreçler ile ilgili genel bir çerçeve sunulacaktır. Bu süreçlerin dikkate alınmasıyla hazırlanacak üretim planlamalarının meyvecilik sektöründe sürdürülebilirliğe olumlu etkileri olacaktır.

Agroekolojinin Önemi

Bugüne kadar yapılan agroekoloji ile ilgili çalışmalarda, ekolojik ilkelerin sürdürülebilir tarımsal ekosistemlerin tasarımı ve yönetimine uygulandığı bir bilim olarak kabul edilmiş, biyoçeşitlilik kavramını hayata geçiren çalışmalar yapılmış, sürdürülebilir yaşam temelinde önemi vurgulanmış, büyük ölçüde tarla ve arazi ölçekleriyle başlayan ve ekosistem unsurlarıyla birleşen bir sistem olduğu, nüfus, beslenme ve gıda üretimine bütünsel yaklaşımların olması gerektiği belirtilmiştir (Altieri, 1995; Wezel ve Jauneau, 2011; Gliessman, 2018; Egerer ve Cohen, 2020; Tamburino vd., 2020; FAO, 2022a; Karadağ, 2022). Tarımsal ekosistem tarımın tüm bileşenlerinin ve katılımcılarının gıda sistemine dahil olduğu, hem üreticileri ve hem de tüketicileri kapsayan bir sistemdir. Agroekoloji, eşitlikçi, adil ve herkes için erişilebilir, ilişki temelli pazar sistemleri yaratmanın bir yolu haline gelmiştir (Gliessman, 2018; Karadağ, 2022).

Altieri'ye (1999) göre agroekoloji, üretken ve doğal kaynakları koruyan, aynı zamanda kültürel açıdan duyarlı, sosyal açıdan adil ve ekonomik açıdan sürdürülebilir olan tarımsal ekosistemlerin incelenmesi, tasarlanması ve yönetilmesi için temel ekolojik ilkeleri sağlayan bir disiplindir. Çeşitli alt alanlara ait fikir ve yöntemleri bütünleştiren bir yaklaşım olarak tanımlanabilir (Karadağ, 2022). Agroekoloji, küresel gıda sistemine entegre olarak büyük bir değişim geçirmiştir (Gliessman, 2007; Şerifoğlu, 2022). Agroekolojinin amacı sürdürülebilir bir gıda üretim sistemine rehberlik etmektir (Egerer ve Cohen, 2020; Karadağ, 2022).

Agroekolojinin kökeni tarım bilimlerini, çevre hareketini, ekolojiyi, yerli tarımsal ekosistemlerin analizini ve kırsal kalkınma çalışmalarını kapsar (Karadağ, 2022). Francis vd. (2003) agroekolojiyi ekolojik, ekonomik ve sosyal boyutları kapsayan tüm gıda sisteminin ekolojisinin bütünleştirici bir çalışması olarak tanımlamıştır. Bu tanım araştırmacıyı, eğitimciyi ve öğrenciyi sistemlerin bütünlüğünü ve bağlantılılığını benimsemeye teşvik etmektedir. Agroekoloji, üretim uygulamalarının ve tarla ve çiftlik düzeyindeki acil çevresel etkilerin ötesine geçmektedir (Karadağ, 2022). Tarımsal süreci etkileyebilecek her şey de sürecin bir parçasıdır (Tomich, 2011; Karadağ, 2022).

Gliessman'a (2018) göre agroekoloji, çiftlikten sofraya tüm paydaşların ve aradaki herkesin katılımını gerektirdiği için katılımcıdır. Mevcut endüstriyel gıda sisteminin ekonomik ve politik güç yapılarına alternatif toplumsal yapılar olduğu için eylem odaklıdır (Karadağ, 2022). Agroekoloji kırsaldan kente göçün genel eğiliminin aksine, küçük çiftçilerin toprağa döndüğü “yeniden kırsal alanda yaşama” sürecine katkıda bulunur. Çiftçi örgütleri için agroekoloji, dış girdilere bağımlılığı, krediyi ve borcu azaltır (Altieri ve Holt-Giménez, 2022; Karadağ, 2022). Uygulama olarak agroekoloji, yerel yenilenebilir kaynakların sürdürülebilir kullanımını, yerel çiftçilerin bilgi ve önceliklerini, ekosistem hizmetleri ve dayanıklılığı sağlamak için biyoçeşitliliğin akıllı kullanımını ve yerelden küresele çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan katkıda bulunan çözümleri önceliklendirmektedir. Ayrıca küçük işletme ve aile çiftçiliğini, çiftçileri ve kırsal toplulukları, gıda egemenliğini, yerel ve kısa gıda tedarik zincirlerini, yerli tohum ve tür çeşitliliğini, sağlıklı ve kaliteli gıdayı savunur (FAO, 2022a; Karadağ, 2022). Kırsal temelli agroekolojik yaklaşımlar genellikle çiftçiler arasında kapsamlı sosyal ağlar aracılığıyla geliştirilmekte ve paylaşılmaktadır (Karadağ, 2022).

Agroekoloji salgın hastalıklarla birlikte meyve-sebzelerin makul bir fiyatla temin edilebileceği, kırsal alanlardaki küçük aile işletmelerinin egemen olduğu bir sistem olarak ifade edilebilir. Bu sistemler kırsalda yaşayan ailelere sosyal, ekonomik imkânlar sunan, sürdürülebilir sistemler olmalıdır (Altieri ve Nicholls, 2020; Nizam, 2021). Agroekoloji, herkes için erişilebilir pazar sistemleri yaratmanın bir yoludur (Gliessman, 2018; Karadağ, 2022). Agroekoloji tarımsal üretimde sürekliliği sağlamak, çiftçilerin refahını arttırmak, gıda güvenliğini sağlamak, pestisit kullanımını azaltmak, toprak yapısını iyileştirmek, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden daha az etkilenmesi amacıyla tarımı bilimle ve yeni teknolojilerle birleştiren gıda sistemleri oluşturur (Özkaya vd., 2021; Aşan, 2022; Şerifoğlu, 2022). Peyzajla ilgili ekolojik koşulları ve sosyal sistemleri de dikkate alır (Egerer ve Cohen, 2020; Karadağ, 2022).

Agroekoloji ve İklim Değişikliği

Küresel yüzey sıcaklığını dikkate alan tüm emisyon senaryolarına göre, sıcaklıklar yüzyılın ortasına kadar artmaya devam edecektir. Yakın gelecekte

CO₂ ve diğer sera gazı emisyonlarında ciddi bir azalma olmazsa, 21. yüzyılda 1,5°C ve 2°C küresel ısınma aşılması olacaktır. Kara yüzeyinin, okyanus yüzeyinden daha fazla (muhtemelen 1,4 ila 1,7 kat daha fazla) ısınması beklenmektedir. Kuzey Kutbu'nun, küresel yüzey sıcaklığından (küresel ısınma oranının iki katından fazla) daha fazla ısınmaya devam edeceği düşünülmektedir. 1,5°C'lik küresel ısınmada, gözlem kayıtlarında benzeri görülmemiş aşırı olayların meydana gelmesinde artışlar yaşanacaktır. Önümüzdeki 2000 yıl içinde küresel ortalama deniz seviyesi, eğer ısınma 1,5°C ile sınırlandırılırsa yaklaşık 2 ile 3 m, 2°C ile sınırlandırılırsa 2 ile 6 m, 5°C'lik ısınmada ise 19 ile 22 m artacaktır. Deniz seviyesi önümüzdeki binyılda yükselmeye devam edecektir. İklimsel etki faktörlerindeki değişiklikler, 2°C'deki daha yüksek ısınma seviyelerinde, 1,5°C'lik küresel ısınmaya göre daha belirgin olacaktır (IPCC, 2021; Gökkür vd., 2022).

Canlıların fenolojisini ve yaşam alanlarını değiştirecek olan iklimdeki değişimlerin birçok belirsizlikleri ve yenilikleri beraberinde getirecek olması çok önemli bir konudur. İklim değişikliği nedeniyle tarım alanlarının azalması, bitkilerin fenolojilerinin değişmesi, ürün deseninin değişmesine neden olmakta ve tarımsal üretimi olumsuz etkilemektedir. Günümüzde iklim değişikliğinin etkisiyle tarımda yetiştirilen tüm ürünlerle birlikte, bitkileri etkileyen hastalık ve zararlıların yaşam döngüsü de değişmeye başlamıştır. Son yıllarda dünyanın bazı bölgelerinde bazı yıllarda sıcaklıkların artması nedeniyle hasatlar bazı yıllar erken gerçekleşmekte, bazı yıllarda ise gecikmektedir. Meyve üretiminde fenoloji tarihlerinin farklı olduğu yıllarda hastalık ve zararlıların döngüsü değişeceğinden, mücadele yöntemlerinin zamanını da değiştirmemiz gerekmektedir. Tarımsal ürünlerdeki fiyat dalgalanmaları, üretimi olumsuz etkilemektedir. Günümüzde iklim değişikliğine bağlı olarak tarım alanlarının azalması ve yetiştirme koşullarının değişmesi nedeniyle, üreticiler alternatif ürünler yetiştirmeye başlamışlardır. Doğal kaynaklarımızı etkileyen sıcaklık, nem, yağış, buharlaşma, rüzgâr hızı gibi iklim parametreleri tarımsal üretimi etkilemektedir. İklim değişikliğine bağlı olarak iklim parametrelerinin değişmesi sonucu yaşanan doğal afetler, tarımda verimliliği azaltarak ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu durum hem geçimini tarımdan sağlayan insanları, hem de ülkelerin ekonomilerini etkilemektedir. Ülkeler, iklim değişikliğinin tarımsal üretimi olumsuz etkilediği bölgelerde

agroekolojik yaklaşımlarla, tarımı beklenmedik değişikliklere uyum sağlayacak şekilde yeniden yapılandırarak, insanlığın geleceği için gıda bulunabilirliğini güvence altına alabilirler (Gökkür vd., 2022).

Son yıllarda artan sıcaklıklar ve düzensiz yağışlar nedeniyle dünyanın birçok bölgesi, zaman zaman değişen şiddetlerde kuraklık riskiyle karşı karşıya kalmaktadır. İklim değişikliği nedeniyle yağışların sulama mevsiminden önce düşmemesi, çiçeklenme döneminde aşırı yağış nedeniyle çiçeklerin dökülmesi sonucu ağaçlarda daha az meyve tutumu ve bitkilerin soğuklama ihtiyacını yeterince karşılayamaması, sıcaklık artışları, yıllar içerisinde verimde değişikliklere neden olmaktadır. İklim değişikliği nedeniyle dünyanın birçok yerinde meyve üretiminde verimde azalmalar nedeniyle ekonomik kayıplar yaşanmakta, bu durum gıda arz ve talep dengesinin değişmesine neden olmakta ve meyve yetiştiriciliğinde fiyat yönetimini zorlaştırmaktadır. Agroekolojinin tüm kapsamının değerlendirilmesiyle oluşturulabilecek yeni üretim sistemlerinin yaygınlaşmasıyla, beklenmedik durumların fiyat değişkenliği üzerine etkileri, daha az olacaktır (Gökkür ve Çağır, 2021).

Meyve ağaçları karbon yutakları olduğu için, karbonları depolayıp dünyadaki salınımını azaltarak, iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir rol oynarlar. Bu nedenle meyve yetiştiriciliği, agroekolojinin en önemli ilkelerinden biri olan doğanın ve biyoçeşitliliğin korunmasına imkân sağlar.

Agroekolojinin ilkeleri çeşitlilik, bilginin birlikte yaratılması ve paylaşılması, sinerji, verimlilik, geri dönüşüm, dayanıklılık, insani ve toplumsal değerler, kültür ve geleneksel yemekler, sorumlu yönetim, döngüsel ve dayanışma ekonomisinden oluşmaktadır (FAO, 2022b; Karadağ, 2022). Bu 10 temel ilke birbiriyle bağlantılı ve birbirine bağımlıdır. Agroekolojinin bütünsel ve entegre doğasını yansıtan her bir unsur önemlidir (Barrios vd., 2020; Karadağ, 2022). Meyve yetiştiriciliğinde üretimin agroekolojinin ilkelerine göre planlanmasıyla, sürdürülebilir üretim sağlanabilir.

Agroekolojinin ilkelerinden biri olan döngüsel ekonomi, doğal kaynakların ve malzemelerin yeniden kullanılması ve geri dönüştürülmesi yoluyla, CO₂ emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunur. İklim değişikliğiyle mücadelede döngüsel ekonomi ilkeleriyle başarı elde edilebilir. Tarım sektöründe verimliliğin artırılması için, hasat öncesi ve hasat sonrası tüm

faaliyetlerde agroekolojinin bilimsel olma ilkesiyle uyumlu olan modern tarım tekniklerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Tarımsal üretimde sulama, gübreleme, hasat ve hasat sonrası faaliyetlerde endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımına yönelik ülkelerin desteklerini arttırmaları, tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini olumlu yönde etkileyecektir. Toprak ve su kaynaklarının korunmasına yönelik yapılabilecek çalışmalar, kuraklığa dayanıklı tohum ve fidan geliştirilmesine yönelik ıslah çalışmaları, arazi ve tohum gen bankaları kurularak dünya genetik kaynaklarının korunmasına yönelik çalışmalar, devletlerin bitki hastalık ve zararlılarıyla mücadeleye destekler vermesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılmasına yönelik çalışmalar yapılması, kırsal alanların doğaya ve yaşamın ihtiyaçlarına göre yeniden planlanması için yatırım yapılması, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı tarımın korunmasında faydalı olacaktır (Gökkür vd., 2022).

Meyve Yetiştiriciliğinde Agroekoloji Modeli

Meyve türlerinin insan yaşamındaki tarihsel önemi, sadece beslenme ve sağlık faktörleri açısından değil, ayrıca yerleşik hayata geçiş ve evcilleşme süreçlerine de katkıda bulunan faktörlerden biri olmasından kaynaklanmaktadır (Goldschmidt, 2013; Fuller ve Stevens, 2019; Şahin, 2020; Şahin, 2021). Yüzyılın ortasında 9,7 milyar kişiye ulaşması beklenen nüfus artışı nedeniyle gıda talebini karşılamak için, taze meyve ve sebzelerin tarımsal üretiminin önemli ölçüde artması gerekmektedir (UN, 2022; Miranda vd., 2023). Tarımsal üretimin tüm faaliyetlerinin, doğaya zarar vermeden gerçekleştirilmesi, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirliğin gerekliliklerini karşılaması gerekmektedir (FAO, 2017; Miranda vd., 2023). Gıda israfının önlenmesi önemli bir husustur. Meyve tedarik zincirindeki gıda israfı, meyve yetiştirme koşullarının sağlıklı olmamasından ve meyvenin muhafazasının iyi yapılamamasından kaynaklanabileceği gibi, ürün kalitesinin yetersiz olması nedeniyle meyvenin piyasada reddedilmesinden de kaynaklanabilmektedir (Nicastro ve Carillo, 2021; Miranda vd., 2023). Meyveyi pazarlama kalitesinde tutmak için ürünün muhafazasındaki problemler, hasat sonrası teknolojilerle giderilebilir. İstenilen meyve kalitesine ulaşmak çiftçilerin üretim yöntemlerine bağlıdır (Saitone ve Sexton, 2017; Miranda vd., 2023). Toprağın yapısını iyileştirerek, çevreye duyarlı bir biçimde uygulanacak üretim yöntemleri, meyvenin kalitesinin artmasını olumlu yönde etkileyecektir. Gıda güvenliği, insanın güvenliği için

önemlidir. İnsanoğlunun sağlıklı bir şekilde yaşamını sürdürebilmesi için gerekli olan meyve tüketimini sağlaması, tüketimi yapılan meyvelerin üretiminin, doğaya zarar vermeden gerçekleşmesi gerekmektedir.

Ekolojik restorasyon, doğayı koruyarak insanoğlunun gerçekleştirdiği faaliyetlerdir. Bu nedenle agroekolojinin bir parçasıdır. Agroekolojide ve yapılacak tüm ekolojik restorasyon çalışmalarında tüm faaliyetler detaylı bir şekilde planlanmalıdır. Doğaya yapılan her muamelenin habitatları farklılaştırması meyve genetik kaynaklarımızda çeşitliliğin azalmasına neden olmaktadır (Gökkür ve Şahin, 2015).

Son yıllarda toprak yapısının iyileştirilmesi, yeraltı su kaynaklarının korunması ve doğanın korunması gibi faktörler dikkate alınarak bitki artıklarından elde edilen tamamen doğal gübrelerin tarımda kullanımına başlanmıştır. Atıkların toplanıp gübre olarak doğaya kazandırılması, agroekolojinin temel ilkelerinden biridir. Meyve artıklarının değerlendirilmesi sonucu elde edilecek kompost kullanılarak toprağın verimliliği artırılabilir. Meyve artıklarının tarımda gübre olarak kullanılması, çiftçilerin gelir düzeylerinin artırılmasına önemli katkılar sağlayabilir. Su kaynağı yaşam döngüsünün, tüm tarımsal ürünlerde değer zincirinin ve agroekolojinin bir parçasıdır. Meyvecilikte kullanılan sulama suyunun yeraltı suyuna karışmayan kısmı, tanklarda toplanarak, süs bitkilerinin sulanmasında kullanılabilir (Gökkür ve Çağır, 2021).

Tarımsal faaliyetlerde düşük enerji tüketimi çevrenin korunmasını ve yaşam döngüsünün devamlılığını sağlar. Enerji elde etmek için kullanılan güneş panellerinin tarım arazilerini kaplaması nedeniyle yakın gelecekte meyve yetiştiriciliği yapılacak alanlarda daralma yaşanabilir. Bu sorunu çözmek için agrivoltaik sistemler kullanılabilir. Agrivoltaik sistemler, tarım arazilerinin eş zamanlı olarak mahsul üretmek ve fotovoltaik (PV) elektrik üretmek için kullanılmasına olanak tanır. Bu sistemler ileride bodur meyve yetiştiriciliğinin tercih edilebileceği alanlarda kullanılabilir. Ayrıca tarım arazilerinin biyoyakıt üretimi amacıyla kullanımının artması nedeniyle, meyve yetiştirme alanlarının azalması, meyve üretimini ve biyoçeşitliliği tehdit etmektedir. Biyoyakıt üretimi için kullanılacak tarım arazileri, meyve yetiştiriciliğine uygun olmayan araziler olmalıdır (Gökkür ve Çağır, 2021).

Meyve yetiştiriciliğinde hastalık ve zararlıların yayılmasında türler arası ilişkiler etkili olabilmektedir. Meyve yetiştiriciliği yapılan alanlarında, farklı meyve türlerinin yetiştirilmesine ilişkin planlamalarda, hastalık ve zararlı döngüleri dikkate alınmalıdır (Gökkür ve Çağır, 2021).

Demiroğlu vd. (2016) ve Demiroğlu vd. (2018) ekoloji temelli kentsel planlamalarda su kaynaklarının önemli bir rol oynadığını belirtmişlerdir. Agroekolojinin temel unsurlarından biri olan verimlilik özellikle bu kriteri desteklemektedir (Karadağ, 2022). Meyve türlerinin araziye uygunluk değerlendirmesi açısından su ihtiyaçlarının dikkate alınması, büyük önem taşımaktadır (Kamali ve Owji, 2016).

Su kaynaklarının aşırı kullanımı toprak erozyonuna ve su erozyonuna, doğanın tahribatına ve su kaynaklarımızın azalmasına, aşırı sulamayla meyve ağaçlarında hastalıklara, verim ve kalite düşüklüklerine, hatta ağaçların ölümüne sebep olmaktadır. Agroekoloji verimli kullanımla doğanın korunmasını amaçlar. Doğal kaynakların optimum düzeyde kullanılması ve tarımsal üretimden kaynaklanan atıkların dönüştürülüp, yeniden değerlendirilerek toprak yapısını iyileştirmede kullanılması, tarımın sürdürülebilirliğini olumlu yönde etkiler. Bu durum girdi miktarında ve girdi maliyetlerinde azalmaya sebep olarak, tüm ihtiyaçların olabildiğince kırsaldan karşılama ve dış girdilere bağımlılığın azaltma ilkesiyle de uyum sağlamaktadır.

Agroekolojik kuşaklar büyük ölçüde homojenliklere sahip tarıma uygun alanlardır. Coğrafi Bilgi Sistemleri ile birlikte tarım arazilerinin topoğrafik özellikleri, toprak özellikleri, belirlenerek, tarımsal üretim alanlarının uygunluğuna göre yetiştirilecek ürünlerin belirlendiği bölgelerde, agroekolojik kuşaklar belirlenebilir. Agroekolojik kuşaklar belirlenirken bölgenin su kaynaklarının durumuna, mikro iklim özelliklerine, ekonomik faktörlere göre analizler yapılmalıdır (Sönmez Erdoğan, 2019; Şerifoğlu, 2022).

İnsanoğlu nüfus artışı ve teknolojik ilerlemeler ile birlikte, birim alandan daha fazla ürün elde etmek için kimyasal gübre ve tarımsal ilaç kullanımını arttırmıştır. Bu girdilerin aşırı kullanımı toprak yapısının bozulmasına, su kaynaklarının kirlenmesine, yetiştirilen ürünlerdeki kimyasal kalıntıların tüm canlıların sağlığını tehdit etmesine neden olmaktadır. Biyoçeşitliliği bozmayan, ekolojik tarım veya organik tarım diye adlandırılan tarımsal üretim sistemlerine

yönelik çalışmalar yapılmaktadır (Kırımhan, 2005, Niggli vd., 2007; Küp vd., 2013; Gül vd., 2018; Gökkür, 2019). Organik tarım, doğal girdilerin kullanıldığı, toprak, su kaynakları ve çevrenin korunduğu, sağlıklı gıdaların üretildiği her aşaması kontrollü ve sertifikalı üretim sistemlerinin bütünü olarak tanımlanır (Ak, 2004; Marangoz, 2008; Er ve Başalma, 2008; Gül vd., 2018; Gökkür, 2019). Agroekolojik meyve yetiştiriciliğinde gübreleme, ilaçlama gibi kültürel faaliyetlerde organik tarım yöntemleri kullanılmaktadır.

Meyvecilikte üretim alanlarının azalmasına rağmen birim alandan elde edilen verimin artması, çiftçimizin teknolojik yeniliklere adapte olduğunun göstergesidir. Meyve üretiminde yeni teknolojilerin kullanılması, meyve türlerinin daha fazla insana ulaşmasını sağlamaktadır (Gökkür ve Çağır, 2021). Akıllı tarım sistemleri, agroekolojik meyve üretim sistemlerinde mutlaka bulunmalıdır. Akıllı tarım sistemleri, doğanın korunması prensibini esas alan agroekolojik yaklaşımla bütünsellik içinde biyoçeşitliliği, çevreyi, tarım alanlarını ve tüm canlıların çevreyle ve birbirleriyle olan ilişkilerini, iklim değişikliğinin nedenlerini ve etkilerini, tarımın hammadde sağladığı imalat sanayiye bir bütün olarak değerlendirebilecek şekilde kullanılarak, tarımın sürdürülebilirliğine hizmet edebilir. Akıllı tarım sistemlerinin daha az tohum, gübre ve ilaç kullanımına olanak sağlamasının bitki genetik kaynaklarının ve biyoçeşitliliğin korunmasına, gıda güvenliğinin sağlanmasına, çiftçi refahının artmasıyla geleneksel bilginin gelecek kuşaklara aktarılmasına olumlu etkileri olacaktır. Meyve üreticilerin verilerinin sahipliği ve paylaşımı gibi konularla ilgili hukuki düzenlemelerin yapılması, üreticileri koruyarak akıllı tarım sistemlerine adaptasyonlarını hızlandıracaktır. Kırsal alanlardaki aile işletmelerinin, tarımsal üretimde değer zincirinin tüm paydaşlarının, sisteme dijital hizmet sağlayıcıların, yazılım ve donanım çalışmalarındaki mühendislerin, sosyologların, akıllı tarım sistemlerine entegre olduğu tarımsal üretim modellerinde, standardizasyon oluşturulmalıdır (Çokuysal, 2021). Akıllı tarım uygulamaları, çiftçilerinin satın alabileceği ve kullanabileceği şekilde geliştirilmelidir (Brewster, 1950; Nizam, 2021).

Artan nüfus ve büyüyen şehirler sonucunda hızla yok olan doğal kaynaklar, agroekolojik yaklaşımın her geçen gün daha fazla önem kazanmasına neden olmaktadır. Kentsel tarım alanları, gıda üretim alanları olarak değerlendirilip korunmalıdır (Karadağ, 2022). Altier vd. (2020) ve

Cheng vd. (2022)'de belirtildiği gibi, günümüzün gıda tedariki geleceği şekillendiren konulardan biridir. Sürdürülebilir şehirlerin, gıda konusunda kendi kendine yetebilen, çevreye zarar vermeyen, sağlıklı bir yapıda inşa edilmesi gerekmektedir (Karadağ, 2022). Bu tip yapılar sayesinde üretici ve tüketiciler arasındaki aracı sayıları azalarak, insanoğlunun gıdaya erişim hakkı güvence altına alınabilir.

Günümüzde savaşlar, salgın hastalıklar sonrasında, gıdaya erişimin önemi daha fazla anlaşılmıştır. Tarımsal desteklemelerin arttırılmasına ve çiftçilerin afet risklerine karşı korunmasına, genç nüfusun kırsal alanlarda yaşamını sürdürmesine yönelik çalışmalar arttırılmalıdır. Şehirlere yakın boş arazilerin tarımsal üretim alanları olarak değerlendirilmesi, tarımsal üretimde yakıt tüketiminin ve CO₂ salınımının azalmasına ve girdi maliyetlerinin düşmesine doğanın korunmasıyla agroekolojik tarımın sürdürülmesine, imkân sağlayacaktır (Gökkür ve Arda, 2022).

SONUÇ

Tarımsal üretimde yeniden planlamayla, insanoğlunun adil bir şekilde gıdaya erişim hakkını sağlamak mümkündür. Küresel gıda sistemlerinin öncüsü olabilmeye aday olan agroekolojik üretim sistemleri, doğaya dayalı çözümleriyle çevresel sürdürülebilirliği, tarımsal biyoçeşitliliği, gıdaya erişimde sosyal adaleti, kırsal alanlarda mevcut geleneksel bilginin korunmasını, bilimsel yaklaşımları barındıran, küçük aile işletmelerinin tarımsal üretime dahil olduğu, dış girdilere bağımlılığı azaltan bütüncül sistemlerdir.

Meyve türlerine ait aynı çeşitlerin yetiştiriciliğinin yapılacağı üretim sistemlerinde agroekolojik bölgelerin benzer iklim, toprak yapısı ve topoğrafyaya sahip olması gerekmektedir. Bu bölgelerin kentsel alanlara yakın olması ve meyve türlerinin taşımacılık masraflarını ve çiftçilerin üretim maliyetlerini düşürecektir. Bu durumun çiftçi refahını olumlu yönde etkileyerek, kırsaldan kente göçlerin azalmasına olumlu etkileri olabilir.

Bozulmuş, çatlamış bazı meyveler, budama atıkları, dökülen yapraklar toprağın organik madde ihtiyacını karşılamada kullanılarak, tarımdan geçimini sağlayan kesimin, tarımdaki toplam kültürel faaliyet giderlerinin ve dış

girdilerinin azalmasına neden olur. Bazı meyve türleri için soğuk hava depoları kurularak, hasat sonrası gıda kayıpları azaltılabilir. Meyve ürünlerde depolama, paketleme, işleme gibi hasat sonrası faaliyetlerde, doğa dostu olan yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanımı yaygınlaştırılmalıdır.

Sözleşmeli tarımla, üreticilerin sulama, gübreleme gibi kültürel faaliyetlerde kullanacakları yöntemler, agroekolojinin prensipleriyle uyumlu olmalıdır. Kamunun ürün temininde, küçük aile işletmelerine öncelik veren bir yapı oluşturması, agroekolojinin herkes için adil üretim ilkesini destekleyerek, bazı kriz dönemlerinde meyve üretiminde sürdürülebilirliğe fayda sağlayacaktır.

Meyve yetiştiriciliğinde agroekolojik üretim sistemleri aşağıdaki süreçleri içermelidir:

Yetiştiriciliği düşünülen meyve türüne ait sorunların analizlerinin yapılması, yetiştirilecek meyve türünün seçimi, yetiştiriciliği yapılacak alandaki ekolojik koşullara uygun meyve türünde çeşit seçimi (hastalık ve zararlılara dayanıklılık, çiçeklenme zamanı, düşük soğuklama ihtiyacı, hasat zamanı, yüksek verim, kuraklığa dayanıklılık, taban suyu yüksek arazilerde yetişebilme vb. kriterlere göre), anaç seçimi (agroekolojik tarımın homojenlik ilkesini sağlamak tüm meyve fidanlarının aynı şartlarda yetişmesi için anaç standardizasyonu, dip sürgünü olmaması), anaç çeşit uyumu, tozlayıcı seçimi, arıcılık faaliyetlerinin meyve yetiştiriciliği yapılan alanlarda sürdürülmesiyle tozlaşmayı arttırarak meyve verimini arttırmak, toprak yapısı (toprak tuzluluk değeri, topraktaki mineral besin elementleri, pH vb.), toprak yapısının iyileştirilmesi, su tasarrufu sağlayan sistemlerin kurulması (su erozyonunu ve toprak tuzluluğunu azaltarak, toprak yapısının korunması), taban suyu yüksekliği, drenaj sisteminin olması (drenaj sistemindeki suların, su toplama tanklarında depolanarak ve mümkünse arıtılarak farklı amaçlarla kullanımı), toprak analizine göre gübreleme, iklim özellikleri (sıcaklık, yağış, rüzgar hızı, don ve dolu görülme sıklıkları), üretim yerinin seçimi (su kaynağına, yola, pazarlara, soğuk hava deposuna, paketleme tesislerine yakınlık, arazi hazırlığı (tesviye, sulama, drenaj sistemleri, fidan dikimi için çukur açma vb. faaliyetler) gibi faktörlere göre), meyve türlerinde görülen zararlıların yakın arazilerde konukçu bitki (meyve) türlerinin olmaması, hastalık ve zararlıların yaşam

döngüsüne göre organik tarımda kullanılan mücadele yöntemlerini kullanma, yetiştiricilik dışında gelirlerinin artırılması (arıcılık faaliyetleriyle arı ürünleri elde edilmesi ve pazarlanması, diğer hayvancılık faaliyetleri vb.), meyve atıklarının toprağın yapısının iyileştirilmesinde veya sanayi sektöründe değerlendirilmesi, değer zincirindeki tüm faaliyetler, agroekolojik meyve yetiştiriciliğinde çiftçilerin sahip oldukları geleneksel bilgileri gelecek kuşaklara aktarmalarına imkan sunacak inovatif yöntemler, meyve yetiştiriciliği yapan çiftçilere verilecek desteklemeler, üretilen meyvelerin sanayi sektörüne entegrasyonu, agroekolojik meyve üretim sistemlerinin akıllı tarım teknolojilerine entegrasyonu, bitki ve hayvan genetik kaynaklarının korunması konusunda çiftçi eğitimleri.

Tarımsal üretimdeki ekolojik süreçleri bütünüyle kontrol altına almaya çalışmak için agroekolojik ilkeleri etkileyen tüm unsurlar, meyve üretim sistemlerine planlama aşamasındayken dahil edilmelidir. Agroekolojik meyve yetiştiriciliği yapan çiftçilerin öncelikleri ve tercihleri birbirinden farklı olabileceğinden üretimlerini etkileyen faktörler benzer olsa bile, değişkenlikler göstereceğinden, agroekolojik üretim sistemleri farklı ihtiyaçlara ve farklı sorunlara göre revize edilebilir.

KAYNAKÇA

- Ak, İ. (2004). Ekolojik Tarım ve Hayvancılık. 4. Ulusal Zootekni Bilim Kongresi, 1-3 Eylül 2004 Isparta, 490-497.
- Altieri, M. A. (1995). *Agroecology: The Scientific Basis of Alternative Agriculture*. West View Press, Boulder.
- Altieri, M. A. (1999). *Agroecology - Scientific Bases for a Sustainable Agriculture*. Nordan-Community.
- Altieri, M. A. & Nicholls, C. I. (2020). "Agroecology and the Reconstruction of a Post-COVID-19 Agriculture", *The Journal of Peasant Studies*, Vol. 47, No. 5, 881-898.
- Altieri, M. A. & Holt-Giménez, E. (2022). *Agro-Ecology*. <https://wiki.p2pfoundation.net/Agro-Ecology> (22.10.2022)
- Aşan, D. (2022). Agroekoloji Nedir, Neden Önemlidir?, *Su ve Çevre Teknolojileri Dergisi*, Sayı: 162.
- Barrios, E., Gemmill-Herren, B., Bicksler, A., Siliprandi, E., Brathwaite, R., Moller, S., Batello, C., & Tiftonell, P. (2020). The 10 Elements of Agroecology: Enabling Transitions Towards Sustainable Agriculture and Food Systems Through Visual Narratives. *Ecosystems and People*, 16(1), 230-247. <https://doi.org/10.1080/26395916.2020.1808705>
- Brewster, J. (1950). "Machine Process in Agriculture and Industry", *Journal of Farm Economics*, 32(1), 69-81.
- Cheng, A., Noor Azmi, N.S., Ng, Y.M., Lesueur, D., & Yusoff, S. (2022). Appraising Agroecological Urbanism: A Vision for the Future of Sustainable Cities. *Sustainability*, 14(590), 2-10.
- Çokuysal, B. (2021). Tarım, Dijitalleşme ve Sürdürülebilirlik Üçgeninde Etik Sorun Alanları, *Tarım ve Gıda Etiği Derneği (TARGET)*, 3. Uluslararası Tarım ve Gıda Etiği Kongresi, Kongre Kitabı, Proceedings Book of 3rd International Congress on Agricultural and Food Ethics, ISBN: 978-605-80738-5-2, 294-299, Editörler: Neyyire Yasemin YALIM, Mustafa EVREN, Ankara.
- Demiroğlu, D., Karadağ, A. A. Cengiz, A. E., & Günaydın, A. S. (2016). Su Duyarlı Kent Planlama İlkelerinin Geliştirilmesi: Kilis Kent Örneği. 6. Peyzaj Mimarlığı Kongresi, 1(1), 513-523.
- Demiroğlu, D., Karadağ, A. A., Cengiz, A. E., & Çoban, A. (2018). Evaluation of Contribution of Green Infrastructure System to Urban Water Management. 2. International Conference on Agriculture, Forest, Food Sciences and Technologies (ICAFOP'18), 422-431.
- Egerer, M. & Cohen, H. (2020). *Urban Agroecology: Interdisciplinary Research and Future Directions*. CRC Press.

- Er, C., Başalma D. (2008). Organik Tarımdaki Gelişmeler. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 310 s.
- FAO. (2017). The Future of Food and Agriculture - Trends and Challenges, Rome. <http://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf> (16.09.2022).
- FAO. (2022a). The 10 Elements of Agroecology. <https://www.fao.org/agroecology/overview/en> (22.10.2022).
- FAO. (2022b). The 10 Elements of Agroecology. <https://www.fao.org/agroecology/overview/overview10elements/en/> (05.10.2023).
- Francis, C., Lieblein, G., Gliessman, S., Breland, T. A., Creamer, N., Harwood, R., Salomonsson, L., Helenius, J., Rickerl, D., Salvador, R., Wiedenhoef, M., Simmons, S., Allen, P., Altieri, M., Flora, C., & Poincelot, R. (2003). Agroecology: The Ecology of Food Systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, 22(3), 99-118.
- Fuller, D. Q. & Stevens, C. J. (2019). Between Domestication and Civilization: The Role of Agriculture and Arboriculture in the Emergence of the First Urban Societies. *Veget. Hist. Archaeobot.*, 28: 263-282.
- Gliessman, S.R. (2007). *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems*, CRC Press, Taylor & Francis, New York, USA.
- Gliessman, S. (2018). Defining Agroecology. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 42, 599-600.
- Goldschmidt, E. E. (2013). The Evolution of Fruit Tree Productivity: A Review. *Economic Botany*, 67, 51-62.
- Gökkür, S. & Şahin, M. (2015). Ekolojik Restorasyon ile Yok Oluşu Durdurma, *Anadolu Doğa Bilimleri Dergisi 6 (Özel Sayı 2)*, s.198-202, (*Journal of Anatolian Natural Sciences*).
- Gökkür, S. (2019). Tarımda Sürdürülebilirlik için Yeni Yaşam Döngüsü Modeli, *Apelasyon*, ISSN:2149-4908, Şubat 2019, Sayı 63. <http://apelasyon.com/Yazi/963-tarimda-surdurulebilirlik-icin-yeni-yasam-dongusu-modeli>
- Gökkür, S. & Çağır, F. (2021). Life Cycle Assessment of Fruit Production. In *Book: Current Studies on Fruit Science*, Chapter: 9, 255-279, IKSAD Publishing House.
- Gökkür S. & Arda E. (2022). Dijital Çağda Tarım, *Apelasyon*, ISSN:2149-4908, Aralık 2022, Sayı 108. <https://apelasyon.com/yazi/108/dijital-cagda-tarim>
- Gökkür, S., Çağır, F. & Arda, E. (2022). Climate Change and Sustainable Agriculture. *Journal for the Agriculture, Biotechnology and Education*, 2(2), 63-74, e-ISSN: 2754-7825.

- Gül, V., Öztürk E. & Sezek, M. (2018). Ayçiçeği Bitki Artıklarının Organik Tarım Amaçlı Değerlendirilmesi, *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, ISSN: 2148-127X, 6(6), 676-679.
- IPCC. (2021). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 3-32. Doi:10.1017/9781009157896.001
- Kamali, A. & Owji, A. (2016). Agro-Ecological Requirements for Growing Pistachio Trees: A Literature Review, *Elixir International Journal, Elixir Agriculture* 96, 41450-41454.
- Karadağ, A. A. (2022). Evaluation of Agroecology's Contribution to Sustainable Urban Planning. In H. B. Türker, & A. Gül. (Eds.) *Architectural Sciences and Urban Agriculture* (213-247), Chapter-9. ISBN:978-625-8213-84-3. Ankara: Iksad Publications.
- Kırımhan, S. (2005). *Organik Tarım Sistemleri ve Çevre Kitabı. Uğurer Tarım Kitapları Bireysel Yayınları*, Ankara, 350 s.
- Küp, F., Sağlam, R., Yetkin, C., Tobi, İ. & Uludağ A. (2013). Organik Tarım Uygulamalarının Aşamaları ve Pratikte Karşılaşılan Sorunlar. 28. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon Kongresi, 4-6 Eylül, Konya, 103-110.
- Marangoz, M. (2008). *Organik Ürünlerin Pazarlanması*. Ekin Yayınevi, Bursa, 193 s.
- Menalled, F., Bass, T., Buschena, D., Cash, D., Malone, M., Maxwell, B., McVay, K., Miller, P., Soto, R. & Weaver, D. (2008). *An Introduction to the principles and practices of sustainable farming*. MontGuide; Montana State University Extension: Bozeman, MT, USA, 2008, MT200813AG New 11/08.
- Miranda, J. C., Gené-Mola, J., Zude-Sasse, M., Tsoulas, N., Escolà, A., Arnó, J., Rosell-Polo J.R., Sanz-Cortiella R., Martínez-Casasnovas J.A., Gregorio E. (2023). Fruit sizing using AI: A Review of Methods and Challenges. *Postharvest Biology and Technology*, Volume 206, 112587, ISSN 0925-5214, <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112587>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925521423003484>
- Nicastro, R. & Carillo, P. (2021). Food Loss and Waste Prevention Strategies from Farm to Fork. *Sustainability* 13(10), 5443. <https://doi.org/10.3390/su13105443>

- Niggli U., Earley J. & Ogorzalek K. (2007). "Organic Agriculture and Environmental Stability of the Food Supply". International Conference on Organic Agriculture and Food Security, 3-5 May 2007, OFS/2007/3, Fao, Rome, Italy.
- Nizam Bilgiç, D. (2021). Pandemi Sürecinde Tarım Sorununu Yeniden Düşünmek. *Praksis*, 0(55), 151-173.
- Özkaya, T., Yıldız, M. Y., Özden, F., Kocagöz, U. (2021). *Agroekoloji-Başka Bir Tarım Mümkün*, Metis Yayıncılık, İstanbul.
- Saitone, T.L. & Sexton, R.J. (2017). Agri-Food Supply Chain: Evolution and Performance with Conflicting Consumer and Societal Demands. *Eur. Rev. Agric. Econ.* 44, 634-657. <https://doi.org/10.1093/erae/jbx003>.
- Sönmez Erdoğan, F. (2019). Seyhan Havzasında Agroekolojik Zon Temelli Tarımsal Alan Kullanım Önerilerinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Adana.
- Şahin, M. (2020). Ornafruit: Fruit Species for Ornamental Purposes, In Book: *Ornamental Plants: with Their Features and Usage Principles*, Iksad Publications ISBN: 978-625-7687-33-1, Chapter 19, pp.397-423.
- Şahin, M. (2021). Use of In Vitro Tissue Culture in Fruit Breeding Studies: Somaclonal Variation, Embryo and Anther Culture Methods In Book: *Overview on Horticulture*. Ed. Çığ, A.. Iksad Publications. p. 131-156. Ankara/Turkey
- Şerifoğlu, T. (2022). Gaziantep Platosunun Agroekolojik Kuşakları, Yüksek Lisans Tezi. Bursa Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, 104 s.
- Tamburino, L., Bravo, G., Clough, Y. & Nicholas, K. A. (2020). From Population to Production: 50 Years of Scientific Literature on How to Feed the World. *Global Food Security*, 24, 1-8.
- Tomich, T. P., Brodt, S., Ferris, H., Galt, R., Horwath, W. R., Kebreab, E., Leveau, J., Liptzin, D., Lubell, M., Merel, P., Michelmor, R., Rosenstock, T., Scow, K., Six, Williams, N., & Yan, L. (2011). *Annual Review of Environment and Resources*, Vol. 36, pp. 193-222.
- UN. 2022. United Nations, World Population Prospects 2022. Department of Economic and Social Affairs. Population Division. <https://population.un.org/wpp/> (16.09.2022).
- Wezel, A., & Jauneau, J. C. (2011). *Agroecology-Interpretations, Approaches and Their Links to Nature Conservation, Rural Development and Ecotourism* Alexander Wezel and Jean-Claude Jauneau (in *Integrating Agriculture, Conservation and Ecotourism: Examples from the Field*, Editor: W. Bruce Ampbell and Silvia Lopez Ortiz), Springer.

BÖLÜM 2

SÜRDÜRÜLEBİLİR PLANLAMA ÇERÇEVESİNDE MAHALLE BOSTANLARI İÇİN AHP VE CBS TABANLI ÇOK KRİTERLİ YER UYGUNLUĞU YAKLAŞIMI – ÇİĞLİ İZMİR ÖRNEĞİ

Doç. Dr. Ayşe KALAYCI ÖNAÇ¹
Gökçe GÖNÜLLÜ SÜTÇÜOĞLU²
Okan ALPTÜRK³

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10207938>

¹İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, 35620 İzmir-Türkiye. <https://orcid.org/0000-0003-1663-2662>

²İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Dönüşüm Ana Bilim Dalı, 35620 İzmir-Türkiye. <https://orcid.org/0000-0003-3987-1324>

³İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Dönüşüm Ana Bilim Dalı, 35620 İzmir-Türkiye. <https://orcid.org/0009-0008-8929-0804>

*sorumlu yazar: gokce.gonullusutcuoglu@ikc.edu.tr

GİRİŞ

Mahalle Bostanlarının kökenlerinden biri İngiliz tahsis geleneğine kadar uzanabilir. Bu bahçeler, 19. yüzyılın başlarında İngiltere'de, kentleşme ve sanayileşme nedeniyle genellikle kırsaldaki evlerinden edilen ya da kırsalı terk eden ve şehirlerde yaşamaya başlayan insanlara tarım arazisi sağlamanın bir yolu olarak ortaya çıktı (Holand, 2004). Büyük ölçekli tarım daha karlı hale geldi ve köylülerin geleneksel olarak yiyecek yetiştirdikleri ve yakacak olarak odun gibi kaynakları elde ettikleri ortak alanlardan tahliye edilmelerine yol açtı (Keshavars vd., 2016). Bu ortak alanlar daha küçük özel alanlara bölündü ve ticari çiftçilere kiralandı, bu da yerinden edilen köylülerin bu tarım alanlarında iş aramasına veya yeni endüstrilerde çalışmak üzere şehirlere göç etmesine neden oldu (Keshavars vd., 2016). Tahsisli bahçeler, kaybedilen kırsal ortak alanların yerine küçük kentsel arazi parçaları sunmanın bir yolu olarak oluşturuldu ve kentteki yoksullara kişisel tüketim için yiyecek yetiştirme fırsatı sağladı (Irvine vd., 1999).

Mahalle Bostanları, Birinci ve İkinci Dünya Savaşları sırasında gıda kıtlığını gidermenin bir yolu olarak Birleşik Krallık, Avrupa ve Kuzey Amerika'da yaygınlaşmıştır. Bu bahçeler, o zamanlar başka türlü mevcut olmayan temel besin maddelerini ve ilave tayınları sağlayarak ulusal gıda güvenliğinin sağlanmasına yardımcı olmuştur. Bu kriz zamanlarında gıda güvensizliğinin giderilmesinde önemli bir rol oynamışlardır (Egli vd., 2016).

Kırdan kente göç döneminde kendilerini ne kentli ne de köylü olarak tanımlayamayan dönemin kentlilerinin aidiyet hissini de güçlendiren mahalle bostanları ve diğer tüm kentsel ekolojik peyzaj alanları bireylere sosyalleşme fırsatı vermiş, yere bağlanma duygusunu güçlendirmiştir (True ve Kılıçaslan, 2020; Kathleen vd., 2015). Örneğin, ağaçların bulunduğu ortak alanlara sahip toplu konut alanlarında yaşayan insanlar, daha fazla bir araya gelme, daha büyük gruplar halinde buluşma ve farklı yaşlardan daha geniş bir insan yelpazesıyla sosyal olarak etkileşim kurma eğilimindedirler (Coley ve Kua, 1997). Doğal unsurlar, insanları dışarıda daha fazla zaman geçirmeye teşvik ettiğinden, kendiliğinden oluşan yüzyüze görüşmeler yoluyla komşularla daha güçlü sosyal bağlar ve arkadaşlıklar oluşturulmaktadır (Kua ve Sullivan, 1998).

Bunun yanı sıra, kırsal nüfusun neredeyse yok denecek kadar azaldığı ve kentlerde nüfus yığılmalarının yaşandığı günümüzde de bireylerin boş zamanlarını geçirmek, sakinleşmek, rahatlamak için öncelikli olarak açık ve yeşil alanları tercih ettikleri birçok çalışma ile ortaya konulmuştur. Yeni dünya düzeninde, yaşanan pandemi ve beraberindeki günlük rutine sıkışmışlık hissinden kurtulmak için kentlilerin tercihlerinin değerlendirildiği bir çalışmada; kentlilerin kendine ayırdıkları vakitlerini geçirdikleri mekanlar arasında doğa temelli tercihler ve alışveriş merkezlerinin ön plana çıktığı ancak açık ve yeşil alanlarda doğada vakit geçirme isteğinin alışveriş merkezlerinde bulunma isteğinden çok daha fazla olduğu ortaya konulmuştur (Altuğ Turan vd., 2023).

Dünyanın değişik yerlerindeki kent bahçeleri ölçek, işlev, karakteristik ve içinde buldukları bağlam açısından farklılaşırlar. Topluluk bahçeleri, gönüllüler tarafından idame ettirilen (Rosol, 2010), yerel yönetim/devlet, kamusal ve özel girişimler ile ya ilişkisi olmayan, ya da farklı seviyelerde ilişkileri olan alanlardır. Bu perspektife göre, kolektivite ve kamusal bir kentsel bahçenin belirleyici özellikleridir (Öcal ve Erkut, 2019).

Ülkemizde mahalle bostanlarına en önemli örnek, İstanbul'un tarihi Boğaz köylerinden biri olan Kuzguncuk'un en mühim kentsel imaj unsurları arasında olan "İlya'nın Bostanı"dır. İlya'nın Bostanı Kuzguncukluların birlikte ekip, biçtiği ve sebze ihtiyaçlarını karşıladığı verimli bir bostan olmanın yanı sıra toplanma alanı ve önemli bir kentsel imaj ögesidir (Özata ve Özdemir-Darby, 2023).

Kentleşme oranının oldukça yüksek olduğu ülkemizde, kentlilerin açık ve yeşil alanlara erişimi oldukça kısıtlıdır (Altuğ ve True, 2021). Mahalle bostanları bu kısıtlılığın çözümü için kullanılabilir niteliktedir. Mahalle bostanları kentlerde; sağlıklı ve yerel gıda kaynağı sağlayabilir, kamusal alanları canlandırabilir, kamu işlerine katılımı teşvik edebilir ve topluluk özyönetim duygusunu geliştirebilirler. Ayrıca, bahçecilik faaliyetleri aracılığıyla mahalle bostanları bireysel ilişkilere olanak tanıyabilir ve sosyal sermaye oluşturabilir. Bu bahçeler, halk sağlığını desteklemek amacıyla bireysel ve toplumsal varlıkları geliştiren girişimler için bir model görevi görebilir. Ancak kentsel alanlarda mahalle bostanlarının varlığı, bina veya

altyapı geliştirmelerinden kaynaklanan çatışmalar ve bu bahçelerinin çevrelerindeki mülk değerlerini artırma potansiyeli gibi sosyo-çevresel zorlukları da beraberinde getirebilir (Kingsley vd., 2019).

Bu çalışmada, yukarıda belirtildiği gibi birçok sosyal ve ekonomik faydaya sahip olan mahalle bostanlarının yer seçiminin nasıl yapılması gerektiği üzerinde durulmuş ve karar verme sürecini destekleyici bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemde, mahalle bostanı uygulaması yapılacak yerleşim için bazı sosyal ve fiziki özellikler belirlenmiş, elde edilen veriler Analitik Hiyerarşi Süreci ile ağırlıklandırılmış ve daha sonra coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak yapılan analizler ile en uygun yer belirlenmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmanın ana materyali, çalışma alanı olarak seçilen Çiğli'dir. Çiğli'nin çalışma alanı olarak seçilmesinin başlıca nedenleri şunlardır:

Yapı Yoğunluğu ve Açık Alan Eksikliği

Nüfus Yoğunluğu ve Çeşitliliği

Suç Oranı

Doğal Alanlara Yakınlık

Karbon Ayak İzi

Yapı yoğunluğu açısından Çiğli'de son yıllarda bina sayısında ciddi bir artış görölüyor. Bu durum, açık alanların azalmasına ve bölge sakinlerinin yararlanabileceği yeşil alanların eksikliğine yol açmıştır. Ayrıca, bölgenin yüksek karbon ayak izine sahip bir sanayi bölgesine sahip olması da bu durumu tetiklemektedir. Çiğli'de farklı kökenden ve kültürlerden gelen çok çeşitli insan karışımıyla birlikte nüfus yoğunluğu da yüksektir. Bu durum, topluluğun canlılığına katkıda bulunurken aynı zamanda aşırı kalabalığa ve kaynaklar üzerinde baskıya da yol açabilir. Çiğli'deki suç oranları da ne yazık ki artış halindedir. Bölgede belirli suç örnekleri yaşanmış ve bu durum sakinler arasında endişeye yol açmıştır. Daha olumlu bir nokta ise Çiğli'nin Sasalı Kuş Cenneti ve Gediz Deltası gibi doğal alanlara yakın konumda olmasıdır. Bunlar açık hava rekreasyon fırsatları sunar ve doğanın güzelliğinin tadını çıkarma

şansı sağlar. Genel olarak, Çiğli'deki mevcut durum hem olumlu hem de olumsuz yönlerin bir karışımıdır. Nüfusun çeşitliliği ve doğal alanlara yakınlık çekici özellikler olsa da, açık alanların azlığı ve artan suç oranı endişe kaynağıdır.

Çiğli'deki mevcut durum, bir mahalle bostanı oluşturma konusunda benzersiz bir fırsat sunmaktadır. Bu makalede, Çiğli'deki yapı yoğunluğu, açık alan kıtlığı, nüfus yoğunluğu ve çeşitliliği, suç oranı ve doğal alanlara yakınlık gibi konular ele alınacak ve Çiğli'nin hangi bölgesinin bir mahalle bostanı için ideal konum olduğu ortaya konulacaktır.

Bina Yoğunluğu ve Açık Alan Eksikliği

Çiğli'nin mahalle bostanı için ideal bir yer olmasının ana nedenlerinden biri yapı yoğunluğunun fazla olması ve açık alan eksikliğidir. Yeşil alanların olmayışı toplumda sakinlerin dinlenebileceği ve doğanın tadını çıkarabileceği daha fazla kamusal alana ihtiyaç yaratmaktadır. Bir mahalle bostanı, kentsel ortamda çok ihtiyaç duyulan o vahayı sağlayacak ve sakinlere doğayla ve birbirleriyle bağlantı kurma fırsatı verecektir.

Nüfus Yoğunluğu ve Çeşitliliği

Çiğli'deki mevcut durumun bir diğer önemli yönü de nüfus yoğunluğunun yüksek olması ve farklı kökenden ve kültürden gelen insanların çeşitliliğidir. Bir mahalle bostanı, her yaştan ve her kökenden insanın bir araya gelip ortak bir amaç doğrultusunda çalışması için bir alan sağlayacak, topluluk ve aidiyet duygusunu geliştirecektir. Farklı grupların bilgi ve becerilerini katması nedeniyle, bu bahçe aynı zamanda kültürel değişim ve eğitim için de bir platform görevi görebilir.

Suç Oranı

Çiğli'deki yüksek suç oranı da mahalle bostanını burası için özellikle çekici kılan bir diğer faktördür. Araştırmalar, insanların bir araya gelip sosyalleşmesi için güvenli ve davetkar bir alan sağladığından Mahalle Bostanlarının suç oranları üzerinde olumlu bir etkisi olabileceğini göstermiştir. Mahalle Bostanları, toplulukta daha fazla insanı bir araya getirerek, gurur ve

sahiplenme duygusunu geliştirerek suç olaylarının azaltılmasına ve bölgedeki genel güvenlik duygusunun iyileştirilmesine yardımcı olabilir.

Doğal Alanlara Yakınlık

Ayrıca, Sasalı Kuş Cenneti ve Gediz Deltası gibi birden çok doğal alanın yakınında bulunması, Çiğli'yi bir mahalle bostanı için ideal bir konum yapar. Bu alanlar bahçe için ilham ve gerekli kaynakların yanında açık-hava rekreasyon ve eğitim fırsatları sunar.

Karbon Ayakizi

Son olarak, Çiğli'de ayrıca ildeki yüksek karbon ayak izine katkıda bulunan bir sanayi bölgesi bulunmaktadır. Bu karbon ayak izini azaltmak ve bölgedeki biyolojik çeşitliliği artırmak için Çiğli'de çeşitli bitkilerin yer aldığı bir mahalle bostanı oluşturulabilir.

Özetlemek gerekirse Çiğli'deki mevcut durum, bir mahalle bostanı oluşturmak için eşsiz bir fırsat sunuyor. Yüksek bina yoğunluğu ve açık alan azlığı, nüfus çeşitliliği, yüksek suç oranı, doğal alanlara yakınlık ve yüksek karbon ayak izi oranı Çiğli'yi mahalle bostanı için ideal bir yer haline getiriyor. İnsanları bir araya getiren ve topluluk duygusunu geliştiren bir mahalle bostanı, toplumun genel refahı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olacaktır.

YÖNTEM

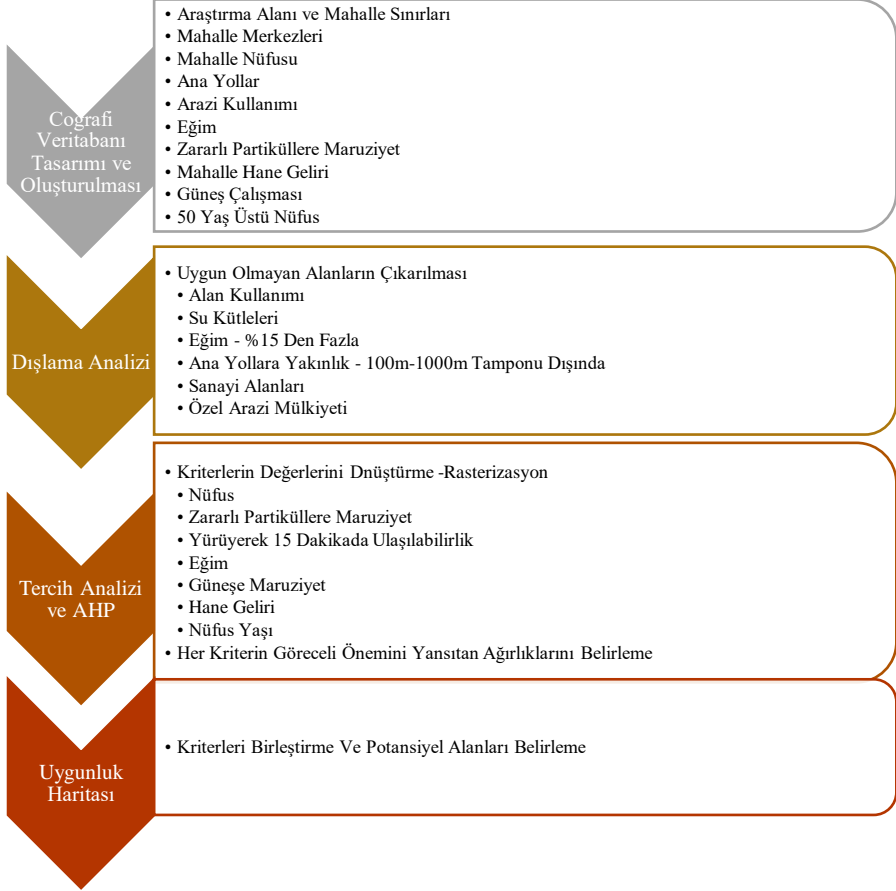
Çalışma dört aşamadan oluşmaktadır. Aşağıda yer alan aşamaların detayları Şekil 1'de görülmektedir.

Coğrafi Veritabanı Tasarımı ve Oluşturulması

Dışlama/ Hariç Tutma Analizi

Tercih Analizi ve AHP

Uygunluk Haritası



Şekil 1. Yöntem Akış Şeması

Coğrafi Veri Tabanı Tasarımı ve Oluşturulması

Coğrafi veri tabanı tasarımı ve oluşturulması, CBS teknolojisi kullanılarak kapsamlı bir veri tabanının oluşturulduğu metodolojinin ilk adımını oluşturur. Bu veritabanı, çalışmayla ilgili çeşitli mekansal veri kümelerinin düzenlenmesi ve saklanması için bir temel görevi görerek verimli veri yönetimi ve analizini kolaylaştırır.

Çalışma alanı ve mahalle sınırları CBS kullanılarak oluşturulmakta ve tanımlanmakta, bu da projenin spesifik coğrafi kapsamının net bir şekilde

nitelendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu veri seti, çalışma alanı içindeki mahallelerin doğru bir şekilde tanımlanmasına ve analiz edilmesine yardımcı olur.

Mahalle merkezlerinin konumları, coğrafi veritabanına dahil edilir ve her mahalle için merkezi bir referans noktası sağlar. Bu veri seti, toplum kaynaklarının mekânsal dağılımını anlamaya yardımcı olur ve etkili planlama ve karar verme süreçlerini kolaylaştırır.

Her mahalle için nüfus verileri coğrafi veritabanına dahil edilerek, farklı toplulukların demografik yapı ve boyutunun değerlendirilmesine imkan tanır. Bu bilgi, her mahallenin kendi içindeki sosyal dinamiklerini ve kaynak ihtiyaçlarını anlamak için fazlasıyla önemlidir.

Ana yol şebekeleri, coğrafi veritabanında betimlenir ve ulaşım altyapısının kapsamlı bir görünümünü sunar. Bu veri seti, mahalleler içinde ve arasındaki erişilebilirlik ve bağlanabilirliği analiz etmeye imkan tanır ve kentsel planlama kararlarını etkiler.

Arazi kullanımı verileri coğrafi veritabanına dahil edilir ve çalışma alanı içindeki farklı arazi türlerini kategorize eder. Bu veri seti, konut, ticari, sanayi ve açık alan bölgelerinin dağılımına dair içgörüler sunar, arazi yönetim stratejileri ve planlarında rehberlik eder.

Eğim bilgisi, coğrafi veritabanına dahil edilir ve arazinin eğimi veya dikliğini gösterir. Bu veri seti, farklı topoğrafik özelliklere sahip bölgeleri tanımlamaya yardımcı olur ve peyzaj tasarımıyla ilgili kararları etkiler.

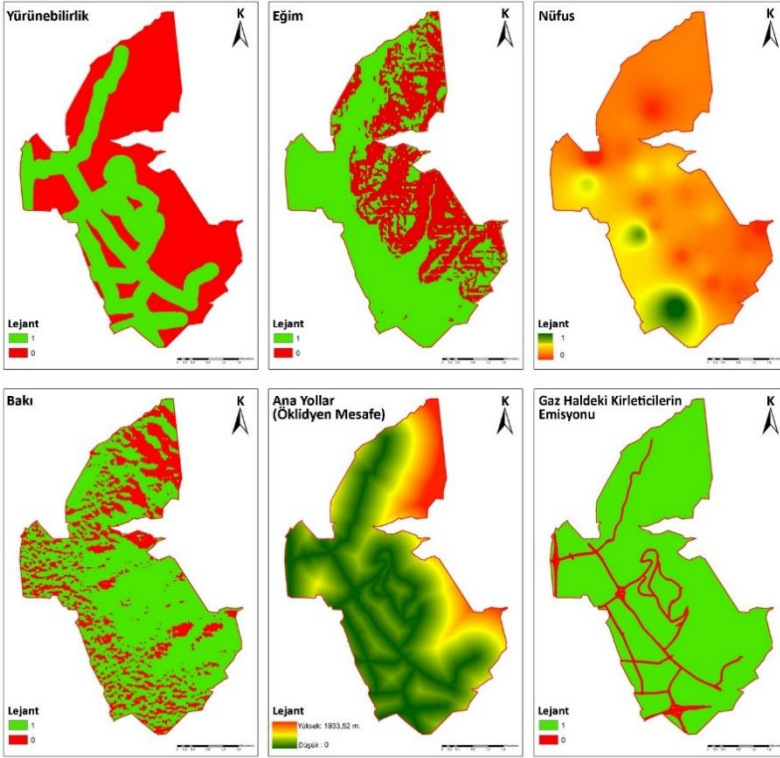
Zararlı partiküllere maruziyet, coğrafi veritabanında değerlendirilir ve betimlenir, hava kirliliği veya diğer çevresel risklere duyarlı bölgeleri vurgular.

Mahalle hane geliri verileri coğrafi veritabanına dahil edilir ve farklı toplulukların ekonomik durumuna dair içgörüler sunar. Bu veri seti, sosyo-ekonomik gelişim düzeylerinin farklı olduğu bölgeleri belirlemeye yardımcı olur.

Coğrafi veritabanı, güneşin gündelik hareketlerini analiz eden ve çeşitli bölgeler üzerindeki etkisini inceleyen bir güneş çalışması veri setini içerir. Bu

bilgi, kentsel planlama ve farklı konumların güneş potansiyelini ele almak için değerlidir.

50 yaş üstü nüfus verileri, coğrafi veritabanına dahil edilir ve çalışma alanı içindeki daha yaşlı yetişkinlerin dağılımını ve yoğunluğunu gösterir. Bu veri seti, yaşlanan nüfusa ilişkin özel ihtiyaçları olan bölgeleri tanımlamaya yardımcı olur.



Şekil 2. Analizler

Dışlama / Hariç Tutma Analizi

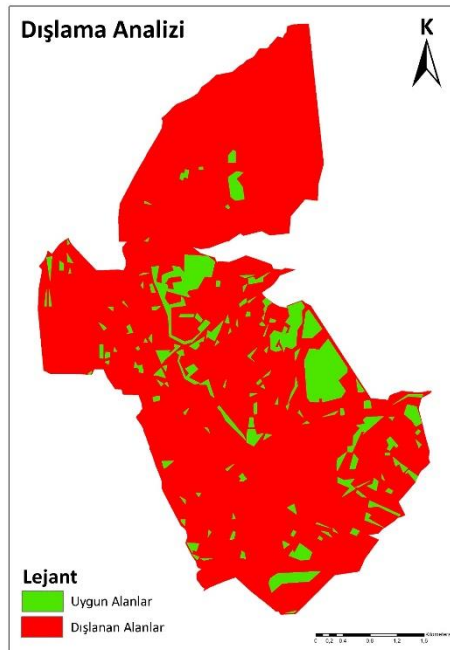
Dışlama analizi aşaması, belirli kriterlere göre Mahalle Bostanları için uygun olmayan alanların belirlenmesini ve dışlanmasını içerir. CBS araçlarının ve mekansal analiz tekniklerinin kullanılmasıyla dik yamaçlar, korunan alanlar veya yüksek kirlilik seviyeleri gibi kısıtlamalara sahip alanlar belirlenebilir ve değerlendirme dışı bırakılabilir.

Dışlama analizi aşamasında, %15'ten büyük eğime sahip alanlar, tarım ve erişim açısından yarattığı kısıtlamalar sebebiyle alan değerlendirmesinin dışında tutulur.

Ana yollara yakınlık da bu analizde dikkate alınır ve bu yollardan 100 ila 1000 metrelik yakınlıkta bir tampon bölgesi dışında bulunan alanlar, trafik gürültüsü ve hava kirliliğinin olası olumsuz etkilerini en aza indirmek ve bahçeyi erişilebilir hale getirmek amacıyla potansiyel alan seçiminden çıkarılır.

Sanayi alanları, Mahalle Bostanlarının sürdürülebilirliğini ve uygunluğunu tehlikeye atabilecek kirletici maddeleri ve istenmeyen çevresel koşulları ortaya çıkarabileceği için alan seçim sürecinden çıkarılır.

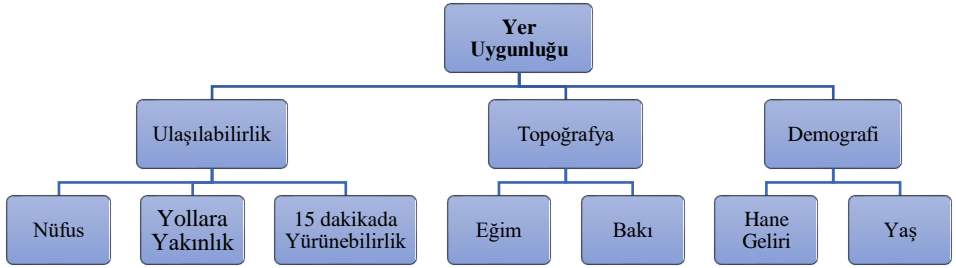
Özel mülkiyet altındaki alanlar, bu alanların erişiminin ve kullanımının sınırlı olabileceği düşünülerek hariç tutulur. Bu tür alanlar, mekanın kamusal ve toplumsal kullanımını teşvik eden Mahalle Bostanlarının kurulması için uygun olmayabilir.



Şekil 3. Dışlama /Hariç Tutma (Exclusion) Analizi

Tercih Analizi ve AHP

Tercih analizi ve Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), göreceli önemlerine göre farklı kriterleri değerlendirmek ve bunlara ağırlık vermek için kullanılır. Bu süreç, kriter değerlerinin raster formatına dönüştürülmesini içerir; bu da mekansal analize ve Mahalle Bostanları için yer uygunluğuna katkıda bulunan çeşitli faktörlerin karşılaştırılmasına olanak tanır.



Şekil 4. AHP Kriterleri

Tablo 1. AHP Kriterleri ve Alt Kriterleri Ağırlıkları

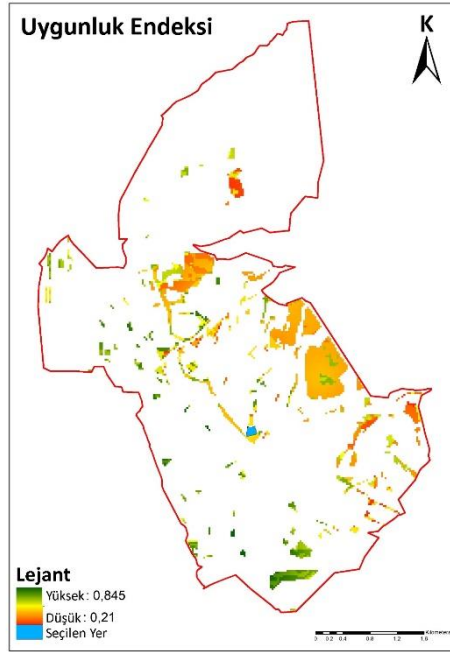
İkili Karşılaştırma				
	Ulaşılabilirlik	Topoğrafya	Demografi	
Ulaşılabilirlik	1.00	3.00	5.00	
Topoğrafya	0.33	1.00	3.00	
Demografi	0.20	0.33	1.00	
Toplam	1.53	4.33	9.00	
Standart Matris				
	Ulaşılabilirlik	Topoğrafya	Demografi	Ağırlık
Ulaşılabilirlik	0.65	0.69	0.56	0.63
Topoğrafya	0.22	0.23	0.33	0.26
Demografi	0.13	0.08	0.11	0.11
Toplam	1.00	1.00	1.00	1.00
İkili Karşılaştırma				

	Nüfus	Yollara Yakınlık	15 Dakikada Yürünebilirlik	
Nüfus	1.00	3.00	5.00	
Yollara Yakınlık	0.33	1.00	3.00	
15 Dakikada Yürünebilirlik	0.20	0.33	1.00	
Toplam	1.53	4.33	9.00	
Standart Matris				
	Nüfus	Yollara Yakınlık	15 Dakikada Yürünebilirlik	Ağırlık
Nüfus	0.65	0.69	0.56	0.63
Yollara Yakınlık	0.22	0.23	0.33	0.26
15 Dakikada Yürünebilirlik	0.13	0.08	0.11	0.11
Toplam	1.00	1.00	1.00	1.00
İkili Karşılaştırma				
	Hane Geliri	Yaş		
Hane Geliri	1	3		
Yaş	0.33	1		
Toplam	1.33	4.00		
Standart Matris				
	Hane Geliri	Yaş	Ağırlık	
Hane Geliri	0.75	0.75	0.75	
Yaş	0.25	0.25	0.25	
Toplam	1.00	1.00	1.00	
İkili Karşılaştırma				
	Eğitim	Bakı		
Eğitim	1.00	3.00		

Bakı	0.33	1.00		
Toplam	1.33	4.00		
Standart Matris				
	Eğim	Bakı	Ağırlık	
Eğim	0.75	0.75	0.75	
Bakı	0.25	0.25	0.25	
Toplam	1.00	1.00	1.00	
Genel				
	Faktörler	Kriter	Ağırlık	
Nüfus	0.63	0.63	0.40	
Yollara Yakınlık	0.26	0.63	0.16	
15 Dakikada Yürünebilirlik	0.11	0.63	0.07	
Eğim	0.75	0.26	0.20	
Bakı	0.25	0.26	0.07	
Hane Geliri	0.75	0.11	0.08	
Yaş	0.25	0.11	0.03	
Toplam			1.00	

Uygunluk Haritası

Son adım, kriter katmanlarının birleştirilmesini ve Mahalle Bostanları için potansiyel alanları vurgulayan bir uygunluk haritasının oluşturulmasını içerir. Ağırlıklı kriter katmanlarının CBS'ye entegre edilmesi ve üst üste bindirilmesiyle, istenen gereksinimleri karşılayan alanlar belirlenerek, sürdürülebilir çevre planlaması ve Mahalle Bostanlarının kurulması için uygun yerlerin görsel temsili sağlanır.



Şekil 5. Uygunluk Endeksi Analizi ve Seçilen Alan

TARTIŞMA ve SONUÇ

Karar verme, dikkate alınması gereken çok sayıda konu nedeniyle zor bir süreç ve karmaşık bir iştir ve yanlış yapmaya sevk edebilecek çeşitli psikolojik tuzaklar vardır. Belirli bir arazi parçasının belirli bir amaca uygunluğunun belirlenmesi süreci, saha uygunluk analizi olarak bilinmektedir (Steiner vd., 2000). Şehirlerdeki sosyal donatıların lokasyonunun seçimi, sosyal, fiziksel, mekânsal ve ekonomik birçok değişkene bağlı olduğundan, kullanımda sosyal adaletin sağlanması açısından daha zorlu bir süreçtir. Daha iyi kararlar oluşturmak için, karar sorununu etkileyebilecek kriterlerin yanı sıra, üzerinde etkisi olan birçok paydaş türünü belirlemek ve katılımlarının doğrudan mı yoksa dolaylı mı olduğunu belirlemek kritik öneme sahiptir (Dell'Ovo vd., 2018).

Çok kriterli karar destek analizi (ÇKDK) tekniği alternatifleri değerlendirmek için idealdir ve literatürde yer seçimi zorluklarını çözmek için kullanılmaktadır. Saaty (1980) tarafından tanımlanan Analitik Hiyerarşi Süreci

(AHS), optimum alternatiflerin seçilmesine yönelik çok kriterli karar analizi yöntemlerinden biridir (Gönüllü Sütçüoğlu ve Yalcinkaya, 2020).

Bu çalışmada; bir çok farklı kentsel kullanımın yer seçimi için kullanılabilir çok kriterli karar verme yöntemi, mahalle bostanlarının yer seçimi için kullanılmıştır. Bu yer seçimini etkileyen faktörler, AHP ile ağırlıklandırılmıştır. Bu aşamada kriterlerin öneminin anket vb yöntemlerle desteklenmesi ileriki çalışmalarda daha detaylı sonuçlara ulaşmak açısından yardımcı olacaktır.

Bu tür çalışmalarda veri temini oldukça önemli bir kısıttır. Çalışma, yerel yönetim ve kurumlardan elde edilebilen veriler ışığında yapılmıştır. Seçimi etkileyecek farklı kriterler analizlere eklendiğinde, seçilen alanın doğruluk düzeyi de çok daha yüksek olacaktır.

Sonuç olarak, İzmir İli, Çiğli İlçesinde mahalle bostanı için, AHP ve CBS kullanılarak çok kriterli bir yer seçimi yaklaşımı kullanılmıştır. Bu ve benzeri kentsel kullanımın yer seçimi konusunda yerel ve ulusal yetkililer için bir rehber görevi görmektedir. Yer seçimi çalışmalarında tüm bileşenlerin bir arada değerlendirilmemesi, alanın yalnızca mülkiyeti değerlendirilerek yatırımlar yapılması, ulaşılabilirliğin ve sosyal ve demografik olarak kullanıcısının sorgulanmaması gibi kriterler yapılan yatırımların hedefe ulaşmasını engellemektedir. Bu bağlamda; yapılacak her türlü yatırım için mekansal karar verme süreçlerinin bilimsel yöntemlerle ele alınması kente ve kentliye sağlanacak faydanın yanı sıra ekonomik olarak da katkı sağlayacak ve kent için hayati önem taşıyan bu fonksiyonların işlevliliğini artıracaktır.

KAYNAKÇA

- Altuğ Turan, İ., Sönmez Türel, H., Malkoç True, E., Aktaş, E., & Özeren Alkan, M. (2023). A research on daily recreational space usage profile in the context of urban life. *Environment, Development and Sustainability*, 1-21.
- Altuğ, S., & True, E. M. (2021). Kentsel dönüşüm uygulamalarının başarısı ve kente katkıları: Karşıyaka Bostanlı Mahallesi Örneği (İzmir). *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 58(4), 533-544.
- Coley, R.L., F.E. Kuo, and W.C. Sullivan (1997) Where Does Community Grow? The Social Context Created By Nature in Urban Public Housing. *Environmental Behavior* 294:468-492.
- Dell'Ovo, M., Capolongo, S., & Oppio, A. (2018). Combining spatial analysis with MCDA for the siting of healthcare facilities. *Land Use Policy*, 76, 634–644.
- Egli, V., Oliver, M., & Tautolo, E. S. (2016). The development of a model of community garden benefits to wellbeing. *Preventive medicine reports*, 3, 348-352.
- Gönüllü Sütçüoğlu, G. & Yalçınkaya, S. (2021). AHP and GIS Based Multi - Criteria Site Suitability Approach for Hospitals in Scope of Sustainable Environmental Planning – Case Study Aliağa, İzmir . *JENAS Journal of Environmental and Natural Studies* , 3 (3) , 258-270 . DOI: 10.53472/jenas.1026247
- Holland, L. (2004). Diversity and connections in community gardens: A contribution to local sustainability. *Local environment*, 9(3), 285-305.
- Irvine, S., Johnson, L., & Peters, K. (1999). Community gardens and sustainable land use planning: A case-study of the Alex Wilson community garden. *Local Environment*, 4(1), 33-46.
- Kathleen L. Wolf and Alicia S.T. Robbins. (2015) Metro Nature, Environmental Health, and Economic Value, *Environmental Health Perspectives*, 2015 May; 123(5):390-398
- Keshavarz, N., Bell, S., Zilans, A., Hursthouse, A., Voigt, A., Hobbelink, A., ... & Gogová, Z. (2016). A history of urban gardens in Europe. In *Urban allotment gardens in Europe* (pp. 8-32). Routledge.
- Kingsley, J., Bailey, A., Torabi, N., Zardo, P., Mavoa, S., Gray, T., ... & Foender, E. (2019). A systematic review protocol investigating community gardening impact measures. *International journal of environmental research and public health*, 16(18), 3430.

- Kuo, F., and W. Sullivan (1998) Fertile Ground for Community: Inner-City Neighborhood Common Spaces. *American Journal of Community Psychology* 26:823-851.
- Öcal, G., & Erkut, G. (2019). Kent Hakkı ve Katılımcılık Bağlamında Kendin Yap Kentleşme: Roma Bostanı Örneği Do-It-Yourself Urbanism within the Context of Right to the City and Participatory Urbanism: The Roma Garden.
- Özata, T., & Özdemir-Darby, D. (2023). Yere Bağlanma Olgusunun Önemli Bir Bileşeni Olarak Yeşil Alanlar: Kuzguncuk Bostanı. *Kent Akademisi*, 16(2), 702-726.
- Rosol, M. (2010). Public Participation in Post-Fordist Urban Green Space Governance: The Case of Community Gardens in Berlin. *International Journal of Urban and Regional Research*, 34(3), 548-63.
- Saaty, T.L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
- Steiner, F., McSherry, L., & Cohen, J. (2000). Land suitability analysis for the upper Gila River watershed. *Landscape and Urban Planning*, 50(4), 199–214.
- True, E. M., & Kılıçaslan, Ç. (2020). Analysis of User-Space Relations: Şehit Fethi Sekin Park Example, İzmir. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(2), 1308-1317.

BÖLÜM 3

KENTSEL TARIMDA LED AYDINLATMANIN EKOLOJİK KARBON AYAK İZİNE ETKİLERİ

Arş. Gör. Gamze ÇAKIRER SEYREK¹

Doç. Dr. Hakan BAŞAK²

Prof. Dr. Köksal DEMİR³

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10207940>

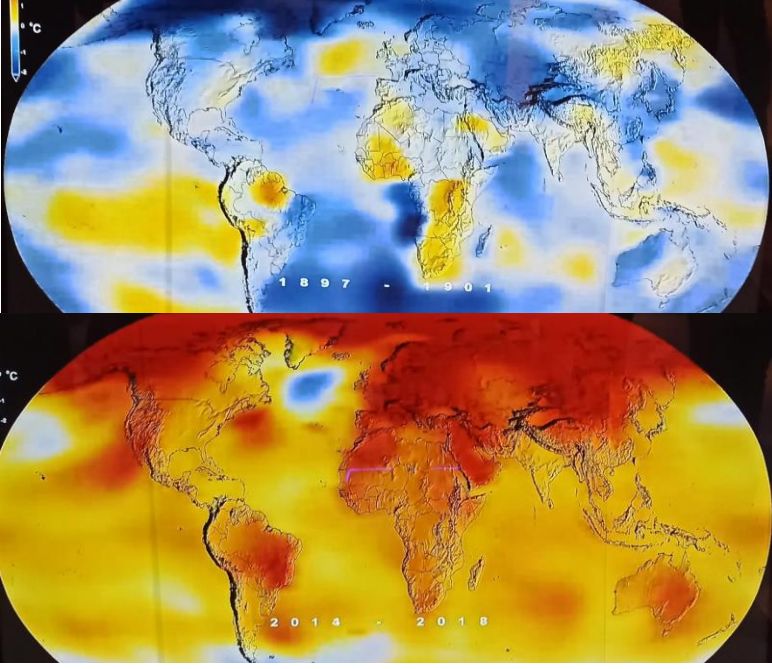
¹ Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, 06110 Ankara-Türkiye
*sorumlu yazar: gcakirer@ankara.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-6225-9208>

² Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, 40200 Kırşehir-Türkiye, <https://orcid.org/0000-0002-1128-4059>

³ Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, 06110 Ankara-Türkiye,
koksaldem@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6120-7249>

GİRİŞ

İklim değişikliğinin tarım üzerindeki olumsuz etkilerinden dolayı, küresel gıda güvenliği 21. yüzyılın en büyük sorunlarından biri haline gelmiştir (McGuire, 2015, Paglialunga vd., 2022). İklim değişikliğinin tarım üzerindeki potansiyel etkilerine ilişkin uyarılar 1990'ların başında önde gelen sağlık dergilerinde yer almıştır (Haines vd., 1993). Bitkiler ve hayvanlar, azalan su kaynakları, artan sıcaklıklar ve hava olaylarındaki değişim sıklığının artması gibi iklim ve çevresel değişikliklere karşı oldukça fazla hassasiyet göstermektedir (Green vd., 2022). Hükümetler arası İklim Değişikliği Panelinde (IPCC, 2018, Masson-Delmotte vd., 2021) ortalama küresel sıcaklığın 1.5-2°C'yi aşmasının felakete neden olacağı bildirilmiştir. Günümüzde aşırı sıcaklık, şiddetli yağışlar, kuraklıklar, yükselen deniz seviyeleri, seller, toprak kaymaları, su kıtlığı ve biyolojik çeşitlilik kayıpları gibi iklim stresinin olumsuz etkileri çok etkin hale gelmiştir. Bu değişim sağlık, yaşam kaynakları, gıda güvenliği ve su temini konularında önemli sorunlara yol açacaktır (Antimiani vd., 2017, Dara, 2012, Markandya vd., 2017). Öngörülen çevresel değişikliklerin, yüzyılın ortalarına doğru küresel açıdan kişi başına düşen gıda miktarını %3.2 oranında azaltacağı tahmin edilmektedir (Springmann vd., 2016). Küresel iklim değişimi bir gerçektir ve bunun tarımsal sistemler üzerinde önemli etkiye sahip olduğuna dair kanıtlar gün geçtikçe artmaktadır (Parry vd., 2004, Patz vd., 2005). Küresel iklim değişikliğinin gıda sistemi üzerindeki etkileri özellikle düşük ve orta gelirli ülkelerde gözle görülür bir biçimdedir (Green vd., 2022). Örneğin, Güney Afrika'daki ülkeler son on yılda iklim değişikliğine bağlı olarak hasatla ilgili büyük sorunlar yaşamaktadır (Ray vd., 2019). Nüfus artışı, gıda zincirlerinin uzaması gibi durumlar iklimsel değişimden kaynaklanan baskıları daha da artırmaktadır. Özellikle tarımsal üretkenliğe uygun olmayan arazi kullanımının artması ve su gibi doğal kaynakların aşırı kullanımı bu değişimleri daha da olumsuz etkilemektedir.



Şekil 1. Küresel düzeyde yüzey sıcaklık değişimi (Marmara Yelken Kulübü, 2023)

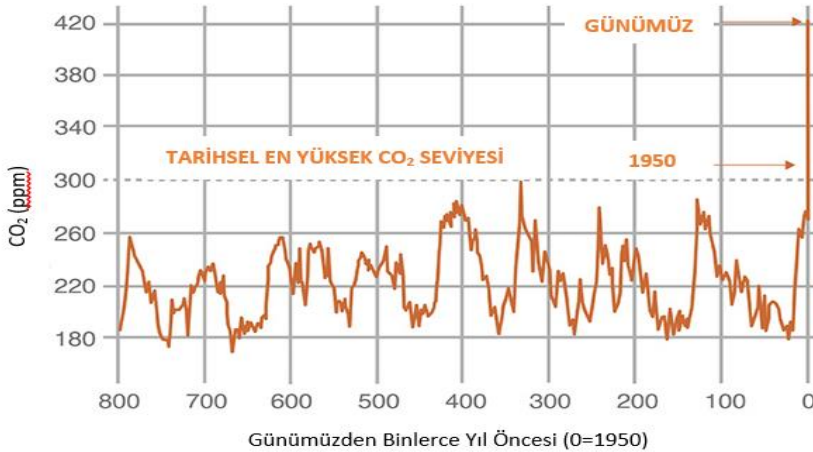
Sanayi Devrimi'nin başlangıcından beri atmosferdeki karbondioksit (CO_2), metan (CH_4) ve nitroz oksit (N_2O) konsantrasyonları %47, %156 ve %23 oranlarında artış göstermiştir (Allan vd., 2021). Özellikle atmosferik CO_2 konsantrasyonundaki artış ürün verimliliğini etkileyen sıcaklık, yağış ve güneş radyasyonu gibi temel faktörlerde değişikliğe neden olmaktadır (Lobell vd., 2011) (Şekil 1). Aşırı şekilde oluşan sera gazı emisyonlarına paralel olarak son 30 yıl, 1850'den bu yana görülen en sıcak dönem olarak kayıtlara geçmiştir (Allen vd., 2019). Günümüzde sera gazı salınımı hızlı bir artış eğilimindedir. Böylece, 2100'deki ortalama yüzey sıcaklığının 1986–2005 ortalamasından 4 °C daha yüksek olacağı tahmin edilmektedir (Zhao vd., 2022).

BM Çevre Programı (UNEP) ile Dünya Meteoroloji Örgütü'nün (WMO) 1988'de ortaklaşa oluşturduğu ve IPCC'de ortaya koyduğu insan kaynaklı faaliyetlerin neden olduğu küresel ısınmanın iklim üzerindeki etkilerine dikkat çekilmiştir. Böylece 1992 yılında düzenlenen BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS), uluslararası alanda atılan ilk ve en önemli adım olmuştur. 21 Mart 1994 tarihinde yürürlüğe giren sözleşmeye, aralarında

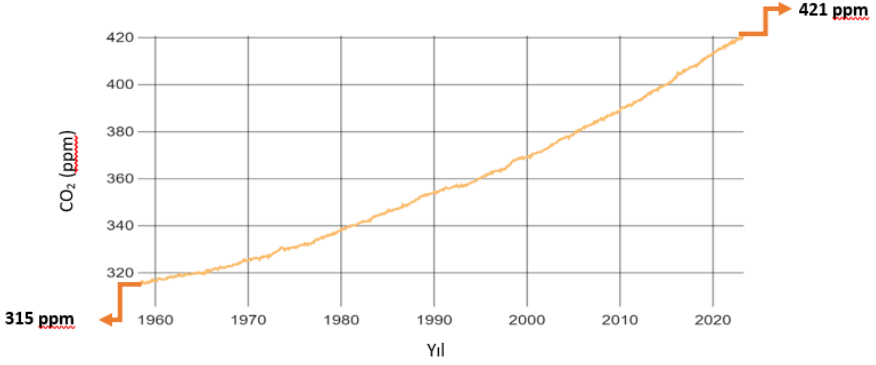
ülkemizin de bulunduğu 196 ülkenin yanı sıra, Avrupa Birliği (AB) de taraftır. Ülkemiz sözleşmeye 2004 yılında katılmıştır. Bu sözleşmede taraf ülkeler, sera gazı emisyonlarını azaltmaya, araştırma ve teknoloji üzerinde iş birliği yapmaya ve sera gazı yutaklarını (örneğin ormanlar, okyanuslar, göller) korumaya teşvik etmektedir. BMİDÇS'nin iki uygulama aracı bulunmaktadır: Kyoto Protokolü (2020 yılına kadar) ve Paris Anlaşması (2020 yılından sonra) (Türkiye Cumhuriyeti Dış İşleri Bakanlığı, 2023).

KARBON AYAK İZİ

Belirli bir faaliyet veya grupta ilişkili olarak oluşan karbon emisyonu "karbon ayak izi" olarak tanımlanmaktadır. Karbon ayak izi, toplumsal kalkınmaya katkıda bulunan farklı sektörlerin neden olduğu sera gazı emisyonlarını değerlendirmek ve karşılaştırmak amacıyla kullanılan bir araçtır (Abbas vd., 2020). Karbondioksit, en yaygın olarak üretilen bir sera gazıdır. NASA'nın verilerine göre geçmişten günümüze CO₂ (ppm) düzeyindeki artış Şekil 2 ve 3'de görülmektedir. Özellikle 1950'li yıllardan sonra hızlı bir şekilde gelişen sanayileşme ile birlikte CO₂ (ppm) seviyesinde önemli seviyede artışlar meydana gelmiştir.

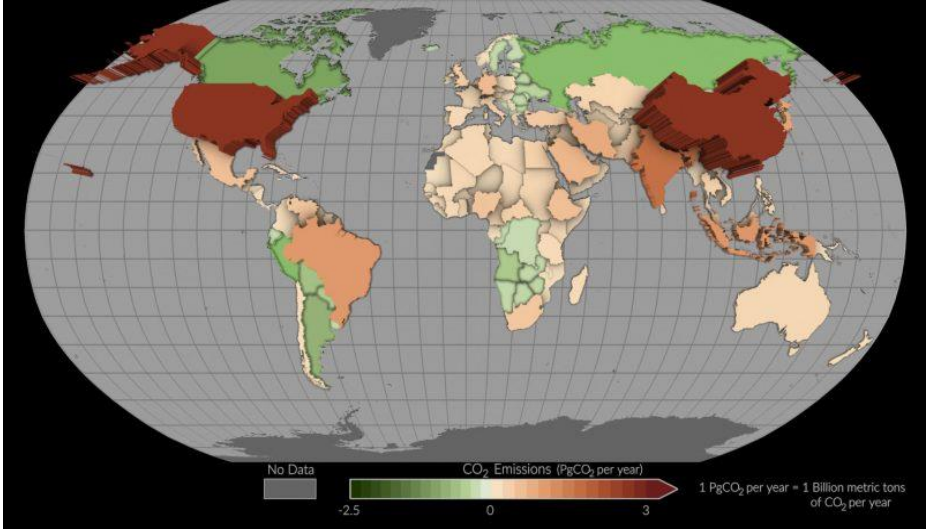


Şekil 2. Tarihsel en yüksek CO₂ seviyesi (The National Aeronautics and Space Administration [NASA], 2023)



Şekil 3. Küresel düzeyde yıllara göre CO₂ (ppm) değişimi (The National Aeronautics and Space Administration [NASA], 2023)

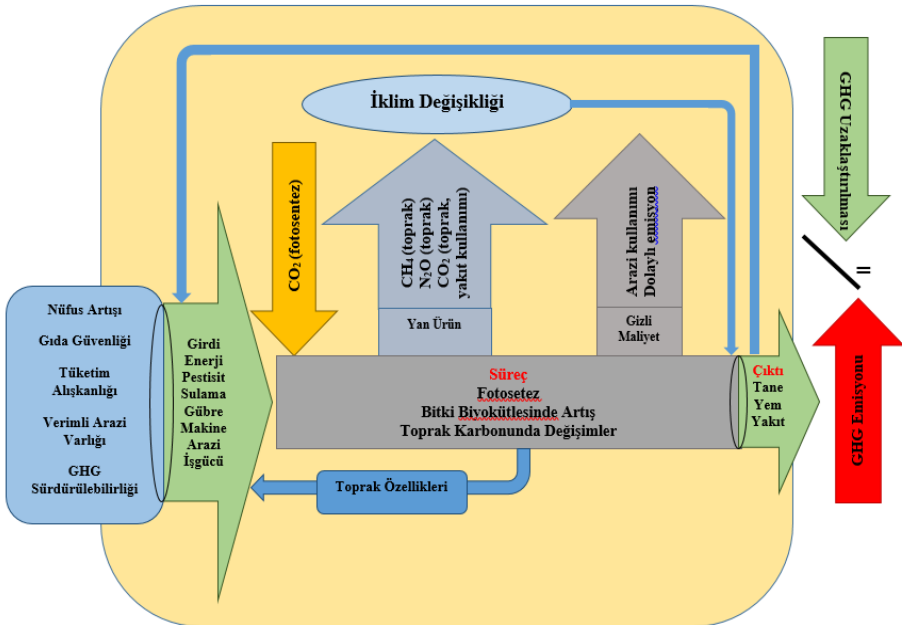
Dünya yüzeyinde bölgelere göre değişim göstermekle beraber 2002'de 365 ppm olan CO₂ seviyesi, günümüzde 400 ppm üzerinde seyretmektedir. NASA tarafından Dünya atmosferinin 8 ila 12 kilometre yukarısındaki orta troposfer katmanında yapılan ölçümlerde CO₂ (ppm) değişimi Şekil 4'de görülmektedir.



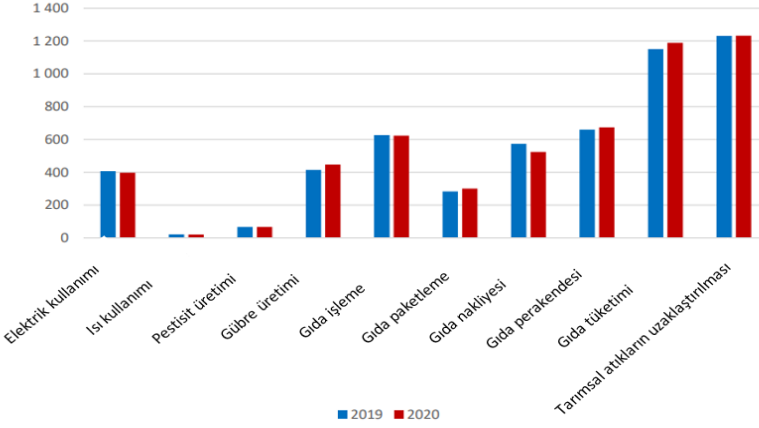
Şekil 4. Küresel düzeyde 2015-2022 yılları arasında karbondioksit (CO₂) emisyonu değişimi (The National Aeronautics and Space Administration [NASA], 2023)

Sera gazlarının üretiminde insan faaliyetleri doğrudan veya dolaylı olarak günlük yaşamda etkili olmaktadır. Elektrik, ulaşım ve ısıtma amaçlı fosil yakıt yakma gibi sera gazı emisyonlarının doğrudan kaynaklarını belirlemek kolaydır. Ancak sera gazlarının dolaylı emisyonları kolayca tanımlanamaz. Ürünlerin üretimi, nakliyesi, enerji kullanımına ve sonuç olarak sera gazı emisyonlarına neden olmaktadır. Farklı sektörlerin karbon ayak izine etkileri farklılık göstermektedir. Örneğin; elektrik ve ısı üretimi (%25), elektrik veya ısı üretimi ile doğrudan ilişkisi olmayan diğer enerji sektörleri (%10), tarım, ormancılık ve diğer arazi kullanımları (%24), ulaşım (%14) ve binalar (%6) yıl içinde küresel emisyonları oluşturmaktadır (IPCC, 2014).

Tarım sektörü, karbon ayak izi oluşumunda büyük bir paya sahiptir. Bu nedenle karbon ayak izini oluşturan tarımsal faaliyetlerin tanımlanması ve etkilerinin azaltılmasına yönelik çalışmalar büyük önem taşımaktadır (Şekil 5 ve Şekil 6).



Şekil 5. Bir ürünün yetiştirilmesi için gereken faaliyet ve girdilerin karbon ayak izi için dikkate alınması gereken genelleştirilmiş bir gösterimi (Pandey ve Agrawal, 2014)



Şekil 6. Tarımsal üretim öncesi ve sonrasında üretimden kaynaklanan emisyonlar (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2023)

KARBON AYAK İZİNİ OLUŞTURAN ETMENLER

Bir canlının, kuruluşun ve ülkenin sürdürdüğü faaliyetler sonucu atmosfere saldıgı sera gazlarının karbondioksit cinsinden karşılığı karbon ayak izi olarak adlandırılmaktadır (Plassmann ve Edwards-Jones, 2010). Karbon emisyonunun tamamen sıfırlanması mümkün değildir. Bir takım canlıların özellikle bitkilerin yaşamı içinde gereksinim duyulmaktadır. Bireysel ihtiyaçlar ve faaliyetler ile endüstriyel süreçler mutlaka belli bir düzeyde karbon salınımına sebep olmaktadır. Ekosistem doğal süreçte, atmosferdeki sera gazlarının düzeyini dengeleyebilecek bir potansiyele sahiptir. Bu işlem biyokapasite veya biyolojik kapasite olarak isimlendirilmekte olup, atmosferden karbondioksitin emilmesi ve filtrelenmesi ile sağlanmaktadır. Ancak atmosfere biyokapasitenin üzerinde karbondioksit salınımı yapıldığında bu denge bozulmaktadır. Karbon ayak izinin hesaplanması da ihtiyaç duyulan biyokapasitenin ne kadar olduğunun belirlenmesine dayanmaktadır. Dolayısı ile temel kural olarak kişi başına düşen biyokapasitenin, kişi başına düşen karbon ayak izinden daha yüksek olması istenmektedir. İnsanoğlunun yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmesi için bazı temel ihtiyaçlarını karşılaması zorunluluktur. Barınma, beslenme, ısınma, ulaşım vb. ihtiyaçların fosil yakıt kullanılarak giderilmesi atmosfere sera gazı salınımını artırmaktadır. Ayrıca endüstriyel süreçte ürünlerin üretim aşamaları, nakliyesi, geri dönüşümü ve bertaraf edilmesi de önemli düzeyde karbon salınımı oluşturmaktadır.

Karbon ayak izi, birincil (doğrudan) ve ikincil (dolaylı) kaynaklı olarak bir birey, kuruluş, ürün veya olayın neden olduğu, karbondioksit eşdeğeri (CO₂e) cinsinden ifade edilen toplam sera gazı emisyonlarının bir ölçüsüdür.

Birincil (doğrudan) karbon ayak izi, gündelik hayattaki faaliyetlerimiz (ulaşım amaçlı araçlarda kullanılan fosil yakıtlar ve evlerde tüketilen enerji) sonucu doğaya salınan sera gazlarının karbon cinsinden miktarını ifade etmektedir.

İkincil (dolaylı) karbon ayak izi, her türlü tüketim malzemelerinin üretiminde, işlenmesinde, nakliyesinde, geri dönüşümünde ve doğada yok olana kadar geçen süreçte açığa çıkan sera gazlarının karbon cinsinden miktarını ifade etmektedir.

Karbon ayak izine katkıda bulunan ana kaynaklar aşağıda belirtilmiştir:

Enerji Kullanımı: Elektrik üretimi, ısıtma/soğutma ve ulaşım için fosil yakıtların (kömür, petrol ve doğal gaz) kullanılması karbon emisyonlarına önemli katkı sağlamaktadır. Bu kaynakların toplam enerji kaynaklarının %80'inden fazlasını oluşturuyor olması sonucu kullanımlarındaki artış, karbondioksit emisyonlarında da eşdeğer artışlara sebep olmaktadır (Saadaoui, 2021, Kahouli vd., 2021). Enerji kaynaklarının fosil yakıtlar veya yenilenebilir enerji kaynakları olması bırakılan karbon ayak izinin büyüklüğünde önemli rol oynamaktadır. Tüketilen enerji miktarının artması da karbon ayak izinin büyük olmasına sebep olmaktadır.

Ulaşım: Fosil yakıt kullanan ulaşım araçlarından (arabalar, otobüsler, kamyonlar, uçaklar, gemiler ve trenler vb.) kaynaklanan emisyonlar, karbon ayak izine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Kullanılan yakıt türü, araç yakıt verimliliği ve kat edilen mesafe oluşan emisyon düzeyini etkiler. Toplu taşımanın, elektrikli ulaşım araçlarının ve yakın mesafelerde bisiklet kullanımının tercih edilmesi karbon ayak izini önemli düzeyde azaltır. Araç lastiklerinin hava basınçlarının dahi karbon salınımına etkisi olmaktadır. Lastik basıncının her 1 PSI düşüşü araçların yakıt verimliliğini %0.2 oranında azaltmaktadır (Anonymous, 2023a). Ayrıca araçların düzenli bakımlarının yaptırılması, ani hızlanma ve durmadan kaçınma, klima kullanımının azaltılması, hız sabitleyici kullanma, bireysel araç kullanımından kaçınarak

otomobilleri ortak kullanmak da karbon ayak izimizin azalmasına katkı sağlamaktadır.

Endüstriyel Süreçler: Ekonomik büyüme ve sanayileşme, üretim ve tüketimi artırarak daha yüksek karbon emisyonlarına yol açmaktadır. Bazı endüstriyel faaliyetler üretim süreçlerinde; CO₂, su buharı, metan (CH₄) ve nitroz oksit (N₂O) gibi sera gazları salmaktadır. Endüstriyel faaliyetlerde daha çevreci ve temiz enerji kaynaklarının ve teknolojilerin kullanılması bu emisyonları önemli düzeyde azaltabilmektedir.

Tarım: Tarımsal faaliyetler, çiftlik hayvanlarından kaynaklanan metan emisyonları (enterik fermantasyon) ile özellikle pirinç tarlalarından ve kimyasal gübrelerden nitroz oksit (N₂O) salınımı yoluyla karbon ayak izine katkıda bulunmaktadır. Sürdürülebilir tarım yöntemlerinin uygulanması bu emisyonları azaltmaya yardımcı olmaktadır.

Hayvancılık önemli miktarda sera gazı emisyonuna sebep olmaktadır. Sığır eti bu emisyona en büyük katkıda bulunanlardandır. Bir kilogram sığır eti, bir otomobilin yaklaşık 260 km yol almasıyla aynı miktarda emisyona sahiptir (Williams, 2008).

Vejetaryen beslenmeye geçmeden de karbon ayak izi önemli düzeyde azaltılabilir. Kırmızı et tüketiminin azaltılması veya daha az karbon yoğun etler tercih edilebilir. Örneğin sığır etinin kilogram başına sera gazı emisyonu tavuk etinden 7.2 kat daha fazladır (Heller vd., 2020).

Tarımsal üretimde kullanılan pestisitler, kimyasal gübreler, mevsim dışı gıdaların satın alınması, işlenmiş gıdaların üretimi, paketlenmesi ve taşınması önemli miktarda karbon ayak izine katkıda bulunmaktadır.

Kimyasal 1 kg N gübresinin üretimi ve taşınması sırasında 2.8–16.1 kg CO₂ eşdeğeri sera gazı emisyonunu oluşturmaktadır (Köpke ve Nemecek, 2010). Dolayısı ile kimyasal gübrelerin üretim süreçleri ve tarımda aşırı kullanımları karbon ayak izimizi artırmaktadır.

Atık Yönetimi: Kentsel atıkların miktarı özellikle son altmış yılda istikrarlı bir şekilde artmaktadır (Hoornweg ve Bhada-Tata, 2012). Dünya çapında üretilen yıllık toplam kentsel atık miktarı, 1965-2000 milyon tondan

(Mt), 2015 yılında 635 Mt'a ve 2050 yılına kadar 3500 Mt'a ulaşacağı tahmin edilmektedir (Chen vd., 2020). Atığın işleme süreçleri, yönetilmesi, yakılması ve depolanma şekli metan ve CO₂ salınımını etkilemektedir. Organik atıkların depolandığı çöplükler güçlü bir sera gazı olan metan üretirken, atıkların yanması ise CO₂ ve diğer kirleticilere sebep olmaktadır. Organik atıkların depolanma sırasındaki ayrışması, karbon ayak izine katkı sağlayan güçlü bir sera gazı olan metan gazını üretmektedir. Atıkların uygun yönetimi sayesinde geri dönüşümü ve kompostlanması neden olduğu karbon ayak izini azaltmaktadır.

Ormansızlaşma ve Arazi Kullanımındaki Değişiklikler: Ağaçlar, atmosferdeki CO₂'yi absorbe ederek önemli düzeyde karbon yutağı görevi görür. Ancak tarım alanları, madencilik faaliyetleri, turizm ve kentsel yerleşim gibi arazi kullanımındaki değişiklikler için yapılan ağaç kesimleri sonucu orman alanlarının azalması karbondioksiti emme kapasitesini azaltarak emisyonların artmasına neden olmaktadır. Harris ve diğerleri (2021), dünyadaki tüm ormanların 2001-2019 yılları arasında saldıkları karbondioksit miktarının (8.1 milyar metrik ton) yaklaşık iki katı kadarını (16 milyar metrik ton) absorbe ettiğini bildirmektedirler. Dolayısı ile ormanlar, karbon emisyonunu emen bir "karbon havuzu" olarak görev yapmaktadır. Özellikle tropikal yağmur ormanları, yüksek karbon emilim kapasitesi ile iklim değişikliğini hafifletme konusunda en önemli ekosistemlerdir. Tropikal yağmur ormanları atmosferden ılıman veya kuzey ormanlarına göre daha fazla miktarda karbon tutmaktadır. Ancak bu ormanlar tarımsal genişleme, madencilik vb. nedenlerle giderek daha fazla yok edilmektedir.

Bina İnşaatı: Binaların yapımında kullanılan malzemelerin enerji verimliliği, binaların ısıtılması, soğutulması ve aydınlatılması ile enerji tüketimi karbon ayak izine katkıda bulunmaktadır. İnşaat sektörünün en önemli girdisi olan çimento ve çelik üretimleri önemli miktarda karbondioksit (CO₂) salmaktadır. Enerji tasarrufu sağlayan yalıtım ve izolasyon malzemelerinin binaların yapımında kullanılması enerji verimliliğini artırarak karbon ayak izini önemli düzeyde azaltabilmektedir.

Elektrik Üretimi: Elektrik üretimi için kullanılan enerji kaynaklarının türleri (fosil yakıt kullanan enerji santralleri, güneş, rüzgar, jeotermal,

hidroelektrik ve nükleer vb.) karbon ayak izinin düzeyini belirler. Elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, fosil yakıtların kullanımına kıyasla daha düşük CO₂ emisyonlarına sebep olmaktadır.

Endüstri ve Sanayi Üretimi: Özellikle enerji ihtiyacı yüksek endüstriyel üretim süreçleri kullanılan enerji türüne göre değişmekle beraber, karbon ayak izine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Fosil yakıtlardan enerji ihtiyacını sağlayan sanayi kuruluşları mal ve malzemelerin üretiminde önemli miktarda sera gazı salınımına sebep olmaktadır.

Gıda Maddelerinin Üretimi ve Taşınması: Gıda maddelerinin üretimi ve işlenmesi ile tüketiciye ulaştırmak üzere yapılan nakliyenin mesafesi de bırakılan karbon ayak izinin düzeyinde etkilidir. Özellikle üretim ve işleme sürecinde önemli miktarda enerji girdisi gerektiren gıdaların üretimi ve bu ürünlerin uzak mesafelere nakliyesi yüksek düzeyde CO₂ emisyon salınımına sebep olmaktadır.

Gıda maddeleri, hane halkının karbon ayak izinin %10-30'unu oluşturmaktadır. Gıdanın bu payı düşük gelirli hanelerde genellikle daha yüksek bir orandadır (Jones ve Kammen, 2011). Gıda emisyonlarının %68'ini gıdaların üretimi, %5'ini ise taşınması oluşturmaktadır (Boehm vd., 2018).

Su Kullanımı: Özellikle suyu sondaj kuyularından veya barajlardan temin etmek, kullanılabilir hale getirmek amacıyla arıtmak ve şebeke sistemiyle dağıtmak için yoğun enerji kullanımı söz konusudur. Dolayısı ile suyun tüketim noktasına ulaşmaya kadarki serüveninde kullanılan enerjinin miktarının artması karbon emisyonlarına katkıda bulunmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki en büyük su ve atık su şirketi American Water, elektrik tüketiminin %97'sinin ve sera gazı emisyonlarının %9'ünün su dağıtım sürecinin ürünleri olduğunu bildirmektedir (Young, 2010). ABD Çevre Koruma Ajansı, ulusal enerji tüketiminin %3'ünün içme suyu ve atık su hizmetleri için kullanıldığını ve her yıl atmosfere yaklaşık 45 milyon ton sera gazı salınımının yapıldığını bildirmektedir (Wallis vd., 2008).

Tüketim Alışkanlıkları ve Davranışları: Günlük hayatta tek kullanımlık plastik ürünlerin, işlenmiş ve yoğun olarak plastik kullanılarak paketlenmiş ürünlerin kullanımı karbon ayak izini artırmaktadır. Geri dönüşüm

yapılmak üzere çöp depolama alanlarına getirilen plastik atık miktarı, günlük hayatta kullandığımız plastik miktarının %24.9'unu oluşturabilmektedir (Geyer vd., 2017). Örneğin bireylerin su ihtiyacını gün içerisinde onlarca plastik pet şişe su tüketerek karşılaması yerine, yanlarında taşıdıkları bir termosla doldurdukları su ile karşılaması tercih edilmelidir. Zira plastik pet şişeler sadece atık oluşturmamakta, ayrıca hem üretim hem de geri dönüşüm süreçlerinde önemli düzeyde karbon salınımına sebep olmaktadır. Tüketim alışkanlıklarının karbon ayak izine etkisi sadece tarım ve gıda ürünleriyle kısıtlı olmayıp; giyim, elektronik cihazlar ve ev eşyalarının hızlı tüketimi de karbon ayak izini artırmaktadır. Dolayısı ile satın alınan ve kullanılan tüm ürün ve hizmetlerin üretimi, nakliyesi ve bertaraf edilmesi ile ilgili önemli karbon ayak izleri oluşmaktadır.

Bireylerin Beslenme Tercihleri: Beslenme tercihlerimiz karbon ayak izimizi önemli ölçüde etkilemektedir. Beslenmelerinde daha fazla et ve et ürünlerini tercih eden tüketiciler, sebze ağırlıklı beslenen bireylere kıyasla daha yüksek karbon salınımına sebep olmaktadır. Gıda amaçlı hayvansal üretim tek başına küresel sera gazı üretiminin %14.5'ini oluşturmaktadır (Gerber vd., 2013). İşlenmiş hazır gıdaları yoğun tüketen bireyler, bu ürünlerin işlenmesi, paketlenmesi ve nakliyesi sırasında oluşan yüksek karbon salınımına da katkı vermektedirler.

Nüfus Yoğunluğu: Nüfus artışı beraberinde ihtiyaçların karşılanabilmesi için daha fazla enerji harcayarak üretim gerektirdiğinden karbon ayak izini de artırmaktadır. Yaşanılan yerin nüfus yoğunluğu (köy, kasaba, ilçe, şehir ve büyükşehir) burada yaşayan bireylerde farklı ihtiyaçlar oluşturmaktadır. Özellikle büyükşehirlerde uzak mesafelere ulaşım için araç ve toplu taşıma kullanımı bir zorunlulukken, köy ve kasabalarda yürüyerek veya bisiklet ile ulaşım mümkün olabilmektedir. Nüfus yoğunluğu yüksek ve gelişmiş ülkelerde insanların enerji tüketimi yüksek tüketim kalıplarına daha fazla girmesinden dolayı karbon ayak izleri de artmaktadır.

Seyahat Tercihleri ve Sıklığı: İşe gidiş gelişlerde ve seyahatlerde toplu ulaşım araçlarının kullanılması bireysel araba kullanımına kıyasla daha düşük karbon salınımına sebep olmaktadır. Ancak uçak genelde toplu taşıma aracı olarak kullanılsa da çok yüksek karbon salınımından dolayı karbon ayak izini

önemli ölçüde etkilemektedir. Günümüzde fosil yakıtlara bağımlı olan havacılık faaliyetinin sebep olduğu emisyon, insanların neden olduğu iklim ısınmasının %3.5'inden sorumludur (Lee vd., 2021).

Coğrafi Konum: Farklı coğrafi bölgelerde değişik enerji kaynakları bulunabilmektedir. Örneğin jeotermal kaynakların yoğun olduğu bölgelerde elektrik üretimi, ısıtma amaçlı ve tarımsal üretimde jeotermal enerjiden faydalanılabilmektedir. Coğrafi konumundan dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip olan bölgelerde karbon ayak izi de azalmaktadır.

Politikalar ve Kanuni Düzenlemeler: Devlet politikaları ve kanuni düzenlemeler karbon ayak izini düşürecek uygulamaları teşvik edebilir. Yenilenebilir enerji ve emisyon azaltma girişimleri için devletler tarafından verilecek teşvikler önemli katkı sağlayabilmektedir.

Verimsiz Enerji Uygulamaları: Gereksiz yanan ışıklar ve elektronik cihazların açık bırakılması gibi israf edilen enerji uygulamaları, karbon emisyonlarını artırmaktadır.

KARBON AYAK İZİNİ AZALTMANIN ÖNEMİ

Karbon ayak izini azaltmanın neden hayati bir öneme sahip olduğunu anlayabilmek için, "sera gazı etkisi" ve "küresel ısınma" arasındaki ilişkinin irdelenmesi gerekmektedir. Tüm dünyayı etkisi altına alan iklim krizinin ana sebebi, atmosfere salınan karbon emisyonunun sera etkisi oluşturmasıdır. Özellikle fosil yakıtların kullanımıyla atmosferde yoğunluğu artan sera gazları güneş ışınlarının geri yansımını engelleyerek yerkürenin sıcaklığının artmasına yani küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Ormanların; yangınlar, madenler, arazi açılması, betonlaşma gibi sebeplerden dolayı her geçen gün azalması da karbon emisyonunu azaltan ağaçların karbon ayak izini azaltıcı etkisinden yeterince yararlanmamıza sebep olmaktadır.

İklim krizinin etkisiyle bozulan mevsim döngüsü ve yağış rejimi, felaket boyutuna ulaşan ani iklim değişiklikleri ve tarımsal üretimde küresel ısınmanın etkisiyle buğday, mısır ve pirinç başta olmak üzere, temel tarım ürünlerinin yetiştiriciliğinde sorunların oluşması tüm dünyada yaşanmaktadır. Bilim insanlarının üzerinde en fazla araştırma yaptığı ve çözüm aradığı abiyotik stres faktörü olan kuraklık da küresel ısınmanın yarattığı olumsuzluklardan en

önemlidir. Küresel ısınma kuraklığı doğrudan etkilerken, kurak ve yarı kurak bölgelerde tuzluluk probleminin artması da dolaylı etki olarak kabul görmektedir. Buzulların erimesi deniz seviyesinin artmasına sebep olduğu gibi, buzullar içerisinde inaktif durumda olan hastalık etmenlerinin (virüs, bakteri vb.) erimeyle aktif duruma geçmesi de yeni salgınların oluşmasına sebep olabileceği endişesi oluşturmaktadır. Değişen iklim koşullarına adapte olamayan başta bitki türleri olmak üzere birçok canlı türünün yok olma tehlikesi ile karşı karşıya olduğu da unutulmamalıdır.

Karbon ayak izinin hem bireysel ihtiyaçların karşılanması hem de endüstriyel süreçte azaltılabilmesi, özellikle uzun vadede çevrenin korunmasının yanı sıra ekonomik getiriler de sağlamaktadır. Karbon ayak izi yüksek olan üretimde enerji maliyetleri de yüksek olacağından, karbon salınımının azaltılması doğal olarak enerji maliyetlerini de azaltacaktır. Ayrıca bu tür sürdürülebilir üretim modeline geçiş, çevre dostu, sağlıklı ve temiz üretim yapılabilmesine de imkan sağlamaktadır.

Bir birey veya kurumun elektrik tüketimini yenilenebilir enerji kaynaklarından temin ettiğini kanıtlayan "Yenilenebilir (Yeşil) Enerji Sertifikası" ve çevre dostu projelerin finansmanına destek olmak için yapılan faaliyetin karbon salınımını azalttığı veya telafi ettiği konusunda bağımsız denetçi bir kuruluşun verdiği "Karbon Sertifikası" günümüzde gittikçe yaygınlaşmaktadır.

Karbon ayak izinin oluşumuna katkı sağlayan unsurlar; bireysel, kurumsal, ulusal ve küresel boyut olarak sınıflandırılmaktadır. Karbon ayak izinin oluşumunda bireysel ihtiyaçların oluşturduğu katkının azaltılabilmesi, dolaylı etki gösteren endüstrinin katkısını da azaltacaktır.

Karbon ayak izinin azaltılması çevre, toplum ve ekonomi üzerindeki önemli etkileri nedeniyle büyük öneme sahiptir. Karbon ayak izinin azaltılmasının önemli olmasının bazı temel nedenleri şunlardır:

İklim Değişikliğinin Hafifletilmesi: Karbondioksit (CO₂) ve diğer sera gazlarının aşırı salınımı, iklim değişikliğine ve küresel ısınmaya en büyük katkıyı yapmaktadır. Yerkürenin giderek ısınması sonucu oluşan iklim değişiklikleri; kasırga, kuraklık, sel, deniz seviyelerinin yükselmesi ve mevsim

normalleri üzerinde seyreden sıcak hava dalgaları gibi olumsuzluklara yol açmaktadır. Karbon ayak izimizi azaltarak, bu olumsuzluklara sebep olan gazların atmosferdeki konsantrasyonunu azaltabilmek mümkündür. Bu sayede iklim değişikliği ve onun çevre, ekosistem, tarım ve toplum üzerindeki yıkıcı etkileri azaltılabilmektedir. Karbon ayak izinin azaltılması küresel ısınmanın sebep olduğu sıcaklık artışını, buzulların erimesi sonucu oluşan deniz seviyesindeki yükselişi ve okyanus sularının asitleşmesini yavaşlatacaktır. Deniz suyu ile karışan CO₂, hidrojen iyonlarına ve bikarbonat iyonlarına ayrışarak zayıf bir asit olan karbonik asidi oluşturmaktadır. Ortalama pH'ı 8.1 olan okyanus suları, CO₂ absorbe etmeye devam ettikçe gittikçe asidik hale gelmektedir. Okyanus sularının asitleşmesi tüm deniz canlılarını etkilemektedir. Ancak en fazla deniz suyundaki kalsiyum ve karbonat iyonlarını bileştirerek sert kabuklarını oluşturan deniz canlılarını olumsuz etkilemektedir. Küresel ısınma sonucunda eriyen buzulların etkisiyle deniz seviyesindeki artış da önemli bir sorundur. Tüm dünyadaki denizlerin ortalama seviyesi 1880'den 2021 yılına kadar 21-24 cm artmıştır. Hatta son yıllarda bu artış rekor seviyelere ulaşmıştır. 1993 yılından 2021 yılına kadarki artış 97 mm'ye ulaşmıştır. Yirminci yüzyılın büyük bölümünde 1.4 mm olan yıllık deniz suyu seviyesindeki artış, 2006-2015 yılları arasında iki kattan fazla artış göstererek 3.6 mm olmuştur. Tahminler sera gazı emisyonlarının azaltılabilmesi durumunda Amerika Birleşik Devletleri'nde deniz suyu seviyesinin 2100 yılında 2000 yılına göre 60 cm artacağını, ancak karbon ayak izimizdeki artışın azalmadan devam etmesi durumunda bu artışın 2100 yılında 2.2 m'ye ve 2150 yılında ise 3.9 m'ye ulaşabileceği yönündedir. Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) verilerine göre küresel ısınmadaki artış engellenemez ise dünyada deniz seviyesindeki artış 2100 yılına kadar 1 ila 1.6 m'ye ulaşabilecektir. Deniz seviyesinde oluşan artış ekosistemi etkilemenin yanı sıra özellikle kıyı ve ada bölgelerinde yaşayan nüfusu önemli ölçüde etkilemektedir. Oluşacak kıyı selleri, gel-gitler, tsunamiler ve yüksek dalgalar tarım arazileri ile yerleşim yerlerinin alt ve üst yapısının zarar görmesine sebep olabilmektedir. BM Okyanuslar Atlası'nda da görüleceği üzere dünyanın en büyük 10 şehrinin 8'inin deniz ve okyanus kıyısına yakın konumda olması tehlikenin büyüklüğünü göstermektedir.

Sanayi devrimi öncesi dönemine göre günümüzde dünya atmosferi 1.1°C ısınmıştır (The National Aeronautics and Space Administration Earth Observatory [NASA], 2022). Sanayileşme öncesi dönemde 280 ppm olarak ölçülen atmosferdeki CO₂ yoğunluğu, iklim değişikliğinin önlenmesinde kritik değer olarak kabul edilen 350 ppm'i aşmış durumdadır. 2022 yılı Nisan ayında yapılan ölçümlerde, atmosferde CO₂ yoğunluğu 420 ppm'e ulaşmış durumdadır (Stein, 2021).

Doğal Kaynakların Korunması: Yoğun karbon salınımına sebep olan faaliyetlerin önemli bir kısmı aynı zamanda sınırlı doğal kaynakları da hızlı bir şekilde tüketmektedir. Fosil yakıtlar sadece yakılma sırasında oluşturduğu sera gazlarının etkisiyle karbon emisyonu üretmemektedir. Fosil yakıtlar ve diğer madenlerin çıkarılmasının yanı sıra çıkarılma işlemi sırasında ekosistemlerin ve habitatın yok edilmesi de karbon ayak izini artırmaktadır. Bu kaynaklara olan bağımlılığımızı azaltarak ve daha sürdürülebilir kaynakları tercih ederek hem ekosistemi tahrip etmemiş olur hem de ekonomik sürdürülebilirlik sağlayabiliriz.

Biyçeşitliliğin Korunması: Karbon emisyonlarından kaynaklanan iklim değişikliği, ekosistemi bozarak biyolojik çeşitlilik için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Artan sıcaklıklar, değişen yağış modelleri ve iklimle ilgili diğer etkiler ekosistemleri bozarak habitat kaybına ve adapte olamayan türlerin yok olmasına yol açmaktadır. Karbon emisyonlarını azaltarak, ekosistemlerin ve biyolojik çeşitliliğin korunmasına yardımcı olarak birçok canlı türünün korunması sağlanmış olmaktadır. Birleşmiş Milletler verilerine göre sadece 1.5°C'lik sıcaklık artışı memelilerin %4'ünün yaşam alanlarının yarısını kaybetmesine sebep olurken, bu kayıp 2°C'lik sıcaklık artışında %8 kayba, 3°C'lik sıcaklık artışında ise yaşam alanlarında %41'lik azalışa sebep olmaktadır (Anonymous, 2023b).

Hava Kalitesinin İyileştirilmesi: Küresel karbondioksit emisyonları 1850'de 0'dan 2010'da 32.500 milyon ton'a ve 2030'a kadar 39.000 milyon ton'a ulaşması beklenmektedir (Abass ve Tucker, 2021). Fosil yakıtların yakılmasından kaynaklanan karbon emisyonları sadece iklim değişikliğine katkıda bulunmakla kalmaz, hava kirliliğine ve hava kalitesinin düşmesine de neden olmaktadır. Karbon ayak izimizi azaltmak, atmosfere daha az kirletici

madde salmak anlamına gelmektedir. Bu sayede halk sağlığının yanı sıra, bitki ve hayvanlar için hava kalitesi iyileştirilmiş yaşanabilir çevrenin oluşturulmasına da katkı sağlanmış olur.

Enerji Verimliliğinin Sağlanması: Enerji sektörü, toplam emisyonların üçte ikisinden fazlasına katkıda bulunarak sera gazı emisyonlarına en büyük katkıyı sağlayan sektör olarak kabul edilmektedir (Espa ve Holzer, 2018). Karbon emisyonunu artıran faaliyetlerin çoğu, büyük ölçüde fosil yakıtlara dayanır. Daha temiz, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş yaparak ve enerji verimliliğini artırarak hem karbon emisyonu azaltılabilir hem de fosil yakıtlara olan bağımlılık azaltılabilir.

Gıda ve Su Güvenliğini Sağlamak: Küresel enerji talebinin yaklaşık %30'u tarım-gıda endüstrisi tarafından tüketilmektedir. Aynı zamanda bu endüstri çevreye salınan sera gazlarının önemli bir kısmının emisyon kaynağıdır. Gıda ürünlerinin karbon ayak izi, üretimleriyle ilişkili birçok faktör tarafından belirlenmektedir. Hayvansal kaynaklı gıdalar, bitkisel bazlı ürünlere göre daha yüksek karbon ayak izine sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve kimyasal gübre ve pestisit kullanımının azaltılabilmesi sera gazı emisyonunun azaltılmasına önemli katkı sağlamaktadır (Karwacka vd., 2020). Küresel ısınmanın sebep olduğu iklim değişikliği, su kaynaklarını tehdit ederek, tarımsal üretimi ve suya erişimi olumsuz etkilemektedir. Karbon emisyonlarını azaltarak, kullanılabilir su kaynaklarının sürdürülebilir şekilde yönetilmesi sağlanabilmektedir. Bu durum başta su kıtlığı ve gıda güvensizliği ile karşı karşıya olan hassas bölgeler olmak üzere, düzenli gıda arzının sağlanması ve su kaynaklarının korunmasına katkı sağlayabilmektedir.

İnsan Sağlığının Korunması: Sanayileşme öncesi 1850'li yıllardan 2022'ye kadar, küresel ortalama atmosferik karbondioksit (CO₂) konsantrasyonu önemli ölçüde artarak 285 ppm'den, 419 ppm'e yükselmiştir (Chen, 2021, CO₂ Daily, 2022). Fosil yakıtların yoğun yakılmasından kaynaklanan hava kirliliği, bu bölgelerde yaşayan insanlarda solunum yolu ve kardiyovasküler hastalıklara sebep olmaktadır. Bundan dolayı her yıl dünya çapında milyonlarca insan ölmekte veya kronik hastalıklara yakalanmaktadır. Ayrıca iklim değişikliği sonucu oluşan aşırı sıcakların sebep olduğu sağlık problemleri ve yağış rejiminin değişmesi sonucu oluşan tarımsal üretimdeki

kuraklık kaynaklı yetersiz beslenme de yaşanmaktadır. Karbon emisyonlarının azaltılabilmesi hava kalitesini iyileştirerek toplum sağlığını olumlu etkilemektedir. Dolayısı ile hem sağlık sistemi üzerindeki yük azaltılabilir, hem de yaşam kalitesi artırılmış olmaktadır.

Ekonomik Faydalar: Düşük karbonlu ve sürdürülebilir uygulamalara geçiş, yenilenebilir enerji kullanımını teşvik edebilir, yeni yeşil endüstriler yaratabilir ve ekonomik büyümeyi teşvik edebilir. Yenilenebilir enerjiye, enerji verimli teknolojilere ve sürdürülebilir tarıma yapılan yatırımlar, istihdam yaratılmasına ve iklim değişikliğinin sebep olduğu afetlerin ekonomi üzerindeki maliyetinin azaltılmasına imkan sağlamaktadır. Ayrıca, fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılabilmesi, enerji fiyatlarında oluşan dalgalanmanın üretim maliyetlerini artırmasını engelleyebilir. Nature dergisinde yapılan bir araştırmada, her 1 trilyon ton CO₂'nin neredeyse yüzde yarım gayri safi yurt içi hasıla (GSYİH) kaybına yol açtığını bulmuştur. İklim değişikliğine sebep olan karbon emisyonlarımızı azaltabilecek önlemler alınabilirse, toplam küresel ekonomik maliyetin 2030 yılına kadar yılda 240-420 milyar Dolar olacağı öngörülmüştür. Yüksek karbon emisyonlarının sağlık sektörü üzerinde oluşturduğu ekonomik yükün de, karbon ayak izinin azaltılması ile önemli düzeyde azalacağı kesindir. 2017 yılında hava kirliliğine bağlı Çin'de meydana gelen 1.2 milyon ölümün GSYİH'sının %13.2'sini, Birleşik Krallık'ta ise 23.000 ölümün GSYİH'nin %7.1'ini oluşturması sağlık sektörü üzerinde hava kirliliğinin ne kadar önemli bir ekonomik baskı oluşturduğunu göstermesi bakımından önemli bulunmuştur (Anonymous, 2023c).

Sürdürülebilir Kaynak Yönetimi: Karbon emisyonlarını azaltmak, daha temiz olan yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak, enerji verimliliğini artırmak gibi sürdürülebilir uygulamaları benimsemek inovasyonu teşvik ederek ekonomik büyümeyi artırmaktadır. Bu sayede karbon ayak izinin azaltılması, uzun vadede ekonomik istikrar, toplumların sosyal refahının artması ve çevrenin korunmasına katkı sağlanabilmektedir. Karbon ayak izini azaltarak tarım, ormancılık, enerji üretimi ve ulaşımda sürdürülebilir uygulamaları teşvik ederek kaynakların daha iyi yönetimi ve korunması sağlanabilir.

Küresel Sorumluluk ve Eşitlik: İklim değişikliği, bu soruna hangi düzeyde katkı sağlarsa sağlasın, dünyanın her bir noktasındaki her kesiminden insanları ayırım yapmaksızın etkileyen küresel ve kitlesel eylem gerektiren bir sorundur. Karbon ayak izinin azaltılması, soruna sebep olmadıkları halde iklim değişikliğinden olumsuz etkilenen gelecek nesillere karşı da vicdani ve ahlaki sorumluluktur. Dolayısı ile iklim değişikliğiyle mücadelede kesin ve kalıcı sonuçlar elde edebilmek için, bireysel eylemlerin, kurumsal sorumluluğun ve hükümet politikalarının ortak hareketini gerektiren kolektif bir sorumluluktur.

Uluslararası taahhütlerin yerine getirilmesi: İklim değişikliği, ülkeler arasında işbirliği gerektiren küresel bir sorundur. Birçok ülke, Paris Anlaşması ve Avrupa Yeşil Mutabakatı gibi sera gazı emisyonlarını azaltmayı amaçlayan çeşitli uluslararası anlaşmalar ve protokoller taahhüt etmiştir. Karbon ayak izlerini azaltarak iklim değişikliği ile mücadeleyi küresel olarak sürdürebilmek ve bu konudaki yükümlülüklerini yerine getirmek bir tercihten daha çok bir zorunluluk olmalıdır.

İnovasyonu ve Ekonomik Fırsatları Teşvik Etmek: Düşük karbon ekonomisine geçiş, temiz enerji teknolojilerini, endüstrilerini ve sürdürülebilir iş modellerini zorunlu kılmaktadır. Toplumlar temiz enerjiye ve sürdürülebilir uygulamalara yatırım yaparak inovasyonu teşvik edebilir, yeni iş fırsatları yaratabilir ve ekonomik büyümeyi teşvik edebilir.

Karbon ayak izinde etkili düzeyde azalmalar elde edebilmek için başta bireyler olarak yaşam faaliyetlerimizde düzenlemeler yapmalıyız. Örneğin ulaşımda toplu taşımayı tercih etmek, enerji tasarrufuna dikkat etmek, israf boyutuna ulaşan tüketim çılgınlığından vazgeçmek, atıkları azaltmak ve sürdürülebilir, çevre dostu ürünleri tercih etmek gibi günlük yaşamda değişiklikler yapılmalıdır. Benzer şekilde, endüstriyel işletmeler de enerji verimli uygulamalara geçerek, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak ve sürdürülebilir üretim süreçlerini benimseyerek karbon emisyonlarını azaltabilirler. Hükümetler ise, karbon emisyon azaltımını teşvik eden ve yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan işletmeleri destekleyen politikalar ve yönetmelikler çıkararak katkı sağlayabilirler. Bu çabaların birlikte koordineli olarak yapılabilmesi çarpan etkisi oluşturacağından, karbon ayak izinin daha etkin olarak azaltılabilmesine imkan sağlayacaktır.

Hükümet Politikaları: Hükümetler tarafından karbon emisyonlarını azaltmaya ve doğal kaynakları korumaya yönelik yasal mevzuatların oluşturulması, yenilenebilir enerji ve sürdürülebilir uygulamaların yaygınlaşması için mali teşviklerin sağlanması ve bu alanda yeni teknoloji geliştirmek amacıyla yapılan AR-GE projelerine mali destek sağlanması gibi uygulamalar çevresel sürdürülebilirliğin desteklenmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

KENTSEL TARIMIN ÖNEMİ

Tarım her zaman kırsal çevre ile ilişkilendirilmiş ve tarım faaliyetleri çoğu zaman bu ölçekte sınırlı kalmıştır. Bu yüzden kentsel nüfusu beslemek için kırsaldaki bitkisel üretime güvenmenin yeterli olacağı düşünülmüştür. Ancak hızlı kentleşme (Tablo 1), göç, işsizlik, tarımsal alanlar, çevresel ve toplumsal sorunlar kentsel alanlarda tarımsal faaliyetlerin artmasına neden olmuştur. Bu yaklaşım ise "Kentsel Tarım" olarak adlandırılmıştır (Orsini vd., 2013).

Tablo 1. Toplam nüfus ve kentsel nüfusun 2000-2050 yılları arasındaki beklenen değişimi (Orsini vd., 2013)

Toplam Nüfus (milyon)							
Yıl	Dünya	Afrika	Asya	Avrupa	Latin Amerika/ Karayipler	Kuzey Amerika	Okyanusya
2000	6,124	821	3,705	729	523	316	31
2010	6,907	1,032	4,166	730	594	349	35
2020	7,667	1,271	4,596	722	660	379	39
2030	8,318	1,518	4,931	707	713	405	43
2040	8,824	1,765	5,148	687	750	427	46
2050	9,191	1,998	5,266	664	769	445	49
Kentsel Nüfus (%)							
Yıl	Dünya	Afrika	Asya	Avrupa	Latin Amerika/ Karayipler	Kuzey Amerika	Okyanusya
2000	46.6	35.9	37.1	71.4	75.3	79.1	70.4
2010	50.6	39.9	42.5	72.6	79.4	82.1	70.6
2020	54.9	44.6	48.1	74.8	82.3	84.6	71.4
2030	59.7	50.0	54.1	77.8	84.6	86.7	72.6
2040	64.7	55.9	60.3	81.0	86.8	88.5	74.3
2050	69.6	61.8	66.2	83.8	88.7	90.2	76.4

Özellikle gıda üretiminde yaşanan sorunlardan dolayı şehirlerin kendi gıdalarını üretebilmeleri büyük önem taşımaktadır. Kentsel tarım bu sorunları ortadan kaldıracak gibi gelir sağlama açısından da potansiyel yaratmaktadır. Ayrıca günümüzde birçok ülkede sürdürülebilir kalkınma stratejileri arasında kentsel tarım programları yer almaktadır. Birleşmiş Milletler tarafından açıklanan, Kentsel Tarım ile ilişkili Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (Kayasü ve Durmaz, 2021):

- Yoksulluğu sona erdirmek,
- Açlığı sona erdirmek, gıda güvenliğini sağlamak ve sürdürülebilir tarımı teşvik etmek,
- Sürdürülebilir tüketim ve üretim düzenlerini oluşturmak
- Karasal ekosistemlerin sürdürülebilir kullanımını korumak, çölleşme ile mücadele etmek ve biyolojik çeşitlilik kaybını engellemek şeklinde sıralanabilir.

Tarihsel olarak incelendiğinde de sosyal ve ekonomik açıdan gıda krizine yatkınlığa sahip olan birçok ülkede, kentsel tarım stratejileri üzerinde durulan önemli konulardan olmuştur. Örneğin; ikinci dünya savaşı sırasında Amerika Birleşik Devletleri kentsel araziler arasında üretim yapmayı içeren Zafer Bahçesi (Victory Garden) programını uygulamaya koymuştur. Bu program Amerika Birleşik Devletleri'nde yaşayanlar için arzın %40'ını sağlamıştır (Kayasü ve Durmaz, 2021). 1993'te de Küba'da, ticaret ambargosu sırasında gıda krizini önlemek için kentsel tarım programı uygulanmıştır (Altieri vd., 1999).

Çeşitli ülkelerin kentsel tarımı uygulamadaki başarısı, dünyada ki kalkınma programlarını da bu sistemi tavsiye etmeye sevk etmiştir. Örneğin; Cagayan de Oro-Filipinler'de kentsel tarım 21.000 hektardan fazla alanı kaplamaktadır (Potutan vd., 2000), Havana-Küba'da kentsel arazinin yaklaşık %12'si tarıma ayrılmıştır (Cruz ve Medina, 2003), Jakarta'da (Endonezya) ise kentsel alanın 11.000 hektardan fazlası tarımsal üretim için kullanılmaktadır (Purnomohadi, 2000).

Kentsel tarım, 1980'lerin sonları ve 1990'ların başlarından beri uluslararası bağışçıların ve kalkınma programlarının ilgisini çekmektedir (Stewart vd., 2013). Ayrıca FAO, dünya çapında ülkeleri özel gıda güvenliği

programları uygulamaya teşvik etmektedir (Taguchi ve Santini, 2019). Güvenlik, beslenme ve sürdürülebilir kalkınma ile ilgili hedeflerde tarımın gıda gündemine entegre edilmesiyle başarılı olunabilmektedir (FAO, 2020). Ayrıca kentsel tarım, UNDP/BM tarafından da "Sürdürülebilir Şehirler Programı" aracılığıyla önerilen bir mekanizmadır (Stewart vd., 2013).

Sosyal ve çevresel açıdan toplulukların gıda gereksinimlerinin karşılanması hükümetler tarafından desteklenmelidir. Kentsel tarımda evin çevresinde yetiştirilen ürünler hane halkının yararlanabileceği besin miktarını arttırmakta ve yetersiz beslenme ile açlık bu sayede önlenmektedir. Ayrıca kentsel tarımdan elde edilen gelir ile gıda gereksinimleri karşılanabilmektedir. Gelirdeki artışın daha sağlıklı ve çeşitli gıdalara olan talebi de artırması beklenmektedir (Linderhof vd., 2019). Bu nedenle kentsel tarım, alışveriş maliyetlerini düşürme ve yetersiz beslenmeyi önleme potansiyeline sahiptir. Kentsel tarım ile topluluklar güvenli ürün stoklarına erişebilmekte ve doğrudan tüketim ya da satıştan sağlanan gelir ile fayda sağlamaktadır (Smit, 2016).

Kentsel tarımın ekonomik işlevi, ticari tarım çiftçilerinin bu sisteme katılımıyla görülebilir. Ticari şehir çiftçileri, üretim maliyetlerini karşılamak için birim alandan yüksek verim elde etme yöntemlerini tercih etmektedir (Hallett vd., 2016). Ayrıca bu sistemde ekonomik faydayı en üst düzeye çıkarmak için hasat edilen ürünlerin toptan satış pazarlarına, süpermarketlere ve restoranlara satılması önem arz etmektedir. Kentsel tarım amacıyla yapılan işletmelerde bölge halkına istihdam olanakları da sağlanabilmektedir (Lawal ve Aliu, 2012).

KENTSEL TARIMDA LED AYDINLATMANIN ÖNEMİ

LED lambaların; maliyet performanslarının iyi, elektrikten ışığa dönüşüm faktörünün yüksek olması, düşük yüzey sıcaklıkları, uzun ömürleri ve farklı ışık spektrumlarında üretilebilmeleri gibi avantajları nedeniyle kullanımları birçok alanda giderek yaygınlaşmaktadır. Tarımsal araştırmalarda LED lambaların kullanımı 1990'lardan beri yoğun bir ilgi görmektedir (Massa ve Norrie 2015). 2005 yılında yeşil yapraklı sebzelerin ticari üretimi için LED lambalar ile yapay aydınlatmalı bitki fabrikalarının kurulmasından sonra floresan lambaların yerini LED lambalar almaya başlamıştır. 2015 yılı itibari ile Japonya'da üretimde bulunan yapay aydınlatmalı bitki fabrikalarının 10'dan

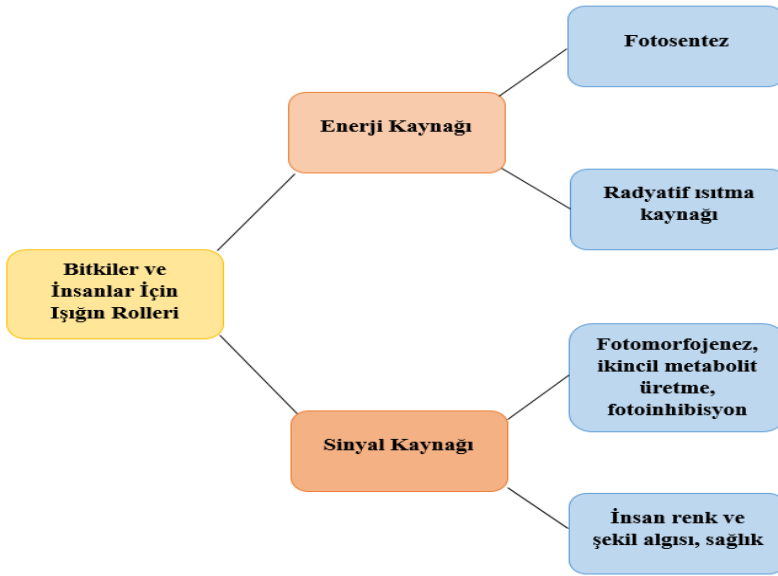
fazlasında LED aydınlatma kaynakları kullanılmaktaydı. Seralarda yüksek basınçlı sodyum (HPS) lambaların kullanımı ise 1990'lardan beri Hollanda ve Kuzey Amerika'da yaygın olarak kullanılmasına rağmen günümüzde LED lambalar HPS lambaların yerini almaya başlamıştır.

Işık insanlar için olduğu gibi bitkiler için de çok önemli bir yere sahiptir. Işık, fotosentez için enerji kaynağı olmasının yanı sıra, bitkilerde fotomorfogenezi ve ikincil metabolit üretimi gibi diğer fizyolojik süreçleri de aktive eden bir sinyal veya bilgi kaynağıdır (Demir ve Çakırcı, 2017). Fotosentetik olarak aktif ışık (400-700 nm) ve fizyolojik olarak aktif ışık (300-800 nm) dalga boyları genellikle örtüşür, böylece fotosentez ve fotomorfogenez sıklıkla eşzamanlı olmaktadır (Çakırcı vd., 2017). Her ikisi de fotokimyasal reaksiyonlardır ve bitkiler tarafından alınan ışık miktarı joule (enerji) cinsinden değil, mol birimi ($1 \text{ mol} = 6,03 \times 10^{23}$ foton) cinsinden ölçülmektedir.

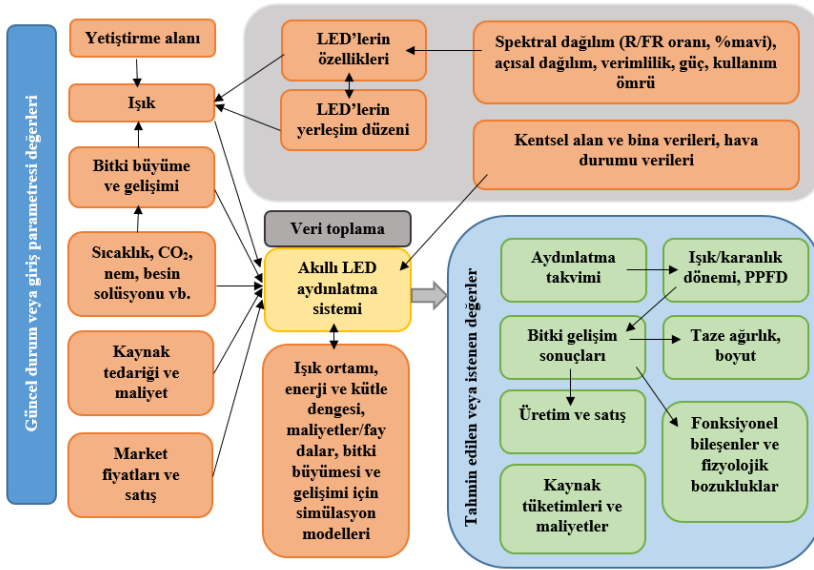
Bitki büyümesi ve gelişimi;

- Ortam ışığı
- Fotosentetik foton akı yoğunluğu (PPFD)
- Işık döngüsü (aydınlık / karanlık periyot)
- Geometrik konum
- Dalga boyu veya spektral dağılım gibi faktörlerden etkilenmektedir.

Bitki morfolojisi (çiçek tomurcuk oluşumu, boğum arası uzunluğu, dallanma, köklenme vb.) ve sekonder metabolit üretimi (pigmentler, vitaminler vb.) ışık kalitesi ve döngüsünden önemli ölçüde etkilenir. Bu nedenle değişen ışık kalitesine sahip LED aydınlatma kaynakları bitki morfolojisini ve sekonder metabolit üretimini daha verimli bir şekilde kontrol etmek için kullanılabilir ve ürün değerini arttırabilir (Demir vd., 2023) (Şekil 7).

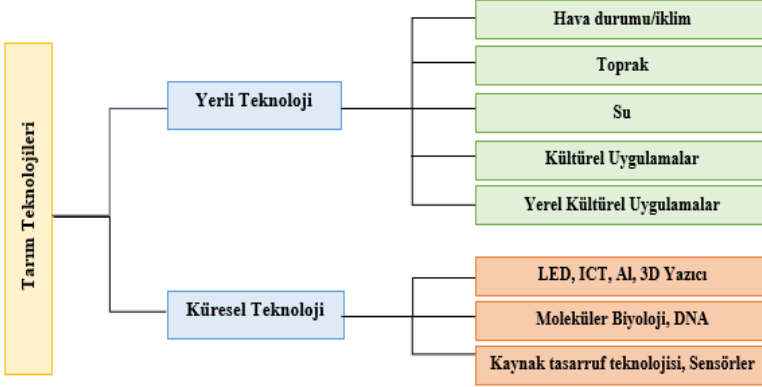


Şekil 7. Bitkiler ve insanlar için ışığın rolleri (Kozai vd., 2016).



Şekil 8. Kentsel tarım için LED aydınlatmanın bilimsel, teknolojik ve ticari temel bileşenleri ve yapıları (Kozai vd., 2016).

Önümüzde ki yıllarda kentsel tarım için LED aydınlatma konusu (Şekil 8) giderek önem kazanmaktadır. Artık geleneksel bahçecilik teknolojisinin bir kenara konulup, kentsel tarımı düşünmeye başlamamız gerekmektedir.



Şekil 9. Kentsel tarımda yerel ve küresel teknolojilerin bileşenleri: ICT (bilgi ve iletişim teknolojisi), AI (yapay zeka), 3D (üç boyutlu) yazıcı (Kozai vd., 2016).

Tarım teknolojileri kabaca yerel ve küresel olarak ayrılabilir (Şekil 9). Pek çok yerel teknoloji; iklim, toprak, su mevcudiyeti, peyzaj ve diğer kaynaklardan etkilenen belirli bir tarımsal veya kırsal alan için geliştirilmiştir. Buna bağlı olarak geleneksel tarım genel olarak sürdürülebilir ancak diğer bölgelere aktarılamaz.

Küresel teknoloji ise çoğunlukla bilim insanları, mühendisler tarafından şehirler için geliştirilmiştir. Küresel teknoloji evrenseldir, genişletilebilir ve dolayısıyla birden fazla bölgeye aktarılabilir. Küresel teknolojilerin tipik örnekleri ise bilgisayarlar, internet, LED'ler, moleküler biyoloji tabanlı DNA dizilimi ve 3 boyutlu (üç boyutlu) yazıcılarıdır.

Bitkiler için aydınlatma kaynağı olarak üç seçenek vardır:

- Yarı saydam çatı veya duvarlardan gelen %100 güneş ışığı,
- Elektrikle çalışan aydınlatma cihazlarından gelen % 100 "yapay" ışık ve
- İkisinin kombinasyonu.

Bu seçeneklerden ikinci tip "yapay ışıklı bitki fabrikası" olarak adlandırılmaktadır (Kozai 2013). Yaygın olarak kullanılan yapay ışık kaynakları arasında; yüksek basınçlı sodyum lambalar, floresan ışıklar, ışık yayan diyotlar (LED'ler) yer almaktadır. Son yıllarda LED'ler araştırma alanlarında, bitki fabrikalarında ve aydınlatma cihazı üreticilerinde çok fazla ilgi görmektedir. LED'lerin diğer aydınlatma kaynaklarıyla karşılaştırıldığında birçok avantajı bulunmaktadır. LED'ler, elektrik gücünü bitkiler tarafından kullanılabilen ışık dalga boylarına verimli bir şekilde dönüştürebilmektedir. Ayrıca elektrik maliyetlerini azaltmanın yanı sıra, daha düşük termal enerji üretimi nedeniyle soğutma maliyetlerini azaltma potansiyeline de sahiptir. LED'lerin kompakt tasarımı aynı zamanda bitki fabrikalarında ışık kaynağının yakına yerleştirilmesine olanak sağlamakta ve bu durum tesis içerisinde dikey olarak birden fazla katmanının yapılandırılmasına olanak tanımaktadır (Şekil 10).



Şekil 10. LED aydınlatmalı kabinler (Demir ve Çakırer Seyrek 2023).

LED AYDINLATMANIN KARBON AYAK İZİNİ AZALTMADAKİ ETKİSİ VE ÖNEMİ

Kentsel tarım genellikle kontrollü kapalı tarım alanlarını kapsayan genel bir terim olarak da kullanılabilir. 2018 yılında küresel kapalı alan tarımının pazar değeri 26,8 milyar ABD dolarına ulaşmıştır. Ayrıca bir pazar araştırması raporu bu değerın 2020 ile 2025 arasında %9.19 oranında artacağını tahmin edildiğini de ortaya çıkarmıştır (Grand View Research, 2019). Meyve, sebze ve çiçek üretiminde beklenen küresel büyümenin pazar potansiyelini daha da artırması beklenmektedir. Avrupa şu anda en büyük pazar payına sahiptir, ancak Hindistan, Çin, Meksika ve Singapur'da da ekonomik büyümeler

nedeniyle bu alanda önemli bir büyüme gerçekleşmektedir (Specht vd., 2013). Bu nedenle kapalı alan tesislerinde enerji verimliliğinin önlemleri, büyük önem taşımaktadır.

Kentsel tarımda yaygın olarak kullanılan dikey tarım sistemleri topraksız tarım ve LED aydınlatma yöntemleriyle ürünleri çok katlı, dikey sistemler üzerinde yetiştirebilmeye olanak sağlamaktadır. Bu yöntemde geleneksel tarım yöntemine kıyasla aynı oranda karbon ayak izi kullanılarak verim 10-100 kat oranında artırılabilir. Ayrıca su kullanımında da %70-95 oranında tasarruf edilebilir (Liu ve Teng, 2020).

İşletme maliyetlerini azaltmak için LED'lerin kullanımı artık dünya çapında bilinen bir gerçektir. Yapılan çalışmalar özellikle kırmızı ve mavi LED ışıkların kullanımının elektrik tüketimini sırasıyla %75.6 ve %70.7 oranında azalttığını göstermiştir (Sethi, 2009). Bu sayede kapalı tarım alanlarında karbon ayak izi %51 oranında azaltılabilmektedir. Seginer ve Ioslovich (1999) tarafından yapılan bir çalışmada da yapay ışıklar yalnızca geceleri kullanılıp, gün içerisinde enerji yükünün en fazla olduğu saatlerde kapalı tutularak fotoperiyodu tersine çevirme denenmiştir. Ayrıca daha soğuk olan gece havası kullanılarak havalandırma oranı artırılmış ve soğutma yükleri azaltılabilmektedir. Enerji tüketiminin azalması tesislerdeki CO₂ emisyonunu düşük düzeyde sürdürebilmek açısından büyük önem taşımaktadır. He ve diğerleri (2020) tarafından yapılan çalışmada topraksız tatlı patates fidelerinin büyümesi ve ışığın etkisi analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kullanılan LED lambada (R:B = 1:2, 200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$) bitki büyüme etkisi, ışık enerjisi kullanım verimliliği ve elektrik enerjisi optimum düzeyde bulunmuştur. Kullanılan LED lambanın elektrik enerjisi kullanım verimliliği (EUE), floresan lambaya göre %169 daha yüksek olmuştur. Bu durum, geleneksel olarak kullanılan floresan lambaların yüksek güç tüketmesi ve ışık enerjisini boşa harcaması sorununu büyük ölçüde çözmektedir.

LED aydınlatmanın kapalı alan tarımına olanak sağlaması kentsel tarıma olanak sağlamaktadır. Bu sayede uzak yerlerden ürün yetiştirme veya ithal etmenin getirdiği karbon ayak izi de doğrudan azaltılabilmektedir (Çakırer ve Demir, 2017). LED aydınlatma, enerji verimliliği, hassas spektrum kontrolü, uzun ömür ve etkili ısı yönetimi dahil olmak üzere tarımsal uygulamalar için

çok sayıda avantaj sunmaktadır. LED aydınlatmanın enerji verimliliği, tarımsal faaliyetlerin karbon ayak izini önemli ölçüde azaltarak iklim değişikliğiyle mücadelede katkıda bulunmaktadır.

LED aydınlatma, azaltılmış enerji kullanımı sayesinde doğal kaynakların korunmasına yardımcı olmakta ve çevrenin korunmasında hayati bir rol oynamaktadır. Işık kirliliğini en aza indirerek ekosistemler üzerindeki etkiyi azaltmakta ve kaynakların sürdürülebilir yönetimine yardımcı olmaktadır. Teknoloji gelişmeye devam ettikçe tarımda LED aydınlatmanın uygulanması daha da yaygınlaşacaktır. Ürün verimi, enerji verimliliği ve iklim değişikliğinin azaltılması üzerindeki olumlu etkisi, LED aydınlatmayı dünya çapındaki çiftçiler için vazgeçilmez bir araç haline getirmektedir. Bu yenilikçi çözümleri benimseyerek, bir yandan iklim değişikliğinin yarattığı acil zorluklarla mücadele ederken bir yandan da sürdürülebilir tarımın geleceğine katkı sağlanmaktadır.

KAYNAKÇA

- Abbas, F., Hammad, H. M., Ishaq, W., Farooque, A. A., Bakhat, H. F., Zia, S., Farhad, W., & Cerda, A. (2020). A Review of Soil Carbon Dynamics Resulting From Agricultural Practices. *Journal Of Environmental Management*, 268, 110319. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110319>.
- Abass, Z. I., & Tucker, R. (2021). Talk on the Street: The Impact of Good Streetscape Design on Neighbourhood Experience in Low-Density Suburbs. *Housing, Theory and Society*, 38(2), 204-227.
- Allen, M., Antwi-Agyei, P., Aragon-Durand, F., Babiker, M., Bertoldi, P., Bind, M., ... & Zickfeld, K. (2019). Technical Summary: Global Warming of 1.5 C. An IPCC Special Report on The Impacts of Global Warming of 1.5 C Above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in The Context of Strengthening The Global Response to The Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty.
- Altieri, M. A., Companioni, N., Cañizares, K., Murphy, C., Rosset, P., Bourque, M., & Nicholls, C. I. (1999). The Greening of The “Barrios”: Urban Agriculture for Food Security in Cuba. *Agriculture and Human Values*, 16, 131-140.
- Anonymous, (2023a). Gas Mileage Tips: Keeping Your Car In Shape. Erişim adresi: <https://www.fueleconomy.gov/feg/maintain.jsp/> date of access: 15.08.2023.
- Anonymous, (2023b). United Nations. Climate Action. Erişim adresi: <https://www.un.org/en/climatechange/science/climate-issues/biodiversity/> date of access: 20.08.2023.
- Anonymous, (2023c). 4 Main Reasons Why Reducing Your Carbon Footprint Is Important. Erişim adresi: <https://impactful.ninja/why-reducing-your-carbon-footprint-is-important/> date of access: 20.08.2023.
- Antimiani, A., Costantini, V., Markandya, A., Paglialonga, E., & Sforna, G. (2017). The Green Climate Fund as an Effective Compensatory Mechanism in Global Climate Negotiations. *Environmental Science and Policy*, 77, 49-68.
- Boehm, R., Wilde, P. E., Ver Ploeg, M., Costello, C., & Cash, S. B. (2018). A Comprehensive Life Cycle Assessment of Greenhouse Gas Emissions From US Household Food Choices. *Food Policy*, 79, 67-76.
- Chen, D.M.C., Bodirsky, B.L., Krueger, T., Mishra, A., Popp, A. (2020). The World’s Growing Municipal Solid Waste: Trends and Impacts. *Environmental Research Letters*, 15(7), 074021.
- Chen, J. M. (2021). Carbon Neutrality: Toward a Sustainable Future. *The Innovation*, 2(3).
- CO₂ Daily. (2022) Latest Daily CO₂. Erişim adresi: <https://www.co2.earth/daily-co2/> date of access: 15.10.2023

- Cruz, M. C., & Medina, R. S. (2003). *Agriculture in The City: A Key to Sustainability in Havana, Cuba*. Ian Randle, Kingston.
- Çakırer, G., Akan, S., Demir, K., & Yanmaz, R. (2017). Bahçe Bitkilerinde Kullanılan Işık Kaynakları. *Akademik Ziraat Dergisi*, 6, 63-70.
- Çakırer, G., & Demir, K. (2017). LED Aydınlatmanın Bitkilerin Besin Maddeleri Üzerine Etkileri. *Tarım ve Mühendislik*, 116-117, 4-8.
- Dara, C. (2012). *Climate Vulnerability Monitor-a Guide to The Cold Calculus of a Hot Planet*. In DARA and Climate Vulnerable Forum: Madrid, Spain.
- Demir, K. & Çakırer, G. (2017). Bitkilerde Aydınlatma ve Mavi LED. *Tarım Gündem*, 41, 36-39.
- Demir, K., Sarıkamış, G., & Çakırer Seyrek, G. (2023). Effect of LED Lights on the Growth, Nutritional Quality and Glucosinolate Content of Broccoli, Cabbage and Radish Microgreens. *Food Chemistry*, 401, 134088.
- [Demir ve Çakırer Seyrek'in Fotoğrafi] (2023). LED Aydınlatmalı Kabinler (Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, Ankara).
- Espa, I., & Holzer, K. (2018). Negotiating 21st Century Rules on Energy: What is at Stake for The European Union, The United States and The BRICS?. *The Journal of World Investment & Trade*, 19(3), 415-443.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020. *FAO Framework for the Urban Food Agenda*. Rome, Erişim adresi: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/GPP>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2023. *Emissions from pre- and post-agricultural production*. Rome, Erişim adresi: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/GPP>
- Geyer, R., Jambeck, J.R., Law, K.L. *Production, Use, and Fate of All Plastics Ever Made*. *Sci. Adv.* 2017, 3.
- Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., Tempio, G. 2013. *Tackling Climate Change Through Livestock: A Global Assessment of Emissions and Mitigation Opportunities*; Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): Rome, Italy.
- Grand View Research. (2019). *Indoor Farming Market Size, Share & Trends Analysis Report by Facility Type (Greenhouses, Vertical Farms), by Component (Hardware, Software), by Crop Category, by Region, and Segment Forecasts, 2019-2025*
- Green, R., Scheelbeek, P., Bentham, J., Cuevas, S., Smith, P., & Dangour, A. D. (2022). Growing Health: Global Linkages Between Patterns of Food Supply, Sustainability, and Vulnerability to Climate Change. *The Lancet Planet Health*, 6, 901-908.

- Haines, A., Epstein, P.R., & McMichael, A.J. (1993). Global Health Watch: Monitoring Impacts of Environmental Change. *The Lancet*, 342, 1464-1469.
- Hallett, S., Hoagland, L., & Toner, E. (2016). Urban Agriculture: Environmental, Economic, and Social Perspectives. *Horticultural Reviews*, 65-120.
- Harris, N. L., Gibbs, D. A., Baccini, A., Birdsey, R. A., De Bruin, S., Farina, M., ... & Tyukavina, A. (2021). Global Maps of Twenty-First Century Forest Carbon Fluxes. *Nature Climate Change*, 11, 234-240.
- He, D., Yan, Z., Sun, X., & Yang, P. (2020). Leaf Development and Energy Yield of Hydroponic Sweetpotato Seedlings Using Single-Node Cutting as Influenced by Light Intensity and LED Spectrum. *J Plant Physiol*, 254, 153274.
- Heller, M., Keoleian, G., & Rose, D. (2020). Implications Oof Future US Diet Scenarios on Greenhouse Gas Emissions. Center for Sustainable Systems Report.
- Hoorweg, D. & Bhada-Tata, P. (2012). What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. Urban Development Series Knowledge Papers.
- Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelinde (IPCC). (2014). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Edenhofer. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelinde (IPCC). (2018). Global Warming of 1.5 C. An IPCC Special Report. Erişim adresi: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf
- Jones, C. M., & Kammen, D. M. (2011). Quantifying Carbon Footprint Reduction Opportunities for US Households and Communities. *Environmental science & technology*, 45, 4088-4095.
- Kahouli, B., Alrasheedy, B. B., Chaaben, N., & Triki, R. (2021). Understanding the Relationship Between Electric Power Consumption, Technological Transfer, Financial Development and Environmental Quality. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-15.
- Karwacka, M., Ciużyńska, A., Lenart, A., Janowicz, M. (2020). Sustainable Development in the Agri-Food Sector in Terms of the Carbon Footprint: A Review. *Sustainability*, 12, 6463. <https://doi.org/10.3390/su12166463>
- Kayasü, S., & Durmaz, B. (2021). Türkiye'de Kentsel Tarımın Yapısal ve Oluşumsal Çerçevesi. *İdealkent*, 12 (34), 1358-1389. <https://doi.org/10.31198/idealkent.957765>.

- Kozai, T. (2013) Resource use efficiency of closed plant production system with artificial light:concept, estimation and application to plant factory. Proc Jpn Acad Ser B, 89, 447-461.
- Kozai, T., Fujiwara, K., & Runkle, E.S. (2016). Why LED Lighting for Urban Agriculture? LED Lighting for Urban Agriculture. Springer.
- Köpke, U., & Nemecek, T. (2010). Ecological Services of Faba Bean. Field Crops Research, 115, 217-233.
- Lawal, M. O., & Aliu, I. R. (2012). Operational Pattern and Contribution of Urban Farming in an Emerging Megacity: Evidence From Lagos, Nigeria. Bulletin of Geography Socio-Economic Series, 17, 87-97.
- Lee, D. S., Fahey, D. W., Skowron, A., Allen, M. R., Burkhardt, U., Chen, Q., ... & Wilcox, L. J. 2021. The Contribution of Global Aviation to Anthropogenic Climate Forcing for 2000 to 2018. Atmospheric Environment, 244, 117834.
- Linderhof, V., Janssen, V., & Achterbosch, T. (2019). Does Agricultural Commercialization Affect Food Security: The Case of Crop-Producing Households in The Regions of Post-Reform Vietnam. Sustainability, 11.
- Lobell, D. B., Schlenker, W., & Costa-Roberts, J. (2011). Climate Trends and Global Crop Production Since 1980. Science, 333, 616-620.
- Markandya, A., Paglialunga, E., Costantini, V., & Sforza, G. (2017). Global and Regional Economic Damages From Climate Change. Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science.
- Marmara Yelken Kulübü. (2023). Erişim adresi: <http://blog.marmarayelken.org.tr/Blog/kuresel-isinma-iklim-degisikligi-gida-israfi/date> of access: 09.11.2023.
- Massa, G., & Norrie, J. (2015). LEDs electrifying horticultural science: proceedings from the 2014 Colloquium and Workshop. HortSci 50, 1272-1273.
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., ... & Zhou, B. (2021). Climate change 2021: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to The Sixth Assessment Report Of The Intergovernmental Panel On Climate Change.
- McGuire S. (2015). FAO, IFAD, and WFP. The State of Food Insecurity in the World 2015: Meeting the 2015 International Hunger Targets: Taking Stock of Uneven Progress. Rome: FAO, 2015. Advances in Nutrition 6, 623–624. <https://doi.org/10.3945/an.115.009936>
- Orsini, F., Kahane, R., Nono-Womdim, R., & Gianquinto, G. (2013). Urban Agriculture in The Developing World: A Review. Agronomy for Sustainable Development, 33, 695-720.
- Paglialunga, E., Coveri, A., & Zanfei, A. (2022). Climate Change and Within-Country Inequality: New Evidence From a Global Perspective. World Development, 159, 106030. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2022.106030>.

- Pandey, D., & Agrawal, M. (2014). Carbon Footprint Estimation in The Agriculture Sector. *Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors*, 1, 25-47.
- Parry, M. L., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Livermore, M., & Fischer, G. (2004). Effects of Climate Change on Global Food Production Under SRES Emissions And Socio-Economic Scenarios. *Global environmental change*, 14, 53-67.
- Patz, J. A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., & Foley, J. A. (2005). Impact of Regional Climate Change on Human Health. *Nature*, 438, 310-317.
- Plassmann, K., & Edwards-Jones, G. (2010). Carbon Footprinting and Carbon Labelling of Food Products. *Environmental Assessment and Management in The Food Industry*, 272-296.
- Potutan, G. E., Schnitzler, W. H., Arnado, J. M., Janubas, L. G., & Holmer, R. J. (2000). Urban Agriculture in Cagayan De Oro: A Favourable Response of City Government and Ngos. *Growing Cities, Growing Food, Urban Agriculture on The Policy Agenda*. DSE, Feldafing, 413-428.
- Purnomohadi, N. (2000). Jakarta: Urban Agriculture as an Alternative Strategy to Face The Economic Crisis. *Growing Cities, Growing Food: Urban Agriculture on The Policy Agenda. A Reader on Urban Agriculture*, DSE, Feldafing, 453-465.
- Ray, D. K., West, P. C., Clark, M., Gerber, J. S., Prishchepov, A. V., & Chatterjee, S. (2019). Climate Change Has Likely Already Affected Global Food Production. *Plosone*, 14(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217148>.
- Saadaoui, H. (2021). The Impact of Financial Development on The Clean Energy Transition in MENA Region: The Role of Institutional And Political Factors. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1090260/v1>.
- Seginer, I., & Ioslovich, I. (1999). Optimal Spacing and Cultivation Intensity for An Industrialized Crop Production System. *Agric Syst*, 62(3), 143-157. [https://doi.org/10.1016/s0308-521x\(99\)00057-8](https://doi.org/10.1016/s0308-521x(99)00057-8).
- Sethi, V.P. (2009). On The Selection of Shape and Orientation of A Greenhouse: Thermal Modeling and Experimental Validation. *Sol Energy*, 83(1), 21-38. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.05.018>.
- Smit, W. (2016). Urban Governance and Urban Food Systems in Africa: Examining The Linkages. *Cities*, 58, 80-86.
- Specht, K., Siebert, R., Hartmann, I., Freisinger, U.B., Sawicka, M., Werner, A., & Dierich, A. (2013). Urban Agriculture of The Future: An Overview of Sustainability Aspects of Food Production in and on Buildings. *Agric Hum Val*, 31(1), 33-51. <https://doi.org/10.1007/s10460-013-9448-4>.
- Springmann, M., Mason-D'Croz, D., Robinson, S., Garnett, T., Godfray, H. C. J., Gollin, D., ...& Scarborough, P. (2016). Global and Regional Health

- Effects of Future Food Production Under Climate Change: A Modelling Study. *The Lancet*, 387, 1937-1946.
- Stein, T. (2021). Carbon dioxide peaks near 420 parts per million at Mauna Loa observatory, NOAA.
- Stewart, R., Korth, M., Langer, L., Rafferty, S., Da Silva, N. R., & van Rooyen, C. (2013). What Are The Impacts of Urban Agriculture Programs on Food Security in Low And Middle-Income Countries?. *Environmental Evidence*, 2(7), 1-13.
- Taguchi, M., & Santini, G. (2019). Urban Agriculture in The Global North & South: A Perspective From FAO. *Field Actions Science Reports*, Special Issue 20, 12-17.
- Türkiye Cumhuriyeti Dış İşleri Bakanlığı. (2023). Erişim adresi: <https://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa>.
- The National Aeronautics and Space Administration Earth Observatory. (2022). *World of Change: Global Temperatures*. NASA Earth Observatory.
- The National Aeronautics and Space Administration [NASA]. (2023). Erişim adresi: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>.
- Wallis, M. J., Ambrose, M. R., & Chan, C. C. (2008). Climate Change: Charting a Water Course in an Uncertain Future. *Journal-American Water Works Association*, 100(6), 70-79.
- Williams, J. (2008). Carbon footprints – what makes the biggest difference? Erişim adresi: <http://makewealthhistory.org/2008/04/08/carbon-footprints-what-makes-the-biggest-difference/>
- Young, J. (2010). The ‘Greening’ of Water: Taking Aim at Climate Change Through Reducing Greenhouse Gas Emissions, Increasing Efficiency. *Journal-American Water Works Association*, 102(6), 20-22.
- Zhao, Q., Yu, P., Mahendran, R., Huang, W., Gao, Y., Yang, Z., ... & Guo, Y. (2022). Global Climate Change and Human Health: Pathways and Possible Solutions. *Eco-Environment & Health*, 1, 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.eehl.2022.04.004>.

BÖLÜM 4

İKLİMSEL DEĞİŞİMLERİN MEYVE AĞAÇLARINDAKİ BOZULMALARA ETKİSİ

Prof. Dr. Hakan ENGİN¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10207947>

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Çanakkale.
hakanengin@comu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-6897-8708

GİRİŞ

İklimsel değişimler meyve ağaçlarının kalite ve verimi üzerine çok büyük etkiye sahiptir. Farklı şekillerde ve dönemlerde meydana gelen iklimsel değişiklikler mevcut meyve yetiştiriciliğinde karlılığı başka bir ifade ile verim ve kaliteyi olumsuz yönde etkilemektedir. Meyve ağaçlarında verimlilik çiçek tomurcuğu oluşumu sonrasında oluşan çiçek ve meyve, kalite ise oluşan meyvelerin sağlıklı bir şekilde gelişimine bağlıdır. Sıcaklık, yağmur, ışık ve nem gibi iklimsel faktörlerdeki değişimler meyve ağaçlarında bozulmalara neden olabilmektedir. İklimsel faktörlerdeki değişimlerin meyve çeşitleri üzerine etkileri de farklı olmaktadır. Bazı meyve çeşitleri iklimsel değişim kaynaklı bozuklukları daha fazla gösterme eğilimindedir.

Meyve ağaçlarında iklimsel değişim kaynaklı meydana gelen bozuklukların meydana geliş dönemleri farklılık göstermektedir. Çiçek tomurcuğu farklılaşması, çiçek organ taslaklarının oluşumu, çiçek oluşumu, meyve oluşumu ve gelişmesi bu bozulmaların meydana geldiği dönemlerdir. Bu dönemler ve öncesinde meydana gelen iklimsel değişimler meyve ağaçlarında bozulmalara neden olmaktadır. Hasat öncesi aşırı yağışlar nedeniyle bazı meyvelerin çatlaması çok eski zamanlardan itibaren bilinen bir bozukluktur. Meyve çatlaması kiraz ve nar yetiştiriciliğinde önemli bir sorundur. Çatlamış meyvelerin pazar değeri yoktur. Bu durum bazı yıllar büyük ekonomik kayıplarına neden olur. Fakat bazı bozuklukların ortaya çıkışı meyve gelişimi ve hasat dönemi olmasına rağmen oluşumu çiçek organ taslaklarının farklılaştığı dönemdir. Bazı bozukluklarda depolama ve sonrasında ortaya çıkmasına rağmen bu bozulmaların başlangıcı hasat öncesine dayanır

İklimsel değişimle meyve ağaçlarındaki bozukluklar arasındaki ilişkiye bilimsel olarak ilk değerlendirme 1933 yılında 'Philp' adlı bir araştırmacı tarafından yapılmıştır. Meyve ağaçlarında anormal meyve oluşumları ilk olarak 1931 yılında Amerika Birleşik Devletleri Idaho'da bazı yetiştiriciler tarafından fark edilmiştir. Bazı meyvelerin birbirlerine yapışık halde ikili, üçlü veya daha fazla meyve oluşumları şeklindeki anormallikler kiraz ve şeftali yetiştiricilerin dikkatini çekmiştir. Günümüzde çift ya da ikiz meyve olarak bilinen anormal meyve oluşumlarının farklı şekillerde ortaya çıktığı belirlenmiştir. Birbirlerine yapışık meyvelerin simetrik ve tamamen olgunlaşmış olanları (Roversi, 2001),

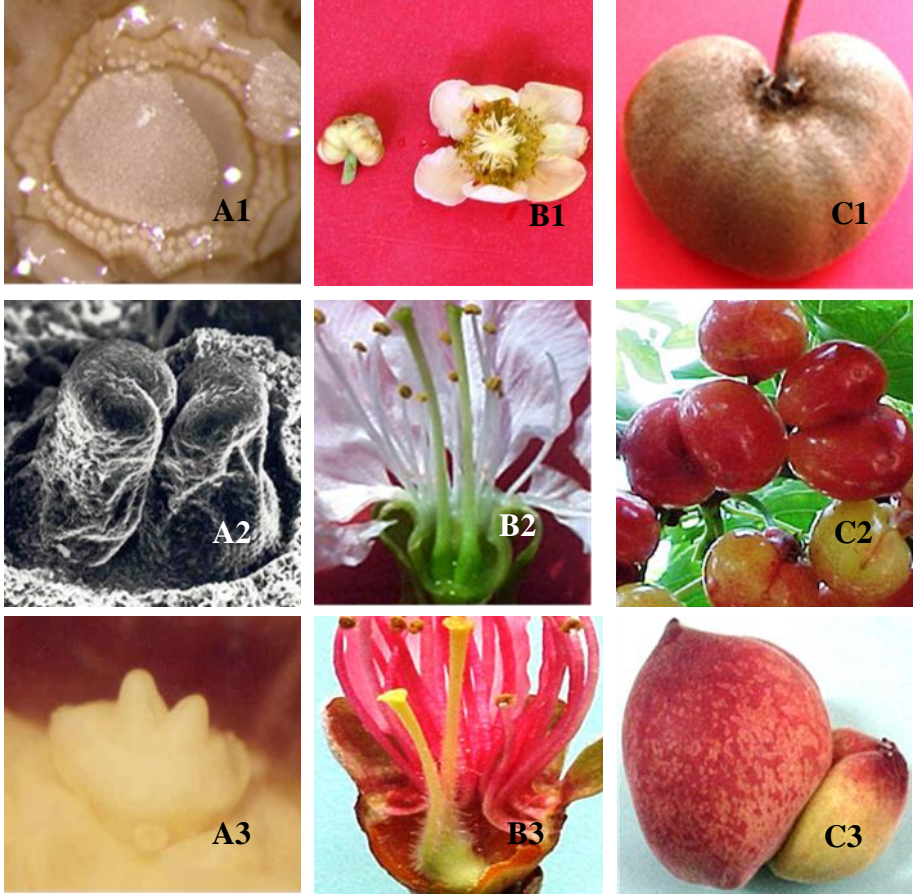
birbirine yapışık iki meyveden biri olgunlaşmayan asimetrik yapıda olanları (Fogle vd., 1993), bazı durumlarda az miktarda meyve eti gelişimi olan ve yumurtalıklardan biri diğerine yapışık olarak buruşup kuruyan yada yara izi, küçük oyuklar ve çukurlar şeklinde de ortaya çıkan meyve anormallikleri ortaya konulmuştur (Engin ve Ünal, 2005). Buna göre Philp (1933), tarafından yapılan değerlendirme, California (USA) eyaletinde bozuk şekilli meyve oluşumunun ciddi bir problem olmadığı şeklinde olmuştur. Araştırmacı, daha sonraki yıllarda California vadisinin güney bölgelerinde, bozuk şekilli meyveleri yoğun olarak gözlemlendiğini ve bu bozuk şekilli meyvelerin büyük bir kısmının birbirine yapışık meyveler olduğunu ifade etmiştir. ABD Idaho'da 1932 yılında kiraz ağaçlarında görülen yüksek orandaki şekli bozuk meyve oluşumu ile ilgili bir çalışma başlatmış ve bu çalışmada, %44 oranında bozuk şekilli meyve meydana geldiğini tespit etmiştir (Tucker, 1934). Ayrıca araştırmacı, kiraz yetiştiriciliğinin yapıldığı bazı bölgelerde bu oranın çok yüksek boyutlara ulaştığını, bundan dolayı da bazı bahçelerde meyvelerinin hasat edilmeden ağaçlarda bırakıldığını açıklamıştır. 1954 yılına gelindiğinde bu durum 'Tukey' adlı bir araştırmacı tarafından şeftali ağaçlarında ortaya konmuştur (Tukey, 1954). 1932 yılında ABD'de, yoğun biçimde meydana gelen bozuk şekilli meyve oluşumları ile ilgili çeşitli incelemeler başlatılmıştır. Bu incelemelerin sonunda, bozuk şekilli meyvelerin genellikle güney bölgelerden geldiği belirlenmiştir. Ayrıca California vadisinin güney tarafında çok yoğun anormal şekilli meyve oluşumu olduğu tespit edilmiş ve bu tespitten sonra, iklim şartlarının bu oluşumu etkileyebileceği çıkarımında bulunulmuştur. Bu çıkarımda bulunulmasının nedeni, 1931 yılı aralık ayında yerel bir yetiştiricinin, 1932 yılı için çok yüksek miktarda bozuk şekilli meyve oluşumu beklentisi olmuştur. Bu olay ABD'nin Tarım Bakanlığı kayıtlarında yer almıştır. Yerel yetiştirici, kiraz bahçesinde 1931 yılı sonbaharında bazı ağaçlarının çiçek açtığını ve açan çiçeklerin, çok yüksek oranda çoklu dişi organa sahip olduğunu ve bundan dolayı çok yüksek miktarda bozuk şekilli meyve beklediğini ifade etmiştir. Üreticinin yorumunu değerlendiren araştırmacı, bu anormal oluşumun bir önceki yılın yaz aylarında oluşabileceği hipotezini ileri sürmüştür (Philp, 1933). ABD'de 1932 yılında görülen bozuk şekilli meyve oranına benzer bir durumun 1935 yılında da ortaya çıkması üzerine iki konu ön plana çıkmıştır. Birincisi, meyve şekil bozukluğunun oluşumuna bölgesel etkinin nasıl olduğu ikincisi, son beş yılın iklim şartlarının, bu oluşuma etkisinin olup olmadığıdır. Meyve

ağaçlarında yapılan incelemeler sonucunda, bozuk şekilli meyve oluşumuna iklim değişikliğinin etki ettiği sonucuna varılmıştır. Güneş ışığını direkt alan yerlerde, sıcaklığın arttığı ve sıcaklığın ve güneş ışığının ya da ikisinin birlikte bozuk şekilli meyve oranını arttırabileceği açıklanmıştır. Aynı incelemenin diğer bir kısmında, 1930-1935 döneminde yaz aylarındaki sıcaklık dereceleri incelenmiştir. Sıcaklık konusunda yapılan inceleme sonucunda, 1931 ve 1934 yılı mayıs ayları sıcaklıklarının diğer yıllara (1930-1932-1933-1935) göre çok yüksek olduğu ve 1931 ve 1934 yılı haziran ayının ilk iki haftası aşırı yüksek bir sıcaklık periyodunun olduğu saptanmıştır. Yapılan yorumlar sonucunda mayıs ve haziran aylarındaki sıcaklıklarla, meyve şekil bozulmalarının arasında bir ilişkinin var olabileceği açıklanmıştır (Tucker, 1935).

MEYVE AĞAÇLARINDAKİ BOZULMALARIN MEYDANA GELİŞ DÖNEMLERİ VE İKLİM İLİŞKİSİ

Çiçek tomurcuğu oluşumu ve farklılaşması, çiçek organ taslaklarının oluşumu ve gelişimi, dişi organ taslağı farklılaşması ve gelişimi, çiçek oluşumu, meyve oluşumu ve gelişmesi bozulmaların meydana geldiği dönemlerdir. Çiçek tomurcuğu oluşumu ve çiçek organ taslaklarının farklılaşması döneminde meydana gelen bozukluklar gözle görülemez bu bozuklukların tespiti için ayrıntılı mikroskobik inceleme gereklidir. Kiraz, şeftali, erik ve kayısılarda görülen ve çift ya da ikiz meyve olarak bilinen bozukluğun başlangıcı bu söz konusu dönemde meydana gelmektedir. Ayrıca kivi ağaçlarında görülen yassı veya yelpaze şekilli oluşan bozukluğun olduğu dönemde bu dönemdir (Gökbayrak vd., 2011).

Farklı meyve türlerinin (sırasıyla kivi, kiraz ve şeftali) çiçek tomurcuğu oluşumu ve çiçek organ taslaklarının farklılaşması döneminde meydana gelen bozulmalara ait mikroskobik görüntüler (Şekil 1A)' da verilmiştir. Bu dönemde meydana gelen bozulmalar çiçekler açtıktan sonra fark edilebilmektedir. Çiçek ve meyve oluşumu dönemlerinde meydana gelen bozulmalar gözle görülebilir olmasında dolayı yetiştiricilerin daha fazla dikkatini çekmektedir. Çiçek yapıları üzerindeki bozulmalara ait örnekler Şekil 1B'de ve meyve üzerindeki bozulmalara ait örnekler şekil 1C'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Meyve ağaçlarında meydana gelen bozulmaların dönemlerine ait bazı görseller. A1,B1,C1; kiviye bozuk şekilli (yelpaze) meyve oluşumu, A2,B2,C2; kirazda bozuk şekilli (çift) meyve oluşumu, A3,B3,C3; şeftalide bozuk şekilli meyve oluşumu.

Meyve yetiştiriciliğinde bol ve kaliteli ürün alabilmek, sağlıklı çiçek tomurcuğu oluşumu ile doğru orantılıdır. Bu nedenle, çiçek tomurcuğu oluşumunu doğru bir şekilde kontrol edebilmek üreticiler ve araştırmacılar açısından önem taşımaktadır. Çiçek tomurcuğu oluşumu ve farklılaşmasının, iklim faktörleri ile değişiklik gösterebileceği ispatlanmış ve çiçek tomurcuğu farklılaşması ve çiçek organ taslaklarının oluşumuyla ilgili çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmaların büyük bir çoğunluğu, çiçek tomurcuğu farklılaşma zamanı ile iklim arasındaki ilişkiye yöneliktir. Meyve ağaçlarında gelişim sürecinin iklimsel uyarılar ile kontrol edildiğine ilişkin en belirgin

örneğin, sürgün ucunun çiçeklenmeye geçişi olduğu ifade edilmektedir (Salisbury ve Ross, 1992).

Meyve türlerinde çiçek tomurcuğu oluşumu hasattan bir önceki yılın haziran ayında başlamakta ve ertesi yılın ilkbaharında tamamlanmaktadır. Bir tomurcuktan çiçek veya sürgün olacağı, haziran ve temmuz aylarında kesinleşmektedir. Dolayısıyla çiçek tomurcuğu ve çiçek oluşumuna bir yıl önceki iklimsel faktörler etki etmektedir. Badem gibi bazı meyve türlerinde çiçek tomurcuklarında eşey hücreleri hariç, diğer çiçek kısımlarının kış ayları başına kadar meydana geldiği saptanmıştır (Grasselly, 1980). Başka bir ifade ile badem ağaçlarında çiçek tomurcuklarına morfolojik ayırmadan sonra, birbirini izleyen mevsimlerde, değişen iklimsel faktörler etki etmektedir. İklimsel koşullardaki değişim, meyve ağaçlarında çiçek organ taslaklarının meydana geliş zamanı ve çiçek organ taslaklarının gelişiminin tamamlanma süresi üzerine büyük bir etkiye sahiptir. Vişneler üzerine yapılan araştırmada soğuk iklim koşullarında tomurcukların daha sonra farklılaşmaya başladığı ve daha geç bir dönemde dinlenmeye girdiği tespit edilmiştir (Nekrasova, 1971). Kiraz ve vişne çeşitlerinde çiçek tomurcuklarının şekillenmesine ve çiçeklenme başlangıcına yıllara göre değişkenlik gösteren iklim koşullarının çeşitten daha etkili olduğunu ifade edilmektedir (Voloshina, 1972).

Şeftali ağaçlarındaki çiçek tomurcuklarının gelişimine iklimsel faktörlerden sıcaklığın etkileri incelenmiştir. Şeftali ağaçların 20/15, 30/15 ve 35/15° C gündüz/gece ortalama sıcaklıklarındaki çiçek tomurcuğu gelişimleri tespit edilmiştir. Araştırmada sıcaklık yükseldikçe, çiçek tomurcuğu gelişimi de hızlanmıştır. Sıcaklık artışlarına bağlı olarak gelişen ve gelişimini erken tamamlayan çiçek tomurcukları, daha erken çiçeklenmektedir. Fakat çok yüksek sıcaklıklar çiçek tomurcuğu gelişimini engellemekte ve çiçek tomurcuğuna zarar vermektedir. Tam çiçeklenme döneminde, 25/15, 30/15°C sıcaklıkta ağaçlar 6-9 gün erken çiçek açmıştır. 35/15°C sıcaklık çiçek tomurcuklarının çoğunluğunda, çiçek organ taslaklarının gelişiminin herhangi bir aşamada durduğu ve bu tomurcukların normal çiçek açmadığı ve döküldüğü gözlenmiştir. 30/15°C sıcaklık çiçeklerin boyutunu, erkek organların uzunluğunu ve yumurtalık çapını azalttığı ifade edilmiştir. Sıcaklık artışları, erkek organların bozulmasına neden olmuştur. Yüksek sıcaklıklarda çiçek tozu miktarı %54 ile %86 arasında azalmıştır. Benzer şekilde çiçek tozu

çimlenme oranı %29 ile %78 arasında azalma göstermiştir (Shen vd., 1999). Engin ve Ünal (2003b), gün içi sıcaklıkların 30-35°C'yi aştığı bölgede kirazlar üzerine yaptıkları araştırmada kiraz çeşitlerinin çiçeklerinde meydana gelen çift dişi organ oranının 30°C ve 35°C'yi geçen sıcaklıkların saat olarak toplamının artışıyla paralellik gösterdiğini tespit etmişlerdir. Yaz aylarındaki yüksek sıcaklık artışları birbirine yapışık bozuk şekilli meyve oranını artırmaktadır. Çiçek tomurcuğu farklılaşması döneminde 25°C sıcaklıkta, bozuk şekilli meyve oluşmamasına rağmen, 30°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda bozuk şekilli meyve oranının dikkate değer bir şekilde arttırdığı ve 35°C'nin üzerinde farklılaşma gösteren çiçek tomurcuklarından oluşan meyvelerin %80'ninin anormal yapılı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, 35°C'nin üzerinde farklılaşan çiçek tomurcuklarının birbirine yapışık üç tane meyve oluşturduğu da gözlenmiştir. Bu anormal oluşumun, yaz aylarındaki yüksek sıcaklık artışlarıyla bağlantılı olduğu göz önünde tutulduğunda, küresel ısınmadan dolayı gelecek yıllarda çok daha fazla problem yaşanacağı ifade edilmiştir.

Çiçeklenme fizyolojisi son derece karmaşık olup, meyve ağaçlarında çiçek oluşumu birçok faktör tarafından kontrol edilmektedir. Çiçek tomurcuklarının şekillenmesi, bitki hücrelerin olgunlaşma ve farklılaşmasının tamamlandığını göstermektedir. Çiçek tomurcuklarının gelişip çiçeklerin açılmasından sonra, meyve ve tohum oluşumu gerçekleşir. Bitkilerde morfolojik olarak bu değişimlerin meydana geldiği sırada, bitki dokusunda karbonhidrat birikimi ve bu değişimler için gerekli hormonların sentezi de artmaktadır. Meyve ağaçlarında tüm bu gelişim, fizyolojik olduğu gibi, iklim değişimlerinden etkilenmektedir. Meyve ağaçlarının çiçeklerinde bazı anormalliklere karşılaşılmaktadır. Bu çiçek anormallikleri; çoklu dişi organ oluşumu, erkek organlarda taç yaprağı gelişimi, fazla sayıda taç yaprağı oluşumu ve çiçek boyutunun küçülmesi şeklinde görülmektedir (Engin ve Ünal, 2003a). Araştırmalar meyve ağaçlarının çiçeklerinde görülen anormalliklerin iklim faktörlerinden özellikle sıcaklıkla bağlantılı olduğunu göstermektedir. Kiraz ağaçlarında nadiren görülen erkek organların başçıklarında taç yaprağı ve dişi organ oluşumu şeklinde meydana gelen anormal şekillenmenin evrimsel bir adım olabileceği ifade edilmektedir. Bu anormal oluşumda, erkek organların ucunda bulunan başçıklarla yer değiştiren dişi organ benzeri uzantılar, çiçek tablasının içine yayılarak kümeleşir. Çok yüksek sıcaklıklarla bağlantılı olan bu

durum, çiçeklerin dişileşmesinin bir yansıması olabilir. Meyve ağaçlarında görülen bu gibi anormal oluşum içeren yapılar, çiçek tomurcuğu farklılaşması dönemindeki 35°C üzerindeki sıcaklıkların bir yansımasıdır.

MEYVE AĞAÇLARINDA İKLİMSSEL KAYNAKLI BOZULMALAR

Günümüz meyve yetiştiriciliğinde yoğun olarak üretilen meyvelerde verim ve kaliteyi etkileyen problemler bulunmaktadır. Bu sorunların başında çeşitten çeşide ve yıldan yıla değişen oranlarda, iklimsel değişim kaynaklı bozukluklar yer almaktadır. Bu durum meyve ağaçların verimini ve meyve kalitesini olumsuz etkilemekte ve pazar değerini aşağı çekmektedir. Birbirine yapışık çoklu meyve oluşumu, meyve çatlaması, küçük meyve oluşumu, meyve çekirdeğinin yarılanması ve parçalanması, karın çizgisinin derinleşerek açılması, tomurcuk silkmesi, tomurcukların oluşmaması, yapraklanmanın gecikmesi, düzensiz çiçeklenme veya çiçeklenmenin gecikmesi ve meyve yüzeyinde renk bozulmaları iklimsel değişim kaynaklı yaygın görülen bozukluklardır. Yoğun olarak üretilen kiraz, şeftali, kayısı gibi meyve türlerinde verim ve kaliteyi etkileyen bu söz konusu bozulmalarla sıklıkla karşılaşmaktadır. Bu bozulmalar yıllara ve çeşitlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Meyve ağaçlarının çiçek ve meyvelerinde meydana gelen bozulmalar bazı bölgelerde fazla görülmeyip ciddi bir sorun oluşturmamaktadır. Fakat kıyı bölgelerdeki meyve bahçelerinde, çiçek ve meyvelerde görülen bozulmalar oldukça fazla olup, önemli sorunların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Anormal iklim kaynaklı bozulmalardan dolayı % 50'lere varan ürün kayıplarıyla karşılaşmaktadır. Bu anormal oluşumların iklim bağlantılı olduğu göz önünde tutulduğunda, iklim değişikliklerinden dolayı önümüzdeki yıllarda çok daha fazla problem yaşanacak gibi görünmektedir.

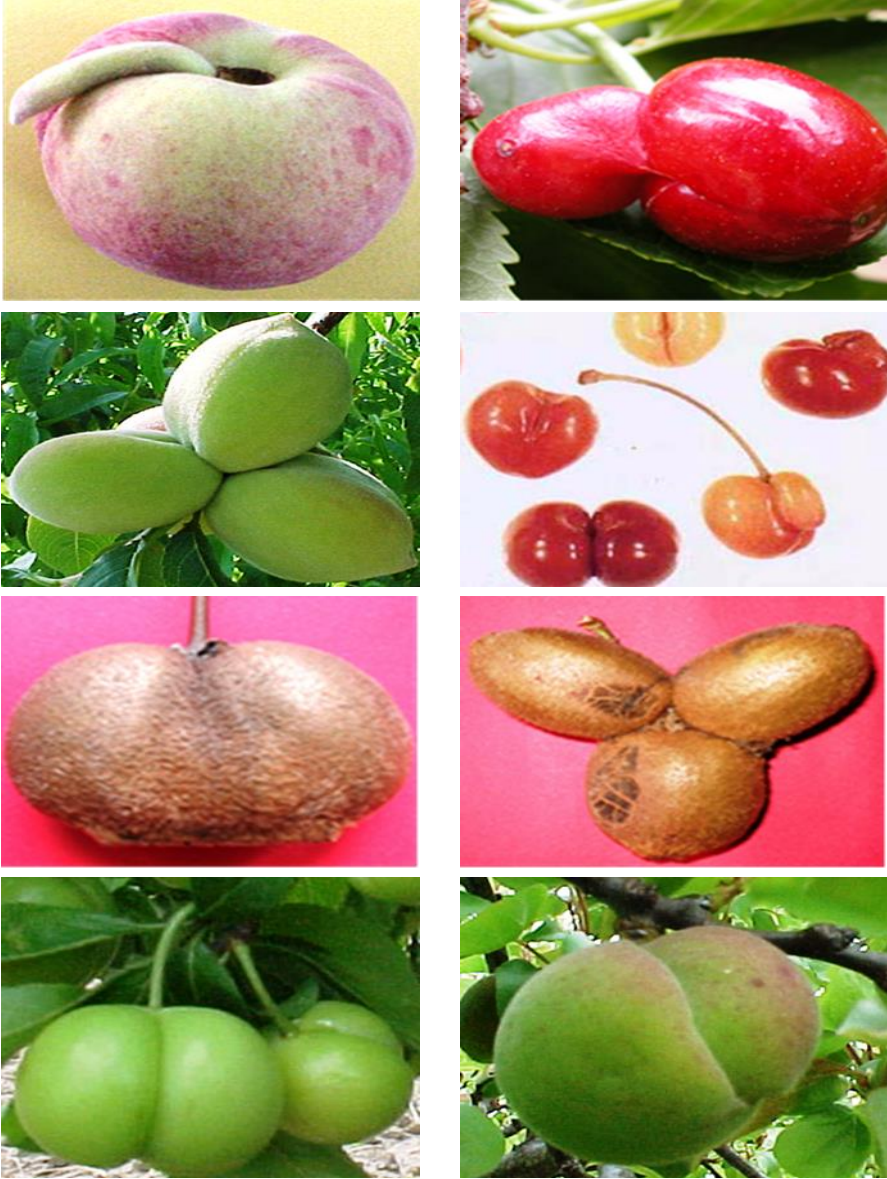
Birbirine Yapışık Çoklu Meyve Oluşumu

Farklı meyve türlerine ait bozuk şekilli meyve oluşumları Şekil 2'de verilmiştir. En fazla görünen şekli çift ya da ikiz meyve oluşumudur. Ege ve Akdeniz çevresindeki meyve bahçelerinde sıklıkla görülür. Bazı durumlarda birbirine yapışık meyveler üçlü olmaktadır. Bu tip meyvelerin pazar değeri olmadığından üreticiler açısından ekonomik kayıplara neden olmaktadır.

Şeftali, kiraz, erik ve nadiren kayısı meyvelerinde görülmektedir. Bazen bu problem fazla ortaya çıkmamakta ve bu durumda bu tip meyveler özellikle şeftali ağaçlarında hasatta veya hasat öncesinde elle seyrelme yapılarak kolayca ayrılabilir. Fakat bazı bölgelerde ve farklı çeşitlerde bu sorun büyük öneme sahiptir. Bir meyvenin çoklu olup olmayacağı bir önceki yılın yaz aylarında çiçek tomurcuğu gelişimi esnasında belirlenmektedir (Engin ve Ünal, 2005). Yeni oluşan ve gelişen tomurcuklar başta sıcaklık olmak üzere iklimsel faktörlerdeki değişimlere hassastır. Özellikle yaz aylarındaki sıcaklık artışları ve yetersiz yağış bozuk şekilli meyve oluşumunu artırmaktadır. Kiraz ve şeftali çeşitlerinin çift meyve oluşturma eğilimleri kayısı ve eriklere göre oldukça yüksektir.

Meyve Çatlaması

Hasat öncesi yağışlar nedeniyle meyvelerin çatlayarak meyve etinin parçalanması meyve yetiştiriciliğinde önemli bir sorundur. Çatlamış meyvelerin (Şekil 3) market değeri olmadığından bazen önemli ekonomik kayıplarına neden olur. Bu durum en yaygın kiraz yetiştiriciliğinde görülmektedir. Meyve çatlamasında suda çözünür kuru madde miktarı, sıcaklık, kütikula geçirgenliği, stoma iriliği ve sıklığı, hücre duvarı dayanıklılığı gibi birçok faktör etkilidir. Çatlama, suyun meyvenin dış tabakasından meyveye girmesi ve meyvenin şişmesi sonucu meydana gelir. Meyvenin su alım miktarı ve hızını artıran faktörler meyvenin çatlamasını artırır. Yağışlı havalarda, suyun bu şekilde olgun kiraz meyvelerine girmesi sonucu meyve hacmini artırır. Suyun meyve içine girmesi meyve içi dokularında hacmi hızla artırır. Sonuçta meyve kabuğu gerilir ve çatlar veya yarılar. Çatlama oranı, meyvelerin olgunlaşmasına yakın dönemde daha yüksek gibi görünmektedir. Meyve çatlamasının sadece meyve olgunlaşma dönemi yağışlara değil aynı zamanda yağmur suyunun sıcaklığı ile sıkı bir ilişki vardır. Kalsiyumun hücrenin suya karşı geçirgenliğini değiştirerek çatlamaı önlediği ileri sürülmektedir.



Şekil 2. Bazı meyve türlerinde bozuk şekilli meyveler.

Küçük Meyve Oluşumu

Meyve yetiştiriciliğinde önemli ekonomik kayıplara neden olan bir diğer bozukluk meyvelerin normal gelişimlerini tamamlayamayarak küçük kalmasıdır.

Başlangıçta meyve normal gelişme göstermesine rağmen belirli bir dönemden sonra gelişmenin durarak meyvelerin tam büyüklüğüne ulaşamadıkları bir durumdur. Bu tip meyveler (Şekil 3) incelendiğinde genellikle iyi gelişmemiş ya da ölü embriyoya sahip oldukları görülmektedir. Bu bozukluk, kış aylarındaki sıcaklıkların yüksek olmasının bir sonucu olduğu gibi çiçeklenme döneminde meydana gelen donlar veya çiçeklenme dönemindeki yağışlı ve serin havalardan kaynaklanmaktadır.

Meyve Çekirdeğinin Yarılmaması ve Parçalanması

Erkenci meyve yetiştiriciliğinin yapıldığı bölgelerde sıklıkla karşılaşılmaktadır. Erken olgunlaşan şeftali çeşitlerinde, çekirdek yarılmaması ve parçalanması önemli bir problemdir. Erken olgunlaşan çeşitlerin bu bozukluğa hassas olmalarının sebebi, çekirdeğin sertleşmesiyle, meyve gelişmesindeki son şişme aşamasının birbirine çok yakın zamanda meydana gelmesidir. Çekirdek sertleşmesi tam çiçeklenmeden aşağı yukarı 40 gün sonra başlar bu dönemde çekirdek aşamalı olarak elastikiyetini kaybeder ve daha sert bir duruma gelir (David et al, 1991). Bu süre içerisinde meyve eti sıkı bir şekilde çekirdeğe bağlıdır.

Olgunlaşması erken olan çeşitlerde meyve etindeki gelişme hızlıdır. Bu durum çekirdekle meyve eti arasındaki sıkı bağ zayıflamasından önce olur. Böylece meyve etinin çekme kuvveti çekirdeği dışarı doğru çeker. Eğer bu kuvvet yeterince büyük olursa çekirdeğin bağlantı noktasından ayrılmasına neden olacaktır.

Geç olgunlaşan çeşitlerde bu iki olay (çekirdek sertleşmesi ve son şişme aşaması) birbirinden ayrıdır. Bu da çekirdek ile etrafını saran meyve eti hücrelerinin meydana getirdiği bağın zayıf olmasına neden olur. Böylece bu problemle karşılaşılmaz. Yarılmış çekirdeğe sahip olan meyveler (Şekil 3), genellikle şekilleri bozulmuş ve meyve sapı çukurunda açılmalar meydana

gelmiştir. Bu da hastalıklara ve böceklerin girmesine neden olur (Engin vd., 2007). Bölgede yetiştiriciliği yapılan Early Crest, Sprintime, Royal Gold, Early Red ve Dixired şeftali çeşitlerinde bu problem görülmektedir.

Çekirdeği paramparça olmuş meyveler meyve şekli genelde bozulmadığı için fark edilmesi mümkün değildir. Bu tip meyvelerin çekirdekleri farklı yerlerden kırılmıştır. Ayrıca kırılmış yerler arasındaki oyuklar zank benzeri bir madde içerir. Eğer yutulacak olunursa çekirdeğin keskin kenarları tehlikeli olabilir. Bu problemle en fazla karşılaşılan çeşit Kardinal şeftalisidir. Erken olgunlaşan şeftali çeşitlerinin bu oluşumlara karşı eğilimleri vardır. Meyve büyüklüğünü artıran ve meyve tutumunu azaltan uygulamaların yanında meyve gelişim dönemindeki özellikle hasada yakın aşırı yağışlar bu bozukluğu artırabilir.

Dolu Zararı

Meyve ağaçlarında dolu yağışları yaprak, dal, sürgün, çiçek ve meyvelerde bozulmalara neden olur. İlbahar ve yaz aylarında görülen şiddetli dolu yağışları özellikle meyve ağaçlarının çiçek ve meyvelerinde bozulmalara sebep olur. Bu durum bazı yıllar meyve yetiştiriciliğinin yapıldığı bölgelerde büyük ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Şekil 3).

Meyve Karın Çizgisinin Derinleşerek Açılması

Meyve karın çizgisindeki açılma meyve sap kısmından başlayarak şekillenmeye başlar (Şekil 3). Meyve sap çukurundan itibaren oluşan çizgi derinleşerek uzar. Riogrande, Juneprince ve Junegold şeftali çeşitlerinde meyvelerin bu birleşim yerlerinde sakız oluşumuyla karşılaştığı ifade edilmektedir (Roversi, 2001). Meyve ağaçlarında bu şekilde meydana gelen bozulmaların kış aylarındaki sıcaklıkların yüksekliğinden kaynaklandığı görülmektedir.

Meyve Yüzeyinde Renk Bozulmaları

Meyve türleri arasında elma, şeftali, nektarin gibi birçok meyve türünde görülür. Bozukluğun belirtisi meyve üzerinde kırmızımsı, kahverengi ve siyah oluşumların veya çizgi ve kırçılıkların oluşmasıdır (Şekil 3). Bazı durumlarda

da meyvede yoğun bir kırmızı renk oluşumudur. Bu bozukluğun olgunlaşmadan önceki yoğun sıcaklık ve ışık veya ikisinden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3. Bazı meyve türlerinde meyve çatlaması, küçük meyve oluşumu, meyve çekirdeği parçalanması, meyve karın çizgisinin açılması, yüzey renk bozulması ve dolu zararı.

Tomurcuk Silkmesi

Meyve türlerinde verimsizliğe neden olan önemli faktörlerden biri tomurcuk silkmesi olarak adlandırılan bozukluktur. Dallar üzerinde şekillenmiş olan tomurcukların dökülmesi şeklinde ortaya çıkmaktadır (Şekil 4). Meyve türleri içerisinde sert çekirdekli meyvelerde sıklıkla görülen bir bozukluktur.

Tomurcuk silkmesi özellikle kayısı yetiştiricilerinin en fazla şikayet ettikleri bozukluktur (Gülcan, 1975; Carme vd., 2010). Ayrıca şeftali çeşitlerinde de sıklıkla görülmektedir (Razavi vd., 2011). Dallar üzerinde bulunan çiçek tomurcuklarının dökülmesi tomurcuk sayısını ve bu tomurcuklardan oluşacak olan çiçeklerin oranını azaltarak düşük verime neden olmaktadır. İspanyada tomurcuk silkmesi üzerine yapılan bir araştırmada kayısı dalları üzerinde bulunan çiçek tomurcukların %60'nin üzerinde döküldükleri bildirilmektedir (Alburquerque vd., 2004). Çanakkale kıyı bölgesinde bazı kayısı çeşitleri (Hasanbey, Kabaası, Soğancı, Şekerpare) üzerine yapılan bir araştırmada dallar üzerinde bulunan tomurcukların kış dinlenme döneminin farklı zamanlarında toplam %90 tomurcuk dökümleri tespit edilmiştir (Engin ve Akçal, 2014).

Meyve ağaçlarındaki tomurcuk dökümlerine, yaz aylarında yeterli yağışın olmaması (Alburquerque vd., 2003), kış aylarında hava sıcaklıklarının yüksek seyretmesi ve dolayısıyla meyve ağaçlarının dinlenme ihtiyacının karşılanamaması (Engin ve Akçal, 2014; Akçal ve Engin, 2007) ve şiddetli kış donlarının neden olduğu bildirilmektedir (Julian vd., 2007).

Tomurcuk Oluşturamama

Meyve ağaçların dalları üzerinde çiçek veya odun tomurcuğu oluşmaması şeklinde meydana gelen bir bozukluktur (Şekil 4). Bu bozukluk gelecek yılın yıllık sürgünlerinde yaprak veya meyve oluşmadığı zaman dikkati çekmektedir. Söz konusu bozukluğa sahip olan meyve ağaçlarını budama ile şekillendirmek zordur. Bu tip meyve ağaçları çok düşük verim oranlarına sahiptir. Bu bozukluk meyve ağaçlarının yetiştirildikleri bölgelerdeki yaz aylarındaki sıcaklıkla ilgili olduğunu görülmektedir. Yaz aylarında özellikle

32°C ve üstü sürekli yüksek sıcaklıklarda çiçek ve odun tomurcuğu oluşmamasının bir sonucudur.

Ayrıca kış aylarındaki yüksek sıcaklıklar ve bu sıcaklıkların meyve ağaçlarının dinlenme döneminde sık sık mevsim normallerinin üzerine çıkma durumuna göre bozukluğun artış gösterebileceği gözlenmiştir.

Gecikmiş Yapraklanma

Bu durum ülkemiz kıyı bölgelerinde 2006-2007 yıllarında gözlemlenmiştir. 2006 yılını 2007 yılına bağlayan kış aylarında hava sıcaklıkları yüksek seyretmiştir. Bu durumdan dolayı gecikmiş yapraklanma sorunuyla karşılaşmıştır (Engin ve Akçal, 2014). Meyve ağaçlarındaki yapraklanmanın gecikmesi ilkbaharda fark edilebilir. Tepe tomurcuklar uandıktan sonra bütün taçta homojen bir gelişme olur. Gecikmiş yapraklanma olan ağaçlarda tepe ve tepeye yakın tomurcuklarda bir miktar yaprak gelişir. Fakat sürgünün alt tarafındaki diğer odun tomurcukları ya uyanmadan kalırlar ya da farklı zamanlarda biri birinden ayrı olarak uyanırlar. Genellikle güçlü çatal dalların dibinden veya gövdeden sürgünler meydana gelir.

Bu problemle karşılaşılan bir ağaçta çok zayıf bir yaprak örtüsü ve az sayıda meyve tutumu olur. Bu tip ağaçlarda gövdeden hızlı dal gelişimi ve kök den sürgün gelişimi olur. Bu durumda ağacın bakım işleri daha karışık bir hale gelir.

Düzensiz Çiçeklenme

Bu durum kıyı bölgelerindeki yetiştiriciliği yapılan meyve ağaçlarında (Şekil 4) kış aylarındaki sıcaklıkların mevsim normallerinin üzerine çıkması durumunda görülmektedir. Bu tip meyve ağaçlarında çiçeklenme dönemi uzar, çiçeklenme zamanı geç olur ve düzensiz bir çiçeklenme meydana gelir. Çiçek tomurcuklarının bazılarında hiç uyanma olmaz. Bazı çiçek tomurcukları da düzensiz çiçekler meydana getirir.

Kış aylarının ılık geçtiği yıllarda ve yerlerde bazı meyve çeşitlerin olgunlaştığı zamanlarda diğer bazı çeşitlerin çiçeklenme aşamasında olduğu görülmektedir. Bu durum özellikle çiçeklenme zamanlarının aynı türün farklı

çeşitleriyle çakışmayan ve geç çiçeklenen çeşitlerde önem taşımaktadır. Bu gibi meyve çeşitlerinde bazı yıllar kış aylarındaki yüksek sıcaklıklar düzensiz çiçeklenme meydana gelmesine neden olmaktadır. Bu meyve çeşitlerinin geç çiçeklenmesi yanında düzensiz çiçeklenmesi verim kayıplarının ana nedenlerinden biridir.



Şekil 4. Bazı meyve türlerinde tomurcuk silkmesi, tomurcuk oluşturmama, gecikmiş yapraklanma, düzensiz çiçeklenme.

Meyve ağaçlarındaki Şekil 1, 2, 3 ve 4'de verilen bozulmaların iklimsel faktörlerle olan ilişkisi Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Meyve ağaçlarındaki bozukluklar ve iklim faktörleri ile bağlantılı sebepleri.

Bozukluk	İklim faktörleri			
	Sıcaklık		Don	Yağış
	Yaz	Kış		
Çoklu meyve oluşumu	Etkili	Etkisiz	Etkisiz	Etkili
Meyve çatlaması	Meyve olgunlaşması döneminde nem ve yağmur			
Çekirdek parçalanması	Meyve döneminde nem ve yağmur	olgunlaşması	Meyve tutumu dönemi	Etkili
Karın çizgisi açılması	Etkili	Etkili	Etkisiz	Etkili
Küçük meyve	Etkili	Etkisiz	Etkili	Etkili
Tomurcuk oluşturmama	Etkili	Etkili	Etkisiz	Etkili
Tomurcuk silkmesi	Etkisiz	Etkili	Etkili	Etkili
Gecikmiş yapraklanma	Etkisiz	Etkili	Etkisiz	Etkisiz
Çiçeklenme düzensizlikleri	Etkisiz	Etkili	Etkisiz	Etkisiz
Dolu Zararı	Etkisiz	Etkisiz	Etkisiz	Etkili
Yüzey renk bozukluğu	Etkili	Etkisiz	Etkisiz	Etkisiz

KAYNAKÇA

- Akçal, A., Engin, H., 2007. Çanakkale şartlarında bazı kayısı çeşitlerinin kış dinlenmesi üzerine araştırmalar. Lâpseki Sempozyumu. 22–28, Çanakkale.
- Albuquerque, N., Burgos, L., Egea, J., 2003. Apricot flower bud development and abscission related to chilling, irrigation and type of shoots. *Scientia Horticulturae*. 98: 265–276.
- Albuquerque, N., Burgos, L., Egea, J., 2004. Influence of flower bud density, flower bud drop and fruit set on apricot productivity. *Scientia Horticulturae*. 102: 397-406.
- Carme, J., Maria, H., Javier, R., 2010. Flower bud differentiation and development in fruiting and non–fruiting shoots in relation to fruit set in apricot (*Prunus armeniaca* L.). *Trees*. 24: 833-841.
- David, H.B., Terry, A.B., Boonprakob, U. 1991. Physiological disorders of stonefruit. Department of Horticultural Science, Texas University, Published in the Texas Horticulturist in November.
- Engin, H. Ünal, A., 2003a. Kiraz çeşitlerindeki çiçek anormallikleri üzerine incelemeler. *E.Ü.Z.F. Derg.* 40, 3 Bornova-İzmir.
- Engin, H. Ünal, A., 2003b. Bazı kiraz çeşitlerinde çift dişi organ oluşumları üzerinde araştırmalar. Türkiye IV. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi Antalya.
- Engin, H., A. Ünal, 2005. The Effect of irrigation, gibberellic acid and nitrogen on the occurrence of double fruit in ‘Van’ Sweet Cherry, 5th Int. Cherry Symposium, Bursa, Turkey.
- Engin, H., Akçal, A., 2014. Çanakkale bölgesi için yeni bazı kayısı çeşitlerinin kış dinlenmesi, tomurcuk dökümleri ve meyve tutumları üzerine araştırmalar. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*. Cilt:2, Sayı 3.
- Engin, H., Akçal, A., 2014. Kış dinlenme ihtiyacı yüksek olan kayısı çeşitlerinin güney Marmara şartlarındaki soğuklanma sürelerinin, tomurcuk dökümleri, çiçeklenme periyodu ve meyve tutumuna etkileri. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*. 2 (1): 117-122.
- Engin, H., F. Şen, G. P. Mengü, 2007. Şeftali ağaçlarında (cv. ‘springtime’, cv. ‘early red’) görülen bazı fizyolojik bozukluklara ve meyve kalitesine

- sulama, gibberellin ve azot uygulamalarının etkileri. Anadolu, Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi.
- Fogle, H. W., Snyder, J. C., Baker, H., Cameron, H. R., Cochran, L. C., Schomer, H. A. and Yang, H. Y., 1993. Sweet Cherries: Production, Marketing and Processing. Agric. Handbook. 442, U.S.A., Washington D.C.
- Gökbayrak, Z., Engin, H., Dardeniz, A. 2011. Flower aberrations in kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). Europ. J. Sci. 76 (3) 91-94.
- Grasselly, G. P. and Raynaud, C., 1980. Techniques Agricoles et Productions Mediterraneennes. G.P. Maisonneuve et Larose.
- Gülcan, R., 1975. Bazı kayısı çeşitlerinin kış dinlenmesi ve çiçek tomurcuğu teşekkülü üzerinde araştırmalar. E.Ü. Zir. Fak. Bornova.
- Julian, C., Maria, H., Javier, R., 2007. Flower bud drop and pre-blossom frost damage in apricot. Journal of Applied Botany and Food Quality. 81: 21-25.
- Nekrasova, K.K., 1971. The development of flower buds in sour cherry varieties with varying cold hardiness. Hort.Abst.,41,3,5859.
- Philp, G.L., 1933. Abnormality in sweet cherry blossoms and fruit. Bot. Gaz. 44,815-820.
- Razavi, F., Hajilou, J., Tabatabaei, S.J., Dadpour, M. 2011. Comparison of chilling and heat requirement in some peach and apricot cultivars. Research in Plant Biology. 1, 2; 4047.
- Roversi, A., 2001. Osservazioni Sulla Comparsa di Frutti Gemellati nel Ciliegio Dolce. Estratto da Frutticoltura. Anno LXIII-n.3 Marzo.
- Salisbury, F.B., Ross, C.W. 1992. Plant Physiology. Wadsworth Publishing Company.
- Shen, Y.Y., Guo, J.X., Liu, C.L. and Jia K.G., 1999. Effect of temperature on the development of peach flower organs. Acta Horticulturae- Sinica, 26:1,1-6.
- Tucker, L.R. 1934. Notes on sweet cherry doubling. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. (32) 300-302.
- Tucker, L.R. 1935. Additional notes on sweet cherry doubling. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 33, 237-239.
- Tukey, L.D., 1954. Peach doubles. Am. Fruit Gr. 74, 11.

Voloshina, A. 1972. Morphogenesis of Sweet and Sour Cherry Flower Buds and The Role of Temperature in Their Development Under Crimean Conditions. Hort.Abst. (42) 1;475.

BÖLÜM 5

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE BAĞCILIĞA ETKİLERİ

Doç. Dr. Burçak İŞÇİ^{1*}

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10207955>

¹Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, 35100 İzmir-Türkiye.
<https://orcid.org/0000-0002-6542-0271>

*sorumlu yazar: burcak.isci@ege.edu.tr

GİRİŞ

İklim sistemini oluşturan atmosfer, hidrosfer ve litosferdeki bozulmalar sonucunda dünyamızın doğal dengesi bozulmuş, sonucunda dünyanın iklimi etkilenmiştir. İklim değişikliği, “Karşılaştırılabilir bir zaman periyodunda gözlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak, doğrudan veya dolaylı küresel atmosferin bileşimini bozan insan etkinliklerinin sonucu, iklimde bir değişiklik” olarak tanımlanmaktadır (Türkeş vd., 2000; IPCC, 2001).

18. yüzyılın ikinci yarısından itibaren insanların gerçekleştirdiği çeşitli etkinlikler sebebiyle iklimi olumsuz yönde etkiledikleri bir döneme girilmiştir. İklim değişikliği bir ülke ya da bir bölgenin değildir, tüm dünyanın sorunudur. İklim küresel ölçekte değişmektedir, bu nedenle doğrudan ve dolaylı olarak tüm dünya ülkelerini etkilemektedir. Nedeni ne olursa olsun iklimin ortalama durumunda veya değişkenliğinde uzun süreler boyunca gerçekleşen değişikliklerin etkisiyle buzulların erimesi, deniz seviyesinin yükselmesi, iklim kuşaklarının kayması gibi değişikliklerin yanı sıra küresel ısınmanın sürmesi durumunda, aşırı hava olayları (şiddetli fırtınalar, kuvvetli yağışlar ve fırtına kabarmaları) gibi meteorolojik, bu olaylara bağlı olarak oluşan taşkınlar ve seller gibi hidrolojik ve uzun süreli kuraklık olayları ve çölleşme süreçleri gibi klimatolojik kökenli orman yangınları gibi doğal afetlerin şiddetinde, sıklığında ve etkinlik alanlarında önemli artışların olabileceği beklenmektedir.

Küresel sıcaklıkta son yüzyılda 0.8°C’lik bir artış olmuştur. Çeşitli iklim modelleri (European climate support network, ECSN, 1995; U. K. Meteorological Office, UKMO, 1995) ve 2019 yılı IPCC İklim Değişikliği ve Arazi Özel Raporu (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019), Doğu Akdeniz Havzası’nı ve Türkiye’yi içeren subtropikal kuşağın önemli bir bölümünde, gelecekteki en büyük tehlikenin kuraklık ve çölleşme olarak karşımıza çıkacağını rapor etmektedir. Konu uzmanları iklim değişikliğinin etkisi ile insanların büyük bir kesiminin yer değiştireceğini öngörmektedir (Kadıoğlu, 2007; T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008; Öztürk vd., 2015; Kurnaz, 2019).

2030 yılına kadar kış sıcaklıkları 2°C ve yaz mevsimindeki sıcaklıklar 2-3°C aralığında artacaktır. Akdeniz Havzası’nda yer alan ülkelerden birisi olan Türkiye’de meydana gelen sıcaklık artışıyla birlikte yağmurların azalması,

yağış rejiminin değişmesi, kar yağışı ve yağmurun daha seyrek ya da daha şiddetli görülmesiyle birlikte erozyon, sel ve taşkınlar olacaktır. Su kaynaklarının bilinçsiz ve aşırı kullanımı nedeniyle meydana gelecek olan yeraltı sularının azalması, toprak kalitesinin bozulması, toprak tuzluluğunun artmasıyla birlikte ürünlerin verim ve kalitelerinde oluşacak olan kayıplar iklim değişikliğinin etkilerine karşı çok daha fazla kırılganlaşacaktır. Yağış rejiminin düzensizleşmesi, yağışların uzun bir kuraklık döneminden sonra aşırı miktarda geleceğinden toprağa hiçbir faydasının olmadan toprak tarafından yeterli suyun depolanmaması Türkiye'nin tarımsal üretimde büyük düşüşler yaşamasına neden olacaktır. İklim değişikliği tarım ürünlerinin besin değeri ve verimliliğini etkileyecektir (Türkeş vd., 1999; IPCC, 2001).

İklim değişikliğinin etkileri üzerine yapılan pek çok projeksiyonda olağanüstü iklim şartlarının, Akdeniz Havzası'ndaki sıcaklık dalgalarının 21. yüzyılın sonunda frekansını arttırıp her sene görülen rutin hava olaylarına dönüşeceği belirtilmektedir. İklim değişikliği ile bazı bitkilerin bazı bölgelerde ekim ve dikim zamanlarında ve bu bölgelerde üretilen üretim desenlerinde değişiklikler söz konusu olacaktır. Türkiye'nin çölleşme tehdidi altındaki yarı kurak ve yarı nemli İç Anadolu, Güneydoğu Anadolu, Ege ve Akdeniz bölgelerinde tarım, ormancılık ve su kaynakları açısından olumsuz etkiler ortaya çıkacaktır. Mevcut bitki ve hayvanların bir kısmı yok olurken, yeni bitki ve hayvan türleri ve sıcak hava dalgaları nedeniyle istilacı türler ortaya çıkacaktır. Deniz suyu seviyesinin 2030 yılına dek, Akdeniz Havzası'nda 18-12 cm, 2050'ye kadar 38-14 cm arasında bir yükseliş göstereceği tahmin edilmektedir. Deniz suyundaki yükselme sonucunda özellikle alçak bölgelerdeki tarımsal araziler olumsuz şekilde etkilenecektir (Öztürk, 2002, Şimşek, 2020). İklim kuşakları, ekvatorдан kutuplara doğru yüzlerce kilometre kayabilecektir ve bunun sonucunda da Türkiye, bugün Orta Doğu'da ve Kuzey Afrika'da egemen olan daha sıcak ve kurak bir iklim kuşağının etkisinde kalabilecektir. İklim değişikliği Türkiye'de mevcut olan karasal ve deniz ekosistemlerini bozarak biyolojik çeşitliliğin azalmasına neden olacaktır (Türkeş vd., 2000; Şen, 2013; Akçakaya vd., 2015; Türkeş vd., 2020; Şimşek, 2020).

Toprak ve iklim asma bitkisinin yetiştirilmesinde temel çevresel bileşenlerdir. Sıcaklık, yağış, nem, ışıklanma ve rüzgâr gibi iklimsel değişimler asmanın fenoloji, verim, tane gelişimi, tane kalitesi ve üzüm kompozisyonunu

etkilemektedir. Sıcaklık bir bölgede bağıcılık yapılabilmeyeceğini ve asmanın dünya üzerindeki yayılışını sınırlandıran en önemli parametrelerin başında gelmektedir, bağın topografik yapısı sıcaklığın etkisini belirlemektedir. Bağcılık ve şarapçılık dünya çapında güçlü bir sosyo-ekonomik yapıya sahiptir. Asma çok çeşitli iklimlerde (Akdeniz, subtropikal, okyanus, sıcak okyanus, ılıman geçiş, kurak iklimler) yetiştirilmektedir, makro iklim gereklilikleri, kış aylarında en düşük sıcaklığın -15°C ile -20°C 'nin altına düşmemesi ve minimum 1000°C olmasını şart koşmaktadır. Vejetasyon döneminde sıcaklığın 10°C 'nin altında ve 35°C 'nin üzerinde olması asmanın gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir. Ekstrem sıcaklıklar asma gelişimi ve üzüm kalitesi için faydalı değildir, 35°C üzerindeki yüksek sıcaklıklar salkımların ve yaprakların zarar görmesine, fotosentezin ve antosiyanin içeriğinin azalmasına neden olabilir. 0°C 'nin altındaki sıcaklıklar asmalarda zararlanmalara neden olabilmektedir. Kış boyunca devam eden -15°C 'nin altındaki düşük sıcaklıklar kışlık gözlerin ve sürgünlerin zarar görmesine ve genotip, çevre, kültürel işlemler, dona maruz kalma süresi ve doku hidrasyonu gibi birçok parametreye bağlı olarak asmanın ölümüne neden olabilir. Gözlerin uyanmasından sonraki -2.2°C 'nin altındaki sıcaklıklar asmanın ölümüne sebep olmadan genç sürgünlere zarar verebilir ve üretimde ciddi azalmalara neden olabilir. Kışın meydana gelen düşük sıcaklıklar dormansinin kırılması için önemlidir ve bir sonraki vejetasyon dönemi için çok yıllık organlarda (kök, gövde ve sürgün) karbonhidrat birikimini teşvik eder. Olgunlaşma boyunca günlük yüksek sıcaklıklar ile nispeten soğuk geceler yüksek kaliteli meyvelerin üretilmesi için faydalıdır. İklimi oluşturan faktörlerin analiz edilmesi bağ yerinin seçimi ve yetiştirilecek olan çeşitlerin optimum gelişiminde önemlidir (Mori vd., 2007; Ferguson vd., 2014; Köse, 2014; Badr vd., 2018).

Asma iklime en duyarlı bitkilerden biridir. Büyüme döngüsü için 10°C 'lik bir baz sıcaklığa ihtiyaç duyar ve doğru gelişimi için yeterli güneş radyasyonu da gereklidir. Geçmişte düşük kış soğukları Doğu Avrupa, Asya ve Kuzey Amerika'da karasal iklime sahip bölgelerde üzüm yetiştiriciliğini sınırlamıştır. Büyüme mevsimi boyunca düşük sıcaklıklar genel olarak üzüm yetiştirme bölgelerinin yaklaşık 12°C sıcaklık izoterminin (Nisan-Ekim, Kuzey yarım küre; Ekim-Nisan, Güney yarım küre) ötesine yayılmasını engellemiştir (Jones vd., 2004). Yüksek sıcaklıkların etkisi asma dikim alanlarının göre daha az belirgindir. Genel olarak 22°C sıcaklık izoterminin şaraplık üzüm üretimi

için sınırlayıcı olduğu düşünülmektedir (Jones, 2007; Schultz ve Jones, 2010). Dünyanın en iyi üzüm yetiştirilen bölgelerinin tarihsel olarak nispeten dar coğrafi sınırlar içinde Kuzey yarım kürede 35. ve 50. paraleller ile Güney yarım kürede 30. ve 45. paraleller arasında yer aldığı ve burada fiziksel bölge bileşenlerin mükemmel bir şekilde etkileşime girdiği bilinmektedir. Gelecekteki iklim koşulları göz önüne alındığında, iklim değişikliğinin dünya bağıcılığının mevcut sınırlarını genişletmesi ve daha düşük enlemlerde bulunan geleneksel Avrupa bölgelerine baskı eklemesi çok muhtemeldir. İklim değişikliği nedeniyle değişen iklim koşullarının dünya çapında bağıcılık üzerine muhtemelen büyük bir etkiye sahip olabileceği farkına varılıp, bağıcılık ve enoloji araştırmalarının önemi giderek artan bir konu haline gelmiştir.

İklim değişikliği konusunda büyük ölçüde artan hava sıcaklıklarına ve yağış düzenindeki değişikliklere odaklanılır, ancak dünya çapında üzüm üretimi için kullanılan iklim bölgelerinin çeşitliliği söz konusu alana ve üretim türüne (şaraplık, sofralık, kurutmalık, vb.) bağlı olarak çok farklı zorluklara neden olacaktır. Genel olarak üzümün olgunlaşma döneminde beklenen iklim değişiklikleri iki senaryoya ayrılabilir; daha sıcak-daha kuru ve daha sıcak-nemli. Bu geniş ayırmadaki üretim zorlukları oldukça farklıdır ve sürdürülebilir bir ürün sağlamaya yönelik stratejilerin buna göre uyarlanması gerekmektedir. Mevcut üretim alanlarında su kıtlığı muhtemelen en baskın çevresel kısıtlamadır ve ılıman iklimlerde bile asmalar genellikle büyüme mevsimi boyunca bir dereceye kadar kuraklık stresiyle karşı karşıya kalır (Sadras ve Moran, 2012). Ancak olgunluk gibi bazı gelişim aşamalarında çok fazla nem aslında bazı bölgelerde daha büyük risk oluşturabilir. İklim değişikliği nedeniyle bağıcılığın geleceği, iklim faktörlerinden sıcaklık, yağış, karbondioksit konsantrasyonu gibi öngörülen değişikliklerle yakından bağlantılıdır. Bu nedenle gelecekteki gelişmeler bağ bölgelerinden, kalite kriterlerine kadar asma yetiştiriciliğinin pek çok yönünü değiştirebilir. İklim değişikliği bağcılarının önümüzdeki dönemde uğraşması ve yeni stratejiler geliştirmeleri gereken önemli bir konudur.

Bağ kurulacak bir yerin seçiminde bölgenin iklimsel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla farklı araştırmacılar tarafından asmanın iklim istekleri ile gelişimi arasındaki ilişkileri ifade eden asmanın ısı yükü ve sıcaklık gereksinimleri temel alınarak çeşitli indeksler geliştirilmiştir. Biyoklimatik indeksler odaklanma noktasına göre 5 ana kategoriye ayrılmıştır; (1) ısı birimi;

(2) büyüme mevsiminin uzunluğu; (3) minimum sıcaklık; (4) yağış ve (5) rüzgâr hızı.

Aşağıdaki bölümlerde bu endekslere dair detaylı bilgiler verilmiştir.

(1) Isı birimi birikimine odaklanan biyoklimatik indeksler;

Winkler indeksi (Winkler vd., 1974); Asmanın gelişimi ve salkımın olgunlaşması için gerekli etkili sıcaklık toplamının hesaplanmasında 10°C'nin üzerindeki sıcaklıklar esas alınmaktadır. Asmanın fenolojik aşamalarını tahmin etmek için çok faydalıdır. Bir bölgede ekonomik anlamda bağcılığın yapılabilmesi için etkili sıcaklık toplamının alt sınırının 900, üst sınırının 2700 gün-derece olduğu bildirilmiştir (Amerine ve Winkler, 1944; Schwartz, 2003).

$$\Sigma \left[\frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right] - 10^{\circ}\text{C}$$

Kuzey yarım kürede bağcılık kuşağı için vejetasyon periyodu olarak 01 Nisan-31 Ekim tarihleri esas alınmaktadır (Jones ve Alves, 2012; Şen, 2013; Badr vd., 2018; Bahar vd., 2018).

Winkler bağ bölgelerini 8'e ayırmıştır;

(1) Çok soğuk, < 1111 gün-derece (sadece çok erken olgunlaşan çeşitler yüksek kaliteye ulaşır, çoğunlukla hibrit üzüm çeşitleri ve bazı *V. vinifera*'lar);

(2) Bölge I, 1111-1389 gün-derece (sadece erken olgunlaşan çeşitler yüksek kaliteye ulaşır);

(3) Bölge II, 1389-1667 gün-derece (erken ve orta mevsim sofrası çeşitleri iyi kalite şaraplar üretir);

(4) Bölge III, 1667-1944 gün-derece (standart ve iyi kalite sofrası şaraplarının yüksek üretimi için elverişli);

(5) Bölge IV, 1944-2222 gün-derece (yüksek üretim için elverişli, ancak en iyi ihtimalle kabul edilebilir sofrası şarabı kalitesi elde edilir);

(6) Bölge V, 2222-2500 gün-derece (tipik olarak sadece son derece yüksek üretimi, orta kaliteli sofrası şarapları için uygundur);

(7) Bölge VI, 2500-2778 gün-derece (sadece son derece yüksek üretim için uygundur);

(8) Çok sıcak, >2778 gün-derece (*Vitis* üretimi için uygun değil).

Huglin indeksi (HI) (Huglin, 1978); Bitkisel büyümenin aktif periyodu sırasındaki hava sıcaklığını enleme göre değişen gün uzunluğu katsayılarıyla birleştirir. Kuzey yarımkürede 6 aylık bir süre için hazırlanır, 1 Nisan-30 Eylül arasında günlük ortalama ve maksimum sıcaklıklardan 10°C'nin çıkarılıp, bunların aritmetik ortalamasının gün uzunluğu katsayısı ile çarpılmasından elde edilmektedir.

$$\sum \left(\frac{K}{2} \right) * [(T - 10 \text{ } ^\circ\text{C}) + (T_{\text{max}} - 10 \text{ } ^\circ\text{C})]$$

Hesaplamaların sonuçlarına göre;

(1) Çok sıcak HI > 3000;

(2) Sıcak 2400 < HI ≤ 3000;

(3) Ilıman sıcak 2100 < HI ≤ 2400;

(4) Ilıman 1800 < HI ≤ 2100;

(5) Soğuk 1500 < HI ≤ 1800;

(6) Çok soğuk HI ≤ 1500 ile ifade edilir.

Bağ bölgelerinin iklim yapısını belirlemede kullanılan bu indeksin 1500'den aşağı olmaması istenir.

Büyüme mevsimi sıcaklığı indeksi (Jones vd., 2005); Nisan'dan Ekim'e kadar olan büyüme mevsiminin ortalama sıcaklığıdır.

$$\sum(T_{\text{max}} + T_{\text{min}})/2$$

Biyolojik olarak etkili derece günleri indeksi (Gladstones, 1992); üst ve alt derecelerle tanımlanan ısı birikimlerini hesaplar.

Huglin indeksi ve biyolojik olarak etkili gün-derece enlem tarafından dayatılan gün uzunluğundaki değişiklikleri temsil etmek için bir katsayı kullanır. Bu katsayının kesin bir tanımı mevcut değildir, ancak Huglin (1978)

bu katsayıyı 40° ile 50° arasındaki enlemlere göre 5 sınıfa ayırmıştır (1.02 ila 1.06 aralığına sahiptir), 40°'ye eşit veya daha düşük enlemler için bu katsayının 1 olduğu rapor edilmiştir (Huglin, 1978; Tonietto ve Carbonneau, 2004).

Enlem derecesi sıcaklık indeksi (Jackson ve Cherry, 1988); En sıcak ayın ortalama sıcaklığının, konum enleminin (ϕ) 60°'dan ($60 - \phi$) çıkarılmasıyla çarpılmasının sonucudur.

$$\text{Enlem derecesi sıcaklık indeksi} = T \cdot (60 - E)$$

T = Yıl içinde en sıcak ayın ortalama sıcaklığı (°C),

E = Bağın bulunduğu enlem derecesi,

60 = Kuzey ve Güney yarım kürede kültür asmasının yayıldığı en son enlem derecesini göstermektedir.

(2) *Büyüme mevsiminin uzunluğuna odaklanan biyoklimatik indeksler;*

Yetiştirme mevsimine uygunluk indeksi (Malheiro vd., 2010, Santos vd., 2012); Günlük ortalama hava sıcaklığının 10°C'nin üzerinde olduğu Nisan'dan Eylül'e kadar olan günlerin oranıdır.

Büyüme mevsimi uzunluğu indeksi (Jackson, 2008); 1 Nisan'dan 31 Ekim'e kadar değişen bir büyüme mevsimi için ortalama sıcaklığın 10°C'nin üzerinde olduğu gün sayısıdır.

Donsuz günler indeksi (Magarey vd., 1998); büyüme mevsiminin uzunluğunu belirlemek için kullanılır. İlkbahardaki son don (sıcaklık 0°C'nin altında) ile sonbahardaki ilk don arasındaki dönemdir.

(3) *Minimum sıcaklığa odaklanan biyoklimatik indeksler;*

Serin gece indeksi (SGI) (Tonietto ve Carbonneau, 2004); Normalde Eylül ayındaki ortalama minimum hava sıcaklığı olan üzüm olgunlaşma sırasındaki minimum hava sıcaklığını hesaba katar, olgunlaşma ayının gece koşullarını dikkate alarak günlük sıcaklık aralığını meyve ve şarap kalitesi özellikleriyle ilişkilendirir (Tonietto ve Carbonneau, 2004).

(1) Çok serin geceler $SGI \leq 12^\circ C$;

- (2) Serin geceler $12^{\circ}\text{C} < \text{SGI} \leq 14^{\circ}\text{C}$;
- (3) Ilıman geceler $14^{\circ}\text{C} < \text{SGI} \leq 18^{\circ}\text{C}$;
- (4) Sıcak geceler $\text{SGI} > 18^{\circ}\text{C}$ ile ifade edilir.

Ortalama termal genlik (Mullins vd., 1992; Ramos vd., 2008); Eylül ayındaki minimum ve maksimum sıcaklıklar arasındaki farktır ve üzüm kalitesi ve bileşimi ile ilgilidir (Montes vd., 2012). Ortalama termal genlik takvime göre değil, fenolojiye göre yapılmalıdır. -17°C 'nin altındaki sıcaklıklar genellikle üzümler için öldürücü alt sıcaklık sınırı olarak kabul edilir, bağların yetiştirilmesinde hayati bir kısıtlama olan **minimum sıcaklık indeksi** olarak tanımlanır (Ferguson vd., 2011). Donma nedeniyle bir organın veya dokunun %50'sinin zarar gördüğü sıcaklığa LT_{50} adı verilir ve soğuğa dayanıklılığın tahmini öncelikle birden fazla üzüm çeşidinin uyur gözlerinin ölçülen LT_{50} 'sine dayanır (Badr vd., 2018).

(4) Yağışa odaklanan biyoklimatik indeksler;

Büyüme mevsimi yağış indeksi (Blanco-Ward vd., 2007); Büyüme mevsimi boyunca yağış biriktiren bağ bölgelerinin genel uygunluğunu sağlar, sadece sulanmayan bağlar ve bölgeler için geçerlidir.

Kuruluk indeksi (Riou vd., 1994); belirli bir alanı hidrolik koşullarına göre sınıflandırır ve bir su dengesi bileşeni sunar. Kuzey yarı küre için Nisan-Eylül aylarını kapsayan 6 aylık bir süre için başlangıçtaki faydalı su rezervini (200 mm), yağış miktarını, potansiyel terlemeyi ve topraktan doğrudan buharlaşmayı hesaplar.

Standart yağış ve buharlaşma indeksi (SYBI) (Tonietto ve Carbonneau, 2004); büyüme mevsimi boyunca aylık yağış ve aylık potansiyel buharlaşma-terleme kaydedilir ve aylık fark hesaplanır, aylık farklar 3 ayda toplanır ve log-lojistik dağılım takip edilir.

- (1) Çok kuru $\text{SYBI} \leq -1.5$;
- (2) Kuru $-1.5 < \text{SYBI} \leq -1.0$;
- (3) Orta derecede kuru $-1.0 < \text{SYBI} \leq 0.0$;
- (4) Yarı nemli $-0.0 < \text{SYBI} \leq 1.0$;

(5) Nemli $1.0 < SYBI \leq 1.5$;

(6) Çok nemli $SYBI > 1.5$ ile ifade edilir.

Branas hidrotermik indeksi (Branas, 1974); Mildiyö, külleme, botrytis gibi bağ hastalıklarının gelişimini takip etmek amacıyla kullanılmaktadır. Belirtilen bu hastalıklara ve su stresine maruz kalma riskini değerlendirmek için büyüme mevsimi boyunca yağışı bir ikame olarak kullanarak hava nemi ve sıcaklığın etkisini birleştirir. Olgunlaşma sürelerinin güneş radyasyonu ile gün-uzunluk faktörünü içeren bir göstergedir.

Branas heliotermik indeksi (Branas, 1974); Asma güneşi seven bir bitkidir. İdeal bir üzüm yetiştiriciliği için, yetiştiricilik yapılan alanda sadece sıcaklık toplamının önemli olmadığı, sıcaklık ile birlikte güneşlenme süresi ve yağış miktarının da hesaba katılması gerektiği belirtilmiştir. Güneşlenme aynı zamanda tanede kuru madde miktarını artırarak kaliteyi yükseltirken, hastalık kontrolünü de kolaylaştırır. Bir bölgede ekonomik olarak bağcılık yapıp yapılmayacağının değerlendirilmesinde kullanılan

$$\text{Branas heliotermik indeks} = X.H.10^{-6}$$

X = yıllık etkili sıcaklık toplamı (°C), H = yıllık toplam güneşlenme süresi (saat)

Branas heliotermik indeksi 2.6 değerinden küçük olduğu zaman o bölgenin iklim koşullarının bağcılık açısından yetersiz olduğu, dolayısıyla 2.6'dan büyük olması gerektiği belirtilmektedir (Branas, 1974; Huglin, 1978).

(5) Rüzgâr hızına odaklanan biyoklimatik indeksler;

Yüksek rüzgâr hızlarının asma büyümesi ve verimi üzerinde etkisi iyi bir şekilde belgelenmiştir, ancak bağ bölgelerinin kurulması için rüzgâr hızını tamamlayıcı olarak kullanan kapsamlı bir indeks geliştirilememiştir (Freeman vd., 1982; Hamilton, 1988; Jackson, 2008; Keller, 2010).

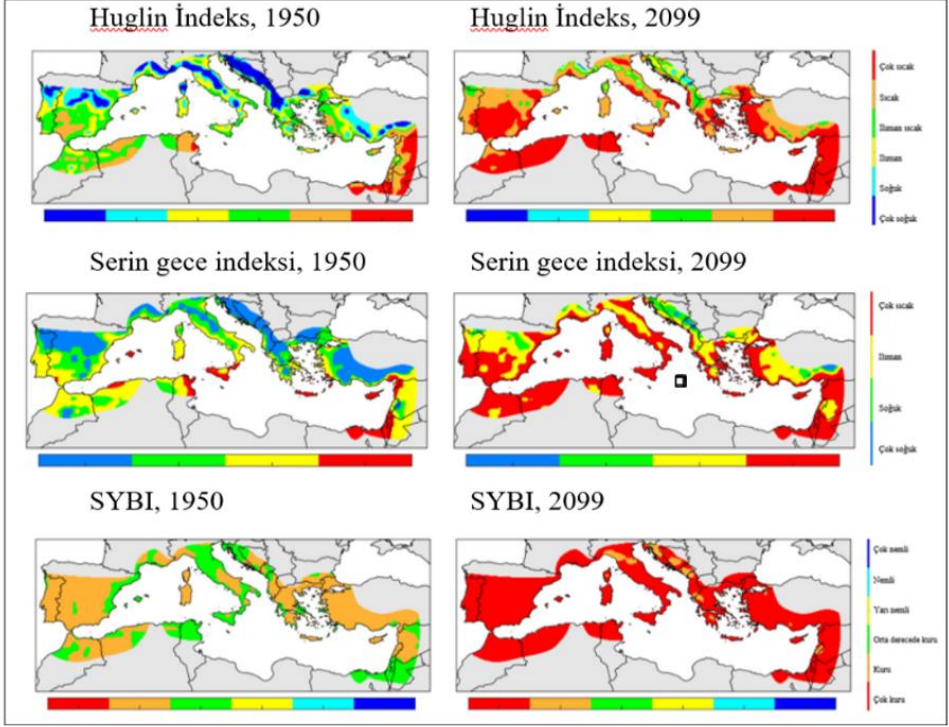
Biyoklimatik indeksler belirli bir bölgenin ekonomik olarak sürdürülebilir üretim için potansiyel uygunluğunun değerlendirilmesine imkan sağladıkları için bağcılık bölgelerinde yaygın olarak kullanılan araçlardır (Malheiro vd., 2010). Şekil 1'de Huglin İndeksi, serin gece indeksi ile standart yağış ve buharlaşma indeksi (SYBI) üzerinden 1950'deki değerler ile

2099'daki öngörülen senaryoların kıtaları ve ülkeleri nasıl etkileyeceği görülmektedir (Santillán vd., 2020).

Huglin İndeksine göre tüm Akdeniz bölgesinde meydana gelecek olan değişikliklerin bölgenin güneyinde, özellikle İspanya'da, Afrika kıyılarının kuzeyinde (Fas, Cezayir ve Tunus), Orta Doğu'da, Türkiye'nin batısında ve Yunanistan'ın doğusunda çok sıcak değerlere kadar yükselebileceğini göstermektedir. Çok sıcak değerlere doğru gerçekleşecek olan bu evrim, potansiyel ısı stresi ve aşırı olgunlaşma riski içerebilir ve hatta bu bölgelerde şu anda düşünülmeyen yeni üzüm çeşitlerinin yetiştirilmesi ihtiyacını da içerebilir. Akdeniz bölgesinin geri kalan bölgelerinin çoğunda indeks sıcak değerlere kadar yükselecektir (Şekil, 1).

Huglin İndeksinin 1950'de çok soğuk veya soğuk olduğu bölgelerde (kuzey İspanya, Fransa, İtalya'nın orta bölgeleri, Hırvatistan, Bosna Hersek, Karadağ, Arnavutluk ve Türkiye'nin iç bölgeleri) indeks 2099'a kadar ılıman veya hatta ılıman sıcak kategorisine girmektedir. Don hasarı, hava sıcaklığının yükselmesi nedeniyle azalabilir ve üzüm bağlarını genişletmek için bağcılık ile ilgilenen kişilere bu alanların daha fazla üzüm çeşidine uygunluğunu sağlayabilir (Şekil, 1).

Serin gece indeksinin de tüm Akdeniz bölgesinde artması beklenmektedir. İndeks, 1950'de soğuk ve ılıman değerlerden 2099'da sıcak değerlere kayabilir (Şekil, 1). Dünyada en çok etkilenecek ülkeler arasında İspanya'nın orta-güneyi, Afrika kıyılarının kuzeyi, Fransa kıyıları, İtalya'nın büyük bölümü, İtalya'nın doğu kıyıları Yunanistan, Türkiye'nin batı kıyıları ve Orta Doğu sayılabilir.

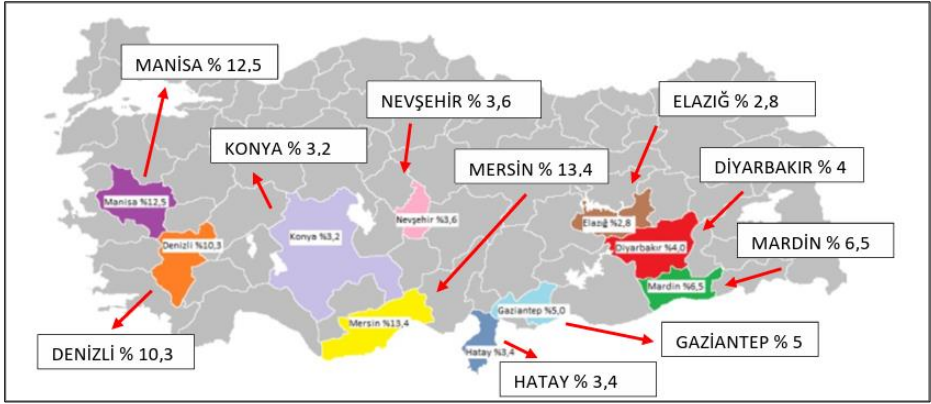


Şekil 1: Üç farklı indekse göre iklim değişikliği etkisinin zamana bağlı değişimleri, 1950-2009 (Santillán vd., 2020)

Bu değişiklik, bu bölgelerde yetiştirilen üzümün özellikle kırmızı çeşitlerde daha düşük aroma ve nispeten daha açık renk, potansiyel kalite kayıplarını içerecektir, üzüm çeşitleri daha erken olgunlaşacaktır. Bununla birlikte, 1950'de İspanya'nın kuzeyindeki çok soğuk bölgeler, Fransa'nın iç kesimleri, Hırvatistan, Bosna Hersek, Karadağ, Yunanistan'ın kuzeyi ve Yunanistan'ın iç bölgeleri ve Türkiye'nin serin gece indeksinin soğuk veya ılıman değerlere yükseltilmesinden fayda sağlayabilir.

Standart yağış ve buharlaşma indeksi (SYBI) Akdeniz bölgesinin tamamında büyüme mevsimi dönemlerinde potansiyel su açığına işaret etmektedir, çünkü sıcaklık artışına bağlı olarak evapotranspirasyonda öngörülen artış nedeniyle bölgenin çok kuru olması beklenmektedir (Şekil, 1). Sık sık meydana gelecek su stresini önlemek ve verim üzerindeki olumsuz etkilerinden korunmak veya en azından azaltmak için çoğu bölgede sulama zorunlu hale gelebilir.

Geleneksel “Eski Dünya” bağ bölgelerinin önemli bir parçası olan Türkiye'nin bereketli topraklarında yüzyıllardır üzüm üretilmektedir. Türkiye Avrupa'nın en çok üzüm üreten ülkelerindedir. Türkiye'de bağcılık sektörünün kültürel ve ekonomik önemi temel olarak, 2020/2021 yılı üretim dönemindeki 3,9 milyon dekar alanda 4,2 milyon ton yaş üzüm üretimiyle (yaklaşık 2 milyon tonunun sofralık, 1 milyon 500 bin tonunun kurutmalık ve 450 bin ton şaraplık) ve yerel çeşit zenginliği yönüyle gözler önündedir. Türkiye bağ alanları arasında Manisa, Mardin ve Denizli; üretimde ise Mersin, Manisa ve Denizli'nin ilk sıralarda yer aldığı Şekil 2'de belirtilmiştir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tarım Ürünleri Piyasaları, Temmuz 2022).



Şekil 2: Türkiye üzüm üretiminde en büyük paya sahip iller (%), 2021 (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tarım Ürünleri Piyasaları, Temmuz 2022)

Asma Akdeniz kökenli ve bu koşullara iyi adapte olmuş bir bitkidir, ancak iklim değişikliği nedeniyle asmalar giderek daha sıcak ve kuru yetiştirme koşullarıyla karşı karşıya kalmaktadır. Yüksek sıcaklıklar fenolojiyi ve olgunlaşma dönemini kaliteli ürün elde etmek için daha az elverişli olan mevsime kaydırmakta ve giderek kuraklaşan koşullar verimin azalmasına yol açmaktadır. Vejetasyon periyodu boyunca devam eden yüksek sıcaklıklar olgunlaşmanın daha erken olmasına, şeker miktarının yükselmesine ve asitliğin düşmesine neden olur (Bonfante vd., 2017). İklim değişikçe iklim değişikliğine uyum, geç olgunlaşan ve kuraklığa dayanıklı bitki materyalinin (çeşitler, klonlar ve anaçlar) kullanılması çevre dostu ve uygun maliyetli bir araçtır. Asmalardaki geniş genetik çeşitlilik, değişen iklim koşullarında

sürdürülebilir verimle yüksek kaliteli üzüm üretmeye devam etmek için değerli bir kaynak oluşturmaktadır. Hasat tarihlerinin optimumda tutulacağı şekilde bağcılık tekniklerinde (örneğin; terbiye sistemleri ve gövde yüksekliğinin değiştirilmesi, yaprak alanı/meyve ağırlığı oranı, budama zamanlaması) gerçekleştirilecek olan değişiklikler adaptasyon için gereklidir. Bağlarda sulama giderek kuraklaşan koşullar altında sürdürülebilir verim elde etmek için bir seçenektir, ancak su kaynakları ve bunların kullanımının çevre üzerindeki etkileri dikkate alınmalıdır (Massano vd., 2023).

KAYNAKÇA

- Akçakaya, A. &. (2015). Yeni senaryolar ile Türkiye iklim projeksiyonları ve iklim değişikliği, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Klimatoloji Şube Müdürlüğü, TR2015-CC, s, 5.
- Amerine, M. & Winkler, A. (1944). Composition and quality of musts and wines of California grapes. *Hilgardia*, 15(6), 493-675.
- Badr, G., Hoogenboom, G., Abouali, M., Moyer, M. & Keller, M. (2018). Analysis of several bioclimatic indices for viticultural zoning in the Pacific Northwest. *Climate Research*, 76, 203-223.
- Bahar, E., Korkutal, I. & Öner, H. (2018). Terroir elements in viticulture. *Bahçe*, 47(2), 57-70.
- Blanco-Ward, D., Queijeiro, J. M. G. & Jones, G. V. (2007). Spatial climate variability and viticulture in the Miño River Valley of Spain. *Vitis*, 46, 63-70.
- Bonfante, A., Alfieri, S. M., Albrizio, R., Basile A., De Mascellis, R., Gambuti, A., Giorio, P., Langella, G., Manna, P., Monaco, E., Moio, L. & Terribile, F. (2017). Evaluation of the effects of future climate change on grape quality through a physically based model application: a case study for the Aglianico grapevine in Campania region, Italy. *Agricultural Systems*, 152, 100-109.
- Branas, J. (1974). Viticulture. Imprimerie Déhan, Montpellier.
- ECSN. (1995). Climate of Europe: recent variation, present state and future prospects, European climate support network (ECSN), Nijkerk (the Netherlands).
- Ferguson, J. C., Tarara, J. M., Mills, L. J., Grove, G. G. & Keller, M. (2011). Dynamic thermal time model of cold hardiness for dormant grapevine buds. *Ann. Bot.*, 107, 389-396.
- Ferguson, J. C., Moyer, M. M., Mills, L. J., Hoogenboom, G. & Keller, M. (2014). Modeling dormant bud cold hardiness and budbreak in twenty-three *Vitis* genotypes reveals variation by region of origin. *Am. J. Enol. Vitic.*, 65, 59-71.
- Freeman, B. M., Kliewer, W. M. & Stern, P. (1982). Influence of windbreaks and climatic region on diurnal fluctuation of leaf water potential, stomatal conductance, and leaf temperature of grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.*, 33, 233-236.

- Gladstones, J. (1992). *Viticulture and Environment*. Wine titles, Adelaide.
- Hamilton, R. P. (1988). Wind effects on grape vines. In: Smart, R. E., Thornton R. J., Rodrigues, S. B., Young, J. E. (eds) Proc. 2nd International Symposium for Cool Climate Viticulture and Oenology, January 1988, Auckland. New Zealand Society of Viticulture and Oenology, Wine Institute of New Zealand, Auckland, p, 65-68.
- Huglin, P. (1978). Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. C.R. *Acad Agric.*, France, 64, 1117-1126.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019). Summary for policymakers. in: climate change and land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. [P. R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H. O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. In press.
- IPCC. Climate Change (2001). The scientific basic contribution of working group I to the third assesment report of the intergovernmental panel on climate change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge.
- Jackson, D. I. & Cherry, N. J. (1988). Prediction of a district's grape ripening capacity using a Latitude-Temperature Index (LTI). *Am. J. Enol. Vitic.*, 39, 19-28.
- Jackson, R. S. (2008). *Wine science principles and applications*, 3rd edn. Academic Press, Burlington, MA.
- Jones, G. V., Snead, N. & Nelson, P. (2004). Geology and wine. VIII. Modeling viticultural landscapes: a GIS analysis of the terroir potential in the Umpqua valley of Oregon. *Geosci. Can.*, 31, 167-178.
- Jones, G. V., White, M. A., Cooper, O. R. & Storchmann, K. (2005). Climate change and global wine quality. *Clim. Chang.*, 73, 319-343.
- Jones, G. V. (2007). Climate change: observations, projections and general implications for viticulture and wine production. Climate and Viticultural Congress, 10-14 April 2007, Zaragoza. OIV, Paris, p, 55-60.
- Jones, G. & Alves, F. (2012). Impact of climate change on wine production: a global over-view and regional assessment in the Douro Valley of Portugal. *Int. J. Glob. Warm.*, 4(3-4), 383-406.

- Kadioğlu, M. (2007). İklim değişiklikleri ve etkileri: meteorolojik afetler. TBMM Afet Sempozyumu Bildiri Kitabı, s, 47-55.
- Keller, M. (2010). The science of grapevines: anatomy and physio logy. Academic Press, Burlington, MA and San Diego, CA.
- Kurnaz, L. (2019). Son buzul erimeden iklim değişikliği hakkında merak istediğiniz her şey. İstanbul, Doğan Egmont Yayınları.
- Köse, B. (2014). Işık ve sıcaklığın bağcılıktaki yeri ve önemi. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi. 1(2), 203-212.
- Magarey, R., Seem, R. C. & DeGloria, S. D. (1998). Prediction of vine yard site suitability. *Grape Research News*. 9: 1-2. New York State Agricultural Experiment Station, Geneva.
- Malheiro, A. C., Santos, J. A., Fraga, H. & Pinto, J. G. (2010). Climate change scenarios applied to viticultural zoning in Europe. *Clim. Res.*, 43, 163-177.
- Massano, L., Fossier, G., Gaetani, M. & Bois, B. (2023). Assessment of climate impact on grape productivity: A new application for bioclimatic indices in Italy. *Science of the Total Environment*, 905, 167134. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167134>.
- Montes, C., Perez-Quezada, J. F., Peña-Neira, A. & Tonietto, J. (2012). Climatic potential for viticulture in Central Chile. *Aust. J. Grape Wine. Res.*, 18, 20-28.
- Mori, K., Goto-Yamamoto, N., Kitayama, M. & Hashizume, K. (2007). Loss of anthocyanins in red-wine grape under high temperature. *J. Exp. Bot.*, 58, 1935-1945.
- Mullins, M. G., Bouquet, A. & Williams, L. E. (1992). Biology of the grapevine. Cambridge University Press, Cambridge.
- Öztürk, K., 2002. Küresel iklim değişikliği ve Türkiye'ye olası etkileri. G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 22(1), 47-65.
- Öztürk, T., Ceber, Z. P., Türkeş, M. & Kurnaz, M. L. (2015). Projections of climate change in the Mediterranean basin by using downscaled global climate model outputs. *International Journal of Climatology*, 35, 4276-4292. DOI: 10.1002/joc.4285.
- Ramos, M. C., Jones, G. V. & Martínez-Casasnovas, J. A. (2008). Structure and trends in climate parameters affecting winegrape production in northeast Spain. *Clim. Res.*, 38, 1-15.

- Riou, C., Pieri, P. & Le Clech, B. (1994). Consommation d'eau de la vigne en conditions hydriques non limitantes. Formulation simplifiée de la transpiration. *Vitis*, 33, 109-115.
- Sadras, V. O. & Moran, M. A. (2012). Elevated temperature decouples anthocyanins and sugars in berries of Shiraz and Cabernet Franc. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 18(2), 115-122. DOI: 10.1111/j.1755-0238.2012.00180.x.
- Santillán, D., Garrote, L., Iglesias, A. & Sotes, V. (2020). Climate change risks and adaptation: new indicators for Mediterranean viticulture. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 25, 881-899.
- Schultz, H.R. & Jones, G. V. (2010). Climate induced historic and future changes in viticulture. *Journal of Wine Research*, 21(2-3), 137-145. DOI: 10.1080/09571264.2010.530098.
- Schwartz, M. D. (2003). Phenology: An integrative environmental science. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.
- Şen, Ö. L. (2013). A Holistic view of climate change and its impacts in Turkey, İstanbul Policy Center (IPM), Sabancı University.
- Şimşek, E., (2020). Küresel iklim değişikliğinin belirleyicileri, etkileri ve karbondioksit emisyonu projeksiyonu: dünya ve Türkiye örneği (2018-2027). ISBN: 978-625-7938-10-5. Gece Kitaplığı, Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak Ümit Apt. No: 22/A Çankaya/ Ankara /TR.
- Takahashi, K., Kuranaka, M., Miyagawa, A. & Takeshita, O. (1976). The effect of wind on grapevine growth; windbreaks for vineyards. *Bull. Shimane Agric. Exp. Stn.*, 14, 39-83.
- Tonietto, J. & Carbonneau, A. (2004). A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agric. Forest Meteorol.*, 124, 81-97.
- Türkeş, M., Sümer, U. M. & Çetiner, G. (1999). 'Kyoto Protokolü'nde esneklik mekanizmaları: ortak yürütme ve temiz kalkınma mekanizması'. BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları, (7 Nisan 1999, Ankara), 30-51, Çevre Bakanlığı/ÇKÖK Gn. Md., Ankara.
- Türkeş, M., Sümer, U. M. & Çetiner, G. (2000). 'Küresel iklim değişikliği ve olası etkileri', Çevre Bakanlığı, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları (13 Nisan 2000, İstanbul Sanayi Odası), 7-24, ÇKÖK Gn. Md., Ankara.

- Türkeş, M., Turp, M. T., Öztürk, T. & Kurnaz, M. L. (2020). Impacts of climate change on precipitation climatology and variability in Turkey. In: Harmancioglu N., Altinbilek D. (eds) Water Resources of Turkey. World Water Resources, vol 2. Springer, Cham, p, 467-491. DOI: 10.1007/978-3-030-11729-0_14.
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı. (2008). İklim Değişikliği ve Yapılan Çalışmalar.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tarım Ürünleri Piyasaları - Temmuz 2022. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20Tar%C4%B1m%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Piyasalar%C4%B1/2022-Temmuz%20Tar%C4%B1m%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Raporu/33%C3%9CZ%C3%9CM%20T%C3%9CP%20TEMMUZ%202022>.
- UKMO. (1995). Modelling Climate Change 1860-2050, Report published coincide with the COP-I to the UN/FCCC, Berlin, March 27 to April 7 1995, UK Meteorological Office, the Hadley Centre for Climate Prediction and Research.
- Winkler, A. J., Cook, J. A., Kliewer, W. M. & Lider, L. A. (1974). General viticulture, 4th edn. University of California Press, Berkeley.

BÖLÜM 6

OLAĞANDIŞI İKLİMSEL KOŞULLARIN EĞRİ UYDURMA YÖNTEMİ İLE YAPILAN BİTKİ BÜYÜME MODELLEMESİNE ETKİLERİ

Doç. Dr. Onur HOCAOĞLU*¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10207957>

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, 17020 Çanakkale-Türkiye. <https://orcid.org/0000-0003-2152-4535>

*sorumlu yazar: onorhocaoglu@comu.edu.tr

GİRİŞ

Bitki yetiştiriciliğinde ekim, bakım, gübreleme ve hasat gibi uygulamalarda zamanlama önemlidir. Bu uygulamaların daha iyi planlanabilmesi için bitkilerdeki büyüme ve gelişme süreçlerinin daha iyi incelenerek yakından takip edilmesi gereklidir. Bu amaca yönelik kullanılan istatistiksel yöntemlerden biri “eğri uydurma” yöntemidir. İngilizce literatürde “curve fitting” olarak anılan eğri uydurmada, materyal olarak kullanılan canlının büyüme süreci matematiksel bir fonksiyon ile ifade edilmektedir. Bu yöntem için öncelikle güvenilir bir büyüme verisi gereklidir. Bitkilerde yapılan büyüme modellemesi çalışmalarında, kuru madde birikimi gibi bitkisel büyüme ve gelişmeyi tutarlı olarak yansıtan bir özellik düzenli aralıklarla (günlük, haftalık vb.) ölçüldüğünde bitki büyüme süreçlerini yansıtan bir büyüme verisi kullanılmaktadır. Eğri uydurma ile istatistik modelin genel formülüne uygun ancak kullanılan veriye en yakın eğrinin belirlenmesi için veriyi en iyi temsil edecek katsayılar (eğri parametreleri) hesaplanmaktadır. Oluşturulan eğri, büyüme verisini istatistiksel olarak güvenilir şekilde temsil ediyorsa eğrinin özellikleri incelenerek birçok çıkarım ve karşılaştırma yapmak mümkün olmaktadır. Örnek olarak, kışlık ekilen bir ekmeçlik buğday denemesinde çıkış döneminden hasat olgunluğuna kadar tüm büyüme ve gelişme süreçlerinin incelediği bir çalışma yapıldığı varsayalım. Bu çalışmada, eşit aralıklarla bitki örnekleme yapılarak buğdaydaki kuru madde birikimi takip edildiğinde büyüme hızı, hızlı büyüme ve gelişmenin görüldüğü dönem, büyümenin en yüksek hıza veya en yüksek değere ulaştığı kritik haftalar gibi birçok önemli bulgu hassasiyet ile belirlenebilir. Bu durumda buğday yetiştiriciliğinde ilaçlama ve gübreleme için en uygun haftalar belirlenebileceği gibi farklı buğday genotipleri ya da farklı ekolojiler de karşılaştırılabilecektir.

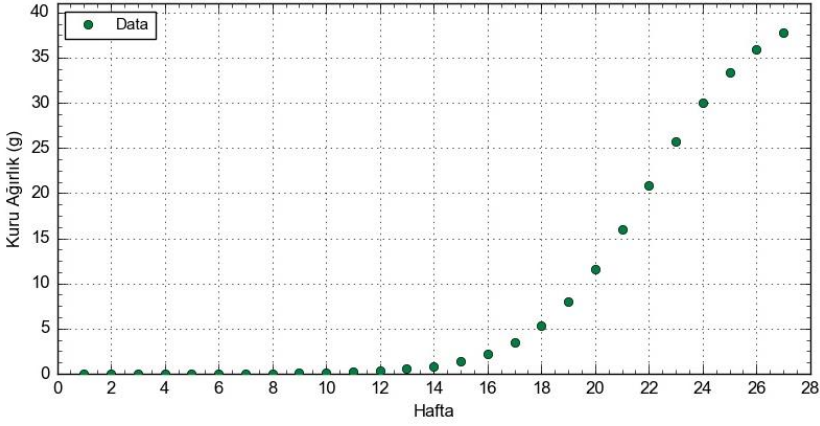
Eğri uydurma ile bitki büyüme modellemesinde elde edilen sonuçların güvenilir olması için aşağıdaki hususlara önem verilmesi gerekmektedir.

Büyüme verilerinin sağlıklı olarak elde edilmesi: Bitkisel ölçümlerde örnekleme hatası, toprak, bitki sıklığı gibi nedenlerden oluşan çevresel varyasyonun minimum olduğu bir büyüme verisi sağlıklı veri olarak kabul edilir. Bunun için denemelerin tekerrürlü olarak ve aynı deneme biriminden (parsel, saksı, petri kabı vb.) birden fazla örnek alınacak şekilde kurgulanması

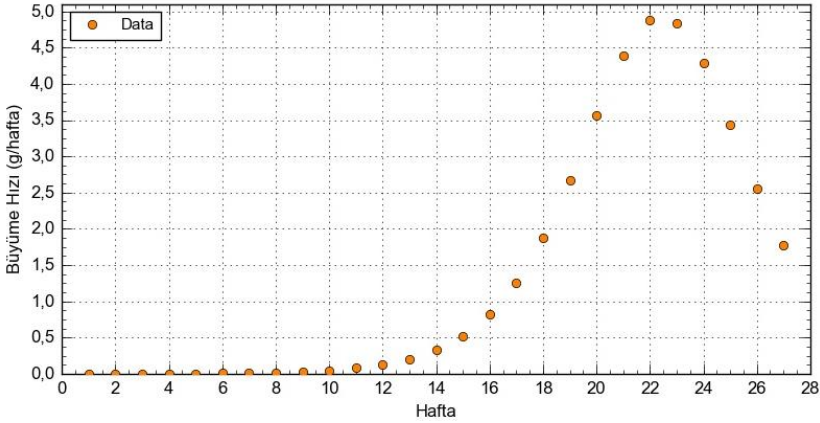
önerilmektedir. Örnekleme yapılan deneme ünitesinde (saksı, petri kabı veya tarla denemesindeki parseller) yer alan bitkilerin mümkün olduğunca birbirlerine benzer koşullarda yetişmesi, diğer bir ifade ile deneme ünitelerinin homojen olması önemlidir. Örneğin, tarla denemesinde yer alan parsellerden yapılan bitki örneklemelelerinde aynı parsel içerisinde bitki sıklığı değişkenlik gösterdiğinde parselin farklı bölgelerinden örneklenen bitkilerin morfolojik yapıları (dallanma, bitki boyu, kardeşlenme vb.) da değişkenlik göstereceğinden kuru ağırlık ölçümlerinin güvenilirliği azalacaktır. Bu durum, ardışık haftalarda kaydedilen kuru ağırlık ölçümleri arasında tutarsızlığa neden olabilmektedir. Bu nedenle örnekleme yapılacak bitkilerin birbirleri ile karşılaştırılabilir koşullarda yetiştirilmesi büyüme verisinin bitkinin büyüme karakterini daha isabetli olarak temsil etmesine yardımcı olur. Sağlıklı büyüme verisi ile genotip, 'genotip x çevre' veya 'genotip x yıl' gibi varyasyon kaynaklarının güvenilir olarak incelenmesi çalışmanın sonucunu doğrudan etkileyeceği için sağlıklı veri elde edilmesi büyüme modellemesinin ilk ve en önemli aşaması olarak kabul edilmelidir.

Çalışma sonuçlarını etkileyen bir diğer önemli husus da büyüme ve gelişmeyi iyi temsil eden bir özelliğin tercih edilmesidir. Bitki büyüme ve gelişmesinde ağırlıklı olarak kuru madde birikimleri değerlendirilmektedir. Kuru madde ağırlığı bitkilerin sökülüp kurutulması ile belirlendiğinden her örnekleme dönemde farklı bir bitki ya da bitki grubunun örneklenebileceği gerekmektedir. Bu durum sağlıklı veri elde edilmesini zorlaştırmaktadır. Tarla denemelerinde tüm çalışma süreci boyunca örneklenebilecek hedeflenen benzer bitkilerin çalışma başında işaretlenmesi gibi bazı önlemler elde edilen verilerin daha sağlıklı olmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca bitki örnekleme aralığının değişkenlik göstermesi de örnekleme hatasına neden olabileceği için mümkün olduğu kadar eş zamanlı olarak örnekleme yapılmalıdır.

Doğru model tercihi: Tüm canlılar gibi tahıllarda da yavaş başlayan büyüme zamanla hızlanır ve büyüme hızı en yüksek değere ulaştıktan sonra kademeli olarak azalarak 0'a düşer. Büyüme hızındaki bu seyir, tahıllarda büyüme miktarının önce yavaşça artması, sonra hızlanarak artması ve zirveye ulaştıktan sonra tamamen durması veya yaşlılık/senesens gibi nedenlerle bir miktar gerilemesi anlamına gelmektedir (Şekil 1 ve 2).

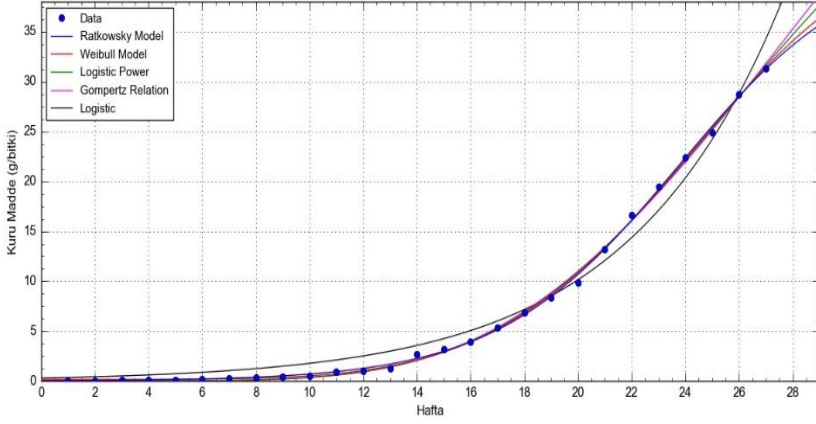


Şekil 1. Çavdarda büyümenin kuru madde birikimi ile temsil edilmesi



Şekil 2. Çavdarda büyüme hızındaki değişimler

Bitkilerdeki büyüme ve gelişme seyrini en iyi açıklayan modeller, genellikle sigmoidal (s şeklindeki) büyüme modelleridir. Doğrusal olmayan regresyon modelleri içerisinde yer alan çok sayıda model grubundan biri olan sigmoidal modeller; tıp, biyoloji, tarım ve hayvancılık gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Panik, 2014). Tahılların büyüme ve gelişmesinin incelendiği çalışmalarda; Gompertz, Richards, Logistic, Ratkowsky ve Weibull gibi modeller sıklıkla kullanılmaktadır (Archontoulis ve Miguez, 2015). Matematiksel ifadeleri birbirlerinden farklı olan bu modellerin tamamı sigmoidal olduğu için s harfine benzemekte ancak şekil itibariyle birbirlerinden küçük farklılıklar gösteren yörüngeler meydana getirmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Bazı sigmoidal büyüme modelleri

Modellerin Karşılaştırılması: Uyum iyiliği testleri

Bir canlının büyüme ve gelişme trendinin doğru olarak değerlendirilebilmesi için öncelikle veriye en uygun büyüme modelinin belirlenmesi gerekir. Bu amaçla veri üzerinde çok sayıda farklı model kullanılarak elde edilen modellemeler uyum iyiliği (goodness of fit) ölçütleri kullanılarak birbirleri ile karşılaştırılır. Uyum iyiliği ölçütleri, hesaplanan model ile büyüme verisinin birbirlerine ne kadar uyumlu olduğunu gösteren istatistiklerdir. Yapılan modellemenin veriyi iyi temsil edip etmediği, dolayısıyla elde edilen sonuçların istatistiksel olarak geçerli olup olmayacağı bu istatistikler ile belirlenir.

En yaygın kullanılan uyum iyiliği istatistiği olan belirleme katsayısı (R^2), eğri uydurma ile oluşturulan eğrinin noktaları ile aynı dönemlerdeki gerçek değerler arasındaki farklılığı yüzde (%) olarak ifade eden bir katsayıdır. Bu değer (R^2) 0 ile 1 arasında değişir: R^2 'nin 0 olması, eğri ile tahmin edilen değerlerin gerçek değerlerden oldukça farklı olduğunu ifade ederken, 1 olması eğri ile tahmin edilen noktaların, gerçek (ölçüm) değerler ile birebir örtüşüğünü ifade eder (Motulsky ve Ransnas, 1987). Bu nedenle, eğri uydurma sonucunda elde edilen eğrinin yüksek R^2 ve düşük standart hata değerine sahip olması istenir. Böylelikle modellenen eğrinin noktaları ile veri noktaları arasındaki farklılıkların düşük olduğu kabul edilir. Diğer bir ifade ile eğri uydurma yöntemi ile elde edilen büyüme eğrilerinde kullanılan modelin,

büyüme verisi ile uyumlu olması durumunda R^2 değerinin yüksek olması beklenir. Bunun nedeni eğri uydurma sürecinde uygulanan çok sayıda iterasyon ile veriye en yakın eğim parametrelerinin hesaplanarak oluşturulan eğrinin veriye olabildiği kadar yaklaşmasıdır (Fekedulegn, 1999). Böylelikle büyüme verisinin tüm noktalarına mümkün olan en yakın noktalardan geçen bir eğri elde edilmesi mümkün olmaktadır.

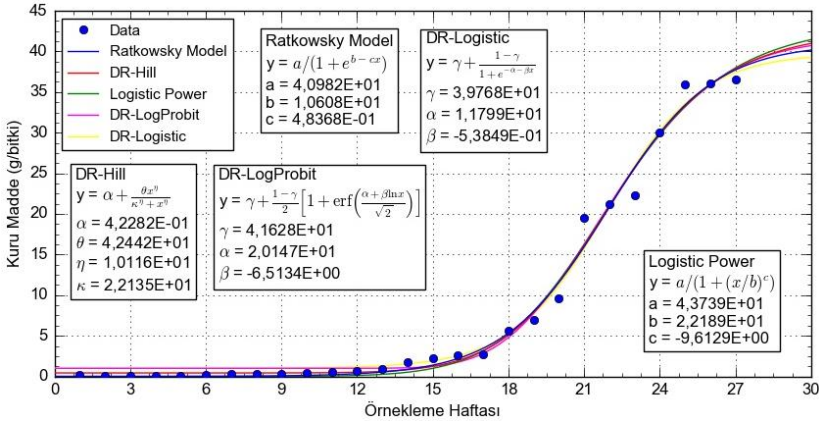
Bitkisel çalışmalarda yaygın olarak kullanılan doğrusal olmayan regresyon modelleri karşılaştırılırken belirleme katsayısı dışında farklı uyum iyiliği testleri de kullanılmaktadır. Bu testler arasından yaygın olarak kullanılanlardan birisi de Akaike bilgi kriteri (Akaike's Information Criterion, AIC)'dir (Akaike, 1974). AIC ya da AICc (küçük veri setlerinde kullanılan düzeltilmiş AIC) hesaplanırken R^2 gibi büyüme verileri ile oluşturulan eğrinin veri noktaları arasındaki farklılıklara ek olarak modelin parametre sayısı da dikkate alınmaktadır. Bir çalışmadaki en düşük AIC değerine sahip olan model, büyüme verileri ile en uyumlu ve en basit regresyon modeli olarak seçilebilmektedir (Gautam vd. 2018). Model seçiminde büyüme verisini en iyi temsil eden en basit (parametre sayısı en az) model ideal kabul edildiği için R^2 dışında AIC gibi uyum iyiliği testleri de dikkate alınmaktadır (Spiess ve Neumeyer, 2010). Bir diğer uyum iyiliği testi olan BIC (Bayeşçi bilgi kriteri, Bayesian information criteria) ise AIC'e kıyasla basit modelleri daha çok öne çıkarması yönüyle tercih edilmektedir. Bunlara ek olarak yine parametre sayısını dikkate alan "düzeltilmiş R^2 " (R^2 adjusted) ile F testleri ve indirgenmiş Ki-kare gibi istatistikler de uyum iyiliğini belirlemek için kullanılmaktadır.

Bir büyüme verisi üzerinde eğri uydurma uygulanmadan önce literatür taraması yapılarak hangi regresyon modellerinin benzer veri setlerine daha iyi uyum sağladığı belirlenmelidir. Günümüzde eğri uydurma yapabilen istatistik programlarında çok sayıda regresyon modeli kullanılabildiği için literatür taraması ile eldeki veriye uyum sağlama ihtimali olan modeller büyüme verileri üzerinde uygulanarak uyum iyiliği istatistikleri karşılaştırılmalı ve anlamlı yorumlara imkân veren, yüksek uyum iyiliğine sahip en basit modeller değerlendirmeye alınmalıdır.

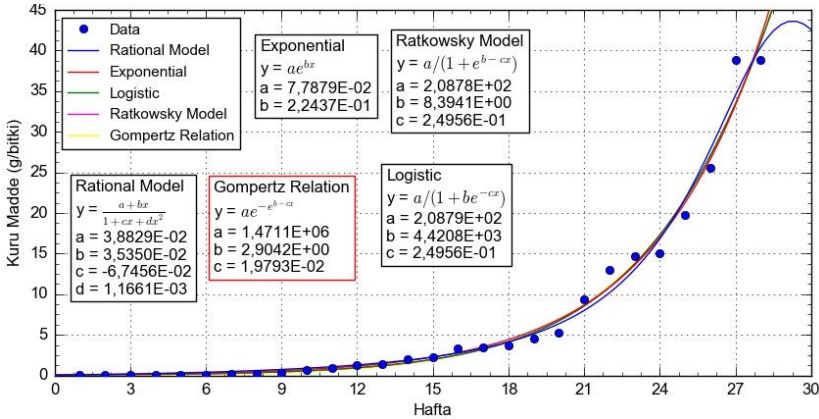
İklimsel etkilerden kaynaklanan olağandışı büyüme verilerinin incelenmesi

Tahılların büyüme ve gelişme süreçleri hem genotip hem de çevresel faktörlerden etkilenmektedir (Royo vd. 2004). Büyüme verilerinin elde edilmesi amacıyla kurulan tarla veya sera denemelerinde ekim sıklığı, yabancı ot gelişimi ve gübreleme gibi yetiştiricilik uygulamalarına özen gösterildiğinde elde edilen büyüme verilerinin genotip ve iklimsel varyasyonu daha iyi yansıtması beklenir. Dolayısıyla bir büyüme verisi üzerinde doğrusal olmayan regresyon modelleri ile eğri uydurma analizi yapıldığında elde edilen sonuçlar değerlendirilirken sıcaklık ve yağış gibi iklimsel etmenler de dikkate alınmalıdır. Marmara koşullarında yürütülen bir çalışmada tritikalenin büyüme ve gelişmesinde sıcaklık ve yağış gibi iklimsel faktörlerin önemli etkilere sahip olduğu bildirilmiştir (Hocaoğlu ve Coşkun, 2018). Bitkilerde büyüme ve gelişmenin sıcaklık ve yağış gibi çevresel etmenlerdeki değişimlere tepki verdiği bilindiğinden büyüme modellemesi çalışmalarında birden fazla yıla ait sonuçların değerlendirilmesi yaygın bir yaklaşımdır. Elde edilen veriler üzerinde uydurulan eğriler yorumlanırken çalışmanın kurgusuna bağlı olarak hem genotip hem de iklimsel açıdan değerlendirme yapılabilmektedir (Royo vd., 2004; Kleinpaul vd., 2019).

İklimsel varyasyonun büyüme modellemesi çalışmalarının çıktılarında biri olmasının yanında yüksek olması durumunda farklı yıl ve lokasyonlarda yürütülen denemelerin karşılaştırılmasını da zorlaştırmaktadır (Manikandan ve Vethamoni, 2017). Diğer canlılarda olduğu gibi bitkilerde de büyüme çok sayıda faktörün karşılıklı etkileşimleri ile gerçekleşen karmaşık bir yapıya sahip olduğu için (Passioura, 2002) büyüme modellemesi yapılırken farklı deneme yıllarında elde edilen sonuçlar kullanılarak uydurulan eğrilerde önemli farklılıklar görülmektedir (Bange ve Milroy, 2004). Ülkemizde özellikle ekstrem ve olağandışı iklim koşullarının tarımsal üretime etkileri göz önüne alındığında bu durum daha büyük bir önem kazanmaktadır. Örneğin, hava sıcaklığında görülen değişkenlik kuru madde birikimini etkilemekte, ekstrem sıcaklık değişimlerinde ise kuru madde birikiminin tamamen durması da söz konusu olabilmektedir (Semenov ve Porter, 1995).



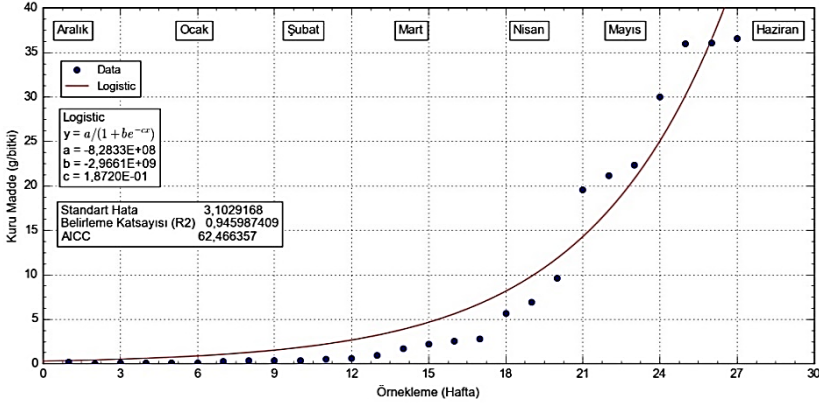
Şekil 4. Çavdarda kuru madde birikimi (1. Yıl)



Şekil 5. Çavdarda kuru madde birikimi (2. Yıl)

İklimsel etmenlerin eğri uydurma ile yapılan büyüme analizlerine etkileri Şekil 4 ve 5' de yer alan eğrilerde görülmektedir. Söz konusu çalışmada 2012-2013 (ilk yıl) ve 2013-2014 (ikinci yıl) yetiştirme dönemlerinde Çanakkale'de aynı lokasyonda kurulan tarla denemelerinde yetiştirilen Aslım-95 çavdar çeşidinin büyümesinde gözlenen yıl farklılıkları dikkat çekmektedir. Ülkemizde kışlık olarak ekilen tüm serin iklim tahılları gibi çavdarda da kış aylarında büyüme ve gelişme sürecinin yavaş ilerlemesi nedeniyle her iki yılın ilk haftalarında yavaş bir büyüme gözlenmesi beklenen bir durumdur. Şubat sonu – mart başı itibariyle havalardaki ısınma ve erken ilkbahar yağışlarının başlaması ile büyüme ve gelişme hızlanmaktadır (Şekil 6). Tüm serin iklim

tahıllarında yaklaşık olarak benzer gerçekleşen bu sürecin zamanlaması genetik faktörlerden çok iklimsel faktörlerin kontrolü altında gerçekleşmektedir.



Şekil 6. Çavdarda kuru madde birikiminde aylık değişimler

Serin iklim tahıllarında hızlı büyüme ve gelişme dönemi genellikle Mayıs sonu ve Haziran başında yükselen hava sıcaklıklarının etkisi ile son bulmaktadır. Bunun nedeni, hava sıcaklıklarının artışı ile serin iklim tahıllarında vejetatif gelişmenin yavaşlaması ve tane olum dönemlerinin başlamasıyla birlikte generatif olgunlaşma sürecinin hız kazanmasıdır. Serin iklim tahıllarında tane olum dönemlerinin ilerlemesi ile beraber senesens adı verilen sararma sürecinin etkisi ile bitkiler sararıp canlılıklarını yitirir. Bu nedenle, bitkilerde hızlı büyüme dönemi sona erdikten sonra kuru madde birikimindeki artış hızı azalmaya başlayarak kademeli olarak durma noktasına gelmekte, dolayısıyla kuru madde ağırlığının önce sabitlenmesi sonrasında ise bitkideki kurumaya bağlı olarak bir miktar azalması beklenmektedir.

Çavdarda yürütülen bu çalışmanın her iki yılında 'büyüme-gelişme' sürecinin birbirlerinden farklı gerçekleştiği görülmektedir. Birinci yıldaki hızlı büyüme 29 Mart'a denk gelen 17. haftada başlarken (Şekil 4), ikinci deneme yılında 21. haftaya (19 Nisan) kadar yavaş büyüme ve gelişme gözlenmiş, bu tarihten sonra çavdarda kısa süreli bir hızlı büyüme gerçekleşmiştir. İkinci yılda gözlenen bu olağandışı büyüme seyri farklı iklim koşullarının bir sonucudur.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan doğrusal olmayan regresyon modelleri

1	Piecewise Linear	17	DR-Logistic-Zerobackground	33	Saturation Growth Rate	49	MMF
2	Wavy	18	DR-Logistic	34	Natural Logarithm	50	Logistic Power
3	Exponential Decline	19	DR-LogProbit	35	Exponential Association 3	51	Logistic
4	Harmonic Decline	20	DR-LogProbit-Zerobackground	36	Geometric	52	Power
5	Hyperbolic Decline	21	DR-Multistage-1	37	Heat Capacity	53	Farazdaghi-Harris-YD
6	Log Normal CDF	22	DR-Multistage-1-Zerobackground	38	Exponential Association 2	54	Ratkowsky Model
7	Log Normal PDF	23	DR-Weibull-Zerobackground	39	Modified Geometric	55	Weibull Model
8	Normal	24	DR-Probit	40	Sinusoidal	56	Gompertz Relation
9	Normal	25	DR-Probit-Zerobackground	41	Steinhart-Hart Equation	57	Reciprocal Quadratic-YD
10	DR-Gamma	26	DR-Weibull	42	Rational Model	58	Bleasdale-YD
11	DR-Gamma-Zerobackground	27	Vapor Pressure Model	43	Modified Power	59	Exponential Plus Linear
12	DR-Hill	28	Modified Exponential	44	Modified Hoerl	60	Reciprocal Quadratic
13	DR-LogLogistic	29	Exponential	45	Truncated Fourier Series	61	Reciprocal-YD
14	DR-Hill-Zerobackground	30	Gaussian	46	Root	62	Bleasdale
15	DR-LogLogistic-Zerobackground	31	Reciprocal Logarithm	47	Shifted Power		
16	Reciprocal	32	Farazdaghi-Harris	48	Hoerl		

CurveExpert Professional 2.7.3 programı kullanılarak (Hyams, 2010) toplamda 62 doğrusal olmayan regresyon modeli ile yapılan analizlerde yıllar arasındaki bu farklılığın büyüme modeli tercihini etkilediği belirlenmiştir (Tablo 1 ve 2). Birinci yıldaki kuru madde birikimleri sırasıyla; Ratkowsky, Dr-Hill, Logistic Power, Dr-LogProbit ve Dr-Logistic eğrileri ile 0,989 ile 0,991 arasında değişen R^2 değerleri ile ifade edilebilmektedir (Tablo 2). Analizde kullanılan modeller arasından en iyi uyumun sigmoidal ve doz-yanıt (Dose-Response, DR) modellerinden sağlanması beklenen bir durumdur (Archontoulis ve Miguez, 2015). Çavdar denemelerinin ikinci yıl verileri kullanılarak yapılan analizlerde ise aynı 62 model arasında öne çıkan modeller

sırasıyla; Rational, Üssel Azalma, Hiperbolik Azalma, Üssel ve Modifiye Power modelleri olmuştur (Tablo 2). Bu durum, ikinci deneme yılında gözlemlenen hızlı büyüme ve gelişmenin sonucudur. Şekil 5'te de görüldüğü üzere, 24 ile 27. haftalar arasında kaydedilen kuru madde birikiminin hızlı olması nedeniyle, üssel regresyon modelleri sigmoidal modellerden daha iyi sonuç vermiştir. En iyi uyumu sağlayan model ise parametre sayısı fazla olması nedeniyle esnekliği ile öne çıkan Rational model olmuştur.

Tablo 2. Çavdar denemesinde normal (1. yıl) ve olağandışı (2. yıl) iklim koşullarının etkilerinin doğrusal olmayan regresyon modelleri ile incelenmesi

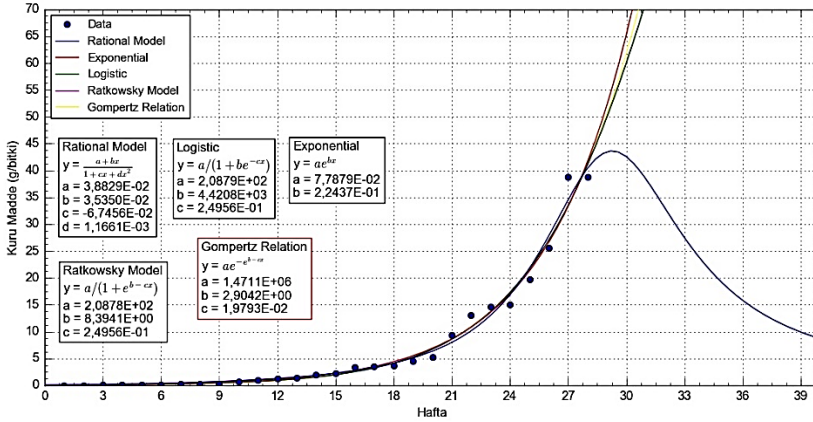
1. Yıl					
Model	Ratkowsky	DR-Hill	Logistic Power	DR-LogProbit	DR-Logistic
Grup	Sigmoidal	Doz Yanıt	Sigmoidal	Doz Yanıt	Doz Yanıt
Standart Hata	1,291	1,33	1,341	1,391	1,383
R ²	0,991	0,99	0,99	0,989	0,989
2. Yıl					
Model	Rational	Üssel Azalma	Hiperbolik Azalma	Üssel	Modifiye Power
Grup	Diğer	Düşüş Eğrisi	Düşüş Eğrisi	Üssel Eğriler	Power Law
Standart Hata	1,428	1,482	1,501	1,482	1,482
R ²	0,985	0,983	0,983	0,983	0,983

Bu noktada yapılan istatistiksel değerlendirme elde edilen sonuçların doğru şekilde yorumlanabilmesi için yeterli olmamaktadır. İkinci yıl verileri sigmoidal modeller kullanılarak analiz edildiğinde; Logistic, Ratkowsky ve Gompertz modellerinin 0,98 R² değeri ve 24,17-23,55 arasında değişen AICc değerlerine sahip olduğu görülmektedir (Tablo 3). İstatistiksel olarak değerlendirildiğinde; Rational ve Üssel modeller ile sigmoidal modeller arasında belirgin bir ayırım görülmesine de eğri parametrelerinin (Tablo 3) incelenmesinden sigmoidal modeller kullanılarak yapılan tahminlerin hatalı olacağı anlaşılmaktadır. Sigmoidal modellerde a değeri genellikle eğrinin üst asimptotu ile ilişkili olduğu için (Tjørve, 2003) bu üç modelin a değerlerinin çavdarda tespit edilen en yüksek kuru madde ağırlığına yakın olması beklenmektedir. Bu örnekte 208,79 ile 1471142 arasında değişen a değerleri

çavdarın gerçek en yüksek kuru ağırlığı olan 39,5 g'ı yansıtmadığı için bu modellerin güvenilir olmadığı anlaşılmaktadır. Şekil 6'da da görüldüğü üzere, Sigmoidal modellerin tamamı hatalı olarak çavdarda kuru madde ağırlığında artış trendinin devam edeceğini göstermekte, Rational model ise biyolojik açıdan çok anlamlı olmayan bir yörünge çizse de çavdarın maksimum kuru ağırlığına yakın bir noktada tepe değerine ulaşmaktadır.

Tablo 3. Çavdar denemesinin ikinci yıl sonuçlarının Sigmoidal modeller kullanılarak açıklanması

Model	Logistic	Ratkowsky	Gompertz
Standart Hata	1,49	1,49	1,5
R²	0,98	0,98	0,98
AICC	23,55	23,55	24,17
a	208,79	208,78	1471142
b	4420,78	8,39	2,9
c	0,25	0,25	0,02
a St. Sapma	225,83	225,86	18754655
b St. Sapma	2490,42	0,56	0,59
c St. Sapma	0,03	0,03	0,02



Şekil 6. Sigmoidal model parametrelerine ait tutarsızlıklar

Not: Gompertz modelinde yakınsama (convergence) sağlanamamıştır.

Sonuç

Belirleme katsayısı başta olmak üzere uyum iyiliği testleri eğri uydurma ile büyüme modellemesi yapılan çalışmalarda istatistiksel kanıt olarak

kullanılsa da bir modelleme çalışmasının başarılı olup olmadığını gösteren tek ölçüt olarak kabul edilmemektedir (Motulsky ve Ransnas, 1987). Bir büyüme verisine iyi uyum sağlayan bir model o veriyi iyi temsil eden tahminlemelere imkân vermelidir. Çavdar örneğinde görüldüğü gibi olağandışı iklimsel olayların kuru madde birikiminde yol açtığı farklılıklar nedeniyle sigmoidal modeller işlevselliklerini yitirebilmektedir. Bu durumun uyum iyiliği testleri tarafından belirlenemiyor olması da uyumsuzlukların tespitini zorlaştırmaktadır.

Bu örnek, eğri uydurma ile yapılan bitki modellemesinde doğru model tercihinin aslında görüldüğünden daha zor olduğunu göstermesi bakımından önemlidir. Canlılarda büyüme doğrusal olmayan regresyon yöntemleri ile modellenirken literatür incelemesi ve ön analizler ile aday modeller belirlendikten sonra bu model parametrelerinin tutarlı sonuçlar verdiğinden emin olunması faydalı olacaktır. Bitki ve hayvanlarda büyümenin incelendiği çalışmalarında sigmoidal modellerin bazı parametrelerinin biyolojik olarak anlamlı olarak kabul edilmesi bu modellerin yaygın olarak kullanılmasını teşvik etse de büyüme verileri her zaman bu modeller ile değerlendirilmeye uygun olmayabilir. Çavdar örneğine benzer durumlarda amaç genotip karşılaştırması olduğunda olağandışı veriler bir deneme hatası gibi ele alınarak çalışma dışı bırakılabilir. Gerek görüldüğü durumlarda denemeler tekrarlanarak daha güvenilir bir analiz gerçekleştirilebilir. Ancak olağandışı iklimsel koşulların tarımsal üretim için oluşturduğu risklerin incelenmesi önemli bir çalışma konusu olduğu için göz ardı edilmemelidir. Her geçen yıl küresel ısınma kaynaklı iklimsel anormalliklerde artışlar gözlenmektedir. İklim anormallikleri tarımsal üretimde kayıplara yol açarak üreticilerin zarara uğramasına ve gıdada arz talep dengesinin bozulmasına neden olmaktadır. Bu nedenle tarımsal ürünlerin stres koşullarına olan toleranslarının belirlenmesi olası risklerin daha iyi değerlendirilmesi ve dayanıklı genotiplerin seçilebilmesi açısından faydalı olacaktır. Bu amaca yönelik olarak eğri uydurma ile yapılan büyüme analizlerinde alışlagelen modellerin dışında farklı modellerin öne çıkması beklenmektedir. Rational model gibi 4 ve daha fazla parametreden oluşan esnek modeller bu açıdan potansiyel taşımaktadır. Bu doğrultuda yapılan çalışmaların artması ve çeşitlenmesi ile birlikte biyolojik olarak anlam taşıyan yeni modeller, model parametreleri ve kritik noktalar da belirlenecektir.

İklimsel anormalliklerin etkilerinin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayacak olan bu çalışmalar ile 'genotip x çevre' etkileşimi birçok farklı iklim koşulu altında incelenerek değişen ve marjinalleşen iklim koşulları karşısında tarımsal üretimde istikrarın artması için yeni yollar keşfedebilecektir.

Notlar

Bu çalışmadaki tüm analiz sonuçları ve grafikler CurveExpert Professional 2.7.3 programı kullanılarak elde edilmiştir (Hyams, 2010). Bu çalışmada yer alan verilerin bir kısmı 16-18 Kasım 2022 tarihleri arasında düzenlenen 3. Çanakkale Tarımı sempozyumunda sunulmuş, özet kitapçığında özet bildiri olarak yer almıştır.

KAYNAKÇA

- Akaike, H. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, Boston, v.19, n.6, p. 716-723, 1974.
- Archontoulis, S. V., & Miguez, F. E. (2015). Nonlinear regression models and applications in agricultural research. *Agronomy Journal*, 107(2), 786-798.
- Bange, M. P., & Milroy, S. P. (2004). Growth and dry matter partitioning of diverse cotton genotypes. *Field Crops Research*, 87(1), 73-87.
- Fekedulegn, D., Mac Siurtain, M. P., & Colbert, J. J. (1999). Parameter estimation of nonlinear growth models in forestry. *Silva Fennica*, 33(4), 327-336.
- Gautam, L., Kumar, V., Waiz, H. A., & Nagda, R. K. (2018). Estimation of growth curve parameters using non-linear growth curve models in sonadi sheep. *International Journal of Livestock Research*, 8(9), 104-113.
- Hocaoğlu, O., & Coşkun, Y. (2018). Evaluation of dry matter accumulation in triticale by different sigmoidal growth models in west anatolia of Turkey. *Genetika*, 50(2), 561-574.
- Kleinpaul, J. A., Cargnelutti, A., Carini, F., Pezzini, R. V., Chaves, G. G., & Thomasi, R. M. (2019). Productive traits of rye cultivars grown under different sowing seasons. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23, 937-944.
- Manikandan, K., & Vethamoni, P. I. (2017). A review: Crop modeling in vegetable crops. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(4), 1006-1009.
- Motulsky, H. J., & Ransnas, L. A. (1987). Fitting curves to data using nonlinear regression: a practical and nonmathematical review. *The FASEB journal*, 1(5), 365-374.
- Hyams, D. G. 2010. CurveExpert Software, <http://www.curveexpert.net>.
- Panik, M. J. (2014). Yield – Density Curves. In: *Growth Curve Modeling: Theory and Applications*, First Edition. Michael J. Panik. John Wiley & Sons, Inc. Published 2014 by John Wiley & Sons, Inc.
- Passioura, J. B. (2002). Soil conditions and plant growth. *Plant, Cell & Environment*, 25(2), 311-318.
- Royo, C., Aparicio, N., Blanco, R., & Villegas, D. (2004). Leaf and green area development of durum wheat genotypes grown under Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy*, 20(4), 419-430.
- Semenov, M. A., & Porter, J. R. (1995). Climatic variability and the modelling of crop yields. *Agricultural and forest meteorology*, 73(3-4), 265-283.

- Spiess, A. N., & Neumeyer, N. (2010). An evaluation of R² as an inadequate measure for nonlinear models in pharmacological and biochemical research: a Monte Carlo approach. *BMC pharmacology*, 10(1), 1-11.
- Tjørve, E. (2003). Shapes and functions of species–area curves: a review of possible models. *Journal of Biogeography*, 30(6), 827-835.

BÖLÜM 7

NARINCE ÜZÜM ÇEŞİDİNDE SICAKLIK VE NİSBİ NEM İLE VERİM ARASINDAKİ İLİŞKİNİN MODELLENMESİ*

Prof. Dr. Sıddık KESKİN^{1**}

Doç. Dr. Nurhan KESKİN²

Prof. Dr. Birhan KUNTER³

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10207959>

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tıp Fakültesi Temel Tıp Bilimleri Bölümü, Biyoistatistik AD. 65080 Tuşba/Van-Türkiye <https://orcid.org/0000-0001-9355-6558>

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, 65080 Tuşba/Van-Türkiye <https://orcid.org/0000-0003-2332-1459>

³Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, 06100 Dışkapı/Ankara-Türkiye. <https://orcid.org/0000-0001-7112-1908>

** : Sorumlu yazar: skeskin@yyu.edu.tr

*: Bu çalışmanın sıcaklık ile ilgili ön sonuçları, 28-30 Nisan 2023 tarihlerinde Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde düzenlenen "Multidisipliner Bilimsel Çalışmalar ve Küresel Uygulamaları" 4. Uluslararası Kongresi'nde aynı yazarlar tarafından "Ankara-Kalecik Ekolojisinde Narince Üzüm Çeşidi için Sıcaklık ile Verim Arasındaki İlişkinin Modellenmesi" başlığı ile sözlü bildiri olarak sunulmuş ve tam metni kongre bildirileri tam metin kitabında yayınlanmıştır.

GİRİŞ

Yaşam kalitesinin artırılması ve yaşamın sürdürülebilmesi için dengeli beslenme önemlidir. Dengeli beslenmenin en önemli unsurlarının başında vitamin ve mineraller gelmektedir. Meyveler ve sebzeler ise önemli vitamin ve mineral kaynaklarıdır. Günümüzde hızla artan nüfusa paralel olarak, beslenme ihtiyacı da artmakta ve toplumun besin maddesi ihtiyacını karşılamak üzere, bitkisel ve hayvansal üretimin önemi de giderek artmaktadır. Toplumda hızla artan besin maddesi ihtiyacını karşılamak üzere, bitkisel ve hayvansal üretimin de artırılması gerekmektedir. Özellikle bitkisel üretimin artırılması için ilk akla gelen yöntemler, üretim alanlarının ve birim alandan elde edilecek verimin artırılmasıdır. Ancak üretim alanlarının artırılması büyük ölçüde sınırlıdır. Diğer yandan, tarımsal alanların diğer amaçlar için kullanma eğiliminin artması da tarım alanlarının giderek azalmasına neden olmaktadır. Bu durum, birim alandan yüksek verim elde edilmesini adeta zorunlu kılmaktadır. Böylece yüksek verimli genotipler ve teknolojinin sağladığı olanakları kullanarak, birim alandan elde edilecek verimin artırılmasına yönelik çalışmalar ön plana çıkmaktadır. Birim alandan yüksek verim elde edilmesi ise verime doğrudan veya dolaylı etkili olan faktörlerin, verimle ilişki düzeylerinin doğru bir şekilde belirlenmesi ile ilişkilidir.

Bitkisel üretimde verim, çok sayıda faktörle doğrudan veya dolaylı ilişkilidir. Bu faktörlerin bir kısmı, tümüyle veya kısmen değiştirilebilir niteliktedir. Verimle ilişkili olan faktörlerin ilişki düzeyinin (doğrusal, polinomial vb) doğru olarak belirlenebilmesi, bu faktörlere kısmen de olsa istenilen düzeyde yön verilebilmesi ve böylece bitkisel üretimde verimliliğin artırılabilmesi açısından önemlidir.

Asmanın meyvesi olan üzüm, zengin vitamin ve mineral kaynağıdır. Üzümün üretilme sürecini kapsayan bağcılık, kapsamlı bir tarımsal (bitkisel) üretim faaliyetidir. Bitkisel üretim faaliyetlerinin tümünde olduğu gibi Bağcılık faaliyetinin ekonomik olarak sürdürülebilmesinde iklim en belirleyici faktör olarak önem kazanmaktadır. İklim faktörleri ile ürün veya verim arasındaki ilişkinin en doğru şekilde belirlenmesi, üretime ilişkin planlamaların yapılmasında ve ekonomik ürün artışının sağlanmasında önemlidir. Bu bağlamda, ekonomik olarak önemli olan değişkenlerle (özelliklerle) bu

değişkenlere etkili olabileceği düşünülen diğer değişkenler arasındaki ilişkileri belirlemeye yönelik geliştirilen ve çoğunlukla bağımlı değişkeni (cevap değişkenini) tahmin amaçlı kullanılan matematiksel veya istatistik eşitlikler model olarak ifade edilmektedir. Bağımlı değişkeni tahmine yönelik geliştirilen istatistik modeller; parametrik ve parametrik olmayan modeller olarak sınıflandırılabilir gibi doğrusal ve doğrusal olmayan modeller olarak da sınıflandırılmaktadır.

Bağımlı değişkeni tahmin etmek üzere geliştirilen modellerin başarısı ise gerçek değerleri yüksek doğruluk derecesi ile tahmin edebilmesi ile ölçülür. Diğer yandan, bağımlı değişkenin tahminine ilişkin yapılacak modellemede, tahminlere ilişkin doğruluk derecesinin yüksek olması, modelin içerdiği açıklayıcı (bağımlı) değişkenlerin artmasıyla yakından ilişkilidir. Ancak açıklayıcı değişken sayısının artması, modelin tahmin gücünü artırmakla birlikte, katsayılara ilişkin yorumlamaları zorlaştırmaktadır. Bu nedenle modellemede, olabildiğince az değişken ile yüksek doğruluk oranına erişilmesi istenir.

Yapılan literatür incelemesinde, ülkemizde asmada verim ile iklim faktörleri arasındaki ilişkileri belirlemeye yönelik çalışmaların yok denecek kadar az olduğu gözlenmiştir. Diğer yandan, yine ülkemizde, farklı istatistik yaklaşımlar kullanılarak verimin modellenmesine ilişkin çalışmalara da rastlanmamıştır. Bu nedenle çalışmada, verim ile iklim faktörleri arasındaki ilişkileri incelemek üzere, en uygun modelin belirlenmesi ve ileriye dönük tahmin imkânlarının araştırılması amaçlanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Bu çalışmada Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Kalecik Bağcılık Araştırma ve Uygulama İstasyonu'nda yetiştirilmekte olan Narince/5 BB kombinasyonundan yıllık olarak izlenen fenolojik takvim ve elde edilen verim değerleri kullanılmıştır

Çalışmada kullanılan veriler, 2003 ile 2022 yılları arasındaki dönemi kapsamaktadır. Sıcaklık (°C) ve Nisbi nem (%) değerleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden sağlanmıştır.

Yöntem

Verim ile iklim özellikleri (değişkenleri) arasındaki ilişkileri belirlemek üzere, doğrusal ve doğrusal olmayan modeller kullanılmaktadır. Bu çalışmada, iklim özelliklerinden Sıcaklık (°C) ve Nisbi nem (%) ile dekara ortalama verim (kg) arasındaki ilişkiyi belirlemek üzere kullanılan regresyon modelleri aşağıda özetlenmiştir.

Modellerde “Y” değişkeni (bağımlı değişken, çıktı değişkeni veya cevap değişken), ortalama verim (kg /da),

“X” değişkeni (bağımsız değişken, açıklayıcı değişken; Sıcaklık (°C) ve Nisbi nem (%))

“k” değişken sayısı,

“b” regresyon katsayısı

“e” de hata terimi olarak gösterilmiştir.

Çoklu regresyon modeli: $Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k + e$

Karesel model: $Y_i = b_0 + b_1X_1 + b_2X_1^2 + e$

Kübik model: $Y_i = b_0 + b_1X_1 + b_2X_1^2 + b_3X_1^3 + e$

Logaritmik model: $Y_i = b_0 + b_1 (\ln X_1) + e$

Üssel model: $Y_i = b_0 + e^{(b_1X_1)} + e$

MARS modeli: $Y = b_0 + \sum_{k=1}^K a_k b_k X_t + e$

MARS modelinde: k; düğüm sayısı, K; temel fonksiyon sayısı, X: bağımsız değişken, a_k ; k. temel fonksiyonun katsayısı, $b_k X_t$; t. bağımsız değişken için k. temel fonksiyonu ifade etmektedir. Modellerin performansını değerlendirmede, diğer bir ifade ile en uygun modeli belirlemede, aşağıda tablo halinde sunulan uyum iyiliği ölçütleri kullanılmıştır.

Kalecik koşullarında sürme nisan ayında, çiçeklenme (başlangıç ve tam çiçeklenme) haziran ayında ve ben düşme temmuz ayında olduğundan; modellemeler, bu 3 dönem için ayrı ayrı yapılmıştır. Hesaplamalar için SPSS (ver: 21) istatistik paket programı kullanılmıştır. MARS hesaplamaları için ayrıca R programından yararlanılmıştır.

Tablo 1. Uyum iyiliği ölçütleri

Uyum iyiliği ölçütleri	Eşitlik
Hata kareler ortalamasının karekökü [Root mean square error] (RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{ip})^2}$
Görelî veya rölâtif hata kareler ortalamasının karekökü [Relative root mean square error] (RRMSE)	$RRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{ip})^2}}{\bar{y}} \times 100$
Ortalama mutlak yüzde hata [Mean absolute percentage error] (MAPE)	$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left \frac{y_i - \hat{y}_{ip}}{y_i} \right \times 100$
Ortalama mutlak sapma [Mean absolute deviation] (MAD)	$MAD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i - \hat{y}_{ip} $
Düzeltilmiş belirleme (determinasyon) katsayısı [Adjusted coefficient of determination] (R ² _{Adj})	$R_{Adjusted}^2 = 1 - \frac{(1 - r_{y_i, \hat{y}_{ip}}^2)(n - 1)}{n - p - 1}$
Akaike bilgi kriteri (ölçütü) [Akaike's information Criterion] (AIC)	$AIC = n \ln \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{ip})^2 \right] + 2k$

BULGULAR

Çalışmada ele alınan özellikler olan sıcaklık (°C), nisbi nem (%) ve verime (kg/da) ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'de görüldüğü üzere, sıcaklık bakımından en düşük varyasyon temmuz ayında gözlenirken, nisbi nem bakımından en düşük varyasyon haziran ayında gözlenmiştir. Verim 212 kg/da ile 961 kg/da arasında değişim göstermiştir.

Tablo 2. Tanımlayıcı istatistikler

		Ortalama	St. Sap.	Min.	Mak.
Sıcaklık (°C)	Nisan	10.49	1.09	8.76	12.40
	Haziran	19.84	1.02	17.50	21.03
	Temmuz	22.82	0.57	22.00	23.70
Nisbi nem (%)	Nisan	41.98	2.95	36.00	46.46
	Haziran	36.14	2.04	33.04	38.98
	Temmuz	12.65	2.97	7.27	18.10
Verim (kg /da)		524.65	214.30	212	961

Modelleme Sonuçları

Çalışmada açıklayıcı değişken olarak sıcaklık ve nisbi nem değerleri alınarak; sürme (nisan), çiçeklenme (haziran) ve ben düşme (temmuz) dönemleri için ayrı ayrı 7 model oluşturulmuş ve bu modellere ilişkin sonuçlar Tablo 3'te özetlenmiştir. Tablo 3'te verilen modellerden, MARS modeli ve Çoklu doğrusal model dışındaki diğer 5 model için her dönemde ayrı ayrı olmak üzere saçılım grafikleri çizilmiştir. Modellerin performanslarını değerlendirmek üzere, yararlanılan performans ölçütleri (kriterleri) Tablo 4'te verilmiştir.

Sürme (nisan) dönemi sıcaklık

Verim için sürme (nisan) döneminde, sıcaklık değişkenine dayalı modellerde, R^2 (belirleme katsayısı) değerleri, %50 ile % 80 arasında değişim göstermiştir. En yüksek değer %80 ile MARS modelinde elde edilirken, bunu %71 ile çoklu doğrusal model ve %65 ile de Karesel ve Kübik modeller izlemiştir. Buna göre; adı geçen modellerle (Tablo 5) sıcaklığa dayalı yapılacak verim tahminlerinde, doğruluk (isabet) derecesinin, yaklaşık %50 ile %80 arasında olacağı beklenmektedir.

MARS modelinin düzeltilmiş R^2 (R^2_{Adj}) değeri, %76 olurken, bunu % 68 ile Çoklu doğrusal model ve %60 ile de Basit doğrusal, Karesel ve Kübik modeller izlemiştir. En düşük düzeltilmiş R^2 değeri ise %48 ile Üssel modelden elde edilmiştir. Üssel model dışındaki diğer modellerde RMSE değerleri; yaklaşık 93 (MARS modeli) ile 138 (Logaritmik model) arasında değişim gösterirken, Üssel modele ait RMSE değerleri 0.31 olmuştur. Benzer şekilde, RRMSE değerleri de Üssel model dışındaki diğer modellerde; 17.78 (MARS modeli) ile 26.36 (Logaritmik model) arasında değişim gösterirken, Üssel modele ait RRMSE değeri 0.06 olmuştur.

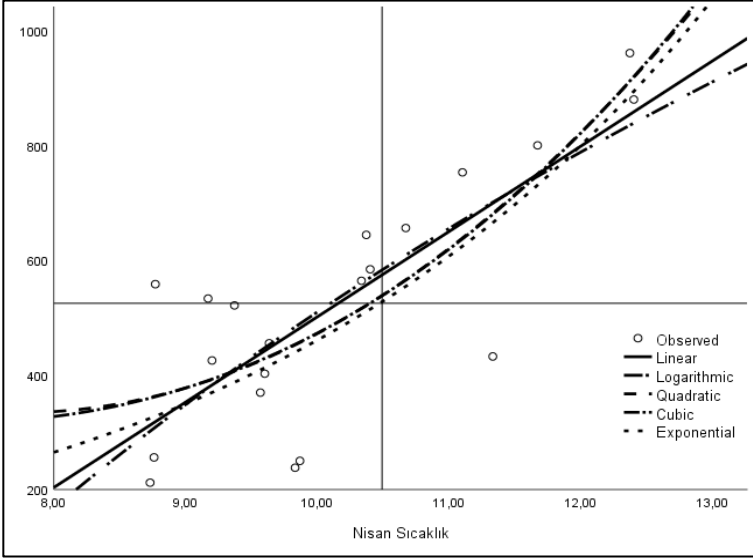
Tablo 3. Narince çeşidinde sıcaklık ve nisbi neme dayalı verim tahmin modelleri

MODEL	Nisan (Sıcaklık)	Haziran (Sıcaklık)	Temmuz (Sıcaklık)
Basit doğrusal model	$Y = -987.03 + 148.83X_1 + e$	$Y = -2851.70 + 169.66X_1 + e$	$Y = -6361.03 + 300.48X_1 + e$
Çoklu doğrusal model	$Y = -1565 - 113.69 X_1 + 22.39 X_2 + e$	$Y = -262.85 + 117.35 X_1 - 42.99 X_2 + e$	$Y = -3061.58 + 173.19 X_1 - 28.23 X_2 + e$
Logaritmik model	$Y = -3015.15 + 1530.76(\ln X_1) + e$	$Y = -9258.32 + 3272.47(\ln X_1) + e$	$Y = -21022.65 + 6880.71(\ln X_1) + e$
Karesel model	$Y = 1936 - 414.58 X_1 + 26.82X_1^2 + e$	$Y = 26976 - 2887.16 X_1 + 78.10X_1^2 + e$	$Y = -33266 + 2653.49 X_1 - 51.42X_1^2 + e$
Üssel model	$Y = 29.01 + e^{(0.28X_1)} + e$	$Y = 0.50 + e^{(0.35X_1)} + e$	$Y = 0 + e^{(0.65X_1)} + e$
Küçük model	$Y = 967 - 134.42X_1 + 4.90 X_1^2 + 0.85X_1^3 + e$	$Y = 8346 - 70.76X_1 + 90.03X_1^2 + 2.55X_1^3 + e$	$Y = -24337 + 1479.66X_1 + 371.55 X_1^2 - 0.75X_1^3 + e$
MARS modeli	$Y = 316671.03 - 4622.06 \times X_1^2 + 137.08 \times X_1^3 - 50289.01 \times h(9.83 - X_1) + 51978.79 \times h(X_1 - 9.83)$	$Y = 433.67 - 0.06564 \times h(8036.05 - X_1^3) + 0.29 \times h(X_1^3 - 8036.05)$	$Y = 513.95 - 339.5060 \times h(22.83 - X_1) + 267.6334 \times h(X_1 - 22.83)$
MODEL	Nisan (Nisbi Nem)	Haziran (Nisbi Nem)	Temmuz (Nisbi Nem)
Basit doğrusal model	$Y = -1240.34 + 42.25X_1 + e$	$Y = 3586.74 - 85.05X_1 + e$	$Y = 1125.99 - 44.39X_1 + e$
Çoklu doğrusal model	$Y = -1565 - 113.69 X_1 + 22.39 X_2 + e^{\#}$	$Y = -262.85 + 117.35 X_1 - 42.99 X_2 + e^{\#}$	$Y = -3061.58 + 173.19 X_1 - 28.23 X_2 + e^{\#}$
Logaritmik model	$Y = -5888.06 + 1719.63(\ln X_1) + e$	$Y = 11641.60 - 3103.25(\ln X_1) + e$	$Y = 21110.77 - 616.91(\ln X_1) + e$
Karesel model	$Y = 6620 - 339.96X_1 + 4.62X_1^2 + e$	$Y = 39819 - 2099.59X_1 + 27.93X_1^2 + e$	$Y = 1716 - 132.83X_1 + 3.09X_1^2 + e$
Üssel model	$Y = 14.81 + e^{(0.85X_1)} + e$	$Y = 163357.93 + e^{(0.16X_1)} + e$	$Y = 1708.55 + e^{(0.09X_1)} + e$
Küçük model	$Y = 4016 - 149.69X_1 + 71.77 X_1^2 + 0.37X_1^3 + e$	$Y = 39819 - 2099.59X_1 - 73.73 X_1^2 + 27.93X_1^3 + e$	$Y = 1716 - 132.83X_1 - 14.47X_1^2 + 3.09X_1^3 + e$
MARS modeli	$Y = 398.69184 + 86.78 \times h(X_1 - 41.78)$	$Y = 388.17 + 176.78 \times h(36 - X_1)$	$Y = 555.11 - 0.03361 \times X_1^3 + 66.31 \times h(12.88 - X_1)$

X₁: Sıcaklık (°C); X₂: Nisbi nem (%). Y: Verim (kg/da); #: Sıcaklık ve nem birlikte alındığı için aynı modeldir

Tablo 4. Narince çeşidinde verim tahmin modelleri için performans ölçütleri (kriterleri)

Model	NİSAN SICAKLIK						HAZİRAN SICAKLIK						TEMMUZ SICAKLIK						
	R ²	(R ²) _{adj}	RMSE	RMSE	MAD	AIC	R ²	(R ²) _{adj}	RMSE	RMSE	MAD	AIC	R ²	(R ²) _{adj}	RMSE	RMSE	MAD	AIC	
Basit doğrusal model	0.62	0.60	135.70	25.86	100.52	19.16	100.21	0.66	0.64	129.13	24.61	101.90	19.42	99.21	147.72	28.16	111.29	21.21	101.91
Çoklu doğrusal model	0.71	0.68	125.18	25.77	94.67	15.95	100.59	0.79	0.77	102.59	19.55	82.27	15.68	96.61	126.97	28.07	107.54	20.10	100.80
Logaritmik model	0.61	0.58	138.30	26.36	101.15	19.28	100.59	0.64	0.62	132.11	25.18	103.68	19.76	99.67	147.48	28.11	110.71	21.10	101.87
Karesel model	0.65	0.60	135.05	25.74	104.51	19.92	102.11	0.78	0.77	102.06	19.45	81.89	15.61	96.51	150.97	28.78	107.89	20.56	104.34
Üssel model	0.50	0.48	0.31	0.06	106.88	20.37	-21.42	0.64	0.62	0.86	0.16	89.17	17.00	-1.01	0.89	0.17	121.96	23.25	-0.33
Küçük model	0.65	0.60	135.06	25.74	104.55	19.93	104.11	0.80	0.78	101.67	19.38	81.57	15.55	98.43	150.96	28.77	107.91	20.57	106.34
MARS modeli	0.80	0.76	93.30	17.78	69.62	13.27	96.71	0.78	0.73	98.89	18.85	86.05	16.40	93.88	139.78	26.64	108.40	20.66	100.88
NISAN NİSBİNEM																			
Basit doğrusal model	0.44	0.42	165.44	31.15	135.88	25.90	103.93	0.56	0.54	146.09	27.85	120.60	22.99	101.68	142.68	27.20	102.43	19.52	101.21
Çoklu doğrusal model	0.50	0.43	161.26	30.74	130.51	24.88	105.66	0.75	0.71	114.50	21.82	80.95	15.43	98.81	139.27	26.55	103.06	19.64	102.73
Logaritmik model	0.44	0.41	165.06	31.46	136.83	26.08	104.12	0.58	0.55	143.50	27.35	118.37	22.56	101.33	135.72	25.87	100.55	19.17	100.20
Karesel model	0.50	0.44	160.98	30.68	130.06	24.79	105.63	0.75	0.72	114.45	21.81	80.46	15.34	98.80	139.29	26.55	103.05	19.64	102.73
Üssel model	0.43	0.40	0.33	0.06	134.64	25.66	-20.17	0.48	0.45	0.32	0.06	110.99	21.16	-20.79	0.61	0.58	0.28	0.05	99.12
Küçük model	0.50	0.44	161.08	30.70	130.23	24.82	107.64	0.75	0.72	114.45	21.81	80.47	15.34	100.80	139.29	26.55	103.06	19.64	104.73
MARS modeli	0.51	0.41	146.08	27.84	128.53	24.49	101.68	0.76	0.71	103.31	19.69	82.20	15.66	94.75	124.17	23.67	98.74	19.05	100.43



Şekil 1. Narince çeşidinde nisan ayı verim - sıcaklık grafiği

MAD bakımından en yüksek değer 106.88 ile Üssel modelde gözlenirken, en düşük değer 69.62 ile MARS modelinde gözlenmiştir. Benzer şekilde MAPE değeri de 20.37 ile yine en yüksek Üssel modelde gözlenirken, en düşük 13.27 ile MARS modelinde gözlenmiştir.

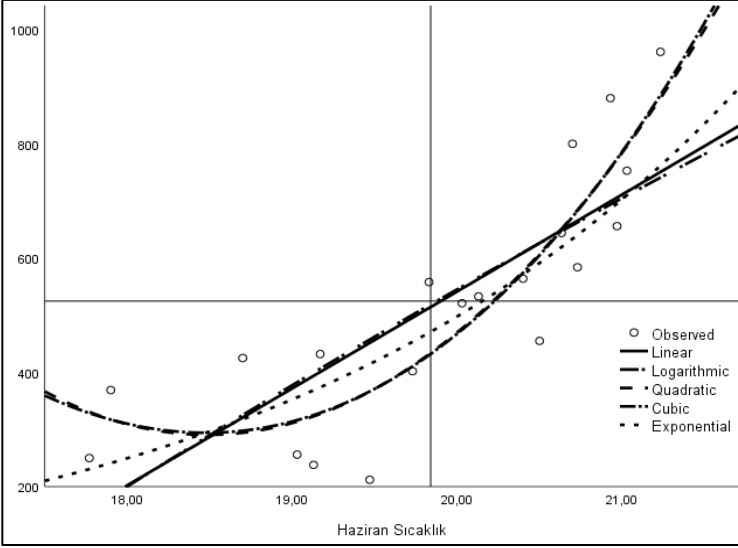
Modellere ait AIC değeri, Üssel model dışındaki diğer modellerde; 96.71 ile (MARS modeli) 104.11 (Kübik) arasında değişim gösterirken, Üssel modele ait AIC değeri -21.42 olmuştur.

Sürme (nisan) döneminde verim tahmini için modellerin performans ölçüleri genel olarak değerlendirildiğinde; R^2 (R^2 ve R^2_{Adj}) değerlerinin yüksek, diğer performans ölçütlerinin ise genel olarak düşük olması nedeniyle, MARS modelinin daha iyi performans gösterdiği söylenebilir.

Çiçeklenme (haziran) dönemi sıcaklık

Çiçeklenme (haziran) döneminde, sıcaklığa dayalı modellerde, R^2 (belirleme katsayısı) değerleri, %80 ile %64 arasında değişim göstermiştir. En yüksek değer %80 ile Kübik modelden elde edilirken, bunu %79 ile Çoklu doğrusal model, %78 ile de MARS modeli ve Karesel model izlemiştir. En düşük R^2 değerleri ise %64 ile Üssel ve Logaritmik modelden elde edilmiştir.

Kübik modelinin düzeltilmiş R^2 (R^2_{Adj}) değeri, %78 olurken, bunu % 77 ile Çoklu doğrusal model ve Karesel model izlemiştir. En düşük düzeltilmiş R^2 değeri ise %62 ile Logaritmik ve Üssel modelden elde edilmiştir.



Şekil 2. Narince çeşidinde haziran ayı verim - sıcaklık grafiği

Üssel model dışındaki diğer modellerde RMSE değerleri; yaklaşık 99 (MARS modeli) ile 132 (Logaritmik model) arasında değişim gösterirken, Üssel modele ait RMSE değerleri 0.86 olmuştur. Benzer şekilde RRMSE değerleri de Üssel model dışındaki diğer modellerde; 18.85 (MARS modeli) ile 25.18 (Logaritmik model) arasında değişim gösterirken, Üssel modele ait RRMSE değeri 0.16 olarak bulunmuştur.

Modellerin MAD değerleri 81.57 (Kübik model) ile 103.68 (Logaritmik model) arasında değişim göstermiştir. Benzer şekilde MAPE değerleri de 15.55 (Kübik model) ile 19.76 (Logaritmik model) arasında değişim göstermiştir.

Modellere ait AIC değerleri, Üssel model dışındaki diğer modellerde; 93.88 ile (MARS modeli) 99.67 (Logaritmik model) arasında değişim gösterirken, Üssel modelde -1.01 olmuştur.

Çiçeklenme (haziran) döneminde verim tahmini için modellerin performans ölçüleri genel olarak değerlendirildiğinde; R^2 (R^2 ve R^2_{Adj}) değerlerinin yüksek, diğer performans ölçütlerinin ise genel olarak düşük olması nedeniyle, Kübik modelin daha iyi performans gösterdiği söylenebilir.

Ben düşme (temmuz) dönemi sıcaklık

Ben düşme (temmuz) döneminde, sıcaklığa dayalı modellerde, R^2 (belirleme katsayısı) değerleri, %68 ile %55 arasında değişim göstermiştir. En yüksek değer %68 ile Çoklu doğrusal modelden elde edilirken, bunu %61 ile Üssel model, %56 ile de Karesel ve Kübik modeller izlemiştir. En düşük R^2 değerleri ise %55 ile Basit doğrusal, Logaritmik ve MARS modellerinden elde edilmiştir.

Çoklu doğrusal modelin düzeltilmiş R^2 (R^2_{Adj}) değeri, %65 olurken, bunu % 59 ile Üssel model izlemiştir. En düşük düzeltilmiş R^2 değeri ise %50 ile Kübik ve Karesel modellerden elde edilmiştir.

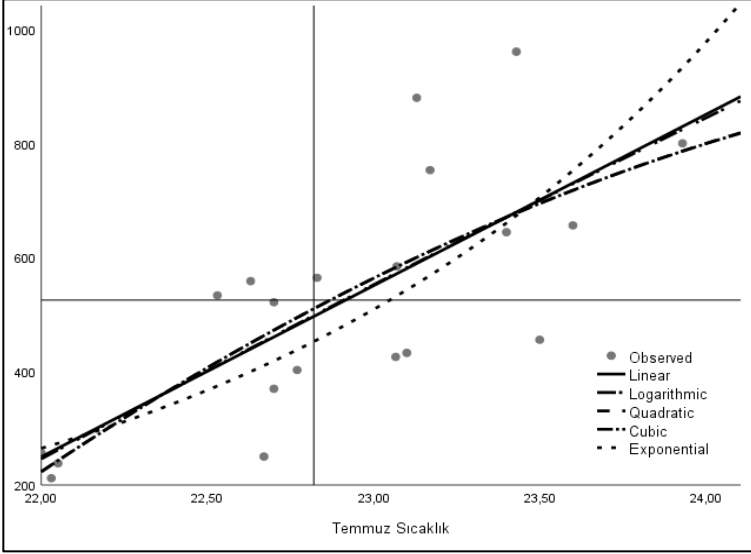
Üssel model dışındaki diğer modellerde RMSE değerleri; yaklaşık 127 (Çoklu doğrusal model) ile 151 (Karesel ve Kübik modeller) arasında değişim gösterirken, Üssel modele ait RMSE değerleri 0.89 olarak bulunmuştur. Benzer şekilde RRMSE değerleri de Üssel model dışındaki diğer modellerde; 26.64 (MARS modeli) ile 28.78 (Karesel model) arasında değişim gösterirken, Üssel modele ait RRMSE değeri 0.17 olarak bulunmuştur.

Modellerin MAD değerleri 107.54 (Çoklu doğrusal model) ile 121.96 (Üssel model) arasında değişim göstermiştir. Benzer şekilde MAPE değerleri de 20.10 (Çoklu doğrusal model) ile 23.25 (Üssel model) arasında değişim göstermiştir.

Modellere ait AIC değerleri, Üssel model dışındaki diğer modellerde; 100.80 (Çoklu doğrusal model) ile 106.34 (Kübik model) arasında değişim gösterirken, Üssel modelde -0.33 olmuştur.

Ben düşme (temmuz) döneminde verim tahmini için modellerin performans ölçüleri genel olarak değerlendirildiğinde; R^2 (R^2 ve R^2_{Adj}) değerlerinin yüksek, diğer performans ölçütlerinin ise genel olarak düşük

olması nedeniyle, Çoklu doğrusal modelin daha iyi performans gösterdiği söylenebilir.



Şekil 3. Narince çeşidinde temmuz ayı verim - sıcaklık grafiği

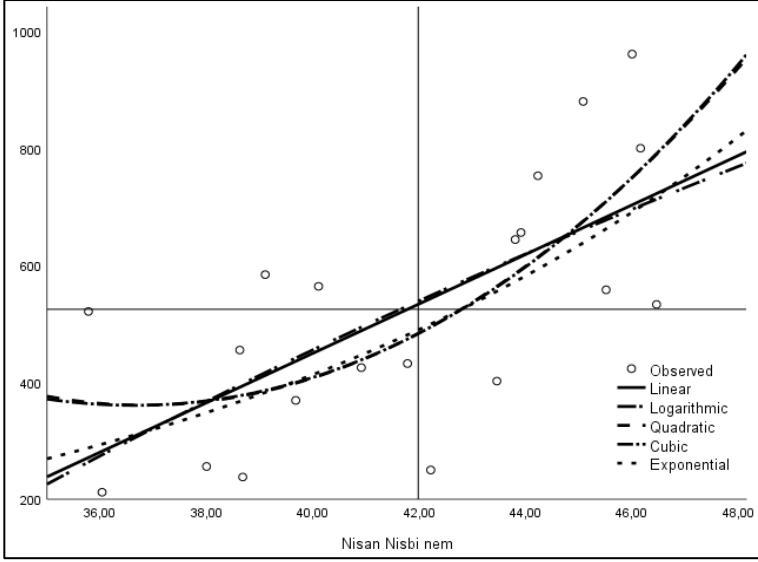
Sürme (nisan) nisbi nem

Narince çeşidi için sürme (nisan) döneminde, nisbi nem değişkenine dayalı modellerde, R^2 (belirleme katsayısı) değerleri, %43 (Üssel model) ile %51 (MARS modeli) arasında değişim göstermiştir. Buna göre; adı geçen modellerle (Tablo 3) nisbi neme dayalı yapılacak verim tahminlerinde, doğruluk (isabet) derecesinin, yaklaşık %43-51 arasında değişeceği söylenebilir.

Düzeltilmiş R^2 (R^2_{Adj}) değerleri bakımından en yüksek değer % 44 ile Karesel ve Kübik modellerde gözlenirken, en düşük değer % 41 ile MARS modeli ve Logaritmik modelde gözlenmiştir.

Üssel model dışındaki diğer modellerde RMSE değerleri; yaklaşık 146 (MARS modeli) ile 165 (Logaritmik model) arasında değişim gösterirken, Üssel modelde 0.33 olmuştur. Benzer şekilde, RRMSE değerleri de Üssel model dışındaki diğer modellerde; 27.84 (MARS modeli) ile 31.46 (Logaritmik model) arasında değişim göstermiş ve Üssel modelde 0.06 olarak bulunmuştur.

MAD bakımından en yüksek değer 136.83 ile Logaritmik modelde gözlenirken, en düşük değer 128.53 ile MARS modelinde gözlenmiştir. Modellere ait MAPE değerleri ise 24.49 (MARS modeli) ile 26.08 (Logaritmik model) gibi dar bir aralıkta değişim göstermiştir.



Şekil 4. Narince çeşidinde nisan ayı verim - nisbi nem grafiği

Üssel model (-20.17) dışındaki diğer modellerde; en yüksek AIC değeri 107.64 ile Kübik modelde gözlenirken, bunu 105.66 ile Çoklu doğrusal model ve 105.63 ile Karesel model izlemiştir. En düşük AIC değeri ise 101.68 ile MARS modeline aittir.

Sürme (nisan) döneminde verim tahmini için modellerin performans ölçüleri genel olarak değerlendirildiğinde; R^2 (R^2 ve R^2_{Adj}) değerlerinin yüksek, diğer performans ölçütlerinin ise genel olarak düşük olması nedeniyle, MARS modelin daha iyi performans gösterdiği söylenebilir.

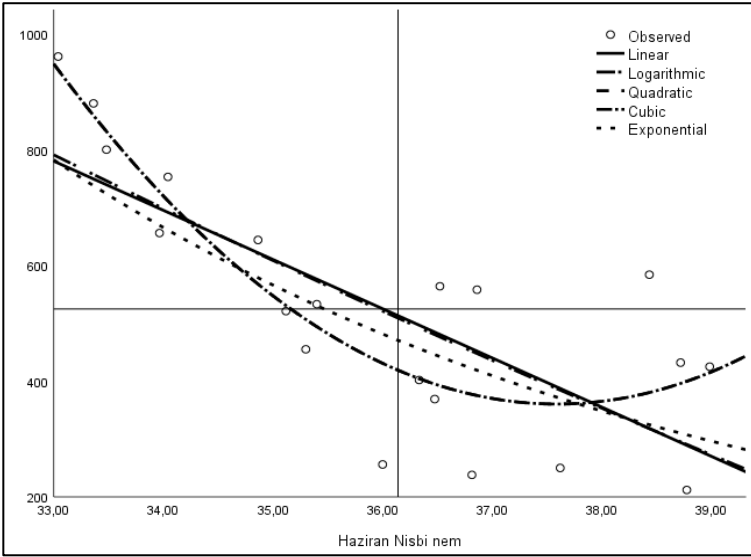
Çiçeklenme (haziran) dönemi nisbi nem

Çiçeklenme (haziran) döneminde, nisbi neme dayalı modellerde; en yüksek R^2 (belirleme katsayısı) değeri, %76 ile MARS modelinde gözlenirken,

bunu %75 ile Çoklu doğrusal model, Karesel model ve Kübik model izlemiş, en düşük R^2 değeri ise %48 ile Üssel modelde gerçekleşmiştir.

Karesel ve Kübik modellerin düzeltilmiş R^2 (R^2_{Adj}) değerleri %72 olurken, MARS modeli ile Çoklu doğrusal modelin (düzeltilmiş R^2 (R^2_{Adj}) değerleri) %71 olarak bulunmuş ve en düşük değer ise %45 ile Karesel modelde gözlenmiştir.

RMSE değerleri; Üssel model dışındaki diğer modellerde, yaklaşık 103 (MARS modeli) ile 146 (Basit doğrusal model) arasında değişim gösterirken, Üssel modelde 0.32 olarak bulunmuştur. Benzer şekilde, RRMSE değerleri de Üssel model (0.06) dışındaki diğer modellerde; 19.69 (MARS modeli) ile 27.85 (Basit doğrusal model) arasında değişim göstermiştir.



Şekil 5. Narince çeşidinde haziran ayı verim - nisbi nem grafiği

MAD bakımından en yüksek değer yaklaşık 121 ile Basit doğrusal modelde gözlenirken, en düşük değer 80.47 ile Kübik modelde gözlenmiştir. Benzer şekilde MAPE değeri de en yüksek 22.99 ile Basit doğrusal modelde gözlenirken, en düşük 15.34 ile Kübik modelde gözlenmiştir.

Modellere ait AIC değeri, Üssel model dışındaki diğer modellerde; 94.75 ile (MARS modeli) 101.68 (Basit doğrusal model) arasında değişim gösterirken, Üssel modele ait AIC değeri -20.79 olmuştur.

Çiçeklenme (haziran) döneminde verim tahmini için modellerin performans ölçüleri genel olarak değerlendirildiğinde; R^2 (R^2 ve R^2_{Adj}) değerlerinin yüksek, diğer performans ölçütlerinin ise genel olarak düşük olması nedeniyle, MARS modelinin daha iyi performans gösterdiği söylenebilir.

Ben düşme (temmuz) dönemi nisbi nem

Ben düşme döneminde, nisbi neme dayalı modellerde; en yüksek R^2 (belirleme katsayısı) değeri, %65 ile MARS modelinde gözlenirken, bunu %62 ile Çoklu doğrusal, Logaritmik, Karesel ve Kübik modeller izlemiş ve en düşük R^2 değeri ise %58 ile Basit doğrusal modelde gerçekleşmiştir. Basit doğrusal modelin düzeltilmiş R^2 (R^2_{Adj}) değeri, %56 olurken, diğer modellerin %58 olmuştur.

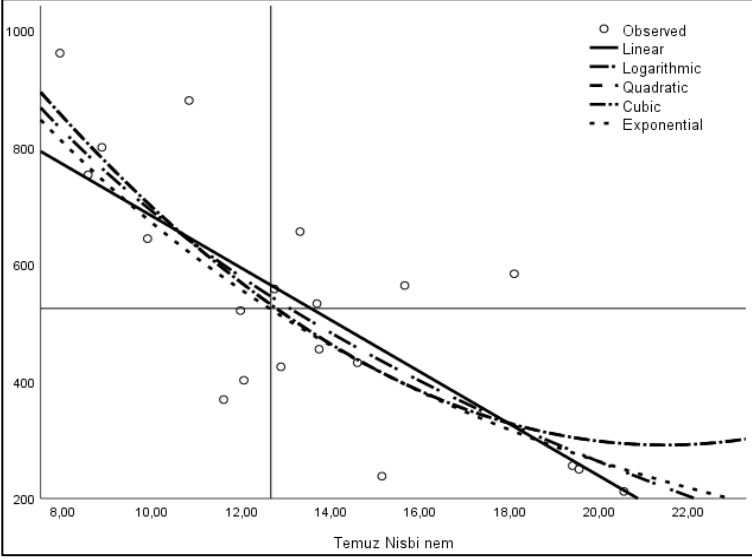
RMSE değerleri; Üssel model dışındaki diğer modellerde, yaklaşık 124 (MARS modeli) ile 143 (Basit doğrusal model) arasında değişim gösterirken, Üssel modelde 0.28 olarak bulunmuştur. Benzer şekilde, RRMSE değerleri de Üssel model (0.05) dışındaki diğer modellerde; 23.67 (MARS modeli) ile 27.20 (Basit doğrusal model) arasında değişim göstermiştir.

Modellerin MAD değerleri yaklaşık 99 (Üssel) ile 103 (Çoklu doğrusal ve Kübik) arasında değişim göstermiştir. Benzer şekilde MAPE değeri de 19.05 (MARS modeli) ile 19.64 (Çoklu doğrusal ve Kübik) arasında değişim göstermiştir.

Modellere ait AIC değerleri ise Üssel model dışındaki diğer modellerde; 100.20 ile (Logaritmik model) 104.73 (Kübik model) arasında değişim gösterirken, Üssel modele ait AIC değeri -23.46 olmuştur.

Ben düşme (temmuz) döneminde nisbi neme dayalı verim tahmini için model performans ölçüleri genel olarak değerlendirildiğinde; R^2 (R^2 ve R^2_{Adj}) değerlerinin yüksek, diğer performans ölçütlerinin ise genel olarak düşük

olması nedeniyle, MARS modelinin daha iyi performans gösterdiği söylenebilir.



Şekil 6. Narince çeşidinde Temmuz ayı verim - nisbi nem grafiği

TARTIŞMA VE SONUÇ

Araştırıcının bağımlı değişken veya cevap değişkeni olarak aldığı (verim) değişken ile bağımsız değişkenler veya açıklayıcı değişkenler (iklim değişkenleri) olarak varsaydığı değişkenler arasındaki ilişkileri belirlemek üzere istatistik modellerden yararlanılır. İstatistik yönüyle verim ile iklim değişkenleri arasındaki ilişkileri belirlemek üzere literatürde çoğunlukla doğrusal regresyon modelleri üzerine odaklanıldığı görülmektedir. Çok az çalışmada, çoklu bağlantı problemi göz önüne alınarak modelleme yapıldığı söylenebilir. Ancak bilindiği üzere, çoklu bağlantı probleminin olması durumunda elde edilecek olan istatistik sonuçların geçerlilik ve güvenilirliğinin büyük ölçüde düşebileceği unutulmamalıdır.

Bitkisel üretimde modeller; bitki gelişimi sırasında meydana gelen olayların analizi (sulama, hava ve toprak sıcaklığındaki değişimler, kuraklık, toprak nem içeriğindeki azalma vb), bitki veriminin tahmini, toprak, bitki ve meteorolojik (iklimsel) faktörlerin bitki gelişimine olan etkisinin belirlenmesi

gibi sorunlara cevap verebilir (Ritchie vd., 1998; Yazgan ve Tatar, 2002). Bu bağlamda, Narince için oluşturulan modellerden; 4'ünde MARS modeli ön plana çıkarken, 1'inde Çoklu doğrusal model, 1'inde de Kübik model ön plana çıkmıştır. Genel olarak ise doğrusal olmayan model grubunda yer alan MARS modelinin daha iyi performans gösterdiği gözlenmiştir.

Model performansını değerlendirmede yaygın olarak kullanılan R^2 değeri dikkate alındığında; MARS modeli ve Kübik modelle en yüksek %80 R^2 değerine ulaşılırken, en düşük R^2 değeri %48 ile Üssel modelde elde edilmiştir. Shanmuganathan vd (2010). Yeni Zelanda'nın kuzeyindeki bağlarda, 1997-2006 yılları arasındaki aylık maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık ile toplam yağış miktarı değişkenlerine dayalı verim modellemesi için regresyon analizi yöntemini kullanmışlar ve R^2 değerlerini 0.738 (%73.8) ile 1.00 (%100) arasında bulmuşlardır.

Barriguinha vd. (2022), Portekiz'de 2016-2021 yılları arasındaki bölgesel verimi; sıcaklık, nisbi nem, yağış ve omca yoğunluğu değişkenlerine dayalı, çiçeklenme ve olgunlaşma dönemlerinde ayrı ayrı tahmin etmek üzere, yapay sinir ağlarını kullanmışlardır. Modellerin performansını değerlendirmede, ortalama mutlak hata (MAE) ve hata kareler ortalamasını (MSE) kullanmışlar ve en iyi tahminin, 2020 yılında çiçeklenme döneminde yapıldığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde Sirsat vd. (2019), asmalarda özellikle hasattan önce verim tahmininin, asma üretimi ve verimi artırmak üzere bağcılık faaliyetleri için önemli olduğunu belirterek, iklimsel değişkenler yardımıyla 4 modelle (Random Forest, LASSO, Elastiknet ve Spikeslab) tahmin yapmışlar ve model performanslarını değerlendirmek üzere, RMSE (Root Mean Squared Error) ve RRMSE (Relative Root Mean Squared Error) ölçütlerini kullanmışlardır. Wang vd. (2022) ise mısır bitkisinde verime etkili olan iklim faktörlerini belirlemek üzere; yağış güneşlenme süresi, nisbi nem, ortalama sıcaklık, minimum sıcaklık ve maksimum sıcaklık değişkenlerine dayalı modelleme yapmışlar ve modellerin performansını değerlendirmede Düzeltilmiş R^2 , RMSE ve p değerini kullanmışlardır.

Basit ve Çoklu doğrusal modellerde; sıcaklık değişkenine ait regresyon katsayısı her 3 dönemde de [sürme (nisan), çiçeklenme (haziran) ve ben düşme (temmuz)] pozitif etkili olmuştur. Nisbi neme ait katsayı ise sürme (nisan)

döneminde pozitif iken, çiçeklenme (haziran) ve ben düşme (temmuz) dönemlerinde negatif etkili olmuştur. Diğer bir ifade ile sıcaklık artışının her üç dönemde de verim üzerine olumlu etkisi gözlenirken, nisbi nem artışının çiçeklenme döneminde olumlu etkisi olduğu, diğer dönemlerde ise yüksek nisbi nemin verimi azaltıcı etkisi olduğu gözlenmiştir. Benzer şekilde; Kadbhane ve Manekar (2020), Agro-iklimsel üzüm veriminin (Agro-Climatic Grape Yield, ACGY, kg/ha) tahmini için; ortalama, minimum ve maksimum sıcaklık ile yağış ve nisbi nem değişkenlerine dayalı çoklu regresyon modellemesi yapmışlardır. Çalışmalarında; ocak, nisan ve kasım ayları sıcaklık değerlerine ait katsayıların sırası ile -1.60, 1.33 ve -0.49 olduğu belirtilirken, ağustos ve kasım ayları yağış miktarlarına ait katsayıların ise sırasıyla -0.01 ve -0.15 olarak bulunduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca, modelin performansı için tutarsızlık farklılık veya uyumsuzluk (discrepancy) oranı, tutarsızlık oranının standart sapması, ortalama yüzde hata (MPE) ve ortalama yüzde hatanın standart sapmasını hesaplamışlardır.

Eswari (2021), iklim değişkenlerinden; maksimum sıcaklık (Tmax), minimum sıcaklık (Tmin), yağış (mm) ve nisbi nem değişkenlerine ait 5 yıllık (2016-2020) veriyi kullanarak, üzüm verimini (kg/ha) tahmin için regresyon modelleri oluşturmuştur. Sıcaklık, nisbi nem ve yağış değişkenleri ile verim arasındaki Basit regresyon modellerinde; sıcaklığa ait regresyon katsayısı -1.040, regresyon sabiti 50.755, nisbi neme ait regresyon katsayısı 0.047, regresyon sabiti 19.012 ve yağışa ait regresyon katsayısı -0.005, regresyon sabiti ise 22.905 olarak bulunmuştur. Bu değişkenlerin modele birlikte dahil edilmesi ile oluşturulan Çoklu regresyon modelinde, regresyon sabiti 116.144 olarak bulunurken; sıcaklık, nisbi nem ve yağışa ait katsayılar sırasıyla; -2.6339, -2696 ve -0.0250 olarak bulunmuştur. Bu model için belirleme katsayısı (R^2) ise 0.484 olarak belirtilmiştir.

González-Fernández vd. (2020), 2008-2017 iklim değişkenlerinin ürün gelişimi ve sonrasındaki verim için doğrudan etkili olduğunu vurgulayarak, önemli korelasyonlu olan değişkenleri, Spearman korelasyon katsayısı ile belirleyip, verim için Çoklu regresyon modeli geliştirmişlerdir. Çalışma sonucunda çiçeklenme dönemindeki yağışın, dölleme için zararlı etkisi olduğunu ve yüksek sıcaklığın da meyve tutumu ve olgunlaşma üzerine negatif etkisinin olduğunu vurgulamışlardır.

Duchêne ve Schneider, (2005) yapmış oldukları çalışmada, son 30 yıldaki sıcaklık artışının, sürme süresini ve böylece de hasat süresini kısalttığını, olgunlaşmanın daha ılık koşullarda olduğunu ve bu gelişmelerin kaçınılmaz olması nedeniyle, sıcaklık artışının gelecekte de ivmeli bir şekilde devam edebileceğini vurgulamışlardır. Diğer yandan yağış ile ilgili olarak belirgin bir trendin olmadığını, ancak havadaki sıcaklık ve karbondioksit konsantrasyonundaki artışın, biyokütle üretimi için daha güçlü iklimsel potansiyele ve daha fazla su kaynağı gereksinimine yol açabileceğini vurgulamışlardır.

Tarımsal üretim, sıcaklık, güneşlenme süresi, nisbi nem ve yağış miktarı gibi iklim değişiklikleri ile yakından ilişkilidir. Asmalarda üzüm verimi de diğer tarımsal ürünler gibi iklim değişkenlerine ve bu değişkenlerdeki mevsimsel değişime karşı oldukça duyarlıdır (Porras vd., 2021). Sıcaklık, yağış ve nisbi nem gibi iklimsel özelliklerin (değişkenlerin) yıldan yıla belirgin değişkenlik göstermesi, bu değişkenlerle yakından ilişkili olan üzüm verimi için üretimin sürdürülebilirliğine olumsuz etkiler yapabilmektedir. Böylece, sıcaklık yağış ve nisbi nem gibi temel iklim özelliklerindeki değişimlere, gelecekte adaptasyon sağlayabilecek uygun çeşitlerin belirlenebilmesinde, iklim değişkenleri ile verim arasındaki ilişkinin doğru belirlenebilmesini sağlayacak modellerin geliştirilmesinin önemi bir kez daha ön plana çıkmaktadır. Ancak istatistik modellerdeki en önemli sorunlardan birisi de çoklu bağlantı (multicolinearty) problemidir. Zira ortalama sıcaklık, en yüksek sıcaklık ve nem gibi değişkenler bir modele dahil edildiğinde, ortalama sıcaklık ile en yüksek sıcaklık arasında veya nem arasında yüksek korelasyon olabileceğinden çoklu bağlantı problemi ortaya çıkabilir. Bu nedenle de iklim değişkenleriyle modellemede, iklim değişkenlerinin uygun seçilmesi veya çoklu bağlantı problemine karşı sağlam veya güçlü (robust) modellerin kullanılması önerilebilir.

Asmada üzüm verimi, üzümden üretilen şarap ve diğer ürünlerle doğrudan veya dolaylı ilişkilidir. Bununla birlikte, üzüm veriminin iklim faktörleri ve diğer faktörlere dayalı modellerle mümkün olduğunca erken dönemlerde tahmin edilmesi, asmanın vejetasyon döneminde büyüme ve ürün verimi dönemlerinde uygulanacak kültürel ve yönetsel işlemleri planlamak üzere karar verme sürecinde yetiştiricilere önemli katkılar sağlayabilir. Ancak,

iklim değişkenleri ile verim arasındaki ilişkilerin tahmini de sınırlı düzeyde yapılabilir. Diğer yandan iklim verilerine dayalı modeller, oldukça geniş varyasyon gösteren iklimsel (meteorolojik) değişkenlerini içerdüğinden, bu modellerin performansları da değişkenlerdeki varyasyona bağlı olarak farklılık gösterebilir. Yine de sınırlı koşullar altında, temelde nisbi nem ve sıcaklığa dayalı verim tahmin modellerinin kullanabilmesi önerilebilir. Ancak ürün veriminin, iklim değişkenleri veya diğer değişkenlere dayalı modellerle tahmin edilmesinin karmaşık işlemleri gerektirebileceği de unutulmamalıdır.

Dünyadaki nüfus artışına paralel olarak, beslenme için yiyecek ihtiyacı da artmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak üzere, tarımsal üretimin artırılması bir çözüm yolu olsa da, sıcaklık artışı ve bu artışa bağlı olarak yükselen kuraklık, tarımsal üretim artışı için ileride büyük bir risk olarak görülmektedir. Diğer bir ifade ile küresel ısınma ve iklim dalgalanmaları, genelde tarımsal üretimi, özelde ise üzüm verimini önemli ölçüde etkilemekte ve üretimdeki istikrar için tehdit oluşturmaktadır. Bu nedenle, tarımsal üretim artışına katkı sağlayabilecek faktörlerin doğru olarak belirlenmesinin, kısmen de olsa faktörlere istenilen şekilde yön verilebilmesi açısından önemli olduğu düşünülmektedir. Verim veya ürün artışına etkili faktörlerin doğru olarak belirlenebilmesi de tahmin oranı yüksek istatistik modellerle mümkündür. Bu nedenle doğru istatistik modellerin belirlenmesinin önemli olduğu düşünülmekte ve bu çalışmanın; asmada iklim değişkenleri ile verim arasındaki ilişkinin belirlenmesine yönelik farklı modellerin performanslarını değerlendiren bir çalışma olmuş olması bakımından literatüre katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Van YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FBA-2022-9956 No'lu proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

- Barriguiha, A., Jardim, B., de Castro Neto, M., Gil, A. (2022). Using NDVI, climate data and machine learning to estimate yield in the Douro wine region. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 114, 103069.
- Duchêne, E., Schneider, C. (2005). Grapevine and climatic changes: a glance at the situation in Alsace. *Agronomy for Sustainable Development*, 25(1), 93-99.
- Eswari, A. (2021). Weather Based Yield Prediction and PDI Model for Grape Production Quality Forecast in Tamil Nadu using Mathematical Modelling. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* 10(04), 653-670.
- González-Fernández, E., Piña-Rey, A., Fernández-González, M., Aira, M. J., Rodríguez-Rajo, F. J. (2020). Prediction of grapevine yield based on reproductive variables and the influence of meteorological conditions. *Agronomy*, 10(5), 714.
- Kadhbane, S. J., Manekar, V. L. (2020). Development of agro-climatic grape yield model for Nashik region, Maharashtra, India. *Journal of Agrometeorology*, 22(4), 494-500.
- Porras, I., Sole, J.M., Marcos, R. and Arasa, R. (2021) Meteorological and climate modelling services tailored to viticulturists. *Atmospheric and Climate Sciences*, 11, 148-164.
- Ritchie, J. T., U. Singh, D.C. Godwin, W.T. Bowen. (1998). Cereal Growth, Development and Yield. In *Understanding Options for Agricultural Production*. G. Y. Tsuji, G. Hoogenboom, and P. K. Thornton (Editors), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, p. 79-98.
- Shanmuganathan, S., Sallis, P., Narayanan, A. (2010). Modelling the seasonal climate effects on grapevine yield at different spatial and unconventional temporal scales. *International Congress on Environmental Modelling and Software*. 582.
- Sirsat, M. S., Mendes-Moreira, J., Ferreira, C., Cunha, M. (2019). Machine Learning predictive model of grapevine yield based on agroclimatic patterns. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 12(4), 443-450.

- Wang, T., Li, N., Li, Y., Lin, H., Yao, N., Chen, X., ... Feng, H. (2022). Impact of climate variability on grain yields of spring and summer maize. *Computers and Electronics in Agriculture*, 199, 107101.
- Yazgan, S., Tatar, D., 2002. Bursa koşullarında sıcaklık ve yağış artışlarının buğday verimi üzerindeki etkisinin bitki iklim modellemesi ile belirlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16, 59-67.

BÖLÜM 8

MİKROORGANİZMALARIN BİTKİ GELİŞMESİNİ TEŞVİK MEKANİZMALARI VE TARIMDA BİYOGÜBRE OLARAK UYGULAMALARI

Prof. Dr. Ramazan ÇAKMAKÇI^{1*}

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10207969>

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, 17100, Çanakkale-Türkiye. <https://orcid.org/0000-0002-1354-1995>

*sorumlu yazar: rcakmakci@comu.edu.tr

GİRİŞ

Sentetik inorganik gübre üretimi ve kullanımıyla birlikte tarımsal üretimde önemli artışlar meydana gelmiş, hızlı besin salınımı ve gelişme sağlayan sentetik gübre kullanımı giderek artmış ve bu durum zamanla tarımın dayandığı doğal toprak tabanıyla birlikte su kaynaklarını ve çevreyi kirletir hale gelmiştir. Gıda üretimi üzerindeki artan baskı nedeniyle tarımsal verimi artırma arayışı, kaçınılmaz olarak kimyasal gübrelerin ve diğer tarım kimyasallarının gelişigüzel kullanılmasına yol açmıştır. Yoğun konvansiyonel tarım giderek toprak ekolojisinde fizikokimyasal koşullarda kalıcı değişimlere, toprak biyolojik sağlığının, çeşitliliğinin ve kalitesinin bozulmasına, toprak verimliliğinin kademeli olarak kaybına neden olmuştur. Sınırsız, uygunsuz ve kesintisiz tuz içerikli sentetik gübre kullanımı toprağı sertleştirmekte, üretkenliği azaltmakta, havayı ve suyu kirleterek toprak dokusunun ve sağlığının bozulmasına yol açmaktadır. Kimyasal gübrelerin yardımıyla bitkiler hızlı büyümekte, ancak kök gelişmesi azalmakta ve hassasiyetleri artmaktadır. Kimyasal gübrelerle N, P ve K yenilense de kullanımıyla toprak verimliliği ve diğer faydalı besin ve sistemleri yenilenememektedir (Nayak vd., 2018) ve bozulan besin maddeleri temininde oluşturduğu dengesizlik ve stabilite kaybı önlenememektedir. Modern endüstriyel tarım verimi ve gıda bulunabilirliğini artırmış; ancak mevcut gıda sistemleri aynı zamanda toprakların kirlenmesi ve bozulması, azot ve fosfor kirliliği, biyoçeşitliliğin ve küresel habitatın kaybı, tarımsal alanların daha az dayanıklı hale getirilmesi, asitleşme, ötrofikasyon, besin salınımlarını, gübre kalıntılarını ve karbon emisyonlarını etkilemesi su kaynaklarını olumsuz etkilenmesi gibi soruna da yol açmıştır (Çakmakçı vd., 2023). Bu faktörler giderek gelecekte tarımın sürdürülebilirliği açısından bir zorluk haline gelmekte ve sürdürülebilir tarımsal üretim için olası bir alternatif çözüm olarak biyogübrenin geliştirilmesi zorunlu kılmaktadır.

Farklı toksik, sentetik kimyasal gübrelerin tedbirsiz ve aşırı uygulamaları çeşitli çevresel tehlikelere yol açarak insan, hayvan ve ekosistem sağlığına zarar verdiği gibi, su ve/veya rizosfer bölgelerindeki kalıntı kimyasal gübreler doğal ekosistem dengesini bozarak tarımsal üretkenliği engelleyebilmektedir. Su kütlelerinin ötrofikasyonu ve su ekosistemlerinin istikrarsızlaşması çoğunlukla tarım alanlarından gelen gübre akışlarına atfedilmiştir (Deepa ve

Venkateswaran, 2018; Çakmakçı, 2019a). Öte yandan uzun vadeli kimyasal gübremenin toprak asitliğini artırarak ve mikroorganizma sayısını azaltarak toprakta besinsel dengesizliklere ve aynı zamanda asitlenme yoluyla toprak verimliliğinde ve kalitesinde genel bozulmaya neden olduğu bildirilmiştir (Neog, 2018; Çakmakçı, 2019b; Bai vd., 2020; Yan vd., 2020; Nosheen vd., 2021). Ayrıca aşırı kimyasal gübre kullanımından kaynaklanan toprak asitlenmesi nedeniyle toprağın organik maddesi azalabilmektedir (Naher vd., 2016). Bu nedenlerle faydalı mikrobiyomların sürdürülebilir tarım uygulamalarında biyogübre olarak uygulanması, toprak verimliliğini ve bitki büyümesini iyileştirmeye yönelik yenilikçi ve çevre dostu bir teknoloji olarak ortaya çıkmıştır (Bertola vd., 2019; Murgese vd., 2020; Fasusi vd., 2021).

Bitki gelişmesini teşvik eden bakteriler (BGTB), biyolojik azot fiksasyonu, inorganik ve organik P, K, Zn ve Fe gibi elementlerin çözülmesi ve mineralizasyonu yoluyla alınabilirliğinin sağlanması, siderofor, amonyak, salisilik asit ve indol asetik asit (IAA), sitokininler, gibberellinler ve etilen gibi bitkisel hormonlar, bazı uçucu maddeler, ekzo-polisakkaritler, bitki büyüme düzenleyicileri ve uçucu organik bileşiklerin üretilmesi; 1-aminosiklopropan-1-karboksilat (ACC) deaminaze aktivitesi; bitki etilen seviyesinin ve stres etileninin düşürülmesi; temel elementlerin geri dönüşümü ve topraktan alınması; organik maddenin mineralizasyonu, ağır metal mobilizasyonu, rizosferin düzenlenmesi, toprak oluşumu ve agregasyonu; kok zarlari geriliminin azaltılması; çoğunluk algılaması, biyofilm formasyonunun azaltılması, organik kirleticilerin ve pestisitlerin parçalanması; bitki-mikroorganizma simbiyotik ilişkilerinin iyileştirilmesi ve β -1,3-glukanaz, kitinazlar, antibiyotikler, floresan pigment ve hidrojen siyanit (HCN) üretme ve indüklenen sistemik direnç gibi mekanizmalarla dolaylı olarak bir biyokontrol ajanı olarak hareket etme ve sistemik direncin teşvik edilmesi mekanizmalarıyla bitki gelişmesini etkilemektedir (Çakmakçı vd., 2001, 2006, 2007a, 2017a; Hayat vd., 2010; Bhattacharyya ve Jha, 2012; Glick, 2012; Duca vd., 2014; Gupta vd., 2015; Çakmakçı, 2019a; Aallam vd., 2023). Bu bakteriler daha çok *Acetobacter*, *Acinetobacter*, *Achromobacter*, *Aereobacter*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Artrobacter*, *Azoarcus*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Beijerinckia*, *Burkholderia*, *Chromatium*, *Cellulomonas*, *Clostridium*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Frankia*,

Herbaspirillum, *Klebsiella*, *Micrococcus*, *Paenibacillus*, *Pseudomonas*, *Rhodobacter*, *Rhodospirillum*, *Serratia*, *Streptomyces*, *Thiobacillus*, *Xanthomonas*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azorhizobium*, *Allorhizobium* ve *Mesorhizobium* cinslerine aittir (Vessey, 2003; Çakmakçı, 2005; Hayat vd., 2010; Çakmakçı vd., 2010, 2017b; Glick ve Gamalaro, 2021; Kumar vd., 2021a; Santoyo vd., 2021).

Araştırmalarda Kolzaya *Serratia*, *Arthrobacter* ve *Pantoea* aşılamalarıyla kolza veriminin %21-44 oranında artırılabilirdiği (Valetti vd., 2018); siderofor ve kitinaz üretici *P. fluorescens* suşunun böğürtlenle bitki gelişmesi, meyve sayısı, toplam fenolikler, flavonoller ve epikateşinlerde artış sağlandığı (Garcia-Seco vd., 2015), *A. brasilense*, *G. diazotrophicus*, *H. seropedicae* ve *B. ambifaria* aşılamaının *Allium cepa* bitkisinde toprak sağlığı, toplam klorofil, verim, toplam fenolik ve antioksidan içeriği, toprak sağlığı ve kullanılabilir fosfor içeriğinin artmasına yol açtığı (Pellegrini vd., 2021); IAA üretimi, ACC deaminaz aktivitesi, P-çözünürlüğü, prolin birikimi ve ekzopolisakkarit (EPS) üretimine sahip *Bacillus pumilus* aşılamaının çeltikte gelişmeyi, kök uzunluğunu, klorofil ve karotenoid içeriğini, bitki ağırlığını artırdığı ve katalaz ve süperoksit dismutaz antioksidan enzim aktivitesinde ve alkalın fosfataz, asit fosfataz, üreaz ve β -glukosidaz gibi toprak enzim aktivitesinde önemli iyileşmeler sağlandığı (Kumar vd., 2021b) ve IAA ve GA üretici, tuza toleranslı *Pseudomonas psychrotolerans* aşılamaının mısır biyokütlesini, klorofil içeriğini, flavonoid ve polifenol gibi antioksidan içeriğini önemli ölçüde arttırırken prolin içeriğini düşürdüğü (Kubi vd., 2021) bildirilmiştir. Çeşitli mikrobiyal aşılamaınların uygulanması aynı zamanda tarımsal ürünün kalitesini artırabilir ve tarımsal ürünlerin üretkenliğindeki iyileşmenin yanı sıra fonksiyonel ikincil metabolitlerin sentezini de destekleyebilir (Çakmakçı vd., 2020; Kumar vd., 2016, 2022). Nitekim BGTB aşılamaınların, aromatik bitkilerin verimliliğini artırma konusunda açık bir potansiyele sahip olduğu, ikincil bitki metabolizmasını uyarabildiği, uçucu yağ verimini artırıp ve yağ bileşimini değiştirebildiği ve gıda ve kozmetik endüstrisindeki çeşitli uygulamalar için monoterpenerin ve fenolik bileşiklerin birikimini etkileyebildiği bildirilmiştir (Kutlu vd., 2019). Yüksek girdili konvansiyonel tarım sistemlerinde N, P ve K aşırı kullanımı ve kullanım etkinliğinin düşük olması nedeniyle kaynak kirliliğine neden olmakta, bitki

besleme ve koruma amacıyla mikroorganizma kullanımı sürdürülebilir ve çevre dostu teknolojilerin geliştirilmesini zorunlu hale gelmektedir (Zhang vd., 2021). Faydalı bakterilerden geliştirilen Biyolojik gübreler, toprağın üretkenliğini ve sürdürülebilirliğini sağlamak, aynı zamanda çevreyi güvenli tutmak, kirlilikten arındırmak, ekonomik olmak ve bitkilere yenilenebilir besin kaynağı sağlamak amacıyla sürdürülebilir tarım sisteminin entegre besin yönetimi stratejilerinin hayati bileşenleri arasında yer almaktadırlar (Yadav ve Sarkar, 2019; Mahmud vd., 2021). Bu makalede biyolojik gübre olarak kullanılan BGTB etki mekanizmaları değerlendirilmiştir.

BITKİ GELİŞİMİ ÜZERİNE BGTB DOĞRUDAN ETKİ MEKANİZMALARI

Biyolojik Azot Fiksasyonu

Mikroorganizmalarca bitki gelişiminin teşvik edilmesinde temel mekanizma azot fiksasyonudur (Şahin vd., 2004). Mikroorganizmalar, karmaşık nitrojenaze enzim sistemini kullanarak nitrojeni amonyağa dönüştürür. Azot fiksedenden organizmalar baklagillerdeki Rhizobia ve baklagil olmayan Frankia gibi ağaçsı türlerde görülen simbiyotik fiksasyon ve serbest yaşayan, asosyatif ve endofitiklerin oluşturduğu simbiyotik olmayan azot bağlayıcı formlar olarak ikiye ayrılır. Biyolojik azot fiksasyonu, bazı bakteriler, aktinomisetler ve mavi-yeşil algler yardımıyla hava elementel azotunun indirgenerek amonyağa dönüştüren bir işlemdir. Mikroorganizmalar tarafından atmosfer azotunun yılda yaklaşık olarak $2-2,5 \times 10^{11}$ kg NH_3 (200-250 milyon ton) olarak fiksedilebildiği vurgulanmıştır (Rascio ve La Rocca, 2013; Shahwar vd., 2023). Toplam azotun %70'i biyolojik azot fiksasyonu ile mikroplar tarafından, %30'u ise kimyasal ve fiziksel işlemlerle sabitlenir (Pathak ve Kumar, 2016). Elli yıllık değerlendirmelere dayanılarak mısır, pirinç ve buğdaydaki toplam nitrojenin %24'e kadarının simbiyotik olmayan nitrojen fiksasyonundan sağlandığı sonucuna varılmıştır (Ladha vd., 2016). Yüksek azot fiksasyon, ACC deaminaze ve fosfat çözme yeteneğine sahip bakterilerden geliştirilen çoklu mikrobiyal gübre formülasyonları Hayrat Türk çay klonunda gövde çapı, bitki yüksekliği, yaprak verimi, klorofil ve antioksidan içeriği ve yaprak alanı artırmış; polifenol oksidaz (PPO), peroksidaz (POD), 5-Dehidroshikimat redüktaz (DHSK) ve alkol dehidrogenaz (ADH) gibi oksidatif, katalitik, hidrolitik ve antioksidan enzim aktivitesi dahil gelişmeyi

teşvik etmiştir (Çakmakçı vd., 2016). Biyolojik azot fiksasyonu ve besin maddelerinin kökler tarafından alınımının artırılması, bitki büyümesini teşvik eden temel etki mekanizması olarak önerilmektedir (Bittencourt vd., 2023).

Azot dünyanın çoğu bölgesinde noksanlığı duyulan ve üretimi sınırlayan temel bitki besin elementidir. Bütün canlıların temeli olan protein ve nükleik asitlerin esas kısmını nitrojen oluşturur. Buna rağmen N_2 biyolojik sistemler tarafından doğrudan kullanılamaz. Bazı mikroorganizma türleri, biyolojik azot fiksasyonu (BAF) ile atmosferik azotu (N_2) nitrojenaz enzimi yardımı ile kullanılabilir forma (NH_4) dönüştürmektedir. Atmosferik N_2 diazotroplar tarafında kontrol edilen, kofaktör olarak Fe'ye sahip dinitrojenaz redüktaz ve kofaktör olarak Fe ve Mo ile dinitrojenazdan oluşan nitrojenaz enziminin yüksek oranda korunmuş demir-protein alt birimini kodlayan nifH geni tarafından katalize edilmekte ve amonyuma (NH_4^+) indirgenmektedir. Gübre azotu imalinde yüksek miktarda fosil enerji kullanılmakta, oysa BAF'ın gerektirdiği enerji fotosentez yoluyla sağlanmakta ve maliyeti bulunmamaktadır. Bu nedenle BAF çevre dostu yaklaşımlardan biri durumundadır ve biyolojik gübre geliştirilmek BGTB tarafından bitki gelişimini teşvik mekanizmalarından başında gelmektedir.

Organik ve İnorganik Fosfat Çözünürlüğü

Azottan sonra önemli ikinci element olan P topraklarda çoğunlukla çözünemez formda olduğu için yaklaşık %0,1 oranında bitkiler için alınabilir durumdadır. Gübreleme yapılması veya topraktaki miktarının yeterli olması durumunda dahi, fosforun bitki tarafından alım etkinliği oldukça düşük olmaktadır. Çözünebilir inorganik P asit topraklarda Fe ve Al, alkali topraklarda ise Ca tarafından immobilize olup alınamaz forma dönüşmektedir. Başta fosfat çözücü bakteriler (FÇB) olmak üzere, fosfat çözücü mikroorganizmalar inorganik fosfatın çözünmesi ve organik fosfatın ise mineralizasyonu ile fosforu alınabilir forma dönüştürmektedir. Bitki gelişimini teşvik mekanizmalarından biri BGTB tarafından P çözünürlüğüdür. Mikroorganizmalar, asitler ve diğer mekanizmalarla toprağın pH'sını azaltarak, dikalsiyum fosfat, trikalsiyum fosfat, hidroksiapatit ve kaya fosfat gibi çözünmez P'nin çözülmesine ve bitkilerce alınmasına yardımcı olur. P noksanlığı topraktaki organik ve inorganik P formlarıyla ilgili ve fosfor

kaynaklarının da sınırlı olması nedeniyle fosfor çözücü mikroorganizmaları içeren biyolojik gübrelerin topraktaki alınabilir P seviyelerini ve bitkisel üretimin sürdürülebilmesi için yeni ufuklar açıcı olduğu açıktır (Rizvi vd., 2021).

Fosfat çözücü bakterilerin oksalik asit, fumarik asit, formik asit, α -ketoglutarik asit, laktik asit, maleik asit, propandioik asit, asetik asit ve akrilik asit gibi düşük moleküler ağırlıklı organik asitler ürettiğini gözlemlenmiş ve bitki ve toprak sağlığı üzerindeki olumlu etkileri ortaya konulmuştur (Song vd., 2021). *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Azotobacter*, *Enterobacter*, *Thiobacillus*, *Rhizobium*, *Mesorhizobium*, *Beijerinckia*, *Serratia*, *Microbacterium*, *Pantoea*, *Flavobacterium* ve *Erwinia* cinslerine ait bakteri türlerine ait bazı suşlar fosfat çözünebilir en önemli bakteriler olarak rapor edilmektedir (Etesami vd., 2017; Alori vd., 2017; Bhojiya vd., 2022). Önceki çalışmalarda, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Paenibacillus*, *Stenotrophomonas*, *Arthrobacter*, *Serratia* ve *Burkholderia* cinslerinin çay rizosferinde en yaygın azot fikseden bakteriler (AFB) ve fosfat çözücü bakteriler (FÇB) olduğu; *Bacillus pumilus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus laevolacticus*, *Pseudomonas fluorescens* ve *Stenotrophomonas maltophilia* çay rizosferi topraklarında en yaygın olarak FÇB ve AFB türleri olarak izole edilmiş ve rapor edilmiş türlere ilaveten (Varmazyari ve Çakmakçı, 2018); *Bacillus circulans*, *Bacillus coagulans*, *Bacillus fusiformis*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus chitinolyticus*, *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas striata*, *Thiobacillus ferrooxidans* ve *Rhizobium leguminosarum*, bakteri türlerinin ve ilaveten *Aspergillus awamori*, *A. niger*, *A. flavus*, *A. terreus*, *Penicillium bilaai* ve *Penicillium oxalicum* gibi mantarların temel fosfat çözücüler olduğu bildirilmiştir (Çakmakçı vd., 2010; Sharma vd., 2013; Hajjam ve Cherkaoui, 2017; Selvi vd., 2017; Kumar vd., 2018; Gurbanov vd., 2021). Bakteriyel yeterlilik mekanizmalarının araştırıldığı son çalışmalarda *Rhizobium* sp. suşlarının kolonizasyon özelliği, hidrojen peroksite direnç gösterdiği, biyofilm oluşturduğu, fosfor çözme ve siderofor üretme yeteneği gösterdiği ortaya konulmuştur (Amaya-Gómez vd., 2020). Toprakta P ve K alınabilirliğini artıran fosfat çözücü *Streptomyces bellus* ve *S. saprophyticus* üzerini yürütülen araştırmalarda *S. saprophyticus*'un şeker

pancarında verimi artırdığı ekolojik ve sürdürülebilir bir biyogübre olarak kullanılabileceği vurgulanmıştır (Aallam vd., 2023).

Potasyum Çözünürlüğü

Topraklarda bol bulunması nedeniyle yakın dönemlere kadar K uygulaması fazla ilgi görmemiş ve uygulaması yetersiz kalmış ve giderek K noksanlığı P ve N kullanım etkinliğinin azalmasına neden olmaya başlamıştır. Tarımda N ve P kadar önem verilmeyen K sürdürülebilir mahsul üretimi için hem yoğun hem de yaygın tarım sistemlerinde giderek ihtiyaç haline gelmektedir. K'nın bitkiler tarafından alımı, çözünür formda daha az bulunması nedeniyle sınırlıdır. Toprakta K, çözültü halinde K, değiştirilebilir K, değiştirilemez veya sabit K ve mineral K olarak dört formda bulunur. Toprakta K'nın %80-90 çözünmeyen mineral formda, %1-10'luk kısmı kil minerallerinin ara katmanlarında fiks edilmiş, üçüncü bir formu ise bitki, erozyon, sızıntı ve yıkanma ile uzaklaştırılmasına yanıt olarak toprak çözeltisinde bulunur. Topraklardaki K miktarının ancak %1-2'lik kısmı kullanılabilir formdadır ve çoğu toprakta bitkiler için bu yeterli değildir (Meena vd., 2015; Soumare vd., 2023). Öte yandan K alımının sadece K içeriğine bağlı olmadığı, Ca ve Mg tarafından engellendiği de bilinmektedir.

Potasyum, bitkinin fizyolojik ve metabolik süreçlerinde önemli bir rol oynayan ve biyotik ve abiyotik streslere karşı direnç sağlayan önemli bir bitki besin maddesidir ve toprak sistemindeki %90-98 K rezervi değiştirilemez olduğundan mineral kaynakları, bu minerali etkili bir şekilde çözebilmek ve bitkilerin kullanımına sunabilmek için verimli rizosferik etkin mikroorganizmalara gereksinin vardır. Potasyum çözücü mikroorganizmalar (PÇM) bitki iyileştirilmesi için K talebini karşılamak için etkili ve sürdürülebilir bir alternatif olabilir (Boubekri vd., 2021). Topraklarda organik asit üretici *Bacillus edaphicus*, *B. mucilaginosus*, *B. megaterium*, *B. licheniformis*, *B. circulans*, *B. pasteurii*, *B. cereus*, *Burkholderia cenocepacia*, *Paenibacillus glucanolyticus*, *Agrobacterium tumefaciens*, *Rhizobium pusense*, *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Enterobacter cloacae*, *Enterobacter hormaechei*, *Klebsiella variicola*, *Azotobacter chroococcum*, *Paenibacillus* sp., *P. putida*, *P. fluorescens*, *Pseudomonas* sp., *Burkholderia* sp., *Arthrobacter* sp. ve *Sphingomonas* sp. gibi rizobakteriler ve *Aspergillus terreus*, *A. niger*,

Glomas mosseae, *G. intraradices*, *Aspergillus* sp. ve *Penicillium* sp. ve Arbuscular mycorrhizae gibi mantarlar başta feldspat ve mika olmak üzere (%90-98), ortoklaz, muskovit, biyotit, illit, alüminosilikat gibi K minerallerinin çözünmesinde görev alır (Zarjani vd., 2013; Zhang ve Kong, 2014; Sattar vd., 2019; Ali vd., 2021). Potasyum çözücüler, bakteriler, arbusküler mikorizal mantarlar ve mantarları kapsamakta ancak potasyum çözücü bakteriler (PÇB) minerallerinin çözünmesinde merkezi bir rol oynamaktadır. Araştırmalar topraklarda K çözücü bakteri türlerinin çoğunlukla *Bacillus* (%34) ve *Pseudomonas* (%20); mantarlarda ise *Penicillium* (47%), *Aspergillus* (20%) ve *Trichoderma* (20%) türleri olduğunu göstermiştir (Soumare vd., 2023). Ayrıca bu mikroorganizmalar bitkisel hormonların üretimi, azot fiksasyonu, fosfor çözünmesi, kök sisteminin genişlemesi ve antibiyotik üretimi gibi diğer yararlı etkilere de sahip olabilir.

Temel olarak organik asitlerle ilişkili protonlar rizosferin pH'ını düşürür ve Fe, K ve Mg gibi temel katyonların çözünürlüğünü artırır. Ayrıca mikrobiyal solunum, partiküllerin parçalanması ve çözülmüş organik karbon mineral yüzeylerdeki karbonik asit konsantrasyonunu yükseltir ve mineral ayrışma artar (Meena vd., 2014; Basak vd., 2016). Mikroorganizmalar dolaylı yollarla K silikata bağlı katyonların şelasyonu, değişim reaksiyonları, mineral yüzeylere doğrudan eklenmesiyle çözüldürme, metal kompleks ligandları ve fitohormonların salınımı gibi dolaylı yollarla da K minerallerini çözüldürür. Organik asitlerin şelatlama yeteneği dolaylı önemli bir K çözme mekanizmasıdır (Meena vd., 2014, 2015). Mikropların ürettiği kapsül ekzopolisakkaritlerin (EPS), organik asitlerce adsorbe edilmesi ve mineral yüzeyine bağlanmasıyla birlikte minerallerin üzerinde veya çevresinde yüksek organik asit konsantrasyonu oluşması rizobakterilerin K minerallerini çözüldürebilmesinin başka bir potansiyel yoludur (Liu vd., 2012).

Bazı mikrobiyal türler, rizosferik mineral yüzeyleri üzerinde biyofilm oluşturur ve organik asitleri, metabolitleri serbest bırakır ve K mineralinin ayrışma-çözünmesine ve bitkiler tarafından alınımına yardımcı olur (Nagaraju vd., 2017). Ayrıca mikroplar tarafından sızan birincil proteinler, hücre dışı polimerler ve polisakkaritler katalizör görevi görür ve besinlerin karmaşık mineral yapılardan mobilizasyonuna yardımcı olur. Araştırmalar, BGTB'nin asitleştirme yoluyla kayaçlardan K çözdüğü, kimyasal gübre kadar bitki

gereksinimini tam olarak karşılamasa da K alınabilirliğini önemli ölçüde artırabileceğini göstermektedir (Imran vd., 2020; Laxita ve Shruti, 2020). Özellikle yerli BGTB tarım topraklarındaki K eksikliğinin azaltılmasında uygulanabilir bir teknoloji olarak ortaya çıktığı ve bu yolla sentetik gübrelerin çevre dostu yaklaşımla büyük ölçüde azaltabildiği vurgulanmıştır (Ahmad vd., 2016; Meena vd., 2018; Sattar vd., 2019). Doğal K döngüsünde ve çözünmeyen K içeren minerallerin hızlı çözünmesinde kilit rol oynayan, sentetik gübre uygulamasına kıyasla sürdürülebilir ve çevre dostu toprak mikroorganizmalarını artırma ve kullanımının faydalı ve ekonomik olduğu gösterilmiştir (Diep ve Hieu, 2013; Zhang ve Kong, 2014).

Çinko Çözünürlüğü

Bitkiler küçük bir yüzdesi çözünür halde bulunan çinkoyu iki değerlikli kation olarak alabilmekte ve çinko noksanlığı en yaygın mikro besin eksikliğidir. Dünya çapında çoğu topraklardaki Zn eksikliği nedeniyle (Çakmak vd., 2017), çinko çözücü bakteriler (ÇÇB) önemlidir. *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Azospirillum* ve *Rhizobium* türlerinin buğdayda Zn alımını önemli ölçüde arttırdığı gösterilmiştir (Naz vd., 2016). Şeker kamışı ve buğday rizosferlerinden *Pantoea dispersa*, *P. fragi*, *P. agglomerans*, *Rhizobium* sp. ve *E. cloacae* gibi birkaç ÇÇB'nin, saksıda buğdayın Zn içeriğini ve büyümesini iyileştirdiği bildirilmiştir (Kamran vd., 2017). Buğdayda *Pseudomonas* (Joshi vd., 2013), mısırdaki *Bacillus* (Hussain vd., 2015), buğday ve soyada *B. aryabhatai* (Ramesh vd., 2014) ve çeltikte birkaç ÇÇB (Perumal vd., 2019) aşılmasıyla Zn çözünürlüğü ve alımının arttığı ortaya konulmuştur. Öne çıkan çinko çözücü suşların *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Rhizobium* sp., *Bacillus aryabhatai*, *B. megaterium*, *B. pumilus*, *B. cereus*, *P. polymyxa*, *Ochrobactrum intermedium*, *P. pseudoalcaligenes*, *T. thiooxidans*, *S. maltophilia*, *A. globiformis* ve *Azospirillum* sp. olduğu bildirilmiştir (Ijaz vd., 2019; Jha, 2019; Naseer vd., 2020; Batool vd., 2021).

Sülfür Oksitleyen Mikroorganizmalar

Makrobesin kükürt, sistein, sistin ve metiyonin gibi amino asitler gibi makromoleküllerin bir bileşeni olması ve ayrıca süperoksit dismutaz, askorbat peroksidaz, monodehidro-askorbat redüktaz, dehidro-askorbat redüktaz ve glutatyon redüktaz gibi çeşitli enzimlerin düzenlenmesinde rol oynaması

nedeniyle bitkiler tarafından yüksek miktarda ihtiyaç duyulur. Topraktaki organik ve inorganik kükürtün alınabilir SO_4^{2-} formuna dönüştürülmesi işlemi *Xanthobacter*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Thiobacillus*, *T. ferrooxidans*, *T. thioparous* ve *T. thiooxidans* gibi sülfür oksitleyici bakteriler (SOB) tarafından gerçekleştirilir (Joseph vd., 2014; Riaz vd., 2020). Sülfür kükürt oksitleyici *Thiobacillus* sp. aşılması mısır azot alımı ve sarımsakta soğan ağırlığını ve çapını artırdığı (Pourbabaee vd., 2020), kükürt oksitleyici mikroorganizmalardan alkali toprak koşullarında soğan, yulaf, zencefil, üzüm, sarımsak ve karnabahar için potansiyel biyogübre olarak faydalanılabileceği (da Silva Júnior vd., 2018; Macik vd., 2020) bildirilmiştir.

Siderofor Üretimi ve Demir Alımının Teşviki

Demir oksijenli (aerobik) ortamlarda Fe^{3+} olarak bulunur kolaylıkla hidroksitleri ve oksihidroksitleri oluşturur (Ghazy ve El-Nahrawy, 2021). Demir, siderofor salgılanması yoluyla elde edilir ve bu sideroforlar, düşük molekül ağırlıklı şelatlayıcı bileşiklerdir. Sideroforlar, çevredeki ferrik demirin (Fe^{3+}) şelasyonuna yardımcı olan düşük moleküler ağırlıklı demir bağlayıcı protein molekülleridir. Aerobik ortamlarda demir Fe^{3+} formunda bulunduğu için bitkiler demirin çoğunu alamazlar. Bakteriler, Fe elde etmek için kompleks Fe için güçlü bir afiniteye sahip düşük moleküler ağırlıklı Fe şelatörleri olan sideroforlar salgılar. Sideroforlar, Fe eksikliği olduğunda minerallerden ve organik moleküllerden Fe için çözücü maddeler olarak işlev görür. Şelatlama ve salma, siderofor Fe komplekslerinin doğrudan alımı ve ligand değişim olayları gibi çeşitli yöntemler, bitkiler tarafından bakteriyel sideroforlardan demiri emmek için kullanılır (Daniel vd., 2022). Düşük Fe ortamlarında, Fe'ye karşı yüksek afiniteye sahip siderofor metabolitleri mekanizmasını kullanan mikroorganizmalarca mikrobiyal membranlarda Fe^{3+} -mikrobiyal siderofor kompleksleri oluşmakta akabinde ve Fe^{2+} 'ye indirgenir, bitkiler, Fe-siderofor komplekslerinden veya ligand değişim reaksiyonları yoluyla bakteriyel sideroforlardan Fe^{2+} 'ye erişir ve bunları doğrudan asimile ederler (Wang vd., 2022).

Mikrobiyal sideroforlar mineral ve organik kaynaklı Fe çözücü olarak çalışır, doğada fazla bulunan çözünmez Fe^{3+} ile kompleks oluşturur, hücre zarı tarafından alınan Fe^{3+} burada Fe^{2+} indirgenir ve hücreye salınıp bitkilere Fe

sağlanır. Sideroforlar şelatlayıcı bileşiklerdir, Fe^{3+} ile kompleks oluşturur ve Fe^{3+} formu Fe^{2+} 'ya indirgenir ve hücreye salınır. Demir mobilizasyonunun yanı sıra sideroforlar, *Azotobacter vinelandii* için molibden ve vanadyumun (nitrojenaz kofaktörleri) alımında da rol oynar (McRose vd., 2017). Siderofor üreten bakterilerin büyümenin desteklenmesinde ve biyokontrol aktivitesinde önemli rol oynadığı bulunmuştur.

Öte yandan, sideroforlar, rizosferdeki demiri şelatlayarak ve böylece bu metale bağımlı olan patojenlere karşı kullanılabilirliğini azaltarak bitkiyi mikrobiyal patojenlerden korur. Fe eksikliği koşullarında *P. fluorescens* suşu gibi bazı BGTB fazla miktarda patojenler tarafından kullanılmayan spesifik siderofor (Pyoverdine ve pyochelin vb.) üreterek patojenleri şiddetli Fe eksikliğine maruz bıraktığı ve onları pasif hale getirdiği bildirilmiştir (Rajkumar vd., 2010).

Bitkisel Hormon Üretimi

Bakterilerce fitohormon üretimi ve salgılanması bitki gelişimini etkileyen temel mekanizmalardan biridir. Faydalı bakteriler tarafından besin elementlerinin çözünmesi ve azot fiksasyonu dışında, bitki gelişimini teşvik eden diğer önemli bir mekanizma, bitki gelişiminde sinyal molekülleri olarak bilinen oksinler, gibberellinler, sitokininler, etilen ve absisik asit gibi fitohormonların sentezidir (Glick, 2012; Çakmakçı vd., 2020). BGTB'nin bitki büyümesini teşvik ettiği mekanizmalardan biri olarak IAA üreten bakteriler bitki gelişmesi, hücre uzamasında, köklenme ve kök oluşumunda hayati rol oynamakta, yan kökleri ve kılcal kökleri, kök ve sürgün gelişimini ve verimi teşvik eder (Çakmakçı vd., 2006, 2007b; Aslantaş vd., 2007; Çakmakçı, 2016). BGTB tarafından az miktarda üretilse de bitkisel hormonlar bitki gelişmesini modüle etmekte (Haerani vd., 2021) ve farklı abiyotik streslere karşı bitki toleransı süreçlerinde önemli rol oynamaktadır (Santhi vd., 2021). Azot fikseri, P çözücü ve IAA üretici bakteri aşılamaalarının tek yıllık yazlık kekikte (*Satureja hortensis*) gelişme, uçucu yağ oranı, verimi ve yağ bileşenlerini artırdığı, BGTB aşılamaalarının ve özellikle bakteriyel hormon üretiminin tıbbi ve aromatik bitkilerde monoterpen birikimi ve ikincil metabolizmayı uyarmak için etkili bir biyoteknolojik araç olabileceği bildirilmiştir (Mosber vd., 2019). Hormon üretimiyle fitostimülasyonun özelliği olan mikroorganizmaların besin

çözme ve azot fiksetme özelliklerine sahip olması biyolojik gübrelerde aranan özelliklerdir.

Bitkiler ve bakteriler çok düşük konsantrasyonlarda belirli fitohormonları veya bitki büyüme düzenleyicilerini sentezler; bunlar kök ve sürgün büyümesini, şeklini, çiçeklenmesini, yaşlanmasını ve tohum büyümesinin yanı sıra hücre bölünmesi, gelişme, gen ekspresyonu ve stres tepkileri gibi çeşitli fizyolojik süreçleri etkiler (Malik ve Sindhu, 2011; Khan vd., 2020). Fitohormonların kılcal kök uzunluğunu ve köklerin yüzey alanını arttırdığı ve böylece bitki köklerinin besin ve su alma yeteneği geliştirdiği (Tsegaye vd., 2017); fitohormon üretimi nedeniyle artan metabolik aktivite, savunmaya, hücrenin normal işleyişine ve abiyotik stres yönetimine yardımcı olduğu (Khan vd., 2020), BGTB biyotik ve abiyotik stresler sırasında hormon salgıladığı veya bitki içindeki hormon konsantrasyonunu değiştirebildiği vurgulanmıştır (Kumar vd., 2022).

Asma rizosferinden izole edilen *B. licheniformis* ve *P. fluorescens* suşlarının ABA, IAA ve gibberellin üretebildiği (Salomon vd., 2014), *P. putida* suşunun bitkinin kök ve sürgünlerindeki ABA, gibberellik asit ve sitokinin'in içeriğini değiştirebildiği ve su stresini azalttığı bildirilmiştir (Ghosh vd., 2019). Rizosfer topraklarından izole edilen *Streptomyces caniferus* suşunun çeltik koleoptil ve kök gelişmesini artırmış, bu bakteriden izole edilen guvermeğin olarak adlandırılan yeni bir bitki büyüme düzenleyicinin kök ve koleoptil büyümesini, kardeşlenmeyi, verimi ve erken olgunlaşmayı teşvik ettiği ortaya konulmuştur (Liu vd., 2022). Bakteriyel GA'lar, tohum çimlenmesi, gövde uzaması, amilolitik enzimlerin aktivasyonu ve sentezi, bitkilerde çiçek oluşumu ve meyve büyümesi gibi maksimum biyolojik aktivitelere neden olur. GA bitkide kök sürgün uzamasını, kılcal kök gelişmesini, tohum çimlenmesini, çiçeklenmeyi ve meyve tutumunu ve diğer gelişim süreçlerini tetikler (Kang vd., 2019).

Aminosiklopropan Karboksilat (ACC) Deaminaze Üretimi

Biyotik ve abiyotik stres koşullarında bitkiler genellikle “stres etileni” üreterek strese tepki verir. Stresin teşvik ettiği aşırı etilen kök uzamasını, yumrucuk oluşumunu, kök gelişmesini ve oksin taşınmasını engellemekte, bitki yaşlanması ile yaprak yaşlanma ve dökülmesini hızlandırmaktır. Bakteriler

enzimlere etki ederek bitkilerde bazı fizyolojik değişikliklere neden olmaktadır. Bu enzimler içinde ACC deaminaze bitki etilen hormonunun ayarlanması ile bitki büyüme ve gelişimini değiştirmede önemli rol oynamaktadır (Çakmakçı, 2009). ACC deaminaze üretebilen bakteriler bitki kök etilen miktarını azaltmakta dolayısıyla kök uzama ve gelişmesini teşvik etmektedir.

BGTB; bitki besin elementlerinin alınabilirliğini ve alımını teşvik ederek bitkiye besin kaynağı sağlanmasına ilave olarak, ACC deaminaze aktivitesi yoluyla bitki etilen düzeyini azaltarak, kök uzama ve gelişmesini ve bitki gelişmesini doğrudan teşvik etmektedir (Glick, 1995; Penrose ve Glick, 2001; Çakmakçı, 2009). ACC deaminaze enzimine sahip bakteri köklerdeki etilenin biyosentezinde öncü olan ACC'yi α -ketobütrat ve amonyuma dönüştürerek, bitki gelişimini engelleyen 'stres etileni' üretimini kontrol edebilmektedir (Honma ve Shimomura, 1978). Bu yolla ACC deaminaze enzimi üretebilen bakteriler stresin neden olduğu etilenin olumsuz etkilerini azaltabilmektedir (Glick vd., 1998; Safronova vd., 2006). Bitki köklerindeki stres hormonu etilen konsantrasyonunu düşüren ACC deaminaz üreten BGTB suşlarının aşılınması, bitkileri abiyotik strese karşı korur. BGTB bitki etilen seviyesini düşürerek özellikle etilenin köklerdeki önleyici fonksiyonlarını azaltıp kök gelişmesinin iyileştirilmesi yoluyla bitki gelişmesini artırabilir.

ACC deaminaze aktivitesine sahip bakteriler kullanılarak tuzluluk ve kuraklık stresi başta olmak üzere, su basması veya aşırı su, sıcaklık stresi, patojen stresi, ağır metal stresi, organik kirletici stresi, hava kirliliği stresi ve rizobiyal enfeksiyonlara karşı belli ölçüde koruma sağlanabilmektedir. Stres etileninin azaltılması ile stres koşullarına bitki dayanıklılığı artırılabilen ve çiçeklerin solmasının geciktirilmesi sağlanabilmektedir. Tuza toleranslı, ACC deaminaz pozitif ve fitohormon üreten *Staphylococcus sciuri* aşılmasının şeker kamışında köklere besin maddesi alımı ve kök-gövdeye translokasyonunu sağladığı, lipit peroksidasyonunu azalttığı ve gelişmiş antioksidan enzim aktiviteleriyle daha iyi fotosentetik verime yol açtığı ve tuzlu koşullar altında şeker kamışı büyümesinin artmasına neden olduğu bildirilmiştir (Abbasi vd., 2023). ACC deaminaze içeren, IAA üretici, biyolojik azot bağlama ve fosfat çözme yeteneğine sahip bakteri uygulamaları, şeker pancarının şeker oranı, kök ve yaprak verimi, yaprak klorofil içeriği, makro ve mikro besin elementi alımı dahil gelişmeyi teşvik etmiş ve ayrıca su kısıtı ve fazla sudan kaynaklanan

stresin etkisinin hafifletilmesinde yardımcı olmuştur (Çakmakçı ve Karagöz, 2020). ACC deaminaze aktivitesi gösteren BGTB esaslı araştırmalarda; bitki gelişimini olumsuz etkileyen aşırı su, organik kirleticiler; nikel, kurşun, çinko, bakır, kadmiyum, kobalt ve arsenik gibi ağır metaller; tuzluluk ve kuraklık stresine karşı bitkilerde korunma sağlanması ve gelişmenin teşviki nedeniyle (Glick vd.,1998; Çakmakçı, 2009) biyogübre oluşumu için bu bakteriler potansiyel biyolojik gübre ajanları olarak kabul edilir.

Besin Alınabilirliği ve Alımının Artırılması

Toprak mikroorganizmaları, topraktaki besin maddelerinin optimum konsantrasyonunu korur, dolayısıyla daha iyi bitki büyümesi ve ürün verimi sağlar (Kumar vd., 2021a). Yararlı BGTB kullanımı yoluyla rizosfer yönetimi, Zn, K ve P ve benzeri minerallerin çözündürülmesi, N fiksasyonu ve fitohormon üretimi yoluyla daha iyi bitki büyümesi için topraktaki besin varlığının artırılmasına yardımcı olur (Sharma vd., 2019). Biyolojik gübre uygulamaları bitkinin metabolizmasını etkilemek, dolayısıyla kök salgılarının bileşimini değiştirmek, besinlerin çözünürlüğünü ve kullanılabilirliğini etkileme ve diğer toprak mikropları ile etkileşimi artırarak toprak besin maddesi seviyelerinin artırılmasına katkı yapmaktadır (Kumar vd., 2022). Besinleri harekete geçiren mikrobiyal aşılama ajanlarının uygulanmasının kök ve sürgün büyümesini teşvik ettiği, besin alımını artırdığı ve farklı tarımsal-çevre koşulları altında tarlada olduğu kadar saksı altında da farklı mahsullerin verimini artırdığı bulunmuştur (Etesami vd., 2021; Patel vd., 2021; Santoyo vd., 2021).

BGTB birçok mekanizma ile bitki mineral alımını teşvik etmektedir. Ancak bitkilerce mineral alımı artışının, normal iyon alım mekanizması ile değil; kök sayısı, kök kalınlığı ve uzunluğu tarafından oluşturulan kök sisteminin hacim artışından kaynaklandığı sanılmaktadır (Biswas vd., 2000). Yüksek K ve Fe alımının kök kalınlığı, yüksek P alımının kılcal kök uçları ile ilişkili olduğu (Gahoonia ve Nielsen, 1998), *Azospirillum* türlerinin bitki N, P ve K alımını artırdığı (Okon ve Kapulnik, 1986), *Bacillus* izolatlarının ise arpa fidelerinde N, P, Mn, Zn ve Cu içeriğinin, arpa ve şeker pancarında verim ve komponentlerinin artışı ve bitkilerin bakterilere tepkisinin doğrudan P çözünmesi ve N fiksasyonuna ilaveten diğer mekanizmalarla ilişkili olduğu

bildirilmiştir (Çakmakçı vd., 1999, 2007 b). Bakteri aşılama zar aktivitesini ve kökte proton akımını etkileyebilmekte, ikincil kök sayısının artması ve kılcal köklerin ve kök uçlarının genişlemesi kök yüzey alanını artırmakta ve bitkinin su ve besin alım etkinliği artmaktadır.

Mikroorganizmalar bitkilerin rizosferinde, yüzeylerinde veya iç kısımlarında kolonileşebilmekte, bir yandan fiksasyon, mineral çözünürlüğü ve organik bileşiklerin mineralizasyonu ile besin alınabilirliğini, öte yandan artan besin kullanım etkinliği için konukçu bitkide morfo-fizyolojik değişiklikleri yönlendiren oksin, sitokinin, gibberellin, absisik asit gibi hormonal etki yoluyla besin emiliminin artırılması ile bitki büyümesini teşvik edebilmektedir (Spaepen vd., 2014; Olivares vd., 2017; Santos vd., 2019). Besin maddelerinin kökler tarafından alınımının artırılması ve azot fiksasyonu bitki gelişmesinde temel bakteri etki mekanizması olarak kabul edilmektedir (Bittencourt vd., 2023). BGTB'lerin besin alımı üzerindeki olumlu etkileri bakteriyel IAA üretimi, N₂ fiksasyonu, P çözünürlüğü, ACC deaminaz aktivitesi ve diğer bitki büyümesini teşvik eden değerlendirilmemiş mekanizmalarla ilgilidir (Çakmakçı, 2016).

Antioksidan Enzimlerinin ve Strese Dayanıklılığın Artırılması

BGTB, kuraklık ve oksidatif strese dayanıklılık ve su kullanımını artırabilmektedir. BGTB aşılama bitki yapraklarında oksidatif strese karşı belli ölçüde bir savunma mekanizmasını geliştirmekte; bitkilerde oksidatif, katalitik, hidrolitik ve antioksidatif enzim aktivitesini artırmaktadır. Oksidatif strese dayanıklılıkla bağlantılı antioksidan enzim aktivitesi BGTB tarafından artırılabilir (Çakmakçı vd., 2009). Strese karşı bitki dayanıklılığının artırılması için alternatif bir yaklaşım ise strese dayanıklılıkla bağlantılı antioksidan enzimlerinin bakteriler kullanılarak artırılmasıdır. Araştırmalarda BGTB aşılama bitkilerinin ıspanak, buğday, şeker pancarı oksidatif pentoz fosfat yolu glukoz-6-fosfat dehidrojenaz (G6PD) ve 6-fosfoglukonat dehidrojenaz (6PGD) ve antioksidan glutatyon redüktaz (GR), glutatyon S-transferaz (GST) enzimleri birlikte bitki gelişiminin artırılabilirliği ortaya konulmuştur (Çakmakçı vd., 2009, 2007a; Karagöz vd., 2018). Farklı bakteri kombinasyonları, çay klonlarında gelişme, yaprak verimi, klorofil içeriği ve

yaprak makro ve mikro element içeriğine ilaveten, GR, GST, G6PD, PPO, POD, ADH ve DHSK enzim aktivitesini değiştirebilmiştir (Çakmakçı vd., 2015, 2017a; Erduran vd., 2022).

Vitamin Üretimi

Vitaminler bitkiler ve bakteriler tarafından üretilbildiği gibi BGTB tarafından da üretilbilmekte ancak BGTB-bitki etkileşimlerinde spesifik vitaminlerin rollerinin çoğu, hala çok az biliniyor ya da tamamen bilinmemektedir (Palacios vd., 2014). Yeşil bitkiler uygun koşullarda yeterli vitamin sentezlediği; kuraklık, uygun olmayan sıcaklıklar, mineral noksanlığı gibi stres koşullarında vitamin eksikliği görüldüğü ve verimin olumsuz etkilendiği kabul edilmekte ancak, vitamin üretici bakteri aşılmasıyla gelişimin teşvik edilmesi konusunda yeterli bulgu bulunmamaktadır. Bakteriyel vitamin üretimi özellikle metabolizması için gerekli olduğu halde bazı vitaminleri üretemeyen yonca, soya fasulyesi, bezelye, fasulye ve kırmızı yonca gibi bitkilerde BGTB etkileşimi gerekli görülmektedir (Palacios vd., 2014). Normal koşullarda bitkiler yeterli miktarda vitamin sentezlemekle birlikte abiyotik stres koşullarında vitamin eksikliği verimi düşürür ve vitaminler mineral eksikliğinin olumsuz sonuçlarını etkisiz hale getirebilir ve vitamin uygulaması bitki büyümesi ve verimi artırabilir.

Mor kükürt içermeyen bakterilerin bitki gelişmesini teşvik edici özellikleri arasında polifosfat birikimi, pigment ve vitaminlerin üretiminin önemli olduğu (Sakarika, vd., 2019), *Azotobacter* ve *Azospirillum* türlerinin bitki gelişmesini etkileyen B grubu niasin, pantotenik asit, tiamin, riboflavin, siyanokobalamin, piridoksin ve biyotin dahil olmak üzere suda çözünebilen B vitaminlerinin bir kısmını veya tamamını sentezleyebildiğini bildirilmiştir (Revillas vd., 2000). BGTB tarafından üretilen ve üzerinde en fazla çalışılan B grubu vitaminler olmak üzere, tiamin, riboflavin, piridoksin, kobalamin, biyotin, pantotenik asit, niasin, askorbik asit ve pirolokinolin kinon gibi vitaminler bitkilerde hücre metabolizmasının kofaktörü, savunma, sinyal, hormonların sentezi, stresin azaltılması, antioksidan ve gelişmenin teşvikinde rol oynamaktadır (Burgess vd., 2009; Palacios vd., 2014). Bu vitaminlerin üretimi bakımından, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. megaterium*, *P.*

fluorescens, *A. brasilense*, *A. vinelandii*, *S. meliloti*, *Rhizobium* ve *Mesorhizobium* öne çıkan ve fazla çalışılan BGTB türleridir.

Amonyak Buharlaşmasını Azaltmanın Etkinliği ve Mekanizması

Sentetik azot uygulamaları sonucu tarım alanlarından amonyak buharlaşması, antropojenik amonyak emisyonlarının en önemli kaynağıdır. Amonyak buharlaşmasının uygulanan toplam azotun %10-60 oranında kaybına neden olduğu (Sun vd., 2019) ve günümüzde atmosferik azot birikiminin küresel bir çevre sorunu haline geldiği (Zhang vd., 2018; Liu, 2019) vurgulanmıştır. Atmosferik N artışı toprak asiditesi, yüzey suyu ötrofikasyonu ve biyolojik çeşitlilik kaybı gibi sorunlara neden olurken, amonyak emisyonları insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. *Bacillus amyloliquefaciens* biyolojik gübresinin bitkisel verimini iyileştirmek ve tarımsal amonyak emisyonlarını azaltmak için uygun bir strateji olduğunu öne sürülmüştür (Xue vd., 2021). Geleneksel gübre uygulamalarına kıyasla *B. amyloliquefaciens* aşılması azot geri dönüşüm oranını %19 artırırken, amonyak buharlaşma kaybını ise %68 oranında azaltmış (Xue vd., 2021) ve benzer olarak *T. viride* mantarının amonyak buharlaşmasını %42 oranında azaltabildiği gösterilmiştir (Wang vd., 2018). Araştırmalar BG uygulamalarının toprak mikroorganizma çeşitliliğini ve bitki gelişmesini artırdığı gibi azot kaybını azalttığı ve kullanım etkinliğini artırdığını göstermiştir (Sun vd., 2020).

Hidrojen Siyanit (HCN) ve Amonyak Üretimi

Dolaylı yoldan bitki gelişmesini uyarıcılar olarak hidrojen siyanit (HCN) ve amonyak üretimi önemlidir. BGTB'lerin biyokontrol aktivitesi için bir diğer önemli özellik, hidrojen siyanit (HCN) ve amonyak üretimidir ve bazı BGTB her iki bileşiği de eş zamanlı sentezleyerek bitki gelişmesinde sinerjistik bir etki gösterdiği bildirilmiştir (Kumar vd., 2016). Amonyak üretimi, aynı anda patojen istilasını azaltırken konakçı bitkinin nitrojen ihtiyaçlarını karşılamasına yardımcı olabilir. HCN dışında, rizobakteriyel suşlar tarafından üretilen amonyak bitkiye nitrojen sağlar, böylece biyokütleyi ve kök ve sürgünün uzamasını destekler. Fitopatojenlere karşı yüksek toksisitesi nedeniyle, HCN tarımsal ortamlarda bir biyokontrol maddesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. HCN metal iyonlarını şelatlamak için de kullanılır ve bu

nedenle dolaylı olarak fosfat alınabilirliğine katkıda bulunur. HCN'nin metal iyonlarını şelatladığı; topraktaki fosforu kullanılabilir hale getirdiği, fitopatojenlerin büyümesine karşı oldukça toksik etki gösterdiği, HCN üreten BGTB suşlarının tarımda biyokontrol ajanı olarak kullanılmasını sağladığı bildirilmiştir (Rijavec ve Lapanje, 2016; Sehrawat vd., 2022)

Öte yandan kitin (1,4-Nacetylglucosamine) olarak bilinen mantar hücre duvarlarının parçalanmasına neden olan ve patojenlerin büyümesini engelleyen kitinaz üretimi ve jasmonat ve etilen sinyali ile sağlanan uyarılmış sistemik direnç (ISR) bitki hastalıklarına karşı önemli bir savunma mekanizmasıdır. Spesifik rizobakterilerin bitki kökleri ile etkileşimi sayesinde patojen bakteri, mantar ve virüslere karşı bitki direnci oluşturmanın mümkün olduğu rapor edilmiştir (Daniel vd., 2022; Mahmud vd., 2021). Bitkiler patojenik saldırılara sistemik kazanılmış direnç (SAR) ve indüklenen sistemik direnç (ISR) mekanizması ile yanıt verir. Bazı mikroorganizmalar jasmonik asit ve etilen sinyal yoluyla uyarılmış sistem direncini tetiklemektedir. Çeşitli bitki hormonlarının aracılık ettiği uyarılmış dayanıklılıktan, mikroorganizmaların ürettiği elisitör adı verilen flagellin, lipopolisakkaritler ve kitin, alkanlar, terpenoidler, sülfidler, alkoller, fenolik bileşikler, ketonlar antibiyotikler, sideroforlar gibi bazı bileşiklerin sorumlu olduğu bildirilmiştir (Sharifi vd., 2018; Tyagi vd., 2018; Wu vd., 2018). Bu elisitörler, bitki sinyalleme süreci için çok önemli olan ve savunma tepkisinin başlatılmasına yol açan fitohormonları etkileyerek dayanıklılık oluşturur. Ayrıca *Pseudomonas*'ın çeşitli suşları, farklı *Bacillus* sp., *B. pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. cereus* ve *B. mycooides* gibi çeşitli hastalıklara karşı direnç oluşturduğu rapor edilmiştir (Wu vd., 2018).

Enzim ve Antibiyotik Üretimi

Topraktaki bakteri, arke ve mantarlar tarafından salgılanan hücre dışı enzimler, topraktaki yapısal kompleks biyomoleküllerin depolimerizasyonuna ve mineralizasyonuna neden olur. Bakteriyel enzim üretimi biyolojik iyileştirme ve bitki gelişmesini teşvik için manipüle edilebilir. Bakteriler lipazlar, proteazlar, farklı stres koşullarında askorbat peroksidaz (APX), katalaz (CAT), glutatyon/tiodoksin peroksidaz (GPX) ve glutatyon S-transferaz üretebilir ve stresin iyileştirilmesine yardımcı olur. BGTB'ler tarafından enzim

üretimi, fitopatogenleri kontrol etmek için başka bir mekanizmadır. Bakteriler kitinaz, proteaz, lipaz gibi enzimleri ve kitinin, proteinlerin, selülozun ve hemiselülozun yanı sıra mantar patojenlerinin diğer hücre duvarı bileşenlerini hidrolize eden diğer çeşitli enzimleri salgırlarlar. *Rhizobium*, *Bacillus* ve *Pseudomonas* gibi mikroplar, patojenleri parçalayan ve patojenik hastalıklara karşı bitki savunmasını sağlayan hidrojen siyanit salgırlarlar.

Mikrobiyal rekabet sırasında hayatta kalmak için benimsenen en popüler strateji rakip türlere karşı toksik olan antibiyotik üretimidir (Sehrawat ve Sindhu, 2019; Jiao vd., 2021). Antibiyotikler antimikrobiyal, antiviral, antioksidan, antitümör, anti-helmintik, fitotoksik ve/veya sitotoksik aktivitelere sahip olabilir ve ayrıca düşük konsantrasyonlarda bitki büyümesini teşvik eden bileşikler olarak da görev yapabilir. BGTB tarafından üretilen antibiyotikler fitopatogenlere karşı üretilen bir tür antagonistik ajanlardır ve antibiyotik üreten suş hayatta kalır.

BİYOLOJİK (MİKROBİYAL) GÜBRELER

Bitki gelişmesini teşvik etme özelliklerine sahip mikroorganizmalar, sürdürülebilir tarım için önemli ve umut verici bir araç olarak ortaya çıkmış, bunlardan geliştirilen tekli ve çoklu mikroorganizma formülleri; bitki besleme, bitki koruma, tarım sistemlerinin sürdürülebilirliği ve üretkenliğinin desteklemesi ve zamanla kaybolan toprak verimliliğinin tekrar sağlanması amaçlarıyla kullanımı giderek artan önemli bir alternatif olmuştur. Biyolojik gübreler (BG) uygulandığında bitkinin rizosferinde veya iç kısmında kolonize olan, birincil besin maddelerinin alınabilirliğini ve alımını artırarak toprağın verimliliğini ve bitki gelişmesini ve bitkisel üretimi artıran bir veya daha fazla yararlı canlı ve latent mikroorganizma tür içeren preparat veya formülasyon olarak tanımlanmaktadır. Biyolojik gübrelemede asıl hedef sürdürülebilir gıda üretimi ve tarımsal sürdürülebilirliğin desteklenmesi, tarımın dayandığı doğal kaynakların ve çevrenin korunması, bitki verim ve kalitesinin yükseltilmesi için mümkün olduğunca kimyasal kullanımının azaltılmasıdır. Biyolojik gübreler bir yandan toprağın üretkenliğini ve sürdürülebilirliğini sağlarken, aynı zamanda çevreyi güvenli tutmak, kirlilikten arındırmak, ekonomik olmak ve bitkilere yenilenebilir besin kaynağı sağlamak amacıyla sürdürülebilir tarım

sisteminin entegre besin yönetimi stratejilerinin hayati bileşenleri arasında yer almaktadırlar.

Biyolojik gübrelerin mevcut durumuyla bütün bitki, toprak ve ortam koşullarında tek başına tarım kimyasallarının yerini tutamamakta ancak kimyasal gübre kullanım oranlarını azaltmakta, toprak sağlığı, üretkenliği ve ekolojik sürdürülebilir tarımı desteklemektedir. Biyolojik gübreler kimyasal gübrenin neden olduğu hava, su ve toprak kirliliğinin azaltılması, biyoçeşitliliğin korunması, toprak verimliliğinin artırılması ve gıda üretimi ve çevrenin sürdürülebilirliğinin korunmasında büyük potansiyele sahiptir. Bitki rizosferinden geliştirilecek etkin biyogübreler, entegre besin yönetiminin önemli bir bileşeni olarak toprak verimliliğine ve sürdürülebilirliğine yardımcı olmaktadır. Bitki beslemede esas olan, biyolojik, organik ve mineral kaynakların birlikte en etkin olarak kullanılması, organik ve mikrobiyal gübrelerle besin element ve gübre kullanım etkinliğinin artırılması, toprak, insan ve bitki sağlığının ve geleceğinin korunmasıdır.

Biyolojik gübre geliştirilmesinde öncelikle kullanılacak bir veya birden çok bitki gelişmesini teşvik etme mekanizmasına sahip, aktif ve toksik olmayan suşlar doğal yaşam alanlarından, genellikle rizosfer ve rizosfer dışı topraktan veya bitki dokularından izole edilmekte ve tanılanmakta; besin elementleri çözme ve mobilizasyonu, azot fiksasyonu, bitkisel hormon üretimi veya bunların kombinasyonu gibi biyolojik gübrede istenilen özelliklere dayalı saf suşlar seçilmekte; etkinlikleri çoklu denemelerle ortaya konulmakta; uygun sıvı ve katı taşıyıcı bazlı uygun formülasyonlar geliştirilmekte ve sonuçta geliştirilen ürünün farklı ekolojik bölgeler ve koşullar altında gerçek etkinliğini belirlemek için büyük ölçekte ürünlerin sahada test edilmektedir. Özellikle yerli rizosferik bakterilerin BGTB olarak etki gösterdiği, katı taşıyıcı bazlı ve sıvı bazlı üretildiği ve sıvı bazlı biyogübrelerin uygun maliyetli ve uygulamasının kolay kolay olduğu vurgulanmıştır (Dey, 2021). Biyolojik (mikrobiyal) gübre geliştirilmesinde, yerel koşullara adapte olmuş sentezlenecek gübre amaçlarına uygun birden fazla faydalı özellikler bakımından etkin olabilecek aktif olan türler ortam koşullarına adapte olabilmek ve uyum yetenekleri ve özellikleri dikkate alınarak seçilmeli, tekli veya çoklu tür içeren biyolojik gübrelerde kullanılmalıdır. Biyolojik gübrelerin artması ve yaygınlaşması, kimyasal gübre gereksinimini ve çevresel olumsuz etkilerini azaltabilmekte ancak, farklı çevre,

iklim, toprak ve bitki koşullarında etkin olabilen yerel suşlardan özel bitki-mikroorganizma birleşimlerinin geliştirilmesi gereklidir. Biyolojik gübreler tohumlara kaplanmakta, kodlanmakta veya toprağa uygulanabilmekte; fide, fidan, bitki yüzeyine püskürtme, damla sulama sistemlerine verilebilmekte; kök daldırma, toprak uygulaması, tohumlara kaplanma ve kodlanma ve sıvı veya kuru formülasyonun halinde tohum aşılama şeklinde uygulanabilmektedir.

SONUÇ

Bilinen ve bilinmeyen birçok faydalı özelliğe sahip BGTB kullanılarak geliştirilen biyolojik gübreler, toprak ekosistemlerinin fizikokimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi ve ekosistemleri istikrara kavuşturmada hayati rol oynamakta, tarımsal üretkenliği ve verim istikrarını geliştirmekte, doğrudan ve dolaylı mekanizmalarla toprağın verimliliğini, bitki verimliliğini, besin döngüsünü ve hastalık toleransını iyileştirerek sürdürülebilir tarımda yeni umutlar sunabilmektedirler. PGPR azot fiksasyonu, potasyum ve fosfor çözünürlüğü, bitkisel hormon üretimi, biyotik ve abiyotik faktörlere karşı stres toleransı ve bitkilerin gelişimi ve fizyolojisinin düzenlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Ancak hormon üretiminin nasıl düzenlendiği ve rizosferde ne ölçüde meydana geldiği, fiks edilmiş azotun bitkiye transferinin yetersizliği, nitrojenaz sentezi ve aktivitesinin engellenme ve teşvik mekanizmalarının tam olarak açıklığa kavuşturulması gibi belirsizlikler vardır. Gelecekte farklı çevre koşulları ve bitkilerde hangi bakteriyel özelliklerin kullanılacağı ve uygun BGTB seçim ve formülasyonu açıklıkla tanımlanmalı ve kombine uygulamaların biyokimyasal temellerinin ortaya konulması gereklidir. Uygulanan mikrobiyal formüllerinin etkinliğinin artırılabilmesi için organik enerji kaynaklarının kullanımı ve türlerin düşük rekabetle yaşama ve rizosfere yerleşmelerinin sağlanması, karışık kültürlerdeki çoklu etkileşimler, bakteri-bitki, bakteri-toprak-bitki arasındaki interaksiyonlar ve uygun bakteri-bitki kombinasyonları belirlenmeli, moleküler bitki-mikrop etkileşimleri açıklığa kavuşturulmalı, farklı popülasyonlar ile farklı topluluklar ve bitkiler arasındaki etkileşimlere yönelik araştırmalar derinleştirilmeli, benzer ve farklı metabolik aktiviteye sahip daha fazla mikroorganizma farklı çevre şartlarında araştırılarak, çevre, toprak ve hedef bitkiyle uyumlu ve stres koşullarında etkin olabilecek yerel suşlardan etkin formüller geliştirilmeli ve uygulanması sağlanmalıdır.

Özellikle olumsuz çevre koşullarında sürdürülebilir bitki verimliliğinin ve gıda güvenliğinin BGTB uygulamalarına bağlı olacağı görülmektedir. BGTB muhtemelen olumsuz çevresel koşullar altında savunmaya yardımcı olmak için bitkilerde yerel ve sistemik fizyolojideki değişikliklerle ilişkilidir ve aynı zamanda bitki yaşam ekosisteminin hayati bir parçasıdır. Bitkilerin biyotik ve abiyotik stres toleransını artırmaya ve stresin azaltılmasına yardımcı olan, zorlu toprak koşullarına dayanıklı, ekonomik ve çevre açısından güvenli mikrobiyal kaynaklar kayıt ve koruma altına alınmalı ve kullanımı sağlanmalıdır. Stres koşullarında bitki gelişmesini teşvik eden tüm mekanizmalar ortaya çıkarılmalı ve BGT biyoteknolojisi tarla koşullarında uygulanacak şekilde geliştirilmelidir. Araştırma ve uygulamalar özellikle bitki besleme ve koruma özelliğine sahip tür ve formülasyonlar üzerinde yoğunlaşmalı, bitki üretiminin iyileştirilmesinin yanı sıra toprağın sağlığının da çevre dostu bir şekilde elde edilmesini amaçlayan çoklu özelliklere sahip biyolojik gübre formülleri geliştirilmelidir.

KAYNAKÇA

- Aallam, Y., Dhiba, D., El Rasafi, T., Abbas, Y., Haddioui, A., Tarkka, M. ve Hamdali, H. (2023). Assessment of two endemic rock phosphate solubilizing *Streptomyces* spp. on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) growth under field conditions. *Scientia Horticulturae*, 316, 112033.
- Abbasi, R.P., Akram, M.S., Rafiq, K., Basheer, S. ve Iqbal, N. (2023). *Staphylococcus Sciuri* SAT-17 facilitated in vitro regenerated sugarcane plantlets cultivation in saline soil by harmonizing oxidative signaling, photosynthetic efficiency and nutrients uptake patterns. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23,163–176.
- Ahmad, M., Nadeem, S. M., Naveed, M. ve Zahir, Z.A. (2016). Potassium-solubilizing microorganisms and their application in agriculture. In: V. Meena, B. Maurya, J. Verma ve R. Meenan (eds.), *Potassium Solubilizing Microorganisms for Sustainable Agriculture* (293–313). New Delhi Springer.
- Ali, A.M., Awad, M.Y.M., Hegab, S.A., El Gawad, A.M.A., ve Eissa, M.A. (2021). Effect of potassium solubilizing bacteria (*Bacillus cereus*) on growth and yield of potato. *Journal of Plant Nutrition*, 44 (3), 411–420.
- Alori, E.T., Glick, B.R. ve Babalola, O.O., (2017). Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. *Frontiers in Microbiology*, 8, 971.
- Amaya-Gómez, C.V., Porcel, M., Mesa-Garriga, L. ve Gómez-Álvarez, M.I. (2020). A framework for the selection of plant growth-promoting rhizobacteria based on bacterial competence mechanisms. *Applied and Environmental Microbiology*, 86, e00760-20.
- Aslantaş, R., Çakmakçı, R. ve Şahin, F. (2007). Effect of plant growth promoting rhizobacteria on young apple tree growth and fruit yield under orchard conditions. *Scientia Horticulturae*, 111, 371–377.
- Bai, Y.C., Chang, Y.Y., Hussain, M., Lu, B., Zhang, J. P. ve Song, X. B. (2020). Soil chemical and microbiological properties are changed by long-term chemical fertilizers that limit ecosystem functioning. *Microorganisms*, 8,694.
- Basak, B.B., Sarkar, B., Biswas, D.R., Sarkar, S., Sanderson, P. ve Naidu, R. (2016). Bio-intervention of naturally occurring silicate minerals for

- alternative source of potassium: challenges and opportunities. *Advances in Agronomy*, 141, 115–145.
- Batool, S., Asghar, H.N., Shehzad, M.A., Yasin, S., Sohaib, M., Nawaz, F., ...ve Uzair, M. (2021). Zinc-solubilizing bacteria-mediated enzymatic and physiological regulations confer zinc biofortification in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21, 2456–2471.
- Bertola, M., Mattarozzi, M., Sanangelantoni, A.M., Careri, M. ve Visioli, G. (2019). PGPB colonizing three-year biochar-amended soil: towards biochar-mediated biofertilization. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 19, 841–850.
- Bhattacharyya, P.N. ve Jha, D.K. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 28,1327-1350.
- Bhojija, A.S., Joshi, H., Upadhyay, S.K., Srivastava, A.K., Pathak, V.V., Pandey, V.C. ve Jain, D. (2022). Screening and optimization of zinc removal potential in *Pseudomonas aeruginosa*-HMR1 and its plant growth-promoting attributes. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 108, 468–477
- Biswas, J. C., Ladha J. K. ve Dazzo, F.B. (2000). Rhizobia inoculation improves nutrient uptake and growth of lowland rice. *Soil Science Society of America Journal*, 64, 1644-1650.
- Bittencourt, P.P., Alves, A.F., Ferreira, M.B., da Silva Irineu, L.E.S., Pinto, V.B. ve Olivares, F.L. (2023). Mechanisms and applications of bacterial inoculants in plant drought stress tolerance. *Microorganisms*, 11(2), 502.
- Boubekri, K., Soumare, A., Mardad, I., Lyamlouli, K., Hafidi, M., Ouhdouch, Y. ve Kouisni, L. (2021). The screening of potassium- and phosphate-solubilizing actinobacteria and the assessment of their ability to promote wheat growth parameters. *Microorganisms*, 9, 470.
- Burgess, C.M., Smid, E.J. ve van Sinderen, D. (2009) Bacterial vitamin B2, B11 and B12 overproduction: an overview. *The International Journal of Food Microbiology*, 133,1–7.
- Çakmak, I., McLaughlin, M.J. ve White, P. (2017). Zinc for better crop production and human health. *Plant and Soil*, 411, 1–4.

- Çakmakçı, R. (2005). Bitki gelişiminde fosfat çözücü bakterilerin önemi. *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 35, 93-108.
- Çakmakçı, R. (2009). Stres koşullarında ACC deaminaze üretici bakteriler tarafından bitki gelişiminin teşvik edilmesi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 40 (1), 109-125.
- Çakmakçı, R. (2016). Screening of multi-trait rhizobacteria for improving the growth, enzyme activities, and nutrient uptake of tea (*Camellia sinensis*). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47, 1680-1690.
- Çakmakçı, R. (2019a). A review of biological fertilizers current use, new approaches, and future perspectives. *International Journal of Innovative Science Engineering and Technology*, 5(7), 83-92.
- Çakmakçı, R. (2019b). Effects of organic versus conventional management on bacterial population and pH in tea orchards soils. M.R. Karaman, E.I. Orhan, E. Zorba, N. Konar (Eds). *In Proceedings of the 5th International Eurasian Congress on Natural Nutrition, Healthy Life & Sport, Natural* (231–239), Ankara, Türkiye.
- Çakmakçı, R., Kantar, F. ve Algur, Ö.F. (1999). Sugar beet and barley yields in relation to *Bacillus polymyxa* and *Bacillus megaterium* var. *phosphaticum* inoculation. *Journal of Plant Nutrition & Soil Science*, 162, 437-442.
- Çakmakçı, R., Kantar, F. ve Şahin, F. (2001). Effect of N₂-fixing bacterial inoculations on yield of sugar beet and barley. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 164 (5), 527-531
- Çakmakçı, R., Dönmez, M.F., Aydın, A. ve Şahin, F. (2006). Growth promotion of plants by plant growth-promoting rhizobacteria under greenhouse and two different field soil conditions. *Soil Biology & Biochemistry*, 38 (6), 1482-1487.
- Çakmakçı, R., Erat, M., Erdoğan, Ü. ve Dönmez F. (2007a). The influence of plant growth-promoting rhizobacteria on growth and enzyme activities in wheat and spinach plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170 (2), 288-295.
- Çakmakçı, R., Dönmez, M.F. ve Erdoğan, Ü. (2007b). The effect of plant growth promoting rhizobacteria on barley seedling growth, nutrient uptake, some soil properties, and bacterial counts. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31 (3), 189-199.

- Çakmakçı, R., Erat, M., Oral, B., Erdoğan, Ü. ve Şahin, F. (2009). Enzyme activities and growth promotion of spinach by indole-3-acetic acid-producing rhizobacteria. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 84 (4), 375-380.
- Çakmakçı, R., Dönmez, M.F., Ertürk, Y., Erat, M., Haznedar, A. ve Sekban, R. (2010). Diversity and metabolic potential of culturable bacteria from the rhizosphere of Turkish tea grown in acidic soils. *Plant and Soil*, 332, 299-318.
- Çakmakçı, R., Ertürk, Y., Varmazyari, A., Atasever, A., Kotan, R., Erat, M., ... ve Haznedar, A. (2015). The effect of mixed cultures of plant growth promoting bacteria and mineral fertilizers on tea (*Camellia sinensis* L.) growth, yield, nutrient uptake, and enzyme activities. *International Soil Science Congress on Soil Science in International Year of Soils 2015*, 19-23 October, Sochi, Russia Federation, Article Book, 67-71.
- Çakmakçı, R., Ertürk, Y., Atasever, A., Kotan, R., Erat, M. Varmazyari, A., ...ve Haznedar, A. (2016). Katı ve sıvı taşıyıcı kullanılarak bitki gelişmesini teşvik edici bakteri esaslı formülasyon geliştirilmesi ve çay gelişme parametreleri ve enzim aktivitesine etkisinin değerlendirilmesi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25 (Özel sayı-2), 317-325.
- Çakmakçı, R., Ertürk, Y., Varmazyari, A., Atasever, A., Kotan R., Haliloğlu, K., ...ve Haznedar, A. (2017a). The effect of bacteria-based formulations on tea (*Camellia sinensis* L.) growth, yield, and enzyme activities. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Horticulture and Landscape Architecture*, 38: 5–18.
- Çakmakçı, R., Turan, M., Kıtır, N., Güneş, A., Nikerel, E., Özdemir, B.S., ... ve Mokhtari, N.E.P. (2017b). The role of soil beneficial bacteria in wheat production: A review. In: R. Wanyera, ve J. Owuoche (Eds), *Wheat Improvement, Management and Utilization* (115-149). In Tech Open Science, Chapter 7.
- Çakmakçı, R., ve Karagöz, H. (2020). Effect of plant growth promoting rhizobacteria on growth, nutrient uptake and physiological parameters in sugar beet under different watering regimes. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8 (2), 301-317.

- Çakmakçı, R., Mosber, G., Milton, A.H., Alatürk, F. ve Ali, B. (2020). The effect of auxin and auxin-producing bacteria on the growth, essential oil yield, and composition in medicinal and aromatic plants. *Current Microbiology*, 77 (4), 564–577.
- Çakmakçı, R., Salık, M.A., Çakmakçı, S. (2023). Assessment and principles of environmentally sustainable food and agriculture systems. *Agriculture*, 13, 1073.
- da Silva Júnior, S., Stamford, N.P., Oliveira, W.S., Silva, E.V.N., de Rosalia, E., Silva Santos, C.E., de Freitas, A.D.S. ve da Silva, V.S.G. (2018). Microbial biofertilizer increases nutrient uptake on grape (*Vitis labrusca* L.) grown in an alkaline soil reclaimed by sulphur and *Acidithiobacillus*. *Australian Journal of Crop Science*, 12, 1695.
- Daniel, A.I., Fadaka, A.O., Gokul, A., Bakare, O.O., Aina, O., Fisher, S. ve Klein, A. (2022). Biofertilizer: the future of food security and food safety. *Microorganisms*, 10 (6), 1220.
- Deepa, S., ve Venkateswaran, S. (2018). Appraisal of groundwater quality in upper Manimuktha sub basin, Vellar river, Tamil Nadu, India by using water quality index (WQI) and multivariate statistical techniques. *Modeling Earth Systems and Environment*, 4, 1165–1180.
- Dey, A. (2021). Liquid biofertilizers and their applications: An overview. In B.B. Mishra, S.K. Nayak, S. Mohapatra, ve D. Samantaray (eds.). *Environmental and Agricultural Microbiology: Applications for Sustainability* (275–292). Scrivener Publishing LLC, Beverly, USA.
- Diep, C.N. ve Hieu, T.N. (2013). Phosphate and potassium solubilizing bacteria from weathered materials of denatured rock mountain, Ha Tien, Kiên Giang province Vietnam. *American Journal of Life Sciences*, 1, 88–92.
- Duca, D., Lorv, J., Patten, C.L., Rose, D. ve Glick, B.R. (2014). Indole-3-acetic acid in plant-microbe interactions. *Antonie Van Leeuwenh*, 106, 85–125.
- Erduran, E., Çakmakçı, R., Parlakova Karagöz, F. ve Karagöz, H. (2022). Two or more bacterial mixtures increase tea plant growth, yield, nutrient intake and antioxidant enzyme activity. *Journal of Plant Nutrition*, 45, 1-16.
- Etesami, H., Emami, S. ve Alikhani, H.A. (2017). Potassium solubilizing bacteria (KSB): Mechanisms, promotion of plant growth, and future

- prospects: A review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17 (4), 897–911.
- Etesami, H., Jeong, B.R. ve Glick, B.R. (2021). Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi, phosphate-solubilizing bacteria and silicon to P uptake by plant. *Frontiers in Plant Science*, 12, 699618.
- Fasusi, O.A., Cruz, C. ve Babalola, O.O. (2021). Agricultural sustainability: Microbial biofertilizers in rhizosphere management. *Agriculture*, 11, 163.
- Gahoonia, T.S. ve Nielsen, N.E. (1998). Direct evidence on participation of root hairs in phosphorus (^{32}P) uptake from soil. *Plant and Soil*, 198, 147-152.
- Garcia-Seco, D., Zhang, Y., Gutierrez-Mañero, F.J., Martin, C. ve Ramos-Solano, B. (2015). Application of *Pseudomonas fluorescens* to blackberry under field conditions improves fruit quality by modifying flavonoid metabolism. *PLoS One*. 10 (11), e0142639.
- Ghazy, N. ve El-Nahrawy, S., (2021). Siderophore production by *Bacillus subtilis* MF497446 and *Pseudomonas koreensis* MG209738 and their efficacy in controlling *Cephalosporium maydis* in maize plant. *Archives of Microbiology*, 203, 1195–1209.
- Ghosh, D., Gupta, A. ve Mohapatra, S. (2019). Dynamics of endogenous hormone regulation in plants by phytohormone secreting rhizobacteria under water-stress. *Symbiosis*, 77, 265–278.
- Glick, B.R. (1995). The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Canadian Journal of Microbiology*, 41, 109-117.
- Glick, B.R. (2012). Plant growth-promoting bacteria: Mechanisms and applications. *Scientifica*, 2012, 963401.
- Glick, B.R., Penrose, D.M. ve Li, J. (1998). A model for the lowering of plant ethylene concentrations by plant growth-promoting bacteria. *Journal of Theoretical Biology*, 190, 63-68.
- Glick, B.R. ve Gamalaro, E. (2021). Recent developments in the study of plant microbiomes. *Microorganisms*, 9, 1533.
- Gupta, G., Parihar, S.S., Ahirwar, N.K., Snehi, S.K. ve Singh, V. (2015). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): Current and future prospects for development of sustainable agriculture. *Journal of Microbial & Biochemical Technology*, 7, 096-102.

- Gurbanov, R., Kalkanci, B., Karadag, H. ve Samgane, G. (2021). Phosphorus solubilizing microorganisms. In Inamuddin, M.I. Ahamed, R. Boddula, M. Rezakazemi (eds.), *Biofertilizers: Study and Impact* (151-182), Scrivener Publishing LLC, Beverly, USA.
- Haerani, N., Syam'Un, E., Rasyid, B. ve Haring, F. (2021). Isolation and characterization of N-fixing and IAA producing rhizobacteria from two rice field agro-ecosystems in South Sulawesi. *Indonesia Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 22, 2497–2503.
- Hajjam, Y. ve Cherkaoui, S. (2017). The Influence of phosphate solubilizing microorganisms on symbiotic nitrogen fixation: perspectives for sustainable agriculture. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 8 (3), 801–808.
- Hayat R, Ali S, Amara U, Khalid R, ve Ahmed I. (2010). Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. *Annals of Microbiology*, 60, 579-598.
- Honma, M. ve Shimomura, T. (1978). Metabolism of 1-aminocyclopropane-l-carboxylic acid. *Agricultural and Biological Chemistry*, 42, 1825-1831.
- Hussain, A., Arshad, M., Zahir, Z. A. ve Asghar, M. (2015). Prospects of zinc solubilizing bacteria for enhancing growth of maize. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 52, 915–922.
- Ijaz, M., Ali, Q., Ashraf, S., Kamran, M. ve Rehman, A. (2019). Development of future bioformulations for sustainable agriculture. *Microbiome in Plant Health and Disease*. Springer, Berlin/Heidelberg, Germany, pp. 421–446.
- Imran, M., Shahzad, S. M., Arif, M. S., Yasmeen, T., Ali, B. ve Tanveer, A. (2020). Inoculation of potassium solubilizing bacteria with different potassium fertilization sources mediates maize growth and productivity. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 57, 1045–1055.
- Jaipunya, K. (2020). Effects of chemical fertilizer and organic bio fertilizer on the growth and yield of San-Pah-Tawng 1 sticky rice. *Journal of Agricultural Extension*, 37 (1), 10–19.
- Jha, Y. (2019). The importance of zinc-mobilizing rhizosphere bacteria to the enhancement of physiology and growth parameters for paddy under salt-stress conditions. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 12 (2), 167–173.

- Jiao, X., Takishita, Y., Zhou, G. ve Smith, D.L. (2021). Plant associated rhizobacteria for biocontrol and plant growth enhancement. *Frontiers in Plant Science*, 12, 634796.
- Joshi, D., Negi, G., Vaid, S. ve Sharma, A. (2013). Enhancement of wheat growth and Zn content in grains by zinc solubilizing bacteria. *International Journal of Agriculture Environment and Biotechnology*, 6, 363–370.
- Joseph, A.R., Kavimandan, S.K., Tilak, K.V.B.R. ve Nain, L. (2014). Response of canola and wheat to amendment of pyrite and sulphur-oxidizing bacteria in soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60 (3), 367–375.
- Kamran, S., Shahid, I., Baig, D. N., Rizwan, M., Malik, K. A. ve Mehnaz, S. (2017). Contribution of zinc solubilizing bacteria in growth promotion and zinc content of wheat. *Frontiers in Microbiology*, 8, 2593.
- Kang, S.M., Adhikari, A., Lee, K.E., Park, Y.G., Shahzad, R. ve Lee, I.J. (2019). Gibberellin producing rhizobacteria *Pseudomonas korensis* mu2 enhance growth of lettuce (*Lactuca sativa*) and Chinese cabbage (*Brassica rapa, chinensis*). *Journal of Microbiology Biotechnology and Food Sciences*, 9, 166–170.
- Karagöz, H., Çakmakçı, R., Hosseinpour, A. ve Kodaz, S. (2018). Alleviation of water stress and promotion of the growth of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) plants by multi-traits rhizobacteria. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16 (5), 6801-6813.
- Khan, N., Bano, A., Ali, S. ve Babar, Md. A. (2020). Crosstalk amongst phytohormones from planta and PGPR under biotic and abiotic stresses. *Plant Growth Regulation*, 90, 189–203.
- Kubi, H.A.A., Khan, M.A., Adhikari, A., Imran, M., Kang, S-M., Hamayun, M. ve Lee, I-J. (2021). Silicon and plant growth-promoting rhizobacteria *Pseudomonas psychrotolerans* CS51 mitigates salt stress in *Zea mays* L. *Agriculture*, 11 (3), 272.
- Kumar, A., Singh, V., Singh, M., Singh, P.P., Singh, S.K. ve Singh, P.K. (2016). Isolation of plant growth promoting rhizobacteria and their impact on growth and curcumin content in *Curcuma longa* L. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 8, 1–7.

- Kumar, A., Kumar, A. ve Patel, H. (2018). Role of microbes in phosphorus availability and acquisition by plants. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7 (5), 1344–1347.
- Kumar, A., Maurya, B.M. ve Raghuwanshi, R. (2021a). The microbial consortium of indigenous rhizobacteria improving plant health, yield and nutrient content in wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Plant Nutrition*, 44, 1942–1956.
- Kumar, A., Singh, S., Mukherjee, A., Rastogi, R.P. ve Verma, J.P. (2021b). Salt-tolerant plant growth-promoting *Bacillus pumilus* strain JPVS11 to enhance plant growth attributes of rice and improve soil health under salinity stress. *Microbiological Research*, 242, 26616.
- Kumar, S., Diksha, Sindhu, S.S. ve Kumar, R. (2022). Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. *Current Research in Microbial Sciences*, 3, 100094.
- Kutlu, M., Çakmakçı, R., Hosseinpour, A. ve Karagöz, H. (2019). The use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR)'s effect on essential oil rate, essential oil content, some morphological parameters and nutrient uptake of Turkish oregano. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17 (2),1641-1653.
- Ladha, J.K, Tirol-Padre, A., Reddy, C.K., Cassman, K.G., Verma, S., Powlson, D.S., ...Pathak, H. (2016). Global nitrogen budgets in cereals: A 50-year assessment for maize, rice and wheat production systems. *Scientific Reports*, 6, 19355.
- Laxita, L. ve Shruti, S. (2020). Isolation and characterization of potassium solubilizing microorganisms from South Gujarat region and their effects on wheat plant. *Mukta Shabad*, 9, 7483–7496.
- Liu, D., Lian, B. ve Dong, H. (2012). Isolation of *Paenibacillus* sp. and assessment of its potential for enhancing mineral weathering. *Geomicrobiol Journal*, 29, 413–421.
- Liu, L. (2019). Upward trend of nitrogen deposition curbed by the dual force of environmental regulation and social-economic structural change in China. *Science Bulletin (Beijing)*, 64, 1300–1302.
- Liu,C., Bai, L., Cao, P., Li, S., Huang, S.-X., Wang, J., ... ve Xiang, W. (2022). Novel plant growth regulator guvermectin from plant growth- promoting

- rhizobacteria boosts biomass and grain yield in rice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70, 16229–16240.
- Macik, M., Gryta, A. ve Frac, M. (2020). Biofertilizers in agriculture: An overview on concepts, strategies, and effects on soil microorganisms. *Advances in Agronomy*, 160, 31.
- Mahmud, A.A., Upadhyay, S.K., Srivastava, A.K. ve Bhojiya, A.A. (2021). Biofertilizers: A Nexus between soil fertility and crop productivity under abiotic stress. *Current Research in Environmental Sustainability*, 3, 100063.
- Malik, D.K. ve Sindhu, S.S. (2011). Phytostimulatory effect of IAA-producing *Pseudomonas* strains on nodulation and plant growth of chickpea (*Cicer arietinum*). *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 17, 25–32.
- McRose, D.L., Baars, O., Morel, F.M.M. ve Kraepiel, A.M.L. (2017). Siderophore production in *Azotobacter vinelandii* in response to Fe-, Mo- and V-limitation. *Environmental Microbiology*, 19 (9), 3595–3605.
- Meena, V.S., Maurya, B.R. ve Bahadur, I. (2014). Potassium solubilization by bacterial strain in waste mica. *Bangladesh Journal of Botany*, 43 (2), 235–237.
- Meena, V.S., Meena, S.K., Verma, J.P., Meena, R.S. ve Ghosh, B.N. (2015). The needs of nutrient use efficiency for sustainable agriculture. *Journal of Cleaner Production*, 102, 562–563.
- Meena, V.S., Maurya, B.R., Meena, S.K., Mishra, P.K., Bisht, J.K. ve Pattanayak, A. (2018). Potassium solubilization: Strategies to mitigate potassium deficiency in agricultural soils. *Global Journal of Biology, Agriculture & Health Sciences*, 7, 1–3.
- Mosber, G., Çakmakçı, R., Kutlu, M., Karagöz, H. (2019). Effect of indole acetic acid producing bacteria and hormone applications on essential oil components of *Satureja hortensis* L. *Frontiers in Environmental Microbiology*, 5(1), 29-35
- Murgese, P., Santamaria, P., Leoni, B. ve Crecchio, C. (2020). Ameliorative effects of PGPB on yield, physiological parameters, and nutrient transporter genes expression in Barattiere (*Cucumis melo* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20, 784–793.
- Nagaraju, Y., Triveni, S., Subhashreddy, R. ve Jhansi, P. (2017). Biofilm formation of zinc solubilizing, potassium releasing bacteria on the

- surface of fungi. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6 (4), 2037–2047.
- Naher, U.A., Panhwar, Q.A., Othman, R., Ismail, M.R. ve Berahim, Z. (2016). Biofertilizer as a supplement of chemical fertilizer for yield maximization of rice. *Journal of Agriculture Food and Development*, 2, 16–22.
- Naseer, I., Ahmad, M., Hussain, A. ve Jamil, M. (2020). Potential of zinc solubilizing *Bacillus* strains to improve rice growth under axenic conditions. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 57, 1057–1071.
- Nayak, S.K., Dash, B. ve Baliyarsingh, B. (2018). Microbial remediation of persistent agro-chemicals by soil bacteria: An overview. J.K. Patra, G. Das, H.S. Shin (Eds.), vol. II, *Microbial Biotechnology* (275–301). Springer Nature Singapore.
- Naz, I., Ahmad, H., Khokhar, S. N., Khan, K. ve Shah, A. H. (2016). Impact of zinc solubilizing bacteria on zinc contents of wheat. *American-Eurasian journal of agricultural & Environmental Sciences*, 16, 449–454.
- Neog, R. (2018). Assessing the impact of chemical fertilizers on soil acidification: a study on Jorhat district of Assam. India. *Agricultural Science Digest*, 38, 270–274.
- Nosheen, S., Ajmal, I. ve Song, Y. (2021). Microbes as biofertilizers, a potential approach for sustainable crop production. *Sustainability*, 13 (4), 1868.
- Okon, Y. ve Kapulnik Y. (1986). Development and function of *Azospirillum*-inoculated roots. *Plant and Soil*, 90, 3–16.
- Olivares, F.L., Busato, J.G., de Paula, A.M., da Silva Lima, L., Aguiar, N.O. ve Canellas, L.P. (2017). Plant growth promoting bacteria and humic substances: Crop promotion and mechanisms of action. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4, 30.
- Palacios, O.A., Bashan, Y. ve de-Bashan, L.E. (2014). Proven and potential involvement of vitamins in interactions of plants with plant growth-promoting bacteria—an overview. *Biology and Fertility of Soils*, 50, 415–432.
- Patel, S.H., Viradiya, M.B. ve Prajapati, B.J. (2021). Effect of potassium and potassium mobilizing bacteria (KMB) with and without FYM on yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 10 (1), 1615–1620.

- Pathak D.V. ve Kumar M. (2016). Microbial inoculants as biofertilizers and biopesticides. In: D. Singh, H. Singh, R. Prabha (eds), *Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity* (197–209). Springer, New Delhi.
- Pellegrini, M., Spera, D.M., Ercole, C. ve Del Gallo, M. (2021). *Allium cepa* L. inoculation with a consortium of plant growth-promoting bacteria: Effects on plants, soil and the autochthonous microbial community. *Microorganisms*, 9 (3), 639.
- Penrose, D.M. ve Glick, B.R. (2001). Levels of 1-aminocyclopropane-1 - carboxylic acid (ACC) in exudates and extracts of canola seeds treated with plant growth-promoting bacteria. *Canadian Journal of Microbiology*, 47, 368-372.
- Perumal, M. D., Selvi, D., Chitdeshwari, T. ve Balachandar, D. (2019). Enhanced zinc nutrient and enzyme activity of rice crop by zinc solubilizing bacteria with Zn sources in Zn deficient Rice soil. *Madras Agricultural Journal*, 106, 171–177.
- Pourbabae, A.A., Koohbori Dinekaboodi, S., Seyed Hosseini, H.M., Alikhani, H.A. ve Emami, S. (2020). Potential application of selected sulfur-oxidizing bacteria and different sources of sulfur in plant growth promotion under different moisture conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51, 735–745.
- Rajkumar, M., Ae, N., Prasad, M.N.V. ve Freitas, H. (2010). Potential of siderophore-producing bacteria for improving heavy metal phytoextraction. *Trends Biotechnol*, 28(3), 142–149.
- Ramesh, A., Sharma, S.K., Sharma, M.P., Yadav, N. ve Joshi, O.P. (2014). Inoculation of zinc solubilizing *Bacillus aryabhatai* strains for improved growth, mobilization and biofortification of zinc in soybean and wheat cultivated in Vertisols of Central India. *Applied Soil Ecology*, 73, 87–96.
- Rascio, N. ve La Rocca, N. (2013). Biological Nitrogen Fixation. *Encyclopedia of Ecology (Second Edition)* 2, 264-279.
- Revillas JJ, Rodelas B. ve Pozo C. (2000). Production of B-group vitamins by two *Azotobacter* strains with phenolic compounds as sole carbon source under diazotrophic and adiazotrophic conditions. *Journal of Applied Microbiology*, 89, 486–93.

- Riaz, U., Mehdi, S.M., Iqbal, S., Khalid, H.I., Qadir, A.A., Anum, W. ve Ahmad, M. ve Murtaza, G. (2020). Bio-fertilizers: Eco-friendly approach for plant and soil environment. In: K. Hakeem, R. Bhat, H. Qadri (eds), *Bioremediation and Biotechnology* (189–213). Springer, Berlin/Heidelberg, Germany.
- Rijavec, T. ve Lapanje, A. (2016). Hydrogen cyanide in the rhizosphere: not suppressing plant pathogens, but rather regulating availability of phosphate. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1785.
- Rizvi, A., Ahmed, B., Khan, M.S., Umar, S., ve Lee, J. (2021). Sorghum-phosphate solubilizers interactions: crop nutrition, biotic stress alleviation, and yield optimization. *Frontiers in Plant Science*, 12,746780.
- Safronova, V.I., Stepanok, V.V., Engqvist, G.L., Alekseyev, Y.V. ve Belimov, A.A. (2006). Root-associated bacteria containing 1- aminocyclopropane-1 -carboxylate deaminase improve growth and nutrient uptake by pea genotypes cultivated in cadmium supplemented soil. *Biology and Fertility of Soils*, 42, 267-272.
- Sakarika, M., Spanoghe, J., Sui, Y., Wambacq, E., Grunert, O., Haesaert, G., Spiller, M. ve Vlaeminck, S.E (2019). Purple non-sulphur bacteria and plant production: benefits for fertilization, stress resistance and the environment. *Microbial Biotechnology*, 13, 1336–1365
- Salomon, M.V., Bottini, R., de Souza Filho, G.A., Cohen, A.C., Moreno, D. ve Gil, M. (2014). Bacteria isolated from roots and rhizosphere of *Vitis vinifera* retard water losses, abscisic acid accumulation and synthesis of defence-related terpenes in in vitro cultured grapevine. *Physiologia Plantarum*, 151 (4), 359–374.
- Santhi, C., Rajesh, M., Ramesh, S., Muralikrishna, K., Gangaraj, K. ve Payal, G. (2021). Genome-wide exploration of auxin response factors (ARFs) and their expression dynamics in response to abiotic stresses and growth regulators in coconut (*Cocos nucifera* L.). *Plant Gene*, 28,100344.
- Santos, M.S., Nogueira, M.A. ve Hungria, M. (2019). Microbial inoculants: Reviewing the past, discussing the present and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. *AMB Express*, 9 (1), 205.

- Santoyo, G., Guzmán-Guzmán, P., Parra-Cota, F.I., de los Santos-Villalobos, S., Orozco-Mosqueda, M.C. ve Glick, B.R. (2021). Plant growth stimulation by microbial consortia. *Agronomy*, 11, 219.
- Sattar, A., Naveed, M, Ali, M, Zahir, Z.A., Nadeem, S.M., Yaseen, M., ... ve Meena, H.N. (2019). Perspectives of potassium solubilizing microbes in sustainable food production system: A review. *Applied Soil Ecology*, 133, 146–159.
- Sehrawat, A. ve Sindhu, S.S., (2019). Potential of biocontrol agents in plants disease control for improving food safety. *Defence Life Science Journal*, 4, 220–225.
- Sehrawat, A., Sindhu, S.S. ve Glick, B.R. (2022). Hydrogen cyanide production by soil bacteria: Biological control of pests and promotion of plant growth in sustainable agriculture. *Pedosphere*, 32, 15–38.
- Selvi, K.B., Paul, J.J.A., Vijaya, V. ve Saraswathi, K. (2017). Analyzing the efficacy of phosphate solubilizing microorganisms by enrichment culture techniques. *Biochemistry & Molecular Biology*, 3 (1), 1–7,
- Shahwar, D., Mushtaq, Z., Mushtaq, H., Alqarawi, A.A., Park, Y., Alshahrani, T.S. ve Faizan, S. (2023). Role of microbial inoculants as bio fertilizers for improving crop productivity: A review. *Heliyon*, 9, e16134.
- Sharifi, R. ve Ryu, C.M. (2018). Sniffing bacterial volatile compounds for healthier plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 44, 88–97.
- Sharma, R., Dahiya, A. ve Sindhu, S.S., (2019). Harnessing proficient rhizobacteria to minimize the use of agrochemicals. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7, 3186–3197.
- Sharma, S.B., Sayyed, R.Z., Trivedi, M.H. ve Gobi, T.A. (2013). Phosphate solubilizing microbes: Sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *Springer Plus*, 2 (1), 587.
- Song, J., Min, L., Wu, J., He, Q., Chen, F. ve Wang, Y. (2021). Response of the microbial community to phosphate-solubilizing bacterial inoculants on *Ulmus chenmoui* Cheng in Eastern China. *PLoS One*, 16, e0247309
- Soumare, A., Sarr, D. ve Diédhiou, A.G. (2023). Potassium sources, microorganisms and plant nutrition: Challenges and future research directions. *Pedosphere* 33(1), 105–115.
- Spaepen, S., Bossuyt, S., Engelen, K., Marchal, K. ve Vanderleyden, J. (2014). Phenotypical and molecular responses of *Arabidopsis thaliana* roots as a

- result of inoculation with the auxin-producing bacterium *Azospirillum brasilense*. *New Phytologist*, 201, 850–861.
- Sun, B., Gu, L., Bao, L., Zhang, S., Wei, Y., Bai, Z., Zhuang, G. ve Zhuang, X. (2020). Application of biofertilizer containing *Bacillus subtilis* reduced the nitrogen loss in agricultural soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 148, 107911.
- Sun, X., Zhong, T., Zhang, L., Zhang, K. ve Wu, W. (2019). Reducing ammonia volatilization from paddy field with rice straw derived biochar. *Science of The Total Environment*, 660, 512–518.
- Şahin, F., Çakmakçı, R., Kantar, F. (2004). Sugar beet and barley yields in relation to inoculation with N₂-fixing and phosphate solubilizing bacteria. *Plant and Soil*, 265 (1-2), 123-129.
- Tsegaye, Z., Assefa, F. ve Beyene, D. (2017). Properties and application of plant growth promoting rhizobacteria. *International Journal of Current Trends in Pharmacobiology and Medical Sciences*, 2 (1), 30–43.
- Tyagi, S., Mulla S.I., Lee K.-J., Chae J.-C. ve Shukla P. (2018). VOCs-mediated hormonal signaling and cross talk with plant growth promoting microbes. *Critical Reviews in Biotechnology*, 38, 1277–1296
- Valetti, L., Iriarte, L. ve Fabra, A. (2018). Growth promotion of rapeseed (*Brassica napus*) associated with the inoculation of phosphate solubilizing bacteria. *Applied Soil Ecology*, 132, 1–10.
- Varmazyari, A. ve Çakmakçı, R. (2018). Diversity and metabolic potential of the dominant culturable N₂-fixing and P-solubilising bacteria from tea (*Camellia sinensis* L.) rhizosphere. *Frontiers in Environmental Microbiology*, 4(2), 45-54.
- Vessey, K.V. (2003). Plant growth-promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255, 571-586.
- Wang, X., Xu, S., Wu, S., Feng, S., Bai, Z. ve Zhuang, G. (2018). Effect of *Trichoderma viride* biofertilizer on ammonia volatilization from an alkaline soil in Northern China. *Journal of Environmental Sciences*, 66, 199–207.
- Wang, Y., Zhang, G., Huang, Y., Guo, M., Song, J. ve Zhang, T. (2022). A potential biofertilizer-siderophilic bacteria isolated from the rhizosphere of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis*. *Frontiers in Microbiology*, 13, 870413.

- Wu, G., Liu, Y., Xu, Y., Zhang, G., Shen, Q. ve Zhang, R. (2018). Exploring elicitors of the beneficial rhizobacterium *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 to induce plant systemic resistance and their interactions with plant signaling pathways. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 31, 560–567.
- Xue, L., Sun, B., Yang, Y., Jin, B., Zhuang, G., Bai, Z. ve Zhuang, X. (2021). Efficiency and mechanism of reducing ammonia volatilization in alkaline farmland soil using *Bacillus amyloliquefaciens* biofertilizer. *Environmental Research*, 202,111672.
- Yadav, K.K. ve Sarkar, S. (2019). Biofertilizers, impact on soil fertility and crop productivity under sustainable agriculture. *Environment and Ecology*, 37 (1), 89–93
- Yan, P., Wu, L., Wang, D., Fu, J., Shen, C. ve Li, X. (2020). Soil acidification in Chinese tea plantations. *Science of The Total Environment*, 715, 136963.
- Zarjani, J.K., Aliasgharzad, N., Oustan, S., Emadi, M. ve Ahmadi, A. (2013). Isolation and characterization of potassium solubilizing bacteria in some Iranian soils. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 59, 1713–1723.
- Zhang, C. ve Kong, F. (2014). Isolation and identification of potassium-solubilizing bacteria from tobacco rhizospheric soil and their effect on tobacco plants. *Applied Soil Ecology*, 82, 18–25.
- Zhang, J., Cook, J., Nearing, J.T., Zhang, J., Raudonis, R., Glick, B.R., Langille, M.G.I. ve Cheng, Z. (2021). Harnessing the plant microbiome to promote the growth of agricultural crops. *Microbiology Research*, 245, 126690.
- Zhang, T., Chen, H.Y.H. ve Ruan, H. (2018). Global negative effects of nitrogen deposition on soil microbes. *ISME Journal*, 12, 1817–1825.

BÖLÜM 9

DOMATESDE *TRICHODERMA HARZIANUM* UYGULAMASININ VERİM VE BAZI KALİTE PARAMETRELERİNE ETKİLERİ

Doç. Dr. Canan ÖZTOKAT KUZUCU^{1*}

Dr. Öğr. Üyesi Fatih Cem KUZUCU¹

Arş. Gör. H. Nihan ÇİFTÇİ¹

Arş. Gör. Dr. Tolga SARIYER¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10207971>

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, 17020
Çanakkale-Türkiye *sorumlu yazar: cananoztokat@yahoo.com
Canan Öztokat Kuzucu <https://orcid.org/0000-0003-2828-4984>
Fatih Cem Kuzucu <https://orcid.org/0000-0003-0497-4331>
Hatice Nihan Çiftci <https://orcid.org/0000-0002-0619-5633>
Tolga Sarıyer <https://orcid.org/0000-0002-1844-2996>

GİRİŞ

İnsan beslenmesinde sebzeler zengin içerikleriyle en kıymetli besin kaynaklarının başında gelmektedir. Mutfaqlarda oldukça yaygın tüketilen sebzelerin başında domates sayılmaktadır. Domates iyi bir C vitamini, A vitamini, α -karoten, β -karoten, likopen, lutein/zea, potasyum, folik asit, E vitamini kaynağı ve kardiyο koruyucu diyetin önemli bir bileşenidir (Willcox vd. 2003). Bununla birlikte domates güçlü antioksidan aktiviteye sahip likopen içermektedir (Singh vd. 2013). Sağlığa olan faydalarının yanı sıra tüm dünyada hemen hemen her mevsim sevilerek tüketilen ve sos, salça, konserve, kuru domates ve domates suyu gibi çeşitli biçimlerde işlenen bir sebzedir. Domates yetiştiriciliği sırasında yüksek verim elde etmek için ve domatesin sayıca fazla olan hastalık ve zararlılarına karşı koyabilmek için bitki koruma ürünü ve gübre olarak yoğun miktarda kimyasal uygulanmaktadır. Ancak son dönemlerde hem tüketicilerin kimyasallardan uzak beslenme tercihlerinin artması hem de yoğun gübre ve ilaç kullanımı nedeniyle tarım alanlarında biyoçeşitliliğin azalması, çevre kirliliği gibi olumsuzluklar üreticileri tarımsal üretimi destekleyen daha doğal ürünlere itmiştir.

Bakteri, fungus, alg gibi faydalı mikroorganizmaların bulunduğu biyopestisitlere yada mikrobiyolojik içerikli preparatlara olan ilgi günden güne artmaktadır. Ticari olarak pazarlanan ürünler genellikle *T. viride*, *T. virens* ve *T. harzianum* gibi bir veya daha fazla *Trichoderma* türünü içerir. *Trichoderma* cinsine ait yaklaşık 10.000 türün bulunduğunu ve bunların en hızlı büyüyen bir tür olduğunu bilinmektedir. *T. harzianum* dünya üzerinde geniş bir alana yayılmıştır. Bu nedenle preparatlarda en fazla tercih edilenleri arasında *Trichoderma* içeren ürünler sayılabilir (Zin ve Badaluddin, 2020).

Trichoderma suşları morfolojik açıdan; parlak yeşil veya beyaz konidial pigmentleri olan ve sık dallanan fakat zayıf konidiofor yapısına sahiptir (Anonymous, 2017).

Trichoderma spp. ekolojik anlamda ayrıştırıcı olarak işlev sahibidir. Ayrışma, organik maddeleri diğer organizmalar tarafından kullanılabilir olacak daha küçük parçacıklara parçalayan biyolojik süreç olarak tanımlanır. Besin döngüsü içerisinde ayrıştırıcının besin maddelerini ölü organik maddeden toprağa geri döndürmede rol oynadığı söylenebilir. *Trichoderma* ekolojiye olan

etkisinin yanı sıra tarımsal üretime olan faydalarıyla da öne çıkmaktadır. Rizosfer tarafından tutulan kitlesel bir mikrobiyal topluluk, bitki büyümesine faydalı, nötr veya zararlı olabilir. Bitki gelişimi ve besin asimilasyonu için gerekli olan rizosferik ortamda *Trichoderma* spp. multipleks bağlantı kurar (Zin ve Badaluddin, 2020). Bu sayede bitki büyümesine olumlu etkileri olduğu değerlendirilmektedir. Ayrıca bitkilerin sıklıkla patojenlerle enfekte olması fizyolojiyi ve büyümeyi etkilemekle birlikte ürünün kalitesini ve miktarını da azaltır. *Trichoderma* birçok toprak kökenli zararlının yönetimi için de kullanılan güçlü biyoajanlardan biridir (Singh vd. 2013).

Trichoderma cinsindeki mantarlar, kök dallanmasını, sürgün biyomasını ve bitki besin alımını artırmalarının yanında sistemik direnç başlatmayı sağlayan antibiyotik üretimi, diğer mantarlara parazit özelliği, antibiyozis oluşturmaları ve fungal oksin türevi bileşenleri üretme yeteneklerinden dolayı araştırılmaktadırlar (Contreras-Cornejo vd. 2016).

İkiz vd. (2022) *Trichoderma harzianum*'un domates fidesinde meydana getirdiği etkileri belirlemek için dört farklı *T. harzianum* suşu ve bir adet ticari *T. Harzianum* preparatını tohum ekim ortamında kullanımı ayrıca yaprakdan gübre uygulaması ile birlikte ve gübresiz uygulama olarak çeşitli çalışma konuları planlamışlardır. Suş2 fide boyu, kuru madde içeriği, klorofil, renk değeri ve bazı element miktarları açısından diğer uygulamalara göre daha olumlu etki göstermiştir.

Ulfa vd. (2021) çalışmalarında kavun üretiminde bio-karışım gübre ve *Trichoderma harzianum*'un en iyi kombinasyonunun belirlenmesini amaçlamışlardır. Biyo-karışım gübre konusu kontrol, 25, 50, 75 ve 100 mL/L dozlarında uygulanırken, *Trichoderma harzianum* dozu 0, 100, 200 ve 300 g/L'den oluşmuştur. Sonuçlar, 75 mL/L biyo-karışım gübre ve 200 g/L *Trichoderma harzianum* uygulamasının en kalın meyve etiyle (26,47 mm) sonuçlandığını göstermektedir. Ayrıca 100 mL/L ve 200 g/L *Trichoderma harzianum* Bio-karışım gübre ile muamele edilen kavun, en yüksek sayıda tohuma (285,2 tohum) sahip olmuştur. *Trichoderma harzianum*'un 300 g/L'lik daha yüksek konsantrasyonu, en yüksek Brix değerine (%6,0 Brix) ve en yüksek organoleptik test (2,90) puanına sahip olmuştur.

Tančić-Živanov vd. (2020), biber bitkilerinin erken dönemde büyüme teşvikinde *Trichoderma* izolatları ile tohum biyopriminginin etkinliği ve bunların fide fizyolojisi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. *Trichoderma* izolatlarının 10'undan 9'u biber fidelerinin kök ağırlığını, 10'undan 3'ü ise sürgün ağırlığını olumlu yönde etkilemiştir. Çimlenme enerjisi beş izolatta kontrole göre %40'a varan artışla olumlu yönde etkilenirken, iki izolatta çimlenme %22'ye varan artışla önemli ölçüde artmıştır.

Palacios-Torres vd. (2019) *Trichoderma* uygulanmasının domates meyvelerinin kalitesi üzerindeki etkisini üç farklı substrat kullanarak incelemiştir. *Trichoderma*'nın sıvı biyolojik preparatının ekimden sonra her 15 günde bir 4 mL.L⁻¹ dozunda yaprak uygulaması olarak gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak *Trichoderma*'nın yapraktan uygulamasının meyvelerin çözünebilir katı madde/titrasyon asitliği oranını farklı salkım seviyelerinde arttırdığını; bu durumun çözünebilir katıların artmasından ziyade asitliğin azalmasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir.

Özbay vd. (2018) *Trichoderma harzianum* içeren ticari preparatın farklı dozlarının topraksız tarım şartlarında yetiştirilen ıspanak'ta etkilerini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada elde ettikleri sonuçlara göre *T. harzianum* uygulamalarının ıspanakta çimlenme ve çıkış oranı, fide gelişimi ve verimi arttırdığını saptamışlardır.

Singh, (2015) domatesde *F. oxysporum* f. sp. *Lycopersici* (Fol), *T. harzianum* (Th), *A. niger* (An), arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) uygulamaları yapmış, fol uygulaması bitki uzunluğu, sürgün kuru ağırlığı, kök kuru ağırlığını azaltmış fakat bu parametreler fol'un diğer mantar kültürlerinden biri veya birçoğu ile kombinasyonunun uygulanması sonucunda artmıştır. Th, An veya AMF'nin tek başına uygulanması ile bitkilerde bitki boyu ve kuru ağırlığı kontrol uygulamasına göre artış göstermiştir.

Shukla vd. (2014) yaptıkları çalışmada çiftlik gübresi, biyogübre (Azotobakter, fosfat çözen mikroplar (PSM) ve *Trichoderma harzianum*), vermikompost ve organik malç uygulamışlar; verim, meyve ağırlığı, meyve boyutları, suda çözünür kuru madde, askorbik asit parametreleri, biyogübre + organik malç ve biyogübre + organik malç + çiftlik gübresi uygulamalarında sadece çiftlik gübresi uygulamasına göre daha fazla bulunmuştur.

Çalışmamızda *Trichoderma harzianum* uygulamalarının domateste (*Lycopersicon esculentum* L. cv. H-2274) verim ve bazı kalite parametrelerine olan etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL ve METOT

Bu araştırma, *Trichoderma harzianum* uygulamalarının (*Lycopersicon esculentum* L. cv. H-2274) domates çeşidinde verim, kalite ve tohum özelliklerine etkisinin belirlenmesi amacı ile Çanakkale 18 Mart Üniversitesi araştırma ve uygulama alanında yürütülmüştür. Çalışmada, Sim Derma olarak bilinen ve ticari ürün olarak kullanılan *Trichoderma harzianum* suşları (106 CFU) kullanılmıştır.

Çalışmada ilk grup, domates (*Lycopersicon esculentum* L. cv. H-2274) tohumlarının, 1 kg tohuma 20 g dozajında toz *Trichoderma harzianum* (Sim Derma) ile kaplanması ile elde edilmiştir. İkinci grup, domates fidelerinin 20 lt saf suda 200 g *Trichoderma harzianum* (Sim Derma) un çözülmesi ile hazırlanan solüsyona köklerinin batırılması ile elde edilmiştir. Üçüncü grup, kontrol olarak belirlenmiş ve herhangi bir uygulama yapılmamıştır. Her gruptaki fidelerin yarısı 5-6 yaprak döneminde iprodione etken maddeli fungusit (Koruval 50 WP) ile ilaçlanmıştır. Çalışmamız tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 yinelemeli olarak kurulmuştur.

Meyve Ağırlığı (g): Her bitkideki meyveler hassas terazi (Sartorius) (± 0.01 g) ile tartılmış ve ortalama ağırlıkları hesaplanmıştır.

Bitkideki Meyve Sayısı: Her bitkideki meyvelerin sayılması ile belirlenmiştir.

Bitki Başı Verim (g): Her bitkideki meyve ağırlığı ile meyve sayısının çarpılması ile bulunmuştur.

Bitki Başı Tohum Verimi (g): Her meyvenin tohumları ayrılmış ve her bitkideki toplam tohum ağırlığı hesaplanmıştır.

Meyve Uzunluğu (mm): Her meyvenin omuz kısmından uç kısmına kadar olan maksimum uzunluğun ölçülmesi ile bulunmuştur.

Meyve Çapı (mm): Her meyvenin maksimum çap uzunluğunun ölçülmesi ile bulunmuştur.

Meyve Eti Sertliği (g/cm²): Her meyvenin kabuğu kabuk soyucusu (peeler) ile soyulduktan sonra, meyve eti sertliği effegi tipi penetrometre ile ölçülmüştür.

Iskarta Meyve Oranı (%): Çürük meyvelerin toplam meyve sayısına oranlanması ile hesaplanmıştır.

Meyve Et ve Kabuk Rengi (Chroma değeri): Renk a (kırmızılık, yeşillik) ve b (sarılık, mavilik) değerleri KonicaMinolta CR-400 model chromametre kullanılarak okunmuştur. Chroma (C*) değeri hesaplanıp sonuçlar değerlendirilmiştir (McGuire, R. G., 1992).

Toplam Çözünen Kuru Madde Miktarı (%): Dijital refraktometre ile ölçülerek belirlenmiştir.

Fenolik Madde Miktarı (mg/100g): Zheng, W. ve Wang, S. Y. (2001)' ın açıkladığı Folin-Ciocalteu yöntemine dayalı olarak 765 nm absorbans değerinde spektrofotometre yardımıyla GAE mg/100 g olarak belirlenmiştir.

Ascorbik Asit İçeriği (mg/100ml): Vitamin C miktarı (mg / 100 ml) domates örneklerinin oksalik asit ile muamele edilerek 2–6 diklorofenol indofenol solüsyonu yardımıyla 520 nm değerinde okunarak saptanmıştır (Pearson, 1970).

BULGULAR ve TARTIŞMA

Meyve Ağırlığı (g): Fide aşamasındaki *Trichoderma harzianum* uygulaması ile tüm uygulamalardaki en yüksek meyve ağırlığı elde edilmiştir. Tohum aşamasındaki *Trichoderma harzianum* uygulaması ile meyve ağırlığı azalmış, bu aşamada iprodione uygulaması ile meyve ağırlığı artarken diğer *Trichoderma harzianum* uygulamalarında iprodione uygulaması ile meyve ağırlığında artış olmamıştır.

Meyve Sayısı: Uygulamalar meyve sayısı açısından değerlendirildiğinde, tohum aşamasında *Trichoderma harzianum*, tohum aşamasında *Trichoderma harzianum*+iprodione ve fide aşamasında

Trichoderma harzianum+iprodone uygulamalarından, tüm uygulamalar arasındaki maximum değerler elde edilirken kontrol ve fide aşamasında *Trichoderma harzianum* uygulamalarından en düşük değerler elde edilmiştir.

Hock vd. (2014) yaptıkları çalışmada *Trichoderma harzianum* ve kimyasal gübre uygulamalarını karşılaştırmışlar, *Trichoderma harzianum* uygulanan bitkilerden daha kaliteli ve olgunlaşmış meyveler elde edilirken kimyasal gübre uygulanan bitkilerden meyve ağırlığı ve meyve sayısı bakımından daha yüksek değerler elde edilmiştir.

Bitki Başına Verim (g): Fide aşamasında *Trichoderma harzianum*+iprodone uygulamasından en yüksek bitki başına verim elde edilirken diğer tüm uygulamalar ile bitki başına verim artmıştır. Bu konuda araştırma yapan araştırmacılar benzer sonuçlara ulaşmıştır (Harman, 2006).

Bitki Başına Tohum Verimi (g): Uygulamalar bitki başına tohum verimi açısından değerlendirildiğinde, iprodione ve *Trichoderma harzianum*+iprodone uygulamalarında kontrol uygulaması ile benzer değerler elde edilirken, tohum ve fide aşamasında *Trichoderma harzianum* uygulamaları ile bitki başına tohum verimi azalmıştır. Çalışmamızda yer alan diğer uygulamalar ise kontrol uygulaması ile benzer değerlere sahiptir.

Meyve Uzunluğu (mm): Fide aşamasında *Trichoderma harzianum* uygulamasından elde edilen meyve uzunluğu değeri kontrol uygulamasından daha fazladır. Çeşitli araştırmacılar benzer sonuçlar elde etmiştir (Shukla vd., 2014). Uddin vd. (2020) yaptığı çalışmada kontrol uygulaması ve 106 spores/ml (T1), 107 spores/ml (T2) olmak üzere iki farklı doz trichoderma uygulaması yapılmış ve T2 daha fazla etkili olmakla birlikte trichoderma uygulamaları meyve boyunu arttırmıştır. Diğer uygulamalar ise kontrol uygulaması ile benzer değerlere sahiptir.

Meyve Eti Sertliği (g/cm²): Tohum aşamasında *Trichoderma harzianum* uygulamasında tüm uygulamalar arasında en yüksek meyve eti sertliği elde edilirken diğer uygulamalarda kontrol uygulamasından yüksek ve benzer değerler elde edilmiştir. Ulfa vd. (2021) kavun meyvesinde yaptıkları çalışmada dört farklı dozda *Trichoderma* uygulaması gerçekleştirmiş ve uygulama dozu arttıkça meyve eti sertliğinin arttığını belirlemişlerdir.

Meyve Et Rengi (Chroma): Fide aşamasında *Trichoderma harzianum* uygulaması ile en yüksek chroma değeri elde edilirken, diğer uygulamalar ve kontrol uygulaması arasında istatistiksel farklılık bulunmamıştır. Palacios-Torres vd. (2019) domates yetiştiriciliğinde *Trichoderma* uygulayarak üç farklı salkım seviyelerinden aldıkları örneklerde çalışmamıza benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Salkım seviyelerinden birinde chroma değeri kontrolle hemen hemen aynı olurken diğer iki uygulamada chroma değerleri kontrolden yüksek bulunmuştur.

Toplam Suda Çözünen Kuru Madde Miktarı (%): Fide ve tohum aşamasında *Trichoderma harzianum* ve *Trichoderma harzianum*+iprodione uygulamalarında birbirine benzer değerler almakla birlikte yine birbirine benzer değerler alan kontrol ve iprodione uygulamalarından daha düşük miktarda bulunmuştur. Palacios-Torres vd. (2019) domates yetiştiriciliğinde *Trichoderma* uygulayarak üç farklı salkım seviyelerinden aldıkları örneklerde Salkım seviyelerinden birinde SÇKM değeri kontrolden daha yüksek bulunmuşken, diğer iki seviyede SÇKM değerleri kontrolden düşük bulunmuştur.

Toplam Fenolik Madde Miktarı (mg/100g): Fide aşamasında *Trichoderma harzianum* uygulaması ile fenolik madde miktarında azalma görülmüştür. Tohum aşamasında *Trichoderma harzianum* ve *Trichoderma harzianum*+iprodione uygulamalarının fenolik madde miktarı benzer ve fide aşamasında *Trichoderma harzianum* uygulamasından düşüktür. Fenolik madde miktarı iprodione uygulamasında kontrole göre daha fazla bulunmuştur. Vukelic vd. (2021) Narvik ve Gružanski zlatni domates çeşitlerinde *Trichoderma* uygulaması gerçekleştirmiş ve her iki çeşitte de uygulamalar sonucunda polifenollerin Narvik için %13,7 ve Gružanski Zlatni için %14,5 oranında azaldığını bildirmişlerdir.

Askorbik Asit (mg/100 ml): *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma harzianum*+iprodione (Shukla vd., 2014) ve iprodione uygulamaları ile askorbik asit miktarında artış belirlenmiştir. Fide aşamasında *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma harzianum*+iprodione ve tohum aşamasında *Trichoderma harzianum*+iprodione uygulamalarının askorbik asit miktarları benzer ve diğer uygulamalardan yüksektir. Singh vd. (2013) domateste üç farklı

Trichoderma uygulaması gerçekleştirmiş ve her üç uygulamaya ait numunelerdeki C vitamini miktarında kontrol uygulamasından yüksek bulunmuştur.

SONUÇLAR

Fide aşamasında *Trichoderma harzianum* uygulaması ile tüm uygulamalardan daha fazla meyve ağırlığı elde edilirken, fide aşamasında *Trichoderma harzianum*+iprodone uygulamasında meyve sayısı daha yüksek, ıskarta meyve oranı daha az olmuş ve en yüksek verim elde edilmiştir.

Fide aşamasında *Trichoderma harzianum* uygulamasından elde edilen meyvelerde, meyve ağırlığı ve chroma renk değerlerinin diğer uygulamalardan yüksek olması bu meyvelerin pazar değerini artırmaktadır. Bununla birlikte fide aşamasında *Trichoderma harzianum*+iprodone uygulamasında verim, meyve sertliği ve fenolik madde miktarı, fide aşamasında *Trichoderma harzianum* uygulamasından daha fazladır.

Çalışmada incelenen parametreler değerlendirildiğinde, fide aşamasında *Trichoderma harzianum* ve *Trichoderma harzianum*+iprodone uygulamalarının diğer uygulamalara göre daha kabul edilebilir olduğu ve meyve kalitesinde önemli etkilere sahip olduğu görülmüştür.

Tablo 1. Trichoderma harzianum'un Domatesin Verim ve Bazı Meyve Kalitesi Parametreleri Üzerine Etkileri

	IPR-	IPR+	IPR-	IPR+	IPR-	IPR+	IPR-	IPR+	IPR-	IPR+
	Meyve ağırlığı (g)		Meyve sayısı		Verim (g/bitki)		Tohum verimi (g/bitki)			
T-	124.100 B	124.367 B	26.63 B	27.60 AB	3307.40 B	3432.07 AB	10.50 A	11.00 A		
T-fide	127.900 A	122.400 BC	26.83 B	28.76 A	3431.63 AB	3516.50 A	8.83 B	10.90 A		
T-tohum	119.800 D	120.600 CD	28.23 A	28.43 A	3379.83 AB	3430.63 AB	9.80 AB	10.50 A		
	TRIC*IPR <0.05 LSD=2.342		TRIC*IPR <0.05 LSD=1.2272		TRIC*IPR <0.05 LSD=140.83		TRIC*IPR <0.05 LSD=1.3961			
	Meyve uzunluğu (mm)		Meyve çapı (mm)		Meyve eti sertliği (g/cm ²)		Iskarta meyve oranı (%)			
T-	59.16 B	59.10 B	62.00	62.43	1175.00 B	1212.67 AB	10.00	9.66		
T-fide	63.16 A	58.86 B	62.16	61.66	1196.33 AB	1203.67 AB	9.83	9.50		
T-tohum	58.83 B	58.90 B	61.16	61.53	1337.33 A	1212.67 AB	9.66	9.5		
	T*IPR <0.05 LSD=1.9812		T*IPR <0.05 LSD=Ö. D.		T*IPR <0.05 LSD=152.34		T*IPR <0.05 LSD=Ö. D.			

Tablo 2. Trichoderma harzianum'un Domatesin Meyve Eti ve Kabuk Rengi (Kroma) Parametreleri Üzerine Etkileri

	IPR-	IPR+	IPR-	IPR+
	Meyve et rengi (Kroma)		Meyve kabuk rengi (Kroma)	
T-	35.53 B	36.39 B	47.78	46.89
T-fide	38.97 A	36.99 B	46.59	46.32
T-tohum	36.37 B	36.77 B	47.48	46.68
	T*IPR <0.05 LSD=1.5767		T*IPR <0.05 LSD=Ö. D.	

Tablo 3. Trichoderma harzianum'un Domatesin Toplam Suda Çözünebilir Katı Maddesi, Toplam Fenolikler ve Askorbik Asit Parametreleri Üzerindeki Etkileri

	IPR-	IPR+	IPR-	IPR+	IPR-	IPR+
	Toplam suda çözünebilir katı madde (%)		Toplam fenolik madde (mg/100g)		Askorbik asit (mg/100 ml)	
T-	5.40 A	5.33 A	1283.50 AB	1308.33 A	71.0 C	76.4 B
T-fide	4.96 B	5.00 B	1212.33 BC	1272.33 AB	80.6 A	80.0 A
T-tohum	4.86 B	4.90 B	1156.00 C	1176.67 C	77.8 B	80.9 A
	T*IPR <0.05 LSD=0.1869		T*IPR <0.05 LSD=86.3		T*IPR <0.05 LSD=1.9904	

KAYNAKÇA

- Anonymous, 2017. <http://www.isth.info/morphology.php>
- Contreras-Cornejo, H. A., Mac'ias-Rodr'iguez, L., Val, E., Larsen, J., 2016. Ecological functions of *Trichoderma spp.* and their secondary metabolites in the rhizosphere: interactions with plants. FEMS Microbiology Ecology, 2016, Vol. 92, No. 4. 1-17.
- Harman, G., 2006. Overview of Mechanisms and Uses of *Trichoderma spp.* Phytopathology. Vol. 96, No. 2, 2006. 190-194.
- Hock, O. G., Subramaniam, G., Abdullah, F. B., 2014. Effect of Trichoderma-Infused Compost on Yield of Chili Plants. Int'l Conf. on Advances in Environment, Agriculture & Medical Sciences (ICAEAM'14) November 16-17, 2014 Kuala Lumpur (Malaysia).
- İkiz, O., Öztekin, G., B., Tüzel, Y., Karaçancı, Ş., Tepecik, M., 2022. Effects of *Trichoderma harzianum* Strains on Seedling Quality of Tomato. Food Science and Technology, 10(1): 54-65.
- McGuire, R. G., 1992. Reporting of Objective Color Measurements. Hortscience, Vol. 27(12), 1254-1255.
- Özbay, N., Ergun, M., Demirkıran, A.R.,2018. Ticari Mikrobiyal Gübre Sim Derma (*Trichoderma harzianum*, Kuen 1585) Uygulamasının Ispanakta Çimlenme, Gelişme ve Verim Üzerine Etkisi Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi 5(4): 482–491.
- Palacios-Torres, R.E., Bustamante-Ortiz, A.G., Prieto-Baeza, L.A., Hernández-Hernández, H.,Ramírez-Seañez, A.R., Yam-Tzec, J.A., Díaz-Félix, G.,2019. Effect of foliar application of Trichoderma on the quality of tomato fruits grown in different hydroponic substrates. Folia Hort. 31(2) (2019): 355-364
- Pearson D., 1970. Analyses. Determination of L-Ascorbic Acid. International Federation of Fruit Juice Producers No:17.
- Shukla, S. K., Adak, T., Singha, A., Kumar, K., 2014. Response Of Guava Trees (*Psidium Guajava*) To Soil Applications of Mineral and Organic Fertilisers And Biofertilisers Under Conditions Of Low Fertile Soil. Journal Of Horticultural Research 2014, Vol. 22(2): 105-114.
- Singh, M., 2015. Interactions among arbuscular mycorrhizal fungi, *Trichoderma harzianum*, *Aspergillus niger* and biocontrol of wilt of

- tomato. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 2015, Vol. 48, No. 3, 205–211.
- Singh, S.P., Singh, H.B., Singh, D.K., 2013. Effect of *Trichoderma harzianum* on Mineral Component and Antioxidant Activity of Tomato Fruits. Vegetos- An International Journal of Plant Research. Vol. 26 (2) : 237-244.
- Tančić-Živanov, S., Medić-Pap, S., Danojević, D., Prvulović, D., 2020. Effect of *Trichoderma* spp. on Growth Promotion and Antioxidative Activity of Pepper Seedlings. Braz. arch. biol. technol. 63.
- Uddin, J AFM., Sabrina, N., Husna, M.A., Imam, M.H. and Rakibuzzaman, M. (2020). Bio-Efficacy of *Trichoderma harzianum* Spore Concentrations on Tomato Production. Int. J. Bus. Soc. Sci. Res. 8(3): 124–129.
- Ulfa, F., Mustari, K., Rifai, S.N.A., Syam'un, E., Dungga, N. E., Widiyani, N., 2021. Response of Melon (*Cucumis melo* L.) to the application of Bio-slurry fertilizer and *Trichoderma harzianum*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 807 (2021) 042046.
- Vukelić, I.D., Prokić, L.T., Racić, G.M., Pešić, M.B., Bojović, M.M., Sierka, E.M., Kalaji, H.M., Panković, D.M., 2021. Effects of *Trichoderma harzianum* on Photosynthetic Characteristics and Fruit Quality of Tomato Plants. Int. J. Mol. Sci. 22, 6961.
- Willcox, J.K., Catignani, G.L., Lazarus, S., 2003. Tomatoes and Cardiovascular Health. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 43(1):1–18.
- Zheng W., Wang S.Y. 2001. Antioxidant Activity and Phenolic Compounds in Selected Herbs. J. Agric. Food Chem., 49: 5165–5170.
- Zin, N. A., Badaluddin, N. A., 2020. Biological functions of *Trichoderma* spp. for agriculture applications. Annals of Agricultural Sciences, 65 (2):168-178.

BÖLÜM 10

BİTKİ-NEMATOD ETKİLEŞİMİ: MELATONİN UYGULAMASININ KÖK-UR NEMATODU İLE BULAŞIK DOMATESİN STRES TEPKİSİ ÜZERİNE ETKİSİNİN ZAMANA BAĞLI DEĞİŞİMİ

Prof. Dr. Zeliha GÖKBAYRAK^{1*}

Doç. Dr. Çiğdem GÖZEL²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10207973>

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, 17020 Çanakkale-Türkiye. <https://orcid.org/0000-0002-0012-9782>

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü, 17020 Çanakkale-Türkiye. <https://orcid.org/0000-0002-0742-7205>

*sorumlu yazar: zgokbayrak@comu.edu.tr

GİRİŞ

Domates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) dünyada en fazla yetiştirilen sebze türlerindedir. Dünyada 2021 yılı itibari ile 189 133 955 ton domates üretimi yapılmış olup Türkiye, Çin ve Hindistan'ın ardından üçüncü sırada yer almıştır (Anonim, 2021). Önemli bir ürün olan domates hastalık ve zararlılara karşı en duyarlı sebze türlerindedir. Biyolojik stres ajanları domates verimini etkilemektedir, kök-ur nematodları (*Meloidogyne* spp.) da bunların arasında özel bir öneme sahiptir.

Kök-ur nematodları sıcak-ılıman, tropik ve subtropik iklim kuşağındaki en önemli problemdir. Toprak kökenli kalıcı endoparazit olan bu zararlıların 3000'in üzerinde konukçusu bulunmakta olup en yaygın türleri *M. incognita*, *M. javanica* ve *M. hapla*'dır (Abad vd., 2003; Jones vd., 2013; Shilpa vd., 2022). *Meloidogyne* infeksiyonunun en belirgin morfolojik reaksiyonu, kök üzerinde gelişen urlardır, bunlar bitkinin besin maddesi ve su yönünü değiştirirler. Kök-ur nematodları yaşam döngülerini toprak sıcaklığı 26-27°C olduğunda yaklaşık 28 günde tamamlar (Bleve-Zacheo vd., 2007; Gowda vd., 2019).

Tüm *Meloidogyne* spp. benzer bir yaşam döngüsüne sahiptir. Yumurtalar jelatinimsi kümeler halinde biriktirilir, toprakta veya bitki parçalarında hayatta kalırlar. Mobil olan 2. dönem juveniller (J2'ler) yumurtalardan çıkar ve bitkinin kök uçlarına doğru hareket ederler. Duyarlı bitkilerde, J2'ler önce köke nüfuz eder ve korteks hücreleri arasından aşağıya doğru apikal meristem bölgesine doğru ilerlerler. Daha sonra vasküler silindire yukarıya doğru hareket ederek dev hücreler olarak bilinen özel hipertrofik ve çok çekirdekli besleyici hücreleri tetiklerler. Hareketsiz hale gelen ve şişkinleşen bireyler, J3 ve J4'e dönüşürler. Sonunda da genellikle kökün dış yüzeyinde bulunan bir yumurta kütesine 1000'den fazla yumurta bırakabilen yetişkin dişi bireylere dönüşürler (Moens vd., 2009; Jones vd., 2013).

Nematodların beslenmeye başladıktan sonra konukçu hücrede sitokinesis olmadan çekirdek bölünmesi gerçekleşir ve bitkide çok çekirdekli dev hücrelerin oluşumu gözlemlenir. Kök-ur nematodlarının bitkideki en belirgin semptomları beslenmeleri sonucu bitki köklerinde oluşturmuş

oldukları irili-ufaklı urlardır (Bleve-Zacheo ve Mellilo, 1997; Williamson ve Gleason, 2003; Karssen ve Moens, 2006).

Tarımsal zararlılar tarafından başlatılan biyotik stresi önlemek veya hafifletmek amacıyla kimyasal, genetik, biyolojik yöntemler tek başına veya entegre şekilde uygulanmaktadır (Wyckhuys vd., 2019). Kök-ur nematodlarının kontrolünde en sıklıkla başvurulanan yöntem nematisit uygulamaktır. Ancak çevre üzerindeki olumsuz etkileri nedeni ile çoğu sentetik nematisit kullanımdan kaldırılmış ve daha güvenli çözüm arayışlarına yönelmiştir (Lamichhane vd., 2018).

Melatonin bitkide çok farklı etkilere sahip bir molekül olup son yıllarda biyotik stres koşullarında bitkinin toleransı üzerine etkileri sıklıkla araştırılmaktadır. *Pseudomonas syringae*'ye karşı antibakteriyel etkileri *Arabidopsis thaliana* ve *Nicotiana benthamiana* bitkilerinde tespit edilmiştir (Lee vd., 2014, 2015). *Solanum lycopersicon* bitkisinde tütün mozaik virüsüne karşı kullanıldığında virüs ile enfekteli bitkilerde virüs konsantrasyonunu azaltmıştır (Zhao vd., 2019). *Diplocarpon mali* ile bulaşık *Malus prunifolia* bitkisinde hastalığın zararını azaltmıştır (Yin vd., 2013).

Yapraktaki klorofil miktarı yaprağın azot (N) miktarı ile yakından ilintilidir. Çünkü fotosentez proteinleri bir yapraktaki N'nin yarısını oluşturur (Evans, 1989). Yaprığın klorofili N verilmesi ile artar ve N kısıtlı olduğunda azalır (Chang ve Robinson, 2003). N desteği hem protein, hem de polifenol sentezini etkiler çünkü bu iki bileşik sınıfının biyosentez yolları aynı öncül bileşiği, L-fenilalanin amino asitini, paylaşmaktadır (Jones ve Hartley, 1999). Diğer yandan yapraktaki flavonol konsantrasyonu ile N miktarı arasında negatif bir ilişki bulunmaktadır (Cartelat vd., 2005). Klorofil ve flavonoidin N'ye karşı zıt bağımlılığı nedeni ile bu iki bileşiğin birbirine oranı tek bir bileşiğin ele alınmasına oranla yaprağın N durumu hakkında daha bilgi sağlayıcı olmaktadır (Agati vd., 2016). Nitrojen balans indeksi (Nitrogen Balance Index, NBI) olarak tanımlanan bu özellik bitkilerin stres koşullarına verdikleri tepkinin belirlenmesi açısından fayda sağlamaktadır.

Bu çalışma *M. incognita* bulaştırılmış domates bitkilerine daldırma, sulama ve püskürtme yöntemleri ile verilen melatonin uygulamasının deneme boyunca yapılan aralıklı ölçümlerde nitrojen balans indeksinin zamana bağlı değişimini ortaya koymaya amaçlamıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

3-4 yapraklı Heinz-2274 domates (*Lycopersicon esculentum* L.) fideleri kullanılmıştır. Yetiştirme ortamı olarak 1.4 l hacmindeki saksılara 8:2 kumlu: killi toprak kullanılmış ve 121°C'de 90 dakika otoklavda steril edilmiştir. Çalışmada *M. incognita* Çanakale izolatu (MI) kullanılmıştır. Fidelere *M. incognita*'nın 2. dönem larvaları (J2) bulaştırılmıştır. Nematod aşılama larvaları bitki kök boğazından 3-4 cm mesafede, 4-5 cm derinlik ve 1 cm çapında açılan oyuklara yapılmıştır. Her bir oyuğa her bir saksı için 1000 J2 olacak şekilde 20 ml sulama suyunda homojen bir şekilde verilmiştir.

Fideler uygulama yöntemine göre üç gruba ayrılmıştır; daldırma, sulama ve yaprağa püskürtme. Melatonin (MEL; Merck M2250) 4 farklı konsantrasyonda (0, 10, 50 ve 100 µM) çözelti haline getirilmiştir. Yetiştirme ortamından çıkarılan tüm fidelerde kök bölgesi temizlenmiştir. Daldırma yönteminde fideler hazırlanan çözelti içinde 10 dakika bekletilmiş ve saksılara dikilmiştir. Sulama ve püskürtme yöntemlerinde ise melatonin 3 kez uygulanmıştır. Bir hafta ara ile tekrarlanan uygulamalarda her bir saksıya sırası ile 10, 20 ve 40 ml MEL çözeltisi verilmiştir.

Saksılar daha sonra 26±1°C ve 18/6 saat (A/K) fotoperiyod koşullarına sahip iklim odasında yetiştirilmeye alınmıştır. Bitkileri su ihtiyacı eşit miktarda 50 ml) su verilerek karşılanmıştır.

Denemenin başından sonuna kadar (56 gün) domates bitkilerinin *M. incognita*'ya karşı tepkilerinin belirlenebilmesi için bitkilerdeki nitrojen balans durumu (NBI) bitkinin klorofil ve polifenol durumunu ölçen optik leafclip meter Dualex® (Metos®, Avusturya) aleti kullanılarak ölçülmüştür. Bitkilere MEL uygulamaları öncesi (1. gün) en yaşlı yaprakta, yüzeydeki tüyler temizlendikten sonra, yaprağın alt ve üst kısmından en az 3 farklı noktada orta damara temas etmeyen bir alandan (5 mm çaplı) ölçümler aynı anda otomatik olarak yapılmıştır. Uygulamalardan sonra ise aynı şekilde her bitkiden 2 haftada bir (14., 28., 42. ve 56. gün) sabah saatlerinde ölçümler yapılmıştır.

Dualex Sensörünün Tanımlanması

Dualex (Metos®, Avusturya) flavonoller, antosiyaninler ve klorofil indisi sağlayan yaprak-tutucu optik bir sensördür. Yaprak klorofil miktarı, klorofil tarafından tutulan 710 nm'de ve yaprak yapısının etkisini dikkate almak için 850 nm'de ışık transmisyonunun ölçülmesi ile belirlenir.

Klorofil indeksi aşağıdaki formül ile belirlenir.

$$CHL = [(I_{850} / I_{0,850}) / (I_{710} / I_{0,710})] - 1$$

I ve I_0 sensörde sırası ile yapraklı ve yapraksız ölçümlerdeki sinyaldir.

Dualex cihazı yaprak epidermal flavonollerini veya antosiyaninlerini sırası ile 375 ve 520 nm'de klorofil floresans (ChlF) tarama yöntemini kullanarak (Agati vd., 2011) ve ChlF sinyallerini bu uyarılmış dalga boyları altında ve 650 nm'de kırmızı uyarım altında eşitleyerek ölçer (Goulas vd., 2004).

Yaprak epidermisinde bulunan bileşikler anlık radyasyonu, mezofilde yer alan ilk klorofil katmanına ulaşmadan, absorpsiyon spektrumuna bağlı olarak, zayıflatır. Flavonoller dikotiledonlarda UV radyasyonunu 375 nm'de yapan ana flavonoidlerdir; dolayısıyla, bu radyasyon (ChlF_UV) tarafından uyarılan ChlF'nin yoğunluğu epidermal flavonollerin konsantrasyonuna ters orantılıdır.

Flavonoller tarafından zayıflatılmayan kırmızı renk uyarımı yapılarak, flavonol konsantrasyonundan bağımsız bir ChlF sinyali (ChlF_R) sağlanır. Bu sinyal referans olarak kullanılır. Farklı iki uyarımdan elde edilen ChlF sinyallerinin karşılaştırılmasıyla, kırmızı ışık ve UV radyasyonu altındaki ChlF'nin oranının logaritması olarak hesaplanan bir flavonol indeksi bulunur.

$$FLA = \log (ChlF_R / ChlF_UV)$$

Aynı durum antosiyaninlerin tayininde, UV yerine antosiyaninler tarafından absorplanan yeşil ışık kullanılarak kullanılmaktadır (Agati vd., 2013). Bu indekslere ek olarak, Dualex sensörü bitkinin yaprak nitrojen durumuna vekil olarak kullanılabilir klorofil ile flavonollerin birbirine oranı olan nitrojen balans indeksini (NBI) de ölçmektedir (Hong vd., 2018).

$$NBI = CHL / FLAV$$

İstatistik Analiz

Tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü ve her tekerrürde 1 bitki olacak şekilde düzenlenen denemede elde edilen veriler SPSS (IBM Statistics, ver. 26) istatistik paket programında tekrarlanan ölçümlü general linear modelde analiz edilerek profil grafikleri elde edilmiştir. Önemli gruplar arasındaki fark Duncan çoklu karşılaştırma testi (%95 güven düzeyi) ile belirlenmiştir.

ARAŞTIRMA BULGULARI

Çalışmada elde edilen verilere ait tanımlayıcı istatistik sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Çalışmanın verileri profil grafikleri üzerinden değerlendirilmiştir.

Tablo 1: Üç farklı yöntem ile verilen melatonin uygulamalarının domates bitkisinde NBI değeri üzerine olan etkisinin zamana göre değişimine ait tanımlayıcı istatistikler (ort± SS).

Yöntem	Uygulama	Gün 1	Gün 14	Gün 28	Gün 42	Gün 56
Daldırma	10 µM MEL*	32.3±3.4	31.4±7.0	29.2±11.2	36.7±8.6	40.4±10.6
	10 µM MEL +Mi	31.7±3.0	35.6±5.6	38.5±7.4	33.8±8.7	24.4±5.0
	100 µM MEL	35.5±0.0	33.1±6.6	29.3±10.5	41.3±11.4	42.2±6.1
	100 µM MEL +Mi	31.2±1.6	33.6±4.8	41.7±7.3	39.6±9.9	32.3±6.6
	50 µM MEL	30.3±5.3	33.3±4.8	26.0±9.7	41.1±3.9	36.6±6.8
	50 µM MEL +Mi	25.1±2.9	33.8±2.8	40.7±2.7	40.3±3.1	27.9±4.7
	Saf su (dH ₂ O)	34.1±2.7	30.8±3.0	40.8±7.8	42.7±3.9	43.6±2.7
Saf su (dH ₂ O) +Mi	33.3±0.3	38.8±3.7	37.6±14.0	31.6±4.5	14.8±3.5	
Sulama	10 µM MEL	31.1±4.6	40.3±3.8	37.8±7.6	38.4±8.9	38.4±7.6
	10 µM MEL +Mi	21.9±5.4	25.4±9.7	36.4±13.5	20.3±4.2	16.1±3.4
	100 µM MEL	32.6±9.6	38.5±1.6	36.8±8.2	42.6±2.3	33.3±13.7
	100 µM MEL +Mi	30.0±1.8	42.2±5.3	48.1±5.3	34.3±15.4	22.9±8.0
	50 µM MEL	35.7±1.1	35.1±12.2	36.8±9.6	27.4±17.9	30.1±5.8
	50 µM MEL +Mi	32.3±2.6	36.5±7.1	35.9±12.5	24.8±17.2	21.0±7.7
	Saf su (dH ₂ O)	29.9±5.3	32.4±8.0	33.0±7.5	34.7±9.9	34.4±9.4
Saf su (dH ₂ O) +Mi	33.2±4.4	38.0±2.4	43.8±11.5	21.9±5.9	24.9±0.6	

* kısaltmalar; MEL, melatonin; Mi, *Meloidogyne incognita*

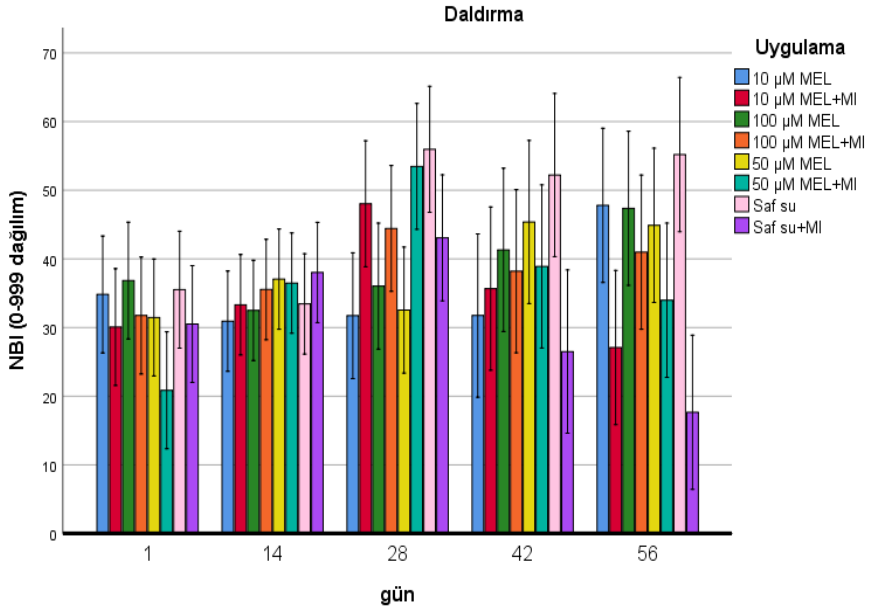
Tablo 1: Devam

Yöntem	Uygulama	Gün 1	Gün 14	Gün 28	Gün 42	Gün 56
Püskürtme	10 µM MEL	38.4±8.3	36.3±3.8	35.8±6.9	28.6±4.9	27.4±4.3
	10 µM MEL +Mi	32.0±10.1	45.1±4.3	48.3±14.3	38.9±11.5	33.9±3.4
	100 µM MEL	34.7±4.4	37.5±5.2	42.5±8.5	27.4±7.1	42.9±2.8
	100 µM MEL +Mi	36.7±6.5	31.8±10.7	34.2±4.6	39.6±13.4	24.3±3.9
	50 µM MEL	34.8±3.2	37.0±3.4	42.4±5.5	34.8±7.7	35.2±8.6
	50 µM MEL +Mi	30.2±5.4	43.2±5.1	36.6±12.7	46.5±6.9	37.7±7.1
	Saf su (dH ₂ O)	31.7±0.5	39.7±8.0	38.9±14.1	27.8±13.7	33.4±3.0
	Saf su (dH ₂ O) +Mi	33.0±5.6	42.1±9.7	43.2±11.9	37.3±4.4	23.8±6.2

* kısaltmalar; MEL, melatonin; Mi, *Meloidogyne incognita*

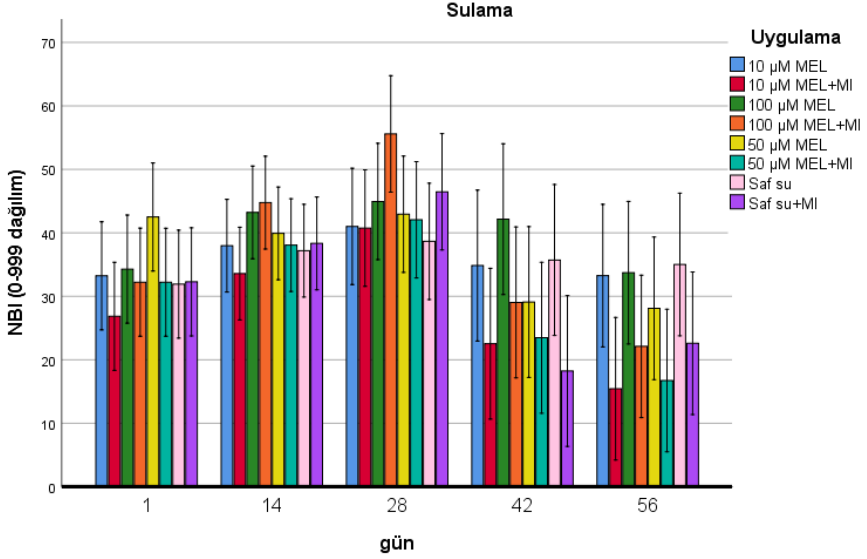
Daldırma yöntemi ile verilen melatoninin konsantrasyondan bağımsız şekilde nematod ile enfekteli bitkilerin NBI değerlerini 28. güne kadar sürekli yükselttiğini ancak daha sonra düşüşe geçtiğini ve son günde başlangıçtakinden daha yüksek değere sahip kıldığı görülmüştür (Şekil 1).

Nematodsuz ortamda bulunan bitkilerde ise 50 µM haricinde, giderek yükselen bir eğilim gösterdiği tespit edilmiştir. Nematod ile enfekteli bitkilerde artış hızının en fazla 10 ve 50 µM melatonin uygulananlarda olduğu, buna karşılık 100 µM melatoninin daha uzun süre koruduğu anlaşılmıştır. Melatonin uygulamasının toprakta nematod bulunup bulunmama dahi, nematod ile enfekteli olup melatonin uygulanmayan (saf su+MI) bitkilerin azot durumunu daha iyi düzeyde tuttuğu açıkça görülmüştür.



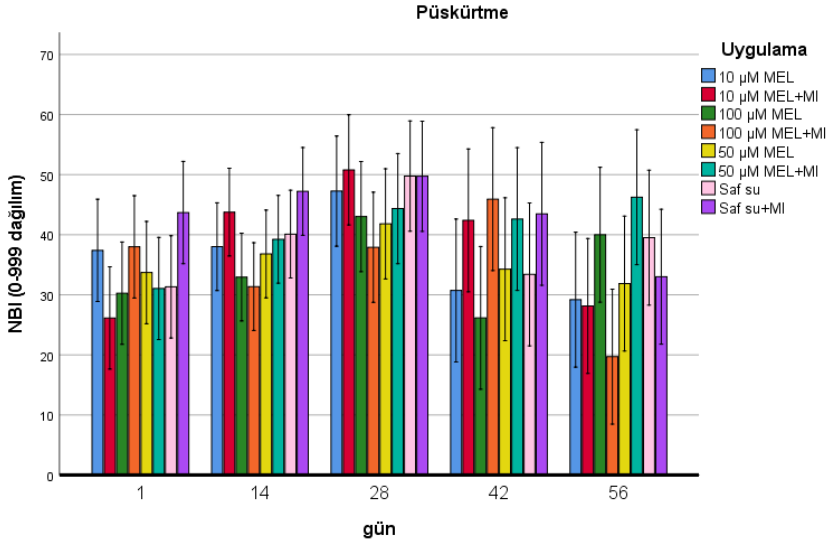
Şekil 1: *Meloidogyne incognita* ile enfekteli olan ve olmayan H2274 domates bitkilerine daldırma yöntemi ile uygulanan melatoninin NBI değeri üzerine etkisinin zamana bağlı değişimi

Sulama şeklinde birer hafta ara ile 3 kez verilen melatoninin, 10 ve 100 µM konsantrasyonları ile yine 28. günden sonra NBI değerlerinin giderek azaldığı ve son ölçümlerde başlangıçtan daha düşük olduğu değerlendirilmiştir (Şekil 2). 50 µM melatonin ise nematod ile bulaşık bitkilerde 14. günden itibaren daha düşük NBI değerine neden olmuştur. Genel anlamda sulama yöntemi bitkinin yüksek NBI değerini korumasına yardımcı olmamıştır.



Şekil 2: *Meloidogyne incognita* ile enfekteli olan ve olmayan H2274 domates bitkilerine sulama (3 kez) yöntemi ile uygulanan melatoninin NBI değeri üzerine etkisinin zamana bağlı değişimi

Püskürtme yöntemi ile 3 kez yapraklara uygulanan melatoninin konsantrasyon farkının daha belirgin olduğu gözlenmiştir. Denemenin ilk günü ve son günü birlikte değerlendirildiğinde, nematod ile enfekteli bitkilerde en yüksek NBI değerinin 50 µM ile sağlandığı tespit edilmiştir. 100 µM melatonin ise tam tersi ile sonuçlanmıştır.



Şekil 3: *Meloidogyne incognita* ile enfekteli olan ve olmayan H2274 domates çeşidi bitkilerine yapraklarına püskürtme (3 kez) yöntemi ile uygulanan melatoninin NBI değeri üzerine etkisinin zamana bağlı değişimi

TARTIŞMA

Dışsal melatonin uygulaması veya içsel biyosentez mekanizmasının teşviki bitkilerin stresli koşullara verdikleri tepkileri ayarlayarak bitkinin metabolizmasını, morfolojisini ve fizyolojisini düzenleyerek hayatta kalmasına ve daha fazla stres toleransına sahip olmasına yardımcı olabilir (Kolář vd., 2003; Arnao ve Hernandez-Ruiz, 2021). Melatonin ayrıca stresin engelleyici etkilerini antioksidantları düzenleyerek ve fotosentezi artırarak (Arnao ve Hernandez-Ruiz, 2019) hormonları ve/veya sekonder metabolizmayı (Song vd., 2022) da tersine çevirebilir. NBI fotosentez ile pozitif yönde katkıda bulunduğu tespit edilmiş bir göstergedir (Hamdane vd., 2022). Asma kallus kültüründe de melatoninin antioksidan ve fenolik kapasitesini arttırdığı tespit edilmiştir (Yıldız vd., 2023).

Çalışma sonucunda elde edilen verilerin gösterdiği üzere, flavonoid ve klorofilin birbirine oranlanması ile belirlenen NBI göstergesi kök-ur nematodunun bitkinin N durumu üzerine olan etkisinin belirlenmesinde etkin bulunmuştur. *Meloidogyne* türlerinin yaşam döngüsü yaklaşık 21-28 günde

tamamlanmaktadır (Bleve-Zacheo vd., 2007; Gowda vd., 2019). 28 güne kadar yapılan ölçümlerde bitkilerin yapraktaki klorofil seviyesi artmış, buna karşılık flavonoid seviyesi daha düşük kalmıştır. Sonuçta NBI değerleri yükselmiştir. Ancak 28. günden itibaren görülen düşüş, nematod varlığının kök çevresinde arttığı ve zarar eşik seviyesine yakın veya üstünde olması nedeni ile flavonoidlerin yükseldiğinin bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

Melatonin klorofili koruyarak yaprağın yaşlanmasına engel olur (Choi ve Back, 2019; Yin vd., 2019; Tan ve Reiter, 2020). Domates 100 μ M melatonin uygulaması içsel melatonin seviyesini, fotosentez pigment miktarını arttırmış ve stres koşullarında fotosentez pigmentlerinin gen ifadelerini yukarı yönlü düzenlemiştir (Jahan vd., 2019). Melatonin ön uygulaması yapılan mısır bitkilerinin kuraklık stresi altında fotosentezi ve klorofil miktarını arttırdığı bildirilmiştir (Ye vd., 2016). Hong vd. (2018) melatoninin önemli miktarda klorofilin parçalanmasını engelleyerek, yaprağın yaşlanmasını geciktirdiğini rapor etmişlerdir.

Pigment miktarı bitkinin tüm çevresel koşullar altında dayanımı için mutlak gereklidir. Stres koşullarının domatesteki klorofil a, b ve karotenoidler üzerindeki olumsuz etkisi 100 μ M melatonin uygulaması ile önemli derecede iyileştirilmiştir (Altaf vd., 2021). Melatonin uygulamalarının, nematod ile bulaşık ortamlarda yetiştirilen domates bitkilerinin klorofil pigment miktarını hiç uygulama yapılmayanlara oranla daha iyi koruduğu gözlenmiştir.

SONUÇ

Meloidogyne incognita ile enfekteli domates bitkilerinin melatoninin farklı konsantrasyonlarına gösterdiği tepkinin zaman içinde verilmiş yöntemine göre farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Bitkinin azot durumunun göstergesi olarak değerlendirilen NBI indeksi 50 μ M melatonin püskürtme şeklinde uygulandığında, 10 ve 100 μ M melatonin sulama veya daldırma şeklinde uygulandığında en yüksek değerleri sağlamıştır.

Toprak kökenli biyotik stres ajanlarının bitkide meydana getirdiği zararın tespitine yönelik çalışmalar, toprak üstü bitki kısımlarını hedefleyen zararlılara yönelik olanlara göre daha azdır. Bunun sebebi, abiyotik stres faktörlerinin tamamen izole edilememesi ve toprak zararlılarının etkilerinin

çevresel koşullara atfedilmesinde görülen eğilimdir. Kök-ur nematodlarının zararının telafi edilmesine yönelik bitki büyüme düzenleyicilerinin kullanımı, elde edilen başarı ile orantılı olarak, çevreye duyarlı yeni stratejilerin geliştirilmesinde itici güç olabilecektir.

Bitkinin gelişimine bağlı olarak direncinde meydana gelebilen artışın bu tür maddeler ile desteklenmesi gerektiği bu çalışmada ortaya konulmuş olmakla birlikte, uygulama yönteminin ve madde konsantrasyonunun etkisi yine de göz ardı edilemeyecek birer faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Bitkinin bulunduğu koşulların her an takip edilmesine olanak sağlayan yerinde-temaslı ölçümlerin stresin oluşum ve ilerleyiş durumlarını takip etmede sağladığı yararın da ortaya konulduğu benzer çalışmaların arttırılması ve bahçe koşullarında tekrarlanması daha detaylı bilgi sağlayacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK 119O660 No'lu proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

- Abad, P., Favery, B., Rosso, M. N., & Castagnone-Sereno, P. (2003). Root-knot nematode parasitism and host response: molecular basis of a sophisticated interaction. *Molecular Plant Pathology*, 4(4), 217-224.
- Agati, G., Cerovic, Z. G., Pinelli, P., & Tattini, M. (2011). Light-induced accumulation of ortho-dihydroxylated flavonoids as non-destructively monitored by chlorophyll fluorescence excitation techniques. *Environmental and Experimental Botany*, 73, 3-9.
- Agati, G., D'Onofrio, C., Ducci, E., Cuzzola, A., Remorini, D., Tuccio, L., ... & Mattii, G. (2013). Potential of a multiparametric optical sensor for determining in situ the maturity components of red and white *Vitis vinifera* wine grapes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(50), 12211-12218.
- Agati, G., Tuccio, L., Kusznierevicz, B., Chmiel, T., Bartoszek, A., Kowalski, A., ... & Kaniszewski, S. (2016). Nondestructive optical sensing of flavonols and chlorophyll in white head cabbage (*Brassica oleracea* L. var. capitata subvar. alba) grown under different nitrogen regimens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(1), 85-94.
- Altaf, M.A., Shahid, R., Ren, M.X., Khan, L.U., Altaf, M.M., Jahan, M.S., Nawaz, M.A., Naz, S., Shahid, S., Lal, M.K., & Tiwari, R.K. (2021). Protective mechanisms of melatonin against vanadium phytotoxicity in tomato seedlings: insights into nutritional status, photosynthesis, root architecture system, and antioxidant machinery. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-17.
- Anonim, (2021). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> FAO tarım istatistikleri. Erişim tarihi: Ağustos, 2023.
- Arnao, M. B., & Hernández-Ruiz, J. (2019). Melatonin: a new plant hormone and/or a plant master regulator? *Trends in Plant Science*, 24(1), 38-48.
- Arnao, M. B., & Hernandez-Ruiz, J. (2021). Melatonin against environmental plant stressors: A review. *Current Protein and Peptide Science*, 22(5), 413-429.
- Bleve-Zacheo, T., Melillo, M. T., & Castagnone-Sereno, P. (2007). The contribution of biotechnology to root-knot nematode control in tomato plants. *Pest Technology*, 1(1), 1-16.

- Cartelat, A., Cerovic, Z.G., Goulas, Y., Meyer, S., Lelarge, C., Prioul, J.L., Barbottin, A., Jeuffroy, M.H., Gate, P., Agati, G., & Moya, I. (2005). Optically assessed contents of leaf polyphenolics and chlorophyll as indicators of nitrogen deficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crops Research*, 91(1), 35-49.
- Chang, S. X., & Robison, D. J. (2003). Nondestructive and rapid estimation of hardwood foliar nitrogen status using the SPAD-502 chlorophyll meter. *Forest Ecology and Management*, 181(3), 331-338.
- Choi, G. H., & Back, K. (2019). Suppression of melatonin 2-hydroxylase increases melatonin production leading to the enhanced abiotic stress tolerance against cadmium, senescence, salt, and tunicamycin in rice plants. *Biomolecules*, 9(10), 589.
- Evans, J. R. (1989). Partitioning of nitrogen between and within leaves grown under different irradiances. *Functional Plant Biology*, 16(6), 533-548.
- Goulas, Y., Cerovic, Z. G., Cartelat, A., & Moya, I. (2004). Dualex: a new instrument for field measurements of epidermal ultraviolet absorbance by chlorophyll fluorescence. *Applied Optics*, 43(23), 4488-4496.
- Gowda, M. T., Rai, A. B., & Singh, B. (2019). Root knot nematodes menace in vegetable crops and their management in India: A Review. *Vegetable Science*, 46 (1and2), 1-16.
- Hamdane, Y., Gracia-Romero, A., Buchailot, M.L., Sanchez-Bragado, R., Fullana, A.M., Sorribas, F.J., Araus, J.L., & Kefauver, S.C., (2022). Comparison of proximal remote sensing devices of vegetable crops to determine the role of grafting in plant resistance to *Meloidogyne incognita*. *Agronomy*, 12(5), 1098.
- Hong, Y., Zhang, Y., Sinumporn, S., Yu, N., Zhan, X., Shen, X., ... & Cao, L. (2018). Premature leaf senescence 3, encoding a methyltransferase, is required for melatonin biosynthesis in rice. *The Plant Journal*, 95(5), 877-891.
- Jahan, M. S., Shu, S., Wang, Y., Chen, Z., He, M., Tao, M., ... & Guo, S. (2019). Melatonin alleviates heat-induced damage of tomato seedlings by balancing redox homeostasis and modulating polyamine and nitric oxide biosynthesis. *BMC Plant Biology*, 19(1), 1-16.
- Jones, C. G., & Hartley, S. E. (1999). A protein competition model of phenolic allocation. *Oikos*, 27-44.

- Jones, J. T., Haegeman, A., Danchin, E. G., Gaur, H. S., Helder, J., Jones, M. G., ... & Perry, R. N. (2013). Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. *Molecular plant pathology*, 14(9), 946-961.
- Karssen, G., & Moens, M. (2006). Root-knot Nematodes. s: 59-90. Eds. Perry, RN and M. Moens. *Plant Nematology*. CABI.
- Kolář, J., Johnson, C. H., & Macháčková, I. (2003). Exogenously applied melatonin (N-acetyl-5-methoxytryptamine) affects flowering of the short-day plant *Chenopodium rubrum*. *Physiologia Plantarum*, 118(4), 605-612.
- Lamichhane, J. R., Osdaghi, E., Behlau, F., Köhl, J., Jones, J. B., & Aubertot, J. N. (2018). Thirteen decades of antimicrobial copper compounds applied in agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38, 1-18.
- Lee, H. Y., Byeon, Y., & Back, K. (2014). Melatonin as a signal molecule triggering defense responses against pathogen attack in Arabidopsis and tobacco. *Journal of Pineal Research*, 57(3), 262-268.
- Lee, H. Y., Byeon, Y., Tan, D. X., Reiter, R. J., & Back, K. (2015). Arabidopsis serotonin N-acetyltransferase knockout mutant plants exhibit decreased melatonin and salicylic acid levels resulting in susceptibility to an avirulent pathogen. *Journal of Pineal Research*, 58(3), 291-299.
- Moens, M., Perry, R. N., & Starr, J. L. (2009). Meloidogyne species-a diverse group of novel and important plant parasites. In *Root-knot nematodes* (pp. 1-17). Wallingford UK: CABI.
- Shilpa, Sharma, P., Thakur, V., Sharma, A., Rana, R. S., & Kumar, P. (2022). A status-quo review on management of root knot nematode in tomato. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 97(4), 403-416.
- Song, Z., Yang, Q., Dong, B., Li, N., Wang, M., Du, T., Liu, N., Niu, L., Jin, H., Meng, D., & Fu, Y., (2022). Melatonin enhances stress tolerance in pigeon pea by promoting flavonoid enrichment, particularly luteolin in response to salt stress. *Journal of Experimental Botany*, 73(17), 5992-6008.
- Tan, D. X., & Reiter, R. J. (2020). An evolutionary view of melatonin synthesis and metabolism related to its biological functions in plants. *Journal of Experimental Botany*, 71(16), 4677-4689.
- Williamson, V.M., & Gleason, C.A. (2003). Plant-nematode interactions. *Current Opinion in Plant Biology*, 6(4), 327-333.

- Wyckhuys, K.A., Hughes, A.C., Buamas, C., Johnson, A.C., Vasseur, L., Reymondin, L., Deguine, J.P., & Sheil, D., (2019). Biological control of an agricultural pest protects tropical forests. *Communications Biology*, 2(1), 10.
- Ye, J., Wang, S., Deng, X., Yin, L., Xiong, B., & Wang, X. (2016). Melatonin increased maize (*Zea mays* L.) seedling drought tolerance by alleviating drought-induced photosynthetic inhibition and oxidative damage. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38(2), 48.
- Yıldız, S., Gökçen, İ. S., Kaya, A. Ç., Batuk, M., Keskin, N., & Kunter, B. (2023). Asmada in vitro melatonin uygulamalarının kallus oluşumu ile antioksidan aktivite ve toplam fenolik bileşik içeriği üzerine etkisi. *Bahçe*, 52 (Özel Sayı 1), 67-71.
- Yin, L., Wang, P., Li, M., Ke, X., Li, C., Liang, D., Wu, S., Ma, X., Li, C., Zou, Y., & Ma, F., (2013). Exogenous melatonin improves *Malus* resistance to Marssonina apple blotch. *Journal of Pineal Research*, 54(4), 426-434.
- Yin, Z., Lu, J., Meng, S., Liu, Y., Mostafa, I., Qi, M., & Li, T. (2019). Exogenous melatonin improves salt tolerance in tomato by regulating photosynthetic electron flux and the ascorbate–glutathione cycle. *Journal of Plant Interactions*, 14(1), 453-463.
- Zhao, L., Chen, L., Gu, P., Zhan, X., Zhang, Y., Hou, C., Wu, Z., Wu, Y.F., & Wang, Q.C., (2019). Exogenous application of melatonin improves plant resistance to virus infection. *Plant Pathology*, 68(7), 1287-1295.

BÖLÜM 11

KURAKLIK STRESİNİN BİBERİN MORFOLOJİSİ, FİZYOLOJİSİ, BÜYÜMESİ, BİYOKÜTLE VE VERİM KOMPONENTLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Arş. Gör. Dr. Tolga SARIYER^{1*}

Doç. Dr. Nusret ÖZBAY²

Dr. Öğr. Üyesi Aygül KARACA³

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10207975>

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, 17020 Çanakkale-Türkiye. <https://orcid.org/0000-0002-1844-2996>

*sorumlu yazar: tolgasariyer@comu.edu.tr

²Bingöl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, 12000 Bingöl-Türkiye. <https://orcid.org/0000-0001-9642-119X>

³Bingöl Üniversitesi Gıda Tarım ve Hayvancılık MYO, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Organik Tarım Programı. <https://orcid.org/0000-0001-9142-9678>

GİRİŞ

Kuraklık temel iklim sorunlarından biridir. Dünya'nın birçok bölgesinde en önemli abiyotik streslerden birisi olup, tarımsal kayıpların ana nedenidir. Kuraklık, düzensiz yağış veya yetersiz sulamadan kaynaklanır. Kuraklık stresi, yaprak boyutu, gövde uzaması, kök çoğalmasını azaltır. Bu durum bitkinin verimini azaltır (Begna, 2021).

Kuraklık stresi bitkilerin büyüme ve gelişmelerini etkileyen abiyotik faktörler arasında en önemlisi olup, dünya üzerindeki ekilebilir alanlarda görülen stres faktörleri içinde %26'lık payla en büyük dilimi almaktadır (Bat vd., 2019).

Kuraklık stresi, bitkilerin morfolojisi, fizyolojisi, büyümesi ve biyokütle üretimi üzerinde bir dizi olumsuz etkiye neden olabilir. Kuraklık, bitkilerin su kaybetmesine neden olur. Bu su kaybı, bitkilerin yapraklarında solgunluğa ve kıvrımlara yol açar. Kuraklık stresi, fotosentezi azaltır, bu da bitkinin büyümesini ve besin üretimini engelleyerek toplam biyokütle ve verimde azalmalara neden olmaktadır. Kuraklık nedeniyle oluşan su kaybını azaltmak için bitkiler stomalarını kapatır. Ancak, stomaların uzun süre kapalı kalması, bitkinin karbondioksit almasını engelleyerek fotosentezi olumsuz etkiler (Feller ve Vaseva, 2014). Kuraklık, bitkilerin yaprak dökme sürecini hızlandırabilir. Bitkiler yapraklarını dökmek suretiyle total yaprak alanını azaltmaya ve böylece su kaybını önlemeye çalışırlar. Aslında bu, bitkinin su kaybını azaltmaya yönelik bir adaptasyon mekanizmasıdır. Kuraklık, çiçeklenme ve meyve oluşumunu olumsuz etkileyebilir. Kuraklık nedeniyle yetersiz su bitkilerin çiçeklerinin dökülmesine veya meyve tutumunun azalmasına ve buna bağlı olarak verimin düşmesine neden olabilir (Kırnak vd., 2002; Liu ve Stutzel, 2004; Farooq vd., 2012; Gupta vd., 2019; Wassie vd., 2023). Bu etkiler, bitkilerin kuraklık koşullarına uyum sağlama yeteneklerine ve bitkinin türüne bağlı olarak değişebilir. Bazı bitki türleri kuraklık toleransına sahipken, diğerleri daha hassas olabilir.

Farklı savunma mekanizmaları bitkilerin kuraklık stresiyle başa çıkmasına yardımcı olur. Bitkiler kuraklık stresine karşı biyokimyasal (antioksidan içeriği, klorofil içeriği, prolin birikimi, hormonal içerik, sekonder metabolitler vb.), fizyolojik (stoma aktivitesi, fotosentez, ozmotik denge,

terleme, yaprak suyu içeriği, su iletimi) Morfolojik (yaprak alanının azalması, yaprak sayısı, kök uzunluğunun artması, yaprak yaşlanması, erken olgunlaşma, büyüme evrelerindeki değişiklik vb.) olarak yanıt verirler (Oguz vd., 2022).

Biber (*Capsicum annuum*), Solanaceae familyasına ait bir sıcak iklim sebzesi olup, kuraklık stresine en duyarlı bitkilerden birisidir (González-Dugo vd., 2007). Bu nedenle biberde yüksek verim için bitkinin strese girmeden su ihtiyacının karşılanması önem arz etmektedir. Kuraklık stresi biber dâhil birçok bitkide fizyo-biyokimyasal prosesleri etkileyerek bitkinin büyüme ve gelişmesinde problemlere neden olmaktadır. Kuraklık stresi özellikle solunum, fotosentez, su ve besin elementlerinin alımı, organik maddelerin sentezlenmesi, enzimatik tepkimeler, stres-proteinleri ve transkripsiyon etanlerini kodlayan genlerin baskılanması veya aşırı ekspresyonu (ifadesi) gibi genetik düzeyde fizyo-biyokimyasal ve metabolik prosedürlerin ilerlemesini olumsuz yönde etkilemektedir (Saba vd., 2001; Farooq vd., 2009). Bu çalışmada, kuraklık stresinin biberin morfolojisi, fizyolojisi, büyümesi, biyokütle ve verim komponentleri üzerine etkileri ele alınmıştır.

BİTKİLERDE KURAKLIĞA TOLERANS MEKANİZMALARI

Kuraklık stresi karşısında bitkiler, farklı savunma mekanizmaları geliştirmektedirler. Kuraklık stresine karşı geliştirilen tolerans mekanizması ozmotik ve stomatal düzenlemeler ile reaktif oksijen türevlerinin engellenmesi (ROS) ve/veya uzaklaştırılması şeklinde yürütülmektedir. Kuraklık toleransı, bitkinin düşük doku su potansiyeli ile su kısıtına dayanma kabiliyeti anlamına gelmektedir (Mitra, 2001). Kuraklığa tolerans, kuraklık stresi ile bitki büyümesini etkileyen çeşitli fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler süreçler arasındaki farklı etkileşimler nedeniyle karmaşık bir mekanizmadır (Kapoor vd., 2020). Bitkilerin kuraklığa karşı geliştirdiği tolerans mekanizmaları; organizmanın gözlemlenebilir etkisinden gen aktivitesine doğru; fizyolojik, morfolojik, biyokimyasal (bitki büyüme düzenleyicileri; antioksidanlar; çözünebilir bileşikler ve ozmotik düzenleyiciler) ve moleküler seviyelerde incelenebilir. Kurak stresinden sakınım mekanizmasına sahip bitkiler, saçak kök sistemi oluşturmakta, gözenekler kapanmakta ve etkin bir su kullanımı sağlanmaktadır. Özellikle düşük su potansiyelinin bitki için tehdit oluşturduğu

durumlarda, kuraklığa dayanıklılık ve/veya tolerans mekanizmasına sahip bitkiler ise ozmotik düzenleme ve membran sisteminin korunmasıyla hücresel düzeyde bir savunma mekanizması geliştirmektedir (Kusvuran vd., 2011; Kıran vd., 2014). Bitkiler stres koşullarında, su içeriklerini koruyabilmek amacıyla farklı tedbirler almaktadır. Alınan bu tedbirler bitkilerin morfolojilerinde değişime neden olmaktadır. Ayrıca hücre içi su dengesinin korunması için oluşturulan savunma mekanizmalarının başında yaprak yüzey alanının azaltılması (küçültülmesi) gelmektedir (Ashraf, 2009; Dasgan vd., 2018).

FİZYOLOJİK PROSESLER

Kuraklık bitkilerde solunum, fotosentez, besin elementleri taşıma ve hormon dengesi gibi çeşitli biyokimyasal ve fizyolojik süreçleri etkileyerek büyüme ve gelişmenin olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır (Kuşvuran vd., 2020). Büyüme aşamasına bağlı olarak bitkiler kuraklık stresine karşı daha fazla veya daha az duyarlı olabilir. Vejetatif gelişim döngüsü sırasında kuraklık stresi yaşandığında turgor basıncında, yaprak su içeriğinde, stoma hareketinde, yaprak renginde, fotosentez ve solunumda, yaprak canlılığında ve sonuçta büyüme aktivitelerinde anormallikler ortaya çıkar. Bu tepkiler bitkinin vejetatif dönemini kısa tutmasını ve üretken aşamaya hızlı bir şekilde geçmesini teşvik edebilir (Pamungkas vd. 2022). Genellikle kuraklık stresinin en önemli etkileri, büyüme ve gelişmede meydana gelen gerilemedir. Ayrıca bu stres faktörü, meristematik aktiviteyi ve hücrelerin uzamasını negatif yönde etkilemekte, bitki yaprak ve köklerinin morfolojik yapılarında bozulmalara yol açmaktadır. Diğer taraftan, fotosentetik aktiviteyi olumsuz etkileyerek bitkilerde kuru madde birikiminin azalmasına sebep olmaktadır (Dhanda ve Sethi, 2002; Kutlu, 2010; Latif vd., 2016). Ayrıca kurak koşullarda turgor basıncının azalması ve transpirasyonun olumsuz etkilenmesi sonucunda su alımının azalması ve buna bağlı olarak mineral madde alımının da azalması bitki gelişimini olumsuz etkileyerek doğrudan verimi azaltmaktadır (Farooq vd., 2009; Sadak, 2018; Kuşvuran vd., 2020). Mardani vd. (2017) kuraklık stresinde biber bitkisinde gözlenen fizyolojik süreçleri incelemişler ve sonuç olarak %20 oranında daha az sulamanın biberin veriminde önemli bir düşüşe sebep olmadığını, fakat bu oranın üzerinde büyüme ve verim üzerinde olumsuz etkinin olabileceğini bildirmişlerdir.

Kuraklık stresi biberde yeşil akşamlarda Kalsiyum (Ca^{+2}) konsantrasyonunda düşüşe sebep olmuştur (Kuşvuran vd., 2020). Ayrıca su noksanlığı, köklerden diğer organ ve dokulara besin maddesi akışının azalmasına ve buna bağlı olarak da bitkinin farklı dokularında besin elementi noksanlıklarına yol açmaktadır. Kalsiyum iyonunun (Ca^{+2}) ksilemde ve floemdeki hareketliliğinin sınırlı olması, suyun kısıtlı olduğu durumlarda taşınımının da sınırlı olmasını beraberinde getirmektedir (Kiegle vd., 2000; Kuşvuran vd., 2011). Bu durum, enzim aktivitelerinde oluşan problemler sebebiyle membran geçirgenliğinin azalmasına, ozmotik dengenin kaybolmasına ve sonuçta bitki büyüme ve gelişiminde olumsuzluklara yol açmaktadır (Kuşvuran vd., 2020).

Kuraklık genellikle hücre su içeriğinde, turgorda ve doku su potansiyelinde azalma ile kendini göstermekte, bu da solma, stoma kapanması ve hücre genişlemesinde azalma ile sonuçlanmaktadır. Bu etkiler, normal metabolizmada büyümenin durmasına veya ölüme yol açabilecek şiddetli değişiklikleri tetikleyerek fotosentezin durmasına yol açar. Kapoor vd. (2020) kuraklık stresinin, stoma ve mezofilin difüzyon sınırlamalarından kaynaklanan CO_2 varlığını azaltarak doğrudan fotosentezin azalmasına yol açtığını bildirmektedir. Stoma kapanması, CO_2 'nin yapraklar tarafından absorpsiyonunu sınırlayarak, turgor basıncı ve/veya düşük su potansiyeli nedeniyle terleme ile atılan su kaybını önlemektedir (Farooq vd., 2012; Tiwari vd., 2021).

Bitkilerde yeterli fotosentez için optimum yaprak alanı ve stoma açıklığı en temel gerekliliktir. Yaprak alanının küçülmesi, stoma açıklığının azalması ile gaz değişiminin düşmesine neden olmakta, bu da yaprak yaşlanmasının hızlanması ve net fotosentezin düşmesiyle sonuçlanmaktadır. Net fotosentez miktarının düşmesi bitki boyu ve biyokütle üretiminin azalmasını en önemli sebebidir (Ors vd., 2016). Kuraklık stresi altında bitkiler yaprak genişlemesinin engellenmesi ile fotosentez sonucu sentezlenen besin maddelerinin kök sistemlerine taşınımını arttırır. Bu durum bitki kökünün büyümesini, yoğunluğunu, yayılımını ve alanını artırarak strese karşı tolerans kazanmasını sağlar. Stoma iletkenliği, biber de dahil olmak üzere birçok bitkide buharlaşma-terleme aktivitelerini değerlendirmede önemli bir gösterge olarak kabul edildiği bilinmektedir (Emanuel vd., 2007; Malika vd., 2019). Goto vd. (2021)

tarafından kuru ve suya doygun duruma getirilmiş toprak koşullarında yetiştirilen biberde yapılan çalışmada, toprağın su stresi seviyesinin artmasıyla yaprak su potansiyelinin ve stoma iletkenliğinin azaldığı ifade edilmiştir. Ghahremani vd. (2023), tarafından farklı uygulamalarla (putresin ve salisilik asit) ile muamele edilen biber bitkisinin kuraklığa karşı tolerans eşiğini artırma mekanizmasının incelendiği çalışmada yapılan uygulamaların stoma iletkenliğini düzenlemesi sonucu biberin verim ve kalitesini artırmıştır.

Okunlola vd. (2017) yaprak oransal su içeriğinin kuraklık stresine toleransın belirlenmesinde önemli bir parametre olduğunu, stresin etkisi ile yaprak oransal su içeriği değerlerinde azalma meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Farklı biber genotiplerinde kuraklık stresinin fizyolojik, morfolojik ve biyokimyasal etkilerinin incelendiği bir başka çalışmada stres koşullarında yaprak oransal su içeriğinde azalma meydana geldiği bildirilmiştir (Kuşvuran vd., 2020). Fakat, oluşan bu azalma, biber genotipleri arasında farklılıklar göstermiştir. Kuraklığın Urfa biberi genotiplerinde bitki gelişimine etkisinin incelendiği bir diğer çalışmada bazı fizyolojik parametrelerin yanı sıra yaprak oransal su içeriğine de bakılmış ve araştırmacılar; kuraklık stresinin uygulandığı bitkilerdeki yaprak oransal su içeriğini, kuraklığa hassas olan çeşitlerde daha düşük oranda bulmuşlardır (Yaban ve Kabay, 2018).

Bitkiler kuraklık stresine girdiklerinde dokuları arasında su dengesi bozulmaktadır. Yaprak su potansiyeli bitki su içeriğine ilişkin etkili bir göstergedir (Köksal vd., 2010). Kuraklık stresi toprağın su potansiyelini önemli ölçüde azaltır, bu da nitrojenin (N) kök yüzeyine verilmesini engeller, kök büyümesini yavaşlatır ve kökün besin emilimi için mevcut yüzey alanını önemli ölçüde sınırlandırır (Wang vd., 2019; Cao vd. 2022). Ayrıca bitkide su eksikliğinin yol açtığı metabolik anormallikler bitkilerdeki azotlu maddelerin sentezini, parçalanmasını ve metabolizmasını etkilemektedir (Öztürk vd., 2021). Jones (2004) yaprak su potansiyelinin kuraklık stresini belirlemede önemli bir gösterge olarak değerlendirilebileceğini bildirmiştir. Gürses ve Çamoğlu (2019) biberde yaprak ve taç düzeyinde yapılan spektral ölçümler sonucu hesaplanan indekslerin su stresine tepkileri ve yaprak su potansiyeli ile aralarındaki ilişkilerini incelemişlerdir. Araştırma sonucunda, her iki ölçüm tekniği ile hesaplanan spektral indekslerin biberde su stresinin ve yaprak su potansiyelinin belirlenmesinde önemli potansiyele sahip olduğu rapor

edilmiştir. Turhan ve Özmen, (2021) tarafından salçalık biberde yürütülen bir çalışmada, farklı klor içeren besin solüsyonları uygulamış bitkilerde büyüme parametreleri, meyve verim ve kalite özellikleri, yaprak su potansiyeli ve klor içerikleri belirlenmiştir. Araştırmacılar yetiştirme ortamında artan klorun yapraklarda daha fazla klor birikmesine neden olduğunu ve yaprak su potansiyelini ise düşürdüğünü bildirmişlerdir.

Bitkiler, kuraklık stresi koşullarında hayatta kalmak için farklı mekanizmaları çalıştırır. Bu stratejilerden birisi ozmotik uyum mekanizmasıdır (Qu vd., 2019; Kuşvuran vd., 2020). Kuraklık stresi altında topraktaki ve bitki kök bölgesindeki su potansiyeli azalır, böylelikle ozmotik potansiyel artar. Bu nedenle bitkiler de dehidrasyona karşı hücre hacmini ve turgor durumunu korumak için bazı organik çözünen maddeleri sentezlerler. Bu mekanizma ozmotik dengenin korunması olarak adlandırılmaktadır (Yıldırım vd., 2021). Kuraklık stresinin etkisiyle turgor kaybı ile birlikte bitkide ozmotik potansiyelde azalma söz konusu olmaktadır. Ozmotik potansiyelde gözlemlenen düşüş ile çeşitli çözünebilir maddelerin birikimi ve vakuolden yapraklara su ile birlikte taşınan ozmotik maddelerin içeriklerinde artış gerçekleşmektedir. Bu durum, kök bölgesindeki ozmotik potansiyel ve su alımı mekanizması çerçevesinde, ozmoregülasyon ya da bir diğer adıyla ozmotik uyum olarak tanımlanmaktadır. Ozmoregülasyon veya ozmotik uyum, kuraklık gibi abiotik stres etmenlerine karşı bitkinin yaşamsal aktivitelerini devam ettirebilmesi bakımından oldukça önemli bir bitki mekanizmasıdır (Kuşvuran vd., 2020). Bitkilerde ozmotik uyum mekanizmalarından birisi de potasyumun (K) aktif absorpsiyon ile alınarak birikimi sonucu hücre içi ozmotik potansiyelin artması ve hücre içerisindeki su dengesinin sağlanmasıdır (Jaleel vd., 2007; Dasgan vd., 2018). Bunun yanı sıra, bitkilerin büyüme ve gelişmesini negatif yönde etkileyen önemli unsurlardan birisi de iyon dengesinde ortaya çıkan problemlerdir. Dasgan vd. (2018) tarafından domateste yapılan çalışmada, kuraklık stresinin etkisine bağlı olarak K⁺ iyon alımının sınırlandığı belirtilmiştir. Benzer şekilde farklı biber genotiplerinin çalışıldığı bir diğer araştırmada, kuraklık stresinin yeşil aksam K⁺ iyon içeriğinde azalışa sebep olduğu; genotiplerin ortalamasına bakıldığında, su stresinde K⁺ iyon konsantrasyonunda, uygulama yapılmayan bitkilerine kıyasla %35 oranında bir azalış gözlemlendiği bildirilmiştir (Kuşvuran vd., 2020)

Oksidatif stres sonucu bitkilerde oluşan serbest radikal türevleri, yağ ve proteinlerin geri dönüşümsüz olarak hasar görmesine yol açmaktadır. Yağların peroksidasyonu sonucu, hücre membran bütünlüğü kaybolmakta ve sonuç olarak membran bütünlüğü bozularak hücre ölümü gerçekleşmektedir (Kuşvuran vd., 2020). Pagariya vd. (2012), membran lipidlerinin peroksidasyonunun; membran zararı için bir gösterge olduğunu, malondialdehit (MDA) içeriğinin ölçülmesi ile oksidatif zararının belirlenebileceğini, stres altındaki bitkilerde malondialdehit içeriğinin önemli ölçüde arttığını rapor etmişlerdir. Kuraklığın biberde morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, biber genotiplerinde, kuraklık stresinin etkisiyle malondialdehit içeriklerinde artış gözlemlenmiştir (Kuşvuran vd., 2020). Kuraklık koşullarında daha düşük malondialdehit miktarlarına sahip bitkiler genellikle kuraklığa daha toleranslı olarak kabul edilmektedir (Ma vd., 2015).

BIYOKİMYASAL PROSESLER

Yapılan birçok çalışma, kurak koşulların farklı sebze türlerinde verim ve kaliteyi olumsuz etkilediğini vurgulamıştır Örneğin; Wassie vd. (2023), kırmızıbiber çeşitlerini (*Capsicum annuum* L. cv. Hagerew, Markofana, Mitmita) fideden itibaren 40 gün boyunca tarla kapasitesinin %100, %80, %60 ve %40 sulama seviyelerinde kuraklık stresine tabi tutmuşlardır. Çalışma sonucunda; yaprak bağıl su içeriği ve klorofil içeriğinin yalnızca Hagerew çeşidinde %40 sulama seviyesinde Markofana çeşidinde %80, %60 ve %40 sulama seviyelerinde azaldığı, Mitmita çeşidinde ise bu parametrelerin stres uygulamaları ile değişim göstermediği belirtilmiştir. Aynı araştırmacılar prolin içeriği ve toplam fenolik bileşik miktarının Hagerew çeşidinde stres uygulamaları ile değişim göstermediğini; diğer çeşitlerde ise stres seviyesi arttıkça arttığını ifade etmişlerdir. Benzer şekilde; Zamljen vd. (2020), iki biber türünde (*Capsicum chinense* Jacq. L. var 'Naga Morich' and *Capsicum annuum* L. var 'Chili-AS Rot') kuraklık stresinin glikoz, fruktoz, sükroz ve diğer şeker miktarlarının yanı sıra sitrik asit, kinik asit, fumarik asit, askorbik asit ve analiz edilen asitlerin toplam değerlerinin azaldığını belirlemişlerdir. Ayrıca araştırmacılar biberin içerdiği kapsaisin miktarının uygulanan su miktarının azaltılması sonucunda artış gösterdiğini toplam fenolik miktarı değerinin ise azaldığını gözlemiştir. Yine; Acı biber çeşidinde, serada bazı sulama aralıkları

kullanarak kuraklık stresi uygulamaları yapılan çalışmada (Haris vd., 2020); biber bitkileri fide dikiminden itibaren 120 gün boyunca yetiştirilmiş ve ilk çiçek açımından (antez) itibaren belirlenen sulama aralıklarında düzenli olarak sulanmıştır. Çalışma sonucunda kapsaisin içeriği ilk çiçek açımından 25 gün sonra ve 45 gün sonra sulama aralığının artması ile birlikte (su stresi artışı) gittikçe artmış; 36 gün sonra ise kontrol uygulamasına göre (günlük sulama) artmış fakat 7 (orta şiddette stres) ve 9 gün (şiddetli stres) sulama aralıklarında benzer oranda bulunmuştur. Ayrıca ilk çiçek açımından 25, 36 ve 45 gün sonra kuraklık stresinin belirli seviye veya seviyelerde artışı sonrası etilen üretim oranının ve glikoz miktarının arttığı görülmüştür.

Kuraklık ve tuz stresinin sebep olabileceği fizyolojik ve biyokimyasal değişimlerin belirlendiği bir diğer çalışmada; iki biber çeşidinde uygulanan su miktarı azaldıkça elektron geçirgenliği değerinin arttığı görülmüştür. Bununla birlikte her iki çeşitte prolin içeriğinin tarla kapasitesinin %75'i ve %50'si kadar yapılan sulama uygulamalarında, tarla kapasitesinin %100'ü kadar olan sulama uygulamasına kıyasla daha yüksek değerler aldığı gözlemlenmiştir (Yıldırım vd., 2022). Escalante-Magana vd. (2019), iki biber türüne ait üç biber çeşidinde (*Capsicum chinense* var. Genesis, Rex; *Capsicum annuum* L. cv. Padron) serada bitkilerin 6 yapraklı olduğu dönemden çiçeklenme dönemine kadar olan sürede bitkileri su stresine tabi tutmuşlardır. Çalışma sonucunda su stresi sonrası bitkilerin prolin miktarında artış gözlemlenmiştir.

Kuşvuran vd. (2020), farklı bölgelerden elde ettikleri 10 farklı biber çeşidine ait bitkileri 4 yaprak oluşturan dek su stresi uygulamadan yetiştirmiş; daha sonra 13 gün süre ile kuraklık stresi uygulamışlardır. Çalışmalarında uyguladıkları kuraklık stresinin fenolik bileşik ve flavanoid miktarı değerlerinde yükselmeye yol açtığını belirlemişler; bu yükselme miktarının tolerant genotiplerde daha fazla olduğunu açıklamışlardır. Ayrıca çalışmalarında, oksidatif stresin serbest radikallerin ortaya çıkmasına neden olduğundan ve bu serbest radikallerin lipid ve proteinlerde geri dönüşümü olmayan hasara neden olduğundan bahsetmişler; serbest oksijen radikallerinin SOD ve CAT enzim türleri ile temizlendiğini belirtmişlerdir. Çalışmaları sonucunda SOD ve CAT enzim aktivitelerinin biber çeşitlerinde tolerant genotiplerde daha fazla olmak üzere stres koşullarında artış gösterdiğini ifade etmişlerdir. Kaya ve Shabala (2023) biber bitkilerini farklı kuraklık stresi

koşullarında yetiştirmişler ve kuraklık stresi koşullarındaki bitkilere 0.2 mM NaHS (Sodyum hidrojen sülfid) içeren Tween-20 (%0.01) solüsyonu uygulamışlardır. Bitkilerde elektron geçirgenliğinin kuraklık stresi uygulaması, kuraklık stresinde NaHS ve kuraklık stresinde NaHS ile birlikte hipotaurin uygulamaları sonucunda kontrole göre arttığını belirlemişler fakat bu artışın kuraklık stresinde NaHS uygulamasında en az oranda olduğunu görmüşlerdir. Aynı zamanda bitkilerde glisin betain değerinin kuraklık stresi uygulaması, kuraklık stresinde NaHS ve kuraklık stresinde NaHS ile birlikte hipotaurin uygulamaları sonucunda kontrole göre arttığını belirlemişler fakat bu artışın kuraklık stresinde NaHS uygulamasında en fazla oranda olduğunu görmüşlerdir. Aynı durum prolin değeri için geçerli olmuştur.

Farklı abiyotik stres koşullarında bitkilerde reaktif ve toksik olan reaktif oksijen türleri aşırı üretilir. Bunun sonucunda ise protein, lipitler, karbonhidratlar ve DNA'ya zarar verirler. ROS serbest radikalleri (O_2^- , süperoksit radikalleri; OH, hidroksil radikali; HO_2 , perhidroksi radikali ve RO, alkoksi radikalleri) ve radikal olmayan (moleküler) formları (H_2O_2 , hidrojen peroksit ve O_2 , siglet oksijen) içerir. Antioksidan savunma sistemi bitkileri enzimatik (süperoksit dismutaz, SOD; katalaz, CAT; askorbat peroksidaz, APX gibi) ve enzimatik olmayan (askorbik asit, fenolik bileşikler gibi) savunma sistemleri ile ROS'u temizler ve oksidatif hasarı engeller (Gill ve Tuteja, 2010). Hu vd. (2010), kuraklığa tolerant ve hassas biber çeşitlerinde serada yaptıkları çalışmada, bitkiler 20-25 yaprak dönemine geldiğinde; kontrol bitkileri günlük sulanmış, kuraklık stresine maruz kalan bitkiler 5 günde bir sulanmıştır. Çalışmalarında kuraklık stresi koşullarında elektron geçirgenliği, hidrojen peroksit, malondialdehit parametreleri kontrol uygulamasına göre her iki çeşitte de artmış bununla birlikte; kuraklık koşullarında bu parametreler kuraklığa hassas biber çeşidinde tolerant çeşide oranla daha yüksek değerlerde bulunmuştur. Ayrıca çalışmaları sonucunda, sitozol sıvısı, kloroplast ve mitokondri organelindeki SOD ve APX miktarı parametreleri kontrol uygulamasına göre her iki çeşitte de artmış bununla birlikte; kuraklık koşullarında bu parametreler kuraklığa hassas biber çeşidinde tolerant çeşide oranla daha düşük değerlerde bulunmuştur.

BÜYÜME, BİYOKÜTLE VE VERİM KOMPONENTLERİ

Kurak koşulların bitkileri üzerinde etkilerini gösteren pek çok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalara örnek verilecek olursa; Gupta vd. (2019)'nın biberde farklı su stresi seviyelerinde rizobakteri uygulamalarının etkilerinin araştırıldığı çalışmada, stres seviyesi arttıkça sürgün uzunluğu, kök uzunluğu, sürgün biyokütlesi, kök biyokütlesi, yaprak alanı değerlerinin azaldığı bildirilmiştir. Yine Kırnak vd. (2002) tarafından yapılan çalışmada, dolma biberde toprak üstü ve toprak altı damla sistemleri kullanılmış ve biberler 4 farklı gelişme döneminde dört farklı seviyede sulama uygulamalarına tabi tutulmuştur. Araştırmacılar kök kuru ağırlığı, sürgün kuru ağırlığı, yaprak oransal su içeriği, sap çapı değerlerinin uygulanan su miktarının artışı ile birlikte arttığını belirtmiştir. Wassie vd. (2023) biber çeşitlerinde kuraklık stresi uygulamasının bitki boyu ve yaprak sayısı parametrelerinin olumsuz etkilendiğini bildirmiştir. Araştırmada çalışan Mitmita, Markofana ve Hagerew çeşitlerinde stres arttıkça kök uzunluğunun azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca biber çeşitlerinin taç genişliği ve yaprak alanı stresin artmasıyla azalmıştır. Mardani vd. (2017), farklı kısıntılı sulama seviyelerinin (%40, 60 ve 80) biberde verim üzerine etkisini inceledikleri çalışmada, optimum sulamanın %80'nin altında kalan sulama uygulamalarında verimin önemli derecede düştüğünü bildirmişlerdir. Yine tatlı biberde kuraklık stresi üzerine yürütülen bir başka çalışmada (Ficiciyan vd., 2021) kuraklık stresi biberde meyve sayısı ve ortalama meyve ağırlığın azaltarak %41 oranında verimi azaltmıştır.

BİBERDE KURAKLIK STRESİNE KARŞI TOLERANSIN ARTIRILMASINA YÖNELİK UYGULAMALAR

Bitkiler yetiştikleri çevre koşullarında çeşitli stres faktörlerine (biyoik ve abiyotik) maruz kalabilmekte ve biyokimyasal tepkiler ile direnç göstererek stres karşı tolerans geliştirmektedirler (Arnao ve Hernández-Ruiz, 2021). Strese toleranslı ürünler geliştirmek için izlenen yollar arasında klasik ıslah yöntemleri, genetik mühendisliği, in vitro seçim ve bitki büyüme düzenleyicilerinin kullanımı yer almaktadır (Upreti ve Sharma, 2016). Önemli bir problem olan kuraklık stresi pek çok araştırmacının ilgi odağı olmuş ve dolayısıyla araştırmacılar bitkilerin farklı vejetatif aşamalarında kuraklık stresine toleransı arttırmak için çeşitli bilimsel metotlar ve yaklaşımlar ortaya

koymuşlardır. Bu yaklaşımlardan biri de kuraklık stresine toleransın artırılmasında priming uygulamalarının ve priming çözeltisine bitki büyüme düzenleyicilerinin de ilave edilerek kullanılmasıdır. Genellikle priming olarak adlandırılan ön çimlendirme uygulamaları tohumun çimlenme ve çıkış sırasında yaşayabileceği olumsuzlukları bertaraf etmek, hızlı, birörnek (yeknesak) ve başarılı çimlenme ve çıkış ile yüksek kalite ve verim elde etmek için yapılan uygulamalardır (Nawaz vd., 2013; Ozbay 2018). Ozmotik koşullandırma olarak da bilinen priming uygulamaları; hidropriming (belirli süre suda bekletme), ozmopriming (tohumların düşük su potansiyeline sahip bir ozmotik solusyon içerisinde belirli bir süre bırakılması) ve matriks priming (düşük matrik potansiyeli sahip vermikülit vb. katı materyallerin kullanılması) şeklinde sınıflandırılabilir (McDonald, 2000; Pill, 1995). Kuraklık stresinin etkisini hafifletmek için buğday, arpa, mısır ve nohut gibi ürünlerde tohum astarlaması da kullanılmaktadır (Khan vd., 2019; Moosavi vd., 2009). Astarlama maddesi olarak kullanılan 50 mM Ca^{2+} ($CaCl_2$) konsantrasyonunun, kuraklık stresi koşullarında arpada (*Hordeum vulgare*) genotiplerinden bağımsız olarak tohum çimlenmesi için en faydalı konsantrasyon olarak belirlendiği bildirilmiştir (Kaczmarek vd., 2017). Gammoudi vd. (2020) priming uygulamalarının normal ve stresli koşullarda (tuz ve kuraklık stresi) biberin çimlenme yüzdesini ve tohum çimlenme oranını iyileştirdiğini bildirmişlerdir. Birçok araştırmacı priming uygulamalarının çimlenmeyi teşvik edici etkisinin enzim ve solunum aktivitesindeki artış, RNA, DNA ve protein sentezini de içeren çeşitli moleküler biyokimyasal ve hücrel olaylarla ilişkili olduğunu ifade etmiştir (Marthandan vd., 2020). Agliassa vd., (2021) biberde kuraklık stresinde biyostimülantların etkisinin incelendiği çalışmada; biyostimülantların, stres etkilerini hafiflettiği ve biberin ürün kalitesini iyileştirdiği gözlemlenmiştir.

Pek çok araştırmada, kuraklığa karşı bitki toleransının geliştirilmesinde bitki büyüme düzenleyicilerinin kullanılabileceği ifade edilmiştir. Bitki büyüme düzenleyiciler stres altındaki bitkilerde gelişim süreci ve sinyal ağını düzenlemede önemli role sahiptirler ve yapılan çalışmalar bitki büyüme düzenleyicilerin stres etkilerini azaltma veya ortadan kaldırılmasında etkili olduğu ve bu maddelerin bitki içinde haberci ve/veya sinyal aktarıcı olarak görev yaptığı bildirilmiştir (Altav vd., 2022). Örneğin, melatonin'in biberde bir

herbisit olan pendimethalin (Pend) ve kuraklık (polietilen glikol-PEG) streslerinin etkilerini hafifletmekteki etkilerinin incelendiği çalışmada, hem ayrı ayrı hem de aynı anda %10 PEG ve farklı konsantrasyonlarda (8, 16 ve 32 mM) Pend'e maruz kalan biberlerde toplam klorofil ve bağıl su içeriğinin azaldığı, karotenoid, prolin, içsel melatonin seviyesi, antioksidan enzimlerinin aktivitelerinin yanı sıra mRNA seviyelerinin de yükseldiği gözlenmiştir (Kaya ve Doğanlar, 2019). Dahası hem Pend hem de PEG'nin biberde bazı fitotoksik tepkiler gerçekleştirdiği buna karşılık dışarıdan uygulanan melatonin'in biberin antioksidan savunma mekanizasını uyararak herbisit ve kuraklık stresinin olumsuz etkilerini azalttığı belirtilmiştir. Korkmaz vd. (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, biber fidelerine uygulanan glycinebetaine (GB) ile erken fide döneminde biberin kuraklık stresine karşı toleransının artırılması hedeflenmiştir. Sonuç olarak, yapraktan uygulanan 5 mM GB konsantrasyonunun biber fidelerinde kuraklığa karşı toleransı arttırdığı araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir. Koçkar (2019), Prohexadione-calcium (Pro-Ca) uygulamasının biberin (*Capsicum annuum* L.) fide kalitesinde önemli bir kayıp söz konusu olmadan kuraklık stresine karşı toleransını arttırmak amacıyla kullanılabileceğini vurgulamıştır. Khazaei vd. (2014), değişik konsantrasyonlarda (0, 0.25, 0.5, ve 1 mM) 5-Aminolevulinik asit (ALA) uygulamalarının yapıldığı biber fidelerinde tarla kapasitesinin %60 ve %30'u kadar su verildiğinde fidelerin gelişmesi stresin şiddetine bağlı olarak kısıtlandığı ve buna karşılık ise dokularda lipid peroksidasyonunun bir göstergesi olan malondialdehit içeriğinin ise yükseldiği bildirilmiştir. Ayrıca ALA uygulanmış fidelerde ise bu olumsuzlukların yüksek konsantrasyonlar da ALA uygulamalarıyla başta askorbat peroksidaz olmak üzere aktivitesi teşvik edilen antioksidan enzimler sayesinde giderildiği bildirilmiştir. Aynı araştırmalar tarafından yürütülen bir başka çalışmada, biber fidelerine yapılan askorbik asitin (AsA) uygulamalarının biberin kuraklık stresine karşı toleransının artırılması amaçlanmıştır. Araştırmacılar, AsA uygulamalarının superoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve peroksidaz (POD) gibi antioksidan enzimlerin aktivitelerini teşvik ettiği ve malondialdehit (MDA) ve hidrojen peroksit (H₂O₂) miktarında düşüşlerin olduğu bildirmiştir (Khazaei vd. 2020). Samancıoğlu vd. (2016) tarafından, biberde 24-epibrassinolid (EBL) uygulamalarının erken fide döneminde kuraklık stresine karşı tolerans kazanması üzerine etkilerinin araştırıldığı çalışmada, yapraktan uygulanan 0.1

μ M EBL uygulamasının biber fidelerinde kuraklığa karşı toleransı arttırmada kullanılabileceği belirlenmiştir. Ma vd. (2021), biberde kuraklık stresine karşı tolerans kazanmada metil jasmonat (MeJA)'ın *CaCIPK3* genini harekete geçirdiğini bunun yanı sıra antioksidan savunma sistemini düzenlediği ifade edilmiştir. Ghahremani vd. (2023), putresin ve salisilik asit ile muamele edilen biber bitkisinin kuraklığa karşı tolerans eşiğini arttırma mekanizmasının incelendiği çalışmada yapraktan yapılan putresin uygulamasının biberde prolin içeriğini ve peroksidaz enzim aktivitesini arttırdığını bununla birlikte salisilik asit uygulamasının yaprak klorofil içeriği ve stoma iletkenliğini düzenlediğini belirtmiştir.

Kuraklığa toleransı arttırmak için geliştirilen yaklaşımlardan bir diğeri de ekim zamanı, bitki popülasyonu, bitki genotipi, toprak ve besin yönetimi ile ilgili en iyi yönetim uygulamalarının kullanılması, kuraklık stresine maruz kalan tarla bitkilerinde tane verimi kayıplarının azaltılmasına yardımcı olabileceğinin belirtilmesidir (Parry vd., 2005; Adeyemi, vd., 2020). Bununla birlikte, kuraklığa tolerans amaçlı transgenik bitkilerin kullanımı belki de en çok üzerinde ve şu anda daha fazla ilgi gören kuraklık stresini azaltma yaklaşımıdır. Bunun yanı sıra su ekstraksiyon ve su kullanım verimliliğini, stoma iletkenliğini ve ozmotik ayarlamaları iyileştirmeye odaklanarak, geleneksel yetiştirme yöntemleri (Oliveira vd., 2020) yoluyla kuraklığa dayanıklı bitkiler geliştirmek için ıslah, moleküler ve genomik yaklaşımlar gibi çeşitli çabalar sarf edilmektedir (Naeem vd., 2020). Diğer stratejiler arasında modern ve daha etkili sulama yöntemlerinin kullanılması, iyi ekim uygulamaları, malçlama, şekillendirme, osmoprotektanlar ve kuraklığa toleransı arttıran belirli mikroorganizmalarla bitkilerin aşılınması yer almaktadır (Solis vd., 2018).

Kuraklık stresine karşı toleransın artırılması, bitkilerde kalite ve veriminin teşvik edilesine yönelik uygulamalardan birisi de bitki büyümesini destekleyen rizobakteriler (PGPR) uygulamalarıdır (Marulanda vd., 2009). Bitkisel üretimde rizobakteriler bir taraftan başta bitki besin maddelerinin alınması olmak üzere morfolojik ve fizyo-biyokimyasal gelişimlere katkı sağlarken bir taraftan da biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı direncin artmasını sağlarlar (Erdoğan vd., 2016). PGPR (büyüme teşvik eden kök bakterileri)'nin etki şekli esas olarak iki tiptir: ilki bitki büyümesini doğrudan

destekleyen mekanizmadır. Bu mekanizma azot fiksasyonu, fitohormon üretimi, fosfat çözünürlüğü ve bitki büyümesini teşvik eden demir içeriğinin artışı içerir. İkincisi ise patojenleri ortadan kaldırarak veya bitki savunma tepkilerini teşvik ederek bitki büyümesini dolaylı olarak arttırmaktadır (Goswami vd., 2016). Yapılan araştırmalara göre, pek çok PGPR birden fazla mekanizma ile hareket ettiği ifade edilmiştir (Vejan vd. 2016). Çirka vd. (2022) bitkilerde büyüme ve gelişme anlamında pozitif etkilere sahip olan rizobakterilerin kuraklık stresi altında yetiştirilen fasulye bitkileri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yapmış oldukları çalışmada; rizobakterilerin pek çok anlamda fasulye bitkisinde kuraklığın etkisini azaltmada faydalı olduğunu belirtmişlerdir. Pirinç bitkilerinde yapılan bir çalışmada, ozmolit üreten rizobakterilerin pirinç üzerinde yararlı etkileri, stres koşulları şiddetli olduğunda daha belirgin olmuştur (Yuwono vd. 2005). Mayak vd. (2004) *Achromobacter piechaudii*'nin domates ve biberde su eksikliğine tolerans sağladığı, bununla taze ve kuru ağırlıklarda önemli artışlara yol açtığı ifade edilmiştir. Bir başka kuraklık çalışmasında, *Azospirillum brasilense* ile aşılansın mısır fidelerinin kök büyümesi ve yaprak alanı ile birlikte yaprak ve köklerde prolin birikimindeki artışa paralel olarak su potansiyelinde de önemli bir düşüşü önlediği gözlemlenmiştir (Casanovas vd., 2003). Cappellari vd. (2020) nanede yaptıkları çalışmada PGPR'nin aromatik bitkilerdeki olumlu katkılarını ortaya koymuşlar ve bakterilerin çevrenin korunmasına, ürün verimliliğinin artırılmasına ve sürdürülebilir tarım uygulamalarına katkıda bulunabileceğini ifade etmişlerdir. Gupta vd. (2019), in vivo koşullarında kuraklık ve tuzluluk koşullarında yetiştirdikleri onbeş rizobakteri izolatından dayanıklılık gösteren iki rizobakteri izolatını seçmişlerdir. Seçtikleri bakteri izolatlarını California Wonder biber çeşidinin (*Capsicum annuum* L. cv. California Wonder) tohumlarına uyguladıkları çalışmalarında biberleri farklı su stresi seviyelerinde (tarla kapasitesinin %80, 60 ve 40'ı kadar su stresi) yetiştirmişlerdir. Çalışmaları sonucunda bakteri uygulamaları ile stresin olumsuz etkilerinin giderildiğini belirtmişler; bakteri uygulamaları ile N, P, K alımının arttığını ve bunun biyokütleyi arttırdığını belirtmişlerdir.

SONUÇ

Bitkiler yaşamları boyunca birçok abiyotik stres faktörü ile karşılaşmaktadırlar. Bunlardan bir tanesi de çok boyutlu olan kuraklık stresidir

ve bitkilerde başta verim olmak üzere birçok komponenti olumsuz etkilemektedir. Tahminlere göre abiyotik stres, dünya çapında farklı ürünlerde ortalama %50'ye varan verim kaybına neden olmaktadır. Kuraklık stresi, özellikle biber gibi kuraklığa duyarlı bitkiler için verimi sınırlayan önemli bir faktördür. Kuraklık stresi, fotosentezi azaltır, bu da bitkinin büyümesini ve besin üretimini engelleyerek toplam biyokütle ve verimde azalmalara neden olmaktadır. Biber gibi önemli sebzelerde verimin azalması ve diğer kayıplar gıda üretimini ve gıda güvenliğini tehdit edebilir. Bu nedenle, kuraklık stresine dayanıklı bitki türlerinin geliştirilmesi, etkili sulama tekniklerinin kullanılması, toprak nemini koruma tekniklerini uygulamak ve tarım yöntemlerinin su tasarruflu hale getirilmesi gibi önlemler alınarak bu sorunla başa çıkmak önemlidir.

KAYNAKÇA

- Adeyemi, O.; Keshavarz-Afshar, R.; Jahanzad, E.; Battaglia, M.L.; Luo, Y.; Sadeghpour, A. (2020). Effect of wheat cover crop and split nitrogen application on corn yield and nitrogen use efficiency. *Agronomy*, 10, 1081.
- Agliassa, C., Mannino, G., Molino, D., Cavalletto, S., Contartese, V., Berteau, C. M., Secchi, F. (2021). A new protein hydrolysate-based biostimulant applied by fertigation promotes relief from drought stress in *Capsicum annum* L. *Plant Physiology and Biochemistry*, 166, 1076-1086.
- Altaf MA, Shahid R, Ren M-X, Naz S, Altaf MM, Khan LU, Tiwari RK, Lal MK, Shahid MA, Kumar R, Nawaz MA, Jahan MS, Jan BL, Ahmad, P. (2022). Melatonin improves drought stress tolerance of tomato by modulating plant growth, root architecture, photosynthesis, and antioxidant defense system. *Antioxidants* 11(2), 309. doi:10.3390/antiox11020309
- Arnao, M. B., Hernández Ruiz, J. (2021). Melatonin as a regulatory hub of plant hormone levels and action in stress situations. *Plant Biology*, 23, 7-19.
- Ashraf M. (2009). Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. *Biotechnology Advances*, 27(1): 84-93.
- Bat, M., Tunçtürk, R. & Tunçtürk, M. (2019). Kuraklık Stresi Altındaki *Ekinezya (Echinacea purpurea L.)*' da Deniz Yosununun Büyüme Parametreleri, Toplam Fenolik ve Antioksidan Madde Üzerine Etkisi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 29 (3), 496-505.
- Begna, T. (2021). Impact of drought stress on crop production and its management options. *International Journal of Research in Agronomy*, 4(2), 66-74.
- Cao, L, Qin, B, Gong, Z, Zhang, Y. (2022). Melatonin improves nitrogen metabolism during grain filling under drought stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants* 28, 1477–1488.
- Cappellari, L. D. R., Santoro, M. V., Chiappero, J., Palermo, T. B., Banchio, E. (2020). Increase of Essential Oil Yield in *Mentha piperita* by Inoculation with Plant Growth-Promoting Rhizobacteria.

- Casanovas, E. M., Barassi, C. A., Andrade, F. H., & Sueldo, R. J. (2003). Azospillum-Inoculated maize plant responses to irrigation restraints imposed during flowering. *Cereal research communications*, 31(3-4), 395-402.
- Çirka, M., Kulaz, H., & Tunçtürk, R. (2022). Rizobakteri Uygulamalarının Kuraklık Stresi Altında Yetiştirilen Fasulyenin (*Phaseolus vulgaris* L.) Bitki Gelişimi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(2), 354-364.
- Dasgan, H.Y., Bayram, M., Kusvuran, S., Coban, G.A., Akhoundnejad, Y. (2018). Screening of tomatoes for their resistance to salinity and drought stress. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 8(24): 31-37.
- Dhanda, S.S., Sethi, G.S. (2002). Tolerance to drought stress among selected Indian wheat cultivars. *The Journal of Agricultural Science*, 139: 319-326.
- Emanuel, R.E., D'Odorico, P., Epstein, H.E. (2007). A dynamic soil water threshold for vegetation water stress derived from stomatal conductance models. *Water Resour. Res.*, 43, 1–13.
- Erdoğan, Ü., Çakmakçı, R., Varmazyari, A., Turan, M., Erdoğan, Y., Kıtır, N. (2016). Role of inoculation with multi-trait rhizobacteria on strawberries under water deficit stress. *Zemdirbyste-Agricul.*, 103(1): 67–76
- Escalante-Magana, C., Aguilar-Caamal, L. F., Echevarria-Machado, I., Medina-Lara, F., Cach, L. S., Martinez-Estevez, M. (2019). Contribution of Glycine Betaine and Proline to Water Deficit Tolerance in Pepper Plants. *Hort. Science*, 54(6):1044–1054.
- Farooq, M., Hussain, M., Wahid, A., Siddique, K.H.M. (2012). Drought Stress in Plants: An Overview. In: Aroca, R. (eds) *Plant Responses to Drought Stress*. Springer, Berlin, Heidelberg. pp. 1-33. https://doi.org/10.1007/978-3-642-32653-0_1.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N. S. M. A., Fujita, D. B. S. M. A., & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agron. Sustain. Dev.* 29, 185–212.
- Feller, U., Vaseva, I. I. (2014). Extreme climatic events: impacts of drought and high temperature on physiological processes in agronomically important plants. *Frontiers in Environmental Science*, 2, 39.

- Ficiyan, A. M, Loos, J., and Tschardtke, T. (2021) Similar Yield Benefits of Hybrid, Conventional, and Organic Tomato and Sweet Pepper Varieties Under Well-Watered and Drought-Stressed Conditions. *Front. Sustain. Food Syst.* 5:628537.
- Gammoudi, N., Karmous, I., Zerria, K., Loumerem, M., Ferchichi, A., & Nagaz, K. (2020). Efficiency of pepper seed invigoration through hydrogen peroxide priming to improve in vitro salt and drought stress tolerance. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 61, 703-714.
- Ghahremani, Z., Alizadeh, B., Barzegar, T., Nikbakht, J., Ranjbar, M. E., & Nezamdoost, D. (2023). The mechanism of enhancing drought tolerance threshold of pepper plant treated with putrescine and salicylic acid. *Plant Stress*, 9, 100199.
- Gill, S. S., Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48, 909-930.
- González-Dugo, V., Orgaz, F., & Fereres, E. (2007). Responses of pepper to deficit irrigation for paprika production. *Scientia Horticulturae*, 114(2), 77-82.
- Goswami, D., Thakker, J. N., & Dhandhukia, P. C. (2016). Portraying mechanics of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A review. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1), 1127500.
- Goto, K., Yabuta, S., Ssenyonga, P., Tamaru, S., Sakagami, J. I. (2021). Response of leaf water potential, stomatal conductance and chlorophyll content under different levels of soil water, air vapor pressure deficit and solar radiation in chili pepper (*Capsicum chinense*). *Scientia Horticulturae*, 281, 109943.
- Gupta, S., Kaushal, R., Sood, G., Dipta, B., Kirti, S., Spehia, R. S. (2019). Water Stress Amelioration and Plant Growth Promotion in Capsicum Plants by Osmotic Stress Tolerant Bacteria. *International Journal of Plant & Soil Science*, 29(2): 1-12.
- Gürses, G., Çamoğlu, G. (2019). Yaprak ve Taç Düzeyindeki Spektral Ölçümler ile Biberin Yaprak Su Potansiyelinin Belirlenmesi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 7(1), 81-90.
- Haris, M. M., Silva, T. M., Gulub, G., Terada, N., Shinohara, T., Sanada, A., Gemma, H., Koshio, K. (2020). Growth, Quality and Capsaicin

- Concentration of Hot Pepper (*Capsicum annuum*) under Drought Conditions. *Journal of ISSAAS (International Society for Southeast Asian Agricultural Sciences)*, 26(1), 100-110.
- Hu, W. H., Xiao, Y. A., Zeng, J. J., Hu, X. H. (2010). Photosynthesis, respiration and antioxidant enzymes in pepper leaves under drought and heat stresses. *Biologia plantarum*, 54, 761-765.
- Jaleel, C. A., Manivannan, P., Sankar, B., Kishorekumar, A., Gopi, R., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2007). Water deficit stress mitigation by calcium chloride in *Catharanthus roseus*: Effects on oxidative stress, proline metabolism and indole alkaloid accumulation. *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*, 60(1), 110-116.
- Jones H G (2004). Irrigation Scheduling: Advantages and Pitfalls of Plant Based Methods. *Journal of Experimental Botany*, 55 (407), 2427-2436.
- Kaczmarek, M., Fedorowicz-Strońska, O., Głowacka, K., Waśkiewicz, A., & Sadowski, J. (2017). CaCl₂ treatment improves drought stress tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, 39, 1-11.
- Kapoor, D., Bhardwaj, S., Landi, M., Sharma, A., Ramakrishnan, M., & Sharma, A. (2020). The impact of drought in plant metabolism: How to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. *Applied Sciences*, 10(16), 5692.
- Kaya, A., Doganlar, Z. B. (2019). Melatonin improves the multiple stress tolerance in pepper (*Capsicum annuum*). *Scientia Horticulturae*, 256, 108509.
- Kaya, C., Shabala, S. (2023). Sodium hydrosulfide-mediated upregulation of nitrogen metabolism improves drought stress tolerance in pepper plants. *Environmental and Experimental Botany*, 209, 105305.
- Khan, N., Bano, A., Babar, A. (2019). Metabolic and physiological changes induced by plant growth regulators and plant growth promoting rhizobacteria and their impact on drought tolerance in *Cicer arietinum* L. *PLoS ONE* 13: e0213040.
- Khazaei Z, Sayyary M, Seydi M. (2014). Amelioration of drought stress damages by 5-aminolevulinic acid application in sweet pepper plants (*Capsicum annuum* L. Cv. *Red Bell Pepper*). *Journal of Horticultural Science*, 28(2): 245-251.

- Khazaei, Z., Esmailpour, B., & Estaji, A. (2020). Ameliorative effects of ascorbic acid on tolerance to drought stress on pepper (*Capsicum annuum* L) plants. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 26, 1649-1662.
- Kıran, S., Özkay, F., Kuşvuran, Ş., & Ellialtıoğlu, Ş. Ş. (2014). Tuz stresine tolerans seviyesi farklı domates genotiplerinin kuraklık stresi koşullarında bazı özelliklerinde meydana gelen değişimler. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG)*, 31(3), 41-48.
- Kırnak, H., Kaya, C., Değirmenci, V. (2002). Growth and Yield Parameters of Bell Peppers With Surface and Subsurface Drip Irrigation Systems Under Different Irrigation Levels/Toprak Üstü ve Toprak Altı Damla Sulama Sistemlerinde Farklı Sulama Düzeylerinin Biber Bitkisinin Gelişim ve Verim Özellikl. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 33(4), 383-389.
- Kiegle E, Moore CA, Haseloff J, Tester MA, Knight MR. 2000. Cell-type-specific calcium responses to drought, salt and cold in the Arabidopsis root. *The Plant Journal*, 23(2): 267-278
- Kiegle, E., Moore, C. A., Haseloff, J., Tester, M. A., & Knight, M. R. (2000). Cell type specific calcium responses to drought, salt and cold in the Arabidopsis root. *The Plant Journal*, 23(2), 267-278.
- Koçkar, E. (2019). Prohexadione-calcium uygulamalarıyla biberde fide döneminde kuraklık stresine karşı toleransın artırılması. Yüksek Lisan Tezi, Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabildi Dalı, Bingöl.
- Korkmaz, A., Değer, Ö., Kocaçınar, F. (2015). Alleviation of water stress effects on pepper seedlings by foliar application of glycinebetaine. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 43(1): 18-31
- Köksal, E. S., Üstün, H., İlbeyi, A. (2010). Bodur yeşil fasulyenin sulama zamanı göstergesi olarak yaprak su potansiyeli ve bitki su stres indeksi sınır değerleri. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24 (1), 25-36.
- Kusvuran, A., Kıran, S. U., Nazlı, R. I. Kusvuran, S. (2015). Morphological response and ion regulation in maize (*Zea mays* L.) varieties under salt stress. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24(1), 124-131.

- Kuşvuran, Ş., Daşgan, H. Y., Abak K. (2011). Farklı kavun genotiplerinin kuraklık stresine tepkileri. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 21(3), 209-219.
- Kuşvuran, Ş., Kıran, S. U., Altuntaş, Ö. (2020). The morphological, physiological and biochemical effects of drought in different pepper genotypes. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(6), 1359-1368.
- Kutlu, İ. (2010). Tahıllarda Kuraklık Stresi. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 3(1): 35-41.
- Latif, F., Ullah, F., Mehmood, S., Khattak, A., Khan, A. U., Khan, S., Husain, I. (2016). Effects of salicylic acid on growth and accumulation of phenolics in *Zea mays* L. under drought stress. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 66(4), 325-332.
- Liu, F., Stutzel, H. (2004). Biomass partitioning, specific leaf area and water use efficiency of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp.) in response to drought stress. *Scientia Horticulturae*, 102 (1): 15-27.
- Ma, J., Du, G., Li, X., Zhang, C., Guo, J. (2015). A major locus controlling malondialdehyde content under water stress is associated with Fusarium crown rot resistance in wheat. *Molecular Genetics and Genomics*, 290(5), 1955-1962.
- Ma, X., Li, Y., Gai, W. X., Li, C., Gong, Z. H. (2021). The CaCIPK3 gene positively regulates drought tolerance in pepper. *Horticulture Research*, 8, 216 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41438-021-00651-7>.
- Malika, L. Y., Deshabandu, K. T., De Costa, W. J. M., Ekanayake, S., Herath, S., Weerakoon, W.W. (2019). Physiological traits determining tolerance to intermittent drought in the *Capsicum annuum* complex. *Scientia Horticulturae*, 246, 21-33.
- Mardani, S., Tabatabaei, S. H., Pessarakli, M., & Zareabyaneh, H. (2017). Physiological responses of pepper plant (*Capsicum annuum* L.) to drought stress. *Journal of plant nutrition*, 40(10), 1453-1464.
- Marthandan, V., Geetha, R., Kumutha, K., Renganathan, V. G., Karthikeyan, A., Ramalingam, J. (2020). Seed priming: a feasible strategy to enhance drought tolerance in crop plants. *International journal of molecular sciences*, 21(21), 8258.

- Marulanda, A., Barea, J. M., Azcón, R. (2009). Stimulation of plant growth and drought tolerance by native microorganisms (AM fungi and bacteria) from dry environments: mechanisms related to bacterial effectiveness. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28, 115-124.
- Mayak, S., Tirosh, T., Glick, B.R. (2004). Plant growth-promoting bacteria that confer resistance to water stress in tomatoes and peppers. *Plant Science*, 166 (2), 525-530.
- McDonald, M.B. (2000). Seed priming. In: Black, M., Bewley, J.D. (ed.) *Seed Technology and Its Biological Basis*. 287-325. Sheffield Academic Press, Sheffield, UK.
- Mitra, J. (2001). Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. *Current Science*, 758-763.
- Moosavi, A., Tavakkol Afshari, R., Sharif-Zadeh, F., Ayneband, A. (2009). Effect of seed priming on germination characteristics, polyphenoloxidase, and peroxidase activities of four amaranth cultivars. *J. Food Agric. Environ*, 7(3-4), 353-358.
- Naeem, M., Iqbal, M., Shakeel, A., Ul-Allah, S., Hussain, M., Rehman, A., Zafar, Z.U., Ashraf, M. (2020). Genetic basis of ion exclusion in salinity stressed wheat: Implications in improving crop yield. *Plant Growth Regulation*, 92, 479-496.
- Nawaz, J., Hussain, M., Jabbar, A., Nadeem, G. A., Sajid, M., Subtain, M. U., Shabbir, I. (2013). Seed priming a technique. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 6(20), 1373.
- Oguz, M.C., Aycan, M., Oguz, E., Poyraz, I., Yildiz, M. (2022). Drought Stress Tolerance in Plants: Interplay of Molecular, Biochemical and Physiological Responses in Important Development Stages. *Physiologia*, 2, 180-197.
- Okunlola, G.O., Olatunji, O.A., Akinwale, R.O., Tariq, A., Adelus, A.A. (2017). Physiological response of the three most cultivated pepper species (*Capsicum* spp.) in Africa to drought stress imposed at three stages of growth and development. *Scientia Horticulturae*, 224, 198-205.
- Oliveira, I.C.M., Guilhen, J.H.S., de Oliveira Ribeiro, P.C., Gezan, S.A., Schaffert, R.E., Simeone, M.L.F., Pastina, M.M. (2020). Genotype-by-environment interaction and yield stability analysis of biomass sorghum

- hybrids using factor analytic models and environmental covariates. *Field Crops Research*, 257, 107929.
- Ors, S., Ekinci, M., Yildirim, E., Sahin, U. (2016). Changes in gas exchange capacity and selected physiological properties of squash seedlings (*Cucurbita pepo* L.) under well-watered and drought stress conditions. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62(12), 1700-1710.
- Ozbay N. (2018) Studies on Seed Priming in Pepper (*Capsicum annuum* L.). In: Rakshit A., Singh H. (eds) *Advances in Seed Priming*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0032-5_12.
- Ozturk, M., Turkyilmaz Unal, B., García-Caparrós, P., Khursheed, A., Gul, A., Hasanuzzaman, M. (2021). Osmoregulation and its actions during the drought stress in plants. *Physiologia plantarum*, 172(2), 1321-1335.
- Pagariya, M. C., Devarumath, R. M., Kawar, P. G. (2012). Biochemical characterization and identification of differentially expressed candidate genes in salt stressed sugarcane. *Plant science*, 184, 1-13.
- Pamungkas, S.S.T., Farid, N. (2022). Drought stress: responses and mechanism in plants. *Reviews in Agricultural Science*, 10, 168-185.
- Parry, M. A. J., Flexas, J., Medrano, H. (2005). Prospects for crop production under drought: research priorities and future directions. *Annals of applied biology*, 147(3), 211-226.
- Pill, W.G. (1995). Low water potential and pre-sowing germination treatments to improve seed quality. *Seed Quality*. Editör: Basra, A. S. New York: Food Products Press.
- Qu, X., Wang, H., Chen, M., Liao, J., Yuan, J., & Niu, G. (2019). Drought stress-induced physiological and metabolic changes in leaves of two oil tea cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 144(6), 439-447.
- Saba, J., Moghadam, M., Ghasemi, K., Nishabouri, M.R. (2001). Genetic properties of drought resistance indices. *J Agr Sci Tech-Iran*, 3(1), 43-49.
- Sadak A. (2018). Kuraklık stresi altındaki biber fidelerinde PGPR uygulamaların etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, s: 61.

- Samancıoğlu, A., Kocaçınar, F., Demirkıran, A.R., Korkmaz, A. (2016). Enhancing water stress tolerance in pepper at seedling stage by 24 epibrassinolid EBL applications. *Acta Horticulturae*, (1142), 409–416.
- Solis, J., Gutierrez, A., Mangu, V., Sanchez, E., Bedre, R., Linscombe, S., Baisakh, N. (2018). Genetic mapping of quantitative trait loci for grain yield under drought in rice under controlled greenhouse conditions. *Frontiers in chemistry*, 5, 129.
- Tiwari, A., Punetha, S., Kesarvani, K. (2021). Drought stress and its impact on plant mechanism. *International Journal of Plant Sciences*, 16(1), 95-112
- Turhan, A., Özmen, N. (2021). Klor Uygulamalarının Biber Bitkisinin Gelişimi, Meyve Verimi ve Bazı Kalite Parametreleri Üzerine Etkisi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 24(6), 1139-1144.
- Upreti, K.K, Sharma, M. (2016). Role of plant growth regulators in abiotic stress tolerance. *In Abiotic stress physiology of horticultural crops*: 19-46. Springer, New Delhi.
- Vejan, P., Abdullah, R., Khadiran, T., Ismail, S., Nasrulhaq Boyce, A. (2016). Role of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural sustainability—a review. *Molecules*, 21(5), 573.
- Wang, Y., Zhang, X., Chen, J., Chen, A., Wang, L., Guo, X., Niu, Y., Liu, S., Mi G., Gao, Q. (2019). Reducing basal nitrogen rate to improve maize seedling growth, water and nitrogen use efficiencies under drought stress by optimizing root morphology and distribution. *Agricultural Water Management*, 212, 328-337.
- Wassie, W. A., Andualem, A. M., Molla, A. E., Tarekegn, Z. G., Aragaw, M. W., & Ayana, M. T. (2023). Growth, Physiological, and Biochemical Responses of Ethiopian Red Pepper (*Capsicum annum* L.) Cultivars to Drought Stress. *The Scientific World Journal*, 2023, Article ID 4374318.
- Yaban, İ., Kabay, T. (2018). Kuraklığın Urfa Biberi Genotiplerinde Bitki Gelişimine Etkisi. *Ejons International Journal*, 2(6), 76-83.
- Yıldırım E., Kul R., Ekinci M., Örs S., Dursun A., (2021). Kuraklık Stresi” Sebzelerde Stres Toleransı ve Islah Stratejileri, Bölüm 3, Gece Kitaplığı, s. 66-117.
- Yildirim, E., Ekinci, M., Turan, M., Açar, G., Ors, S., Dursun, A., Kul, R., Akgül, G. (2022). Physiological and Biochemical Changes of Pepper

Cultivars Under Combined Salt and Drought Stress. *Gesunde Pflanzen*, 74(3), 675-683.

Yuwono, T., Handayani, D., Soedarsono, J. (2005). The role of osmotolerant rhizobacteria in rice growth under different drought conditions. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56(7), 715-721.

Zamljen, T., Zupanc, V., Slatnar, A. (2020). Influence of irrigation on yield and primary and secondary metabolites in two chilies species, *Capsicum annum* L. and *Capsicum chinense* Jacq. *Agricultural Water Management*, 234, 106104.

BÖLÜM 12
SEBZE YETİŞTİRİCİLİĞİNDE YEREL GENOTİPLERİN
ANAÇ OLARAK KULLANILMASI

Dr. Öğr. Üyesi Seçkin KAYA¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10207981>

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, 17020 Çanakkale-Türkiye. <https://orcid.org/0000-0003-2157-7215>

*sorumlu yazar: seckinkaya@comu.edu.tr

GİRİŞ

Sebzecilik gerek Türkiye gerekse Dünya üzerinde önemli tarım faaliyetlerinden birisidir. Dünyada 2021 yılı verilerine göre 58.034.368 ha alanda 1.154.598.397,87 ton sebze üretilmiştir (FAO, 2021). Türkiye ise 2022 yılı verilerine göre 31 milyon tondan fazla sebze üretimi ile Çin, Hindistan ve ABD'den sonra en çok sebze üretimi gerçekleştiren 4. ülke konumunda bulunmaktadır (FAO, 2022; Yanmaz vd., 2020). Sebze yetiştiriciliğinde başarının anahtarı sağlıklı tohum ve fide ile üretime başlamaktır. Birçok sebze türü fide ile üretilmekte böylece erkencilik, alan ve tohum tasarrufu, yeknesak üretim gibi kazanımlar elde edilmektedir (Demir, 2007). Geçmiş yıllarda üreticiler tarafından yetiştirilen fideler günümüzde artık hazır fide olarak üretici firmalardan temin edilebilir hale gelmiştir. Bu durumun en önemli nedeni fide üretiminin özel bir ilgi istemesi, toprak kaynaklı hastalıklar ve zararlılar gibi problemlerdir. Oysaki hazır fide olarak tanımlanan ve fide üretiminde uzmanlaşmış firmalar tarafından üretilen fideler hastalık ve zararlılardan arı olarak yetiştirilmektedir (Balkaya vd., 2015). Hazır fide sektöründe son yıllarda öne çıkan gelişmelerden birisi de aşılı fide üretimidir. Sebzelerde aşılama genellikle abiyotik stres koşullarına dayanıklılık, verim artışı sağlamak, toprak kaynaklı hastalık ve zararlıları kontrol etmek amacıyla kullanılmaktadır (Balkaya vd., 2015). Aşılı fidenin sağladığı avantajlarından ötürü üreticiler tarafından yoğun olarak kullanılmasıyla birlikte Türkiye'de aşılı fide üretim miktarı da hızla artmaktadır. Balkaya vd. (2015)'e göre 2015 yılında Türkiye'de toplam 110 milyon adet aşılı fide üretilirken, 2020 yılında sadece Antalya ilinde toplam 206 milyon aşılı fide üretimi gerçekleştirilmiştir (Anonim, 2021). Fide sektöründe aşılı fide üretiminin bu denli hızlı artış göstermesine rağmen, aşılı fide üretimi için gerekli anaç ıslahı çalışmaları ne yazık ki yetersizdir (Balkaya, 2014). Bu nedenle özellikle üretici isteklerini karşılayabilecek anaç geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Sözü edilen anaç çeşit geliştirilmesi ihtiyacı kamu ve özel sektör projeleri ile sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu noktada ihtiyaç duyulan anaçlar genellikle kültür formları ve yabani formların melezlenmesi sonucu geliştirilen çeşitlerdir (Balkaya, 2013). Sebze türlerinde aşılı fideler ile ilgili çalışmalarda başlangıçta yabani türler anaç olarak kullanılmıştır. Bu yaklaşım yabani türlerin bazı hastalık, zararlı ve olumsuz koşullara dayanıklı olması nedeni ile mantıklı görünmek ile

birlikte zamanla yabancı türlerin istenmeyen özelliklerinin kaleme yansması nedeniyle terk edilmiş ve yabancı türler ile kültür formları melezlenerek uygun ticari anaç çeşitleri geliştirilmiştir (Balkaya, 2013; Sarıbaş vd., 2019). Günümüzde kullanılan birçok sebze anacı da ya türler arası ya da yabancı türlerin kültür formları ile melezlenmesi ile üretilmiş anaçlardır. Bu duruma verilecek en iyi örneklerden biri domatestir. Domateste (*Solanum lycopersicum* L.), hem biyotik hem de abiyotik streslere karşı birçok direnç ve tolerans özelliği yabancı akraba türler tarafından sağlanır ve domates anaçlarının en yaygın kaynakları türler arası hibritlerdir (*S. lycopersicum* × *S. habrochaites* S. Knapp) (King vd., 2010). Genel bir değerlendirme yapıldığında özellikle *Cucurbitacea* ve *Solanacea* aşılanmanın verimi artırdığı söylenebilir ancak söz konusu meyve kalitesine olumlu etki olduğunda bu durum, kullanılan anaca göre değişiklik gösterebilmektedir. (Alan vd., 2007). Bazı araştırmacılar da özellikle domates yetiştiriciliğinde kullanılan anaçların meyve kalite özelliklerinden olan suda eriyebilir kuru madde, toplam şeker, C vitamini içeriği, likopen, içeriği gibi parametrelerde aşısız bitkilerin aşılı bitkilere olanla daha iyi performans gösterdiklerini belirtmektedirler (Mauro vd., 2020; Turhan vd., 2011; Ellenberger vd., 2021). Ancak yapılan bazı çalışmalarda da araştırmacılar, maksimum verim artışı sağlayan anaçların bile meyve kalitesi üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını düşünmektedir (Grieneisen vd., 2008; Lang Vd.,2020; Fu Vd.,2022). Ticari ıslah edilmiş anaçların genel olarak sebze sektöründe kullanımı meyve kalitesinin iyileştirilmesini garanti etmediğinden, hedef çevreye iyi adapte olmuş bazı eski yerel çeşitler bir alternatif oluşturabilmektedir (Klein vd., 2010). Oysaki geçen onlarca yılda ihmal edilmiş olan eski yerel çeşitler, hem meyve besin değerleri hem de duyuşal özellikler açısından ilginç özellikler sunabilmektedir (Klein vd.,2010; Quinet vd., 2019; Angel vd., 2016).

Eski yerel genotiplerin sahip oldukları heterojen genetik yapı sayesinde hastalıklar, zararlılar, biyotik ve abiyotik stres faktörlerinin etkilerinin azaltılabilmesi açısından yararlı olabilmektedir. Bu noktadan hareketle bu derlemede eski yerel genotiplerin sebze yetiştiriciliğinde anaç olarak kullanılabilirliği konusunda yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

SEBZELERDE AŞILAMA

Sebzelerde aşılama çok eski zamanlardan beri yapılmaktadır (Hartman ve Kester, 1975). Sebze yetiştiriciliğinde toprak kökenli hastalıklara ve nemaodlara karşı olan olumlu etkisi çok açıktır (Yetiştir vd., 2004; Tüzel vd., 2005; Lee, 1994). Sebze yetiştiriciliğinde aşılamanın, toprak kökenli hastalıklar ile etkin mücadele, düşük sıcaklıklara tolerans, besin maddelerinin ve suyun daha etkin kullanımı, hasat döneminin uzatılması, verim artışı, standart ürün elde edilmesi, anaç kullanımı ile birlikte çeşit ıslahı için zaman kaybedilmemesi, toprak dezenfeksiyonu yapılmaması gibi avantajları bulunmaktadır. Bu avantajlara rağmen, aşılamanın mekan ve zamana ihtiyaç duyulması, tecrübeli teknik elemana ihtiyaç duyulması, uyuşmazlık sorunları, anaca bağlı olarak meyve kalitesinin bozulması, maliyetin artması, karmaşık üretim metodlarına ihtiyaç duyulması gibi dezavantajları da bulunmaktadır (Rivero vd., 2003; Yetiştir vd., 2004). Sebze yetiştiriciliğinde aşılama ile ilgili ilk çalışmalarda yabancı türler kullanılmış ancak özellikle uyuşmazlıklar nedeni ile kültür formları ve yabancı türler arasındaki melezler anaç olarak kullanılmıştır (Balkaya, 2013).

Sebze yetiştiriciliğinde aşılı fide kullanımı ise en çok kabakgiller (*Cucurbitaceae*) ve Patlıcangiller (*Solanaceae*) familyasına ait sebzelerde rastlanılmaktadır. Kabakgiller arasında ise en çok aşılı karpuz fidesi üretilmektedir. Karpuzda yaygın olarak *Cucurbita maxima* x *Cucurbita moschata* melezi anaçların yanı sıra su kabağı anacı, *Citrullus lanatus* var. *citroides* anacı, *Benincasa hispida*, *Cucurbita moschata* ve *Cucurbita maxima* türleri de karpuz anaç olarak kullanılmaktadır. Diğer bir tür olan hıyarda ise *Cucurbita maxima* x *Cucurbita moschata* melezlerini yanı sıra *Cucurbita ficifolia* anacı düşük sıcaklığa toleranslı olması nedeniyle kullanılmaktadır. Aşılı kavun fidesi üretiminde *Cucurbita maxima* x *Cucurbita moschata*, *Cucurbita moschata* ve *Cucumis melo* yaygın olarak anaç olarak kullanılmaktadır. (Balkaya, 2014).

Patlıcangiller familyasına ait olan domates yetiştiriciliğinde ise *Solanum esculentum* x *Solanum hirsutum* melezler anaç olarak kullanılmaktadır. Yine domateste nematoda dayanıklı olması nedeniyle *Solanum pimpinellifolium* kök çürüklüğüne dayanıklı olması nedeniyle *Solanum hirsutum* anaç olarak kullanılabilir. Patlıcan yetiştiriciliğinde ise, *Solanum torvum* yoğun olarak kullanılmaktadır. *Solanum esculentum* x *Solanum hirsutum* melezleri de

hastalıklara dayanıklılık açısından kullanılmaktadır (Lee, 1994; Balkaya, 2014).

YEREL GENOTİPLERİN ANAÇ OLARAK KULLANIMI

Eski yerel genotipler çeşitler bir ülke için milli varlık olarak kabul edilmekte ve bir "kalite değeri" taşımaktadırlar (FAO, 1999; Sciallaba, 2003). Bunda en büyük etken, eski yerel çeşitlerin kendisini geliştiren yöre halkının; bitkisel yapı, damak tadı gibi tercihlerinin iyi bir yansıması olmasıdır. Ancak bu yerel popülasyonların birçoğu artık üreticiler tarafından tercih edilmemekte ve sadece gen bankalarında muhafaza edilmektedir. Kültürü yapılan bu türlerin tamamının gen bankaları tarafından muhafaza altına alındığı da söylenemez (Tan, 1998; Karagöz, 2003). Eski yerel çeşitleri kullanan üreticiler, tohumlarını kendileri üretirler veya bu tohumları yine kendi üreten komşularından alırlar. Bu, kültür bitkisinin türüne göre değişmekle birlikte yüzlerce, hatta belki binlerce yıldır süregelen bir işlemdir (Scialabba vd., 2002). Bu işlem sırasında seçtikleri, yani döl vermelerine imkân tanıdıkları bitkiler, hem o yörenin biyotik ve abiyotik baskılarına dayanıklılık kazanmaktadır, hem de o yörenin insanının yeme zevkini yansıtmaktadır. Yani kısacası hem doğal hem de yapay seleksiyon işbaşındadır. Bu şekilde uzun generasyonlar sonucunda, bugün eski yerel çeşitler olarak adlandırdığımız o yöreye özgü bitki popülasyonları ortaya çıkmıştır (Scialabba, 2003). Yabani ilkel ata ya da eski yerel çeşitler olarak da adlandırabileceğimiz bu türlerin, çoğu zaman düşük olan verimleri ve bazen de düşük olan yenilebilirlik kalitesine karşın, modern kültür çeşitlerinin geliştirilmesinde temel teşkil ettiklerini unutmamak gerekir. İslahçılar ve bilim insanlarının, kültür bitkilerinin performanslarını artırabilecek genleri, işte bu düşük verimli atalarında bulabileceklerini anlamaları fazla uzun sürmemiştir (McCough, 2004). Fernie vd. (2006), bu bakımdan, 21. yüzyılda yabani çeşitlerin genetik varyasyon kaynağı olarak potansiyellerinin daha iyi anlaşıldığını belirtmektedirler. Günümüz modern çeşitleri ile karşılaştırıldığında, eski çeşitlerin genetik bakımdan daha heterojen yapıda oldukları görülmektedir. Bu varyetelerin; verim, stres koşullarına dayanıklılık, kimyasal içerik, protein, şeker, yağ, suda çözünebilir karbonhidratlar gibi birçok özellik bakımdan genetik çeşitlilik gösterdikleri belirtilmektedir (Zamir ve Gur, 2004; Fernie vd., 2006).

Yerel genotiplerin yukarıda belirtilen eşsiz özelliklerinin yeniden tarıma kazandırılması amacıyla birçok araştırmacı sözü edilen bu genotipleri araştırmalarda kullanmışlardır. Yapılan bilimsel çalışmaların genellikle tuzluluk, kuraklık gibi abiyotik streslerin bertaraf edilmesi ve meyve kalitesinin iyileştirilmesi üzerine yoğunlaştığı söylenebilir.

Fullana-Pericàs vd. (2020), "De Ramellet" domatesinin ticari bir F₁ melezini kalem olarak kullandıkları bir çalışmada, aşılınmamış, kendine aşılınmış, 'Maxifort' anacına (*S. lycopersicum* L. × *S. habrochaites*) aşılınmış ve "de Ramellet" yerel çeşit genotipi aşılınmış bitkileri karşılaştırmışlardır. Araştırmacıların bu çalışmadan elde ettikleri sonuçlara göre, geleneksel yerel çeşit 'de Ramellet'in anaç olarak kullanılması, meyvelerin raf ömrünü artırmış, ancak aynı çalışmada yer alan ticari 'Maxifort' anacı ise bunu sağlayamamıştır. Bu çalışmada aynı zamanda belirtilen aşı kombinasyonları su kısıtlılığına da tabii tutulmuştur. Ticari elit bir anaçla karşılaştırıldığında, "de Ramellet" yerel türünün bir genotipinin anaç olarak kullanılması, hem iyi sulanan hem de su kıtlığı olan koşullar altında benzer ve hatta gelişmiş performans göstermiştir. Üstelik su kıtlığı koşullarında, adı geçen yerel genotip, meyve üretimini, meyve sayısını ve meyve raf ömrünü maksimuma çıkarma ve aynı zamanda suda çözünür kuru madde ve asitlik (yani tada atfedilebilen) arasında dengeli bir oranı koruma açısından en uygun anaç olarak ortaya çıkmıştır. Her ne kadar bu çalışmadan elde edilen sonuçlar tek bir kaleme ilişkin ve farklı kalem ve anaçlar ile doğrulanmaya muhtaç olsa da gelecekte öngörülen iklim değişikliği senaryoları göz önüne alındığında, eski yerel genotiplerin temel genetik kaynaklar olarak uygunluğunu vurgulamaktadır.

Bir diğer çalışmada ise, meyve özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla Limachino (L) domates çeşidi yerel Pancho Negro (R) anacına aşılınmıştır. Bu aşı kombinasyonunda üretilen meyveler, kendi kendine aşılınan bitkilerden (L/L) ve uzun raf ömürlü ticari F₁ çeşidinden (LSL) üretilen meyvelerle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada denemeler, birbirini takip eden iki yılın yaz aylarında 146 gün boyunca gerçekleştirilmiştir. Poncho Negro anacı, Limachino kaleminden (L/R) üretilen toplam meyve sayısını artırmıştır. Tek tek meyvelerin taze ağırlığını etkilememiş ancak su içeriklerini azaltmıştır. Tüketiciler tarafından çok beğenilen tipik bir özellik olan Limachino meyve şekli (kalite) üzerinde hiçbir etkisi saptanmamıştır. LSL ile üretilen meyveler,

L/R ve L/L meyvelerinden daha yüksek sertlik, ancak daha düşük titre edilebilir asitlik ve antioksidan kapasite sergilemiştir. Sonuç olarak Poncho Negro anacının Limachino meyvelerine karşı tercih ve kabul edilebilirlik düzeyinin artmasına katkı sağladığı sonucuna varılmıştır (Martinez vd., 2022). Bu çalışmada araştırmacılar, verim açısından özellikle de tek meyve ağırlığının etkilenmeden yerel genotipin toplam meyve sayısına olumlu etki ettiğini belirtmektedirler. Ancak meyve sertliği açısından yerel genotipin, ticari anaca karşı yeterince başarılı olmadığı sonucuna varmışlardır. Bu çalışmada ayrıca 104 uzman ve uzman olmayan kişi tarafından tadım testleri yapılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda yerel genotip olan Poncho Negro anacına aşılınmış Limachino kaleminden (L/R) üretilen meyveler en yüksek niteliksel değeri göstermiştir. Araştırmacılar, yerel domates çeşidi Poncho Negro'nun Eski Limachino domates çeşidi için uygun bir anaç olarak kullanılabilmesinin doğrulandığını bildirmektedirler. Burada dikkat çekici olan hem anacın hem de kalemin eski yerel genotip olmasıdır. Çalışmanın farklı kalem ve anaçlar ile olan kombinasyonları doğrulanmaya muhtaçtır.

Bazı kabak anaçlarının ve yerel genotiplerin anaç olarak kullanıldığı bir hıyar üretim denemesinde ise farklı ve değişken sonuçlar elde edilmiştir. Çalışmada, ticari F₁ hıyar çeşidi olan Khassib anaç olarak kullanılan çeşitli kabakgillere aşılınmıştır. Çalışmada, bir yerel su kabağı genotipi olan Ghalyani, yine yerel bir balkabağı olan Tanbal ve ticari Cucurbita türler arası melezleri (909, 913, Ferro, 64-19 ve Shintoza) anaç olarak kullanılmış, aşılınmamış olan bitkiler ise kontrol olarak tanımlanmıştır. Çalışmada aşı afiniteleri ölçülmüş en başarılı oranlar Ferro hibrit (%94), Cucurbita maxima (Tanbal) (%92), 64-19 ve Shintoza (%90) anaçlarında belirlenmiştir. Araştırmacıların elde ettikleri sonuçlara göre, Ghalyani (%44), 913 (%73) ve 64-19 (%35) anaçlarının kontrole oranla daha az verim değerleri göstermiştir. Aynı zamanda bu çalışmada aşılınmamış bitkiler tarafından üretilen meyvelerin toplam çözünür kuru madde miktarları, diğer uygulamalara göre önemli ölçüde daha yüksek bulunmuştur. Araştırmacılar bu çalışmada kullanılan *C. maxima* x *C. moschata* anaçlarının aşısız bitkilere benzer verim değerleri gösterdiğini bu nedenden ötürü de bu anaçların verim için değil, toprak kaynaklı hastalıklara karşı dayanıklılıkları için kullanılabilir olduğunu bildirmişlerdir. Sonuç olarak araştırmacılar yerel genotiplerin anaç olarak kullanılmasıyla ilgili olarak bu

genotiplerin kullanımının aşılı bitkilerin maliyetinin azaltılmasına yardımcı olabileceğini ve yerel genotiplerin biyotik ve abiyotik stresler altında kalem olarak kullanılan önemli bir hibrit çeşit ile aşı afinitesinin kontrol edilmesinin önemini vurgulamıştır (Farhadi vd., 2016).

Yapılan bir diğer çalışmada, aşı uyumluluğunu, verim performansını ve sağlıklı sera koşullarında kalitatif özellikleri değerlendirmek için yüksek değerli 'Corbarino' domates yerel çeşidi yedi ticari *Solanum* türler arası anaç üzerine aşılanmıştır. Geleneksel domatesin karpometrik, teknolojik ve sağlıkla ilgili özelliklerini olumsuz etkilemeden meyve verimini artırmada en etkili üç anaç olmuştur. 'Dinafort' anaç, taze ve kuru verimi, hasat indeksini ve meyve/salkımları arttırırken, ortalama meyve ağırlığı, şekil indeksi, toplam ve çözünür kuru madde içeriği, basit şekerler, organik asitler, flavonoidler, askorbik asit ve trans -likopen içeriğini arttırmamıştır. 'Interpro' anaç, meyvedeki trans-likopen içeriğini düşürmesine rağmen, genel verim ve kalite özellikleri için de umut verici sonuçlar göstermiştir. Silex anaç, azalan kuvvet sonucu en yüksek hasat indeksini göstermiştir. Bununla birlikte, aşılama başarısının, özellikle 'Dinafort' ve 'Silex' için, fide üretimi, aşılama, iklimlendirme vb. için daha uygun yöntemlerin araştırılmasıyla iyileştirilmesinin gerekli olduğunu bildirmişlerdir (Parisi vd., 2023).

Tuz stresine maruz kalan dokuz farklı domates genotipinin fizyolojik ve biyokimyasal tepkilerini değerlendirmek amacıyla yürütülen bir çalışmada, bir modern çeşidin dört haftalık fideleri, beş yerel genotip, tuza duyarlı 'Ailsa Craig' çeşidi, tuza dayanıklı yabani *S. pimpinellifolium* 'LA1579' çeşidi ve C vitamini- zengin *S. pennellii* introgresyon hattı 'IL12-4', 10 gün boyunca orta düzeyde tuz stresine (200 mM NaCl) maruz bırakılmıştır. Stres uygulaması sonunda agronomik özellikler ve stres indeksleri değerlendirilirken, gaz değişimi ile ilgili parametreler, kök elektrolit sızıntısı, malondialdehit içeriği ve askorbik asit de belirlenmiştir. Tüm parametreler, tuz stresinden önemli ölçüde etkilenmiş, ancak farklı bir ölçüde, seçilen genotipler içindeki çeşitli tolerans derecelerini doğrulamıştır. Ayrıca farklı stres kaynaklı mekanizmalar, 'Santorini' adasından gelen yerel çeşit ve geleneksel genotiplerden gelen modern çeşit, düşük lipid peroksidasyonu ve artan askorbik asit içeriği ile birlikte orta dereceli tuz stresi altında daha iyi bir performans ve adaptasyon göstermiştir. Bu da yerel genotiplerin potansiyel anaç olabileceğini

göstermektedir. Yerel genotiplerin ıslah programları için veya aşılınmış anaç/kalem olarak umut verici genetik materyal olabileceği bildirilmiştir (Kadoglidou vd.,2021).

Kuzey Kıbrıs'ta yürütülen ve dört ticari anacın (TZ148 F₁, RS841 F₁, Nun9075 F₁ ve Avar F₁) ve iki yerel genotipin (*Cucurbita moschata* L.'ye ait Local-1 ve Local-3) anaç olarak kullanıldığı bir başka çalışmada aşılı ve aşısız bitkiler üç ayrı grupta test edilmiştir. İlkbahar döneminde sera koşullarında üç farklı topraksız ortamda (hindistan cevizi turbası, perlit ve taşıyünü) farklı tuzluluk koşulları (2,5 dS m⁻¹, 5,0 dS m⁻¹ ve 7,5 dS m⁻¹) altında performansları ölçülmüştür. Araştırmacılar çalışmada farklı anaç ve topraksız ortamların hıyarın bitki gelişimi ve verimi ile yaprak iyonu (Na⁺, Ca⁺⁺, K⁺ ve Cl) konsantrasyonları üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlamışlardır. Tuz stresinin tüm yetiştirme ortamlarında kök ve sürgün kuru ağırlığını ve bitki verimini azalttığı belirtilirken, TZ148, Nun9075 ve Local-3'ün anaç olarak kullanıldığında salatalık bitkilerinin tuzlu koşullara (5,0 ve 7,5 dS/m) toleransını arttırdığı tespit edilmiştir. Local-3'ün anaç potansiyelinin de tuzlu şartlarda hıyar açısından oldukça iyi olduğu tespit edilmiştir. Local-3'ün anaç potansiyeli hıyar ve belki diğer *Cucurbitaceae* familyası bitkileri için özellikle tuzlu koşullar altında hem toprakta hem de topraksız kültürde araştırmacılar tarafından oldukça umut verici olarak tanımlanmıştır (Usanmaz ve Abak, 2019).

İran'da yürütülen ve Crimson Sweet çeşidinin (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. et Nakai cv. Crimson Sweet) kalem, Shintoza ticari anacının ve Khaje, Ashtian ve Sabzevar'dan toplanan çekirdekli üç yerel karpuz genotipinin anaç olarak kullanıldığı bir farklı kuraklık stresi çalışmasında, sulama, karık sulama yöntemi ile (FC) tarla kapasitesi yüzdesi bazında 0.8FC-FC, 0.6FC-0.8FC ve 0.3FC-0.6FC olmak üzere üç farklı seviyede uygulanmıştır. Verim, sürgün kuru ağırlığı, meyve kalitesi, klorofil indeksi, fenolik bileşikler, bağıl su içeriği (RWC), elektrolit sızıntısı ve prolin konsantrasyonu her iki büyüme mevsiminin sonunda ölçülmüştür. Sonuçlar, en yüksek meyve veriminin (9,4 kg) ve sürgün kuru ağırlığının (390,8 g) 0,8FC-FC'de Shintoza anacı üzerine aşılınan karpuzlarda elde edildiğini göstermiştir. En düşük meyve verimi (1,4 kg) ve kuru sürgün ağırlığı (55,6 g) aşılınmamış kontrollerde ve 0,3FC-0,6FC'de gözlemlendiği bildirilmektedir. Shintoza anacı

üzerine aşılardan karpuzlarda meyve kalitesi, diğere aşı kombinasyonlarına ve aşısız kontrole göre önemli derecede farklı bulunmuştur. Klorofil indeksi, fenolik bileşikler, RWC, prolin sulama rejimlerinden önemli ölçüde etkilenmiştir. Shintoza ve Sabzevar aşılama kombinasyonları, aşılardanmamış bitkiler ve Ashtian aşılama kombinasyonu ile karşılaştırıldığında yüksek düzeyde klorofil indeksi, fenolik bileşikler ve RWC göstermiştir. Bu çalışma sonucunda araştırmacılar, Sabzevar'ın kuraklık stresi altında, meyve kalitesi üzerinde olumsuz bir etkisi olmadan, karpuz için potansiyel bir anaç olarak kabul edilebileceğini bildirmişlerdir (Parsafar vd.,2019).

Türkiye'de yürütölen bir başka çalışmada, farklı bölgelerinden toplanmış 2 yerel genotipin, ve halen ölkemizde yaygın olarak kullanılan Beaufort, Amaron ve Arazi domates anaçlarının karşılaştırılması, yerel genotiplerin tarımda kullanılabilirliğinin ispatlanması amacıyla yürütölmüştür. Bu amaçla yukarıda adı geöen ticari anaçlar ile 28 ve 30 kod numarası ile işaretlenmiş yerel genotiplere Beyza F₁ çeşidi aşılardanmıştır. Ayrıca Beyza F₁ çeşidi aşısız olarak kontrol olarak denemelere katılmıştır. Aşılardan domatesler topraksız tarım perlit költürü koşullarında yetiştirilmiş ve bazı verim ve kalite özellikleri belirlenmiştir. Bu yetiştirilme aşamasında denemeye alınan anaçlara 2 dS/m ve 6dS/m olacak şekilde iki farklı besin solüsyonu uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bitki başına verim açısından Amaron ticari anaç 2 dS/m yetiştirme koşulları altında en iyi verim değerini verirken, tuzlu koşullar altında ise Beaufort anaç en yüksek verim değeri göstermiştir. Amaron ticari anaçının tuzluluğa karşı daha hassas, Beaufort anaçının ise daha dayanıklı olduğu söylenebilir. Bu çalışmanın amacını oluşturan yerel genotiplerin anaç olarak kullanılabilirliği açısından ise, 28 ve 30 kod numaralı genotiplerin kontrole ve Amaron ticari anaçına göre daha dayanıklı olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır. Meyve kalitesi açısından genel anlamda renk açısından farklılıklar çok olmasa da suda eriyebilir kuru madde açısından Amaron ticari anaç 2 dS/m koşulları altında en yüksek suda eriyebilir kuru madde değerini vermiş, tuzlu koşullar altında ise Beaufort ticari anaç yüksek performans göstermiştir. Suda eriyebilir kuru madde açısından 28 kod numaralı yerel genotip oldukça geride kalırken, 30 kod numaralı yerel genotip her iki tuzluluk koşulları altında yüksek suda eriyebilir kuru madde değerleri vermiştir. Meyve kalitesi açısından farklı sonuçlar elde edilmiş olsa da özellikle verim değerleri

açısından denemeye tabi tutulan genotipler beklenenden iyi performans göstermişlerdir. Unutulmamalıdır ki meyve organoleptik kalitesi yetiştirme şartları ve çeşitlere göre farklılık gösterebilir. Bu anlamda doğru aşı – kalem kombinasyonlarının kurulması ileride yapılacak çalışmalara ışık tutabilir. Diğer yandan bu çalışmada yer alan yerel genotiplerin çapraz melezleri ile farklı anaç kalem çalışmalarının oluşturulması da düşünülebilir (Batdal, 2023).

Ülkemizde yapılan bir başka çalışmada, tuzlu koşulları adaptasyonu olduğu düşünülen 3 farklı yerel domates genotipi ile ticari olarak kullanılan Armstrong ve Kingkong isimli domates anaçları ile üzerine aşılanan Beyza F₁ çeşidini topraksız tarım koşulları altında standart domates besleme solüsyonu (2dS/m) ve tuzlu besin solüsyonu (6dS/m) koşulları altında verim ve bazı kalite performansları belirlenmiştir. Ayrıca kontrol olarak Beyza F₁ çeşidi aşılammış olarak denemeye katılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre verim değerleri açısından 4 kod numaralı yerel domates genotipinin, çalışmaya katılan diğer anaçlara ve kontrole göre daha verimli bulunmuştur. 4 numaralı genotip ayrıca meyve ağırlığı açısından da diğer anaçları geçmiştir. Tuzlu koşullar söz konusu olduğunda ise en yüksek verimlilik Kingkong anacının aşılı olduğu bitkilerden elde edilmiştir. Denemede yer alan her 3 yerel genotipin kontrolden ve diğer ticari anaç olan Armstrong'dan daha iyi verim değerleri göstermiştir. Suda eriyebilir kuru madde miktarı açısından 21 kod numaralı genotipin hem tuzlu hem de tuzsuz koşullarda diğer anaçlara göre daha iyi performans göstermiştir. Araştırmacı, 21 ve 4 kod numaralı yerel genotiplerin ilerleyen yıllarda yapılacak çalışmalar ile iyi birer anaç adayı olabileceğini bildirmektedir (Güler, 2023).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Aşılama her ne kadar genel olarak meyvecilik faaliyetleri kapsamında içselleştirilmiş olsa da sebzecilik açısından çok uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Sebze yetiştiriciliğinde aşılama toprak kaynaklı hastalık ve zararlılardan korunma, tuzluluk ve kuraklık gibi abiyotik stres faktörlerine dayanıklılık gibi sebeplerden ötürü yoğun olarak kullanılmaktadır. Aşılı fide kullanımı genellikle örtü altı tarımı yapan üreticiler tarafından tercih edilse de son yıllarda başta karpuz yetiştiriciliği olmak üzere açık alanda sebze yetiştiren üreticiler tarafından da benimsenmiştir. Aşılı sebze fidesine artan talep, hazır

fide üreten firmaların üretim miktarlarını da etkilemiştir. Bu sayede son yıllarda aşılama robotlarının da kullanımı ile fidecilik sektörü daha çok ve kaliteli aşılı fide üretebilir hale gelmiştir. Üreticilerin aşılı fide tercih etmesinin en önemli nedenleri arasında verimlilik, kalite ve erkencilik sayılabilir. Aşılı fide üretiminin artışına rağmen anaç ıslahı konusunda yeterli geliştirme çalışması bulunmamaktadır. Bu konuda bir genelleme yapılacak olursa, aşılı sebze üretiminde biyotik ve abiyotik stres şartlarına dayanıklı, meyve kalitesini etkilemeyen, erkencilik ve verim özellikleri geliştirilmiş anaç ıslah çalışmalarına gereksinim vardır. Yukarıda sayılan bütün bu olumlu özelliklerine rağmen aşılı fide bir üretici girdi kalemi olarak pahalıdır. bu açıdan bakıldığında yerli anaç geliştirmek bir nebze de olsa aşılı fide girdi masraflarını azaltabilir.

Bir başka yaklaşım da hem yerel genotiplerin uygun olanlarının sebze yetiştiriciliğinde anaç olarak kullanılmasıdır. Yerel genotipler anaç olarak kullanılabildiği gibi hem de bir ıslah yarıyol materyali olarak kullanılabilirler. Bazı araştırmacılar son yıllarda özellikle meyve kalitesi ve tuzluluk, kuraklık gibi abiyotik faktörlere karşı yerel genotiplerin anaç olarak kullanılabileceğini bildirmektedirler. Bu konuda en büyük problemlerden biri aşılı sebzelerde meyve iriliği, verim gibi özelliklerin olumlu etkilenmesine rağmen, suda eriyebilir kuru madde, liflilik, C vitamini içeriği, kuru madde, renk gibi bazı meyve kalitesi parametrelerinin olumsuz etkilendiğidir. Bazı araştırmacılar bu konuda ispatlı çalışmalar yapmış olsa da, bazı araştırma sonuçları da modern anaçların meyve kalitesini önemli düzeyde etkilemediğini savunan çalışmalara imza atmışlardır. Bir diğer problemde tuzluluk ve kuraklık gibi abiyotik faktörlerdir. Modern kültür çeşidi olarak sınıflandırabileceğimiz anaçlar bazı olumsuz şartlarda yeterli performans gösterememektedir. Yerel genotipler ise buldukları bölgelerde adapte oldukları şartlara göre bu konuda ticari çeşitlerin önüne geçme potansiyelini barındırabilmektedir. Bu potansiyel, günümüz modern çeşitleri ile karşılaştırıldığında, eski yerel genotiplerin genetik bakımdan daha heterojen yapıda olmaları kaynaklıdır. Bu varyetelerin; verim, stres koşullarına dayanıklılık, kimyasal içerik, protein, şeker, yağ, suda çözünebilir karbonhidratlar gibi birçok özellik bakımdan genetik çeşitlilik gösterdikleri belirtilmektedir.

Yerel genotiplerin anaç olarak, özellikle kuraklık ve tuzluluk streslerine maruz bırakıldıklarında başarılı performanslar gösterdikleri birçok araştırmacı tarafından bildirilmektedir. Ancak unutulmamalıdır ki, aşı afinitesi, anaç x kalem kombinasyonlarının yeteri kadar ölçülmemesi bu çalışmaların zayıf noktalarıdır. Bütün bu değerlendirmeler ışığında, gerekli anaç x kalem kombinasyonlarının ve aşı afinitelerinin başarılı olduğu, biyotik ve abiyotik stres faktörlerine dayanıklı, meyve kalitesini olumsuz etkilemeyen eski yerel genotiplerin bazıları gerçekten de anaç olarak kullanılma potansiyeline sahiptir.

KAYNAKÇA

- Alan, O., Ozdemir, N., Günen, N.Y. (2007). Effect of grafting on watermelon plant growth, yield and quality. *J. Agron.* 6:362-365.
- Angel, Y., Esteban, W., Bustos, R., Pacheco, P., Hurtado, E., Bastías, E. (2016). Tomato "Poncho negro". History and redemption of culture forgotten. *Idesia*, 34, 65–69.
- Anonim, (2021). Fidebirlik, Fide Üreticileri Alt Birliği e-bülten Sayı 35.
- Balkaya, A. (2013). Aşılı karpuz yetiştiriciliğinde meyve kalitesini etkileyen faktörler. *Türkiye Tohumcular Birliği Dergisi TÜRKTOB.* 2; 6. 6-9.
- Balkaya, A. (2014). Aşılı sebze üretiminde kullanılan anaçlar. *TÜRKTOB Türkiye Tohumcular Birliği Dergisi*, 3, 10, 4-7.
- Balkaya, A., Kandemir, D., Sarıbaş, Ş. (2015). Türkiye sebze fidesi üretimindeki son gelişmeler. *Türkiye Tohumcular Birliği TÜRKTOB Dergisi*, 4; 13, 4-8.
- Batdal, İ. (2023). Bazı eski yerel domates popülasyonlarının Nacl stresi altında anaçlık performanslarının belirlenmesi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.
- Demir, H. (2007). Ülkemizde sebze fideciliği, sorunları ve çözüm önerileri. *Hasad Bitkisel Üretim Dergisi.* 263:68-74.
- Ellenberger, J. Bulut, A. Blömeke, P. Röhlen-Schmittgen, Novel,S. (2021). *S. pennelli x S. lycopersicum* hybrid rootstocks for tomato production with reduced water and nutrient supply. *Horticulturea*, 7, 355.
- FAO. (1999). Report: Sustaining agricultural biodiversity and agro-ecosystem functions, FAO, Italy.
- FAO. (2021). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (erişim: 24.07.2023).
- FAO. (2022). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS> (erişim: 24.11.2022)
- Farhadi, A., Aroei, H., Nemati, H., Salehi, R., Giuffrida, F. (2016). The effectiveness of different rootstocks for improving yield and growth of cucumber cultivated hydroponically in a greenhouse. *Horticulturae*, 2, 1.
- Fernie, A.R., Tadmor, Y., Zamir, D. (2006). Natural genetic variation for improving crop quality. *Current Opinion in Plant Biology.* 9: 196–202.
- Fu, S., Chen, J., Wu, X., Gao, H., Lü, G. (2022). Comprehensive evaluation of low temperature and salt tolerance in grafted and rootstock seedlings combined with yield and quality of grafted tomato. *Horticulturae*, 8, 595.
- Fullana-Pericàs, M., Conesa, M.À., Ribas-Carbó, M., Galmés, J. (2020). The use of a tomato landrace as rootstock improves the response of commercial tomato under water deficit conditions. *Agronomy*, 10, 748.

- Grieneisen, M.L., Aegerter, B.J., Stoddard, C.S., Zhang, M. (2018). Yield and fruit quality of grafted tomatoes, and their potential for soil fumigant use reduction. A meta-analysis. *Agron. Sustain. Dev.* 38, 29.
- Güler, O. (2023). Bazı domates genotiplerinin farklı tuz konsantrasyonlarında anaç performanslarının belirlenmesi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi.
- Hartmann, H.T. and Kester, D.E. (1975). Plant propagation: principles and practices. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, 662.
- Kadoglidou, K., Xanthopoulou, A., Kalyvas, A., Mellidou, I. (2021). Utilization of tomato landraces to improve seedling performance under salt stress. *Stresses*, 1, 238–252.
- Karagöz, A. (2003). Plant genetic resources conservation in Turkey. *Acta Horticulturae* 598: 17-25.
- King, S.R., Davis, A.R., Zhang, X., Crosby, K. (2010). Genetics, breeding and selection of rootstocks for *Solanaceae* and *Cucurbitaceae*. *Sci. Hortic. (Amst.)* 127, 106–111.
- Klein, D., Gkisasi, V., Krumbein, A., Livieratos, I., Köpke, U. (2010). Old and endangered tomato cultivars under organic greenhouse production: Effect of harvest time on flavour profile and consumer acceptance. *Int. J. Food Sci. Technol.* 45, 2250–2257.
- Lang, K.M., Nair, A., Moore, K.J. (2020). The impact of eight hybrid tomato rootstocks on BHN 589 scion yield, fruit quality, and plant growth traits in a Midwest high tunnel production system. *HortScience*, 55, 936–944.
- Lee, J.M. (1994). Cultivation of grafted vegetables I. Current status grafting methods and benefits. *HortScience*, 29 (4), 235-239.
- Martínez, J.P., Fuentes, R., Fariás, K., Loyola, N., Freixas, A., Stange, C., Sagredo, B., Quinet, M., Lutts, S. (2022). Effects of a local tomato rootstock on the agronomic, functional and sensory quality of the fruit of a recovered local tomato (*Solanum lycopersicum* L.) named “Tomate Limachino Antiguo” *Agronomy*, 12, 2178.
- Mauro, R.P., Agnello, M., Onofri, A., Leonardi, C., Giuffrida, F. (2020). Scion and rootstock differently influence growth, yield and quality characteristics of cherry tomato. *Plants*, 9, 1725.
- Mccough, S. (2004). Diversifying selection in plant breeding. *Plosbiology*, Vol:2:10 pp 1507–1512.
- Parisi, M., Pentangelo, A., D’Alessandro, A., Festa, G., Francese, G., Navarro, A., Onofaro Sanajà, V., Mennella, G. (2023). Grafting effects on bioactive compounds, chemical and agronomic traits of "Corbarino"

- tomato grown under greenhouse healthy conditions. Horticultural Plant Journal. 9 (2): 273–284.
- Parsafar, A., Panahandeh, J., and Zarehaghi, D. (2019). Assessment of Iranian rainfed and seedy watermelon landraces as potential rootstocks for enhancing drought tolerance. Horticultural Science and Technology. 37(3):354-364.
- Quinet, M., Angosto, T., Yuste-Lisbona, F.J., Blanchard-Gros, R., Bigot, S., Martínez, J.P., Lutts, S. (2019). Tomato fruit development and metabolism. Front. Plant Sci. 10, 1554.
- Rivero, M., Ruiz, J. M., Romero, L. (2003). Role of grafting in horticultural plants under stres conditions. Food, Agriculture and Environment. 1:70–74.
- Sarıbaş, Ş., Balkaya, A., Kandemir, D., Karaağaç, O. (2019). Patlıcan anaç ıslahında *Solanum melongena* ve *Solanum aethiopicum* genotipleri arasında türler arası melez uyumu ve hibrit tohum özellikleri. Anadolu Tarım Bilim. Derg., 34, 117-127.
- Scialabba, N. E., Grandi, C., Henatsch, C. (2002). Organic and genetic resources for food and agriculture. FAO web sayfası. Erişim, Aralık 2006.
- Scialabba, N.E. (2003). Organik Tarım: Biyolojik çeşitliliği zenginleştirerek gıda üretiminin sürdürülmesi. Türkiye’de biyoçeşitlilik ve organik tarım çalıştayı. 15-16 Nisan 2003. Ankara.
- Tan, A. (1998). Current status of plant genetic resources conservation in Turkey. In: Int. Symposium on In Situ conservation of Plant Genetic Diversity. N. Zencirci, Z. Kaya, Y. Anikster ve W.T. Adams (eds.) Central Research Institute for Field Crops. 5-16.
- Turhan, A., Özmen, N., Serbeci, M.S., Şeniz, V. (2011). Effects of grafting on different rootstocks on tomato fruit yield and quality. Hort. Sci. 2011, 38, 142–149.
- Tüzel, Y., Gül, A., Daşgan, H.Y., Özgür, M., Özçelik, N., Boyacı, H.F., Ersoy, A. (2005). Örtüaltı Yetiştiriciliğinde Gelişmeler. Türkiye Ziraat Müh. VI. Teknik Kongresi, Ankara.
- Usanmaz, S and Abak, K. (2019). Plant growth and yield of cucumber plants grafted on different commercial and local rootstocks grown under salinity stress. Saudi Journal of Biological Sciences 26, 1134–1139.
- Yanmaz, R., Balkaya, A., Akan, S., Kaymak, H.Ç., Sarıkamış, G., Ulukapı, K.Ö., Karaağaç, O., Güvenç, İ., Kurtar, E.S., Eryılmaz Açıköz, F. (2020). Sebzeçilik Sektörü: Dünü, Bugünü ve Geleceği, Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi, 585-607.

Zamir D., Gur, A. (2004). Unused natural variation can lift barriersin plant breeding. Plosbiology, Vol,2:10 pp 1610–1615.

BÖLÜM 13

FİTOREMEDİASYON

Dr. Öğr. Üyesi Sibel BOYSAN CANAL¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10207983>

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü 65080 Van/Türkiye. <https://orcid.org/0000-0001-9027-0458>
sorumlu yazar: sibelboysancanal@ yyu.edu.tr

GİRİŞ

Toprağa antropojenik yani insan faaliyetleri ile ağır metaller yaşayan canlıları, toprakta yetişen bitkileri ve bu bitkilerle beslenen canlılar üzerinde toksik etkide ve zarar verecek düzeyde bulunması toprak kirliliği olarak tanımlanır. Yüksek düzeyde ağır metal konsantrasyonu toprak mahsul üretiminde düşüşe neden olduğu gibi elde edilen ürünlerin pazar değerinin yok olmasına neden olur. Özellikle yirminci yüzyılın ikinci yarısında endüstriyel faaliyetlerin gelişmesi ağır metal kirliliğine neden olmuştur. Madencilik ve endüstriyel atıklar, kentsel atıklar, taşıtların egzoz gazları, volkanik faaliyetler, tarımda kullanılan gübre ve ilaçlar ile kentsel arıtma suyu ve çamur, ağır metallerin çevreye yayılmasına neden olan etmenlerin başında gelmektedir (Asri ve Sönmez, 2006), (Şekil 1). Bir çok metal doğal çevrede hava, su ve besinler ile organizmaya alınmaktadır. Organizmaya alınan metaller, metabolizma üzerindeki toksik etkilerini bir çok metabolik fonksiyonu engelleyerek göstermektedir (Chen vd., 2001). Ağır metallerle kirlenmiş toprakların temizlenmesinde çevreye dost bir uygulama olan fitoremediasyon, hem bitkilerle gerçekleştirildiği için hem diğer yöntemlere göre ekonomik olması nedeniyle oldukça tercih edilen bir yöntemdir. Fitoremediasyon, bitki esas alınarak kirlenmiş topraklardaki metalleri,metoloitleri etkisiz hale getirme yöntemidir. Bu yöntem ile organik ve inorganik maddeler topraktan bitkiye aktarılmaktadır (Henry, 2000). Maliyetinin diğer ıslah yöntemlerine göre düşük olması, insan popülasyonu ve ekosistem için risk faktörünün kabul edilebilir sınırlarda olması nedeniyle oldukça tercih edilen yöntemdir. Bununla birlikte iyileştirme sürecinin bitkinin gelişimine büyümesine bağlı olması toprağın ıslah süresinin nispeten daha uzun bir süre almasına neden olmaktadır. Bitki ile iyileştirmede yapılan uygulamaların çevreye dost olmasına özen gösterilmektedir. Bu bölümde ağır metallerin çevreye olan toksik etkileri, fitoremediasyon çeşitleri, toprak canlılarının fitoremediasyona etkileri ve uygulanan farklı şellat etkisinin hiperakümülatör bitkilerde fitoremediasyon üzerindeki yapıcı etkilerine değinilecektir.



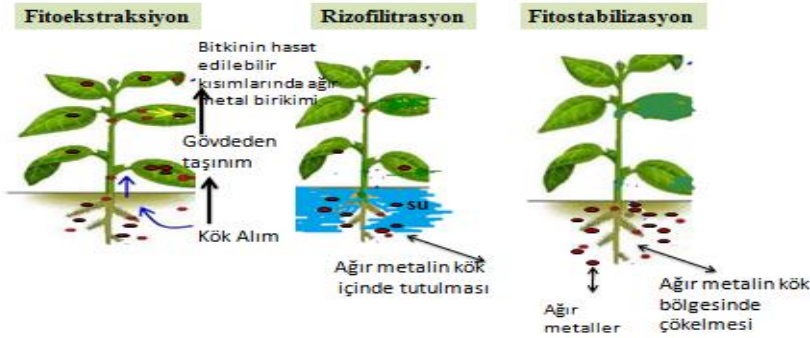
Şekil 1. Toprak kirliliğine neden olan ağır metal kaynakları.

AĞIR METAL ETKİSİ BULUNAN TOPRAĞIN İYİLEŞTİRİLMESİ İÇİN FİTOREMEDİASYON YÖNTEMLERİ

Fitoremediasyon yöntemi toprak kirliliğine neden olan ağır metallerin toprakta etkisiz hale getirilmesinin yanı sıra organik kirleticilerinde topraktan temizlenmesinde aktif olarak kullanılan yöntemdir. Başlıca fitoremediasyon yöntemlerini fitoekstraksiyon, fitostabilizasyon ve rizofiltrasyon olmak üzere üç sınıfta incelemek mümkündür.

Fitoekstraksiyon: Fitoremediasyon teknikleri arasında en fazla kullanılan yöntemdir. Fitoekstraksiyon hiperakümülatör bitkiler tarafından fitotoksik metalleri kökleri yardımı ile topraktan alarak toprak üstü organlarda biriktirilmesidir. Bu nedenle, uygulamada metalleri bünyesinde barındırabilen hiperakümülatör bitkiler kullanılmaktadır. Daha sonra ağır metalleri tutan bitkiler hasat edilerek imha edilir (Rafati vd.,2011) (Şekil 2).

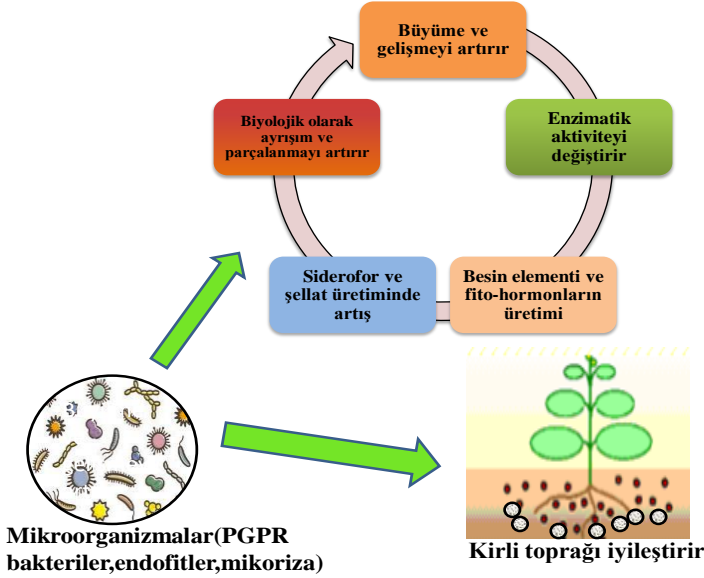
Fitostabilizasyon: Topraktaki kirleticilerin, bazı hiperakümülatör bitkilerin kökleri tarafından emilim ve birikimi, kökler üzerine adsorpsiyon veya kök bölgesinde çökeltme hareketsiz hale getirilmesidir (Parmar ve Sing, 2015) (Şekil 2).



Şekil.2 Ağır metal içeren toprağın fitoremediasyon yöntemleri ile iyileştirilmesi.

Biyoremediasyon: Toksik ağır metallerin aktiviteleri üzerine mikroorganizmaların etki etmesine biyoremediasyon denir. PGPR bakterileri hiperakümülatör bitkilerin ağır metal bakımından kirletilmiş topraklarda kök bölgesinde çeşitli salgılar üreterek ağır metallerin mobilizasyon ve immobilizasyonuna etki ederler (Sessitsch vd. 2013). Metale karşı dirençli PGPR bakterileri ile aşılanan bitkilerin fitoremediasyonu iyileştirmede önemli etkiye sahiptir. Ağır metale karşı dirençli PGPR bakteri ile aşılama fitoremediasyon etkinliğini artırmada çeşitli mekanizmaları etkiler bitki emilimi için ağır metallerin biyo yararlanımını artırır. Kirli topraklar genellikle besin durumu açısından zayıftır. PGPR bitkilerin beslenme ve büyümelerini artırarak fitoremediasyon etkinliğini artırır. Birde kirli topraklarda metaller tarafından üretilen stres etkisi PGPR bakterileri ile giderilerek bitkinin büyüme ve gelişimi azaltılarak fitoremediasyon etkinliği artırılır (Yu vd. 2014) (Şekil, 3). Hiperakümülatör bitkilerin ve endofit bakterilerin birlikte kullanımı, organik bileşiklerle kirlenmiş toprak ve suyun temizlenmesi için araştırılan bir konudur. Bitki-endofit bakteri ortaklıklarında bitkiler, ilişkili oldukları endofitik bakterilere hem yaşam alanı hem de besin maddeleri sağlar. Buna cevaben, uygun bozunma yollarına ve metabolik aktivitelere sahip endofit bakteriler, kirleticilerin bozunmasını artırır ve fitotoksisiteyi azaltır. Ayrıca, bitki büyümesini teşvik edici faaliyetlere sahip olan endofit bakteriler, bitkinin organik kirleticilerle kirlenmiş toprak ve suda adaptasyonunu ve büyümesini

arttırır. Genel olarak, endofit bakterilerin uygulanması fitoremediasyon verimliliğini artırmak için yeni uygulamalar hakkında yeni bilgiler verir. Bununla birlikte, organik bileşiklerle kirlenmiş bir ortamın temizlenmesi için bitki endofit ortaklıklarının başarılı bir şekilde uygulanması, farklı bitki bölmelerinde bozulan endofitin bolluğuna ve aktivitesine bağlıdır. Birçok endofit bakteri, kirliliği azaltmada bitkinin enzim mekanizmalarında değişikliğe sebep olmakla birlikte, siderofor ve şellat üretiminde artışa neden olur. Bu durum besin elementi alımında artışa neden olarak bitkinin büyüme ve gelişmesinde ilerlemeye neden olmaktadır. Bakteriyel faaliyetler sonucu kirlenmiş topraklardaki biyolojik ayrışım ve parçalanma bitki büyümesini iyileştirme potansiyeline sahiptir (Şekil.3).



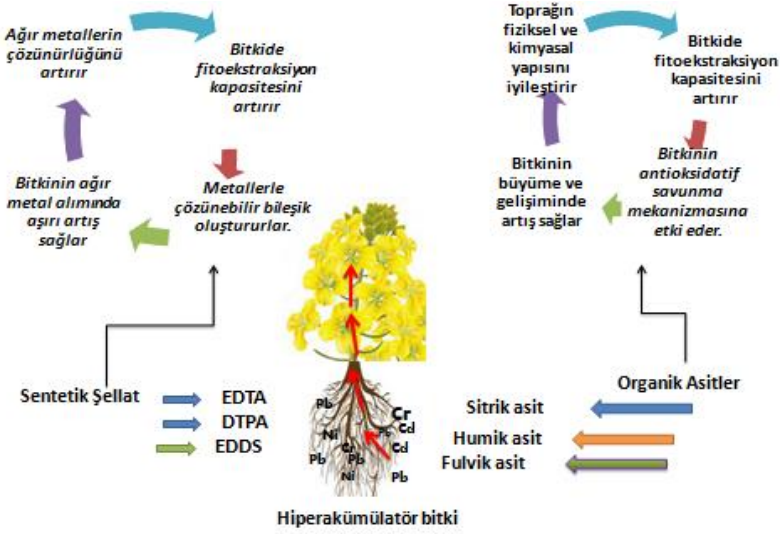
Şekil.3. Ağır metallerle kirlenmiş toprakların iyileştirilmesine mikroorganizmaların etkisi.

Tüm bu sebeplerden dolayı, bakteriyel uygulamaların fitoremediasyon etkinliğini artırmaya olan katkıları oldukça fazladır (Afzal vd., 2014).

Şellat kullanımının fitoremediasyon üzerine etkileri

Fitoekstraksiyon, ağır metallerle kirletilmiş toprağın iyileştirilmesi için metallerin bulunduğu toprak ortamından bitkinin hasat edilebilir kısımlarına taşınmasıdır (McGrath vd., 2002). Fitoekstraksiyon tekniğinin de topraktaki ağır metallerin bitkiler tarafından kullanılabilirliğini artırma amacı ile iki temel strateji benimsenmiştir 1-Ağır metalleri biriktirme kapasitesine sahip hiperakümülatör bitkilerin kullanılması 2- EDTA, EDDHA gibi sentetik şellat yada düşük moleküler ağırlığa sahip organik asitleri kullanarak ağır metallerin toprakta ve bitkide hareketliliğini artırmayı amaçlamaktadırlar (Blaylock, 1997). Şellatlar toprağa ilave edildikten sonra toprak çözeltisindeki metallerle çözünür bileşikler oluşturur. Bu durum metalleri katı fazdan harekete geçirir. Topraktaki metallerin şellat ilave edilmesi sonucu ligand değişim reaksiyonu yoluyla toprak minerallerini çözünmesini ve katı fazda adsorbe edilen metallerin yeniden hareketliliği ile ilgilidir (Nowack vd., 2002). Toprak çözeltisi ile katı faz arasındaki metal iyonlarının dengesini etkileyen faktörler metal hareketliliğini de değiştirecektir. Belirli bir şellatın toprak çözeltisindeki metallerin çözünürlükleri üzerine etkileri; metal türlerine, toprak fraksiyonlarına, toprak pH, metal-ligand komplekslerinin oluşumuna bağlı olarak değişim gösterir (Willey, 2007). Metal tür ve konsantrasyonları toprak özellikleri, uygulanan şellatlardaki farklılıklar topraklardaki ağır metallerin fitoekstraksiyonda farklı etkilere neden olmaktadır. Düşük maliyetli, bitki bazlı fitoekstraksiyon tekniği, genellikle ağır metalle kirlenmiş tarım arazilerini iyileştirmek için umut verici bir teknik olarak tanımlanmıştır. Şellatlama maddelerinin uygulanması, ağır metallerin topraktaki çözünürlüğünün artırılmasında ve dolayısıyla fitoekstraksiyon'un artırılmasında olumlu etkiler göstermiştir. Şellatlı metaller apoplastik yoldan alınır. Kasparyan şeridinden geçerler. Fitoekstraksiyon için gereken yüksek sürgün konsantrasyonlarını elde etmek için kasparyan bandının bozulması gerekir. Bir toprağa şellatlar eklemek sadece toplam çözünmüş metal konsantrasyonunu arttırmaz aynı zamanda metal, bitki türleri ve şellat konsantrasyonuna bağlı olarak alım mekanizmasını da değiştirir (Nowack vd., 2002). Fitoekstraksiyonda kullanımı metal çözünürlüğünü artırdığı için EDTA oldukça ilgi görmüştür ve kirlenmiş toprağın fitoremediasyonu için en etkilidir. Ancak EDTA çevrede kalıcı olması bitkiler ve topraklar üzerindeki olumsuz etkileri olması nedeniyle kullanılan

konsantrasyona, kullanımı sırasında bitki yönetimi ve toprak kalitesinin iyileştirilmesi gerekebilir. EDTA, ağır metallerle kirlenmiş toprağın fitoremediasyonu için en etkilidir, ancak bitkiler ve topraklar üzerindeki olumsuz etkileri ihmal edilemez ve bu nedenle kullanımı sırasında bitki yönetimi ve toprak kalitesinin iyileştirilmesi gerekebilir (Lee ve Sung, 2014) (Şekil 4). Uygulanan şelatlar arasında EDTA ağır metallerin bitkiler tarafından alınımı ve taşınmasını etkiler. Bununla birlikte EDTA, şelat uygulaması, DTPA ve EDDS gibi şelat uygulamalarına



Şekil. 4 Şelat kullanımının hiperakümülatör bitkilerde ağır metallerin alınımına etkisi.

göre bitkinin gelişim ve büyümesi üzerinde daha fazla negatif etkiye sahiptir (Bian vd., 2018). EDTA Cd, Pb, ve Zn ile kirliliğe toprağa uygulandığında bitkide nekroz ile birlikte yapraklarda yaşlanmaya neden olmaktadır (Grçman vd., 2001). EDTA uygulaması yüksek seviyede metal alınımını artırarak bitkide fitotoksik etkilere neden olabilmektedir (Saifullah vd., 2009; Eissa, 2017). EDTA Metallerden Cd, Pb ve Mn çözünürlüğünü önemli düzeyde artırırken, EDDS şelat uygulaması Cu çözünürlüğünün artırmada daha etkilidir (Wei vd., 2007). Hiperakümülatör olarak *Brassica napus* L. ile yürütülen 2,5 mM EDTA uygulamasının Habiba vd., (2014) Cu 'nun bitkinin kök, sap ve yapraklarda alınımını artırdığını ve Cu toksisitesini azalttığı Kanwal vd., (2014) Pb ile kirliliği

toprakta fitoekstraksiyonu artırdığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte Pb toksisitesini azalttığı Farid vd., (2015) Cd'nin bitkiye toksik etkisini azalttığı gibi, kök, gövde ve yapraklarda birikimi artırdığı ifade etmişlerdir. Bu çalışmalar doğrultusunda EDTA 'nın 2,5 mM düzeyinin *Brassica napus* L.'de Cd, Pb ve Cu için fitoekstraksiyonu artırdığı ve toksiteyi azalttığı sonucuna ulaşılmıştır. Diğer bir şelat olarak kullanılan EDDS, toprakta kolayca daha az zararlı yan ürünlerine ayrıştırılır. EDDS afinitesi esas olarak Cu'ya ve ikinci olarak Zn'ye yöneliktir. Bu şelatör, toprak pH 7 değerinin olduğu nötr ve nötre yakın koşullarında EDTA'dan daha önemli bir çözündürme etkisi gösterir (Tandy vd. 2004; Yeh ve Pan, 2012). Doğal veya sentetik şelatörlerin toprağa ilavesi fitoekstraksiyonda metal alımını ve translokasyonunu (taşınımı) artırmaktadır. Bu amaca inorganik ve organik maddeler eklenerek ulaşılabilir (Vamerali vd., 2009). Düşük molekül ağırlığına sahip organik asitlerin (citrik asit, hümik asit, fulvik asit) örneğin humik asit, malik, sitrik, asetik asit gibi düşük moleküler ağırlığa sahip bileşikler gurubudur. Bu bileşikler bitki ve hayvansal artıkların ayrışma ve parçalanması sonucunda oluşan organik maddeden oluşan gurup içinde değerlendirilmektedir (MacCarthy, 2001). Organik asitlerin dolaylı etkisi toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkileyebildiği gibi, doğrudan etkisi bitkilerin gelişimi ve mikro element alımı üzerinde önemli etkiye sahiptir (Ebrahimi vd., 2015) (Şekil 4). Organik asitler metallerle kompleks oluşturabilirler. Organik asitlerin oluşturdukları bu kompleksler metallerin çözünürlüğünü değiştirebilir. Bu nedenle ağır metallerin mobilitesi ve taşınabilirliği organik asitlerin ortamda bulunmasından etkilenir (Ebrahimi ve Bybordi, 2014). Organik asitlerden örneğin hümik asit ağır metallerle sahip olduğu fenolik ve karboksil gurupları sayesinde ağır metallerle bileşik oluşturmaktadır. Kanola bitkisi ile yürütülen çalışmada ağır metallerle kirletilmiş toprağa uygulanan hümik asitin kanola bitkinin fitoekstraksiyon kapasitesini artırdığı bulunmuştur (Ebrahimi ve Bybordi, 2014). Cr ile kirletilmiş topraklarda fulvik asit uygulaması buğday bitkisinde antioksidatif aktivite ve bitki gelişiminde iyileşmeye neden olmuştur (Ali vd., 2015).

SONUÇ

Günümüzde endüstriyel, tarımsal ve kentsel faaliyetler sonucunda üretilen ağır metallerin çevremizde önemli ölçüde toprak kirliliğine neden olmaktadır. Toprak kirliliği yaşayan bitki türleri ve hayvanları olumsuz yönde etkilemektedir. Bu durum da metalle kirlenmiş toprakların temizlenmesini zorunlu hale getirmektedir. Fitoremediasyon toprağın iyileştirilmesinde kullanılan geçerli yöntemdir. Geçerli olası çevreye dost ve ekonomik olması ile ilgilidir. Fitoremediasyon temel olarak hiperakümülatör bitkilerin kullanılması ve bu bitkilerin olağanüstü özellikleri nedeniyle kritik öneme sahiptir. Ancak sadece hiperakümülatör bitkilerin kullanılması yerine bu bitkilerin etkinliğini artırmak maksadı ile mikroorganizmaların kullanılması yöntemin etkinliğini artırmada etkili olabilmektedir. Bununla birlikte sadece bitkinin etkinliği değil ağır metallerin toprak içerisindeki aktivitelerini etkileyerek fitoremediasyonun etkinliğini artırabiliriz. Toprağa uygulanan doğal ve sentetik şelat uygulamaları ağır metallerin mobilitesini etkileyebilmektedir. Özellikle doğal şelatlar hiperakümülatör bitkilerin ağır metallerin alımını önemli ölçüde artırabilir. Bu nedenle hiperakümülatör bitkilerin fizyolojik ve metabolik yapısını çok iyi anlamak ve kavramak gereklidir. Fitoremediasyonun uygulama sahasının metal içeriğini ve yetiştirme ortamının iyi bilinmesi ve doğru bitki seçimi ile uygun ıslah çalışmaları yapılabilir.

KAYNAKÇA

- Afzal, M., Khan, Q.M. Sessitsch, A. 2014. Endophytic bacteria: prospects and applications for the phytoremediation of organic pollutants. *Chemosphere*, 117, 232-242.
- Ali, S., Bharwana, S. A., Rizwan, M., Farid, M., Kanwal, S., Ali, Q., Ibrahim, M., Gill, R. A., Khan, M. D. 2015. Fulvic acid mediates chromium (Cr) tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) through lowering of the Cr uptake and improved antioxidant defense system. *Environ Sci Pollut Res*, 22, 10601–10609.
- Asri, F.Ö., Sönmez, S. 2006. Ağır metal toksisitesinin bitki metabolizması üzerine etkileri. *Derim, Batı Akdeniz Tarımsal Enstitüsü, Dergisi* 23(2): 36-45.
- Blaylock, J. M., Salt, D.E., Dushenkov, S., Zakharova, O., Gussman, C., Kapulnik, Y., Ensley, B.D., Raskin, I. 1997. Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soil-applied chelating agents. *Environ. Sci. Technol.*, 31, 860–865.
- Bian, X., Cui, J., Tang, B., Yang, L. 2018. Chelant-induced phytoextraction of heavy metals from contaminated soils: a review. *Pol. J. Environ. Stud.* 27 (6), 2417–2424.
- Chen, Z.S., Lin H.T., Hseu Z.Y. 2001. Transfer of cadmium into the food chain from aquatic and agricultural ecosystems. in *Environmental Cadmium in Food Chain: Sources, Pathways and Risks.* 110-115 pp
- Ebrahimian, E., Bybordi, A. 2014. Effect of organic acids on heavy-metal uptake and growth of canola grown in contaminated soil. *Commun. Soil.Sci. Plant Anal.*, 45 (13), 1715–1725.
- Ebrahimi M, Sahragard P.H, Miri E. 2015. Effect of EDTA application on Lead and Zinc uptake and germination of *Thlaspi caerulescens* L. in a contaminated soil. *Ecopersia*, 3(4):1213-1224.
- Eissa, M.A. 2017. Phytoextraction mechanism of Cd by *Atriplex lentiformis* using some mobilizing agents. *Ecol. Eng.* 108, 220–226.
- Farid M, Ali S, Ishaque W, Shakoob MB, Niazi NK, Bibi I, Dawood M, Gill RA, Abbas, F. (2015). Exogenous application of ethylene diamine tetra acetic acid enhanced phytoremediation of cadmium by *Brassica napus* L. *Int J Environ Sci Technol* 12:3981–3992

- Grčman H, Velikonja-Bolta S, Vodnik D, Kos B, Leštan D. 2001. EDTA enhanced heavy metal phytoextraction: Metal accumulation, leaching and toxicity. *Plant Soil*, 235: 105–114.
- Habiba, U.; Ali, S.; Farid, M.; Shakoor, M.B.; Rizwan, M.; Ibrahim, M.; Abbasi, G.H.; Hayat, T.; Ali, B. 2015. EDTA Enhanced Plant Growth, Antioxidant Defense System, and Phytoextraction of Copper by *Brassica napus* L. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 22, 1534–1544.
- Henry, J., 2000. An Overview of The Phytoremediation of Lead and Mercury. U.S. EPA, Office of Solid Waste and Emergency Response Technology Innovation Office, 51 p,
- Kanwal, U., Ali, S., Shakoor, M. B., Farid, M., Hussain, S., Yasmeen, T., Muhammad Adrees, Bharwana, SA., Abbas F. 2014. EDTA ameliorates phytoextraction of lead and plant growth by reducing morphological and biochemical injuries in *Brassica napus* L. under lead stress. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 21, 9899–9910.
- Lee J., Sung K. 2014. Effects of chelates on soil microbial properties, plant growth and heavy metal accumulation in plants. *Ecol. Eng.*, 73, 386,
- McGrath, S.P., F.J. Zhao, Lombi, E. 2002. Phytoremediation of metals, metalloids, and radionuclides, *Adv. Agron.*, 75 1–56.
- Nowack, B. 2002. Environmental chemistry of aminopolycarboxylate chelating agents. *Environ. Sci. Technol.*, 36, 4009–4016.
- Nowack, E., Schulin, R., Robinson, B.H. 2006. Critical assessment of chelant-enhanced metal phytoextraction. *Environ. Sci. Technol.*, 40 (17), 5225–5232.
- Parmar, S., Singh, V. 2015. Phytoremediation approaches for heavy metal pollution: a review. *J. Plant Sci. Res.* 2 (2), 139.
- Prasad M.N.V., Freitas, H.M.O. 2003. Metal hyperaccumulation in plants: biodiversity prospecting for phytoremediation technology. *Electron J Biotechnol*, 6: 285-321.
- Saifullah Meers E., Qadir M., Caritat P.D., Tack F.M.G., Laing G.D., Zia M.H. (2009). EDTA-assisted Pb phytoextraction. *Chemosphere*, 74: 1279.
- Sessitsch A., Kuffner M., Kidd P., Vangronsveld J., Wenzel W.W., Fallmann K, Puschenreiter M. 2013. The role of plant-associated bacteria in the mobilization and phytoextraction of trace elements in contaminated soils. *Soil Biol Biochem* 60:182–194

- Tandy, S., Bossart, K., Mueller, R., Ritschel, J., Hauser, L., Schulin, R., Nowack, B. 2004. Extraction of heavy metals from soils using biodegradable chelating agents. *Environ Sci Technol* 38:937–944.
- Vamerali, T., Bandiera, M., Coletto, L., Zanetti, F., Dickinson, N.M., Mosca, G. 2009. Phytoremediation trials on metal- and arsenic-contaminated pyrite wastes (Torviscosa, Italy). *Environ Pollut* 157:887–894.
- Yeh T.Y., Pan C.T. 2012. Effect of Chelating Agents on Copper, Zinc, and Lead Uptake by Sunflower, Chinese Cabbage, Cattail, and Reed for Different Organic Contents of Soils. *J Environ Anal Toxicol* 2: 2161-0525.
- Yu, X., Li, Y., Zhang, C., Liu, H., Liu, J., Zheng, W., Kang, X., Leng, X., Zhao K, Gu, Y., Zhang, X., Xiang, Q., Chen, Q. 2014. Culturable heavy metal-resistant and plant growth promoting bacteria in v-ti magnetite mine tailing soil from Panzhihua, China. *Plos One* 9(9):1–8.
- Wei, L., Luo, C.L., Wang, C.C., Li, X.D., Shen, Z.G. 2007. Biodegradable chelating agent ethylenediamine disuccinic acid reduces uptake of copper through alleviation of copper toxicity in hydroponically grown *Chrysanthemum coronarium* L. *Environ Toxicol Chem.* 26: 749.
- Willey N. (2007). Phytoremediation Methods and Reviews. In: Manipulating Soil Metal Availability Using EDTA and Low-Molecular-Weight Organic Acids. (Eds.): Wu, L., Luo, Y., Song, J. pp. 291-303.

BÖLÜM 14

TÜRKİYE'DE ARI VE ARI ÜRÜNLERİNDEKİ KALINTI ÇALIŞMALARI, KALINTILARIN ARI VE İNSAN SAĞLIĞI AÇISINDAN RİSKLERİ

Zir. Yük. Müh. Neslihan ÖZSOY^{1*}

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10207989>

¹Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Arıcılık Araştırma Merkezi, 35660, Menemen-İzmir, Türkiye. <https://orcid.org/0000-0002-2495-7603>

*sorumlu yazar: neslihan.ozsoy@tarimorman.gov.tr

GİRİŞ

Agroekoloji, tarımsal üretimin gerçek zorluklarını çözmek için çeşitli yaklaşımları içerir ve bu terim günümüzde bilimde oldukça farklı anlamlarda ve aynı zamanda bir hareketi veya tarımsal uygulamaları tanımlamak için kullanılmaktadır. Tarımsal ekoloji, başlangıçta öncelikli olarak bitkisel üretim ve koruma hususlarıyla ilgilense de, son yıllarda çevresel, sosyal, ekonomik, etik ve kalkınma konuları gibi yeni boyutlar ile önem kazanmaya başlamıştır (Wezel vd., 2009). Hem ekolojik kavramların sürdürülebilir gıda üretimi sistemlerinin tasarımına uygulanması hem de tarımsal üretimle ilişkili ekolojik, sosyal ve politik süreçlerin bilimsel bir disiplini olan agroekoloji, sürdürülebilir bir tarım ve tarımsal çok işlevliliğe ulaşmak için teknolojik, bilimsel ve metodolojik temeli sağlar. Agroekolojik olarak tasarlanmış sistemler tarımdaki biyolojik çeşitliliği artırır ve agroekolojik matrisin kalitesini iyileştirir, böylece doğal habitat parçaları arasındaki dağılım iyileştirilir (Liere vd., 2017). Dünyadaki yaşam çeşitliliğini ifade eden biyoçeşitlilik, türlerin, alellerin, fonksiyonel grupların veya ekosistemlerin zenginliğini (sayısını), eşitliğini (göreceli bolluğun eşitliğini) ve kompozisyonunu (türlerini) içerir. Biyolojik çeşitlilikte dünya çapında hızla meydana gelen azalma, ekosistemlerin işleyişini ve istikrarını olumsuz yönde etkileyebilir ve ekosistemlerin insanlara sağlayabileceği hizmetleri azaltarak insan refahını azaltabilir. Örneğin pek çok mahsul polenin ana taşıyıcısı olan bal arılarının azalması, küresel tarıma yönelik ciddi bir problemdir. (Nair, 2014).

Parazitlerin ve patojenlerin yayılması, habitat kaybı, gıda kaynaklarının kullanılabilirliğinin veya kalitesinin azalması, iklim değişikliği, düşük ana arı kalitesi, arıcılık uygulamalarının yanı sıra hem tarlada hem de kovanda tarımsal ve arıcılıkla ilgili pestisitlere maruz kalma, kültürel ve ticari değişikliklerin de dahil olduğu, bal arısı kolonilerinin hem sağlığını hem de yaşama gücünü olumsuz etkileyen çeşitli faktörler mevcuttur (T O'Neal vd., 2018). Pestisitler ve antibiyotiklerin kolonilerin ölümlerine neden oldukları gibi ballarda da kalıntılara sebebiyet verebileceği bildirilmiştir (Solgun, 2023).

Sabit ve gezginci arıcılık yapılan ülkemizde temel hedefin nektar ve polen kaynaklarından en yüksek düzeyde yararlanmak olduğu vurgulanmıştır (Solgun, 2023). Ancak gerek arıcılık uygulamalarında kullanılan ilaçlar gerekse de tarımsal üretimde kullanılan ilaçlardan dolayı hem arılar zarar görmekte,

hem de arı ürünlerinde kalıntı oluşmaktadır. Oluşan kalıntılar ise bu ürünleri tüketen insanlarda sağlık problemlerine neden olabilmektedir.

Türkiye'nin AB direktifiyle uyumlaştırılmış yönetmeliğin esaslarına göre 2005 yılından itibaren Ulusal Kalıntı İzleme Planını (UKİP) yürüttüğü ve buradaki verilerin her yıl bir önceki yılın verilerinin dikkate alınarak güncelleştirildiği, hayvansal ürünlerin de Avrupa Birliği ülkelerine ihracatı için uygulanmasını zorunlu tuttuğu yönergeden oluştuğu bildirilmiştir. UKİP kapsamında da pestisit, bulaşan ve kullanımı yasaklı maddeler ile veteriner ilaç kalıntısı analizlerinin yapıldığı belirtilmiştir (Anonim, 2023). Ülkemizde “Türk Gıda Kodeksi Hayvansal Gıdalarda Bulunabilecek Farmakolojik Aktif Maddelerin Sınıflandırılması ve Maksimum Kalıntı Limitleri Yönetmeliği” nde farmakolojik ilaç kalıntılarının limitleri ve “Türk Gıda Kodeksi Pestisitlerin Maksimum Kalıntı Limitleri Yönetmeliği” nde de pestisitlerin kalıntı limitleri belirlenmiştir (Resmi Gazete, 2017; 2021). Kalıntı analizlerinde bu yönetmeliklerin hükümleri dikkate alınmaktadır.

ANTİBİYOTİK KALINTILARI

Arıcılıkta antibiyotik kullanımının sadece bal arılarının sağlığı üzerinde olumsuz etkiler oluşturmakla kalmadığı, aynı zamanda bal arıları ve çevresinin mikrobiyomunda insan mikrobiyomuna geçme olasılığı olan ve enfeksiyon riskini artıran antibiyotik direncinin oluşmasını veya zenginleşmesini de teşvik edebileceği (Wang vd., 2022) ve dirençli bakterilerin enfeksiyon riskini artırabileceği belirtilmiştir (Al-Waili vd., 2012; Wang vd., 2022). Antibiyotik kalıntısı içeren gıdaların insanlar tarafından tüketilmesinin zehirlenmelere ve teratojenik, mutajenik, karsinojenik etkilere neden olabileceği bildirilmiştir (Bağcı, 2019; Bağcı vd., 2019). Ayrıca antibiyotik kalıntılarının uzun yarı ömürleri olduğu (Atasever ve Yüksel, 2022), alerjik reaksiyonlara (Atasever ve Yüksel, 2022; Bağcı, 2019; Kutlu vd., 2017; Özkan vd., 2015) ve hematopoetik sistem bozukluğuna yol açabileceği bildirilmiş olup tüketicilerin sağlığını olumsuz etkileyebileceği belirtilmiştir (Atasever ve Yüksel, 2022).

Ülkemizde çeşitli araştırmalarla arı ürünlerinde antibiyotik kalıntılarını incelenmiştir:

22 farklı yöreden toplanan bal örneklerindeki sulfa ve tetra grubu antibiyotik kalıntılarının Muş, Bingöl, Şemdinli, Yüksekova bölgelerinde ve Marmaris Muğla bölgesinde yoğun olduğu belirlenmiştir (Sunay, 2006). Adana

Veteriner Kontrol Araştırma Enstitüsü laboratuvarına 2011-2012 yılları arasında gelen 56 adet bal örneğinden 4 tanesinde streptomisin tespit edilmiştir (Seğmenoğlu, 2013). Ardahan ve ilçelerinde toplanan 180 adet bal örneğinin %37'sinde streptomisin, %52'sinde sülfonamid kalıntısı bulunmuştur (Özkan vd., 2015). Erzurum ilinden toplanan 20 adet balın 8'inin sülfametazin, 2'sinin tetrasiklin ve 2'sinin oksitetrasiklin kalıntısı içerdiği belirlenmiştir (Kortel, 2015). Yapılan çalışmada market, pazar ve kovanlardan temin edilen 90 adet bal numunesinin 62 adedinde antibiyotik kalıntısının (%76,66 sülfonamid grubu; %16,66 tetrasiklinler; %4,44 seftiofur; %4,44 streptomisin; %2,22 kinolonlar) tespit edildiği bildirilmiştir (Bal, 2016). Bitlis ili, Hizan ilçesi bal üreticileri birliği üyelerinin konakladıkları 20 farklı bölgedeki arıklardan alınan süzme bal örneklerinde tetracycline grubu (oxytetracycline, chlorotetracycline, tetracycline, 4-epitetracycline, 4-epichlortetracycline, doxycycline) ve sülfanamid grubu (sulfadiazine, sulfathiazole, sulfadoxine, sulfamer, sulfabenzamide, sulfamethazine, sulfachlorpyridazine, sulfisoxazole, sulfamethoxazole, sulfadimethoxine) antibiyotiklerin kalıntıları araştırılmış ve bal örneklerinin hiç birinde antibiyotik kalıntısına rastlanılmadığı vurgulanmıştır (Kutlu vd., 2017). Giresun'da üretilen ballardan toplanan numunelerde yüksek düzeyde antibiyotik (Sülfametazin/Sülfamidin, Sülfapiridin, Sülfamerazin, Tetrasiklin, Sülfamonometoksin, Kinolonlar, Dapson, Sülfadimetoksin, Sülfızoksazol, Streptomisin, Sülfametoksipiridazin, Sülfametoksazol, Sülfatiyazol, Sülfadoksin, Sülfaklorpidazin, Trimetoprim, Seftiofur) kalıntılarının tespit edildiği bildirilmiştir (Demir, 2019). Muğla merkez ve 12 ilçesinden temin edilen 84 adet bal örneğinde yapılan analizde 49 örnekte Tetrasiklin'e rastlanırken 84 örneğin tümünde Sülfametazin antibiyotiği saptanmıştır (Bağcı, 2019; Bağcı vd., 2019). Erzurum'dan temin edilen 79 adet bal numunesinin 37 tanesinde ortalama 9,33 ppb düzeyinde tetrasiklin, geri kalan numunelerde ise 2 ppb düzeyinin altında tetrasiklin kalıntısı belirlenmiştir (Atasever ve Yüksel, 2022; Yüksel, 2019). Antibiyotiğin tüketime sunulan ballarda rastlanması nedeniyle arı yetiştiricilerine bu konuda eğitimler verilerek sağlık açısından risklerin açıklanması gerekliliğinin önemi vurgulanmıştır (Bağcı vd., 2019). Ayrıca Ulusal Kalıntı İzleme Programı ile düzenli denetimlerin yapılması, kalıntıların izlenmesi açısından faydalı olabileceği belirtilmiştir (Bal, 2016)

PESTİSİT VE NAFTALİN KALINTILARI

Bitkisel üretimde pestisitler, zararlı organizmaların bitkileri ve ürünleri istila etmesini ve zarar vermesini önlemek veya azaltmak için kullanılır. Kekillioğlu ve Bıçak (2020), bitkilerin nektar ve polenlerindeki pestisit kalıntılarının bal arılarının azalmasında olumsuz rolü olduğunu belirtmiştir. Sanchez-Bayo ve Goka (2016), arıların pestisitlere maruz kalmasının çoğu zaman bitkilerin polen ile nektarında ve suda bulunan kalıntıların yutulması yoluyla gerçekleştiği, ayrıca Varroa ve diğer parazitlerin tedavisinde kullanılan pestisitlere de maruz kaldığını tespit etmiştir. Arıların pestisitlere temasının ilaçların uygulanması esnasında olduğu gibi ilaçlı bitkilerden de olabildiğini vurgulanmıştır (Karahan ve Kutlu, 2017). Şimşek (2011) ise, tohum ilaçlarının bitkinin köklerden yapraklara taşındığını ve gutasyon sıvısına ulaştığını, gutasyon sıvısının da su ihtiyacını gidermek isteyen arılar tarafından alındığını bildirmiştir.

Karahan ve Kutlu (2017), ilaçlı polen ve nektarın kovanda bulunmasının bu gıdayı tüketen tüm yavru ve ergin arıları olumsuz etkilediğini bildirmiştir. Bal arılarında zehirlenme durumunda kovan önünde 500 ila 1000 arasında değişen ölü arı, arılarda anormal hareketler, felç, denge kaybı ve uyuşukluk ile kovan girişini bulmakta zorluk çeken arılar görüldüğü tespit edilmiştir. (Özüoğlu, 2022). Larva gelişimi sırasında pestisit maruziyetinin, gelişmesini tamamlamamış bal arılarının hayatta kalmasını ve sağlığını etkileyebileceği, dolayısıyla genel koloni stresine veya kaybına neden olabileceği belirtilmiştir (Tome, 2020). Pestisitlere maruz kalan arılarda ölüm, yön bulma, öğrenme kaybı, kalbin çalışmasında aksama ve solunum bozukluğu, hırçınlık ve yavruların zehirlenmesi gibi belirtiler görüldüğü tespit edilmiştir (Karahan ve Kutlu, 2017). İnsektisitlerin bal arısında büyümeyi, gelişimi, koku alma duyusunu, hafızasını ve yuvaya geri dönüşünü olumsuz etkileyerek yiyecek arama aktivitelerini, uçuş yeteneğini, dans devrelerini ve tozlaşma hizmetlerini de aksatacağı bildirilmiştir (Zhao vd., 2022). Bunun yanında pestisitlerin bal arılarını zayıflatıp onları hastalıklara, soğuğa veya beslenme stresine karşı daha duyarlı hale getirmesine neden olabileceği belirtilmiştir (Fairbrother vd., 2014). Pestisitlerden özellikle Neonikotinoid grubu insektisitlerin de sistemik olmasından dolayı, bitki kökünden alındıktan sonra yapraklara ilerlediği ve nektar ile polen dokularında birikimlerinin gerçekleştiği vurgulanmıştır (Yalçın ve Turgut, 2016). Neonikotinoidlerin nikotinic asetilkolin reseptörü üzerinden

etki göstererek nörotoksositeye yol açtığı (Kartal, 2019; Çil, 2020) ve arılara kontaminasyonunun onlarda CCD (koloni çöküş sendromu)'ye yol açtığı, bunun yanında da kontamine ballar yoluyla insan sağlığını tehdit ettiği bildirilmiştir (Kartal, 2019). CCD'nin başlıca semptomlarının yetişkin arıların aniden kaybolması, kovanda bal ve polen stoklarının olmasına rağmen tüketilmemesi ve kovanda az miktarda arı bulunması olduğu belirtilmiştir (Yalçın ve Turgut, 2016).

Yetiş (2022), pestisitlere maruz kalan arıların balını tüketen insanların da pestisitlere maruz kaldığını vurgulamıştır. Pestisitlerin insanlarda sinir sistemini, solunum sistemini, kardiyovasküler sistemi, karaciğeri, böbrekleri, gastrointestinal sistemi, dolaşım sistemini, kanı, deriyi ve gözleri olumsuz etkilediği bildirilmiştir (Öztaş Kurt, 2023).

Ülkemizde 22 Nisan 2020 tarihinde yürürlüğe giren Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği'ne göre çiçek balı, salgı balı, çiçek ve salgı balı karışımı ve fırıncılık balında ve balmumunda naftalin miktarının en fazla 10ppb olması gerektiği bildirmiştir (Resmi Gazete, 2020). Naftalin insanlarda ve arılarda bazı olumsuz durumlara neden olur. Naftalinin deri, göz ve boğazı irrite edebileceği (Aydın ve Gül, 2011) solunmasının, yutulmasının ya da deriyi temasının insanlarda akut olarak hemolitik anemiye yol açabileceği (Tosunoğlu, 2016), karaciğeri, sinir sistemini etkilediği (Aydın ve Gül, 2011; Tosunoğlu, 2016), komaya ve ölüme yol açabileceği bildirilmiştir. Ayrıca sarılığa ve dermatite yol açtığı belirtilmiştir (Aydın ve Gül, 2011). Dolayısıyla tüketime sunulan besinlerde naftalin kontaminasyonunun önlenmesi ve bu konuda uygun analizlerin yapılması gerektiği vurgulanmıştır (Beyoğlu, 2006). Bunun dışında, naftalin kokusunun bala geçtiği, naftalin ile ilaçlanan kovanlarına diğer kovanların saldırdığı, çevre sıcaklığının yükselmesiyle yavru ve ergin arıların öldüğü, ayrıca yoğun naftalin kokusu yüzünden arıların kovana terk ettiği bildirilmiştir (Yılmaz, 2002).

Ülkemizde çeşitli araştırmalarla arı ürünlerinde pestisit ve naftalin kalıntıları incelenmiştir:

Ege ve Akdeniz Bölgesinden toplanan 50 örnekte varroaya karşı kullanılan pestisitlerden Fluvalinate kalıntısının 11 örnekte, Bromopropate kalıntısının 7 örnekte, Amitraz kalıntısının 6 örnekte, Malathion kalıntısının 8 örnekte, Deltametrin ve Kumafos kalıntısının ise hiç bir bal örneğinde tespit edilmediği vurgulanmıştır (Er, 1994). Adana Merkez, Kadirli, Kozan, Ceyhan,

Osmaniye, Karataş, Yumurtalık, Mersin Merkez ve Tarsus'tan temin edilen 135 adet bal numunesinde yapılan analizde hiçbir bal örneğinde Fluvalinat kalıntısına rastlanılmazken, 25 adedinde 1,34-33,48 ppm düzeylerinde Amitraz kalıntısı tespit edilmiştir (Selçukoğlu, 1999). 33 ilden toplanan 275 adet bal numunesindeki 25 insektisidin (15 organik fosforlu, 10 sentetik piretroid) kalıntı varlığının incelendiği çalışmada insektisit kalıntılarına rastlanılmadığı bildirilmiştir (Daş, 2004). Amitraz'ın 40 adet bal örneğindeki kalıntısının araştırıldığı çalışmada 6 örnekte kalıntı limitlerinin üzerinde olmayan Amitraz kalıntısı saptanmıştır (Tüze, 2004). Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden temin edilmiş 100 adet bal örneğin 1 adedinde 1,13ppb değerinde naftalin tespit edilmiştir (Beyoğlu, 2006). Ardahan ilinden 20 adet ve Kars ilinden 24 adet temin edilen bal numunelerinden Kars ilindeki 2 numunede yasal sınırın altında naftalin kalıntısı belirlendiği bildirilmiştir (Arslan, 2008). Türkiye genelinden temin edilen bal numunelerinde (200 aracıdan alınan 600 adet bal ve özel firmaya ait 10 adet bal) Sülfonamid (%29,5), Tetracycline (%3,3) ve Streptomycine (%11,9) antibiyotik kalıntıları, Amitraz (% 4,7) ve Kumafos (% 1,4) pestisit kalıntıları içerdiği, Ege Bölgesi (4 adet), Doğu Anadolu Bölgesi (1 adet) ve İç Anadolu Bölgesinden (1 adet) alınan örneklerin de naftalin kalıntısı içerdiği belirtilmiştir (Gül, 2008). Muğla'dan toplanan 47 adet bal örneğinin 11 adedinde Sülfonamid kalıntısının, Aydın, İzmir, Kütahya, Denizli, Manisa ve Uşak'tan toplanan 56 adet bal örneğinin 13 tanesinde Sülfonamid kalıntısının tespit edildiği belirlenmiştir (Uludağ, 2008). Kumafos içeren farklı ilaçların kovana uygulandıktan sonra balda bıraktıkları kalıntı miktarları Haziran ve Temmuz ayında olacak şekilde kurabiye form için (Haziran:6,01 ppb ve Temmuz: 3,00 ppb), şerit form için (Haziran: 13,29 ppb ve Temmuz: 2,05 ppb) ve çözelti form için (Haziran: 8,71 ppb ve Temmuz: 3,81 ppb) belirlendiği bildirilmiştir (Portakal, 2010). Pendik Veteriner Kontrol Araştırma Enstitüsü laboratuvarına 2006-2010 yılları arasında İstanbul, Tekirdağ, Bilecik, Afyonkarahisar, Samsun illerinde gelen ölü arı, petek, ayçiçeği, ot ve ağaç yaprağı gibi materyallerde yapılan analizlerde 15 adet insektisit (karbamat grubu (karbaril) (6 adet), organik fosforlu (5 adet), organik klorlu (2 adet) ve piretroid (2 adet)), 3 adet herbisit (dikuat, parakuat), 1 adet fungusit (malaşit yeşili)) saptanmıştır (Ünal vd., 2010). Niğde ilinden toplanan 67 adet bal örneğinin naftalin kalıntısı saptanan 24 adedindeki 3 adet bal örneğinin limitler üzerinde olduğu belirlenmiştir (Yakupoğlu, 2010). Çanakkale-Biga'dan

toplanan çam, davulga ve püren ballarının hiçbirinde antibiyotik ve pestisit kalıntısına rastlanılmamıştır (Polat, 2011). Türkiye ile İsrail arasında yapılan ortak çalışmada Türkiye'den toplanan peteklerin tamamının, İsrail'den toplanan peteklerin ise %91,6'sı Kumafos ile yüksek oranda bulaşık olduğu ve ballarda ise sınır değer üzerinde kalıntı olmadığı tespit edilmiştir (Barel vd., 2011). 2007, 2008 ve 2009 yıllarında Bornova Veteriner Kontrol ve Araştırma Enstitüsü'ne gelen 536 bal numunesindeki 2 örnekte ortalama 102,45 µg/kg Sülfanilamid, 1 örnekte 24,86 µg/kg Sülfadiazin, 108 örnekte ortalama 597,34 µg/kg Sülfametazin, 9 örnekte ortalama 25,01 µg/kg Sülfametaksozol, 6 örnekte ortalama 157,25 µg/kg Sülfadimetoksin kalıntısı saptanmıştır (Erdoğan vd., 2011). Hatay ilinden toplanan maydanoz balında Iproidone (24,40 ppb), okaliptüs balında Prothiophos (10,60 ppb) ve Tolfluanid (11,50 ppb) kalıntılarının tespit edildiği bildirilmiştir (Bucak, 2011). Hatay'dan temin edilen Püren, Pamuk ve Turunç bal numunelerinde naftalin kalıntısına rastlanılmadığı belirtilmiştir (Karadeniz ve Tekeli, 2011). Isparta'dan temin edilmiş bal numunelerinde (üretilen çiçek balı ve market balı) Klorpirifos (0,024 ng/g), Diazinon (0,021 ng/g), Ethion (0,046 ng/g), Sipermetrin (0,021 ng/g), Deltametrin (0,019 ng/g) ve Malathion (0,020 ng/g) kalıntılarının tespit edildiği bildirilmiştir (Canbay vd., 2012). Antalya, Alanya, Aydın (Merkez-Bozdoğan) ve Adana (Merkez-Kozan)'dan toplanan 20 adet turunçgil (portakal+limon) balında yapılan analizde Karbendazim (7,84ng/g), Klorpirifos (5,05ng/g), Imazalil (10,96ng/g), Metalaksil (6,97ng/g) ve Tiabendazol (12,11ng/g) saptandığı bildirilmiştir (Toptancı ve Bayrak, 2012). Toplanan çiçek ve salgı ballarında yapılan analizlerde, Bozdoğan'da Carbendazim (35,74), Balıkesir-Dursunbey'de Chlorpyrifos (24,06), Adana-Kozan'da Cypermethrin (19,29), Bingöl-Yayladere'de Deltamethrin (23,75), Diyarbakır-Silvan'da Diazinon (13,79), Linuron (12,71) ve Haloxypop (30,72), Malatya-Yeşilyurt'ta Endosulfan (17,11), Alanya'da Thiabendazole (42,16), Carbaryl (17,08), Dichlorvos (18,93) ve Imazalil (41,93), Antalya'da Metalaxyl (14,75), Tekirdağ-Şarköy'de Methidathion (21,05), Elazığ-Sivrice'de Malathion (10,28), Elazığ'da Kumafos (27,42) tespit edildiği belirtilmiştir (Toptancı, 2013). Tekirdağ'da yapılan çalışmada toplanan 32 adet bal numunesinde herhangi bir Neonikotinoid pestisit kalıntısına rastlanılmadığı bildirilmiştir (Özdemir, 2016). Bursa ilinden temin edilen 45 adet bal örneğinde naftalin kalıntısına rastlanılmadığı tespit edilmiştir (Tosunoğlu,

2016). Adana, Osmaniye ve Mersin illerindeki market ve bal üreticilerinden tedarik edilen toplam 90 adet süzme balın 1 örneğinde 115,234 ppb düzeyinde naftalin saptandığı bildirilmiştir (Gölge vd., 2017). Kırklareli'de üreticilerden toplanan 57 adet peteğin 4 adedinde Pendimethalin seviyesi maksimum kalıntı seviyesi (MRL)'nin üzerinde tespit edilmiştir, 11 adedinde ise Propargit sınır değerinin üzerinde saptandığı belirtilmiştir (Saygılı, 2017). Antalya'nın Akseki ve İbradı ilçelerindeki arıcılardan toplanan 60 adet petekli bal örneğinin hiçbirinde, incelenen 331 adet pestisit ve 25 adet antibiyotik (sülfonamid ve tetrasiklin grubu) kalıntısına rastlanılmadığı, sadece 3 adet petekli balda 3,0 µg/kg, 3,9 µg/kg ve 8,9 µg/kg düzeyinde naftalin kalıntısının tespit edildiği bildirilmiştir. Ancak, naftalin içeren üç çerçeve petekli bal numunesinin yarısından alınan süzme bal örneklerinde ise naftalin kalıntısına rastlanılmadığı ve petekli balların süzme ballara göre naftalin kalıntısı açısından daha fazla risk taşıdığı vurgulanmıştır (Çakar, 2019; Çakar ve Gürel, 2019). Adana, Hatay ve Mersin'den temin edilen 30 adet bal örneğinin tamamında, incelenen 102 adet pestisit kalıntısından belirlenme sınırının (LOD) üstünde herhangi bir pestisite rastlanılmadığı, iki adet bal örneğinde ise MRL seviyesinin altında naftalin tespit edildiği bildirilmiştir (Muku, 2019). Sinop'un Boyabat, Erfelek ve Türkeli ilçelerinden temin edilen 3 adet çiçek balında incelenen 160 adet pestisit kalıntısından hiçbirine rastlanılmadığı belirtilmiştir (Vurat, 2019). Türkiye'nin farklı illerindeki yetiştiricilerden elde edilen 44 adet bal örneğinin hiçbirinde neonikotinoid grubu (asetamiprid, klotianidin, dinotefuran, imidakloprid, nitenpiram, tiyaloprid ve tiametoksam) insektisitlere rastlanılmadığı vurgulanmıştır (Çil vd., 2020). Yapılan çalışmada Muş ili Zoveser Bölgesi ve Darabi bölgesinden temin edilen 10 farklı bal örneğinin antibiyotik ve pestisit kalıntısı içermediği belirtilmiştir (Kutlu ve Bengü, 2020). Adana Veteriner Kontrol ve Araştırma Enstitüsü'nde 2015-2018 yılları arasında farklı işletmelerden gelen 188 adet ölü arı numunelerinde yapılan analizlerde 2015 yılında gelen 2 numunede Tau-fluvalinate kalıntısına, 2016 yılında gelen 1 numunede Sipermetrin kalıntısına, 2017 ve 2018 yıllarında gelen numunelerde ise, Piretroit pestisitler yönünden herhangi bir maddeye tespit edilebilir düzeyde rastlanılmadığı bildirilmiştir (Segmenoglu, 2020). Edirne, Tekirdağ, Afyonkarahisar ve Antalya'dan temin edilen 80 adet narenciye, haşhaş, kanola ve ayçiçeği poleni numunesinde 27 farklı aktif bileşene (13 fungusit, 9 insektisit, 4 herbisit ve 1 nematisit) rastlanıldığı tespit

edilmiştir (Çakıcı, 2021). Adana Merkez, Kadirli, Kozan, Osmaniye, Ceyhan, Karataş, Yumurtalık, Tarsus ve Mersin merkezden temin edilen 135 adet bal örneğinde Fluvalinat kalıntılarında rastlanılmadığı, Amitraz kalıntılarının ise 25 adet bal örneğinde 1,34 ile 33,48 ppm arasında olduğu belirlenmiştir (Bilgili ve Selçuklu, 2022). Marmara, Ege ve Akdeniz bölgelerinden toplanan 42 adet ölü arı ve 56 adet bal örneğinde 600 adet pestisit etken maddesi taraması yapılmış ve 29 adet arı örneğinde 0,002 ile 3,66 mg/kg arasında değişen değerlerde 56 farklı pestisit etken maddesi, 22 adet bal örneğinde ise 0,002 ile 0,052 mg/kg arasında değişen değerlerde 16 farklı etken madde olduğu tespit edilmiştir (Dinçay, 2022). Tokat ili ve ilçelerinden temin edilen 24 adet çiçek balının 3 adetinde sınır değerini aşmış pestisit (Triamenol+triadimefon, Metrafenone, Cypermethrin, Boscalid, Deltamethrin, Kresoxim methyl) tespit edildiği bildirilmiştir (Kara vd., 2022). Bingöl Merkez, Karlıova, Genç, Kığı ve Solhan ilçelerinde faaliyet gösteren sabit ve gezginci arıcılardan oluşan 20 işletmeden süzme bal örnekleri toplanmış, 800 adet pestisit kalıntısı araştırılmış ve hiçbir numunede pestisit kalıntısına rastlanılmadığı vurgulanmıştır (Solgun, 2023).

SONUÇ

Antibiyotik, pestisit ve naftalin kalıntısının arı ürünlerinde limitlerin üzerinde bulunması hem arılarda hem de arı ürünlerini tüketen insanlarda olumsuz etki oluşturduğu yapılan çalışmalar ile dikkat çekmektedir. Sürdürülebilir arıcılık için arıların kimyasal ilaçların zararlı etkilerine maruz kalmalarının önlenmesi konusunun önemi ön plana çıkmaktadır. Arı ürünlerinde kalıntı riskini azaltmak için hem üreticilerin hem de tüketicilerin bilinçlendirilmesi önemli bir gerekliliktir. Bu ürünlerde kalite kontrole ve güvencesine dikkat ederek nihayi kullanıcının sağlığını korumak amacıyla kalıntı izleme programlarının oluşturulması önemlidir. Aynı zamanda bitkilerin devamlılığının sağlanması için polinasyonda ciddi öneme sahip arılara zarar vermemek ve arıların sağlıklarını korumak için tarım ilaçlarının kullanımında zarar verme potansiyeli düşük olan veya arı dostu olarak bilinen ürünlerin tercih edilmesi ve etiketlerdeki talimatlara uyulması gerekliliği son derece önemlidir. Tarım ilaçları uygulanırken arıların aktif olmadığı zamanlar tercih edilmeli ve arıların sağlığını korumak ve zarar vermemek için tarım ilaçları kullanırken dikkatli ve sorumlu olmak önemlidir. Bunun yanında İyi Tarım Uygulamaları kapsamında da uygulamalar yapılabilir. Bu önlemler, tarım ürünlerinin

verimini artırabildiği gibi arıların hayatta kalmasına da yardımcı olabilir ve dolaylı olarak insan sağlığına da zarar vermeyeceği aşikârdır.

KAYNAKÇA

- Al-Waili, N., Salom, K., Al-Ghamdi, A., & Ansari, M. J. (2012). Antibiotic, pesticide, and microbial contaminants of honey: human health hazards. *The Scientific World Journal*, 2012.
- Anonim (2023). *Bakanlık yumurta krizini izlemeye aldı*. Erişim tarihi: 24.09.2023. <https://www.yum-bir.org/Yumurta/IcerikYazdir.aspx?ID=24&IcerikID=961> ().
- Arslan, İ. (2008). *Kars ve Ardahan yörelerinde üretilen ve satışa sunulan ballarda naftalin kalıntısının araştırılması*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Kafkas Üniversitesi / Sağlık Bilimleri Enstitüsü / Biyokimya (Veterinerlik) Ana Bilim Dalı, Kars
- Arslan, O.C. (2020). *Behavioral and molecular impact of a stress factor, acaricide perizin on honey bees (Apis mellifera) of Turkey*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Biyoloji Ana Bilim Dalı, Ankara.
- Atasever, M. A., & Yüksel, A. T. (2022). Erzurum bölgesinde üretilen ballarda bazı antibiyotik kalıntılarının belirlenmesi. *Veterinary Sciences and Practices*, 17(3), 76-80.
- Aydın, Z. & Gül, A. (2011). Bazı monofloral balların naftalin ve pestisit kalıntılarının hplc ve GC-MS ile belirlenmesi. *Kromatografi 2011*, Dicle Üniversitesi, 7-10 Eylül 2011, Diyarbakır.
- Bağcı, H. (2019). *Muğla bölgesinde üretilen ballarda antibiyotik kalıntılarının araştırılması*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi / Sağlık Bilimleri Enstitüsü / Farmakoloji ve Toksikoloji Ana Bilim Dalı, Afyonkarahisar.
- Bağcı, H., Yavuz, H., & Özdemir, M. (2019). *Muğla bölgesinde üretilen ballarda antibiyotik kalıntılarının araştırılması*. *Unika Sağlık Bilimleri Dergisi*, 1(1), 1-8.
- Bal, A. (2016). *Ballarda antibiyotik kalıntıları*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Erciyes Üniversitesi / Sağlık Bilimleri Enstitüsü / Besin Hijyeni ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı, Kayseri.
- Barel, S., Zilberman, D., Aydın, L., Girişgin, A. O., Efrat, H., Kamer, Y., & Zaidman, E. (2011). Distribution of coumaphos residues in Turkish-

- Israel hives: A collaborative study. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 11(2), 47-50.
- Beyoğlu, D. (2006). *Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden temin edilen bal örneklerinde naftalin aranması ve miktar tayini*. Yayımlanmamış Doktora Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi / Sağlık Bilimleri Enstitüsü / Farmasötik Toksikoloji Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Bilgili, A. & Selçuklu, E. (2022). Çukurova Bölgesi'nde toplanan bal örneklerinden amitraz ve fulvalinate kalıntılarının belirlenmesi. *Izmir Democracy University Health Sciences Journal*, 5(3), 805-813.
- Bucak, S. (2011). *Hatay ilinde üretilen salgı, okaliptüs, çiçek ve maydanoz ballarının antioksidan, antimikrobiyal, yağ asidi ve kalıntı analizleri*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Mustafa Kemal Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Kimya Ana Bilim Dalı, Hatay.
- Canbay, H. S., Ögüt, S., Yilmazer, M., & Küçüköner, E. (2012). Seçilen bazı pestisitlerin bal örneklerinde analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16(1), 1-5.
- Çakar, E., & Gürel, F. (2019). Süzme ve petekli balların pestisit, naftalin ve antibiyotik kalıntıları bakımından karşılaştırılması. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 32(3), 453-459.
- Çakar, E. (2019). *Süzme ve petekli balların pestisit, naftalin ve antibiyotik kalıntıları bakımından karşılaştırılması*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Akdeniz Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Zootekni Ana Bilim Dalı / Hayvan Yetiştirme Bilim Dalı, Antalya.
- Çakıcı, N. (2021). *Bazı polen çeşitlerinde pestisit kalıntılarının HR-LCMS VE GC-MS/MS ile belirlenmesi*. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Ordu Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ordu.
- Çil, G. İ., Korkmaz, S. D., Cengiz, G., & Küplülü, Ö. (2020). Türkiye'deki bal örneklerinde neonikotinoid varlığının LC-MS/Q-TOF yöntemi ile tespiti. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1), 11-17.
- Daş, Y. K. (2004). *Türkiye'de üretilen ballarda bazı organik fosforlu ve sentetik piretroid insektisit kalıntılarının incelenmesi*. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi / Sağlık Bilimleri Enstitüsü / Farmakoloji ve Toksikoloji Ana Bilim Dalı, Ankara.

- Demir, T. (2019). *Giresun arı yetiştiriciliğinde antibiyotik dirençliliği ve ballardaki antibiyotik kalıntı düzeyinin araştırılması*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Giresun Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Biyoloji Ana Bilim Dalı, Giresun.
- Dinçay, O., 2022. *Kitlesel ölüm gözlenen bal arıları ve ballarında modifiye edilmiş QuEChERS ekstraksiyon yöntemi kullanılarak LCMS/MS ve GC-MS/MS kütle spektrometresi ile pestisit kalıntılarının belirlenmesi*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Biyoloji Ana Bilim Dalı, Muğla.
- Er, E. (1994). *Varroa mücadelesinde kullanılan bazı tarımsal ilaç kalıntılarının Ege ve Akdeniz Bölgesi ballarındaki kalıntılarının araştırılması*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Erdoğan, A. T., Coşkun, Y., & Güven, İ. S. (2011). Tüketime sunulan ballarda sülfonamid türevi antibiyotiklerin kalıntılarının belirlenmesi. *Bornova Veteriner Bilimleri Dergisi*, 33(47), 37-44.
- Fairbrother, A., Purdy, J., Anderson, T., & Fell, R. (2014). Risks of neonicotinoid insecticides to honeybees. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 33(4), 719-731.
- Gölge, Ö., Hepsağ, F., & Kılınççeker, O. (2017). Determination of naphthalene levels of honey in eastern mediterranean region. *ADYÜTAYAM*, 5(2), 14-23.
- Gül, A., (2008). *Türkiye'de üretilen bazı balların yapısal özelliklerinin gıda güvenliği bakımından araştırılması*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
- Kara, F., Kaya, C., Yücel, E. Y., Topuz, S., & Bayram, M. (2022). Tokat yöresi ballarının bazı fizikokimyasal özelliklerinin belirlenmesi ve Türk Gıda Kodeksi'ne uygunluğunun değerlendirilmesi. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 22(2), 148-165.
- Karadeniz, H. & Tekeli, Y. (2011). Hatay'da Üretilen Püren, Pamuk ve Turunc Ballarının Naftalin ve Pestisit Kalıntı Analizlerinin GC-MS ile Tayini. Kromatografi 2011, Dicle Üniversitesi, 7-10 Eylül 2011, Diyarbakır
- Karahan, A., & Kutlu, M. A. (2017). Arılar ve Pestisitler. *Petek Dergisi*, (3): 26-27.

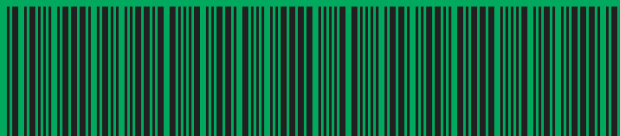
- Kartal, M. N. (2019). Neonikotinoid pestisit uygulamalarının bir sonucu olarak; kontamine ballar ve arılar. *Turkish Journal of Public Health*, 17(1), 88-91.
- Kekillioğlu, A., & Bıçak, Z. (2020). Pestisitler ve arılar üzerindeki etkilerinin incelenmesi. *Ejoms International Journal*, 4(13), 26-44.
- Kortel, A., 2015. *Erzurum ilinde satılan ballarda önemli bazı ilaç kalıntılarının analizi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi / Sağlık Bilimleri Enstitüsü / Farmakoloji ve Toksikoloji (Veterinerlik) Ana Bilim Dalı, Ankara.
- Kutlu, M. A., & AŞ, B. (2020). Muş ilinde Üretilen Ballarda Bazı Kalite Kriterleri ile Antibiyotik ve Pestisit Kalıntılarının Tespiti. *BÜSAD*, 1(1), 1-6.
- Kutlu, M. A., Abdurrahman, G. Ü. L., Özdemir, F. A., & Kılıç, Ö. (2017). Bitlis ili Hizan ilçesinde üretilen ballarda antibiyotik kalıntılarının belirlenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 4(4), 523-527.
- Liere, H., Jha, S., & Philpott, S. M. (2017). Intersection between biodiversity conservation, agroecology, and ecosystem services. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 41(7), 723-760.
- Muku, C., 2019. Doğu Akdeniz Bölgesi ballarının naftalin ve pestisit kalıntılarının LC/MS/MS ve HS-SPME GC/MS ile belirlenmesi. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Adana.
- Nair, P. R. (2014). Grand challenges in agroecology and land use systems. *Frontiers in Environmental Science*, 2, 1.
- Özdemir, N., 2016. *Tekirdağ İli Çevresinde Toplanan Bal Örneklerinde Neonikotinoid Pestisit Kalıntılarının Araştırılması*. Namık Kemal Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi Sonuç Raporu, Protokol No: NKUBAP.00.23.AR.14.05.
- Özkan, O., Eşsiz, D., Yazıcı, K., & Erdağ, D. (2015). Ardahan ilinde üretilen ballarda antibiyotik kalıntı düzeylerinin araştırılması. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, 10(2).
- Öztaş Kurt, B., 2023. Tarımda Kullanılan İlaçların İnsan Sağlığı ve Biyoçeşitlilik Üzerine Etkileri. Erişim Tarihi: 20.09.2023. https://www.researchgate.net/publication/370765865_TARIMDA_KU

LLANILAN_ILACLARIN_INSAN_SAGLIGI_ve_BIYOCESITLILIK
_UZERINE_ETKILERI

- Özüçü, M. (2022). Arı ve Arı Ürünlerinde İlaç, Pestisit ve Metallerin Etkisi ve Kontaminasyonu. *Balıkesir Sağlık Bilimleri Dergisi*, 11(Supplement 1), 38-43.
- Polat, İ. (2011). *Güney Marmara bölgesinde üretilen bazı balların antimikrobiyal, antioksidan aktivitelerinin, pestisit ve antibiyotik kalıntılarının incelenmesi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Balıkesir Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Biyoloji Ana Bilim Dalı, Balıkesir.
- Portakal, P. (2010). *Varroa jacobsoni ile doğal enfeste balarısı kolonilerinde Koumafos etken maddesi içeren farklı farmasötik şekillerin etkinliği ve baldaki kalıntılarının araştırılması*. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Resmi Gazete (2017). Türk Gıda Kodeksi Hayvansal Gıdalarda Bulunabilecek Farmakolojik Aktif Maddelerin Sınıflandırılması ve Maksimum Kalıntı Limitleri Yönetmeliği. Tarih:07.03.2017, Sayı:30000.
- Resmi Gazete (2020). Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği, Tarih:22 Nisan 2020, Sayı:31107.
- Resmi Gazete (2021). . Türk Gıda Kodeksi Pestisitlerin Maksimum Kalıntı Limitleri Yönetmeliği. Tarih: 27 Eylül 2021, Sayı: 31611.
- Sanchez-Bayo, F., & Goka, K. (2016). Impacts of pesticides on honey bees. *Beekeeping and Bee Conservation-Advances In Research*, 4, 77-97.
- Saygılı, M. (2017). *Kırklareli ilinde arıcılık faaliyeti yapan üreticilerden toplanan peteklerde antibiyotik ve pestisit kalıntısı aranması*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Namık Kemal Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Tekirdağ.
- Segmenoglu, M. S. (2020). The effect of pyrethroid group pesticides on honey bee deaths in Cukurova region. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(3), 594-597.
- Seğmenoğlu, M. S. (2013). Ballarda streptomisin kalıntı taraması. *AVKAE Dergisi*, 3(1), 15-17.
- Selçukoğlu, E. (1999). *Çukurova Bölgesinden toplanan bal örneklerinde amitraz ve fluvalinat kalıntılarının belirlenmesi*. Yayımlanmamış

- Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi / Sağlık Bilimleri Enstitüsü / Farmakoloji ve Toksikoloji Ana Bilim Dalı, Ankara.
- Solgun, S. (2023). *Sabit ve gezginci arıcıların ürettikleri ballarda bazı pestisit kalıntılarının belirlenmesi-Bingöl ili örneği*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Bingöl Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Arı ve Arı Ürünleri Anabilim Dalı, Bingöl.
- Sunay, A. E. (2006). Balda antibiyotik kalıntısı sorunu. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 6(4), 143-148.
- Şimşek, Z. (2021). *Mısır gutasyon sıvısında thiamethoxam ve cyantraniliprole kalıntısı ve arılara toksik etkisinin belirlenmesi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Bitki Koruma Ana Bilim Dalı, Aydın.
- T O'Neal, S., Anderson, T. D., & Wu-Smart, J. Y. (2018). Interactions between pesticides and pathogen susceptibility in honey bees. *Current Opinion in Insect Science*, 26, 57-62.
- Tome, H. V., Schmehl, D. R., Wedde, A. E., Godoy, R. S., Ravaiano, S. V., Guedes, R. N., Martins, G. F. & Ellis, J. D. (2020). Frequently encountered pesticides can cause multiple disorders in developing worker honey bees. *Environmental Pollution*, 256, 113420.
- Toptancı, İ. (2013). *Çiçek ve salgı ballarında polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH), pestisit ve antibiyotik kalıntılarının GC/MS ve LC/MS/MS ile belirlenmesi*. Yayımlanmamış Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü/Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Toptancı, İ., & Bayrak, A. (2012). Turunçgil ballarında pestisit kalıntı düzeylerinin belirlenmesi. *Akademik Gıda*, 10(3), 22-25.
- Tosunoğlu, H. (2016). Bursa İlinde Satışa Sunulmuş Balların Naftalin Kalıntısı Yönünden İncelenmesi. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 15(2), 41-46.
- Tüze, Ş. (2004). *Bal arısı (Apis mellifera L.) (Hymenoptera: Apidae)'nda zararlı olan Varroa jacobsoni oudemans (bal arısı akarı) (Acarina: Varroidae) karşı kullanılan amitraz (Varroaset) in ballardaki kalıntısının araştırılması*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Bitki Koruma Ana Bilim Dalı, Ankara.
- Uludağ, R. (2008). *Ege Bölgesinde tüketime sunulan ballarda sülfonamid kalıntılarının araştırılması*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Adnan

- Menderes Üniversitesi / Sağlık Bilimleri Enstitüsü / Farmakoloji ve Toksikoloji Ana Bilim Dalı, Aydın.
- Vurat, G. (2019). *Sinop'un farklı bölgelerinden toplanan bal örneklerindeki pestisit kalıntılarının ve bazı kimyasal özelliklerinin belirlenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Sinop Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Disiplinlerarası Çevre Sağlığı Ana Bilim Dalı, Sinop.
- Wang, Y., Dong, X., Han, M., Yang, Z., Wang, Y., Qian, L., Huang, M., Luo, B., Wang, H. & Jiang, Q. (2022). Antibiotic residues in honey in the Chinese market and human health risk assessment. *Journal of Hazardous Materials*, 440, 129815.
- Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D., & David, C. (2009). Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 503-515.
- Yakupoğlu, E. (2010). *Niğde ilinde üretilen ballarda bazı polisiklik aromatik hidrokarbonların tayini*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Yalçın, M., & Turgut, C. (2016). Bal arılarında koloni kaybı. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13(1), 151-157.
- Yetiş, Ö. (2022). *Pamukta kullanılan tohum ilaçlarının bal arılarına toksik etkisinin belirlenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Bitki Koruma Ana Bilim Dalı, Aydın.
- Yılmaz, B. (2002). Mum güvesi mücadelesinde naftalin kullanımını yasaklandı. *Teknik Arıcılık*, Haziran 2002, Sayı 76. https://kutuphane.tarimorman.gov.tr/pdf_goster?file=467e8ade20578d3078dfbf1a23165877#book/
- Zhao, H., Li, G., Cui, X., Wang, H., Liu, Z., Yang, Y., & Xu, B. (2022). Review on effects of some insecticides on honey bee health. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 105219.



ISBN: 978-625-367-432-8